

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΙΚΗΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΤΡΙΧΩΝΙΔΑΣ

Διδακτορική Διατριβή υποβληθείσα στο
Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων
του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Υπό

Ευαγγελίας Χ. Ντούλκα

Για την Απόκτηση του Τίτλου του
Διδάκτορα του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Αγρίνιο, Νοέμβριος 2010

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΙΚΗΣ ΒΙΟΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΤΡΙΧΩΝΙΔΑΣ

Υπό

Ευαγγελίας Χ. Ντούλκα

Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Κεχαγιάς Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (*Επιβλέπων*)

Ματθόπουλος Δημήτριος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Λεονάρδος Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Παντής Ιωάννης, Καθηγητής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Δημόπουλος Παναγιώτης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Ζαχαρίας Ιερόθεος, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Τσίκληρας Αθανάσιος, Λέκτορας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

*στους γονείς μου,
Χρήστο και Σταματία*



Πρόλογος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και ένα μέρος της χρηματοδοτήθηκε από κοινοτικούς και εθνικούς πόρους στα πλαίσια του προγράμματος «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ II».

Η έμπνευση και η αφοσίωση του Επίκουρου Καθηγητή κ. Γεώργιου Κεχαγιά στην ερευνητική του δραστηριότητα αποτέλεσαν εφελκυστικό για την ενασχόλησή μου με την μελέτη των υδάτινων οικοσυστημάτων. Μέσα από αυτές τις γραμμές, θέλω να του εκφράσω τον απεριόριστο σεβασμό μου και τις πιο θερμές μου ευχαριστίες για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, την άποψη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια, την εξαιρετική επίβλεψη κατά τη διάρκεια της εκπόνησης και της συγγραφής αυτής της διατριβής καθώς και για την αμέριστη κατανόηση και συμπαράστασή του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θέλω να εκφράσω στα μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής, τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Ματθόπουλο και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ιωάννη Λεονάρδο, για το ενδιαφέρον που δείχνανε κατά την πορεία εξέλιξης της παρούσας διατριβής. Θα ήθελα, ωστόσο, να εκφράσω και τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον καθένα ξεχωριστά στον κ. Ματθόπουλο για την πολύπλευρη συμπαράστασή του και τη φιλοξενία του στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Βιολογίας-Ηθικής και στον κ. Λεονάρδο για την προθυμία του και την επιστημονική του καθοδήγηση.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Παντή, τον Καθηγητή κ. Παναγιώτη Δημόπουλο, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Ιερόθεο Ζαχαρία και τον Λέκτορα κ. Αθανάσιο Τσίκληρα που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην Εξεταστική Επιτροπή και να αφιερώσουν χρόνο και πνεύμα για την μελέτη αυτής της διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στη Λέκτορα του Τμήματος Βιολογίας του Α.Π.Θ. κ. Ευαγγελία Μιχαλούδη, για τη φιλοξενία της στο Εργαστήριο Ιχθυολογίας και την ταξινομική κατάρτηση που μου παρείχε κατά το ξεκίνημα της ενασχόλησής μου με το ζωοπλαγκτό.

Θα ήταν παράλειψή μου να μην ευχαριστήσω τον ψαρά κ. Ηλία Ζαρκάδα για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τις δειγματοληψίες αθερίνας.

Οφείλω, επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στη συνάδελφο και υποψήφια διδάκτορα Αικατερίνη Χαλκιά, για τη βοήθειά της κατά την ανάλυση του στομαχικού περιεχομένου των ψαριών. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τους προπτυχιακούς, τότε, φοιτητές και συναδέλφους, πλέον, Μαρία Σμαραγδάκη και Προκόπη Κουράση, για τη συμβολή τους.

Όσα «ευχαριστώ!» και να πω δεν θα είναι αρκετά για την ηθική συμπαράσταση και υποστήριξη που έλαβα από τους φίλους μου όλα αυτά τα χρόνια. Ευχαριστώ πάρα πολύ την MSc και υποψήφια διδάκτορα Αρετή Γιάννη που μοιράστηκε τις αγωνίες και τα άγχη μου, για τις εποικοδομητικές συζητήσεις μας και για την αναπτέρωση του ηθικού μου που πάντα κατάφερνε. Ευχαριστώ, επίσης, για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους (εντός και εκτός ακαδημαϊκού περιβάλλοντος) την Ευτυχία, το Στέφανο, το Θανάση, την Κατερίνα, τον Παναγιώτη Ι., τον Παναγιώτη Σ., το Χρόνη, το Γιώργο, τη Φούλα, την Κάτια, την Ελένη, τη Μάγδα, τον Γιάννη, τον Μίλτο, την Αθανασία, τον Κώστα, τη Χριστίνα, τη Λία, τον Μιχαήλ αλλά και τη Ρούλα, την Κική και τη Σοφία. Μαζί συνέβαλαν στη δημιουργία μιας ευχάριστης ατμόσφαιρας που ήταν απαραίτητη για την υπέρβαση των δυσκολιών και των απογοητεύσεων κατά τη διάρκεια εκπόνησης του διδακτορικού μου. Όλοι τους, αλλά και εκείνοι που αυτή τη στιγμή ίσως μου διαφεύγουν, κατέχουν μια ξεχωριστή θέση στην καρδιά μου και αισθάνομαι τυχερή και περήφανη που μπορώ να τους θεωρώ φίλους μου.

Τέλος, θέλω ολόψυχα να εκφράσω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ και την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και ιδιαίτερα στους γονείς μου. Τους ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ για την πίστη τους σ' εμένα, την κατανόηση, την ηθική συμπαράσταση και την οικονομική υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Το επιστέγασμα αυτής της πολύχρονης προσπάθειας αφιερώνεται σε αυτούς, ως ελάχιστη ένδειξη της εκτίμησής μου.

Νοέμβριος 2010

Ευαγγελία Χ. Ντούλκα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγικά στοιχεία

1.1	Γενικά στοιχεία για το ζωοπλαγκτό	3
1.2	Η λίμνη Τριχωνίδα	5
1.2.1	Γεωλογικά χαρακτηριστικά	6
1.2.2	Κλίμα	7
1.2.3	Υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά	7
1.2.4	Ιχθυοπανίδα	9
1.2.5	Οικολογική σημασία – Απειλές	10
1.3	Στόχοι της διδακτορικής διατριβής	11

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Το αβιοτικό περιβάλλον: φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
2.1.1	Φως – Διαφάνεια	15
2.1.2	Θερμοκρασία	16
2.1.3	Οξυγόνο	17
2.1.4	Ενεργός οξύτητα (pH)	19
2.1.5	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	20
2.1.6	Θρεπτικά	20
2.1.7	Χλωροφύλλη	23
2.1.8	Τροφική κατάσταση του οικοσυστήματος	23
2.1.9	Σκοπός	24
2.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	26
2.2.1	Στο πεδίο	27
2.2.2	Στο εργαστήριο	28
2.2.3	Στατιστική επεξεργασία	31
2.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	32
2.3.1	Φυσικοχημικά δεδομένα	32
2.3.2	Χλωροφύλλη-α	39

2.3.3	Θρεπτικά	40
2.3.4	Προσδιορισμός της τροφικής κατάστασης	48
2.4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	49
2.4.1	Φυσικοχημικά δεδομένα	50
2.4.2	Χλωροφύλλη-α	52
2.4.3	Θρεπτικά	53
2.4.4	Τροφική κατάσταση	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Σύνθεση ειδών - Χωρική και χρονική κατανομή του ζωοπλαγκτού

3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	61
3.1.1	Η βιοκοινωνία του λιμναίου ζωοπλαγκτού	61
3.1.2	Εποχικές διακυμάνσεις - Βιολογικοί κύκλοι	62
3.1.3	Χωρική κατανομή του ζωοπλαγκτού	64
3.1.4	Σκοπός	64
3.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	66
3.2.1	Στο πεδίο	66
3.2.2	Στο εργαστήριο	67
3.2.3	Στατιστική επεξεργασία	69
3.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	70
3.3.1	Σύνθεση ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας	70
3.3.2	Χωρική και χρονική διακύμανση	72
3.3.2.1	Συνολικό ζωοπλαγκτό	72
3.3.2.2	Κωπήποδα	75
3.3.2.3	Κλαδόκερα	88
3.3.2.4	Τροχόζωα	103
3.3.2.5	Προνύμφες μαλάκιων	137
3.3.3	Ποικιλότητα	139
3.3.4	Ζωοπλαγκτό & φυσικοχημικές παράμετροι	139
3.3	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	144
3.4.1	Σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας	144
3.4.2	Χωρική και χρονική διακύμανση	147
3.4.2.1	Εποχικές διακυμάνσεις	149

3.4.2.2	Κατακόρυφη κατανομή	155
3.4.3	Επίδραση φυσικοχημικών παραμέτρων στο ζωοπλαγκτό	157

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση (ΗΚΜ) του ζωοπλαγκτού

4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	163
4.1.1	Γενικά	163
4.1.2	Πρότυπα ΗΚΜ	163
4.1.3	Οικολογική ερμηνεία της ΗΚΜ	164
4.1.4	Παράγοντες που επηρεάζουν την ΗΚΜ	167
4.1.5	Σκοπός	169
4.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	171
4.2.1	Στο πεδίο	171
4.2.2	Στο εργαστήριο	172
4.2.3	Στατιστική επεξεργασία	172
4.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	173
4.3.1	Φυσικοχημικά δεδομένα	173
4.3.2	Ημερονύκτια μετανάστευση ζωοπλαγκτού	175
4.3.2.1	Τροχόζωα	178
4.3.2.2	Κωπήποδα	193
4.3.2.3	Κλαδόκερα	204
4.3.2.4	Προνύμφες μαλάκιων	210
4.4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	212
4.4.1	Φυσικοχημικά δεδομένα	212
4.4.2	Πρότυπα κατακόρυφης κατανομής ζωοπλαγκτού	213
4.4.3	ΗΚΜ του ζωοπλαγκτού	216
4.4.4	Παράγοντες που επηρεάζουν την ΗΚΜ	220

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Το ζωοπλαγκτό ως τροφή της αθερίνας

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	225
5.1.1	Σκοπός	226
5.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	229

5.2.1	Στο πεδίο	228
5.2.2	Στο εργαστήριο	229
5.2.3	Στατιστική επεξεργασία	233
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	234
5.3.1	Μορφομετρικά στοιχεία και αναπαραγωγή	234
5.3.2	Ένταση τροφοληψίας / Πληρότητα στομάχου	236
5.3.3	Ποικιλότητα διατροφής	237
5.3.4	Σύνθεση της δίαιτας και εποχικές διακυμάνσεις	238
5.3.5	Οντογενετικές διαφοροποιήσεις στη δίαιτα	242
5.3.6	Επιλεκτικότητα τροφής & διατροφικές στρατηγικές	245
5.4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	250
5.4.1	Μορφομετρικά στοιχεία και αναπαραγωγή	250
5.4.2	Ένταση τροφοληψίας	251
5.4.3	Σύνθεση της δίαιτας και εποχικές διακυμάνσεις	252
5.4.4	Επιλεκτικότητα τροφής & διατροφικές στρατηγικές	255

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα

6.1	Το αβιοτικό περιβάλλον: φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού	263
6.2	Σύνθεση ειδών-Χωρική και χρονική κατανομή του ζωοπλαγκτού	265
6.3	Ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση	267
6.4	Το ζωοπλαγκτό ως τροφή για την αθερίνα	269
6.5	Σύνοψη	271

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	275
-----------------	-----

SUMMARY	279
----------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	283
---------------------	-----

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ **1**_ο

Εισαγωγικά στοιχεία

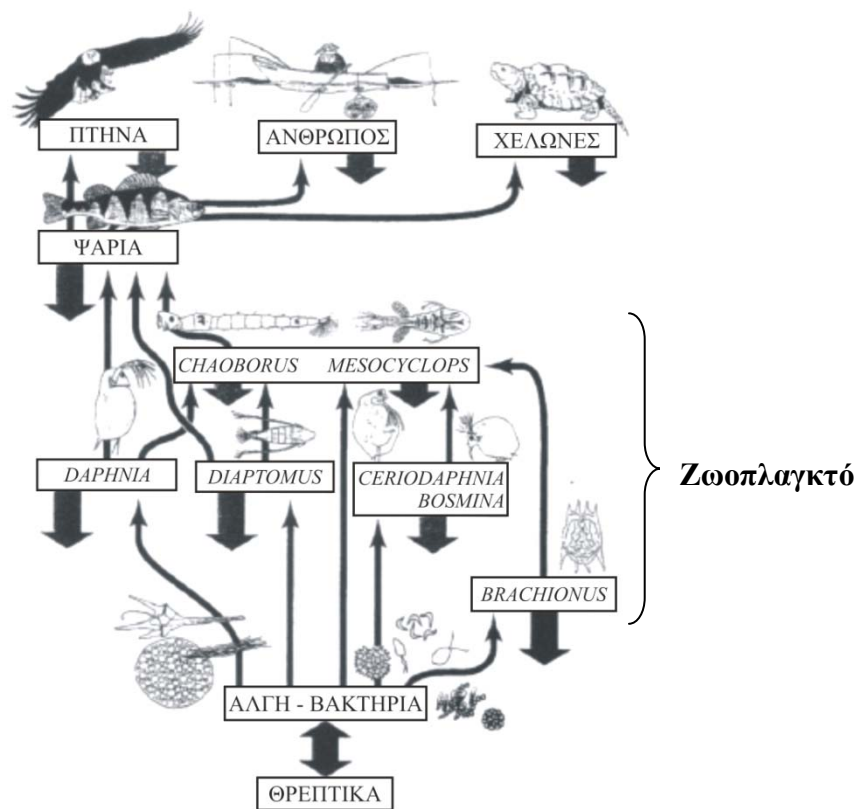
1.1 Γενικά στοιχεία για το ζωοπλαγκτό

Οι υδατικοί πόροι θεωρούνται πολύτιμο αγαθό ανεκτίμητης αξίας, δεδομένου ότι εξαιτίας των επιπτώσεων που απορρέουν από τις κλιματικές αλλαγές (ερημοποίηση-ξηρασία, άνοδος στάθμης νερού, πλημμύρες, υφαλμύριση των υπογείων υδάτων, αλλοίωση και διάβρωση των ακτών, υποβάθμιση των υγροτόπων κ.α.), αλλά και εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης, η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων συνεχώς υποβαθμίζεται και τα αποθέματα πόσιμου ύδατος συνεχώς ελαττώνονται. Η ανάγκη για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων γίνεται όλο και πιο μεγάλη, καθώς η ζήτηση για νερό συνεχώς αυξάνεται. Η Ελλάδα, ειδικότερα, στηρίζει την οικονομία της κυρίως στην αγροτική παραγωγή, γεγονός που σε συνδυασμό με τα παραπάνω καθιστά επιτακτική ανάγκη την παρακολούθηση και διαχείριση των υδατικών πόρων.

Για τη διαχείριση ενός υδάτινου οικοσυστήματος, εκτός από το φυτοπλαγκτό και τα ψάρια, σε σημαντικά συμπεράσματα μπορεί να οδηγήσει η μελέτη του ενδιάμεσου κρίκου μεταξύ αυτών των δύο, του ζωοπλαγκτού. Το ζωοπλαγκτό αποτελεί σημαντικό στοιχείο των υδάτινων οικοσυστημάτων. Αποτελεί την κύρια πηγή τροφής των πλαγκτοφάγων ψαριών, συνεπώς είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά ενός μεγάλου μέρους της ενέργειας από τους πρωτογενείς παραγωγούς στους ανώτερους καταναλωτές (Εικόνα 1.1). Η υψηλή διηθητική ικανότητα των ζωοπλαγκτικών οργανισμών συντελεί στην διατήρηση της καλής οικολογικής ποιότητας του νερού, απομακρύνοντας μεγάλες ποσότητες φυτοπλαγκτού (Garnier & Mourelatos, 1991). Με ελάχιστες εξαιρέσεις που αφορούν κάποια θαλάσσια είδη, το ζωοπλαγκτό αποτελείται από μικροσκοπικούς ασπόνδυλους οργανισμούς, οι οποίοι έχουν μικρή ικανότητα ενεργητικής μετακίνησης, ωστόσο είναι σε θέση να πραγματοποιούν μικρότερης ή μεγαλύτερης κλίμακας κατακόρυφες μεταναστεύσεις, εμπλουτίζοντας σε ένα ποσοστό τα βαθύτερα στρώματα με CO₂, απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση του φυτοπλαγκτού (Longhurst & Williams, 1992). Επιπλέον, οι εκκρίσεις αλλά και η αποσύνθεση του ζωοπλαγκτού συμβάλλουν στην ανακύκλωση του αζώτου και του φωσφόρου στα νερά των λιμνών κατά τη θερμική στρωμάτωση (Hessen et al., 1992).

Οι ιδιαίτερες οικολογικές προτιμήσεις κάποιων ζωοπλαγκτικών ειδών τα καθιστούν είδη «δείκτες» της τροφικής κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων, ενώ σημαντική ένδειξη για το παραπάνω προ φέρει και η γενικό πρη σύνθεση των

ζωοπλαγκτικών βιοκοινωνιών. Επιπλέον, κάποιοι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και ως βιολογικοί δείκτες ρύπανσης των νερών. Σε αντίθεση με τη στιγμιαία απεικόνιση της κατάστασης του οικοσυστήματος που δίνουν οι μετρήσεις χημικών παραγόντων, οι βιολογικοί δείκτες ρύπανσης έχουν το πλεονέκτημα ότι δείχνουν την επίδραση της ρύπανσης στη δομή των βιοκοινωνιών. Πράγματι, πολλοί ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί έχει βρεθεί να αντιδρούν σε τοξικά ερεθίσματα, με μεταβολές είτε στη σύσταση και λειτουργία του πληθυσμού τους είτε στη μορφολογία και την ηθολογική τους συμπεριφορά (Hanazato, 2001).



Εικόνα 1.1: Μια απλουστευμένη παρουσίαση των τροφικών σχέσεων σε μια λίμνη (τροποποιημένη εικόνα από Dodson & Hanazato, 1995)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί είναι ευαίσθητοι σε μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών, ενώ παράλληλα η συλλογή τους από το πεδίο δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσπάθεια ή εξοπλισμό. Συνεπώς απο πλούν μια καλή λύση για προγράμματα παρακολούθησης στα υδάτινα οικοσυστήματα των εσωτερικών υδάτων (Shindler, 1987). Καθώς το φυτοπλαγκτό και το ζωοπλαγκτό αποτελούν τη βάση για τη

δομή των λιμναίων οικοσυστημάτων, η σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας αλλά και η αφθονία των ζωοπλαγκτικών οργανισμών συμπεριλαμβάνονται τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη δεικτών για την εκτίμηση κυρίως της επιβάρυνσης από μη σημειακές πηγές ρύπανσης μεγάλων λιμνών (Kane et al., 2009).

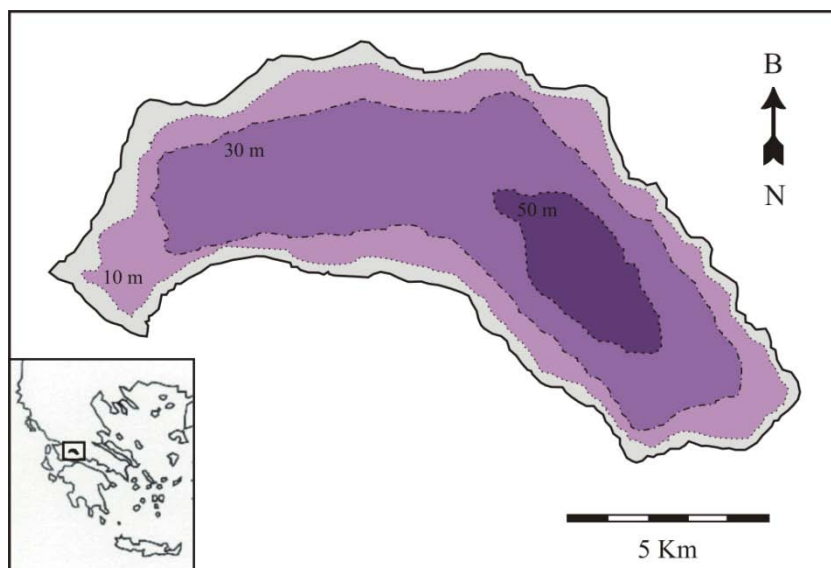
Παρά τη διαχειριστική σπουδαιότητα της ύπαρξης πληροφοριών για το ζωοπλαγκτό των εσωτερικών υδάτων, οι έρευνες στη χώρα μας μέχρι πρόσφατα είχαν ταξινομικό χαρακτήρα και τα αποτελέσματά τους -συμπεριλαμβανομένων και των καταγραφών για τη λίμνη Τριχωνίδα- συνοψίστηκαν από τους Zarfdjian & Economidis (1989). Αναλυτικές έρευνες σχετικά με τη σύνθεση και την αφθονία του ζωοπλαγκτού των εσωτερικών νερών της Ελλάδας άρχισαν να πραγματοποιούνται κατά τα τελευταία 20 χρόνια και αφορούν τις λίμνες Βόλβη (Zarfdjian et al., 1990), Μικρή Πρέσπα (Michaloudi et al., 1997), Κορώνεια (Michaloudi & Kostecka, 2004), Κουρνά (Τίγκιλης, 2007) και, πιο πρόσφατα, τη λίμνη Παμβώτιδα (Antonopoulos et al., 2008).

Όσον αφορά στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης Τριχωνίδας, η διαθέσιμη πληροφορία είναι αρκετά περιορισμένη. Οι περισσότερες δημοσιευμένες μελέτες στη συγκεκριμένη περιοχή αφορούν στην ιχθυοπανίδα (16), στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και στο υδατικό ισοζύγιο της λίμνης (12) και την τεκτονική της περιοχής (5), ενώ ελάχιστη είναι η πληροφορία για το φυτοπλαγκτό (3) και το ζωοπλαγκτό (4). Πιο συγκεκριμένα, ποιοτική περιγραφή της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας έγινε από τον Koussouris (1978; 1979), ενώ αναλυτικότερα στοιχεία που περιλάμβαναν και την αφθονία, παρουσιάστηκαν στη μελέτη των Κουσουρήs και συν. (1993). Τέλος, οι Kehayias et al. (2004) παρείχαν τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για τη σύνθεση, αφθονία και κατανομή της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης.

1.2 Η λίμνη Τριχωνίδα

Η λίμνη Τριχωνίδα βρίσκεται στον νομό Αιτωλοακαρνανίας, κοντά στην πόλη του Αγρινίου και αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές λίμνες της Ελλάδας. Με επιφάνεια 98 km², μέγιστο βάθος 58 m και όγκο νερού περίπου 2,8 x 10⁹ m³, αποτελεί τη μεγαλύτερη σε έκταση φυσική λίμνη της χώρας μας και τη δεύτερη βαθύτερη. Το σχήμα της είναι ανοικτό

νεφροειδές. Έχει μέγιστο μήκος περίπου 19 km, μέγιστο πλάτος περί τα 6 km, περίμετρο γύρω στα 51 km και μέσο βάθος 29,1 m.



Εικόνα 1.2: Βαθυμετρικός χάρτης της λίμνης Τριχωνίδας, όπου φαίνεται και η θέση της στη δυτική Ελλάδα.

1.2.1 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Η λίμνη Τριχωνίδα ανήκει στη ζώνη των καρστικών λιμνών που κατέρχεται από τις νότιες Άλπεις, διασχίζει τις ανατολικές ακτές της Αδριατικής θάλασσας και καταλήγει διαμέσω της δυτικής Ελλάδας στην Πελοπόννησο. Σύμφωνα με γεωλογικές μελέτες στην περιοχή, η λίμνη Τριχωνίδα με τις άλλες τρεις λίμνες του ίδιου γεωλογικού βυθίσματος (Λυσιμαχεία, Οζερός, Αμβρακία) θεωρούνται ότι είναι τεκτονικής προέλευσης και πιθανότατα προήλθαν κατά τη διάρκεια του τέλους της πλειόκαινης περιόδου, από μία εκτεταμένη λεκάνη η οποία κάλυπτε την περιοχή, την “Αιτωλοακαρνάνια λεκάνη” (Κουσουρή και συν., 1993). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο πυθμένας της βρίσκεται σήμερα περίπου 42 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και ότι η ταφρογένεση αυτή φαίνεται να βρίσκεται σε εξέλιξη, όπως μαρτυρούν οι θερμοπηγές της Μυρτιάς που βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα της λίμνης (Δημητρίου και συν., 2001).

Η υδρολογική λεκάνη της λίμνης Τριχωνίδας αποτελείται από έντονα τεκτονισμένους ασβεστόλιθους με υψηλό ρυθμό διήθησης στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της κοιλάδας, τεταρτογενείς διαπλάσεις και Πλειστοκαινικές αποθέσεις γύρω από τη

λίμνη και αδιαπέραστους σχηματισμούς φλίσχη στο δυτικό τμήμα. Επιπροσθέτως, ο φλύσχη παίζει σημαντικό ρόλο στην υδρολογία της περιοχής, καθώς αποτελεί το βασικό γεωλογικό πέτρωμα που βρίσκεται κάτω από όλες τις προαναφερθείσες απομονωμένες στρώσεις πετρωμάτων και απομονώνει την λεκάνη από τις νοτιότερες παρακείμενες λεκάνες, ελαχιστοποιώντας την αποροή του υπόγειου νερού προς την θάλασσα (Zacharias et al., 2003).

1.2.2 Κλίμα

Η λίμνη Τριχωνίδα είναι τοποθετημένη στη Μεσογειακή κλιματική ζώνη, η οποία χαρακτηρίζεται από βροχοπτώσεις κατά το τέλος της φθινοπωρινής περιόδου και στις αρχές της χειμερινής, ενώ η θερινή περίοδος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ξηρή. Η περιοχή χαρακτηρίζεται ως υγρή-ύφυγρη, με το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης να υπερβαίνει πολλές φορές τα 1000 mm. Ειδικά κατά τους θερινούς, αρκετά θερμούς, μήνες παρατηρείται ανεπάρκεια βροχόπτωσης, η οποία κυμαίνεται από 14 mm τον Αύγουστο και φθάνει μέχρι τα 170 mm τον Οκτώβριο-Μάιο. Η λίμνη λόγω της θέσης της και του προσανατολισμού της επηρεάζεται κατά πολύ από τους δυτικούς ανέμους και λιγότερο από τους βόρειους (Κουσουρή και συν., 1993).

1.2.3 Υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η υδροαπτική λεκάνη της Τριχωνίδας έχει έκταση σχεδόν 400 km² και χαρακτηρίζεται ως πεδινή έως ημιορεινή. Οριοθετείται βόρεια από τις κορυφές του Παναιτωλικού όρους (1924 m), νοτιοδυτικά από το όρος Αράκυνθος (<900 m) και ανατολικά από το όρος Χάραμα (<700 m). Στο δυτικό τμήμα της περιοχής οι εκτάσεις είναι πεδινές και στο άκρο της λεκάνης συναντάται η τεχνητή διώρυγα που ενώνει τη λίμνη Τριχωνίδα με τη λίμνη Λυσιμαχεία. Η διώρυγα αυτή διαθέτει θυρόφραγμα, μέσω του οποίου διοχετεύονται οι πλεονάζουσες ποσότητες νερού προς την υδρολογική λεκάνη της λίμνης Λυσιμαχείας και, εν συνεχεία, στο γενικότερο δίκτυο του ποταμού Αχελώου.

Στη λίμνη Τριχωνίδα εκβάλλουν περίπου 20 χείμαρροι με εποχική ροή (Περιβολάρης, Ξεριάς, Μέγα ρέμα, Κρηνόρεμα, Μπότσαρης κ.ά.). Κατά τη βροχόπτωση, αυτά τα υδρορεύματα παρέχουν μεγάλες ποσότητες νερού στη λίμνη εξαιτίας των μεγάλων κλίσεων που παρατηρούνται ιδιαίτερα στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Στο δυτικό τμήμα δεν συναντάται σημαντικός αριθμός υδρορευμάτων, πιθανότατα λόγω της γεωλογικής σύστασης και της μικρής κλίσης του εδάφους. Λόγω της εποχικότητας της ροής, τα παραπάνω υδρορεύματα δεν μπορεί να αποτελούν τη βασική πηγή τροφοδοσίας ενός τέτοιου μεγέθους υδάτινου αποδέκτη. Συνεπώς, στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής σημαντικό ρόλο κατέχουν οι καρστικές πηγές και οι υπόγειες τροφοδοσίες που παρατηρούνται στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της συγκεκριμένης υδρολογικής λεκάνης (Δημητρίου και συν., 2001). Έχει αποδειχθεί ότι σημαντικό ρόλο στην τροφοδοσία και διατήρηση του υδατικού όγκου της λίμνης Τριχωνίδας παίζει η συνεισφορά υπόγειου ύδατος έξω από την υδρολογική της λεκάνη και συγκεκριμένα από τον Εύηνο ποταμό (Zacharias et al., 2003).

Οι μεγαλύτερες απαιτήσεις νερού στην περιοχή προέρχονται από την γεωργία, καθώς οι καλλιεργητικές εκτάσεις με συνολική έκταση 97 km^2 αρδεύονται συστηματικά από την λίμνη Τριχωνίδα. Το νερό αντλείται από τη λίμνη και μέσω αρδευτικών καναλιών διοχετεύεται στα χωράφια. Η αρδευτική περίοδος διαρκεί έξι μήνες (Απρίλιος έως Σεπτέμβριος) και ετησίως αντλούνται για το σκοπό αυτό $62 \times 10^6 \text{ m}^3$. Επιπλέον, από τη λίμνη διοχετεύεται νερό και προς τη δυτικά παρακείμενη λεκάνη μέσω διαύλου ελεγχόμενης ροής, ο όγκος του οποίου φτάνει ετησίως τα $257 \times 10^6 \text{ m}^3$. Μέρος αυτού του νερού χρησιμοποιείται για να καλύψει αρδευτικές ανάγκες εκτός της λεκάνης της Τριχωνίδας ενώ το υπόλοιπο αποτελεί πλεόνασμα κατά τη χειμερινή περίοδο (Zacharias et al., 2003).

Καθώς ο ιεκκρο έ νερο ύ από τη λίμνη είναι μεγάλες, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που υπάρχουν αυξημένες αρδευτικές ανάγκες, το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης έχει βρεθεί να είναι οριακά θετικό με πιθανότητα αναστροφής του (Δημητρίου και συν., 2001).

1.2.4 Ιχθυοπανίδα

Στο σύστημα της λίμνης Τριχωνίδας (λίμνη, ρέματα, ρυάκια) έχουν καταγραφεί 20 είδη ψαριών, από τα οποία 18 ζουν στη λίμνη και δύο διαβιούν μόνιμα στα ρέματα. Από άποψη αριθμού ειδών, το σύστημα της Τριχωνίδας μπορεί να θεωρηθεί αρκετά πλούσιο, καθώς σε αυτό απαντά το 19 % των ψαριών του γλυκού νερού και το 27 % των ενδημικών ειδών της Ελλάδας. Ενδημικά ψάρια της Ελλάδας που συναντώνται στη λίμνη Τριχωνίδα είναι η δρομίτσα (*Rutilus yliciensis*), η γουρνάρα (*Tropidophoxinellus hellenicus*), το στροσίδι (*Barbus albanicus*), η ντάσκα (*Pseudophoxinus stymphalicus*), η μπριάνα (*Barbus peloponnesius*), η λιάρα ή τροχός (*Phoxinellus pleurobipunctatus*) και ο λουρογωβιός (*Economidichthys pygmaeus*). Ενδημικά ψάρια της Αιτολοακαρνανίας είναι το γλανίδι (*Silurus aristotelis*), η τσερούκλα (*Scardinius acarnanicus*) και η τριχωβελονίτσα (*Cobitis trichonica*), ενώ ενδημικό ψάρι της Τριχωνίδας είναι ο νανογωβιός (*Economidichthys trichonis*), το μικρότερο σε μήκος ψάρι της Ευρώπης.

Τα περισσότερα είδη ψαριών της λίμνης Τριχωνίδας δεν έχουν καμία (γωβιοί, σαλιάρα κ.ά) ή έχουν ελάχιστη εμπορική σημασία, χρησιμοποιούμενα σαν ιχθυοτροφή (γουρνάρα). Μερικά είδη, όπως η τσερούκλα, η δρομίτσα και το στροσίδι, παρουσιάζουν μια σχετική ζήτηση στην τοπική αγορά, ενώ άλλα είδη που παρουσιάζουν αξιόλογη εμπορική ζήτηση, όπως το χέλι (*Anguilla anguilla*), ο κυπρίνος (*Cyprinus carpio*) και το γλίνι (*Tinca tinca*), έχουν μικρή πληθυσμιακή παρουσία και δεν εξασφαλίζουν στο ψαράδες ικανοποιητικό εισόδημα. Το μόνο που παρουσιάζει μεγάλη πληθυσμιακή αφθονία, σταθερή καταναλωτική ζήτηση και σχετικά υψηλή εμπορική αξία είναι η αθερίνα (*Atherina boyeri*). Αυτή αποτελεί το βασικό αλίευμα της λίμνης και τον κύριο βιοποριστικό πόρο μεγάλου αριθμού ψαράδων. Συνολικά, εκτιμάται πως η αθερίνα αποτελεί πάνω από τα 2/3 της συνολικής αλιευτικής παραγωγής της λίμνης (Νταουλάς και συν., 1993). Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι η αθερίνα αποτελεί είδος θαλάσσιας προέλευσης και εγκατεστημένοι πληθυσμοί του σε γλυκά νερά στην Ελλάδα απαντούν μόνο στην Τριχωνίδα και στη λίμνη Κουρνά Χανίων (Τίγκιλης, 2007).

1.2.5 Οικολογική σημασία - Απειλές

Η υπόλοιπη πανίδα της περιοχής της λίμνης Τριχωνίδας είναι ιδιαίτερα πλούσια. Από τα θηλαστικά, έχει μεγάλο ενδιαφέρον η παρουσία της βίδρας (*Lutra lutra*), καθώς το είδος αποτελεί σημαντικό δείκτη καλής ποιότητας των εσωτερικών υδάτων και προστατεύεται αυστηρά σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η λίμνη Τριχωνίδα έχει μεγάλη ορνιθολογική σημασία, καθώς αποτελεί χώρο διαχείμασης πολλών υδρόβιων πουλιών, σημαντικό σταθμό κατά τη διάρκεια της αποδημίας αλλά και χώρο φωλιάσματος για σπάνια είδη. Έχουν παρατηρηθεί πάνω από 200 είδη πουλιών, πολλά από τα οποία είναι σπάνια, όπως ο πορφυροτσικνιάς (*Ardea purpurea*).

Η λίμνη Τριχωνίδα ανήκει στο ευρωπαϊκό δίκτυο οικολογικής προστασίας Natura 2000 (Οδηγία Οικοτόπων 92/43/ΕΕ) λόγω και της οικολογικής σπουδαιότητας των ασβεστούχων βάλτων που βρίσκονται στην νότια πλευρά της λίμνης. Οι ασβεστούχοι βάλτοι έχουν μεγάλη περιβαλλοντική σημασία διότι αποτελούν δείκτη διατήρησης των υδρολογικών και φυσικοχημικών συνθηκών της περιοχής. Περίπου τα 3/4 της ακτογραμμής καλύπτονται από καλαμιώνες, με κυρίαρχο είδος το αγριοκάλαμο (*Phragmites australis*), οι οποίοι προσφέρουν καταφύγιο στην άγρια πανίδα, ενώ παράλληλα λειτουργούν και ως φίλτρα για τις κάθε είδους απορροές προς τη λίμνη ή απορρίψεις στερεών απορριμμάτων, υγρών λυμάτων και αποβλήτων.

Ο μεγάλος όγκος νερού της λίμνης Τριχωνίδας, οι σημαντικές υπόγειες και επιφανειακές τροφοδοσίες που δέχεται, καθώς και ο ρυθμός ανανέωσης των νερών της, είναι παράγοντες υπεύθυνοι για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού σε υψηλά επίπεδα. Ωστόσο, η διαχείριση των λυμάτων των παραλίμνιων οικισμών και των αποβλήτων των βιοτεχνικών μονάδων απουσιάζει, ή είναι ελλιπής. Συγκεκριμένα, γύρω από την Τριχωνίδα βρίσκεται εγκατεστημένος μεγάλος αριθμός ελαιοτριβείων, χοιροτροφείων και τυροκομείων, των οποίων τα απόβλητα απορρίπτονται ανεπεξέργαστα κατά περιόδους στα υδρορεύματα που απορρέουν απευθείας στη λίμνη. Τα αστικά λύματα και απορρίμματα που προέρχονται από τους παραλίμνιους οικισμούς επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και τη λίμνη Τριχωνίδα, καθώς ο πληθυσμός το υ πλησιάζει τους 30.000 κατοίκους. Η γεωργία και η κτηνοτροφία αποτελούν την κύρια απασχόληση των κατοίκων της περιοχής και η εντατικοποίησή τους επιβαρύνει τα υδάτινα αποθέματα μέσω της αλόγιστης χρήσης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, της ανεξέλεγκτης

επέκτασης των καλλιεργειών έως τις ακτές της λίμνης, της ελεύθερης και ανεξέλεγκτης βόσκησης των αιγοπροβάτων αλλά και της ελλιπούς υποδομής του αρδευτικού συστήματος (Δημητρίου και συν., 2001).

1.3 Στόχοι της διδακτορικής διατριβής

Η λίμνη Τριχωνίδα είναι η μεγαλύτερη σε έκταση φυσική λίμνη της Ελλάδας και, μαζί με τη διπλανή της λίμνη Λυσιμαχεία, συμπεριλαμβάνεται στο δίκτυο Natura 2000. Εκτός από την οικολογική της αξία έχει και μεγάλη οικονομική σημασία όπως προαναφέρθηκε, συνεπώς η μελέτη του οικοσυστήματός της αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Από την άλλη, το ζωοπλαγκτό της λίμνης Τριχωνίδας, αν και σημαντικότερος οικολογικός παράγοντας σε οποιοδήποτε υδάτινο οικοσύστημα και η κύρια τροφή της αθερίνας που είναι το κυρίαρχο αλίευμα στη λίμνη, δεν έχει μελετηθεί επαρκώς σε αυτό το υδάτινο οικοσύστημα.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, ο γενικότερος στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η καλύτερη κατανόηση του οικολογικού ρόλου που διαδραματίζουν οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί στο σπουδαίο οικοσύστημα της λίμνης Τριχωνίδας. Σε αντίθεση με την αποσπασματική πληροφορία που είναι διαθέσιμη για το λίμνη από προηγούμενες μελέτες, η παρούσα έρευνα αποτελεί μια επισταμένη προσπάθεια τριετούς διάρκειας κατά την οποία πραγματοποιήθηκε μηνιαία παρακολούθηση των διακυμάνσεων του ζωοπλαγκτού στον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα του οικοσυστήματος.

Ειδικότερα, η διατριβή αυτή έχει σαν σκοπό να μελετηθούν οι σημαντικότερες οικολογικές παράμετροι του ζωοπλαγκτού (είδη, αφθονία, εποχικές διακυμάνσεις, βιολογικοί κύκλοι, οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή, μεταναστεύσεις, τροφική σημασία για την αθερίνα). Ταυτόχρονα, με την παράλληλη συλλογή πληθώρας φυσικοχημικών δεδομένων επιχειρείται η συσχέτιση των βιοτικών με τα αβιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Ο απώτερος στόχος της προσπάθειας αυτής είναι να αποτελέσει τον πιλότο μιας διαδικασίας συνεχούς παρακολούθησης (monitoring) της οικολογικής κατάστασης της λίμνης Τριχωνίδας, δεδομένης της παρουσίας στην περιοχή του Τμήματος Διαχείρισης

Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, το οποίο ήταν και η βάση για την πραγματοποίηση της παρούσας διατριβής.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύσσεται, στη συνέχεια, με τη μορφή κεφαλαίων, καθένα από τα οποία διαρθρώνεται ακολουθώντας τη γενικότερη δομή των επιστημονικών δημοσιεύσεων, δηλαδή έχοντας το καθένα μια ξεχωριστή εισαγωγή, μεθοδολογία, αποτελέσματα και συζήτηση.

Στο κεφάλαιο 2 με τίτλο: «Το αβιοτικό περιβάλλον: φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού» παρουσιάζονται πρόσφατα δεδομένα που αφορούν την εποχική διακύμανση και κατακόρυφη διαβάθμιση φυσικοχημικών παραμέτρων (διαφάνεια, θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, pH, αγωγιμότητα), συγκεντρώσεων θρεπτικών (άζωτο, φώσφορος, πυρίτιο) και χλωροφύλλης-α, ενώ γίνεται και μια σύγκριση με παλαιότερα στοιχεία, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανής μεταβολής της τροφικής κατάστασης της λίμνης.

Στο κεφάλαιο 3 με τίτλο: «Σύνθεση ειδών - Χωρική και χρονική κατανομή του ζωοπλαγκτού» γίνεται αναφορά στη σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας, καθώς και στα αποτελέσματα που αφορούν στις εποχικές διακυμάνσεις και τους βιολογικούς κύκλους των ειδών, αλλά και στην οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή τους.

Στο κεφάλαιο 4 με τίτλο: «Ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση του ζωοπλαγκτού» γίνεται αναφορά στη μελέτη μιας ηθολογικής συμπεριφοράς των οργανισμών του ζωοπλαγκτού που είναι γνωστή ως ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση (HKM) και διερευνήθηκε σε τέσσερις εποχές στη λίμνη Τριχωνίδα.

Στο κεφάλαιο 5 με τίτλο: «Το ζωοπλαγκτό ως τροφή της αθερίνας» αποτυπώνονται τα ευρήματα της μελέτης της διατροφής της αθερίνας στη διάρκεια ενός έτους και γίνεται αναφορά στον οικολογικό ρόλο που διαδραματίζει το ζωοπλαγκτό ως η αποκλειστική πηγή τροφής για το συγκεκριμένο είδος ψαριού στη λίμνη Τριχωνίδα.

Στο κεφάλαιο 6 με τίτλο: «Συμπεράσματα» καταγράφονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής και επιχειρείται μια γενικότερη θεώρηση της παρούσας κατάστασης του οικοσυστήματος της λίμνης Τριχωνίδας και της πιθανής μεταβολής αυτής της κατάστασης στο μέλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Το αβιοτικό περιβάλλον:
φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το σύνολο των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του νερού σε ένα υδάτινο οικοσύστημα όπως η λίμνη Τριχωνίδα, συνιστά το αβιοτικό περιβάλλον μέσα στο οποίο διαβιούν οι υδρόβιοι οργανισμοί. Οι κυριότεροι παράγοντες που διαμορφώνουν αυτό το πλαίσιο περιγράφονται παρακάτω.

2.1.1 Φως - Διαφάνεια

Το φως διαδραματίζει βασικό ρόλο για τη ζωή σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα. Μέρος του φωτός που διεισδύει στο νερό απορροφάται από τους φυτικούς οργανισμούς οι οποίοι, μέσω της φωτοσύνθεσης, μετατρέπουν τις απλές ανόργανες ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό σε οργανικά συστατικά απαραίτητα για τη διαβίωσή τους και την αύξηση της βιομάζας τους.

Επίσης, η ηλιακή ενέργεια απο τελεί την κύρια πηγή θερμότητας του νερού της λίμνης, καθώς κάποια μήκη κύματος του φωτός απορροφώνται από τα μόρια του νερού και από την αιωρούμενη σωματιδιακή ύλη.

Παράλληλα, το φως βοηθάει τους ζωικούς οργανισμούς να κινούνται και να εκτελούν τις λειτουργίες εκείνες που απαιτούν την αίσθηση της όρασης, ενώ επηρεάζει τους φυσιολογικούς ρυθμούς κάποιων ζωικών οργανισμών και κρίσιμες ζωτικές διαδικασίες όπως οι μεταναστεύσεις και οι περίοδοι αναπαραγωγής (Κεχαγιάς, 2006).

Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια μιας υδάτινης μάζας εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής, την εποχή και την ώρα της ημέρας και τις ατμοσφαιρικές και μετεωρολογικές συνθήκες, ενώ ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους. Το βάθος στο οποίο φτάνει η ηλιακή ακτινοβολία αλλά και η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στους φυτικούς οργανισμούς εξαρτώνται κυρίως από την διαφάνεια του νερού, η οποία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα και το είδος των υλικών που είναι διαλυμένα ή αιωρούνται σε αυτό. Συνεπώς, η διαφάνεια του νερού είναι ένας παράγοντας ζωτικής σημασίας για τα υδάτινα οικοσυστήματα, αφού καθορίζει την διαθεσιμότητα του φωτός και τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα στην υδάτινη στήλη. Η μέτρηση της διαφάνειας χρησιμοποιείται για την

εκτίμηση του βάθους της εύφωτης ζώνης, καθώς και ως κριτήριο για την τροφική κατάταξη των διάφορων υδάτινων περιοχών (Carlson, 1977).

2.1.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί έναν παράγοντα - κλειδί στα υδάτινα περιβάλλοντα, καθώς εμπλέκεται τόσο σε φυσικοχημικές όσο και σε βιολογικές διεργασίες. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία (μαζί με την αλατότητα στη θάλασσα) καθορίζει την πυκνότητα του νερού, ενώ επηρεάζει την διαλυτότητα κάποιων αλάτων και την περιεκτικότητα των διαλυμένων αερίων σε αυτό (όπως το O₂, το CO₂ και το N₂). Ο ρυθμός αρκετών χημικών και βιοχημικών/μεταβολικών αντιδράσεων ελέγχεται από τη θερμοκρασία, ενώ η κατανομή της στην υδάτινη στήλη επηρεάζει και την κατανομή των υδρόβιων οργανισμών, αφού ο καθένας έχει ένα θερμοκρασιακό εύρος ανοχής (Wetzel, 2001). Οι χωρικές και χρονικές μεταβολές της επηρεάζουν επίσης τη συμπεριφορά και την αναπαραγωγή των οργανισμών.

Το νερό θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία ενώ μεταξύ του νερού και της ατμόσφαιρας συμβαίνει συνεχής ανταλλαγή θερμότητας. Η θερμοκρασία του νερού στις υδάτινες μάζες μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο, την κυκλοφορία του αέρα, τη νεφοκάλυψη, το βάθος της υδατοσυλλογής, την εποχή και την ώρα της ημέρας. Εξαιτίας της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού, η ημερονύκτια μεταβολή της θερμοκρασίας είναι πολύ μικρή (για τους ωκεανούς είναι της τάξης των 0,3 °C) και συνήθως περιορίζεται στα επιφανειακότερα στρώματα (Κεχαγιάς, 2006). Σε μία λίμνη, αυτά τα στρώματα απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Λόγω της επιφανειακής κυκλοφορίας του νερού η θερμότητα αυτή διαχέεται στο υδάτινο σύστημα, όμως μέχρι ένα περιορισμένο βάθος. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην θερμική στρωμάτωση της λίμνης, με ένα θερμότερο και λιγότερο πυκνό υπερκείμενο στρώμα νερού (επιλίμνιο) και ένα ψυχρότερο και μεγαλύτερης πυκνότητας στρώμα που βρίσκεται βαθύτερα (υπολίμνιο). Η κατακόρυφη μείωση της θερμοκρασίας, ωστόσο, δεν είναι ομαλή, καθώς σε κάποιο σημείο μειώνεται απότομα μέσα σε μικρή έκταση βάθος. Αυτό το μεταβατικό στρώμα που χαρακτηρίζεται από απότομη μείωση της θερμοκρασίας ονομάζεται θερμοκλινές ή μεταλίμνιο και μπορεί να

ποικίλει τόσο το βάθος στο οποίο αναπτύσσεται, όσο και η κατά βάθος έκτασή του (ή πάχος) (Wetzel, 2001). Γενικά, το φαινόμενο της θερμικής στρωμάτωσης μιας λίμνης επηρεάζεται από διάφορα παραμέτρους όπως ο άνεμος το βάθος της, η θερμική ακτινοβολία του ήλιου και από το λόγο μεταξύ του βάθους του υδάτινου στρώματος που μπορεί να αναμιχθεί από τη δράση του αέρα προς το μέγιστο βάθος της λίμνης (Κουσουρή, 1998).

Η δημιουργία του θερμοκλινούς σε μία λίμνη έχει μεγάλη σημασία καθώς καθιστά αδύνατη την ανταλλαγή θρεπτικών συστατικών και αερίων μεταξύ των δύο στρωμάτων που διαχωρίζει, ενώ δυσχαιραίνει και την μετακίνηση των μικρότερων οργανισμών. Σε εύκρατες περιοχές παρατηρείται η ανάπτυξη ενός εποχικού θερμοκλινούς, που διαρκεί από το τέλος της άνοιξης έως και τους καλοκαιρινούς μήνες. Το φθινόπωρο, τα επιφανειακά στρώματα του νερού αρχίζουν να ψύχονται, προοδευτικά η πυκνότητά τους αυξάνει και βυθίζονται, με αποτέλεσμα να προκαλείται ανάμιξη των υδάτων. Με αυτό το φαινόμενο, που είναι γνωστό ως φθινοπωρινή αναστροφή, τα βαθύτερα στρώματα εμπλουτίζονται με οξυγόνο ενώ τα επιφανειακά στρώματα εμπλουτίζονται με θρεπτικά άλατα, κυρίως αζώτου και φωσφόρου, τα οποία μεταφέρονται από τα μεγαλύτερα βάθη όπου βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις λόγω της εντονότερης αποσύνθεσης και της απουσίας του φυτοπλαγκτού που θα τα προσλάμβανε. Ανάλογα με την συχνότητα ανάμιξης των υδάτων κατά τη διάρκεια του έτους, οι λίμνες διακρίνονται γενικά σε αμικτικές, μονομικτικές, διμικτικές και πολυμικτικές, ενώ ανάλογα με την έκταση της ανάμιξης στον κατακόρυφο άξονα διακρίνονται σε ολομικτικές και μερομικτικές (Wetzel, 2001).

2.1.3 Οξυγόνο

Το διαλυμένο οξυγόνο σε ένα υδάτινο οικοσύστημα αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για το μεταβολισμό και γενικά τη ζωή των οργανισμών. Επιπλέον, ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου αποτελεί θεμελιώδες κομμάτι της εκτίμησης της οικολογικής κατάστασης του οικοσυστήματος, σχετίζεται με τις τροφικές συνθήκες που επικρατούν και μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τη χρήση του νερού.

Οι κυριότερες πηγές οξυγόνωσης ενός υδάτινου οικοσυστήματος είναι η ατμόσφαιρα και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτικών οργανισμών (Brönmark & Hansson, 1998). Το ατμοσφαιρικό οξυγόνο διαχέεται στα επιφανειακότερα στρώματα του νερού και, μέσω της ανάμιξης των υδάτων, κατανέμεται σε μεγαλύτερα βάθη. Ωστόσο, το θερμοκλινές που αναπτύσσεται ιδιαίτερα το καλοκαίρι, εμποδίζει τη μεταφορά του οξυγόνου σε μεγαλύτερα βάθη, η οποία όμως πραγματοποιείται κατά την περίοδο ανάμιξης των υδάτων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το οξυγόνο που παράγεται από τη φωτοσύνθεση εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του φωτός, η οποία μειώνεται με το βάθος.

Η διαλυτότητα αλλά και η κατανομή του οξυγόνου σε μια υδάτινη μάζα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, την αλατότητα, τον κυματισμό στην επιφάνεια και τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Chapman & Kimstach, 1996). Έτσι, η διαλυτότητα του οξυγόνου αυξάνεται καθώς μειώνεται η θερμοκρασία, ενώ η διαθεσιμότητά του επηρεάζεται και από τον ρυθμό κατανάλωσής του από τους αερόβιους οργανισμούς, καθώς και από τις διαδικασίες αποσύνθεσης της οργανικής ύλης.

Κατά τη διάρκεια της θερμικής στρωμάτωσης των υδάτων, η ζώνη αποσύνθεσης της οργανικής ύλης (τροφολυτική ζώνη) περιορίζεται στο υπολίμνιο και το οξυγόνο σε αυτή καταναλώνεται με μεγαλύτερους ρυθμούς (Wetzel, 2001). Ειδικά στην περίπτωση εύτροφων οικοσυστημάτων, όπου ευνοείται η παραγωγή άφθονης βιομάζας στα ανώτερα στρώματα του νερού, η αποσύνθεση μεγάλης ποσότητας νεκρής οργανικής ύλης προκαλεί έντονη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στα βαθύτερα στρώματα. Η κατανομή αυτή καλείται κλινόβαθμη κατανομή (Κουσουρής, 1998). Αντιθέτως, σε λιγότερο παραγωγικά οικοσυστήματα, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ρυθμίζεται κυρίως από φυσικές διεργασίες, όπως η κυκλοφορία του νερού και η ανεμογενής ανάδευση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, κατά τη θερινή στρωμάτωση των υδάτων, το οξυγόνο στο επιλίμνιο ελαττώνεται εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, ενώ στα βαθύτερα στρώματα (μεταλίμνιο και υπολίμνιο) βρίσκεται στα επίπεδα της περιόδου κυκλοφορίας του νερού, αλλά με διαρκή ελάττωσή του. Η κατανομή αυτή χαρακτηρίζεται ως ορθοκλινής κατανομή (Κουσουρής, 1998).

2.1.4 Ενεργός οξύτητα (pH)

Η ενεργός οξύτητα (pH) ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου ($-\log_{10}[\text{H}^+]$) στο νερό. Η κλίμακα του pH κυμαίνεται από 0 έως 14 (πολύ όξινο έως πολύ αλκαλικό, αντίστοιχα), με την τιμή του $\text{pH} = 7$ να αντιστοιχεί στην ουδέτερη κατάσταση. Γενικά, πολύ χαμηλές τιμές pH συναντώνται σε κάποιες ηφαιστειακές λίμνες, ενώ πολύ υψηλές σε μερικές κλειστές αλκαλικές νατριούχες λίμνες (Κουσουρής, 1998).

Το pH στο νερό καθορίζεται κυρίως από την ισορροπία μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), των όξινων ανθρακικών ιόντων (HCO_3^-), των διττανθρακικών ιόντων (CO_3^{2-}) και των ιόντων υδρογόνου (H^+) και υδροξυλίου (OH^-). Η αύξηση του pH στα υδάτινα οικοσυστήματα συνήθως σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση και με την αύξηση των ανθρακικών ιόντων, ενώ η μείωσή του οφείλεται πιθανώς στην αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών.

Κατά τις περιόδους στρωμάτωσης, η κατανομή του pH είναι κλινόβαθμη και αυτό οφείλεται κυρίως στην κατανάλωση του CO_2 στο επιλίμνιο κατά τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών και στην απελευθέρωσή του στο υπολίμνιο, κυρίως κατά την αποσύνθεση νεκρών πλαγκτικών οργανισμών και των οργανικών υλικών του πυθμένα. Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης προκαλεί αύξηση του pH καθώς δεσμεύει CO_2 ενώ, αντίθετα, με την αναπνοή και την αποσύνθεση το pH μειώνεται, καθώς ελευθερώνεται CO_2 (Wetzel, 2001).

Οι διαφορετικές τιμές του pH επιδρούν στην παραγωγικότητα του φυτοπλαγκτού αλλά και στην ικανότητα διαβίωσης, άρα και της κατανομής, διαφόρων ζωικών οργανισμών (Κεχαγιάς, 2006). Η μείωση του pH έχει αρνητική επίπτωση στην αναπαραγωγή πολλών ειδών ζωοπλαγκτικών οργανισμών, εντόμων και ψαριών, μειώνοντας συνεπώς την αφθονία τους. Επιφέρει επίσης μεταβολές στη σύνθεση της βιοκοινωνίας τόσο του φυτοπλαγκτού όσο και του ζωοπλαγκτού, οδηγώντας στην κυριαρχία μεγάλωσμων δεινομαστιγωτών στην πρώτη περίπτωση και στην αντικατάσταση των κλαδόκερων του γένους *Daphnia* από μεγάλωσμο κωπηπόδα στη δεύτερη (Brönmark & Hansson, 1998). Τέλος, το pH μπορεί να μεταβάλει το ρυθμό απορρόφησης των φωσφορικών από τους φυτικούς οργανισμούς, επηρεάζοντας άμεσα τη δράση των

ενζύμων, τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης, ή αλλάζοντας το βαθμό ιονισμού των φωσφορικών ιόντων (Wetzel, 2001).

2.1.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα φυσικά νερά προσδιορίζει την ικανότητα του νερού να άγει ένα ηλεκτρικό φορτίο και αποτελεί ένδειξη του συνόλου των ηλεκτρολυτών τους. Αποτελεί, δηλαδή, δείκτη των διαλυμένων αλάτων στα νερά (Κουσουρής, 1998). Στους παράγοντες που επηρεάζουν την αγωγιμότητα περιλαμβάνεται η γεωλογική σύσταση της περιοχής, το μέγεθος της λεκάνης απορροής, άλλες πηγές ιόντων (όπως τα απόβλητα, ατμοσφαιρικές εισροές, γεωργικές και αστικές απορροές), το ποσοστό εξάτμισης και ο βακτηριακός μεταβολισμός (lakeaccess.org/russ/conductivity.htm). Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση των ιόντων, τόσο υψηλότερη είναι και η αγωγιμότητα (Wetzel, 2001).

Βαθμιαία αύξηση της αγωγιμότητας μπορεί να συνδεθεί με την παλαίωση μιας υδάτινης μάζας, καθώς και με την αύξηση των θρεπτικών συστατικών της (ευτροφισμός). Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η αγωγιμότητα στα γλυκά νερά, τόσο μεγαλύτερη είναι η βιολογική τους παραγωγικότητα (Κουσουρής, 1998). Υψηλές τιμές αγωγιμότητας παρατηρούνται σε εύτροφες λίμνες (Boyd, 2000).

2.1.6 Θρεπτικά

Είναι γνωστό πως η πρωτογενής παραγωγικότητα στο νερό εξαρτάται και από τα διαλυμένα σε αυτό θρεπτικά άλατα, τα οποία οι φυτικοί οργανισμοί χρησιμοποιούν ως «δομικά υλικά». Στα περισσότερα υδάτινα οικοσυστήματα υπάρχει δυσαναλογία μεταξύ των διαθέσιμων θρεπτικών και της ζήτησής τους από τους φωτοσυνθέτοντες οργανισμούς, με συνέπεια το θρεπτικό που δεν επαρκεί να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξή τους. Συνήθως, ο φώσφορος και το άζωτο θεωρούνται ως οι πιο σημαντικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών, οπωσδήποτε όμως παίζουν ρόλο και ορισμένες βιταμίνες και ιχνοστοιχεία (Wetzel, 2001). Η περιεκτικότητα του νερού της λίμνης σε θρεπτικά καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (όπως το

μέγεθος, ο τύπος των πετρωμάτων και η φυτοκάλυψη) και από την ανθρώπινη δραστηριότητα εντός των ορίων της.

Άζωτο

Στα υδάτινα οικοσυστήματα, το άζωτο συναντάται ως διαλυμένο μοριακό άζωτο (N_2), άζωτο αμμωνιακών (NH_3^+-N), νιτρωδών (NO_2^--N) και νιτρικών ιόντων ($NO_3^{2-}-N$), ενώ ένα σημαντικό μέρος του βρίσκεται σε οργανική μορφή (αμινοξέα, πρωτεΐνες, κ.ά.).

Το ατμοσφαιρικό άζωτο εισέρχεται στο νερό της λίμνης από κατακριμνήσματα ή μέσω της αζωτοδέσμευσης από φυτικούς οργανισμούς. Η αζωτοδέσμευση μπορεί να συνεισφέρει μέχρι και κατά 50 % στο συνολικό περιεχόμενο της λίμνης (Brönmark & Hansson, 1998). Επίσης, πηγή αζώτου αποτελεί και η εισροή υδάτων πλούσιων σε αζωτούχες ενώσεις, αλλά και η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων. Απώλειες αζώτου συμβαίνουν κατά την απορροή νερού από τη λίμνη, κατά την αναγωγή των νιτρικών ιόντων σε μοριακό άζωτο μέσω της βακτηριακής απονιτροποίησης που οδηγεί στην επιστροφή του αζώτου στην ατμόσφαιρα, ενώ υπάρχουν και απώλειες προς τον πυθμένα λόγω της ιζηματοαπόθεσης ανόργανων και οργανικών αζωτούχων συστατικών (Κουσουρής, 1998).

Ο κύκλος του αζώτου στα υδάτινα οικοσυστήματα επιτελείται κυρίως από την οξείδωση και αναγωγή των αζωτούχων ενώσεων και από τη φωτοσυνθετική ενσωμάτωση και χρήση του από τα φυτά (Κουσουρής, 1998). Η κατανομή του αζώτου με την οξειδωμένη (νιτρικά ιόντα) και με την ανηγμένη του μορφή (αμμωνιακά ιόντα) διαφέρει σημαντικά μεταξύ εύτροφων και oligότροφων λιμνών. Σε oligότροφες λίμνες, τα αμμωνιακά ιόντα βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις χωρίς να παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις με το βάθος, εξαιτίας της παρουσίας οξυγόνου σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη. Σε εύτροφες λίμνες, ωστόσο, οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα είναι πιο πολύπλοκες λόγω της απελευθέρωσης αμμωνιακών ιόντων από τα ανώτερα στρώματα του πυθμένα, ως αποτέλεσμα βακτηριακής αποικοδόμησης της οργανικής ύλης σε συνθήκες χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου (Brönmark & Hansson, 1998). Η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων συνήθως ακολουθεί την καμπύλη του οξυγόνου και, σε εύτροφες λίμνες όπου η συγκέντρωση οξυγόνου είναι χαμηλότερη στα βαθύτερα στρώματα, το μεγαλύτερο μέρος των νιτρικών ανάγεται σε αέριο άζωτο (N_2) (Brönmark & Hansson, 1998).

Φώσφορος

Ο φώσφορος είναι βασικό θρεπτικό στοιχείο και, καθώς στην υδρόσφαιρα βρίσκεται με τη μικρότερη αφθονία σε σχέση με τα άλλα κύρια θρεπτικά (C, H₂, N₂, O₂, S), συνήθως αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για την πρωτογενή παραγωγικότητα.

Στα υδάτινα οικοσυστήματα ο φωσφόρος είναι κυρίως βιολογικής και γεωλογικής προέλευσης. Απελευθερώνεται στο επιλίμνιο κυρίως από την αποσύνθεση της παράκτιας βλάστησης και στη συνέχεια προσλαμβάνεται από το φυτοπλαγκτό και τους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς. Ακολουθεί ιζηματοποίησή του και διάχυση από το ίζημα στο νερό κατά τη διάρκεια ανοξικών συνθηκών (Κουσουρής, 1998). Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες (οικιακά, βιομηχανικά και γεωργικά απόβλητα) συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσής του στα επιφανειακά νερά, η οποία αποτελεί τη βασική αιτία του φαινομένου του ευτροφισμού (Chapman & Kimstach, 1996).

Το έδαφος, γενικά, είναι πιο πλούσιο σε φώσφορο από ότι το νερό της λίμνης ενώ η μεταφορά του φωσφόρου από το ίζημα στο νερό επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ένας από αυτούς είναι η τιμή του pH, όπου σε τιμές κάτω του 8, η πρόθεση του φωσφόρου στα μέταλλα είναι ισχυρή ενώ σε υψηλότερες τιμές pH, ιόντα υδροξειδίου (OH⁻) ανταλλάσσονται με φωσφορικά ιόντα (PO₄³⁻), τα οποία καθίστανται διαλυτά στο νερό. Αυτό αποτελεί πιθανότατα ένα σημαντικό μέρος της τροφοδοσίας με φώσφορο των εύτροφων λιμνών με υψηλή πρωτογενή παραγωγικότητα, η οποία αυξάνει το pH του νερού και συνεπώς προάγει την απελευθέρωση ορθοφωσφορικών, που με τη σειρά τους ευνοούν την περαιτέρω αύξηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας (Brönmark & Hansson, 1998).

Σε αντίθεση με τις πολυάριθμες μορφές αζώτου, η πιο σημαντική μορφή ανόργανου φωσφόρου στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι τα ορθοφωσφορικά ιόντα (PO₄³⁻), καθώς αυτά είναι άμεσα αφομοιώσιμα από τους φυτικούς οργανισμούς. Ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος του φωσφόρου στα εσωτερικά νερά βρίσκεται και με οργανική μορφή, π.χ. σε οργανοφωσφορικές ενώσεις, κυτταρικά συστατικά, ή προσροφημένος σε ανόργανα κolloειδή και άλλα σωματίδια (Wetzel, 2001).

Η κατακόρυφη κατανομή του φωσφόρου σε μία λίμνη εξαρτάται από το τροφικό της επίπεδο. Η συγκέντρωση του ολικού και του διαλυτού φωσφόρου στις ολιγότροφες λίμνες παρουσιάζει μικρή διακύμανση με το βάθος, ωστόσο σε εύτροφες λίμνες με κλινόβαθμη κατανομή οξυγόνου, συνήθως το περιεχόμενο σε φώσφορο αυξάνεται στο κατώτερο υπολίμνιο (Wetzel, 2001).

Πυρίτιο

Το πυρίτιο βρίσκεται σχετικά σε αφθονία στο νερό και συναντάται ως διαλυμένο πυριτικό οξύ και ως σωματιδιακό πυρίτιο, ενώ προέρχεται κυρίως από τη χημική διάβρωση πυριτικών ορυκτών. Το πυρίτιο χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες από τα διάτομα για την κατασκευή των κυτταρικών τοιχωμάτων και από τα χρυσοφύκη που κατασκευάζουν κυστίδια απόθεσης πυριτίου, ενώ σε κάποια φυτοπλαγκτικά είδη τα κύτταρα καλύπτονται από λέπια πυριτίου. Η συγκέντρωση πυριτίου μειώνεται κατά την περίοδο άνθισης των διατόμων και έχει ως αποτέλεσμα την ραγδαία μείωση της αφθονίας τους και την εποχική διαδοχή ειδών με διαφορετικές απαιτήσεις σε πυρίτιο και διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης. Η συγκέντρωση του πυριτίου συνήθως είναι μεγαλύτερη κοντά στον πυθμένα (Wetzel, 2001).

2.1.7 Χλωροφύλλη

Για τον υπολογισμό της φυτοπλαγκτικής βιομάζας χρησιμοποιείται εκτεταμένα η συγκέντρωση των φωτοσυνθετικών χρωστικών. Η χλωροφύλλη, ειδικά η χλωροφύλλη-α, είναι η κυρίαρχη φωτοσυνθετική χρωστική ουσία που υπάρχει στα εξιδεικευμένα για την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας οργανίδια των φυτικών κυττάρων (χλωροπλάστες).

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης στα υδάτινα οικοσυστήματα παρουσιάζει εποχικές, ή ακόμα και ημερήσιες, διακυμάνσεις ή μεταβάλλεται σε σχέση με το βάθος, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε μεγάλες ολιγότροφες λίμνες συχνά συναντάται αυξημένη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε βάθη του ανώτερου υπολίμνιου, η οποία προέρχεται κυρίως από φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς ικανούς να φωτοσυνθέτουν σε χαμηλές συνθήκες φωτός (Wetzel, 2001).

2.1.8 Τροφική κατάσταση του οικοσυστήματος

Η παραγωγικότητα ενός υδάτινου οικοσυστήματος επηρεάζεται από διάφορες φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους, ενώ η γνώση του βαθμού τροφικότητας είναι απαραίτητη για την εφαρμογή διαχειριστικών σχεδίων στο εκάστοτε οικοσύστημα.

Σύμφωνα με το σύστημα κατάταξης του OECD (Organization for Economic Cooperation and Development – Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη), η τροφική κατάταξη των λιμνών βασίζεται γενικά στη διαφάνεια του νερού και στη συγκέντρωση φωσφόρου, αζώτου και φωτοσυνθετικών χρωστικών (Wetzel, 2001). Μια απλοποιημένη μέθοδο για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού αποτελεί ο Δείκτης Τροφικής Κατάστασης (ΔΤΚ) του Carlson (1977), γνωστός με τον αγγλικό όρο Trophic State Index (TSI). Ο δείκτης αυτός βασίζεται στη φυτοπλαγκτική βιομάζα για τον προσδιορισμό της τροφικότητας του οικοσυστήματος, η οποία προσδιορίζεται, ανεξάρτητα, από τρεις συνιστώσες: τη χλωροφύλλη-α, τη διαφάνεια του νερού και τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου. Τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από 70 υποδεικνύουν ευτροφικές καταστάσεις, ενώ τιμές μικρότερες από 30 είναι χαρακτηριστικές oligότροφων οικοσυστημάτων (Holdren et al., 2001).

2.1.9 Σκοπός

Η προηγούμενη γενική αναφορά στα στοιχεία του αβιοτικού περιβάλλοντος, κατέδειξε πόσο σημαντικά είναι αυτά για τη ζωή μέσα σε ένα υδάτινο οικοσύστημα. Έτσι, σε μια μελέτη προσανατολισμένη στη διερεύνηση ποικίλων οικολογικών παραμέτρων της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας μιας λίμνης όπως η Τριχωνίδα, δεν θα μπορούσε να μην προηγείται η πληροφόρηση για το αβιοτικό περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι οργανισμοί του ζωοπλαγκτού.

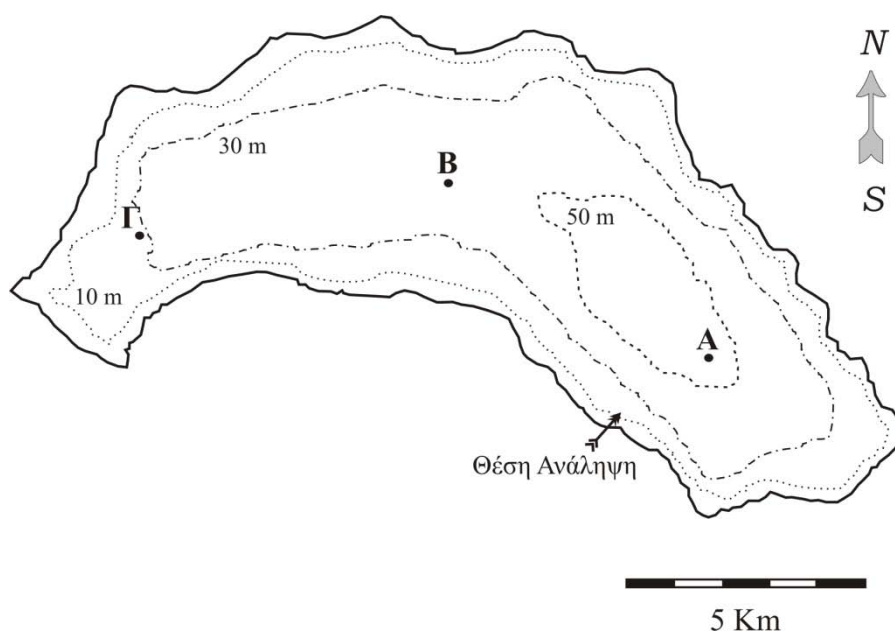
Εξαιτίας της τεράστιας οικολογικής και οικονομικής σημασίας της λίμνης Τριχωνίδας υπήρξαν στο παρελθόν κάποιες προσπάθειες συστηματικής καταγραφής των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του νερού της (Overbeck et al., 1982; Κουσουρή και συν., 1993; Tafas et al., 1997; Μπερταχάς και συν., 1997). Οι παραπάνω μελέτες αποτελούν μια σημαντική βάση τέτοιων δεδομένων και έδειξαν γενικά ότι η λίμνη έχει χαρακτηριστικά oligο-μεσότροφου οικοσυστήματος. Ωστόσο, το χρονικό διάστημα που έχει μεσολαβήσει από τις παραπάνω μετρήσεις μέχρι σήμερα είναι αρκετά μεγάλο (τουλάχιστον 15 χρόνια) και, παρότι τα μορφομετρικά στοιχεία της λίμνης δεν έχουν μεταβληθεί, μια πιο πρόσφατη καταγραφή του αβιοτικού περιβάλλοντος της λίμνης μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην εκτίμηση της τωρινής κατάστασης και στην ανάδειξη

πιθανών περιβαλλοντικών πιέσεων που δέχεται το οικοσύστημα. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στην εποχή μας, όπου είναι ορατοί οι κίνδυνοι που μπορεί να αντιμετωπίσουν ιδιαίτερα τα οικοσυστήματα των εσωτερικών υδάτων από μια πιθανή κλιματική μεταβολή.

Κατά συνέπεια στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της καταγραφής των βασικών φυσικοχημικών παραγόντων του νερού της λίμνης που επηρεάζουν το ζωοπλαγκτό, ενώ μεταξύ των στόχων είναι και η εκτίμηση της τωρινής κατάστασης της λίμνης και οι πιθανές τάσεις μεταβολής αυτής.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε μηνιαία βάση κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 2004 – Αύγουστος 2006 και παράλληλα με τη συλλογή του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα, έγινε καταγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων και της συγκέντρωσης των κυριότερων θρεπτικών στοιχείων. Η πρόσβαση στους σταθμούς δειγματοληψίας γινόταν με το σκάφος “*Margaux*” του τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων από την θέση Ανάληψη (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1: Χάρτης της λίμνης Τριχωνίδας με τους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας (Α, Β, Γ) και την θέση πρόσβασης σε αυτούς (Ανάληψη).

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι ημερομηνίες των δειγματοληψιών κατά τις οποίες συλλέχθηκαν τα φυσικοχημικά δεδομένα και τα δείγματα νερού για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των κυριότερων θρεπτικών στοιχείων και της χλωροφύλλης.

Πίνακας 2.1: Ημερομηνίες συλλογής φυσικοχημικών δεδομένων και δειγμάτων νερού στη λίμνη Τριχονίδα.

	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
2004									24/9	20/10	26/11	14/12
2005	9/2	3/3	23/3	25/4	19/5	27/6	2/8	8/9	29/9	28/10	25/11	15/12
2006	17/1	14/3	31/3	17/4	23/5	4/7	18/7	21/8				

2.2.1 Στο πεδίο

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου από το Σεπτέμβριο του 2004 έως και τον Αύγουστο του 2005 λαμβάνονταν μετρήσεις και δείγματα νερού από 3 πελαγικούς σταθμούς Α, Β και Γ με βάθη 48, 35 και 25 m, αντίστοιχα (Εικόνα 2.1), ενώ κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 2005 – Αύγουστος 2006 δείγματα λαμβάνονταν μόνο από το βαθύτερο σταθμό Α.

Η μέτρηση της διαφάνειας του νερού γινόταν με τη χρήση του δίσκου του Secchi. Ο δίσκος ήταν προσαρτημένος σε βαθμονομημένο σχοινί και το βάθος στο οποίο εξαφανίζονταν και οριακά επανεμφανίζονταν καταγραφόταν ως το βάθος διαύγειας του νερού.

Μετρήσεις θερμοκρασίας, συγκέντρωσης του διαλυμένου O_2 , του pH και της αγωγιμότητας λαμβάνονταν *in situ* με χρήση φορητών οργάνων της εταιρείας WTW, από την επιφάνεια της λίμνης και ανά δύο μέτρα μέχρι το βάθος των 40 m.

Τα δείγματα νερού λαμβάνονταν με δειγματολήπτη τύπου Ruttner χωρητικότητας 2 λίτρων, από την επιφάνεια της λίμνης και ανά 10 m βάθος, δηλαδή στα 0, 10, 20, 30 και 40 m. Από κάθε δείγμα, λαμβάνονταν όγκος νερού 500 ml για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των κυριότερων θρεπτικών και 1500 ml νερού για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης. Τα δείγματα νερού μεταφέρονταν σε πλαστικά μπουκάλια και διατηρούνταν σε φορητό ψυγείο μέχρι και τη μεταφορά τους στο εργαστήριο. Ιδιαίτερη πρόνοια λαμβάνονταν για τα δείγματα της χλωροφύλλης ώστε να μένουν προστατευμένα από το φως, ενώ η συλλογή τους ξεκίνησε από το Μάρτιο του 2005.

2.2.2 Στο εργαστήριο

Η ανάλυση των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης αμμωνιακού ($\text{NH}_3 - \text{N}$), νιτρώδους ($\text{NO}_2 - \text{N}$) και νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3 - \text{N}$) και χλωροφύλλης-α (chl-a) γινόταν άμεσα, ενώ τα υποδείγματα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου (TP) και αζώτου (TN), αλλά και αυτά του πυριτίου ($\text{SiO}_2 - \text{Si}$) καταψύχονταν χωρίς προσθήκη συντηρητικών, όπως προβλέπεται και από τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο εγχειρίδιο των *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Οι συγκεντρώσεις των ολικών (TP και TN) προσδιορίστηκαν σε αδιάθικτα υποδείγματα. Για όλες τις υπόλοιπες αναλύσεις -πλην της χλωροφύλλης- τα δείγματα διηθούνταν μέσω μεμβρανωδών ηθμών πορώδους 45 μm της εταιρείας Pall Corporation πριν από την ανάλυση, για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των κυριότερων θρεπτικών στοιχείων φωσφόρου ορθοφωσφορικών ιόντων, πυριτίου πυριτικών ιόντων, αμμωνιακού, νιτρώδους και νιτρικού αζώτου, ολικού φωσφόρου, ολικού αζώτου και χλωροφύλλης-α, έγινε στο εργαστήριο με φασματοφωτομετρικές μεθόδους. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.

Φώσφορος ορθοφωσφορικών

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης φωσφόρου ορθοφωσφορικών ($\text{PO}_4 - \text{P}$) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ασκορβικού οξέος 4500-P E (APHA, 1998). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον σχηματισμό ενός φωσφορομολυβδαινικού συμπλόκου κατά την αντίδραση των ορθοφωσφορικών με περίσσεια μολυβδαινικού αμμωνίου σε όξινες συνθήκες, το οποίο στη συνέχεια ανάγεται από το ασκορβικό οξύ, παρουσία ιόντων Sb^{3+} , προς ένα προϊόν έντονα χρωματισμένο, το «κυανό του μολυβδαινίου». Στη συνέχεια πραγματοποιείται φασματοφωτομετρική μέτρηση του προς ανάλυση δείγματος στα 880 nm. Η ελάχιστη συγκέντρωση που μπορεί να ανιχνεύσει η μέθοδος είναι περίπου τα 10 $\mu\text{g P/L}$.

Ολικός φώσφορος

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του ολικού φωσφόρου (TP), οι διάφορες φωσφορικές ενώσεις μετατράπηκαν σε ορθοφωσφορικά ιόντα μέσω χώνευσης με θεϊκό

οξύ και peroxodisulfate με τη βοήθεια του Crack Set 10 της εταιρίας Merck (κωδ. 1.14687.0001). Η χώνευση έγινε σε θερμοαντιδραστήρα Spectroquant TR420 της εταιρίας Merck. Στη συνέχεια, η συγκέντρωση των ορθοφωσφορικών προσδιορίστηκε με το Phosphate test της εταιρίας Merck (κωδ. 1.14848.0001). Η μέθοδος αυτή είναι ανάλογη της Standard Methods 4500-P E, που περιγράφηκε παραπάνω για τον προσδιορισμό των ορθοφωσφορικών. Η φασματοφωτομετρική μέτρηση γίνεται στα 690 nm. Τα όρια ανίχνευσης της μεθόδου κυμαίνονται από συγκεντρώσεις 10 έως 1000 $\mu\text{g P/l}$.

Αμμωνιακό άζωτο

Για τον προσδιορισμό του αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_3 - \text{N}$) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φαινόλης 4500- NH_3 D (APHA, 1998). Αρχή αυτής της μεθόδου αποτελεί ο σχηματισμός μιας κυανόχρωμης ένωσης, της ιδοφαινόλης, από την αντίδραση της αμμωνίας, των υποχλωριωδών ιόντων και της φαινόλης που καταλύεται από άλας του μαγγανίου. Στη συνέχεια γίνεται φασματοφωτομετρική μέτρηση του υπό ανάλυση δείγματος στα 630 nm.

Άζωτο νιτρωδών

Για τον προσδιορισμό του αζώτου νιτρωδών ($\text{NO}_2 - \text{N}$), χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 4500 – NO_2^- B (APHA, 1998). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, σε pH από 2 έως 2,5 σχηματίζεται ένα ερυθροπορφυρό διάλυμα με σύζευξη διαζωτομένου σουλφανιλαμιδίου με N-(1-ναφθυλ-)-αιθυλενοδιαμυνο διυδροχλωρίδιο (NED διυδροχλωρίδιο). Στη συνέχεια προσδιορίζεται η συγκέντρωση των νιτρωδών με φασματοφωτομετρική μέτρηση στα 543nm. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό συγκεντρώσεων μεταξύ 10 και 1000 $\mu\text{g NO}_2^- - \text{N/l}$.

Άζωτο νιτρικών

Το άζωτο νιτρικών ($\text{NO}_3 - \text{N}$) προσδιορίστηκε με άμεση φωτομέτρηση του δείγματος στα 220 nm, σύμφωνα με την μέθοδο 4500- NO_3^- B (APHA, 1998). Η μέθοδος είναι κατάλληλη για δείγματα με χαμηλό οργανικό φορτίο, όπως τα μη βεβαρυμένα φυσικά νερά. Η καμπύλη βαθμονόμησης των νιτρικών ακολουθεί τον νόμο του Beer έως τα 11 mg N/l.

Ολικό άζωτο

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου (TN) έγινε με το Nitrogen (total) Cell Test της εταιρίας Merck (κωδ. 1.00613.0001). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην μετατροπή των οργανικών και ανόργανων αζωτούχων ενώσεων σε νιτρικά, μετά από επεξεργασία με οξειδωτικό παράγοντα μέσα σε θερμοαντιδραστήρα. Σε διάλυμα οξιμισμένο μεθειικό και φωσφορικό οξύ, τα νιτρικά αντιδρούν με την 2,6-διμεθυλφαινόλη και σχηματίζουν 4-νιτρο-2,6-διμεθυλφαινόλη, που μετράται φασματοφωτομετρικά στα 340 nm. Με τη μέθοδο αυτή ανιχνεύονται συγκεντρώσεις μεταξύ 0,5 και 15 mg N/l.

Πυρίτιο

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων του πυριτίου πυριτικών (SiO_2 - Si) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 4500-SiO₂ D (APHA, 1998). Η μέθοδος στηρίζεται στον σχηματισμό ενός κίτρινου συμπλόκου των πυριτικών με μολυβδαινικά ιόντα και την αναγωγή του σε κυανόχρωμη ένωση, της οποίας η απορρόφηση είναι πολύ πιο έντονη. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται τα «ενεργά» πυριτικά, τα οποία όμως έχουν και τη μεγαλύτερη σημασία για τα υδάτινα οικοσυστήματα, μιας και είναι αυτά που προσλαμβάνονται από τους οργανισμούς.

Χλωροφύλλη

Το φυτοπλαγκτό που περιέχονταν σε κάθε δείγμα συγκρατούνταν σε φίλτρο ινών υάλου της εταιρείας Whatman (Cat No. 1820-047) με τη βοήθεια συσκευής διήθησης και η εκχύλιση των χρωστικών γινόταν σε υδατικό διάλυμα ακετόνης 90 %. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά με την τριχρωματική μέθοδο, όπως περιγράφεται στην ενότητα 10200 H του *Standards Methods For The Examination Of Water And Wastewater* (APHA, 1998).

Προσδιορισμός της τροφικής κατάστασης

Για τον προσδιορισμό της τροφικής κατάστασης της λίμνης Τριχωνίδας υπολογίστηκε ο δείκτης τροφικής κατάστασης TSI (Trophic State Index), σύμφωνα με τις εξισώσεις του Carlson (1977) για δεδομένα διαφάνειας (SD), χλωροφύλλης - α (chl-a) και ολικού φωσφόρου (TP) ως εξής:

$$TSI (SD) = 60-14,41*\ln(SD)$$

$$TSI (chl-\alpha) = 30,6+9,81*\ln(chl-\alpha)$$

$$TSI (TP) = 4,15+14,42*\ln(TP)$$

Για τον υπολογισμό των TSI (chl- α) και TSI (TP) χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των 0-10 m ως μέση τιμή επιλιννίου, εκφρασμένη σε $\mu\text{g/l}$ (Holdren et al., 2001).

2.2.3 Στατιστική επεξεργασία

Η ύπαρξη διαφορών μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας στις τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των συγκεντρώσεων θρεπτικών και χλωροφύλλης διερευνήθηκε με την μη παραμετρική δοκιμή Kruskal-Wallis, ενώ για την σύγκριση μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό U-test. Όλες οι στατιστικές δοκιμές έγιναν με το πρόγραμμα SPSS Statistics 17.0.

2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά δεδομένα που αφορούν στη διακύμανση των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων καθώς και της συγκέντρωσης των κυριότερων θρεπτικών στοιχείων από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη λίμνη Τριχωνίδα από το Σεπτέμβριο του 2004 έως τον Αύγουστο του 2006 στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

2.3.1 Φυσικοχημικά δεδομένα

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μηνιαία διακύμανση της διαφάνειας του νερού και των κατακόρυφων κατανομών της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, του pH και της αγωγιμότητας όπως καταγράφηκαν στη λίμνη Τριχωνίδα, από το Σεπτέμβριο του 2004 έως τον Αύγουστο του 2006.

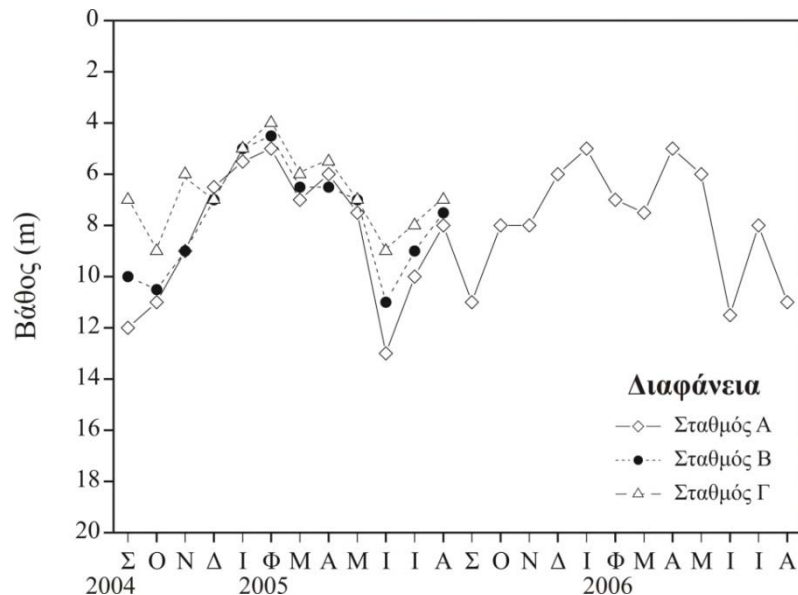
Διαφάνεια

Η διαφάνεια του νερού ήταν μεγαλύτερη κατά τους καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες και μικρότερη το χειμώνα (Εικόνα 2.2). Οι τιμές διαφάνειας κυμάνθηκαν από 4 έως 13 m κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο (2004–05) και από 5 έως 11,5 m κατά την δεύτερη (2005–06), χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο χρόνων (U-test, $p=0,663$). Μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας, τις περισσότερες φορές η διαφάνεια ήταν μικρότερη στον ρηχότερο σταθμό (Στ. Γ) και μεγαλύτερη στο βαθύτερο (Στ. Α), χωρίς ωστόσο να καταγράφεται στατιστικά σημαντική διαφορά (Kruskal-Wallis, $p=0,263$).

Πίνακας 2.2: Μέση τιμή (mean) $\pm$ τυπική απόκλιση (SD) και εύρος διακύμανσης (min – max) των τιμών των μετρούμενων παραμέτρων στο υς τρεις σταθμούς δειγματοληψίας στη λίμνη Τριχωνίδα, από το Σεπτέμβριο 2004 έως τον Αύγουστο 2006.

Παράμετρος	Σταθμός Α			Σταθμός Β			Σταθμός Γ		
	Mean $\pm$ SD	Min - Max	n	Mean $\pm$ SD	Min - Max	n	Mean $\pm$ SD	Min - Max	n
T (°C)	14,2 $\pm$ 5	10 - 29	483	15,4 $\pm$ 5,2	10,4 – 29,1	192	17,3 $\pm$ 5,6	10,3 – 29,7	132
DO (mg/l)	7,7 $\pm$ 3,1	0,04 – 13,9	462	8,01 $\pm$ 2,6	0,03 – 8,2	192	8,8 $\pm$ 2	2 - 14	132
pH	8,1 $\pm$ 0,3	7,4 – 8,5	399	8,2 $\pm$ 0,3	7,4 – 8,6	176	8,4 $\pm$ 0,2	7,5 – 9,4	121
Αγωγιμότητα (μS/cm)	329,6 $\pm$ 42,9	247 - 398	462	317,4 $\pm$ 45,6	260 - 391	176	316,8 $\pm$ 43,3	261 - 387	121
Διαφάνεια (m)	8,1 $\pm$ 2,4	5 – 13	24	7,8 $\pm$ 2,1	4,5 – 11	12	6,7 $\pm$ 1,5	4 – 9	12
Chl – α (mg/m ³)	2,4 $\pm$ 2,0	0,2 – 9,4	85	2,2 $\pm$ 1,3	0,6 – 5,3	36	2,4 $\pm$ 1,1	1,1 – 4,4	27
TP (μg/l)	22,4 $\pm$ 0,02	1 - 131	115	25,8 $\pm$ 0,03	4 - 115	48	36,2 $\pm$ 0,02	5 – 105	36
PO ₄ -P (mg/l)	0,01 $\pm$ 0,01	0 – 0,05	115	0,01 $\pm$ 0,01	0 – 0,06	48	0,02 $\pm$ 0,03	0,002 – 0,1	36
TN (mg/l)	0,5 $\pm$ 0,3	0,03 – 2,2	115	0,5 $\pm$ 0,02	0,02 – 1,2	48	0,8 $\pm$ 0,5	0,2 – 2,1	36
NH ₃ – N (mg/l)	0,01 $\pm$ 0,008	0 – 0,4	115	0,001 $\pm$ 0,008	0 – 0,01	48	0,005 $\pm$ 0,01	0 – 0,03	36
NO ₂ – N (mg/l)	0,01 $\pm$ 0,01	0 – 0,06	115	0,004 $\pm$ 0,01	0 – 0,03	48	0,002 $\pm$ 0,002	0 – 0,008	36
NO ₃ – N (mg/l)	0,12 $\pm$ 0,1	0 – 0,4	115	0,2 $\pm$ 0,1	0 – 0,7	48	0,13 $\pm$ 0,1	0 – 0,4	36
SiO ₂ – Si (mg/l)	2,16 $\pm$ 2,3	0,2 – 12, 7	115	2 $\pm$ 2,2	0,2 – 9,8	48	2,4 $\pm$ 2,2	0,1 – 8,5	36

n = αριθμός δειγμάτων



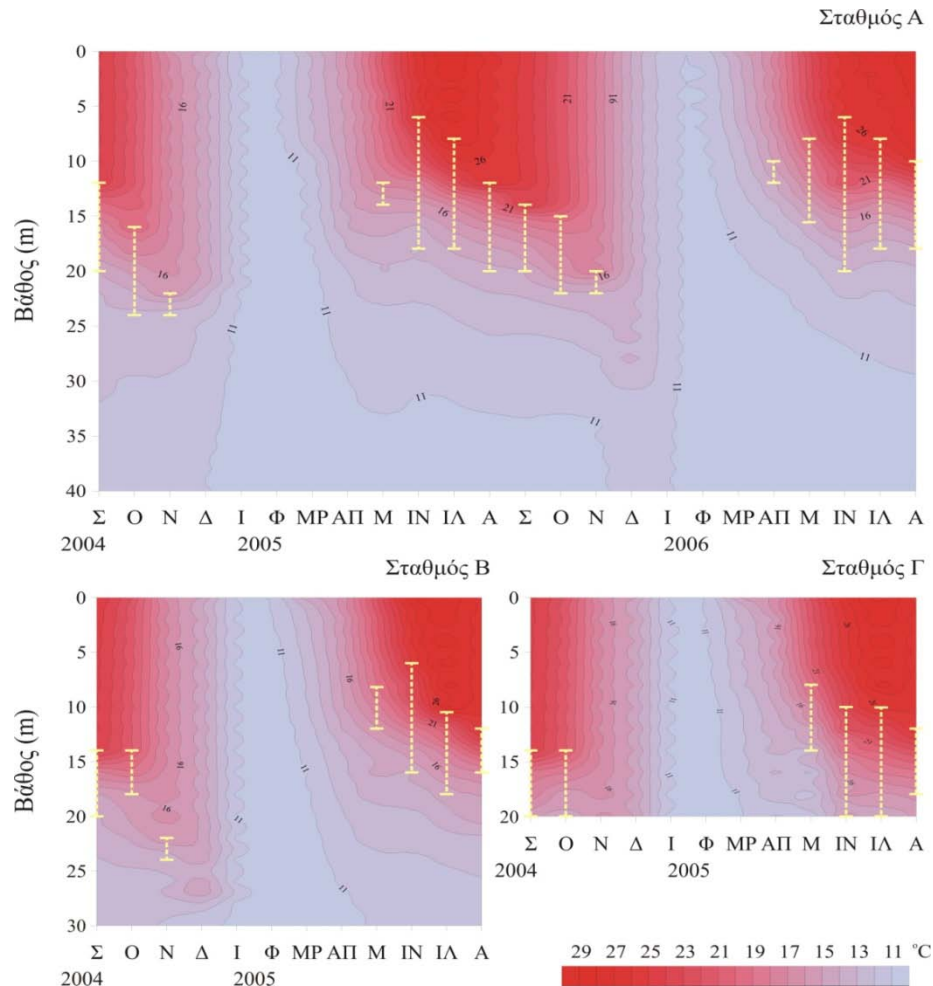
Εικόνα 2.2: Μηνιαία διακύμανση της διαφάνειας στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών (Kruskal-Wallis, $p=0,983$), ενώ οι τιμές δεν διέφεραν ούτε μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (U-test, $p=0,695$). Κατά τους θερινούς μήνες, ελαφρώς μεγαλύτερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν στον σταθμό με το μικρότερο βάθος (Στ. Γ).

Μεγαλύτερες τιμές καταγράφηκαν στην επιφάνεια και κυμάνθηκαν από 10,7 °C (Ιανουάριος, σταθμοί Α, Γ) έως 29,7 °C (Ιούλιος, Σταθμός Γ) κατά την περίοδο 2004–05, και από 11,3 °C (Φεβρουάριος) έως 29 °C (Αύγουστος) κατά την περίοδο 2005–06. Και για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες καταγράφηκαν στο βάθος των 40 m στο σταθμό Α και ήταν ίσες με 10,3 και 10 °C, αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και από την κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας (Εικόνα 2.3), η λίμνη Τριχωνίδα εμφάνισε σταθερή θερμική διακύμανση κατά τη διάρκεια των δύο δειγματοληπτικών περιόδων. Το στρώμα του θερμοκλινούς, που αναπτύσσεται στη λίμνη κατά τα τέλη της άνοιξης μέχρι τις αρχές του φθινοπώρου, εκτείνεται μεταξύ των 10 και 20 m κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

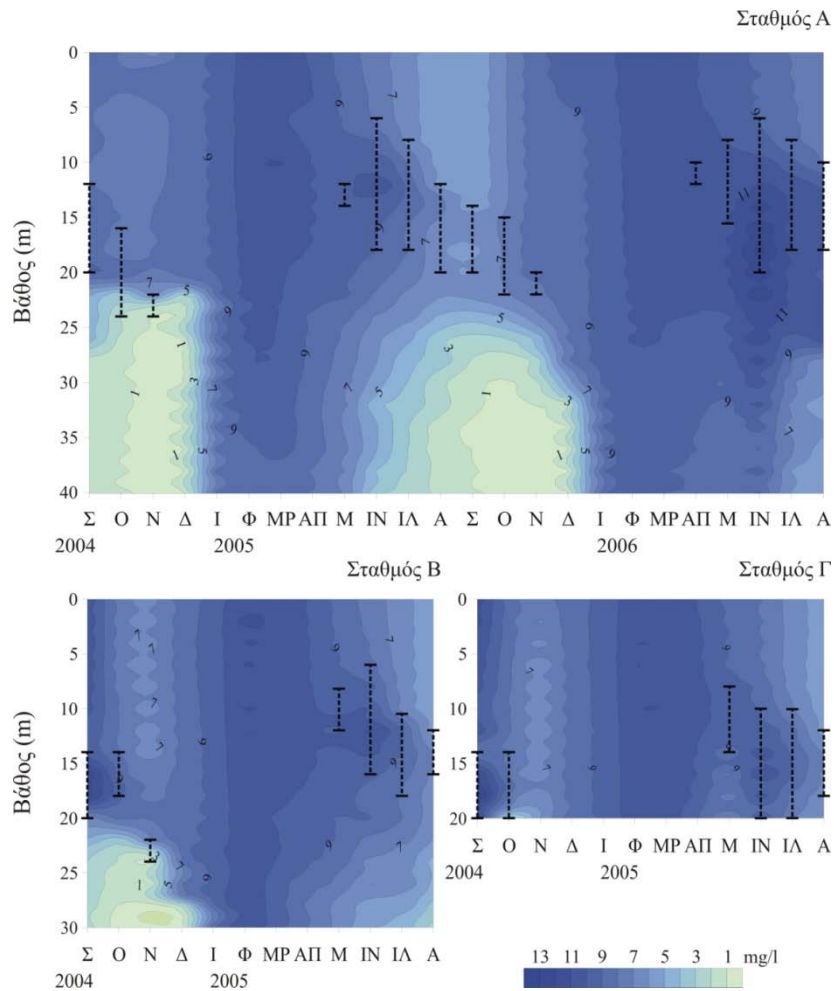


Εικόνα 2.3: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Στο βαθύτερο σταθμό, η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ επιλιμνίου και υπολιμνίου ήταν $15,9^{\circ}\text{C}$ τον Ιούλιο της πρώτης δειγματοληπτικής περιόδου και $14,6^{\circ}\text{C}$ τον Ιούνιο της δεύτερης. Ωστόσο, το φθινόπωρο αυτή η θερμοκρασιακή διαβάθμιση αναπτύσσεται σε μικρότερη έκταση και μειώνεται συνεχώς, ενώ εντοπίζεται σε ολοένα και μεγαλύτερα βάθη. Έτσι, στο τέλος της θερμικής στρωμάτωσης η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ επιλιμνίου και υπολιμνίου έφτασε τους $2,5^{\circ}\text{C}$ κατά την περίοδο 2004–05 και εντοπίστηκε μεταξύ των 22 και 24 m στο βαθύτερο σταθμό, ενώ κατά την περίοδο 2005–06 η διαφορά ήταν $2,4^{\circ}\text{C}$ και εντοπίστηκε μεταξύ των 20 – 22 m. Μετά την καταστροφή του θερμοκλινούς ακολουθεί ανάμιξη του νερού, η οποία στο διάγραμμα της θερμοκρασιακής κατανομής επιβεβαιώνεται με την ομοιόμορφη κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας στην υδάτινη στήλη (Εικόνα 2.3).

Διαλυμένο οξυγόνο

Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου παρατηρήθηκαν στο στρώμα του θερμοκλινούς κατά τη διάρκεια της θερμοστρωμάτωσης (Εικόνα 2.4). Μεταξύ των τριών σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά (Kruskal-Wallis, $p=0,711$), όπως δεν βρέθηκε και μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (U-test, $p=0,196$).



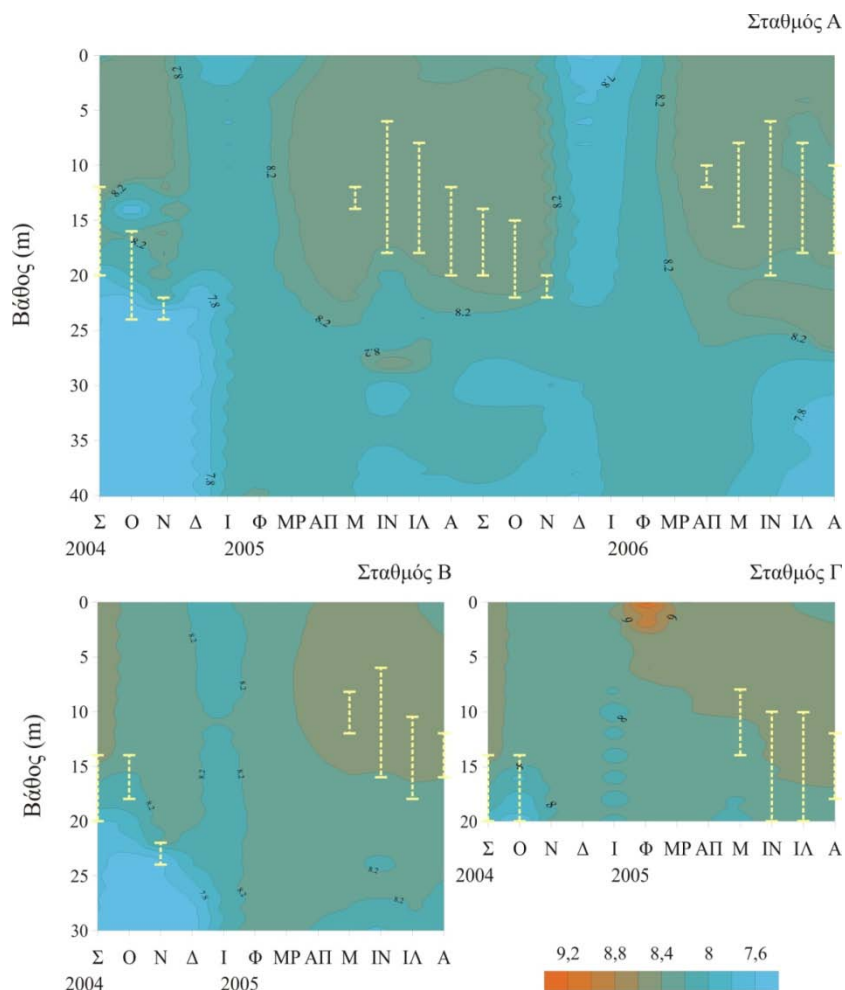
Εικόνα 2.4: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στους 3 σταθμούς, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.4, κατά τους χειμερινούς μήνες η στήλη του νερού εμφανίστηκε καλά οξυγονωμένη. Αντίθετα, κατά την περίοδο της θερμικής στρωμάτωσης παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου μέσα στο στρώμα του θερμοκλινούς, η οποία έφτασε μέχρι τα 14 mg/l κατά τους θερινούς μήνες. Στο επιλίμνιο η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ήταν μειωμένη κατά τους

καλοκαιρινούς και φθινοπωρινούς μήνες, ενώ στο υπολίμνιο παρατηρήθηκε σημαντική ελάττωση του οξυγόνου προς το τέλος της περιόδου θερμικής στρωμάτωσης, με συγκεντρώσεις που άγγιζαν τα 0,03 και 0,5 mg/l στις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα.

Ενεργός οξύτητα (pH)

Η τιμή του pH στη λίμνη Τριχωνίδα κυμάνθηκε από 7,4 έως 9,3 κατά την περίοδο 2004–05 και μεταξύ 7,5 και 8,5 την περίοδο 2005–06, χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών σταθμών (Kruskal-Wallis, $p=0,601$), ή μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (U-test, $p=0,586$).

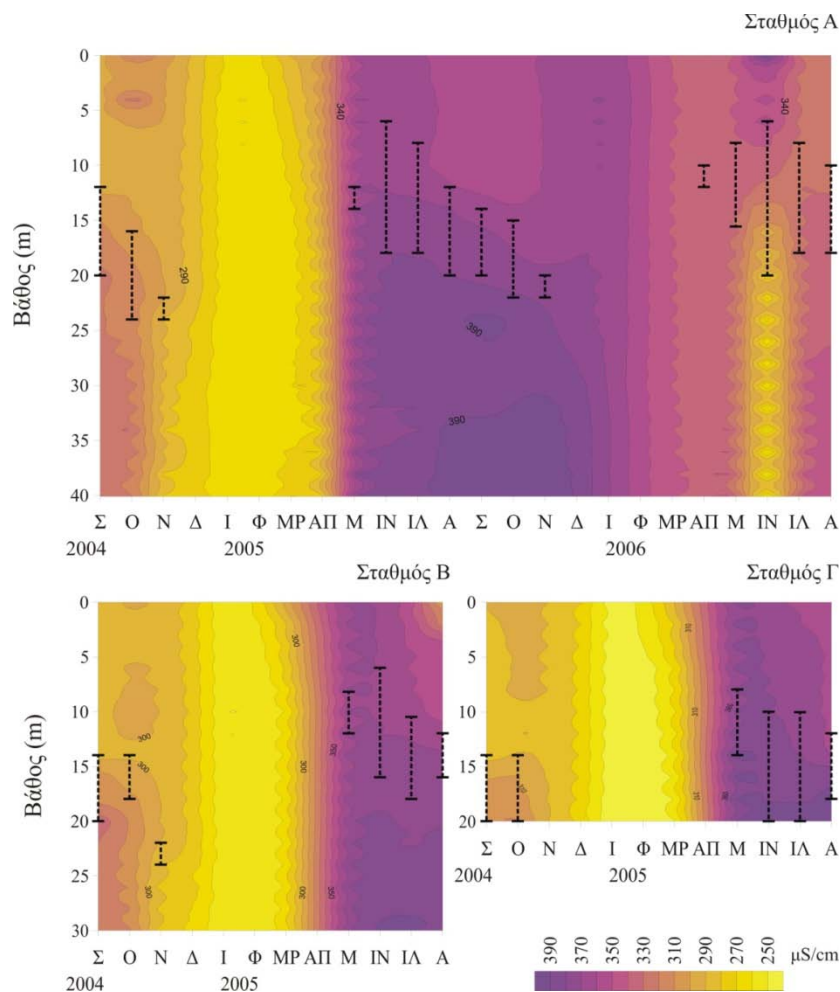


Εικόνα 2.5: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής του pH στους 3 σταθμούς, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Μεγαλύτερες τιμές pH βρέθηκαν στο επιλίμνιο και το μεταλίμνιο κατά την περίοδο της θερμικής στρωμάτωσης, ενώ στα βαθύτερα στρώματα οι τιμές ήταν μικρότερες. Αντίθετα, κατά τους χειμερινούς μήνες δεν υπήρχε σημαντική διαφοροποίηση των τιμών στον κατακόρυφο άξονα και γενικά οι τιμές του pH ήταν μικρότερες. Οι τιμές του pH στο υπολίμνιο μειώνονταν καθώς πλησίαζε το «σπάσιμο» του θερμοκλινούς (Εικόνα 2.5).

Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα στη λίμνη Τριχωνίδα κυμάνθηκε μεταξύ 261 - 398 $\mu\text{S}/\text{cm}$ την περίοδο 2004-05 και μεταξύ 247 - 398 $\mu\text{S}/\text{cm}$ την περίοδο 2005-06.



Εικόνα 2.6: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της αγωγιμότητας στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

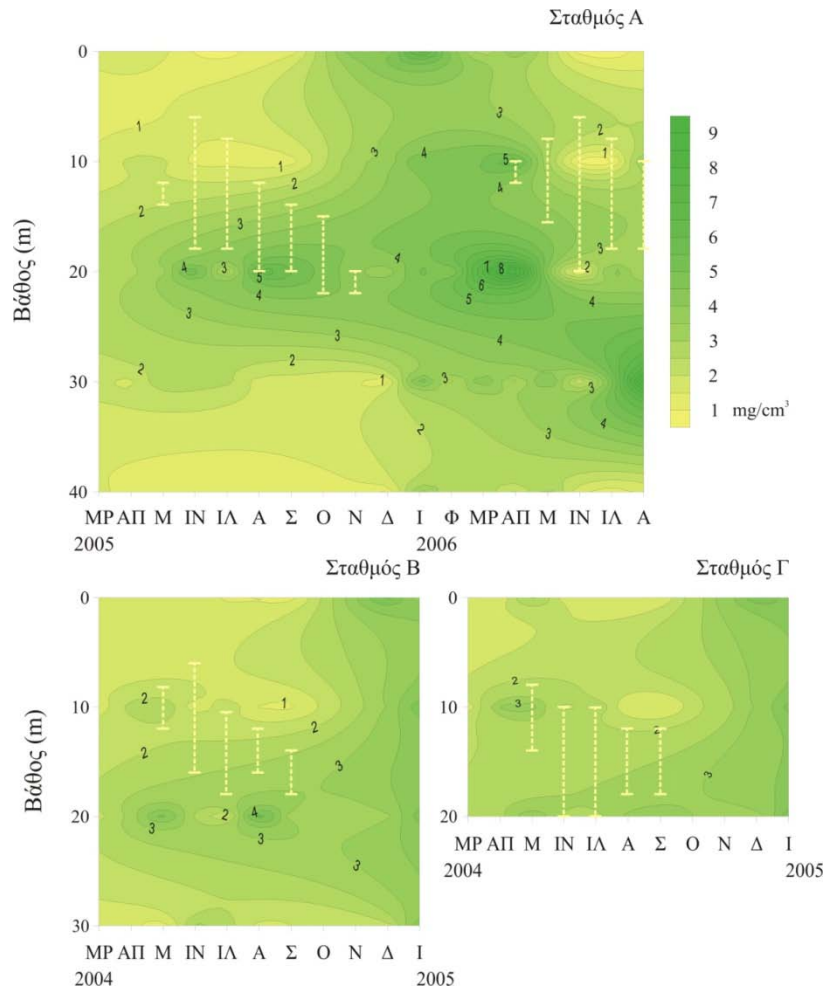
Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές της αγωγιμότητας (Kruskal-Wallis, $p=0,958$). Κατά την περίοδο 2005–06 καταγράφηκαν μεγαλύτερες τιμές, ωστόσο η διαφορά με την πρώτη περίοδο δεν ήταν στατιστικά σημαντική (U-test, $p=0,146$). Κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο η αγωγιμότητα ήταν μικρότερη το χειμώνα και παρουσίασε μεγάλη αύξηση με τη δημιουργία του θερμοκλινούς, ενώ κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο δεν παρατηρήθηκε παρόμοια αύξηση (Εικόνα 2.6).

Στον κατακόρυφο άξονα, η αγωγιμότητα παρουσίασε διαφοροποίηση κατά την περίοδο της θερμικής στρωμάτωσης της λίμνης, με τις μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται στο υπολίμνιο, εκτός από τον Ιούνιο του 2006 οπότε καταγράφηκαν μικρότερες τιμές στο υπολίμνιο. Οι τιμές αυξάνονταν στα μεγαλύτερα βάθη του υπολιμνίου ιδιαίτερα κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Αντίθετα, κατά την περίοδο ανάμιξης, η αγωγιμότητα ήταν ομοιόμορφη σε όλη την υδάτινη στήλη (Εικόνα 2.6).

2.3.2 Χλωροφύλλη-α

Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α στη λίμνη Τριχονίδα κυμάνθηκε από 0,3 έως περίπου 6 mg/m^3 από το Μάρτιο του 2005 έως και το τέλος της πρώτης δειγματοληπτικής περιόδου. Κατά την δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο, οι τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α κυμαίνονταν από 0,2 έως $9,4 \text{ mg/m}^3$. Η σύγκριση των συγκεντρώσεων στα διάφορα βάθη κατά τους κοινούς μήνες μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων επιβεβαίωσε την σημαντική διαφορά της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (U-test, $p=0,037$). Αντίθετα, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών (Kruskal-Wallis, $p=0,849$).

Κατά την περίοδο της θερμικής στρωμάτωσης, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α μέσα στο στρώμα του θερμοκλινούς αλλά και στο ανώτερο υπολίμνιο (Εικόνα 2.7). Αντίθετα, τους χειμερινούς μήνες η κατακόρυφη κατανομή της χλωροφύλλης ήταν περισσότερο ομοιόμορφη στην υδάτινη στήλη. Την περίοδο αυτή αυξάνεται η συγκέντρωσή της στο επιλίμνιο.



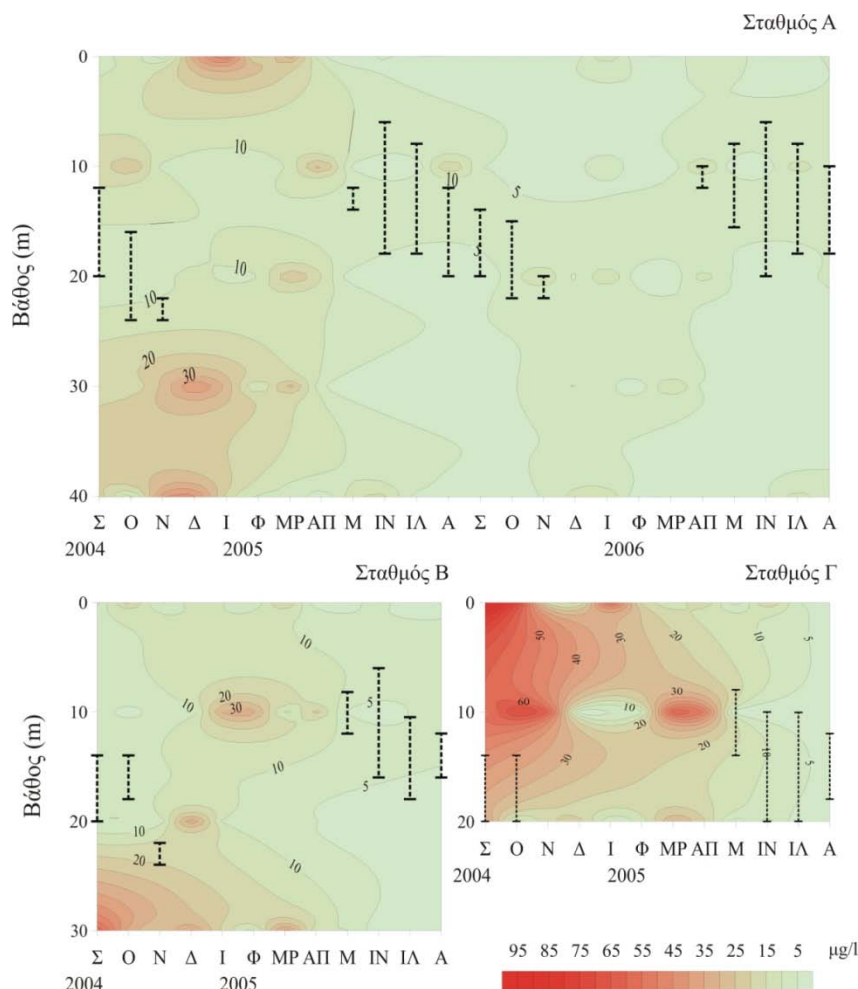
Εικόνα 2.7: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης χλωροφύλλης - α στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

2.3.3 Θρεπτικά

Φώσφορος ορθοφωσφορικών (PO₄ - P)

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση του φωσφόρου των ορθοφωσφορικών που καταγράφηκε στη λίμνη Τριχωνίδα ήταν 95 $\mu\text{g/l}$ κατά την περίοδο 2004-05, ενώ η μέγιστη τιμή την περίοδο 2005-06 έφτασε τα 19 $\mu\text{g/l}$.

Η εποχική διακύμανση αλλά και η κατακόρυφη κατανομή της συγκέντρωσης του φωσφόρου ορθοφωσφορικών φαίνεται να ακολουθεί γενικά την διακύμανση του ολικού φωσφόρου (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης φωσφόρου ορθοφωσφορικών στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

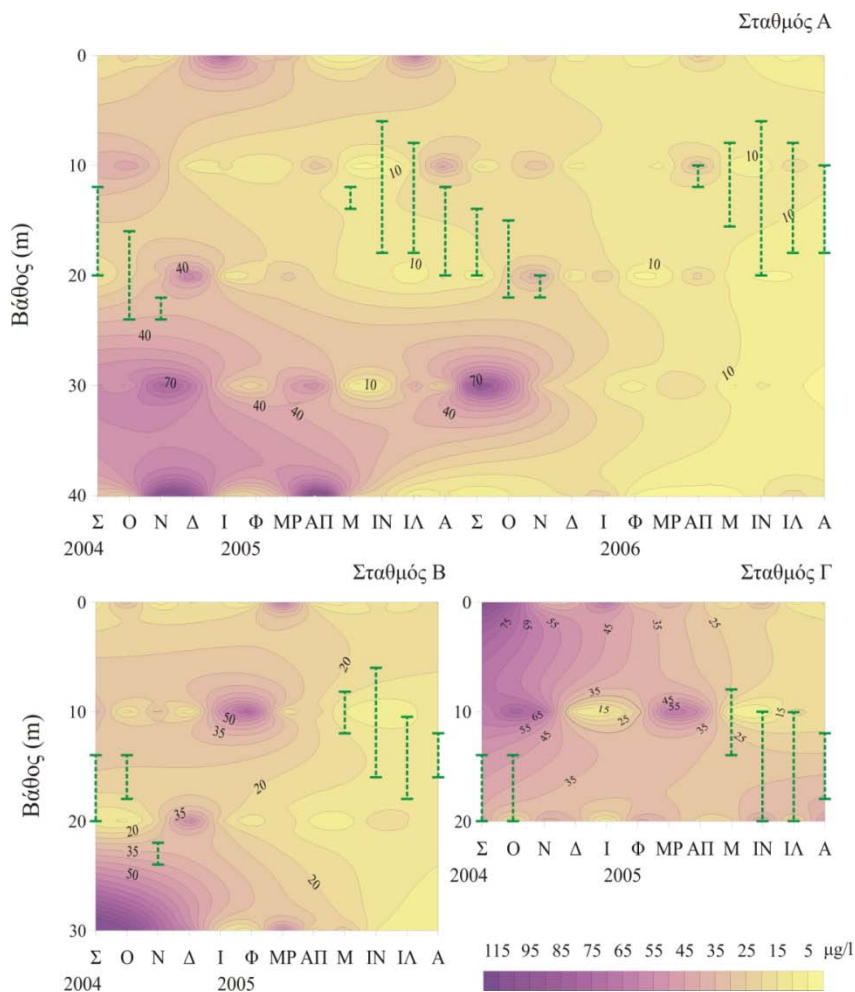
Μεταξύ των σταθμών δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Kruskal-Wallis, $p=0,185$). Όπως φάνηκε από τη διετή καταγραφή στο σταθμό Α, σημειώθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο απ' ότι κατά τη δεύτερη (U-test, $p=0,001$), ενώ στον κατακόρυφο άξονα οι τιμές δεν διέφεραν σημαντικά με το βάθος σε κανένα σταθμό (Kruskal-Wallis, $p>0,05$).

Ολικός Φώσφορος (TP)

Η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (TP) στη λίμνη Τριχωνίδα κυμάνθηκε από 3 έως 131 $\mu\text{g/l}$ κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο και από 1 έως 104 $\mu\text{g/l}$ κατά την δεύτερη, παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο περιόδων (U-

test, $p=0,000$). Μεταξύ των τριών σταθμών, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στον σταθμό Γ (Kruskal-Wallis, $p=0,028$).

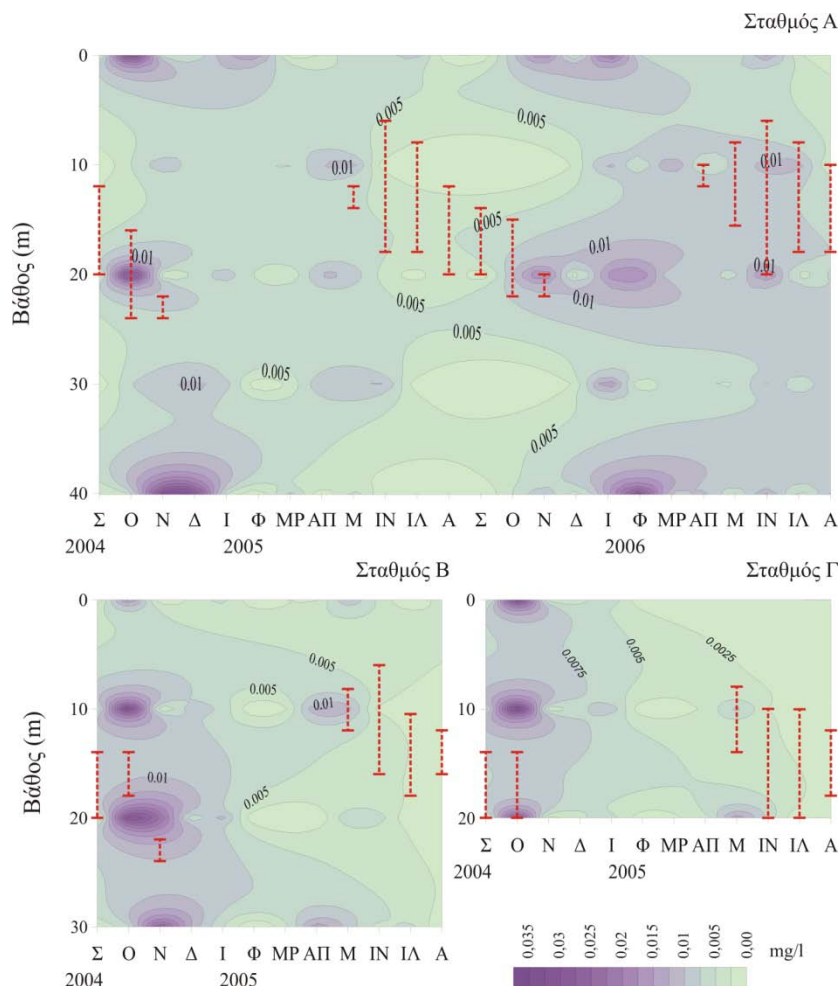
Στο κατακόρυφο επίπεδο, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις φαίνεται να υπάρχουν στο υπολίμνιο στους δύο βαθύτερους σταθμούς Α και Β κυρίως κατά τους φθινοπωρινούς μήνες της πρώτης δειγματοληπτικής περιόδου. Αντίθετα, στον πιο ρηχό σταθμό Γ την ίδια περίοδο βρέθηκαν σχετικά μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο επιλίμνιο. Ωστόσο, οι διαφορές στο κατακόρυφο επίπεδο δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (Kruskal-Wallis, $p=0,200$, $p=0,475$ και $p=0,791$ για τους σταθμούς Α, Β και Γ, αντίστοιχα). Τη δεύτερη περίοδο οι τιμές του ολικού φωσφόρου ήταν χαμηλότερες και σχεδόν αμετάβλητες με το βάθος (Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης ολικού φωσφόρου στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Αμμωνιακό άζωτο ($\text{NH}_3 - \text{N}$)

Η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου στην λίμνη Τριχωνίδα κυμάνθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα, από μηδενική συγκέντρωση έως 0,035 mg/l κατά την περίοδο 2004-05 και 0,031 mg/l κατά την περίοδο 2005-06.



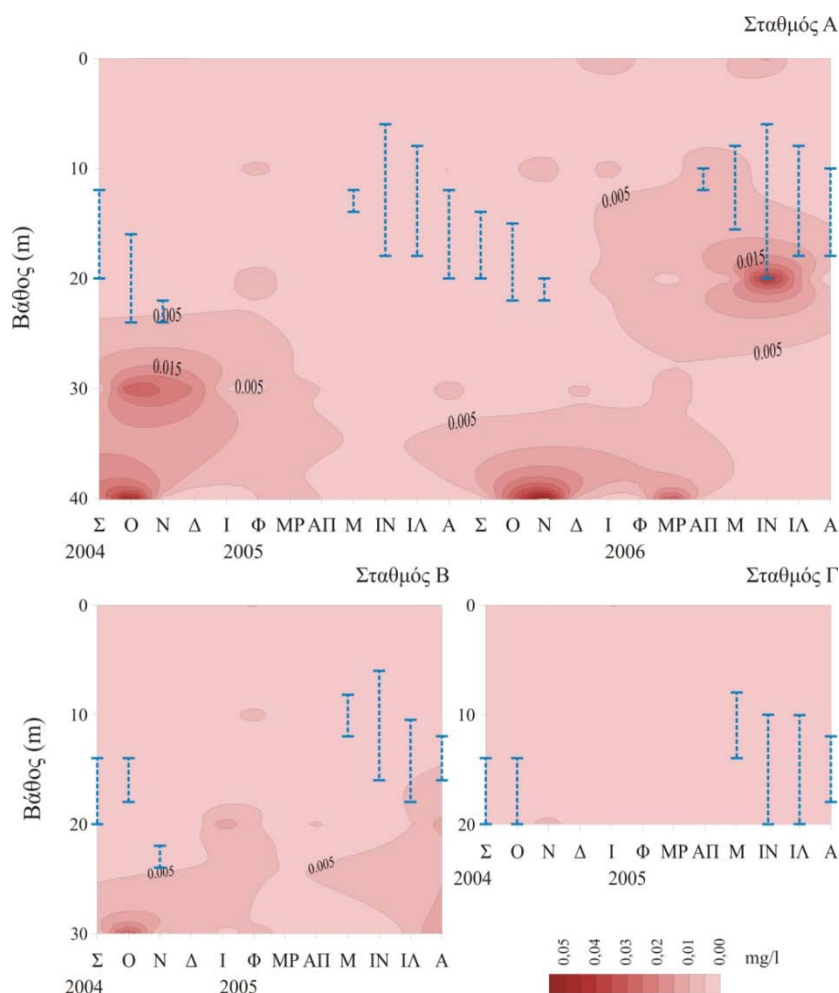
Εικόνα 2.10: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε σημαντική διαφορά στην συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου (Kruskal-Wallis, $p=0,322$). Μικρότερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν την άνοιξη και μεγαλύτερες το φθινόπωρο, το χειμώνα και το καλοκαίρι. Μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά (U-test, $p=0,260$), ωστόσο κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο στο σταθμό Α οι τιμές ήταν αρκετά μεγαλύτερες (Εικόνα 2.10).

Στο κατακόρυφο επίπεδο δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου (Kruskal-Wallis, $p=0,767$).

Αζωτο νιτρώδων ($\text{NO}_2 - \text{N}$)

Η συγκέντρωση του νιτρώδους αζώτου στη λίμνη Τριχωνίδα ήταν χαμηλή, φτάνοντας τα 0,055 mg/l κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο και τα 0,058 mg/l κατά την δεύτερη.



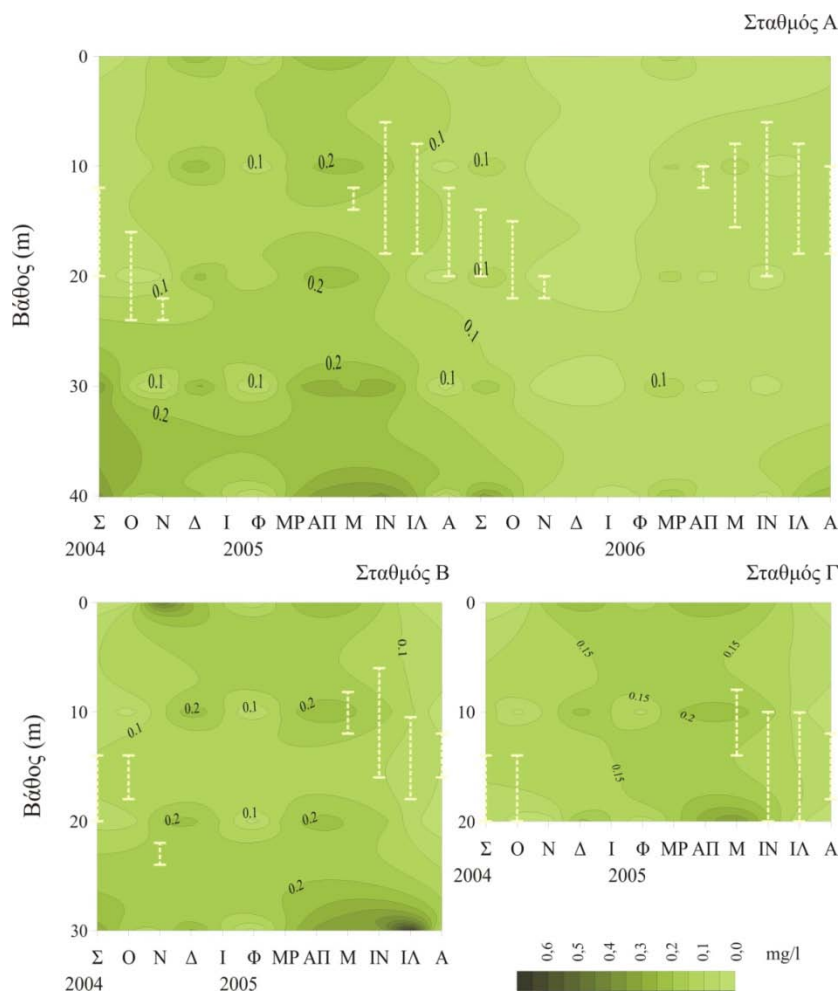
Εικόνα 2.11: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Μεταξύ των τριών σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά της συγκέντρωσης του νιτρώδους αζώτου (Kruskal-Wallis, $p=0,670$). Και στις δύο περιόδους,

μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν κατά το φθινόπωρο (Εικόνα 2.11). Στο κατακόρυφο επίπεδο δε σημειώθηκε σημαντική μεταβολή με το βάθος (Kruskal-Wallis, $p=0,131$).

Αζωτο νιτρικών ($\text{NO}_3 - \text{N}$)

Η συγκέντρωση του αζώτου νιτρικών που καταγράφηκε στη λίμνη Τριχωνίδα είχε μεγάλο εύρος διακύμανσης, φτάνοντας τα 0,718 mg/l στο σταθμό Β την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο και τα 0,362 mg/l την περίοδο 2005-06.



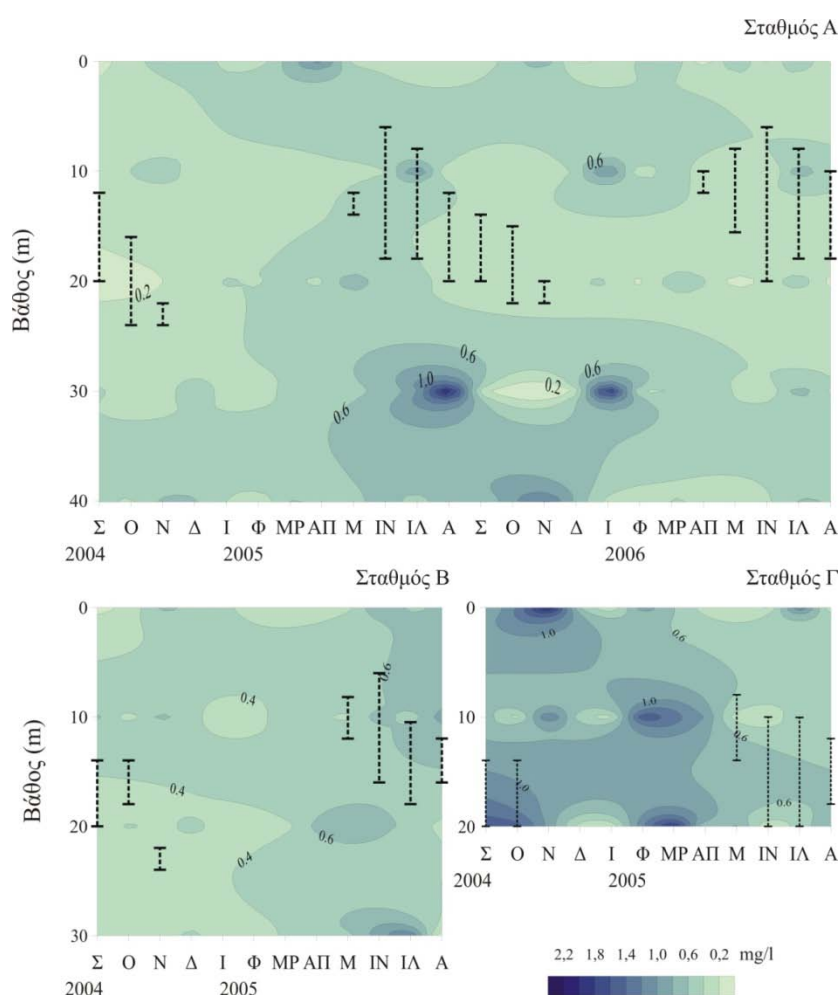
Εικόνα 2.12: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης του αζώτου νιτρικών στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Μεταξύ των τριών σταθμών δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στη συγκέντρωση του αζώτου νιτρικών (Kruskal-Wallis, $p=0,909$), ενώ κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο σημειώθηκαν μεγαλύτερες τιμές (U-test, $p=0,000$).

Στο κατακόρυφο επίπεδο (Εικόνα 2.12) δε σημειώθηκε σημαντική μεταβολή της συγκέντρωσης του αζώτου νιτρικών με το βάθος (Kruskal-Wallis, $p=0,143$).

Ολικό άζωτο (TN)

Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στη λίμνη Τριχωνίδα κυμάνθηκε από 0,02 έως 2,18 mg/l την περίοδο 2004–05 και από 0,03 έως 2,02 mg/l την περίοδο 2005–06, χωρίς να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους (U-test, $p=0,260$).



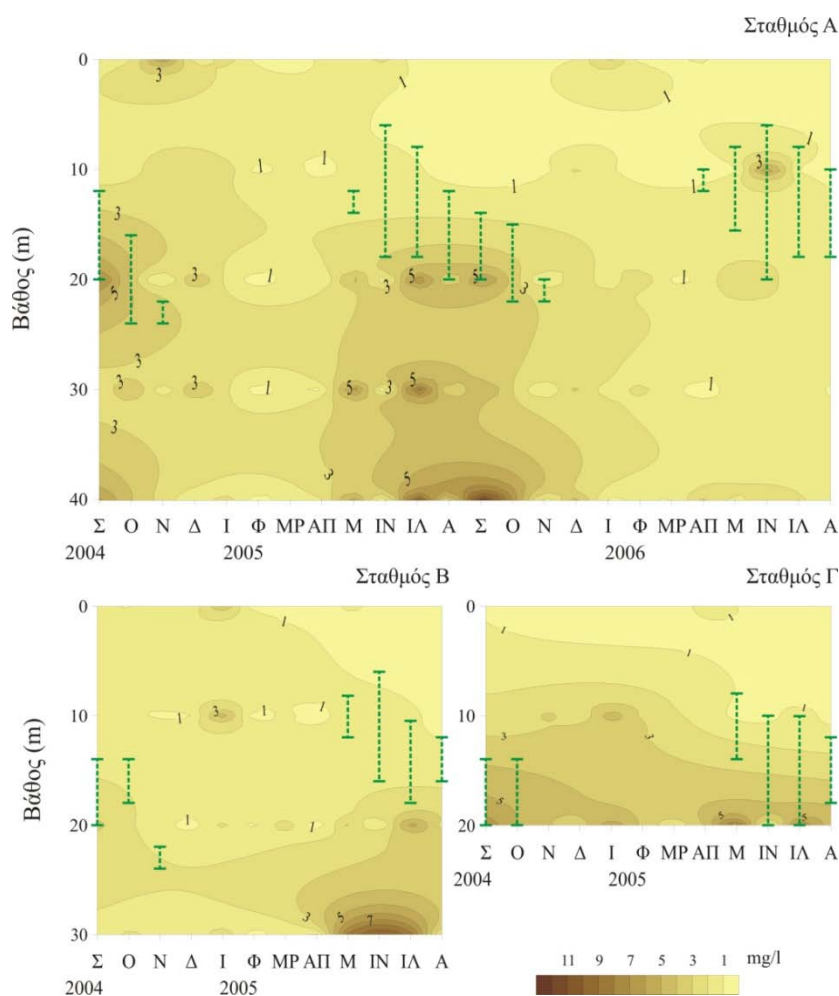
Εικόνα 2.13: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Στο σταθμό Γ σημειώθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ολικού αζώτου και οι τιμές είχαν μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης απ' ό,τι στους άλλους σταθμούς. Γενικά δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή της συγκέντρωσης ολικού αζώτου με το βάθος

(Kruskal-Wallis, $p=0,107$). Ωστόσο, στο βαθύτερο σταθμό Α οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου σημειώθηκαν σε βάθη μεγαλύτερα των 30 m (Εικόνα 2.13).

Πυρίτιο πυριτικών ($\text{SiO}_2 - \text{Si}$)

Η συγκέντρωση του πυριτίου στη λίμνη Τριχωνίδα κυμάνθηκε από 0,115 έως 11,042 mg/l την περίοδο 2004-05 και από 0,18 έως 12,68 mg/l την περίοδο 2005-06. Οι τιμές δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των δύο ετών (U-test, $p=0,085$), ενώ σημαντική διαφορά της συγκέντρωσης του πυριτίου δεν παρουσιάστηκε ούτε μεταξύ των σταθμών (Kruskal-Wallis, $p=0,075$).

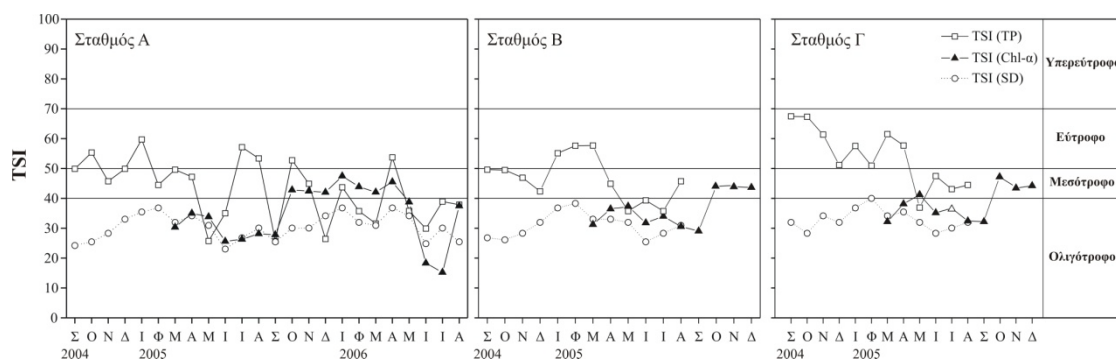


Εικόνα 2.14: Μηνιαία διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης του πυριτίου πυριτικών στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους. Με τη διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή δηλώνονται τα όρια του θερμοκλινούς.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.14, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν στα βαθύτερα στρώματα κυρίως κατά την περίοδο έντονης στρωμάτωσης, χωρίς ωστόσο οι τιμές να διαφέρουν σημαντικά (Kruskal-Wallis, $p=0,468$).

2.3.4 Προσδιορισμός της τροφικής κατάστασης

Στην Εικόνα 2.15 φαίνεται η μηνιαία διακύμανση των τιμών του δείκτη τροφικής κατάστασης (TSI) για κάθε παράμετρο, όπως υπολογίστηκε για κάθε σταθμό δειγματοληψίας. Συνολικά, ο δείκτης τροφικής κατάστασης για τη διαφάνεια, TSI (TP), πήρε τιμές από 25,7 έως 67,5, ο δείκτης για τη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α TSI (chl-a) από 15,2 έως 47,5, ενώ οι τιμές του δείκτη για τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου TSI (SD) κυμάνθηκαν μεταξύ 23 και 40.



Εικόνα 2.15: Μηνιαία διακύμανση των τιμών των δεικτών τροφικής κατάστασης του Carlson (1977) στους τρεις σταθμούς δειγματοληψίας, κατά τις αντίστοιχες χρονικές περιόδους.

Από τους τρεις δείκτες, μόνο ο TSI (chl-a) εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών (Kruskal-Wallis, $p=0,047$), λαμβάνοντας μεγαλύτερες τιμές στον σταθμό Γ. Ωστόσο, οι τιμές που έλαβε ο δείκτης TSI (TP) κατά την περίοδο 2005-06 ήταν σημαντικά μικρότερες από εκείνες της προηγούμενης περιόδου (U-test, $p=0,031$).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.15, ο δείκτης TSI (TP) κυμάνθηκε και στους τρεις σταθμούς σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολιγότροφο μέχρι εύτροφο επίπεδο, ενώ περισσότερο εύτροφα χαρακτηριστικά φάνηκε να αποδίδει στο σταθμό Γ. Ο δείκτης TSI (chl-a) κυμάνθηκε και στους τρεις σταθμούς μεταξύ ολιγότροφου και μεσότροφου επιπέδου, ενώ οι τιμές του TSI (SD) δείχνουν ολιγότροφες συνθήκες.

2.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της παρούσας ενότητας, εξαιτίας της πολύ μεγάλης οικολογικής αλλά και οικονομικής σπουδαιότητας της λίμνης Τριχωνίδας, διεξήχθησαν στο παρελθόν αρκετές έρευνες που αφορούσαν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και το επίπεδο τροφισμού της λίμνης (Overbeck et al., 1982; Κουσουρή και συν., 1993; Tafas et al., 1997; Μπερταχάς και συν., 1997). Τα αποτελέσματα από αυτές τις μελέτες αποτελούν μια σημαντική βάση δεδομένων, με τα οποία μπορούν να συγκριθούν τα αντίστοιχα δεδομένα της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 2.3: Σύγκριση φυσικοχημικών δεδομένων της παρούσας διατριβής με την υπάρχουσα βιβλιογραφία για τη λίμνη Τριχωνίδα.

Παράμετρος	Παρούσα μελέτη (2004-06)	Tafas et al. (1997)	Κουσουρή και συν. (1993)	Overbeck et al. (1982)
Θερμοκρασία (°C)	10 – 29,7	9,5 – 27,5	11,1 – 28, 0	10,0 – 25,0
Διαλυμένο οξυγόνο (mg/l)	0,03 – 14	3,7 – 12,0	0,5 – 12,2	2,0 – 12,0
pH	7,4 – 9,4	7,6 – 8,5	7,7 – 8,8	8,1 – 8,5
Αγωγιμότητα (μS/cm)	247 – 398	195 – 320	230 – 270	267 – 301
Διαφάνεια (m)	4 – 13	4– 11	4– 12,5	5,7 – 13,9
Χλωροφύλλη-α (mg/m ³)	0,2 – 9,4 2,9 ⁽¹⁾	2,2 – 8,2	2,3 ⁽¹⁾ , 4,3 ⁽²⁾	0,5 – 0,8
TP (μg/l)	1,5 – 131 13,6 ⁽¹⁾	<7	15 ⁽¹⁾ , 66 ⁽²⁾	22 – 112
PO ₄ – P (μg/l)	0 – 95,2	< 20 – 70	1 – 14	2 – 40
TN (mg/l)	0,02 – 2,2	<0,10 – 0,6	**	**
NH ₃ – N (mg/l)	0 – 0,04	<0,01 – 0,09	0,005 – 0,13	0 – 0,062
NO ₂ – N (mg/l)	0 – 0,06	0 – 0,005	0,0013 – 0,018	0,001 – 0,005
NO ₃ – N (mg/l)	0 – 0,7	0,05 – 0,45	0,003 – 0,125	0,02 – 0,232
SiO ₂ – Si (mg/l)	0,1 – 12,7	0,1 - 4	0,2 – 1,4	0,021 - 2,9

⁽¹⁾ : μέση τιμή, ⁽²⁾ : μέγιστη τιμή ** : δεν υπάρχουν δεδομένα

Για την καλύτερη επισκόπηση αλλά και την ευκολότερη σύγκριση των παλαιότερων στοιχείων με αυτά της παρούσας διατριβής, στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων, της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α και των κυριότερων θρεπτικών όπως προέκυψαν από την παρούσα διατριβή στη λίμνη Τριχωνίδα, σε παράθεση με τις προηγούμενες έρευνες των Tafas et al. (1997), Κουσουρήs και συν. (1993) και Overbeck et al. (1982).

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τα δεδομένα των Overbeck et al. (1982) προέρχονταν από σποραδικά δείγματα της περιόδου 1978-81, τα δεδομένα των Κουσουρήs και συν. (1993) από διμηνιαίες δειγματοληψίες σε όλη την περίοδο 1988-89 και τα δεδομένα των Tafas et al. (1997) από μηνιαία δείγματα σε δύο πλήρεις περιόδους κατά το 1985-86 και 1988-89

2.4.1 Φυσικοχημικά δεδομένα

Διαφάνεια

Σύμφωνα με την προηγούμενη γνώση για τη λίμνη Τριχωνίδα, η διαφάνεια του νερού της είναι αρκετά μεγάλη. Η ελάχιστη τιμή διαφάνειας (4 m) που καταγράφηκε κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο στην παρούσα εργασία ήταν από τις μικρότερες που παρουσιάζονται για τη λίμνη, ενώ η μέγιστη ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από την αντίστοιχη καταγραφή της περιόδου 1978-81 (Overbeck et al., 1982). Κατά την παρούσα μελέτη, μικρότερες τιμές διαφάνειας παρατηρήθηκαν στο πιο ρηχό σταθμό Γ που βρίσκεται στο δυτικό μέρος της λίμνης και πιο κοντά στην όχθη, οπότε και δέχεται πιο έντονα την επίδραση της θολερότητας από τα φερτά υλικά που παρασύρονται και καταλήγουν στη λίμνη με τις βροχοπτώσεις.

Θερμοκρασία

Η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε στην επιφάνεια κατά την παρούσα μελέτη, παρουσίασε αύξηση κατά 2 °C στο διάστημα από το 1985 έως το 2006, ενώ ήταν μεγαλύτερη σχεδόν κατά 5 °C από την αντίστοιχη καταγραφή κατά την περίοδο 1978-81, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στις διάφορες περιόδους. Ωστόσο, η λίμνη παρουσιάζει σταθερή θερμική συμπεριφορά, όπως φαίνεται

από την παρούσα μελέτη αλλά και από τις παλαιότερες. Ο χαρακτήρας της ως θερμή, μονομικτική λίμνη, με χρονικά παρατεταμένη στρωμάτωση και μία περίοδο ανάμιξης των υδάτων, έχει αναδειχθεί από όλους τους ερευνητές που αναφέρονται παραπάνω καθώς και από μετρήσεις του Ινστιτούτου Εσωτερικών Υδάτων του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε (Zacharias et al., 2002). Επίσης, σταθερή είναι και η περίοδος όπου αναπτύσσεται το θερμοκλινές στρώμα από τον Μάιο έως το Νοέμβριο, ενώ η μετακίνηση αυτού του στρώματος σε ολόένα και μεγαλύτερα βάθη κατά την εξέλιξη της περιόδου της θερμοστρωμάτωσης, αποτελεί τυπικό φαινόμενο λιμνών μεγάλου βάθους (Wetzel, 2001).

Διαλυμένο οξυγόνο

Η υδάτινη στήλη στην λίμνη Τριχωνίδα ήταν καλά οξυγονωμένη κατά τους χειμερινούς μήνες, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης διαλυτότητας του οξυγόνου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και της ανάμιξης του νερού κατά την περίοδο αυτή. Η μέγιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου που μετρήθηκε κατά την παρούσα μελέτη ήταν μεγαλύτερη από τις προηγούμενες αναφορές (Πίνακας 2.3), ενώ και τις δύο χρονιές οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου καταγράφηκαν στο μεταλίμνιο. Η αύξηση του οξυγόνου σε αυτό το στρώμα είναι συνήθως αποτέλεσμα παραγωγής του από φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς, οι οποίοι «εγκλωβίζονται» σε αυτό το στρώμα κατά την βύθισή τους και είναι προσαρμοσμένοι στο να αναπτύσσονται καλά σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και φωτεινότητας αλλά αυξημένης συγκέντρωσης θρεπτικών, όπως συμβαίνει συνήθως στα κατώτερα στρώματα του θερμοκλινούς σε σχέση με το επιλίμνιο (Wetzel, 2001). Αντίθετα, πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου παρατηρήθηκαν στο υπολίμνιο στους βαθύτερους σταθμούς κατά την φθινοπωρινή περίοδο, όπως είχαν καταγραφεί και από τους Κουσουρή και συν. (1993). Η μείωση του οξυγόνου στο υπολίμνιο κατά το τέλος της περιόδου θερμικής στρωμάτωσης θεωρείται αποτέλεσμα των οξειδωτικών διαδικασιών που συνεχώς συμβαίνουν σε αυτό το στρώμα, σε συνδιασμό με τη μεγάλη χρονική διάρκεια της περιόδου στρωμάτωσης. Η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, λόγω της ελάττωσης της θερμοκρασίας στο μεταλίμνιο, και η έντονη κατανάλωσή του στο υπολίμνιο έχουν ως αποτέλεσμα την θετική ετεροκλινή καμπύλη κατανομής του οξυγόνου και τη δημιουργία ενός μεταλιμνιτικού μέγιστου του οξυγόνου (Wetzel, 2001).

Ενεργός οξύτητα (pH)

Οι αλκαλικές τιμές pH στην λίμνη Τριγωνίδα οφείλονται κατά βάση στα ασβεστολιθικά πετρώματα που κυριαρχούν στη λεκάνη (Κουσουρή, 1998). Η μέγιστη τιμή pH που καταγράφηκε κατά την παρούσα μελέτη είναι μεγαλύτερη από εκείνες που αναφέρονται σε προηγούμενες μελέτες (Πίνακας 2.3). Ωστόσο, η μέση τιμή του pH διατηρείται σε παρόμοια επίπεδα.

Η κατακόρυφη κατανομή του pH καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη χρησιμοποίηση του CO₂ κατά την φωτοσύνθεση και την απελευθέρωσή του σε συνθήκες περιορισμένου οξυγόνου (Κουσουρή και συν., 1993). Συνεπώς, η εντονότερη φωτοσυνθετική δραστηριότητα στο επιλίμνιο και το μεταλίμνιο αιτιολογεί τις μεγαλύτερες τιμές pH που παρατηρούνται σε αυτά τα στρώματα.

Αγωγιμότητα

Οι τιμές της αγωγιμότητας στην παρούσα εργασία φαίνονται αυξημένες σε σχέση με το παρελθόν (Πίνακας. 2.3). Οι Κουσουρή και συν. (1993) παρατήρησαν μικρή μείωση της αγωγιμότητας με το βάθος. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε κατά περιόδους αύξηση της αγωγιμότητας στο υπολίμνιο κατά την περίοδο της θερμοστρωμάτωσης. Λόγω του ανθρακικού τύπου της λίμνης, η αγωγιμότητα έχει ανάλογη διακύμανση με το pH, ενώ είναι γνωστό ότι εξαρτάται από τη θερμοκρασία και, συγκεκριμένα μειώνεται καθώς η δεύτερη αυξάνεται (Wetzel, 2001). Σε αυτές, λοιπόν, τις σχέσεις αποδίδονται οι χαμηλότερες τιμές αγωγιμότητας που μετρήθηκαν κατά το χειμώνα αλλά και οι υψηλότερες τιμές στα βαθύτερα στρώματα κατά την περίοδο στρωμάτωσης της λίμνης.

2.4.2 Χλωροφύλλη-α

Για την εκτίμηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας προσδιορίστηκε η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α, καθώς είναι μια χρωστική που περιέχεται σε όλους τους φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς (Wetzel, 2001). Η ευκολία που υπάρχει στον προσδιορισμό της την καθιστά χρήσιμη παράμετρο που υποκαθιστά τις εκτιμήσεις της φυτοπλαγκτικής βιομάζας (Yacobi & Zohary, 2010; Bianchi et al., 2003; Brown et al.,

2000). Στην παρούσα μελέτη, η ελάχιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α είναι χαμηλότερη από τις αντίστοιχες τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία για τη λίμνη, ωστόσο η μέγιστη ξεπερνά τις προαναφερθείσες (Πίνακας 2.3). Στον κατακόρυφο άξονα, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης βρέθηκαν σε μεγαλύτερα βάθη του θερμοκλινούς και του υπολίμνιου παρά στο επιλίμνιο. Το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε βαθιές ολιγοτροφικές λίμνες (Winder & Hunter, 2008; Barbiero & Tuchman, 2001; Padisák et al., 1997) και προέρχεται κυρίως από φυτοπλαγκτικούς οργανισμούς ικανούς να φωτοσυνθέτουν σε χαμηλές συνθήκες φωτός (Wetzel, 2001). Όσον αφορά στην εποχική διακύμανση της φυτοπλαγκτικής βιομάζας στην Τριχωνίδα, οι Tafas & Economou-Amili (1997) αναφέρουν πως εμφανίζει ένα μέγιστο αφθονίας ετησίως, κατά το καλοκαίρι. Κάτι τέτοιο δεν φάνηκε από τη διακύμανση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α, που ήταν μεγαλύτερη κυρίως κατά την άνοιξη. Ωστόσο, η σύγκριση καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλής, καθώς στην παρούσα εργασία δεν υπάρχουν δεδομένα για τη σύνθεση της βιοκοινωνίας του φυτοπλαγκτού.

2.4.3 Θρεπτικά

Σύμφωνα με τους Bertahas et al. (2006), η φόρτιση της λίμνης Τριχωνίδας σε θρεπτικά προέρχεται κυρίως από τις γεωργικές δραστηριότητες εντός της λεκάνης απορροής της. Κατά την παρούσα μελέτη, η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου και των ορθοφωσφορικών ήταν μεγαλύτερη κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο. Παρόμοιες αυξομειώσεις μεταξύ διαδοχικών ετών αναφέρουν για την Τριχωνίδα και οι Bertahas et al. (2006), ενώ αυτές αποδίδονται σε διακυμάνσεις υδρολογικών συνθηκών (βροχόπτωση, τροφοδοσία από υπόγειες πηγές, κ.ά.). Στον κατακόρυφο άξονα, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στο υπολίμνιο στους βαθύτερους σταθμούς κατά την περίοδο ελάττωσης του οξυγόνου, ενώ κατά την περίοδο απουσίας του θερμοκλινούς, μεγαλύτερες συγκεντρώσεις βρέθηκαν κοντά στον πυθμένα. Οι αυξήσεις αυτές είναι πιθανό να οφείλονται κυρίως στην απελευθέρωση του φωσφόρου από τις εντονότερες διαδικασίες αποικοδόμησης της οργανικής ύλης στο υπολίμνιο κατά το τέλος της θερμικής στρωμάτωσης, αλλά και κοντά στον πυθμένα λόγω βακτηριακής δραστηριότητας (Wetzel, 2001). Οι αυξημένες τιμές συγκέντρωσης των φωσφορικών ιόντων αλλά και του ολικού

φωσφόρου σε σύγκριση με το παρελθόν, δείχνουν ότι υπήρξε φόρτιση της λίμνης με φώσφορο τα τελευταία χρόνια, ο οποίος κατά πάσα πιθανότητα προέρχεται από την έκπλυση γεωργικών λιπασμάτων ή από τα απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων και των ανάλογων βιοτεχνιών (π.χ. χοιροτροφεία) που λειτουργούν γύρω από αυτή. Ιδιαίτερα ο σταθμός Γ, ο οποίος είναι ο ρηχότερος και βρίσκεται στο δυτικό άκρο της λίμνης, φαίνεται ότι δέχεται μεγαλύτερη φόρτιση από τις παρακείμενες γεωργικές καλλιέργειες μέσω αρδευτικών απορροών, ή έκπλυσης των λιπασμάτων σε αυτές. Κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο δεν παρατηρήθηκαν έντονες μεταβολές στη συγκέντρωση του φωσφόρου στον κατακόρυφο άξονα. Τέτοια κατανομή του φωσφόρου στην υδάτινη στήλη χαρακτηρίζει ολιγότροφα οικοσυστήματα σύμφωνα με τον Wetzel (2001). Συγκριτικά με τις συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου και ορθοφωσφορικών που μετρήθηκαν στην Τριχωνίδα κατά τις προηγούμενες μελέτες, οι μέγιστες τιμές στην παρούσα εργασία βρέθηκαν αυξημένες κατά 50 % (Πίνακας 2.3).

Οι συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου που υπολογίστηκαν κατά την παρούσα διατριβή μπορούν να συγκριθούν μόνο με εκείνες που περιγράφονται στη μελέτη των Tafas et al. (1997), καθώς είναι η μοναδική εργασία που παρουσιάζει τέτοια δεδομένα. Έτσι, η ελάχιστη συγκέντρωση ολικού αζώτου που μετρήθηκε βρίσκεται εντός των ορίων που περιγράφουν οι προηγούμενοι ερευνητές, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση ξεπερνά κατά πολύ την αντίστοιχη της περιόδου '85-86 και '88-89. Από τις επιμέρους μορφές αζώτου, τα αμμωνιακά ιόντα βρίσκονταν σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις εξαιτίας της παρουσίας οξυγόνου σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη, κάτι που αποτελεί χαρακτηριστικό ολιγότροφων οικοσυστημάτων (Wetzel, 2001). Κατά την παρούσα μελέτη, τα νιτρικά ιόντα ήταν περισσότερο αυξημένα κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, οπότε και οι συγκεντρώσεις τους ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τις προηγούμενες αναφορές. Έχει αναφερθεί για τις λίμνες ότι συγκεντρώσεις νιτρικών μεγαλύτερες από 0,2 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ τείνουν να τονώνουν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού και να είναι ενδεικτικές ευτροφικών καταστάσεων (Chapman & Kimstach, 1996). Η εποχική διακύμανση της συγκέντρωσης των νιτρικών που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο αυτή είναι σε συμφωνία με εκείνη που παρατήρησαν και οι Κουσουρής και συν. (1993). Σύμφωνα με τους τελευταίους, οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στη λίμνη Τριχωνίδα είναι το συνδυαστικό αποτέλεσμα των διαδικασιών νιτροποίησης που λαμβάνουν χώρα τόσο στην υδάτινη στήλη όσο και κοντά στον πυθμένα, όπως επίσης και του απ' ευθείας εφοδιασμού της λίμνης με νιτρικά από τις εκπλύσεις που διοχετεύονται στη λίμνη από τη λεκάνη

απορροής. Το τελευταίο αποκτά μεγαλύτερη σημασία για την Τριχωνίδα, καθώς η περίοδος χρήσης λιπασμάτων στις γεωργικές εκτάσεις συμπίπτει με την περίοδο των βροχοπτώσεων (Κουσουρήs και συν., 1993).

Το πυρίτιο είναι ένα σημαντικό στοιχείο για το λιμναίο οικοσύστημα της Τριχωνίδας, καθώς τα διάτομα ανήκουν στις κυρίαρχες φυτοπλαγκτικές ομάδες στη λίμνη και εκπροσωπούνται με πληθώρα ειδών (Tafas & Economou-Amili, 1997). Σύμφωνα με τους παραπάνω ερευνητές, τα διάτομα στη λίμνη Τριχωνίδα αυξάνονται κατά την έναρξη της στρωμάτωσης αλλά και μετά το τέλος της ανάμιξης των υδάτων. Στα γεγονότα αυτά μπορεί να αποδοθεί η μείωση της συγκέντρωσης πυριτίου που καταγράφηκε στις αρχές της άνοιξης και στο τέλος του φθινοπώρου. Η αυξημένη συγκέντρωση φωσφόρου μπορεί να οδηγήσει σε ελάττωση του πυριτίου στο νερό, με αποτέλεσμα την αντικατάσταση των διατόμων από χλωροφύκη και κυανοφύκη, όπως συμβαίνει σε καταστάσεις ευτροφισμού (Schelske & Stoermer, 1972; Stoermer et al., 1978; Schelske et al., 1986). Κατά την παρούσα μελέτη, η μέγιστη συγκέντρωση πυριτίου βρέθηκε μεγαλύτερη από τις τιμές που καταγράφηκαν στις προηγούμενες έρευνες, ωστόσο η μέση τιμή (2 - 2,4 mg/l) ήταν εντός των ορίων των προηγούμενων μελετών αλλά και μέσα στο εύρος των συγκεντρώσεων πυριτίου άλλων εύκρατων λιμνών [0,6-5,6 mg/l (Τίγκιλης, 2007)].

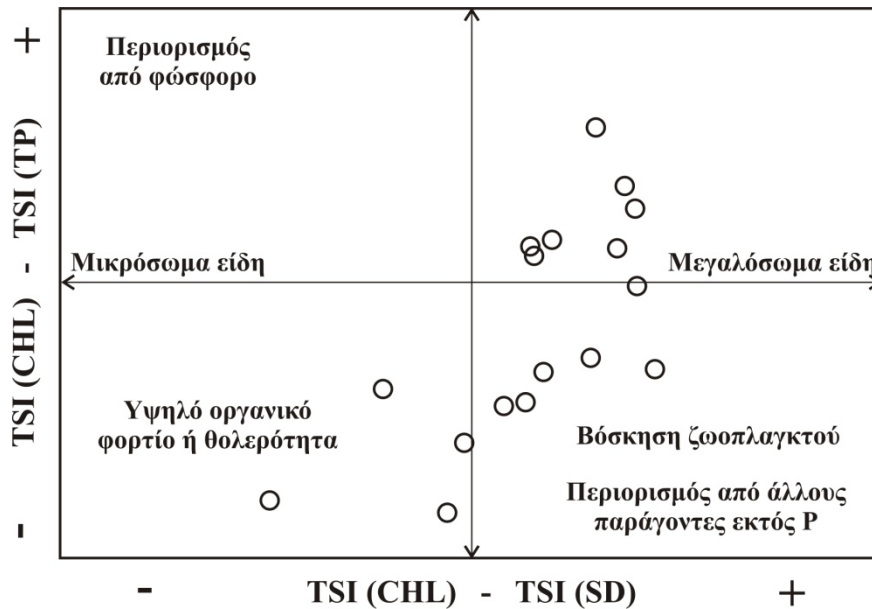
2.4.4 Τροφική κατάσταση

Ο βαθμός τροφισμού ενός υδάτινου οικοσυστήματος προκύπτει από ορισμένες φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους, όπως είναι η συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου (TP), του ολικού αζώτου (TN) και της χλωροφύλλης-α, αλλά και η διαφάνεια του νερού (Wetzel, 2001). Σύμφωνα με αυτές τις ενδείξεις, και σύμφωνα με το «κλειστό» σύστημα κατάταξης των λιμνών (OECD, 1982), η Τριχωνίδα και στις δύο δειγματοληπτικές περιόδους φάνηκε να μοιράζεται χαρακτηριστικά oligότροφου (διαφάνεια, μέση και μέγιστη τιμή χλωροφύλλης-α, μέση τιμή TN) και μεσότροφου (μέση τιμή TP) οικοσυστήματος.

Σε μη παραγωγικά υδάτινα οικοσυστήματα, η συγκέντρωση του φωσφόρου αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών. Καθώς αυτή αυξάνεται και μεταβαίνουμε σε πιο παραγωγικό επίπεδο, το άζωτο αρχίζει να αποκτά

μεγαλύτερη σημασία ως περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση των φυτικών οργανισμών (Wetzel, 2001). Σε οικοσυστήματα λοιπόν με περιοριστικό παράγοντα τον φώσφορο, για την περιγραφή της τροφικής κατάστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης τροφικής κατάστασης (ΔΤΚ) του Carlson (1977). Ο δείκτης βασίζεται στον προσδιορισμό της φυτοπλαγκτικής βιομάζας μέσω τριών συνιστωσών: τη χλωροφύλλη-α, τη διαφάνεια του νερού και τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου. Η εφαρμογή αυτού του δείκτη στη λίμνη Τριχωνίδα οδηγεί στα ίδια συμπεράσματα για την τροφική της κατάσταση, που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, η διαφάνεια προσδίδει oligότροφο χαρακτήρα στη λίμνη, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α την κατατάσσει στα oligo-μεσότροφα οικοσυστήματα, ενώ με βάση τη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου κατατάσσεται στο μεσότροφο και, σε κάποιες περιπτώσεις, στο εύτροφο επίπεδο. Κύριο πλεονέκτημα της χρήσης αυτού του δείκτη είναι ότι οι σχέσεις των συνιστωσών μεταξύ τους παρέχουν τη δυνατότητα επισημάνσης ιδιαίτερων συνθηκών στη λίμνη, που σχετίζονται με παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη της φυτοπλαγκτικής βιομάζας ή τις μετρούμενες παραμέτρους.

Όταν προσδιορίζονται και οι τρεις παράμετροι του ΔΚΤ, είναι πιθανό ο δείκτης να λαμβάνει διαφορετικές τιμές για κάθε παράμετρο, όπως συνέβη και στην περίπτωση της λίμνης Τριχωνίδας. Στην Εικόνα 2.27 ερμηνεύονται γραφικά (Carlson, 1992) οι αποκλίσεις των τιμών του ΔΤΚ για τις επιμέρους συνιστώσες. Σημεία κάτω από τον οριζόντιο άξονα υποδηλώνουν την πιθανότητα άλλοι παράγοντες, πέραν του φωσφόρου, να περιορίζουν την αύξηση της φυτοπλαγκτικής βιομάζας, ενώ η πιθανότητα του περιορισμού από φώσφορο αυξάνεται στο τμήμα πάνω από αυτόν. Σημεία στα δεξιά του κατακόρυφου άξονα υποδηλώνουν ότι η διαφάνεια είναι μεγαλύτερη από ότι εκτιμήθηκε με τον δείκτη της χλωροφύλλης, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις κυριαρχίας μεγάλων κυανοβακτηρίων ή λόγω απομάκρυνσης της μικρότερου μεγέθους τροφής από το ζωοπλαγκτό. Σημεία πάνω στην κάτω αριστερή διαγώνιο προς τα αριστερά του άξονα Υ υποδηλώνουν μειωμένη διαφάνεια από μη βιολογικούς παράγοντες (π.χ. υψηλή συγκέντρωση διαλυμένης οργανικής ύλης ή θολερότητα). Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ζωοπλαγκτό φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στη λίμνη Τριχωνίδα, καθώς η απομάκρυνση φυτοπλαγκτικών κυττάρων κατά τη συλλογή της τροφής του συντελεί στην διατήρηση της πρωτογενούς παραγωγικότητας σε χαμηλά επίπεδα.



Εικόνα 2.27: Γραφική απεικόνιση των πιθανών λόγων για τις αποκλίσεις του βασισμένου στη φυτοπλαγκτική βιομάζα δείκτη τροφικής κατάστασης στη λίμνη Τριχωνίδα.

Συμπερασματικά, θα λέγαμε ότι σε σχέση με το παρελθόν, τα δεδομένα της παρούσας διατριβής δείχνουν ότι υπάρχει μια «επιδείνωση» των χαρακτηριστικών ποιότητας του νερού, όπως η αυξημένη συγκέντρωση ολικού φωσφόρου και αζώτου και η αύξηση της μέγιστης τιμής αγωγιμότητας και pH. Ωστόσο η λίμνη διατηρεί ακόμα τον oligομεσότροφο χαρακτήρα της, κυρίως λόγω του γρήγορου ρυθμού ανανέωσης του νερού στον οποίο συντελούν οι υπολίμνιες πηγές και η διοχέτευση νερού προς τη Λυσιμαχεία (Δημητρίου και συν., 2001).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ **3ο**

Σύνθεση ειδών - Χωρική και χρονική
κατανομή του ζωοπλαγκτού

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λέξη πλαγκτό έχει τη ρίζα της στο ελληνικό ρήμα “πλανώμαι”, που σημαίνει παρασύρομαι, μετακινούμαι ανεξέλεγκτα, και πράγματι αυτό είναι που συμβαίνει με τους πλαγκτικούς οργανισμούς, οι οποίοι μοιάζουν να αιωρούνται στην στήλη του νερού. Σήμερα ο όρος αυτός περιλαμβάνει τους υδρόβιους οργανισμούς που έχουν μικρή ικανότητα ενεργητικής μετακίνησης ή που μετακινούνται παθητικά με τη δράση των κυμάτων και των ρευμάτων. Όλοι οι ζωικοί οργανισμοί που συναντώνται στην πελαγική ζώνη των υδάτινων οικοσυστημάτων και έχουν σαν χαρακτηριστικό τους την περιορισμένη ικανότητα μετακίνησης, συγκαταλέγονται στο ζωοπλαγκτό. Το ζωοπλαγκτό αποτελείται από αντιπροσώπους σχεδόν όλων των μεγάλων ζωικών ομάδων, είτε αυτοί βρίσκονται σε προνυμφικό, είτε σε ενήλικο στάδιο ανάπτυξης. Όπως έχει προαναφερθεί, αυτή η ομάδα των οργανισμών αποτελεί βασικό οικολογικό παράγοντα τόσο στη θάλασσα όσο και στα εσωτερικά ύδατα, αποτελώντας σημαντικό ενδιάμεσο κρίκο του τροφικού πλέγματος, καθώς συντελεί στη μεταφορά της βιομάζας των πρωτογενών παραγωγών στους ανώτερους οργανισμούς και κυρίως στα ψάρια.

3.1.1 Η βιοκοινωνία του λιμναίου ζωοπλαγκτού

Το λιμναίο ζωοπλαγκτό χαρακτηρίζεται από μικρό αριθμό ειδών και υψηλές πυκνότητες σε σύντομες περιόδους (Wetzel, 2001). Στη σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας συμμετέχουν συνήθως τρεις κύριες ομάδες: το φύλο των τροχοζώων (Rotifera) με σημαντικότερες τις τάξεις των Monogononta και Bdelloidea, η τάξη των κλαδόκερων (Cladocera) και η κλάση των κωπηπόδων (Copepoda) με τις τάξεις των καλανοειδών (Calanoida), των κυκλοποειδών (Cyclopoida) και των αρπακτικοειδών (Harpacticoida). Συμμετέχουν επίσης τα πρωτόζωα, ενώ περιστασιακά συναντώνται προνύμφες εντόμων, μαλάκιων, κοίλεντερόζωων και ψαριών. Οι περισσότεροι οργανισμοί του ζωοπλαγκτού είναι διηθηματοφάγοι, δηλαδή τρέφονται φιλτράροντας το νερό με τέτοιο τρόπο ώστε να κατακρατούν φύκη και βακτήρια πάνω στα ειδικά διαμορφωμένα θωρακικά και στοματικά τους εξαρτήματα. Ωστόσο υπάρχουν και κάποιοι, όπως τα τροχοζώα του γένους *Asplanchna*, τα κυκλοποειδή κωπήποδα και το κλαδόκερο *Leptodora*

kindtii, που έχουν αρπακτικό τρόπο συλλογής της τροφής και τρέφονται ακόμα και με άλλα ζωοπλαγκτικά είδη. Όλα τα είδη επιλέγουν λίγο έως πολύ την τροφή με βάση το μέγεθός της. Το μέγεθος των σωματιδίων που κάθε οργανισμός μπορεί να πέσει καθορίζεται από τις διαστάσεις της συσκευής συλλογής της τροφής, όπως το μέγεθος του ανοίγματος του κελύφους στα δίθυρα μαλάκια και οι αποστάσεις μεταξύ των τριχιδίων στα διηθηματοφάγα κλαδόκερα.

3.1.2 Εποχικές διακυμάνσεις - Βιολογικοί κύκλοι

Η σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας και οι χρονικές μεταβολές της επηρεάζονται κυρίως από τη θερμοκρασία, τη διαθεσιμότητα τροφής και τη θηρευτική πίεση. Η ανάπτυξη του μοντέλου της γρήγορης παρθενογενετικής αναπαραγωγής από πολλές ομάδες ζωοπλαγκτικών οργανισμών αντισταθμίζει τις επιπτώσεις της θήρευσης και επιτρέπει τη γρήγορη απόκριση στις ανθίσεις του φυτοπλαγκτού. Με αυτό τον τρόπο, τα κλαδόκερα και τα τροχόζωα είναι πιο άφθονα το καλοκαίρι, όταν υπάρχει αφθονία τροφής. Αντίθετα, τα κοπήποδα έχουν σταθερότερη παρουσία σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Οι Sommer et al. (1986) περιέγραψαν ένα μοντέλο εποχικής διαδοχής των γεγονότων που λαμβάνουν χώρα στο πλαγκτό μιας ιδεατής πρότυπης λίμνης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι μεταβολές της αφθονίας των ζωοπλαγκτικών οργανισμών αλλά και της σύνθεσης της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας κατά τη διάρκεια του έτους αποτελούν φυσικά επακόλουθα προηγούμενων γεγονότων. Εν συντομία, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών αλάτων και η αυξημένη φωτεινή ακτινοβολία την άνοιξη επιτρέπουν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού, στην οποία αποκρίνονται άμεσα κάποια φυτοπλαγκτοφάγα είδη με μικρό χρόνο γενιάς και ακολουθούν τα πιο αργά αναπτυσσόμενα είδη. Ο επερχόμενος περιορισμός των τροφικών αποθεμάτων για τα διηθηματοφάγα ζωοπλαγκτικά είδη και η θηρευτική πίεση από τα ψάρια ευνοούν την αντικατάσταση των πιο μεγάλωσμων καρκινοειδών από μικρότερα και από τροχόζωα, που χαρακτηρίζονται από μικρότερη θνησιμότητα και μεγαλύτερη γονιμότητα. Το καλοκαίρι, οι πληθυσμοί παρουσιάζουν διακυμάνσεις και η σύνθεσή τους επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία. Η σύνθεση της φθινοπωρινής φυτοπλαγκτικής βιοκοινωνίας επιτρέπει την ανάπτυξη μεγαλύτερων σε μέγεθος ζωοπλαγκτικών ατόμων και ειδών, ενώ το χειμώνα η ζωοπλαγκτική βιομάζα μειώνεται λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας τροφικών

αποθεμάτων και της μειωμένης θερμοκρασίας. Ωστόσο, τα παραπάνω αφορούν μια ιδεατή λίμνη και στην πραγματικότητα παρατηρούνται ποικίλες αποκλίσεις από αυτό το μοντέλο.

Οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί έχουν προσαρμόσει τον κύκλο ζωής και τις αναπαραγωγικές στρατηγικές τους στις ευμετάβλητες συνθήκες κάτω από τις οποίες ζουν. Τα τροχόζωα και τα κλαδόκερα αναπαράγονται κυρίως με αμειωτική παρθενογένεση. Έχουν μικρούς κύκλους ζωής με πολλές διαδοχικές γενιές και έτσι μπορούν να δημιουργούν μεγάλους πληθυσμούς σε μικρά χρονικά διαστήματα. Σε αυτές τις ομάδες τα αρσενικά άτομα είναι σπάνια και εμφανίζονται σε περιόδους δυσμενών συνθηκών, οπότε και πραγματοποιείται εγγενής αναπαραγωγή. Τα γονιμοποιημένα αυγά («αυγά διαρκείας» στα τροχόζωα και «εφίππεια» στα κλαδόκερα) είναι ανθεκτικές μορφές που αποθέτονται στο περιβάλλον και εκκολάπτονται όταν οι συνθήκες γίνουν και πάλι ευνοϊκές. Επιπλέον, είναι δυνατό να μεταφερθούν με τον άνεμο ή με τα πουλιά σε άλλες περιοχές, τις οποίες θα αποικίσουν.

Τα κωπήποδα έχουν μεγαλύτερους κύκλους ζωής, με λιγότερες γενιές. Πολλαπλασιάζονται μόνο με εγγενή αναπαραγωγή και τα θηλυκά φέρουν έναν (τα περισσότερα καλανοειδή και αρπακτικοειδή) ή δύο (κυκλοποειδή) εξωτερικούς ωοφόρους σάκους. Μετά την εκκόλαψη των αυγών, ακολουθούν πέντε με έξι ναυπλιακά στάδια, των οποίων έπονται πέντε με έξι κωπηποδιτικά στάδια, πριν το σχηματισμό του ενήλικου ατόμου. Συνεπώς, ο χρόνος γενιάς των κωπηπόδων είναι μεγαλύτερος από εκείνων των κλαδόκερων και μπορεί να διαρκεί από 20 μέρες έως δύο μήνες, εμφανίζοντας αντιστρόφως ανάλογη σχέση με τη θερμοκρασία (Pourriot et al., 1982). Ένα χαρακτηριστικό στάδιο της ζωής των κωπηπόδων είναι το στάδιο της διάπαυσης. Πρόκειται για μια υποχρεωτική αναστολή της ανάπτυξης, η οποία επέρχεται λόγω της ανάγκης πραγματοποίησης φυσιολογικών αλλαγών στους οργανισμούς. Σε λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες, τα κωπήποδα περνούν σε μια ληθαργική κατάσταση ενώ, επίσης, παράγουν αυγά διάπαυσης με ανθεκτικά τοιχώματα, που είναι ικανά να επιβιώσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο ίζημα (Dussart & Defaye, 2001).

3.1.3 Χωρική κατανομή του ζωοπλαγκτού

Παρόλο που το ζωοπλαγκτό έχει εξ ορισμού την έννοια του *πλανόμενου*, οι πληθυσμοί του εμφανίζουν ανομοιογένεια στην οριζόντια και κατακόρυφη κατανομή τους. Η κατανομή των ζωοπλαγκτικών οργανισμών στο χώρο επηρεάζεται από την αντιστάθμιση του κόστους/ώφελους που αποκομίζουν από τις ανομοιογενείς αβιοτικές και βιοτικές συνθήκες που επικρατούν στη λίμνη. Η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου και η παρουσία τροφής αποτελούν τις βασικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την κατανομή του ζωοπλαγκτού, τόσο στο κατακόρυφο όσο και στο οριζόντιο επίπεδο (Pinel-Alloul et al., 2004). Επιπλέον, η θηρευτική πίεση τόσο από ασπόνδυλους όσο και από ανώτερους θηρευτές παίζει σημαντικό ρόλο στη χωρική κατανομή των οργανισμών (Iglesias et al., 2007).

Μια από τις αρχικές θεωρίες που διατυπώθηκαν για την ανομοιογενή κατανομή του ζωοπλαγκτού στο οριζόντιο επίπεδο είναι η «αποφυγή της ακτής», ως αποτέλεσμα της έντονης θηρευτικής πίεσης που ασκείται από τα ψάρια σε αυτό το τμήμα της λίμνης (Gliwicz & Rykowska, 1992).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της χωρικής κατανομής των ζωοπλαγκτικών οργανισμών είναι ο σχηματισμός «σμήνους». Αυτή η τακτική είναι αποτελεσματική ως προς την αποφυγή της θήρευσης, κυρίως γιατί προκαλεί σύγχυση στους οπτικούς θηρευτές αλλά και επειδή μειώνει την πιθανότητα θήρευσης κάθε μεμονωμένου ατόμου. Ωστόσο, έχει και μειονεκτήματα, που αφορούν στη ραγδαία μείωση της τροφής στο εσωτερικό του σμήνους (Kvam & Kleiven, 1995). Κατά συνέπεια, η τακτική αυτή έχει βρεθεί να είναι πιο έντονη σε συνθήκες αυξημένης επάρκειας τροφής (Jakobsen & Johnsen, 1988).

3.1.4 Σκοπός

Το ζωοπλαγκτό, αν και σημαντικότερος οικολογικός παράγοντας σε οποιοδήποτε υδάτινο οικοσύστημα, δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στα εσωτερικά ύδατα (λίμνες, ποτάμια) της Ελλάδας, ενώ ελάχιστη έρευνα αφορά στο ζωοπλαγκτό της λίμνης Τριχωνίδας. Στη λίμνη αυτή, που είναι η μεγαλύτερη σε έκταση φυσική λίμνη της Ελλάδας, το ζωοπλαγκτό παίζει ακόμη σημαντικότερο ρόλο στη ροή της ενέργειας αφού είναι η κύρια τροφή της

αθερίνας που ζει στη λίμνη και αποτελεί το κυριότερο αλίευμα και σημαντικότετη πηγή εσόδων για τους ψαράδες της περιοχής.

Ουσιαστικά, τα παλαιότερα βιβλιογραφικά δεδομένα για το ζωοπλαγκτό της Τριχωνίδας αφορούν κυρίως στη σύνθεση της βιοκοινωνίας του (Koussouris, 1978; Koussouris, 1979; Κουσουρή και συν., 1993), ενώ στην πιο πρόσφατη εργασία των Kehayias et al. (2004) υπάρχουν κάποιες νέες πληροφορίες για τη σύνθεση, την αφθονία και την κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού, οι οποίες όμως προέρχονται από τέσσερες εποχικές δειγματοληψίες σε ένα μόνο σημείο της λίμνης.

Με δεδομένη την προαναφερθείσα σημασία του ζωοπλαγκτού για τα λιμναία οικοσυστήματα και τη σχετική έλλειψη πληροφορίας για τη λίμνη Τριχωνίδα ειδικότερα, ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ενδελεχής αποτύπωση και καταγραφή των ειδών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, η μελέτη των εποχικών διακυμάνσεών τους και η διερεύνηση της κατανομής τους στο χώρο και το χρόνο, μέσα από μια τριετή διερεύνηση στη λίμνη Τριχωνίδα.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 84 μηνιαίες δειγματοληψίες για χρονικό διάστημα διάρκειας τριών (3) ετών, από το Σεπτέμβριο του 2003 έως τον Αύγουστο του 2006. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι ημερομηνίες των δειγματοληψιών κατά τις οποίες συλλέχθηκαν τα δείγματα του ζωοπλαγκτού.

Πίνακας 3.1: Ημερομηνίες συλλογής δειγμάτων ζωοπλαγκτού από τη λίμνη Τριχωνίδα την περίοδο Σεπτέμβριος 2003 – Αύγουστος 2006.

	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
2003									25/9	22/10	26/11	19/12
2004	6/2	2/3	26/3	29/4	13/5	16/6	14/7	11/8	24/9	20/10	26/11	14/12
2005	9/2	3/3	23/3	25/4	19/5	27/6	2/8	8/9	29/9	28/10	25/11	15/12
2006	17/1	14/3	31/3	17/4	23/5	4/7	18/7	21/8				

3.2.1 Στο πεδίο

Τα δείγματα του ζωοπλαγκτού λαμβάνονταν την ίδια περίοδο (Σεπτέμβριος 2003 – Αύγουστος 2006) από τους ίδιους τρεις πελαγικούς σταθμούς Α, Β και Γ που προαναφέρθηκαν, οι οποίοι επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικοί των γεωγραφικών, υδρολογικών και βαθυμετρικών περιοχών της λίμνης (βλέπε Εικόνα 2.1).

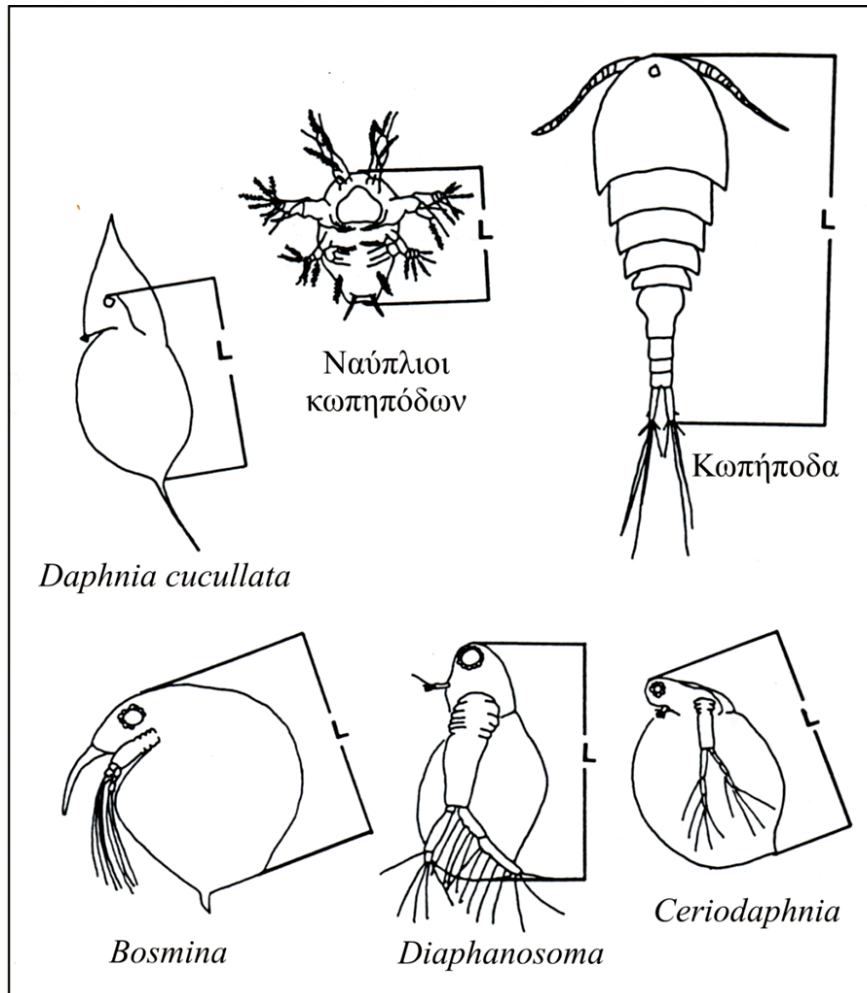
Για τη συλλογή των δειγμάτων του ζωοπλαγκτού χρησιμοποιήθηκε κωνικό πλαγκτικό δίχτυ με διάμετρο στεφάνης 40 cm, μήκος 1 m και άνοιγμα ματιού γάζας 50 μ m. Σε αυτό είχε προσαρμοστεί μηχανισμός που του επέτρεπε να κλείνει στο επιθυμητό βάθος, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα συλλογής διακριτών δειγμάτων από ενδιάμεσα βάθη. Τα δείγματα που συλλέχθηκαν, προήλθαν από κατακόρυφη σύρση του διχτυού ανά 10 m, καλύπτοντας σχεδόν ολόκληρη τη στήλη του νερού. Η σύρση του διχτυού γινόταν με σταθερή ταχύτητα περίπου 0,5 m/sec. Αμέσως μετά τη συλλογή, τα δείγματα αραιώνονταν με διάλυμα φορμόλης 4 % σε τελικό όγκο 100 ml και διατηρούνταν σε προσημειωμένα πλαστικά δοχεία. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιούνταν πάντοτε στις

πρωινές ώρες, μεταξύ 09:00 και 13:00. Κατά την πρώτη και δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο (Σεπτέμβριος 2003 – Αύγουστος 2005), οι μηνιαίες δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν και στους τρεις σταθμούς, ενώ κατά την τρίτη περίοδο (Σεπτέμβριος 2005 – Αύγουστος 2006), τα δείγματα του ζωοπλαγκτού λαμβάνονταν μόνο από το βαθύτερο σταθμό (Στ. Α).

3.2.2 Στο εργαστήριο

Για την αναγνώριση των οργανισμών του ζωοπλαγκτού χρησιμοποιήθηκαν οι κλείδες των Rylov (1963), Ruttner-Kolisko (1974), Koronchinsky (1992), Alonso (1996) και Benzie (2005). Οι ζωοπλακτικοί οργανισμοί μετρήθηκαν κάτω από οπτικό μικροσκόπιο και αναγνωρίστηκαν στο κατώτερο δυνατό ταξινομικό επίπεδο. Για τα κωπήποδα καταγράφηκαν επιπλέον το φύλο και το αναπτυξιακό στάδιο. Συγκεκριμένα, για κάθε είδος κωπηπόδου μετρήθηκαν ξεχωριστά τα αρσενικά και θηλυκά άτομα, ενώ οι κωπηποδίτες διακρίθηκαν μεταξύ τάξεων (καλανοειδή-κυκλοποειδή). Αντίθετα, οι ναύπλιοι μετρήθηκαν για το σύνολο των κωπηπόδων επειδή η διάκριση ειδών σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Επιπλέον, για όλες τις ομάδες του ζωοπλαγκτού σημειώθηκαν τα ωοφόρα άτομα. Με τη βοήθεια μικρομέτρικής κλίμακας προσαρτημένης στον προσοφθάλμιο φακό του μικροσκοπίου, καταμετρώνταν το μήκος του σώματος των κωπηποδιτών, των ναύπλιων και των κλαδόκερων και κατατάσσονταν σε κλάσεις μεγέθους, όπως περιγράφεται στην εικόνα 3.1.

Για τον υπολογισμό της αφθονίας των οργανισμών του ζωοπλαγκτού, τα δείγματα αραιώνονταν σε κατάλληλο όγκο και η καταμέτρηση των ατόμων γινόταν σε 3 υποδείγματα όγκου 1,5 ml, με τη βοήθεια θαλάμου αρίθμησης Sedwick-Rafter. Ο όγκος της αραιώσης ήταν κάθε φορά τέτοιος ώστε το πλήθος των οργανισμών στο υπόδειγμα να μην είναι μικρότερο από 100 άτομα. Στις περιπτώσεις που αυτό δεν ήταν εφικτό, η αρίθμηση των οργανισμών γινόταν σε ολόκληρο το δείγμα. Η αφθονία των ειδών εκφράστηκε σε άτομα ανά λίτρο (ind/l).



Εικόνα 3.1: Σχηματική απεικόνιση του μετρούμενου μήκους σώματος (L) των καρκινοειδών (από Μιχαλούδη, 1997).

Για την εκτίμηση της ποικιλότητας του ζωοπλαγκτού χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Shannon-Weiner (H') (Wilson & Bossert, 1971), ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$H' = -\sum_{i=1}^N p_i \log p_i$$

όπου p_i είναι η αφθονία του είδους i και N η συνολική αφθονία του δείγματος. Ο δείκτης λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές όταν η βιοκοινωνία αποτελείται από περισσότερα είδη, ενώ λαμβάνει τις μικρότερες τιμές όταν στην κοινωνία επικρατεί ένα είδος.

Για την απεικόνιση της κατακόρυφης κατανομής των ζωοπλαγκτικών ειδών/ομάδων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Surfer 7.0. Για τη σύγκριση των κατακόρυφων κατανομών υπολογίστηκε, σύμφωνα με τον Hofmann (1975), το μέσο

βάθος κατακόρυφης κατανομής (S), το οποίο ορίζεται ως το βάθος εκείνο εκατέρωθεν του οποίου συγκεντρώνεται το 50 % του συνολικού πληθυσμού και υπολογίζεται ως εξής:

όπου N_{Ti} είναι η αφθονία (ind/l) του είδους/ομάδας στο βάθος i και T_i (m) το ενδιάμεσο βάθος κάθε διακριτής κατακόρυφης σύρσης. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε αυτή η παράμετρος είναι ότι, παρόλο που το μέσο βάθος δεν αντιπροσωπεύει πλήρως την πραγματική κατακόρυφη κατανομή ενός είδους, ωστόσο είναι ένα καλό αριθμητικό εργαλείο για την εφαρμογή στατιστικών δοκιμών.

3.2.3 Στατιστική επεξεργασία

Προκειμένου να διερευνηθεί η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στην αφθονία του συνολικού ζωοπλαγκτού και των επιμέρους ομάδων/ειδών μεταξύ των δειγματοληπτικών περιόδων, αλλά και μεταξύ των τριών σταθμών δειγματοληψίας, εφαρμόστηκε η ανάλυση διακύμανσης μίας κατεύθυνσης (one way ANOVA).

Ετήσιες ή εποχικές διαφορές μεταξύ των μέσων βαθών των ζωοπλαγκτικών ομάδων/ειδών διερευνήθηκαν με τη χρήση t-test ή one-way ANOVA. Οι ίδιες δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν και για τη σύγκριση των κατακόρυφων κατανομών μεταξύ ειδών.

Η στατιστική συσχέτιση της ζωοπλαγκτικής αφθονίας με τα φυσικοχημικά δεδομένα έγινε με τη βοήθεια της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Επιπλέον, η συσχέτιση των φυσικοχημικών παραμέτρων και της αφθονίας του ζωοπλαγκτού απεικονίστηκε γραφικά χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της RDA analysis (Redundancy Analysis), με τη χρήση του λογισμικού πακέτου CANOCO (ter Braak & Šmilauer, 2002). Όλες οι στατιστικές δοκιμές εφαρμόστηκαν σε λογαριθμημένες, και συγκεκριμένα σε $\log(x+1)$ τιμές, προκειμένου να εκπληρωθεί η κανονικότητα των τιμών που αυτές προϋποθέτουν ενώ πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα SPSS Statistics 17.0.

3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.3.1 Σύνθεση ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας

Κατά τη διάρκεια της τριετούς μελέτης στη λίμνη Τριχωνίδα (Σεπτέμβριος 2003 έως Αύγουστος 2006) αναγνωρίστηκαν συνολικά 36 γένη και είδη ζωοπλαγκτικών ασπονδύλων. Στην ομάδα των τροχοζώων αναγνωρίστηκαν 24 γένη και είδη ενώ βρέθηκαν και αντιπρόσωποι της τάξης Bdelloidea. Τη βιοκοινωνία των πλαγκτικών καρκινοειδών συνιστούν 3 είδη κωπηπόδων και 7 είδη κλαδόκερων. Επίσης, στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης συμμετέχει και 1 είδος προνύμφης δίθυρου μαλακίου (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.2: Κατάλογος των πλαγκτικών ασπονδύλων που βρέθηκαν στη λίμνη Τριχωνίδα κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας αλλά και προηγούμενων μελετών.
(1) Koussouris 1978, 1979, (2) Koussouris et al., 1993, (3) Kehayias et al., 2004.

	(1)	(2)	(3)	Παρούσα εργασία	Δείκτες ολιγοτρο- φισμού	Δείκτες ευτρο- φισμού
ΤΡΟΧΟΖΩΑ						
<i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse 1851)	+					
<i>Ascomorpha</i> sp. (Perty 1850)				+		
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse 1850)	+		+	+		
<i>Asplanchnopus multiceps</i> (Schränk 1793)	+	+				
<i>Brachionus angularis</i> (Gosse 1851)	+	+				
<i>B. calyciflorus</i> (Pallas 1766)	+	+	+	+		‡
<i>B. c. f. anuraeiformis</i> (Brehm 1909)			+	+		
<i>B. caudatus</i> (Barrois & Daday 1894)		+				
<i>Collotheca</i> sp. (Harring 1913)				+		
<i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet 1892)				+		
<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg 1832)			+	+		
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg 1834)	+			+		‡
<i>F. opoliensis</i> (Zacharias 1898)				+		
<i>F. terminalis</i> (Plate 1886)	+	+		+		
<i>Gastropus stylifer</i> (Imhof 1891)		+		+		
<i>Hexarthra</i> sp. (Schmarda 1854)			+	+		
<i>H. mira</i> (Hudson 1871)	+	+		+		‡
<i>H. intermedia</i> (Wiszniewski 1929)				+		
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott 1879)	+		+	+	†	
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse 1851)	+	+	+	+		
<i>K. quadrata</i> (Müller 1786)	+	+	+	+		‡
<i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg 1932)				+		
<i>Monommata</i> sp. (Bartsch 1870)				+		

<i>Ploesoma hudsoni</i> (Imhof 1891)	+	+		+	†
<i>P. truncatum</i> (Levander 1894)	+			+	
<i>Polyarthra</i> sp. (Ehrenberg 1834)				+	
<i>P. vulgaris</i> (Carlin 1943)	+	+			
<i>Pompholyx sulcata</i> (Hudson 1885)				+	‡
<i>Ptygura (crystallina?)</i> (Ehrenberg 1834)	+				
<i>Synchaeta</i> sp. (Ehrenberg 1832)			+	+	
<i>Trichocerca birostris</i> (Minkiewicz 1900)	+	+			
<i>T. capucina</i> (Wierzejski 1893)			+	+	
<i>T. porcellus</i> (Gosse 1851)		+			
<i>T. ratus</i> (Müller 1776)	+				
<i>T. similis</i> (Wierzejski 1893)			+	+	
Bdelloidea				+	

ΚΩΠΗΠΟΔΑ

<i>Acanthocyclops viridis</i> (Jurine 1820)		+			
<i>Arctodiaptomus dudichi</i> (Kiefer 1935)	+				
<i>A. dudichi</i> v. <i>stephanidesi</i> (Stephanides 1948)		+			
<i>A. steindachneri</i> (Richard 1897)	+	+			
<i>Cyclops</i> sp. (O.F. Müller 1776)		+			
<i>Cyclops vicinus</i> (Ulyanin 1875)		+			
<i>Eudiaptomus drieschi</i> (Poppe & Mrazek 1895)	+	+	+	+	
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine 1820)			+	+	
<i>Megacyclus viridis</i> (Jurine 1820)	+				
<i>Microcyclus varicans</i> (G.O. Sars 1863)			+	+	

ΚΛΑΔΟΚΕΡΑ

<i>Alona</i> sp. (Baird 1843)		+		+	
<i>A. affinis</i> (Leydig 1860)	+				
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller 1785)	+	+	+	+	‡
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> (Sars 1862)			+	+	
<i>Daphnia</i> sp. (O.F. Müller 1785)		+		+	
<i>D. cucullata</i> (G.O. Sars 1862)			+	+	‡
<i>D. galeata</i> (Sars 1864)			+	+	†
<i>D. hyalina</i> (Leydig 1860)	+	+			
<i>D. longispina</i> (O.F. Müller 1785)	+		+		
<i>Diaphanosoma</i> sp. (Fischer 1850)			+	+	
<i>Diaphanosoma orghidani</i> (Negrea 1982)				+	
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke 1844)				+	

ΠΡΟΝΥΜΦΕΣ ΜΑΛΑΚΙΩΝ

<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas 1771)		+	+	+	
---	--	---	---	---	--

‡ Είδη που θεωρούνται δείκτες εύτροφων συνθηκών σύμφωνα με τους Gannon & Stemberger (1978), Geller & Müller (1981), Mäemets (1983) και Pejler (1983)

† Είδη που θεωρούνται δείκτες oligότροφων συνθηκών σύμφωνα με τον Pejler (1983)

Συγκριτικά με προηγούμενες έρευνες, στον κατάλογο των ειδών της παρούσας διατριβής σημειώθηκαν 11 νέες καταγραφές. Αυτές αφορούν τα κλαδόκερα *Diaphanosoma orghidani* και *Leptodora kindtii*, καθώς και εννέα τροχόζωα: τα γέννη *Ascomorpha*, *Colotheca* και *Monommata*, εκπροσώπους της τάξης Bdelloidea και τα είδη

Conochilus unicornis, *Filinia opoliensis*, *Hexarthra intermedia*, *Lecane quadridentata* και *Pompholyx sulcata*.

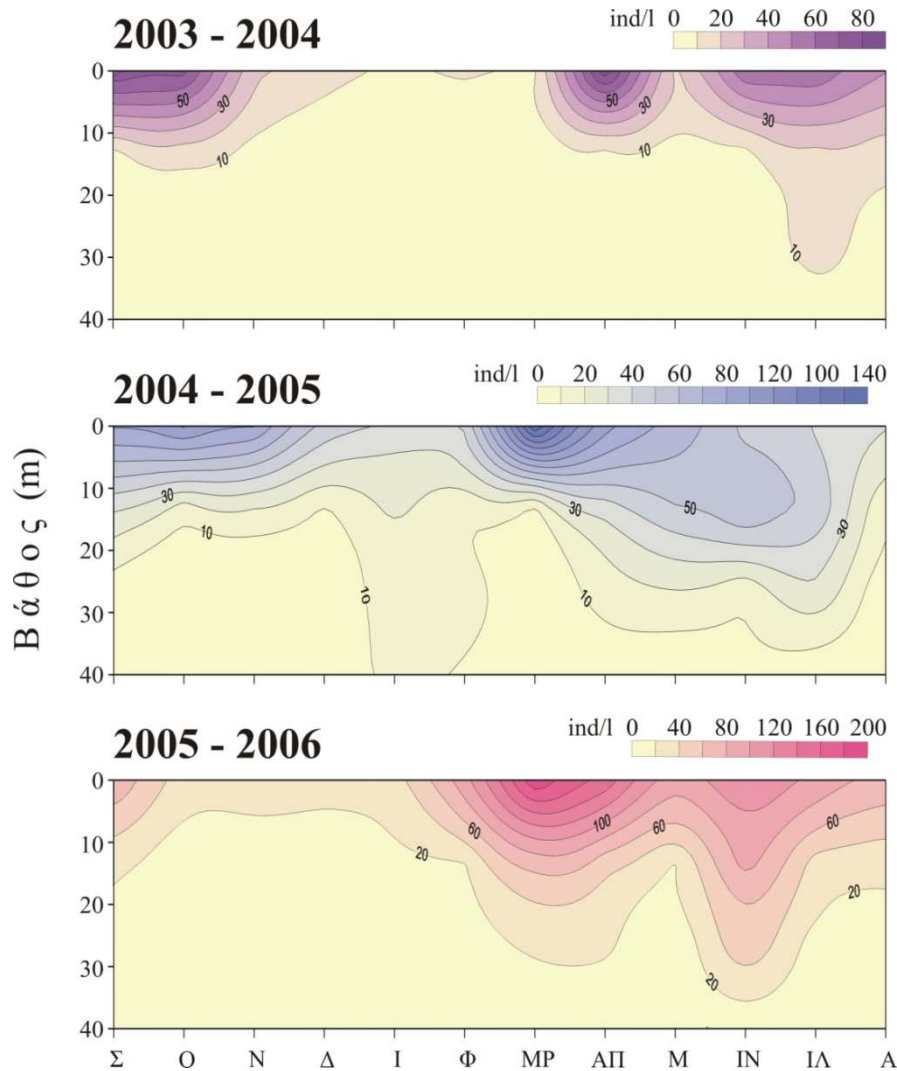
3.3.2 Χωρική και χρονική διακύμανση

Στη συνέχεια, περιγράφεται η κατακόρυφη κατανομή και η χρονική διακύμανση της αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού αλλά και των επιμέρους ζωοπλαγκτικών ομάδων και ειδών.

3.3.2.1 Συνολικό ζωοπλαγκτό

Το μεγαλύτερο μέρος της αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού καταγράφηκε στα ανώτερα 20 m του νερού καθόλη τη διάρκεια της τριετούς έρευνας (Εικόνα 3.2). Παρόλο που μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων υπήρξε κάποια διαφοροποίηση στην κατακόρυφη κατανομή του συνόλου των οργανισμών, αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική (one way ANOVA, $p=0,381$). Η κατανομή των οργανισμών στον κατακόρυφο άξονα γενικά δεν διέφερε μεταξύ των τριών σταθμών. Σε κάποιες περιπτώσεις, ωστόσο, το μέσο βάθος κατακόρυφης κατανομής παρουσίασε διαφορά κυρίως μεταξύ των σταθμών Α και Γ, η οποία αποδίδεται στη βαθυμετρική διαφορά των σταθμών αυτών. Εξαιτίας του ότι ο σταθμός Α ήταν ο βαθύτερος, η κατακόρυφη κατανομή των ζωοπλαγκτικών ομάδων και ειδών περιγράφεται μόνο για αυτό το σταθμό.

Γενικά παρατηρήθηκε πιο ομοιογενής κατανομή στον κατακόρυφο άξονα το χειμώνα, ενώ μεγαλύτερη αφθονία καταγράφηκε στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m κατά το υπόλοιπο διάστημα του έτους. Ωστόσο, η εποχική μεταβολή του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε καμία από τις τρεις περιόδους (one way ANOVA, $p=0,244$, $p=0,274$ και $p=0,561$).

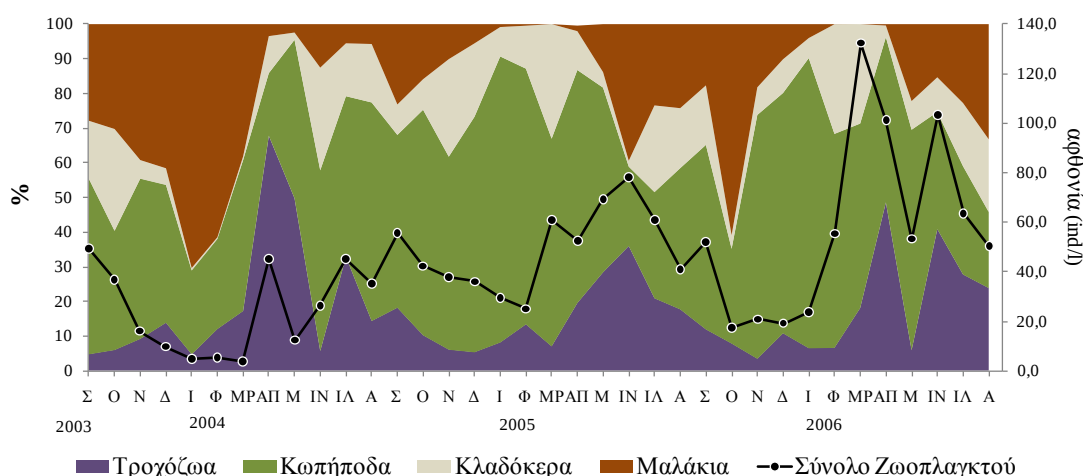


Εικόνα 3.2: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του συνολικού ζωοπλαγκτού στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Η μέση συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε μεταξύ 4 και 131,9 ind/l, ενώ δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών κατά τις δύο πρώτες δειγματοληπτικές περιόδους (one way ANOVA, $p=0,898$ και $p=0,704$). Μεταξύ των τριών ετών, η μέση συνολική ζωοπλαγκτική αφθονία διέφερε σημαντικά (one way ANOVA, $p=0,003$), με τις μικρότερες τιμές να καταγράφονται την περίοδο 2003-04.

Η μέση αφθονία του συνολικού ζωοπλαγκτού εμφάνισε ένα πρότυπο εποχικής διακύμανσης σύμφωνα με το οποίο μετά από το Σεπτέμβριο παρατηρούνταν μείωση της αφθονίας, η οποία παρέμενε σε χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα. Την άνοιξη παρουσίαζε ένα πρώτο μέγιστο αφθονίας, ενώ ένα δεύτερο μέγιστο

εμφανιζόταν το καλοκαίρι. Με εξαίρεση την περίοδο 2003-04, το ανοιξιάτικο μέγιστο της αφθονίας χαρακτηριζόταν από αυξημένη συμμετοχή των κωπηπόδων, ενώ κατά το μέγιστο του καλοκαιριού ήταν αυξημένη η παρουσία των τροχοζώων. Την περίοδο 2003-04, ωστόσο, η ανοιξιάτικη κορυφή της αφθονίας φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της αύξησης των τροχοζώων, ενώ το καλοκαίρι συμμετείχαν με μεγαλύτερο ποσοστό τα κωπήποδα (Εικόνα 3.3). Κατά το Σεπτέμβριο του 2004 και 2005 ήταν εμφανές και ένα φθινοπωρινό μέγιστο με αυξημένη παρουσία των κωπηπόδων.



Εικόνα 3.3: Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού και ποσοστιαία συμμετοχή των ζωοπλαγκτικών ομάδων στο στρώμα των 0-20 m.

Από τις ομάδες του ζωοπλαγκτού, αφθονότερη ήταν αυτή των κωπηπόδων, με ποσοστά που κυμάνθηκαν από 18,4 έως 83,7 %. Δεύτερη ήταν η ομάδα των τροχοζώων με συμμετοχή στο συνολικό ζωοπλαγκτό από 2,6 έως 73,7 %, ενώ ακολούθησαν οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *Dreissena polymorpha* (0 - 82,7 %) και, τέλος, η ομάδα των κλαδόκερων με ποσοστά από 0,3 έως 41,5 % (Εικόνα 3.3).

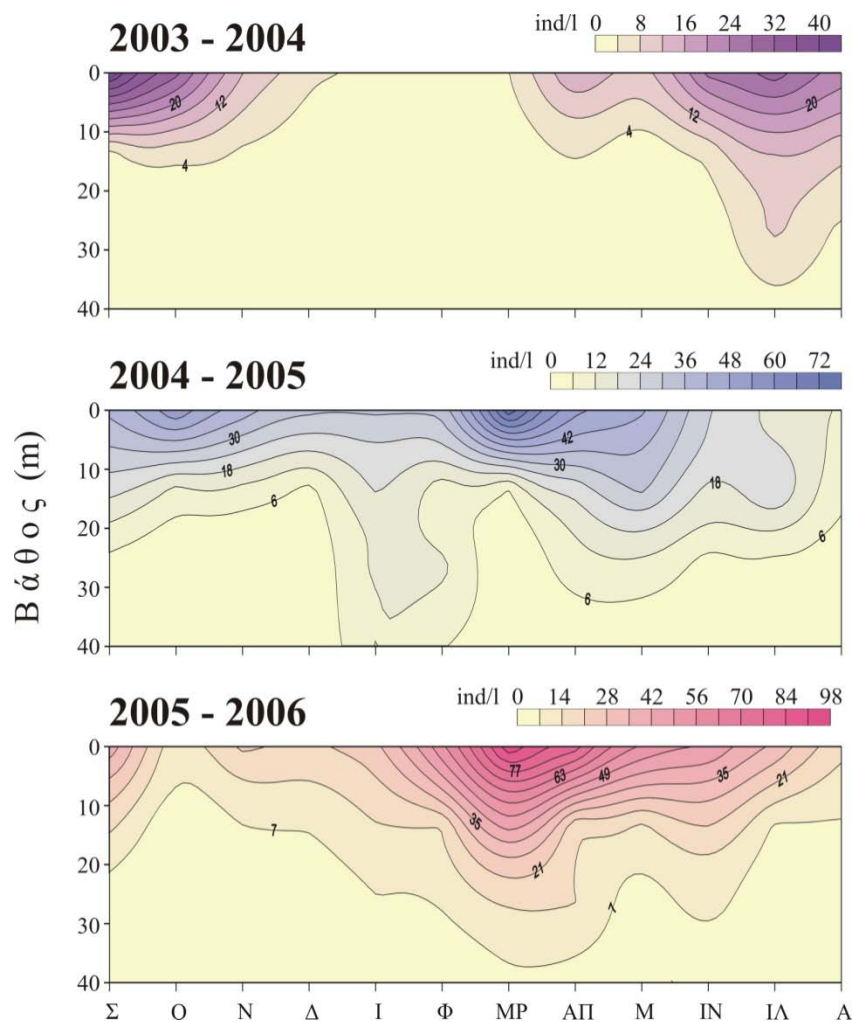
Στην περιγραφή των εποχικών διακυμάνσεων που ακολουθεί, η κατάταξη των ειδών έγινε ανάλογα με τη σημασία τους στη ζωοπλαγκτική κοινωνία, σύμφωνα με τον Haberman (1976). Με βάση, λοιπόν, το ποσοστό κατά το οποίο συμβάλλει η αφθονία του είδους στο συνολικό ζωοπλαγκτό, αυτό χαρακτηρίζεται ως επικρατέστερο (> 20 %), άφθονο (15,0 - 19,9 %), μέτριας αφθονίας (10,0 - 14,9 %), μη σημαντικό (5,0 – 9,9 %) και αμεληταίο (μικρότερο από 4,9 %).

3.3.2.2 Κωπήποδα

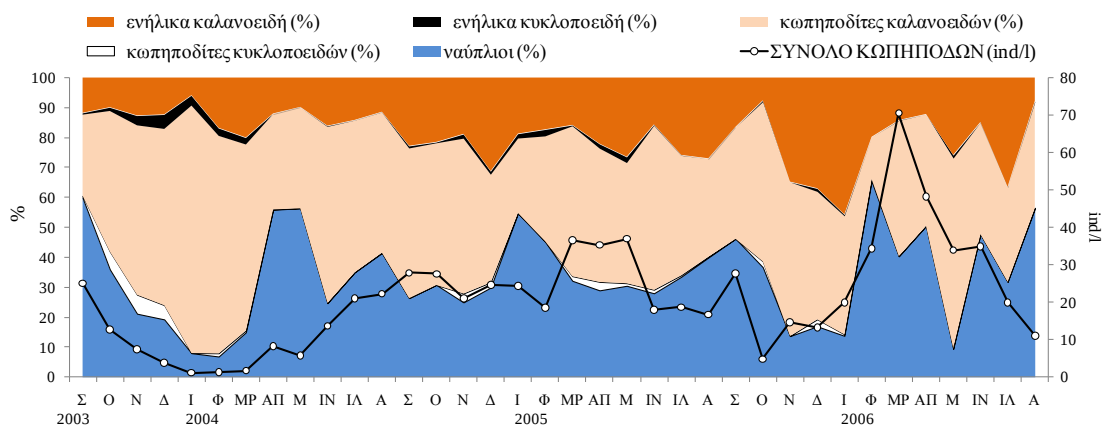
Τα κωπήποδα ήταν η επικρατέστερη ομάδα στο ζωοπλαγκτό της Τριχωνίδας. Η παρουσία τους ήταν συνεχής καθόλη τη διάρκεια της έρευνας, με τη μεγαλύτερη αφθονία να σημειώνεται στο επιφανειακότερο στρώμα των 0-10 m. Αυτό ήταν πιο έντονο κατά την περίοδο αυξημένης παρουσίας τους στη λίμνη, ενώ η κατακόρυφη κατανομή τους ήταν πιο ομοιογενής το χειμώνα (Εικόνα 3.4). Η σύγκριση του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής μεταξύ των εποχών έδειξε στατιστικά σημαντική μεταβολή μόνο κατά την περίοδο 2003-04 (one way ANOVA, $p=0,031$) με τους οργανισμούς να συναντώνται βαθύτερα το χειμώνα.

Η μέση αφθονία του συνόλου των κωπηπόδων στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε από 1,2 έως 70,5 ind/l (Εικόνα 3.5). Μεταξύ των τριών σταθμών δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά σε καμία από τις δύο περιόδους (one way ANOVA, $p>0,05$), ενώ μεταξύ των τριών περιόδων οι τιμές αφθονίας τους ήταν σημαντικά μικρότερες κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο 2003-04 (one way ANOVA, $p=0,000$).

Γενικά, η μέση αφθονία του συνόλου των κωπηπόδων ακολούθησε ένα μονοακμικό πρότυπο εποχικής διακύμανσης (εμφάνιση ενός ετήσιου μέγιστου αφθονίας), το οποίο ωστόσο εμφάνισε μικρές διαφορές μεταξύ των τριών περιόδων. Την περίοδο 2003-04, η αφθονία τους παρουσίασε μείωση κατά το φθινόπωρο και παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα το χειμώνα, ενώ μία μικρή αύξηση παρατηρήθηκε την άνοιξη, η οποία συνεχίστηκε μέχρι το τέλος του καλοκαιριού. Κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα της περιόδου 2004-05 υπήρξε τάση μείωσης της μέσης αφθονίας των κωπηπόδων, όχι όμως το ίδιο έντονη με την προηγούμενη περίοδο. Την άνοιξη παρουσίασε αύξηση, ενώ το καλοκαίρι σημειώθηκαν οι χαμηλότερες τιμές αυτής της περιόδου. Την περίοδο 2005-06, η μέση αφθονία των κωπηπόδων ήταν γενικά χαμηλή το φθινόπωρο, αλλά άρχισε να αυξάνει από τα μέσα του χειμώνα σημειώνοντας μέγιστο κατά την άνοιξη, ενώ στη συνέχεια έφθινε μέχρι το τέλος του καλοκαιριού (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.4: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του συνόλου των κωπηπόδων στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

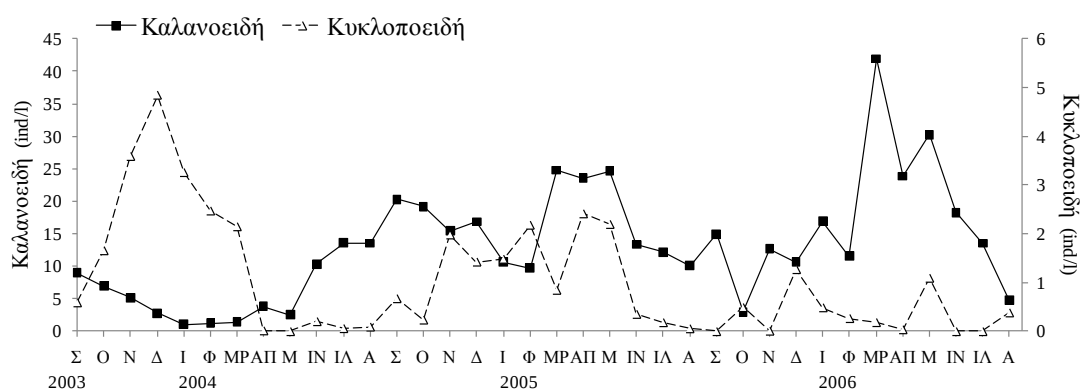


Εικόνα 3.5: Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του συνόλου των κωπηπόδων και ποσοστιαία συμμετοχή των επιμέρους αναπτυξιακών σταδίων στο στρώμα των 0-20 m.

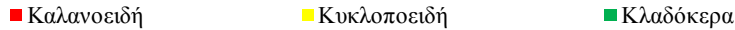
Στη βιοκοινωνία των κωπηπόδων συμμετέχουν δύο τάξεις, τα καλανοειδή με αντιπρόσωπο το είδος *Eudiaptomus drieschi* και τα κυκλοποειδή, στα οποία ανήκουν τα είδη *Macrocyclus albidus* και *Microcyclus varicans*. Μεταξύ των δύο τάξεων, υπήρξε σαφής υπεροχή των καλανοειδών σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου (Εικόνα 3.5). Εποχικά, αυξημένη συμμετοχή των κυκλοποειδών κωπηπόδων παρατηρήθηκε κυρίως κατά τους ψυχρότερους μήνες του έτους (Εικόνα 3.6).

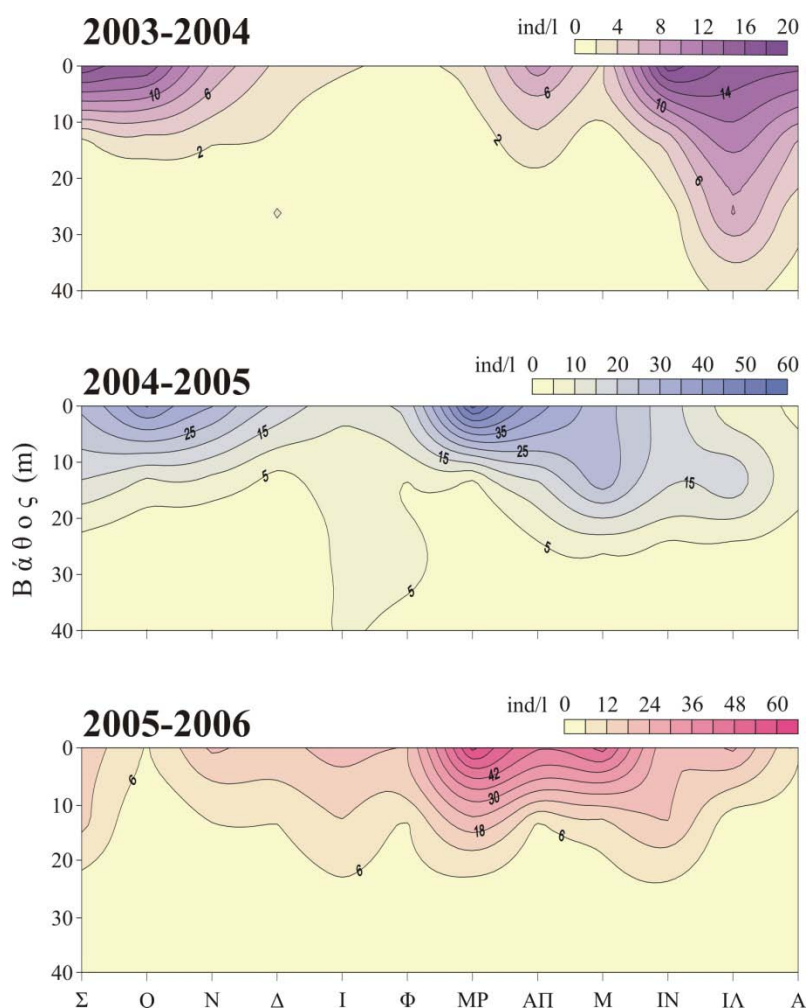
Όσον αφορά στην ηλικιακή σύνθεση της βιοκοινωνίας των κωπηπόδων, υπήρξε αριθμητική υπεροχή των κωπηποδιτών και των ναύπλιων καθόλη τη διάρκεια της έρευνας, με ποσοστά από 53,8 έως 91,9 % συνολικά (14,7 – 82,7 % κωπηποδίτες, 6,9 – 65,4 % ναύπλιοι) (Εικόνα 3.5).

Τα καλανοειδή κωπήποδα κυριάρχησαν, επίσης, στη βιοκοινωνία των καρκινοειδών, καθώς ήταν σχεδόν πάντα αφθονότερα σε σχέση με το σύνολο των κυκλοποειδών και των κλαδόκερων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.7. Ο λόγος των καλανοειδών προς το άθροισμα των κυκλοποειδών και των κλαδόκερων στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε από 0,5 έως 18,5 με μέση τιμή 5,2. Οι τιμές της παραπάνω αναλογίας δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,861$ και $p=0,881$ για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα), ή μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,673$). Σημειώνεται ότι στους υπολογισμούς συμπεριελήφθησαν και τα αναπτυξιακά στάδια των ομάδων.

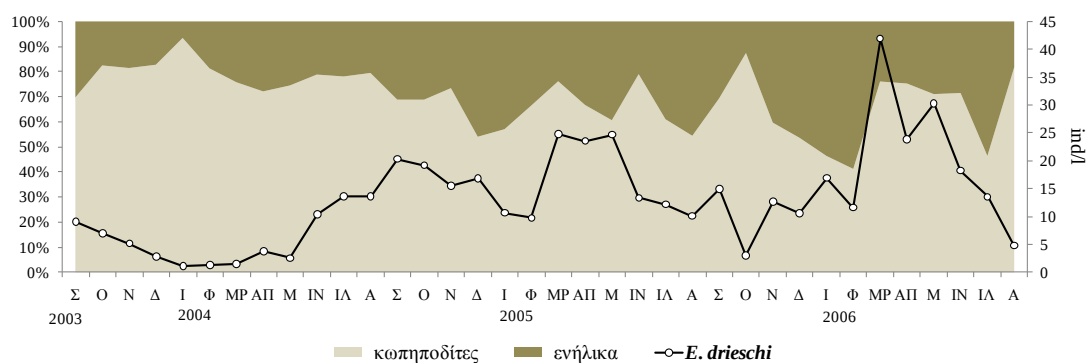


Εικόνα 3.6: Τριετής εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας των καλανοειδών και κυκλοποειδών κωπηπόδων στο στρώμα των 0-20 m.

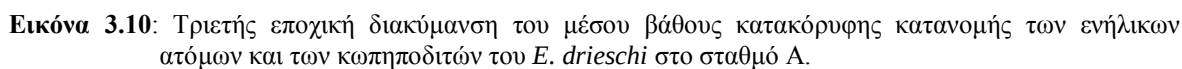




Εικόνα 3.8: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του *E. drieschi* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

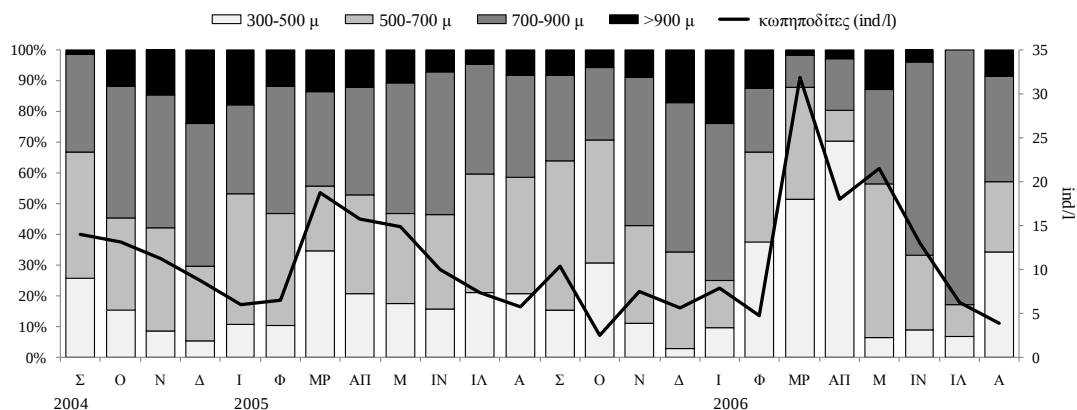


Εικόνα 3.9: Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *E. drieschi* και ποσοστιαία συμμετοχή των αναπτυξιακών σταδίων στο στρώμα των 0-20 m.

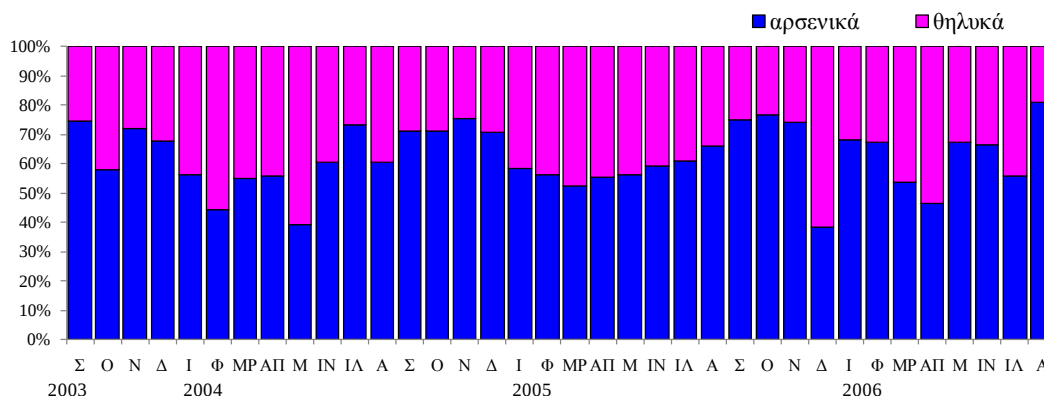


Σχετικά με τη συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των κωπηποδιτών στο στρώμα των 0-20 m, στην Εικόνα 3.11 φαίνεται ότι καθόλη τη διάρκεια του έτους συμμετείχαν στη βιοκοινωνία των κωπηπόδων κωπηποδίτες όλων των σταδίων. Το ποσοστό της μικρότερης κλάσης (300-500 μm) βρέθηκε αυξημένο κυρίως την άνοιξη κατά την αύξηση της αφθονίας των κωπηποδιτών, ενώ κωπηποδίτες των μεγαλύτερων σταδίων ($>700 \mu\text{m}$) ήταν περισσότεροι κατά το χειμώνα που παρατηρήθηκε και αύξηση του ποσοστού των ενηλίκων. Όσον αφορά στην αφθονία των επιμέρους κλάσεων μεγέθους, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας (one way ANOVA, $p>0,05$), ή μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (t-test, $p>0,05$).

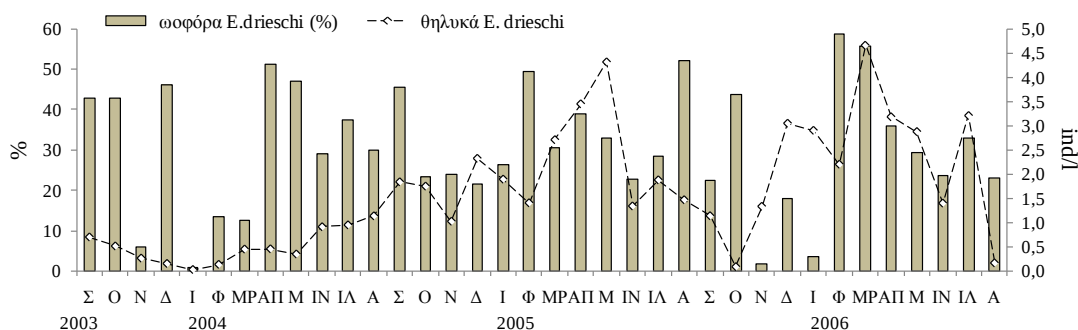
Εξετάζοντας τη συμμετοχή των δύο φύλων στον πληθυσμό του *E. drieschi*, προκύπτει ότι γενικά υπήρξε αριθμητική υπεροχή των αρσενικών ατόμων, ενώ η συμμετοχή των θηλυκών φαίνεται να αυξάνει κυρίως κατά την άνοιξη (Εικόνα 3.12). Ωστόσο, ο λόγος αρσενικά:θηλυκά δεν απέκλεινε σημαντικά από 1:1 (G-test, $p>0,05$) και η αναλογία των δύο φύλων δεν διέφερε στατιστικά μεταξύ των 3 σταθμών (one way ANOVA, $p=0,790$ και $p=0,808$ για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα), ή μεταξύ των 3 δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,896$).



Εικόνα 3.11: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των κωπηποδιτών του *E. drieschi* στην αφθονία τους στο στρώμα των 0-20 m και εποχική διακύμανσή της.



Εικόνα 3.12: Ποσοστιαία συμμετοχή των δύο φύλων στη μέση αφθονία των ενήλικων ατόμων *E. drieschi* στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.13: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στο σύνολο των θηλυκών *E. drieschi* και εποχική διακύμανση της αφθονίας τους στο στρώμα των 0-20 m.

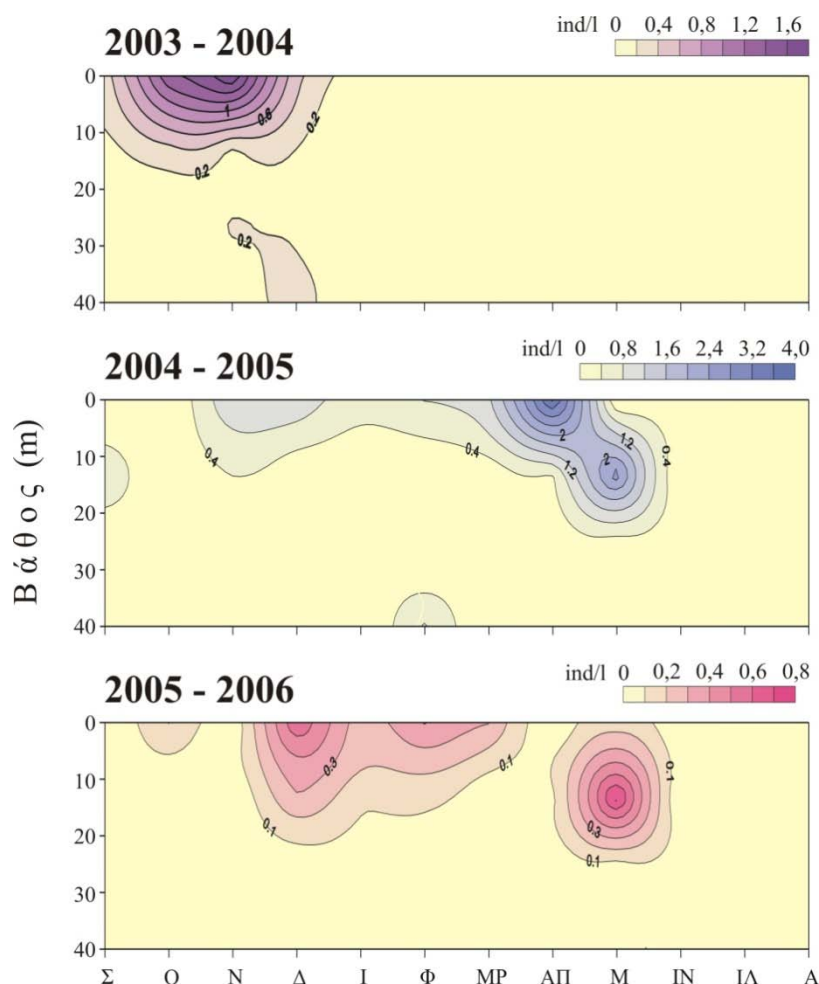
Θηλυκά άτομα με αυγά βρέθηκαν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας. Το μέσο ποσοστό τους στο σύνολο των θηλυκών ατόμων δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,209$ και $p=0,689$ για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα). Το ποσοστό των ωοφόρων θηλυκών ήταν γενικά μικρότερο στο τέλος του φθινοπώρου και στις αρχές του χειμώνα (από το Νοέμβριο μέχρι τον Ιανουάριο), ενώ την υπόλοιπη περίοδο διατηρήθηκε σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Τα μεγαλύτερα ποσοστά σημειώθηκαν κυρίως μεταξύ των μηνών Φεβρουαρίου και Απριλίου, ενώ μια δεύτερη αύξηση των ωοφόρων ατόμων παρατηρήθηκε κατά το καλοκαίρι. (Εικόνα 3.13). Την περίοδο 2004-05, η συμμετοχή τους ήταν σημαντική σε όλη τη διάρκεια του έτους, χωρίς ωστόσο να διαφέρει στατιστικά από τις άλλες περιόδους (one way ANOVA, $p=0,056$).

Κυκλοποειδή κωπήποδα

Τα είδη κυκλοποειδών κωπηπόδων που αναγνωρίστηκαν στη λίμνη Τριχωνίδα είναι τα *M. albidus* και *M. varicans*. Στα επιμέρους είδη διακρίθηκαν μόνο τα ενήλικα άτομα, ενώ οι κωπηποδίτες για τους οποίους ήταν δύσκολο να διακριθεί το είδος, παρουσιάζονται συνολικά.

Τα κυκλοποειδή κωπήποδα στη λίμνη Τριχωνίδα βρέθηκαν κυρίως στα ανώτερα 20 m βάθους, ενώ το χειμώνα των δύο πρώτων δειγματοληπτικών περιόδων βρέθηκαν και σε μεγαλύτερα βάθη (Εικόνα 3.14). Γενικά η μέση αφθονία ήταν πολύ χαμηλή και στο στρώμα των 0-20 m δεν ξεπέρασε το 1,5 ind/l, ενώ το ποσοστό συμμετοχής τους στην ομάδα των κωπηπόδων ήταν μικρότερο από 10 % (μέση τιμή 1,9 %).

Κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, κυκλοποειδή κωπήποδα βρέθηκαν κυρίως το φθινόπωρο, ενώ στις επόμενες περιόδους βρέθηκαν κυρίως το χειμώνα και την άνοιξη (Εικόνα 3.15). Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην αφθονία τους (one way ANOVA, $p=0,953$ και $p=0,739$ κατά τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα).

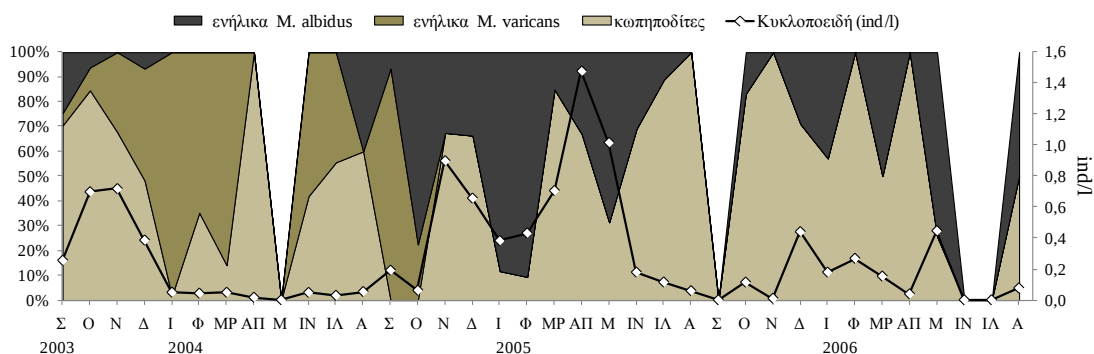


Εικόνα 3.14: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του συνόλου των κυκλοποειδών κωπηπόδων στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

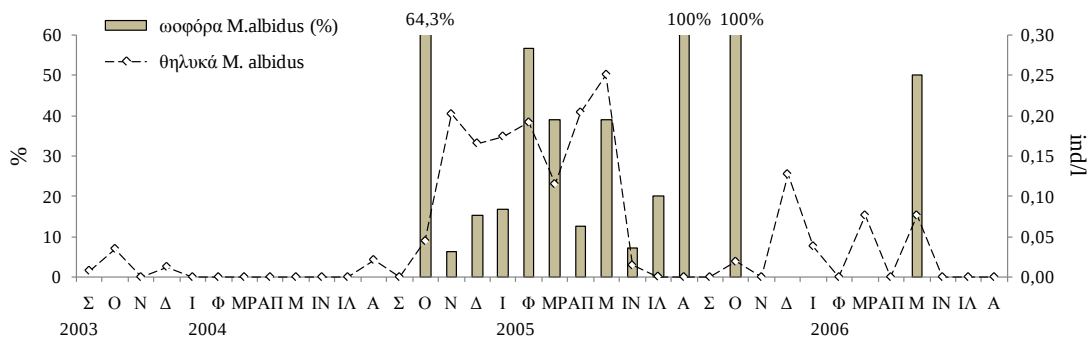
Στα ενήλικα άτομα, μεταξύ των δύο ειδών των κυκλοποειδών κωπηπόδων επικράτησε το είδος *M. varicans* κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, ενώ το υπόλοιπο διάστημα κυρίαρχο ήταν το είδος *M. albidus* (Εικόνα 3.15). Τα θηλυκά άτομα και των δύο ειδών είχαν γενικά μεγαλύτερη συμμετοχή στο σύνολο των ενήλικων ατόμων, ωστότε ασφαλές συμπέρασμα για την αναλογία των δύο φύλων δεν μπορούν να εξαχθούν, λόγω της χαμηλής αφθονίας των οργανισμών. Ωστόσο, θηλυκά βρέθηκαν μόνο για το είδος *M. albidus* και εμφανίστηκαν κυρίως το χειμώνα και την άνοιξη της δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου, με ποσοστά από 6,3 έως 56,6 % (Εικόνα 3.16).

Οι κωπηποδίτες αποτέλεσαν το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των κυκλοποειδών κωπηπόδων. Το 2003 και 2004 σημειώθηκε αύξηση της αφθονίας τους το φθινόπωρο, ενώ την περίοδο 2005-06 ήταν πιο αυξημένοι το χειμώνα. Την περίοδο 2004-05 παρατηρήθηκε

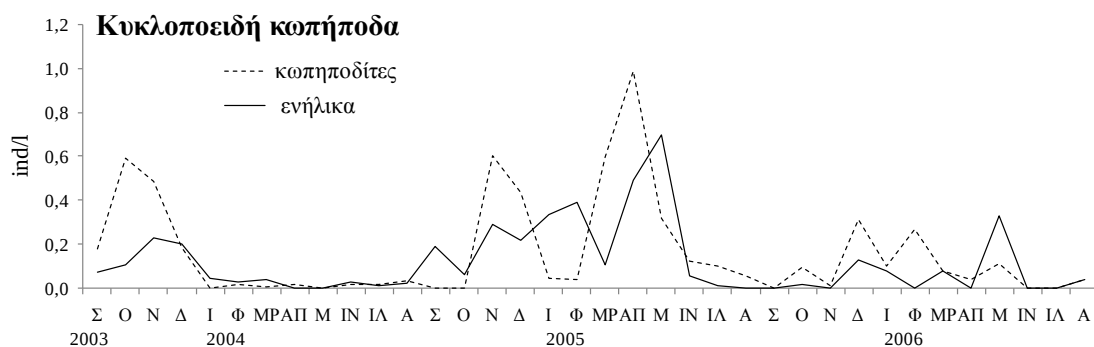
και δεύτερη αύξηση την άνοιξη. Σε κάθε περίπτωση, μετά από την μείωση της αφθονίας των κωπηποδιτών ακολουθούσε αύξηση της αφθονίας των ενήλικων ατόμων (Εικόνα 3.17).



Εικόνα 3.15: Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας των κυκλοποειδών κωπηπόδων και ποσοστιαία συμμετοχή των επιμέρους αναπτυξιακών σταδίων στο στρώμα των 0-20 m.

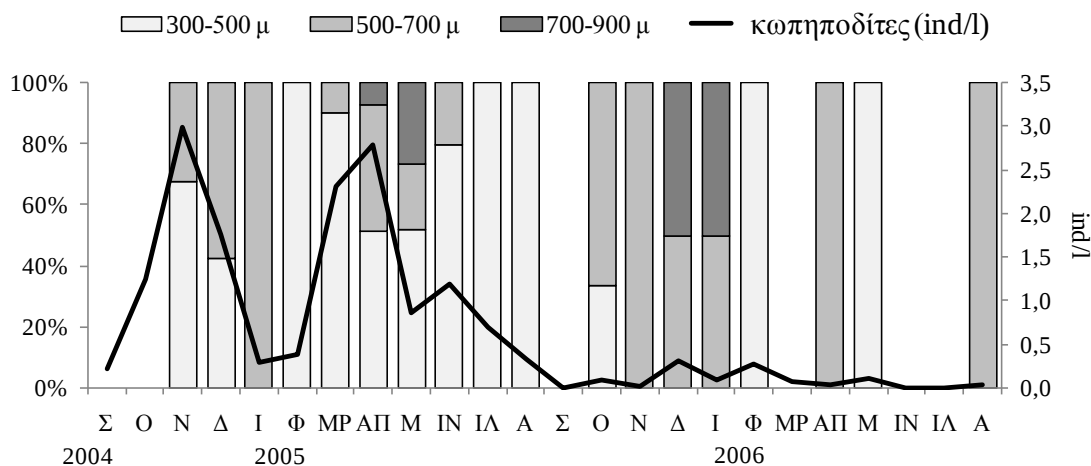


Εικόνα 3.16: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στο σύνολο των θηλυκών *M. albidus* και εποχική διακύμανση της αφθονίας τους στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.17: Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας των ενήλικων ατόμων και των κωπηποδιτών των κυκλοποειδών στο στρώμα των 0-20 m.

Όσον αφορά στη διακύμανση του μεγέθους, τα μικρότερα άτομα των κυκλοποειδών κωπηποδιτών επικρατούσαν κατά την περίοδο αύξησης της αφθονίας, ενώ οι μεγαλύτερες κλάσεις μεγέθους κυριαρχούσαν κατά τις περιόδους μείωσής της (Εικόνα 3.18).



Εικόνα 3.18: Μείση ποσοστιαία συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των κωπηποδιτών καλανοειδών κωπηπόδων στην αφθονία τους στο στρώμα των 0-20 m και εποχική διακύμανσή της.

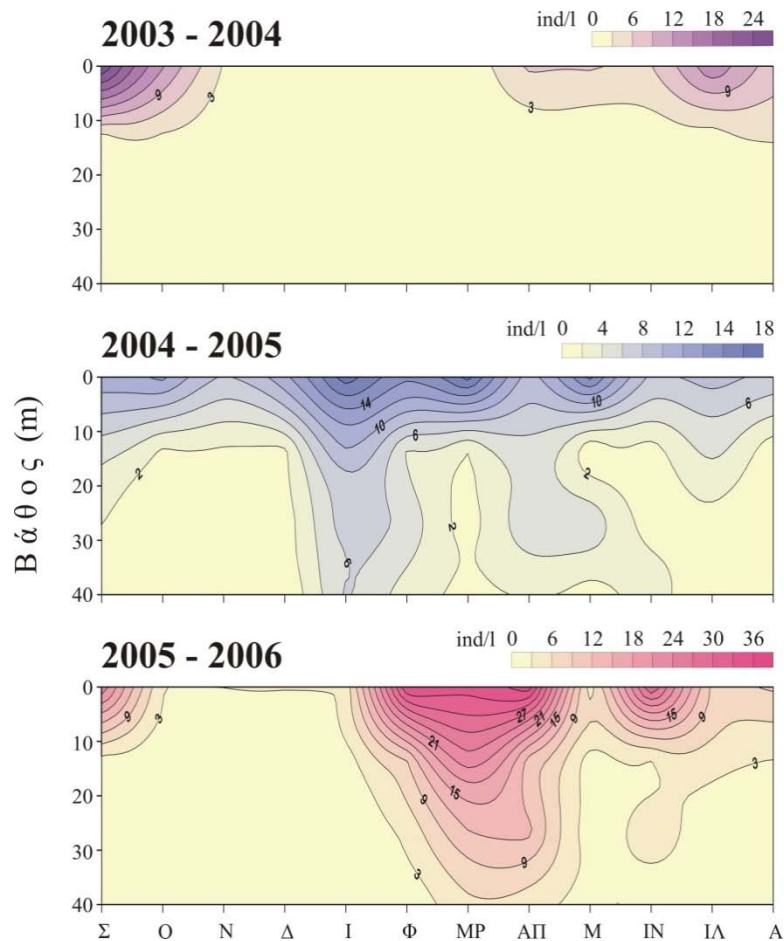
Ναύπλιοι κωπηπόδων

Οι ναύπλιοι εξετάστηκαν στο σύνολο των κωπηπόδων, λόγω της δυσκολίας αναγνώρισής τους σε επίπεδο είδους, όπως προαναφέρθηκε. Ωστόσο, δεδομένης της κυριαρχίας του *E. drieschi* στη βιοκοινωνία των κωπηπόδων, είναι πολύ πιθανό η πλειοψηφία τους να ανήκει σε αυτό το είδος.

Ναύπλιοι κωπηπόδων βρέθηκαν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας. Στον κατακόρυφο άξονα, η παρουσία τους ήταν σχεδόν περιορισμένη στα ανώτερα 20 m κατά την περίοδο 2003-04, ωστόσο κατά τις επόμενες χρονιές η αφθονία τους στα μεγαλύτερα βάθη ήταν συγκριτικά αυξημένη κατά τον χειμώνα και την άνοιξη (Εικόνα 3.19).

Η μέση αφθονία των ναυπλίων στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε μεταξύ 0,1 και 28,4 ind/l και δεν βρέθηκε να διαφέρει μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,669$ και $p=0,470$), ενώ ήταν μικρότερη κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο (one way ANOVA $p=0,010$). Με βάση την αφθονία τους, οι ναύπλιοι κατέλαβαν σημαντικά ποσοστά στο σύνολο των κωπηπόδων. Η συμμετοχή τους ήταν μεγαλύτερη την άνοιξη της

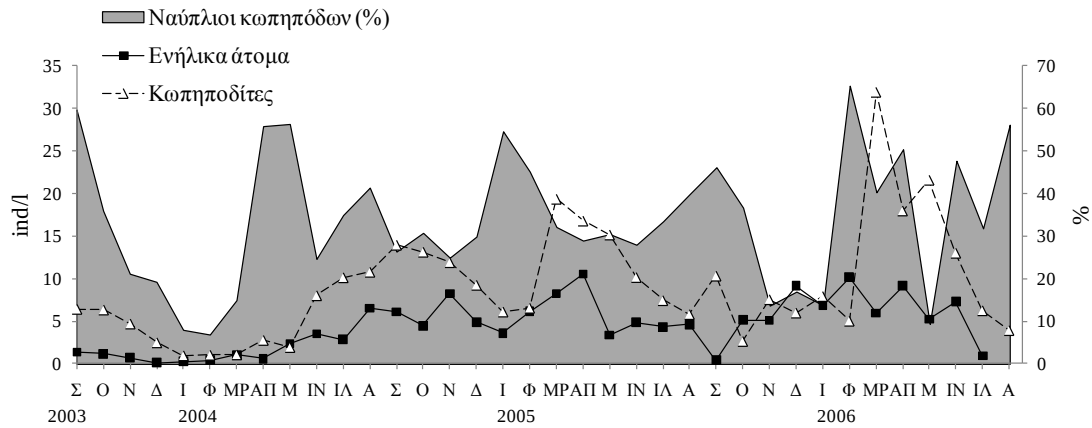
περιόδου 2003-04 και το χειμώνα των επόμενων ετών, ενώ και στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους μια δεύτερη αύξηση σημειώθηκε προς το τέλος του καλοκαιριού (Εικόνα 3.20). Αυτή η διακύμανσή τους φαίνεται να είναι σε συμφωνία με τη διακύμανση των ωοφόρων θηλυκών του *E. drieschi* (Εικόνα 3.13).



Εικόνα 3.19: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) των ναύπλιων κωπηπόδων στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

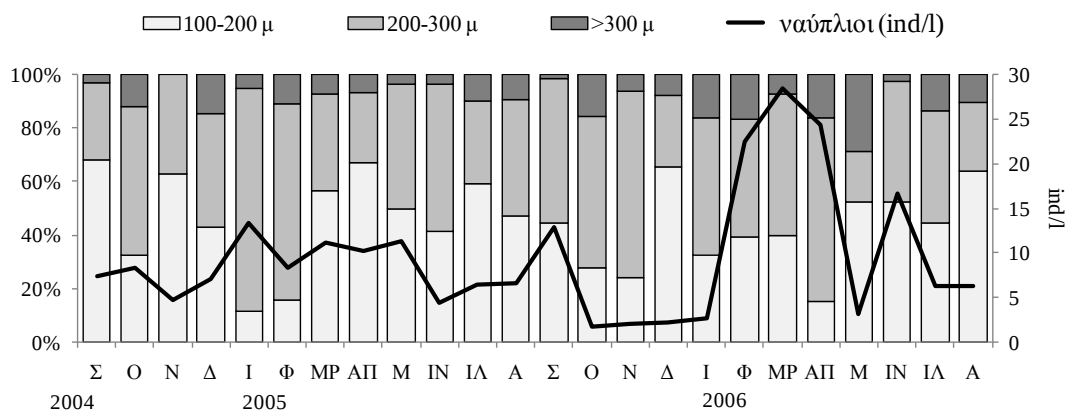
Σε σχέση με την αφθονία του συνόλου των επιμέρους αναπτυξιακών σταδίων των κωπηπόδων, η αύξηση του ποσοστού των ναύπλιων ακολουθούνταν από μια αύξηση της αφθονίας των κωπηποδιτών και έπειτα των ενήλικων ατόμων, συνήθως μέσα σε ένα διάστημα 3 μηνών. Αυτό παρατηρήθηκε από τα μέσα της άνοιξης μέχρι το τέλος του καλοκαιριού την περίοδο 2003-04, από το τέλος του καλοκαιριού μέχρι το τέλος του φθινοπώρου και από τα μέσα του χειμώνα έως τα μέσα της άνοιξης την περίοδο 2004-05,

και από το Σεπτέμβριο μέχρι τις αρχές του χειμώνα και από το Φεβρουάριο μέχρι το τέλος της άνοιξης την περίοδο 2005-06 (Εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.20: Τριετής εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του συνόλου των ενήλικων κωπηπόδων και των κωπηποδιτών και ποσοστιαία συμμετοχή των ναύπλιων στο σύνολο των κωπηπόδων στο στρώμα των 0-20 m.

Όσο ν αφορά στη συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των ναύπλιων στο σύνολό τους, η μεγαλύτερη κλάση είχε τα μικρότερα ποσοστά συμμετοχής (0 - 22,1 % και 1,8 - 28,6 % στις δύο περιόδους που μετρήθηκαν, αντίστοιχα). Γενικά, ναύπλιοι μικρότερων μεγεθών επικρατούσαν την άνοιξη και το καλοκαίρι (Εικόνα 3.21).



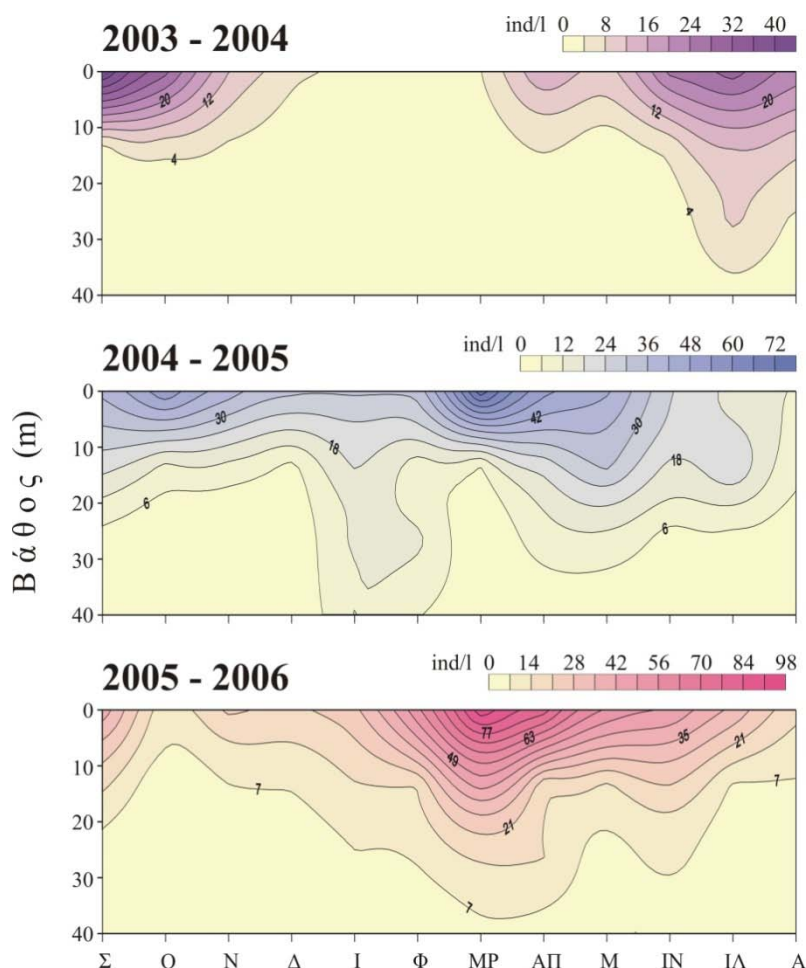
Εικόνα 3.21: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των ναύπλιων των κωπηπόδων στη συνολική τους αφθονία στο στρώμα των 0-20 m.

Από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τα κωπήποδα, μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποιες διαπιστώσεις σχετικά με την αναπαραγωγή και τον κύκλο ζωής του κυρίαρχου είδους της λίμνης, του *E. drieschi*. Η ευνοϊκότερη περίοδος για την αναπαραγωγή του είδους στη λίμνη Τριχωνίδα φαίνεται να είναι ο χειμώνας (πάντα με εξαίρεση την περίοδο 2003-04), καθώς αυτή την εποχή παρατηρήθηκαν περισσότερα ωοφόρα άτομα ενώ, στη συνέχεια, σημειώθηκε αύξηση στην παρουσία των ναύπλιων -και ιδιαίτερα εκείνων με μικρότερο μέγεθος- και, στις αρχές της άνοιξης, ακολούθησε μεγάλη αύξηση της αφθονίας του πληθυσμού. Μια δεύτερη αναπαραγωγική περίοδος θα μπορούσε να εντοπιστεί κατά τους θερινούς μήνες, καθώς και σε αυτό το διάστημα υπάρχει επίσης μια αύξηση στο ποσοστό των ωοφόρων ατόμων και των ναύπλιων μικρότερων μεγεθών. Φαίνεται, δε, ότι κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο η αναπαραγωγή του είδους πραγματοποιήθηκε κυρίως κατά το καλοκαίρι. Ωστόσο, η παρουσία ωοφόρων ατόμων και ναύπλιων της μικρότερης κλάσης μεγέθους σε όλη τη διάρκεια του έτους είναι πιθανότατα ενδεικτική μιας συνεχούς αναπαραγωγής του *E. drieschi* στη λίμνη Τριχωνίδα.

3.3.2.3 Κλαδόκερα

Το μεγαλύτερο μέρος των κλαδόκερων εντοπίστηκε στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της έρευνας, ενώ η κατανομή τους στην υδάτινη στήλη ήταν πιο ομοιογενής το χειμώνα (Εικόνα 3.22). Για το σύνολο της ομάδας δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές της κατακόρυφης κατανομής μεταξύ των εποχών σε καμία από τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους (one way ANOVA, $p=0,127$, $p=0,069$ και $p=0,701$, αντίστοιχα), ωστόσο, κάποιες εποχικές μεταβολές αναδείχθηκαν στην παρουσία των επιμέρους ειδών στον κατακόρυφο άξονα.

Στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης Τριχωνίδας, η ομάδα των κλαδόκερων βρέθηκε καθόλη τη διάρκεια της έρευνας, με μέση αφθονία στα 0-20 m από 0,01 έως 37,9 ind/l (Εικόνα 3.23). Η αφθονία τους δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών κατά τις περιόδους 2003-04 (one way ANOVA, $p=0,999$) και 2004-05 (one way ANOVA, $p=0,727$).

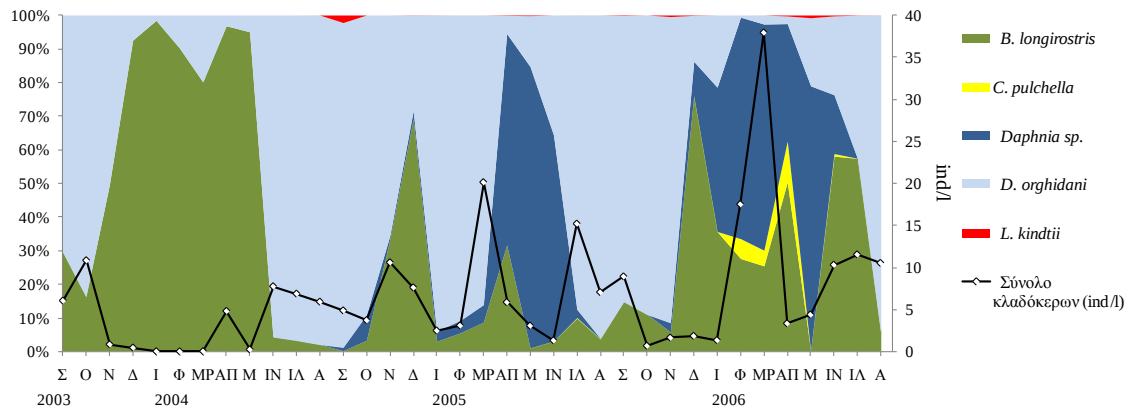


Εικόνα 3.22: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του συνόλου των κλαδόκερων στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Κατά την περίοδο 2004-05 σημειώθηκε εντονότερη παρουσία της ομάδας αυτής σε όλη τη διάρκεια του έτους, ωστόσο οι διαφορές μεταξύ των τριών περιόδων δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (one way ANOVA $p=0,108$).

Η εποχική διακύμανση της αφθονίας του συνόλου των κλαδόκερων χαρακτηρίστηκε από μειωμένες τιμές το χειμώνα και αυξημένη παρουσία κυρίως το καλοκαίρι. Ωστόσο, μεταξύ των δειγματοληπτικών περιόδων, παρατηρήθηκε αύξηση των κλαδόκερων κατά την άνοιξη ή/και το φθινόπωρο (Εικόνα 3.23).

Όσον αφορά στη σύνθεση της βιοκοινωνίας των κλαδόκερων (Εικόνα 3.23), το είδος *Bosmina longirostris* είχε γενικά σημαντική συμμετοχή κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ ήταν κυρίαρχο από το Δεκέμβριο του 2003 έως το Μάιο του 2004, με ποσοστιαία συμμετοχή μεταξύ 80,1 – 98,4 %.



Εικόνα 3.23: Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας της ομάδας των κλαδόκερων και ποσοστιαία συμμετοχή των επιμέρους ειδών στο στρώμα των 0-20 m

Αντίθετα, το είδος *Diaphanosoma orghidani*, επικρατούσε κατά τις πιο θερμές περιόδους (με ποσοστό 50,7 – 98 %), ενώ αυξημένη ήταν η συμμετοχή του και κατά τους χειμερινούς μήνες του 2005 (86,2 – 94 %). Αυτή την περίοδο, η παρουσία του *B. longirostris* ήταν μικρότερη σε σχέση με τις άλλες δύο δειγματοληπτικές περιόδους.

Το γένος *Daphnia* sp. σχεδόν απουσίαζε κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, ενώ εμφανίστηκε το φθινόπωρο του 2005 και κυριάρχησε στη βιοκοινωνία των κλαδόκερων την άνοιξη του 2005 και 2006.

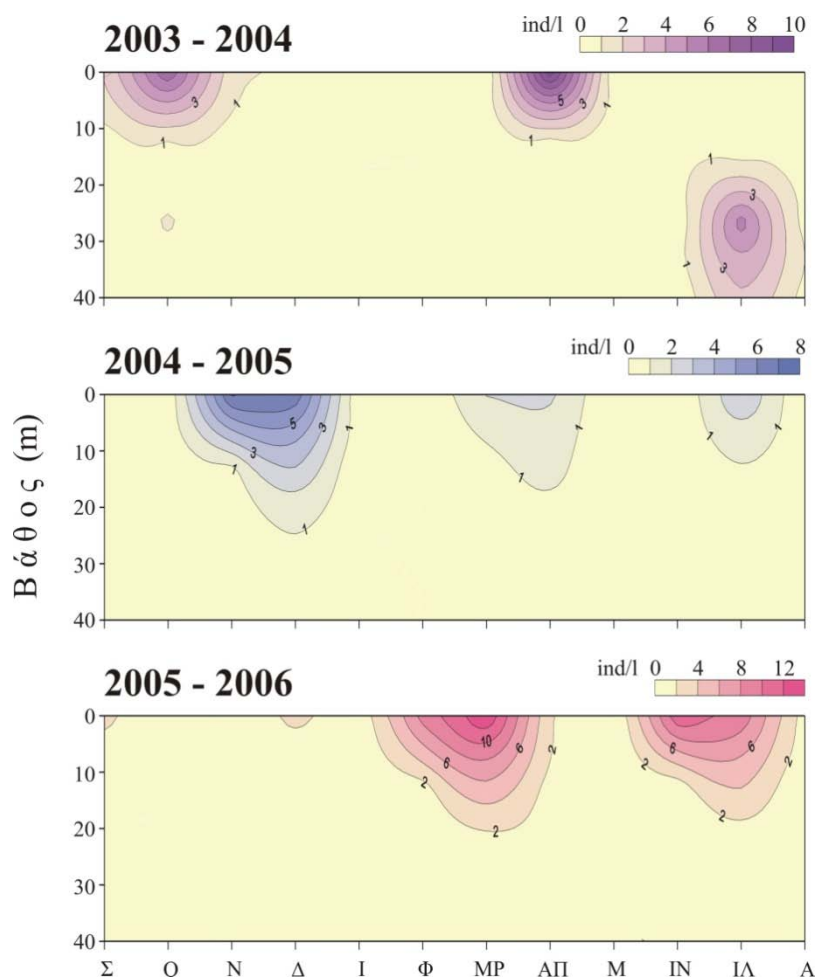
Κατά την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο, από τον Ιανουάριο έως τον Απρίλιο, εμφανίστηκε το είδος *Ceriodaphnia pulchella*, με χαμηλή ωστόσο συμμετοχή στο σύνολο.

Η συμμετοχή του είδους *Leptodora kindtii* ήταν πολύ χαμηλή και η παρουσία του περιορίστηκε στα τέλη του καλοκαιριού του 2004 και της άνοιξης του 2006.

Τέλος, το γένος *Alona* sp. ήταν πολύ σπάνιο στα δείγματα και βρέθηκε μόνο το Νοέμβριο και τον Απρίλιο της περιόδου 2003-04.

Bosmina longirostris

Το είδος *B. longirostris* είχε συνεχή παρουσία στη λίμνη Τριχωνίδα. Η μεγαλύτερη αφθονία του βρέθηκε κυρίως στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m, εκτός από τους καλοκαιρινούς μήνες του 2004, που το είδος βρέθηκε κυρίως μεταξύ των 20 και 30 m (Εικόνα 3.24), μεταβάλλοντας στατιστικά σημαντικά την κατακόρυφη κατανομή του (one way ANOVA, $p=0,005$).

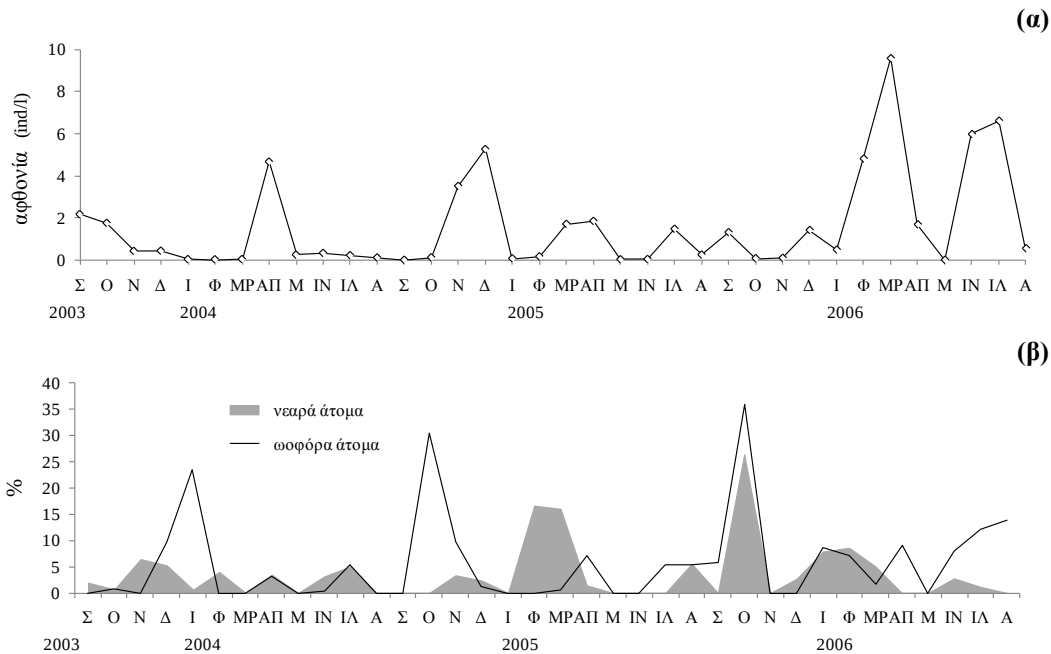


Εικόνα 3.24: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *B. longirostris* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Η μέση αφθονία του στα 0-20 m κυμάνθηκε από 0,01 έως 9,6 ind/l (Εικόνα 3.25α), χωρίς να υπάρχει διαφορά μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,947$ και $p=0,931$ για τις δύο περιόδους, αντίστοιχα), ή μεταξύ των τριών ετών (one way ANOVA, $p=0,303$). Η συμμετοχή του είδους στο συνολικό ζωοπλαγκτό έφτασε κατά μέσο όρο το 10,3 %, το 14,6 % και το 10,4 % στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, η μέση αφθονία του *B. longirostris* μειώθηκε το φθινόπωρο, ενώ βρέθηκαν ελάχιστα άτομα του είδους το χειμώνα. Αύξηση της αφθονίας του παρατηρήθηκε τον Απρίλιο, ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η μέση αφθονία του κυμάνθηκε σε πολύ χαμηλά επίπεδα και το είδος δεν βρέθηκε το Σεπτέμβριο του 2005. Κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο, το είδος εμφάνισε μέγιστο αφθονίας στις αρχές του χειμώνα (Νοέμβριος – Δεκέμβριος), ενώ κατά τη διάρκεια της άνοιξης και

του καλοκαιριού η αφθονία του σημείωσε αυξομειώσεις. Την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο, το *B. longirostris* βρέθηκε με μεγαλύτερη αφθονία στο τέλος του χειμώνα (Φεβρουάριος-Μάρτιος) και το καλοκαίρι (Ιούνιος-Ιούλιος), ενώ το είδος δεν βρέθηκε το Μάιο (Εικόνα 3.25α).



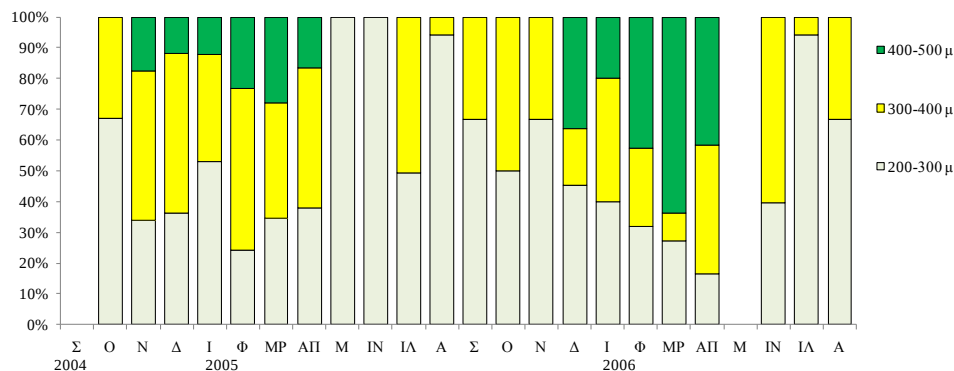
Εικόνα 3.25: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης συνολικής αφθονίας του είδους *B. longirostris* και (β) μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων και των νεαρών ατόμων του είδους στη συνολική του αφθονία του πληθυσμού στο στρώμα των 0-20 m.

Μεταξύ των τριών σταθμών δεν υπήρξε διαφορά στο ποσοστό των ωοφόρων θηλυκών ατόμων του *B. longirostris* (one way ANOVA, $p=0,675$ και $p=0,921$, αντίστοιχα), ωστόσο το ποσοστό αυτό ήταν μικρότερο κατά την περίοδο 2003-04 (one way ANOVA, $p=0,043$). Πιο συγκεκριμένα, ωοφόρα άτομα του είδους βρέθηκαν κυρίως το χειμώνα της πρώτης δειγματοληπτικής περιόδου (με ποσοστό έως και 70,2 %) και το φθινόπωρο της δεύτερης (με ποσοστό έως και 91,6 %), ενώ και στις δύο αυτές περιόδους μικρότερα ποσοστά σημειώθηκαν κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι (1,4 - 21,5 και 2,8 έως 16,2 %, αντίστοιχα). Κατά την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο, η παρουσία ωοφόρων ατόμων ήταν σχεδόν συνεχής καθόλη τη διάρκεια του έτους (εκτός του Νοεμβρίου και του Δεκεμβρίου), με ποσοστά που κυμάνθηκαν από 1,7 έως 36 % (Εικόνα 3.25β).

Νεαρά άτομα

Η παρουσία νεαρών ατόμων του είδους *B. longirostris* στο στρώμα των 0-20 m ήταν πιο έντονη το φθινόπωρο και το χειμώνα, με ποσοστά που κυμάνθηκαν κατά μέσο όρο από 0,6 έως 26,4 % (Εικόνα 3.25β). Η μέση αφθονία των νεαρών ατόμων δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,630$ και $p=0,650$), ή μεταξύ των δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,438$). Η αύξηση του ποσοστού των νεαρών ατόμων συνήθως έπονταν χρονικά ή συνέπιπτε με την αύξηση της παρουσίας ωοφόρων ατόμων, ενώ ακολουθούσε αύξηση της αφθονίας του πληθυσμού (Εικόνα 3.25α,β).

Μεγαλύτερου μεγέθους άτομα παρατηρήθηκαν το χειμώνα και την άνοιξη, ενώ άτομα μικρότερου μεγέθους επικρατούσαν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Εικόνα 3.26). Μεταξύ των τριών σταθμών δεν υπήρξε διαφορά στην αφθονία των επιμέρους κλάσεων μεγέθους των ατόμων του είδους *B. longirostris* (one way ANOVA, $p>0,05$), ενώ οι τιμές αφθονίας δεν διέφεραν σημαντικά ούτε μεταξύ των δύο χρόνων (t-test, $p>0,05$).



Εικόνα 3.26: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των ενήλικων ατόμων του *B. longirostris* στη συνολική αφθονία τους στο στρώμα των 0-20 m.

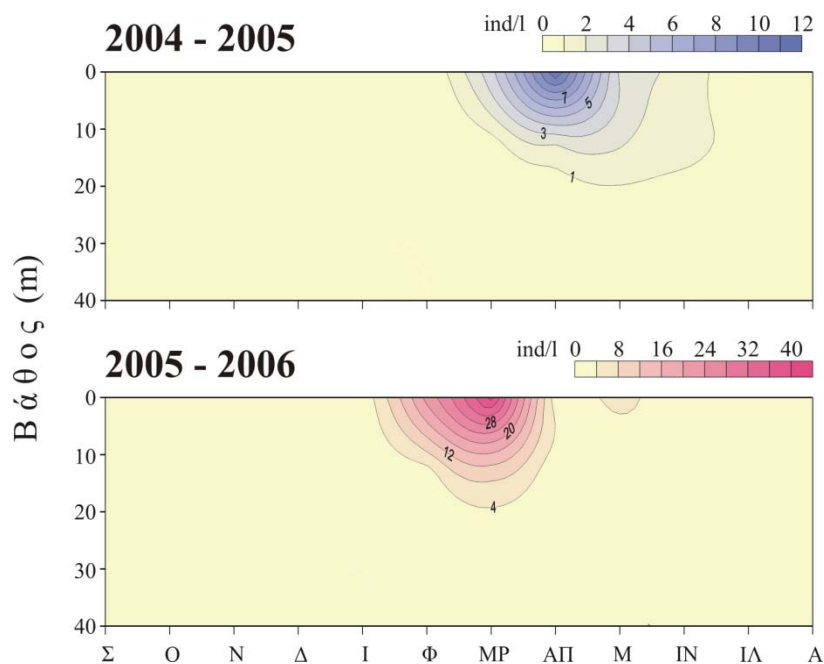
B.

Daphnia sp.

Η συμμετοχή του γένους *Daphnia* sp. στο συνολικό ζωοπλαγκτό έφτασε κατά μέσο όρο το 7,1 % την περίοδο 2004-05 και το 20,8 % την περίοδο 2005-06. Από το γένος αυτό καταγράφηκαν δύο είδη, τα *Daphnia cucullata* και *D. galeata*. Το *D. cucullata* απουσίαζε κατά την περίοδο 2003-04, ενώ άτομα του *D. galeata* βρέθηκαν τον Αύγουστο μόνο στο σταθμό Β. Κατά την δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο τα δύο είδη συνυπήρχαν, ενώ κατά

την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο το είδος *D. galeata* είχε σποραδική παρουσία. Η αφθονία των δύο ειδών δεν βρέθηκε να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των σταθμών κατά την περίοδο 2004-05 (one way ANOVA, $p=0,778$ και $p=0,847$ για τα είδη *D. cucullata* και *D. galeata*, αντίστοιχα).

Σχεδόν το σύνολο των ατόμων του γένους *Daphnia* sp. βρέθηκε στα ανώτερα 20 m. Ιδιαίτερα κατά την περίοδο αυξημένης παρουσίας του, η αφθονία τους ήταν μεγαλύτερη στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m (Εικόνα 3.27), ενώ το καλοκαίρι κατανέμονταν ομοιόμορφα στην υδάτινη στήλη. Την περίοδο 2005-06, το γένος *Daphnia* διατήρησε το μέσο βάθος κατακόρυφης κατανομής του στα επιφανειακά στρώματα, ενώ βρέθηκε να κατανέμεται βαθύτερα το καλοκαίρι (one way ANOVA, $p=0,049$).

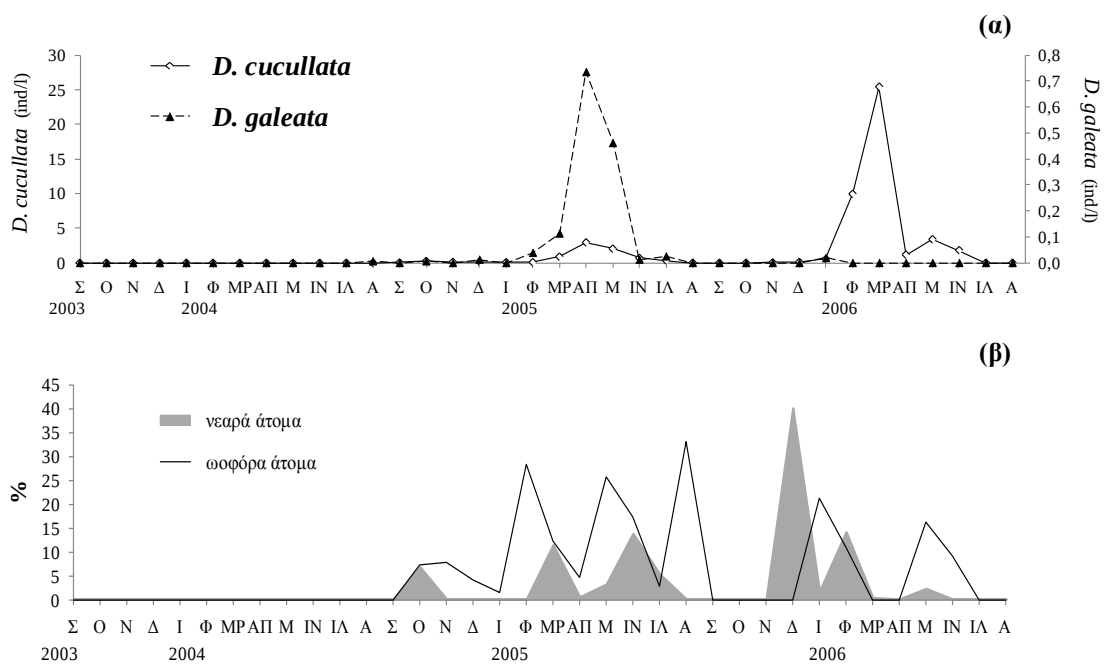


Εικόνα 3.27: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του γένους *Daphnia* sp. στο σταθμό Α κατά τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους (2004-05 και 2005-06).

Το *D. cucullata* βρέθηκε την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2004 και από το Δεκέμβριο έως τον Ιούνιο της περιόδου 2005-06, με μεγαλύτερη αφθονία από την προηγούμενη περίοδο, χωρίς ωστόσο η διαφορά να είναι στατιστικά σημαντική (t-test, $p=0,132$). Την περίοδο 2004-05 μέγιστο σημειώθηκε τον Απρίλιο (4,8 ind/l), ενώ η μέση αφθονία του μειώθηκε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Την περίοδο 2005-06, η παρουσία

του άρχισε να αυξάνεται από το Φεβρουάριο και σημείωσε μέγιστο το Μάρτιο ενώ μια δεύτερη, μικρότερη κορυφή σημειώθηκε το Μάιο. Έπειτα, η μέση αφθονία του μειώθηκε μέχρι τα μέσα του καλοκαιριού (Εικόνα 3.28α).

Η μέση αφθονία του είδους *D. galeata* κατά την περίοδο 2004-05 κυμάνθηκε μεταξύ 0,02 – 0,7 ind/l, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν την άνοιξη (Εικόνα 3.28α). Την περίοδο που τα δύο είδη συνυπήρχαν, το *D. galeata* συμμετείχε στο ζωοπλαγκτό με σημαντικά μικρότερη αφθονία από το *D. cucullata* (t-test, $p=0,008$), ενώ είχαν παρόμοια μέσα βάρη κατακόρυφης κατανομής (t-test, $p=0,378$).

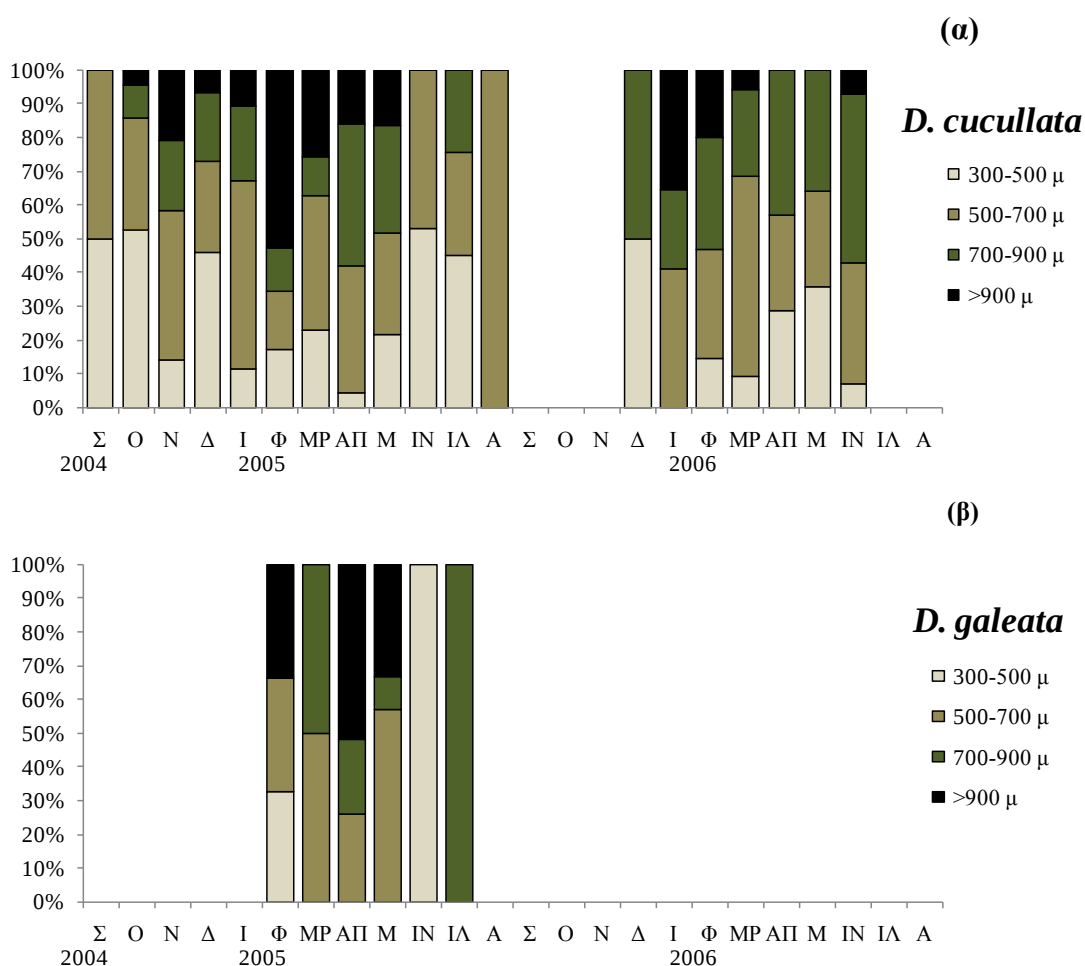


Εικόνα 3.28: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας των ενήλικων ατόμων *D. cucullata* και *D. galeata* και (β) μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων και των νεαρών ατόμων στη συνολική αφθονία του γένους *Daphnia* στο στρώμα των 0-20 m.

Το ποσοστό των ωοφόρων ατόμων του γένους *Daphnia* sp. δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,750$), ή μεταξύ των δύο ετών που αυτά εμφανίστηκαν (t-test, $p=0,296$). Ωοφόρα άτομα βρέθηκαν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της περιόδου 2004-05 και μόνο το χειμώνα και στις αρχές του καλοκαιριού κατά την περίοδο 2005-06. Τα περισσότερα ανήκαν στο είδος *D. cucullata*, ενώ ωοφόρα άτομα του *D. galeata* βρέθηκαν μόνο το Μάιο του 2005. Στις περιόδους που αυτά καταγράφηκαν στο ζωοπλαγκτό, το ποσοστό τους στο σύνολο των ενήλικων ατόμων κυμάνθηκε κατά μέσο

όρο από 1,5 έως 33,1 %, την περίοδο 2004-05 και από 9,2 έως 21,3 % την περίοδο 2005-06. Και στις δύο περιόδους, το ποσοστό των ωοφόρων ατόμων παρουσίασε πρώτη αύξηση τον χειμώνα, πριν την αύξηση της αφθονίας του γένους *Daphnia* (Εικόνα 3.28β).

Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην παρουσία των επιμέρους κλάσεων μεγέθους των δύο ειδών (one way ANOVA, $0,308 < p < 0,801$ και $0,466 < p < 0,705$ για τις κλάσεις μεγέθους των *D. cucullata* και *D. galeata*, αντίστοιχα), όπως επίσης δεν υπήρξε και για την παρουσία των επιμέρους κλάσεων του είδους *D. cucullata* μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (t-test, $0,178 < p < 0,735$).



Εικόνα 3.29: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους στη μέση συνολική αφθονία των ενήλικων ατόμων των *D. cucullata* (α) και *D. galeata* (β) στο στρώμα των 0-20 m.

Λόγω των χαμηλών τιμών αφθονίας, δεν είναι εύκολο να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα για την εποχική παρουσία των επιμέρους κλάσεων μεγέθους των ειδών του

γένους *Daphnia* και ιδιαίτερα για το *D. galeata*. Ωστόσο, και για τα δύο είδη, περισσότερα άτομα των μεγαλύτερων κλάσεων μεγέθους βρέθηκαν το χειμώνα. Τα νεαρότερα άτομα της κλάσης μεγέθους I αυξάνονταν σε ποσοστό το χειμώνα αλλά και κατά το τέλος της άνοιξης ή το καλοκαίρι, παράλληλα ή έπειτα από αύξηση του ποσοστού των ωοφόρων ατόμων (Εικόνα 3.29α,β).

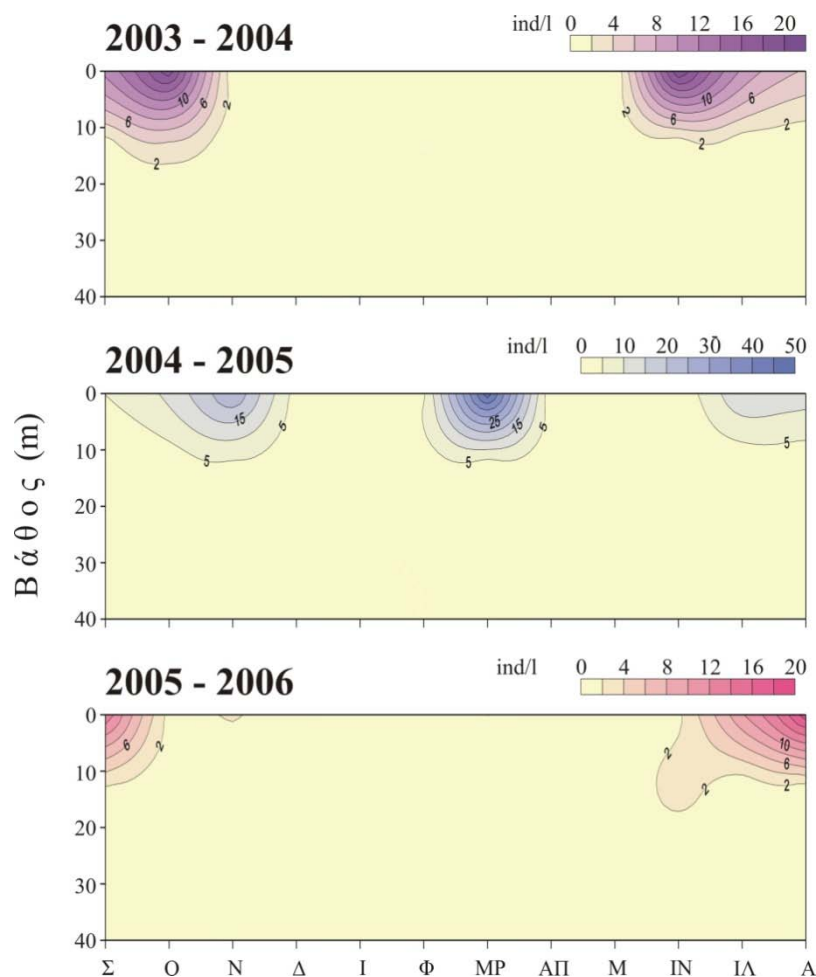
Η μέση αφθονία των νεαρών ατόμων δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,118$) ή μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (t-test, $p=0,515$). Κατά την περίοδο 2004-05, νεαρά άτομα του γένους *Daphnia* sp. βρέθηκαν κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι με ποσοστό που κυμάνθηκε κατά μέσο όρο από 0,4 έως 13,7 %. Κατά την περίοδο 2005-06 βρέθηκαν κυρίως το χειμώνα με ποσοστό από 1,6 έως 40 % (Εικόνα 3.28β). Γενικά, το ποσοστό τους ήταν μεγαλύτερο πριν από την αύξηση της συνολικής αφθονίας του γένους, αλλά η συμμετοχή τους ήταν συνεχής κατά την διάρκεια της παρουσίας του γένους.

Diaphanosoma orghidani

Η παρουσία του είδους *D. orghidani* ήταν συνεχής σχεδόν καθόλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, με το σύνολο σχεδόν του πληθυσμού να βρίσκεται στα ανώτερα 20 m. Τις περιόδους αυξημένης αφθονίας του, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε συγκεντρωμένο στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m (Εικόνα 3.30).

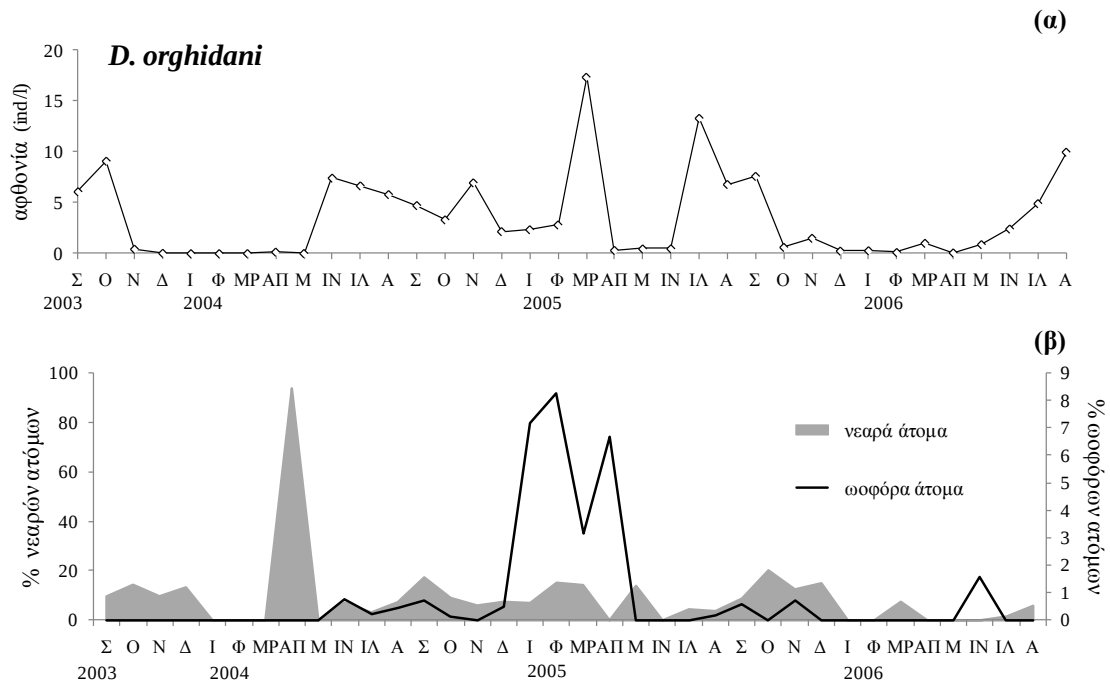
Κατά τη διάρκεια της έρευνας, η μέση αφθονία του *D. orghidani* στα 0-20 m κυμάνθηκε από 0,001 έως 17,3 ind/l (Εικόνα 3.31α), χωρίς να διαφέρει μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,946$ και $p=0,895$ για τις δύο περιόδους, αντίστοιχα), ή μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,186$). Στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους, η συμμετοχή του στο συνολικό ζωοπλαγκτό έφτασε κατά μέσο όρο το 28,39 %, 28,4 % και 19,8 %, αντίστοιχα.

Οι εποχικές διακυμάνσεις της αφθονίας του *D. orghidani* ακολούθησαν σχεδόν ένα σταθερό πρότυπο μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων. Το συγκεκριμένο είδος βρέθηκε στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία κυρίως το καλοκαίρι έως τις αρχές του φθινοπώρου. Κατά το χειμώνα και την άνοιξη, είτε ήταν σπάνιο (περίοδοι 2003-04 και 2005-06), είτε είχε χαμηλή αφθονία (περίοδος 2004-05). Ωστόσο, το Μάρτιο του 2005 σημειώθηκε σύντομη αύξηση της αφθονίας του, η οποία μειώθηκε αμέσως μετά σε πολύ χαμηλά επίπεδα, μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού (Εικ. 3.31α).



Εικόνα 3.30: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *D. orghidani* στον σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

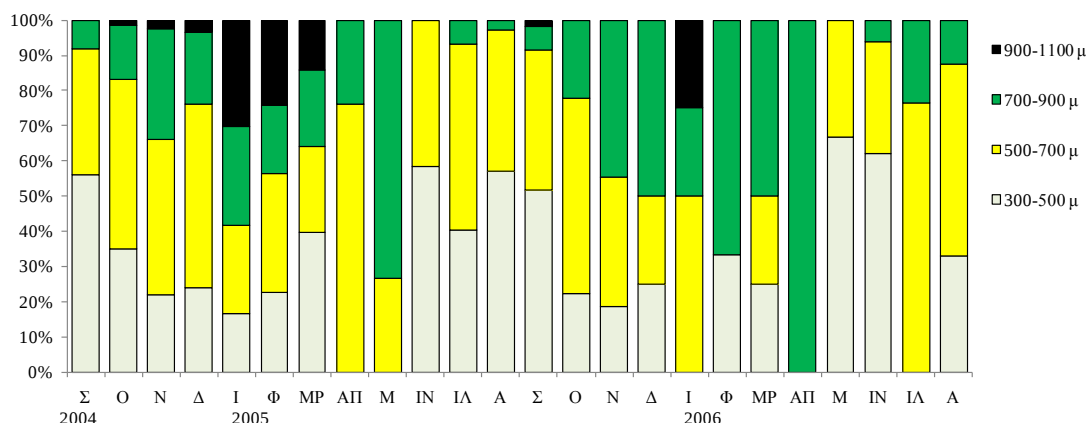
Μεταξύ των τριών σταθμών δεν υπήρξε διαφορά στο ποσοστό των ωοφόρων ατόμων του είδους *D. orghidani* (one way ANOVA, $p=0,489$ και $p=0,789$ για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα), ή μεταξύ των τριών ετών (one way ANOVA, $p=0,357$). Με εξαίρεση το χειμώνα και την άνοιξη του 2005, ωοφόρα άτομα βρέθηκαν κυρίως το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, με ποσοστά που κυμαίνονταν από 0,2 – 0,7 % το 2004, μεταξύ 0,1 – 0,6 % το 2005 και 0,5 - 1,6 % τον Ιούνιο του 2006. Ωστόσο, το χειμώνα και την άνοιξη του 2005 παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά ωοφόρων *D. orghidani*, που κυμαίνονταν μεταξύ 3,2 και 8,3 % (Εικόνα 3.31β).



Εικόνα 4.31: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης συνολικής αφθονίας του είδους *D. orghidani* και (β) μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων και των νεαρών ατόμων του είδους στη συνολική του αφθονία του πληθυσμού στο στρώμα των 0-20 m.

Νεαρά άτομα του είδους *D. orghidani* βρέθηκαν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας, χωρίς να υπάρχει διαφορά στην αφθονία τους μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,466$ και $p=0,855$), ή μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,605$). Κατά την περίοδο αυξημένης αφθονίας του είδους, μεγαλύτερο ποσοστό νεαρών ατόμων συνήθως παρατηρούνταν μετά την αύξηση των ωοφόρων ατόμων, ενώ προηγούνταν της αύξησης του συνολικού πληθυσμού (Εικόνα 3.31α,β).

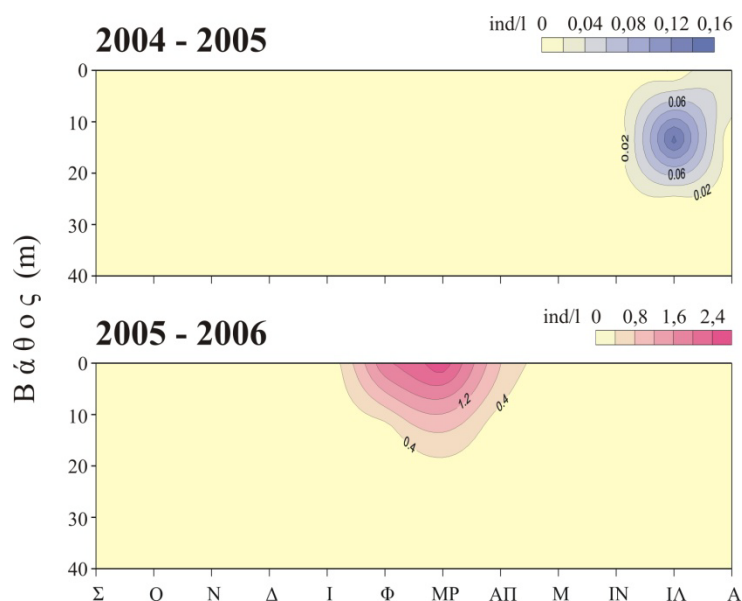
Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στην παρουσία των επιμέρους κλάσεων μεγέθους (one way ANOVA, $0,163 < p < 0,934$), ενώ κατά την περίοδο 2005-06 ήταν στατιστικά περισσότερα τα άτομα της κλάσης μεγέθους 700-900 μ m (t-test, $p=0,016$). Μεγαλύτερη συμμετοχή νεαρότερων ατόμων (μεγέθους 300-500 μ m) σημειώθηκε κατά το καλοκαίρι, ενώ σταδιακά αντικαταστάθηκαν από τις μεγαλύτερες κλάσεις. Μεγαλύτερη συμμετοχή ατόμων μεγέθους μεγαλύτερο των 900 μ m παρατηρήθηκε κατά τον χειμώνα (Εικόνα 3.32).



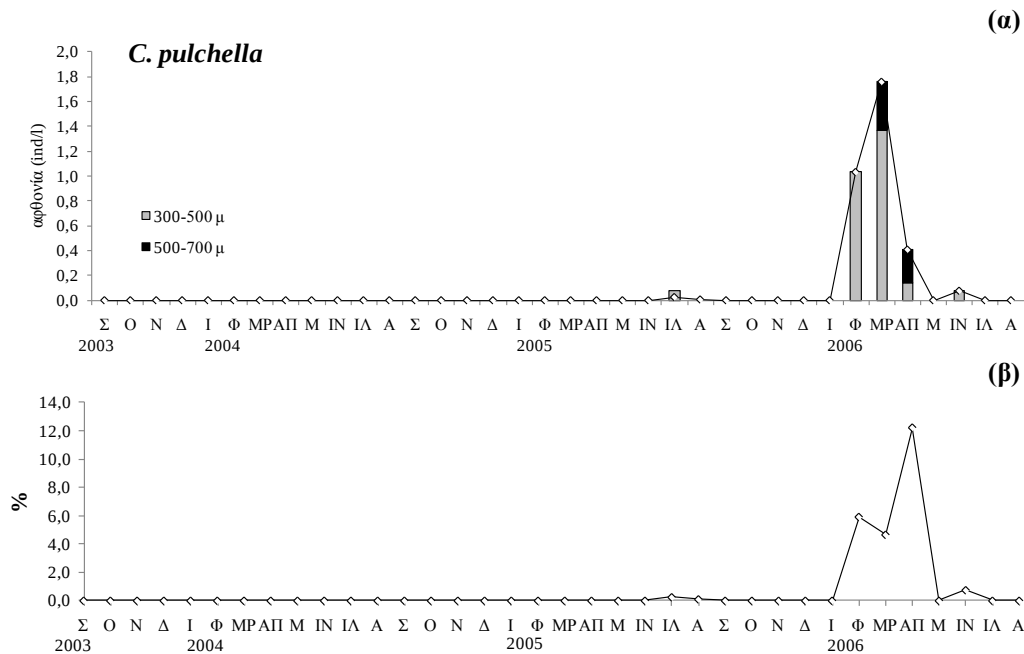
Εικόνα 4.32: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των κλάσεων μεγέθους των ενήλικων ατόμων του είδους *D. orghidani* στην αφθονία τους στο στρώμα των 0-20 m.

Ceriodaphnia pulchella

Η παρουσία του είδους *C. pulchella* σημειώθηκε κυρίως κατά την τρίτη δειματοληπτική περίοδο, ενώ κάποια άτομα βρέθηκαν και τον Ιούλιο του 2005. Το καλοκαίρι του 2005 το είδος βρέθηκε κυρίως μεταξύ των 10 και 20 m, ενώ το χειμώνα του 2006 σε μεγαλύτερη αφθονία βρέθηκε στο επιφανειακό στρώμα 0-10 m (Εικ. 3.33). Γενικά, η μέση αφθονία του είδους *C. pulchella* στο στρώμα των 0-20 m ήταν πολύ χαμηλή, φτάνοντας μόλις τα 1,8 ind/l στις αρχές της άνοιξης του 2006, ενώ η συμμετοχή του στο σύνολο των κλαδόκερων ήταν μεγαλύτερη κατά την άνοιξη του 2006, με μέγιστο ποσοστό 12,2 % τον Απρίλιο (Εικ. 3.34β).



Εικόνα 3.33: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *C. pulchella* στον σταθμό Α κατά τις δύο δειματοληπτικές περιόδους (2004-05 και 2005-06).

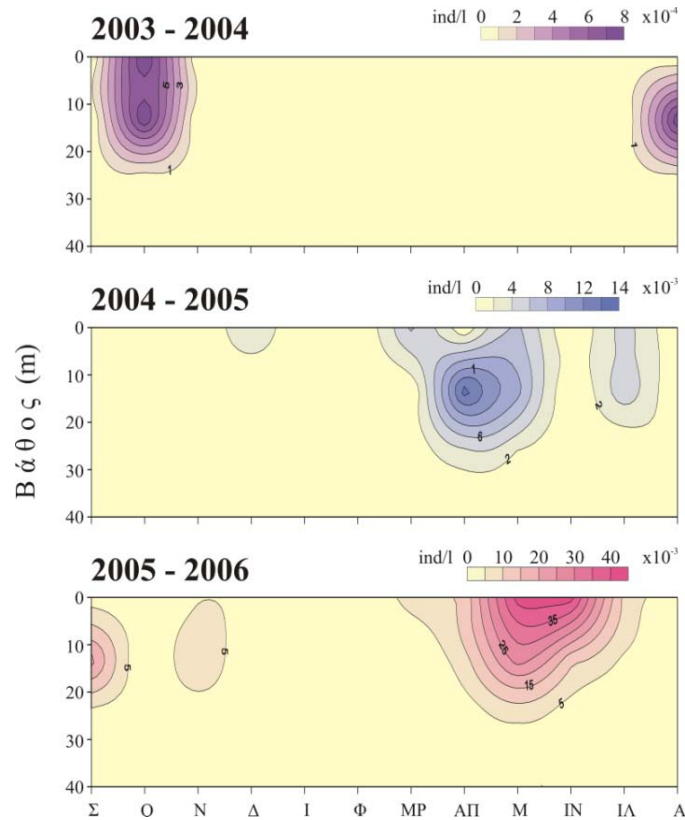


Εικόνα 3.34: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας (γραμμή) και αναλογία των κλάσεων μεγέθους (μπάρες) του είδους *C. pulchella* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του είδους στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

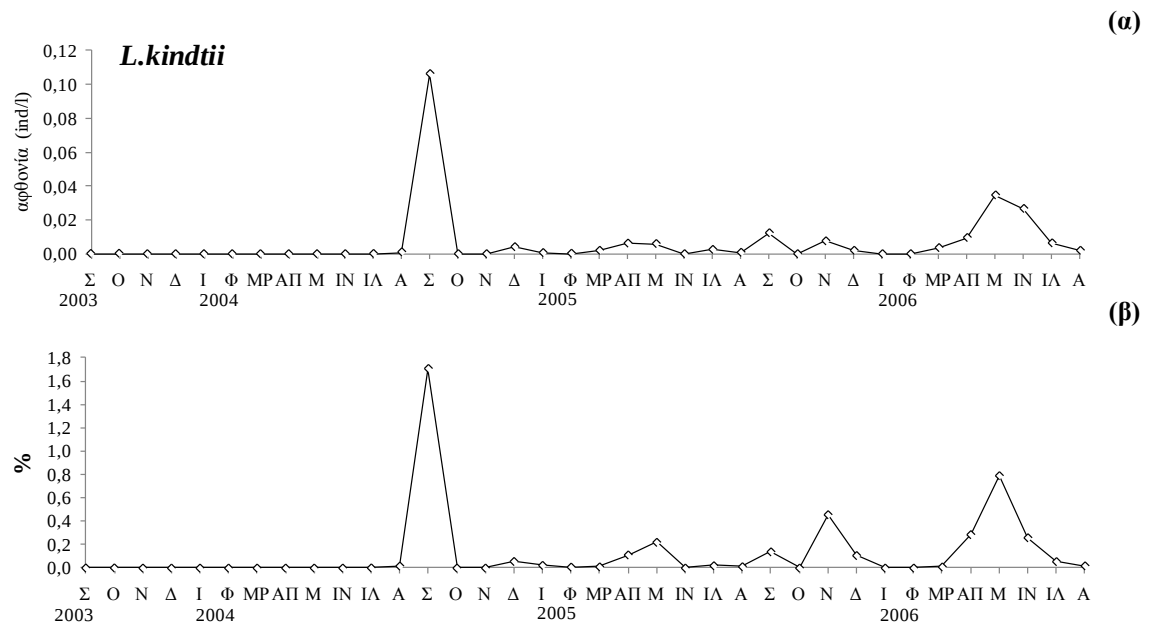
Την περίοδο της πιο έντονης παρουσίας τους στη λίμνη, μεγαλύτερου μεγέθους άτομα εμφανίστηκαν το Μάρτιο και τον Απρίλιο (Εικόνα 3.34α). Κατά τους δύο πρώτους μήνες, η μεγαλύτερη πλειοψηφία των ατόμων ανήκε στην κλάση μεγέθους 300-500 μm. με ποσοστά 85,7 – 100 %, ενώ τον Απρίλιο μεγαλύτερο ήταν το ποσοστό των ατόμων μεγέθους 500-700 μm (66,7 %).

Leptodora kindtii

Άτομα του είδους *L. kindtii* βρέθηκαν κυρίως στα ανώτερα 20 m (Εικόνα 3.35). Το είδος σχεδόν απουσίαζε κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, ενώ κατά την δεύτερη και τρίτη δειγματοληπτική περίοδο το *L. kindtii* βρέθηκε με πολύ χαμηλή αφθονία κατά την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο (Εικόνα 3.36α). Η μέση συμμετοχή του στο σύνολο των κλαδόκερων δεν ξεπέρασε το 1,7 % και ήταν μεγαλύτερη το φθινόπωρο και την άνοιξη (Εικόνα 3.36β).



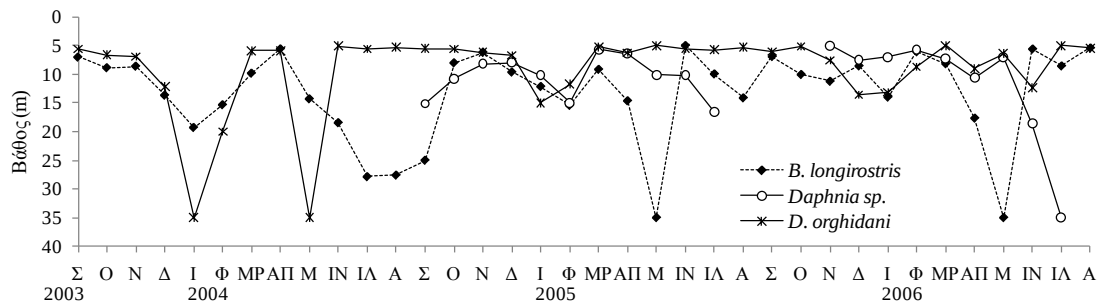
Εικόνα 3.35: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *L. kindtii* στον σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.



Εικόνα 3.36: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *L. kindtii* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του είδους στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Κατακόρυφη στρωμάτωση κλαδόκερων

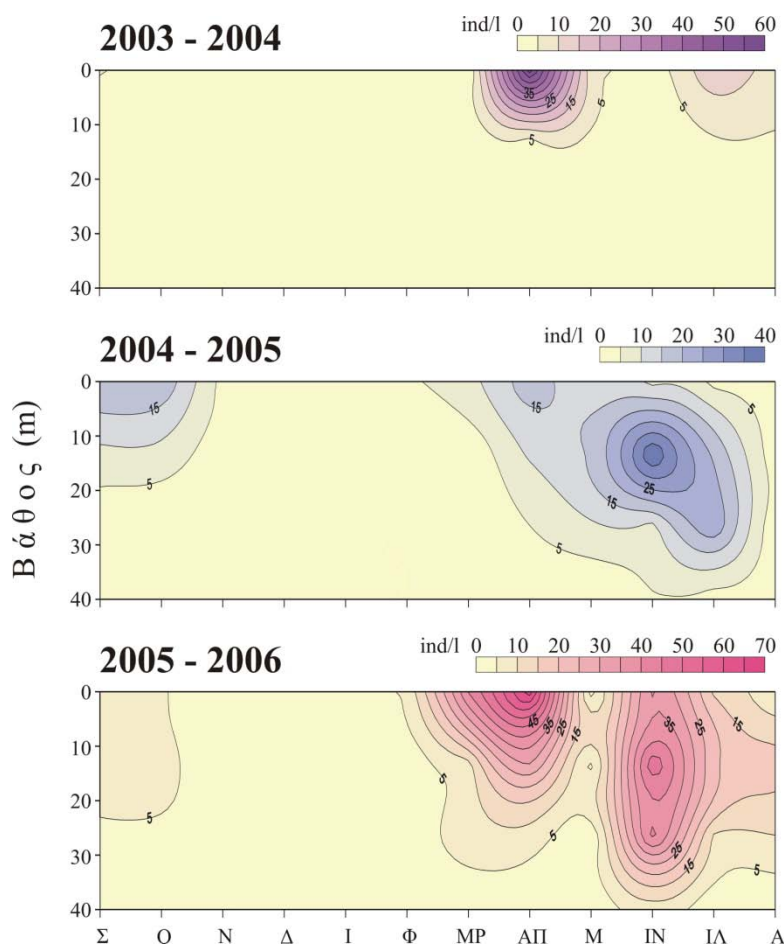
Από τα δεδομένα των μέσων βαθών βρέθηκαν διαφορές στην κατακόρυφη κατανομή των μεταξύ των κυριότερων ειδών (one way ANOVA, $p=0,002$). Έτσι, το *D. orghidani* βρέθηκε να έχει πιο επιφανειακή κατανομή σε σχέση με το *B. longirostris*, ενώ το *Daphnia* sp. κατανέμονταν σε ενδιάμεσα βάθη (Εικόνα 3.37). Ο κατακόρυφος διαχωρισμός μεταξύ του *D. orghidani* και του *B. longirostris* ήταν πιο έντονος κατά τις περιόδους αυξημένης αφθονίας των κλαδόκερων, όπως το καλοκαίρι του 2004, την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2005, και το Μάρτιο του 2006. Σημειώνεται ότι τα μέσα βάθη με τιμή 35 m αγνοήθηκαν, καθώς προέκυψαν από την παρουσία μεμονομένων ατόμων σε περιόδους πολύ χαμηλής αφθονίας.



Εικόνα 3.37: Εποχική διακύμανση του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής των κυριότερων ειδών κλαδόκερων στο σταθμό Α την περίοδο 2003-2006.

3.3.2.4 Τροχόζωα

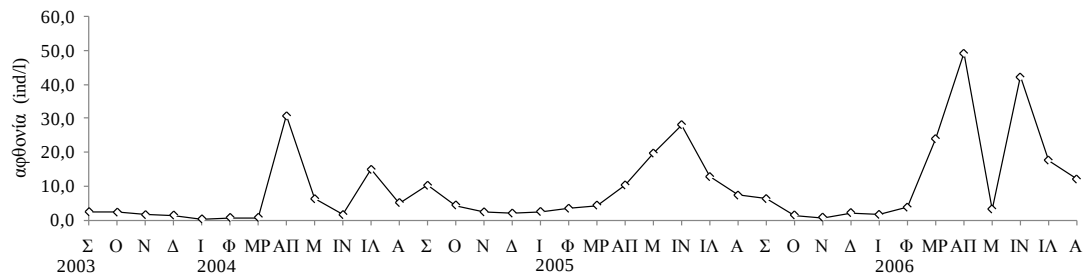
Τροχόζωα βρέθηκαν στο ζωοπλαγκτό καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, με το μεγαλύτερο μέρος της αφθονίας τους να απαντάται από την επιφάνεια μέχρι τα 20 m βάθος, ενώ το καλοκαίρι της δεύτερης και τρίτης δειγματοληπτικής περιόδου, αυξημένη ήταν η αφθονία τους και στα βαθύτερα στρώματα (Εικόνα 3.38). Στατιστικά σημαντική διαφορά στο μέσο βάθος κατακόρυφης κατανομής του συνόλου των τροχόζωων βρέθηκε μόνο κατά την περίοδο 2005-06 (one way ANOVA, $p=0,022$), καθώς είχαν πιο επιφανειακή κατανομή κατά την άνοιξη.



Εικόνα 3.38: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του συνόλου των τροχοζώων στον σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Η μέση αφθονία των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε μεταξύ 0,1 και 49,2 ind/l (Εικόνα 3.39). Δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,704$ και $p=0,910$), όπως ούτε και μεταξύ των τριών ετήσιων δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,076$). Εποχικά, οι χαμηλότερες αφθονίες των τροχοζώων καταγράφηκαν το χειμώνα. Αναλυτικότερα, η αφθονία τους άρχισε να αυξάνει την άνοιξη φτάνοντας σε ένα πρώτο μέγιστο τον Απρίλιο, εκτός από την περίοδο 2004-05 που αυτό το μέγιστο εμφανίστηκε μόνο στο σταθμό Α. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.39, η αφθονία των τροχοζώων το καλοκαίρι κυμάνθηκε σε πιο χαμηλά επίπεδα, εκτός από την περίοδο 2004-05 που η αύξηση της άνοιξης συνεχίστηκε και το καλοκαίρι. Αυτό το μέγιστο του καλοκαιριού σημειώθηκε τον Ιούλιο της πρώτης και δεύτερης δειγματοληπτικής περιόδου και τον Ιούνιο της τρίτης. Στη

συνέχεια, οι τιμές είτε μειώνονταν σταδιακά για να ελαχιστοποιηθούν το χειμώνα, είτε δημιουργούσαν άλλη μία κορυφή στις αρχές του φθινοπώρου.

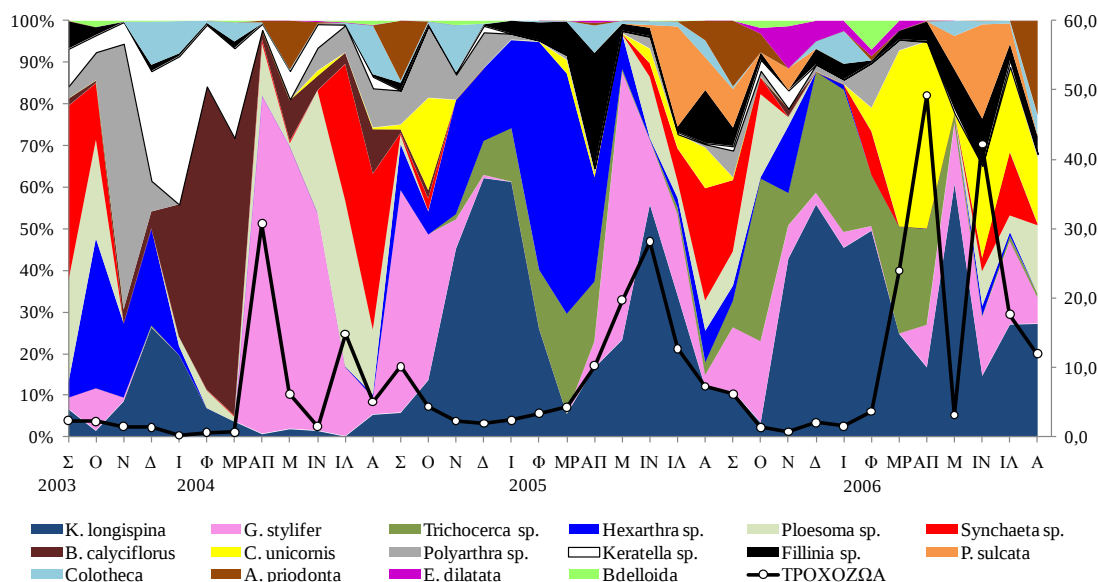


Εικόνα 3.39: Εποχικές διακυμάνσεις της μέσης αφθονίας (ind/l) της ομάδας των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m στους 3 σταθμούς δειγματοληψίας.

Όσον αφορά στη σύνθεση της βιοκοινωνίας των τροχοζώων (Εικόνα 3.40), αρκετά είδη κυριάρχησαν διαδοχικά, από τα οποία τα *Gastropus stylifer*, *Ploesoma truncatum*, *Pompholyx sulcata* και *Synchaeta* sp. ήταν επικρατέστερα κατά την θερμή περίοδο του έτους (τέλος άνοιξης έως αρχές φθινοπώρου). Τα είδη *Brachionus calyciflorus*, *Hexarthra mira*, *Keratella quadrata* και *Polyarthra* sp. κυριάρχησαν μεταξύ των τροχοζώων τον υπόλοιπο χρόνο, ενώ συνεχή παρουσία στο ζωοπλαγκτό είχε το είδος *Kellicotia longispina*, το οποίο συχνά κυριαρχούσε τόσο κατά τις θερμές όσο και στις ψυχρότερες περιόδους του έτους.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.40, το μέγιστο της αφθονίας των τροχοζώων που σημειώθηκε τον Απρίλιο του 2004 οφείλεται στο *G. stylifer* που αποτέλεσε το 82,5 % του συνόλου των τροχοζώων, ενώ κατά την κορυφή του Ιουλίου του 2004 επικρατούσαν τα *P. truncatum* και *Synchaeta* sp. Το είδος *K. longispina* ήταν ο σημαντικότερος συντελεστής στο μέγιστο της αφθονίας των τροχοζώων τον Ιούνιο του 2005, ακολουθούμενο από το *G. stylifer* και *P. truncatum*. Το μέγιστο της αφθονίας κατά τον Απρίλιο του 2006 αποδίδεται στην αυξημένη παρουσία του είδους *Conochilus unicornis* εκείνη την περίοδο αλλά και στην αυξημένη συμμετοχή των ειδών *Trichocerca similis* και *K. longispina*. Στην κορυφή της αφθονίας των τροχοζώων τον Ιούνιο του 2006, σημαντικό ρόλο διαδραμάτισαν τα είδη *P. sulcata*, *C. unicornis* και *K. longispina*.

Τα γένη *Ascomorpha* sp. και *Monommata* sp. και τα είδη *Fillinia opoliensis*, *Ploesoma hudsoni*, *Trichocerca capucina* και *Lecane quadridentata*, ήταν σπάνια στα δείγματα και η παρουσία τους ήταν αμεληταία.



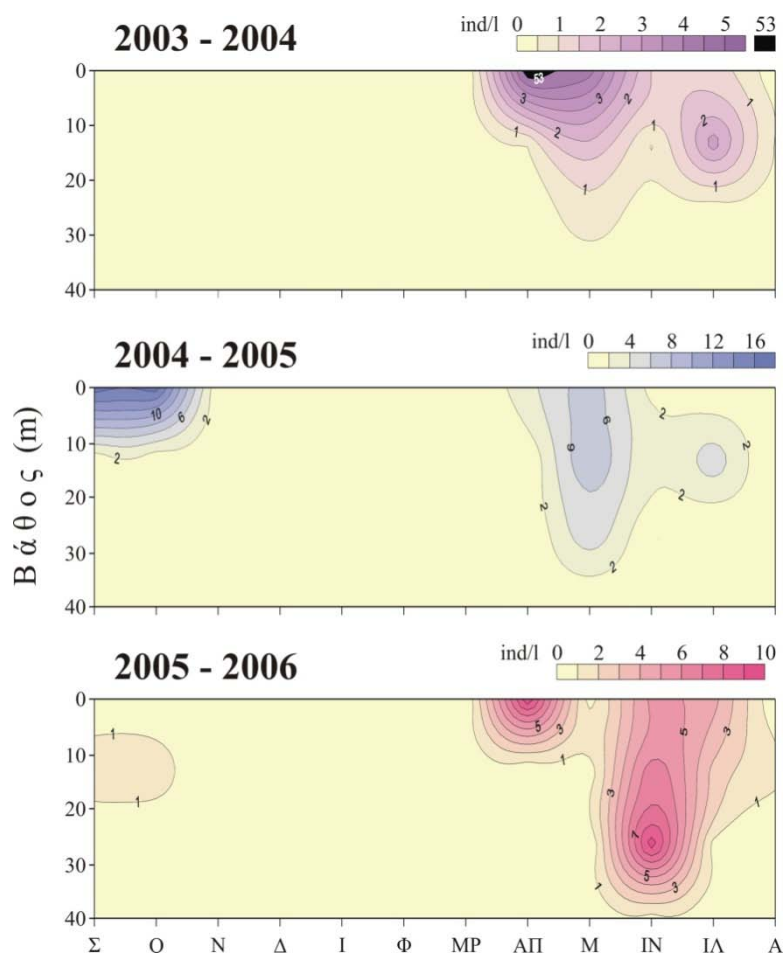
Εικόνα 3.40: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ειδών τροχοζώων στη συνολική αφθονία της ομάδας στο στρώμα των 0-20 m και η εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του συνόλου των τροχοζώων.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η κατακόρυφη κατανομή των επιμέρους ειδών της ομάδας των τροχοζώων και η εποχική διακύμανση της αφθονίας τους στο στρώμα των 0-20 m.

Gastropus stylifer

Στον κατακόρυφο άξονα, το είδος *G. stylifer* βρέθηκε σε μεγαλύτερη αφθονία στο επιφανειακότερο στρώμα των 0-10 m, ενώ το καλοκαίρι παρατηρήθηκε μεγαλύτερη αφθονία του είδους σε βαθύτερα στρώματα (Εικόνα 3.41). Ωστόσο, η εποχική μεταβολή του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής του δεν ήταν στατιστικά σημαντική (one way ANOVA, $p=0,576$, $p=0,109$ και $p=0,239$, αντίστοιχα).

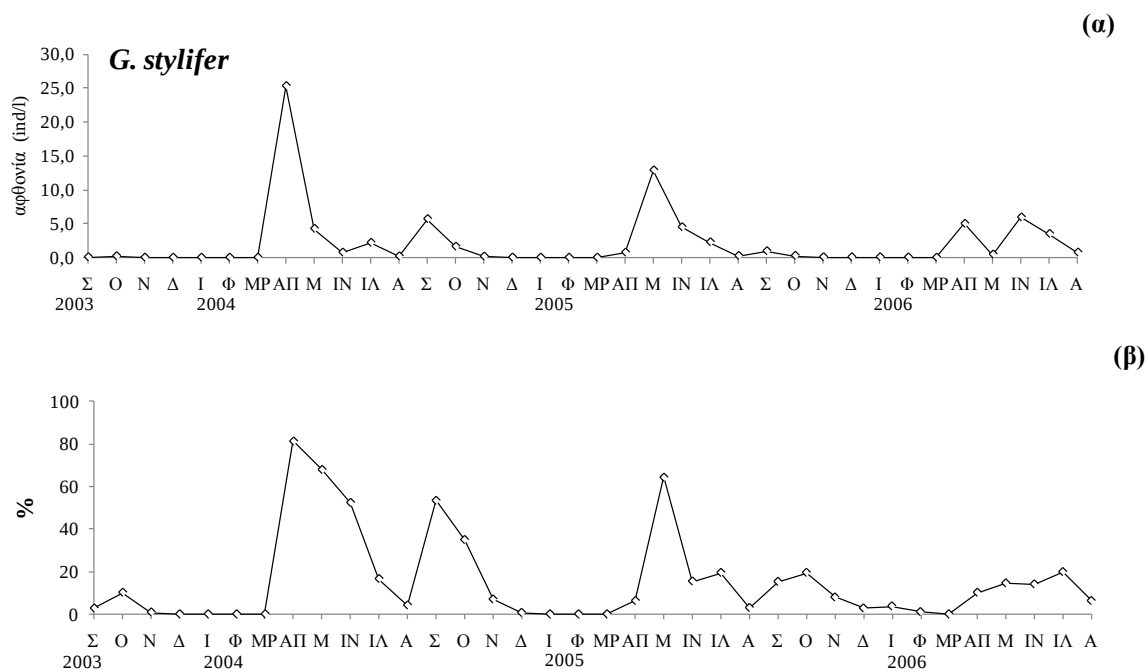
Η μέση αφθονία του *G. stylifer* στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε από 0,01 έως 32,6 ind/l. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν τον Απρίλιο του 2004, ενώ δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της αφθονίας του είδους μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,770$ και $p=0,689$), ή μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,589$).



Εικόνα 3.41: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *G. stylifer* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Το είδος απουσίαζε το χειμώνα κατά τις δύο πρώτες δειγματοληπτικές περιόδους, ενώ κατά την τρίτη περίοδο δεν βρέθηκε μόνο το Μάρτιο (Εικόνα 3.42α). Γενικά, το *G. stylifer* φαίνεται να αφθονεί την άνοιξη, ή στην αρχή του καλοκαιριού, ωστόσο και στις τρεις περιόδους παρατηρήθηκε μια μικρότερη αύξηση στην αφθονία του το φθινόπωρο.

Η συμμετοχή του *G. stylifer* στην ομάδα των τροχοζώων ήταν μεγαλύτερη από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, παρουσιάζοντας όμως ενδιάμεση μείωση κατά το τέλος του καλοκαιριού (Εικόνα 3.42β). Το είδος κυριάρχησε στα τροχόζωα την άνοιξη και το φθινόπωρο του 2004. Πιο σύντομη ήταν η επικράτησή του την άνοιξη του 2005 ενώ τις επόμενες περιόδους η συμμετοχή του στην ομάδα των τροχοζώων ήταν μικρότερη. Δεν βρέθηκαν ωοφόρα άτομα του είδους.

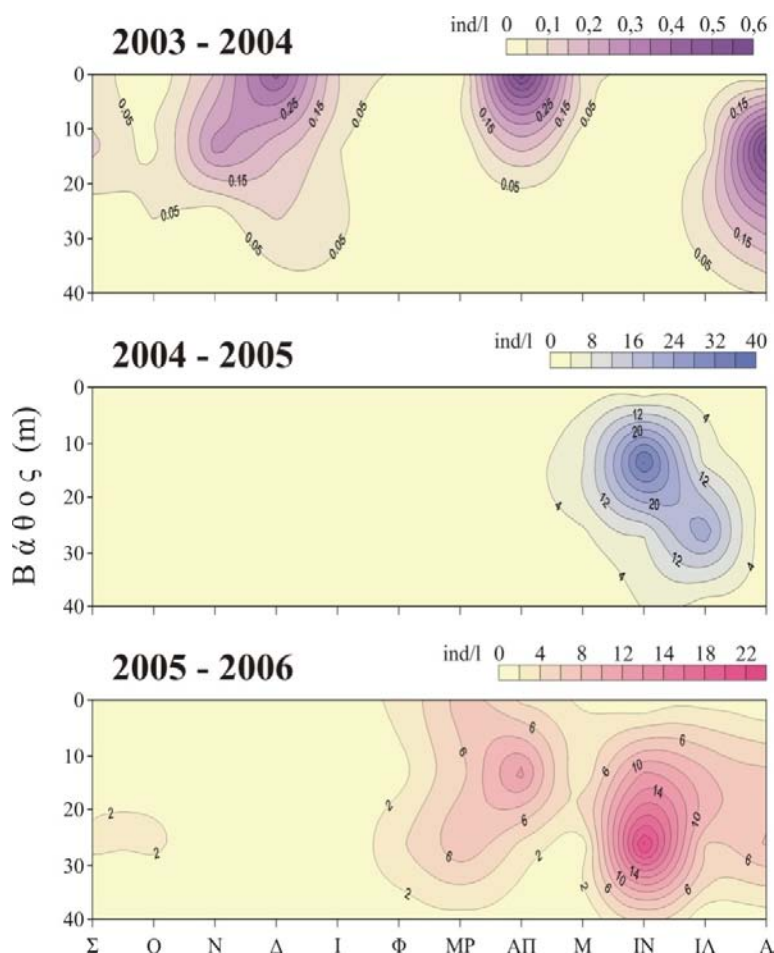


Εικόνα 3.42: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *G. styliifer* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Kellicottia longispina

Το είδος *K. longispina* είχε συνεχή παρουσία στη διάρκεια της μελέτης. Στον κατακόρυφο άξονα μεγαλύτερη αφθονία του είδους σημειώθηκε στο στρώμα μεταξύ των 10 και 30 m βάθους, ενώ αυτό ήταν πιο έντονο τις περιόδους αυξημένης αφθονίας του (Εικόνα 3.43). Έτσι, η κατακόρυφη κατανομή του *K. longispina* εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των εποχών κατά τις περιόδους 2004-05 και 2005-06 (one way ANOVA, $p=0,037$ και $p=0,018$, αντίστοιχα), καθώς το είδος βρέθηκε να κατανέμεται βαθύτερα το καλοκαίρι.

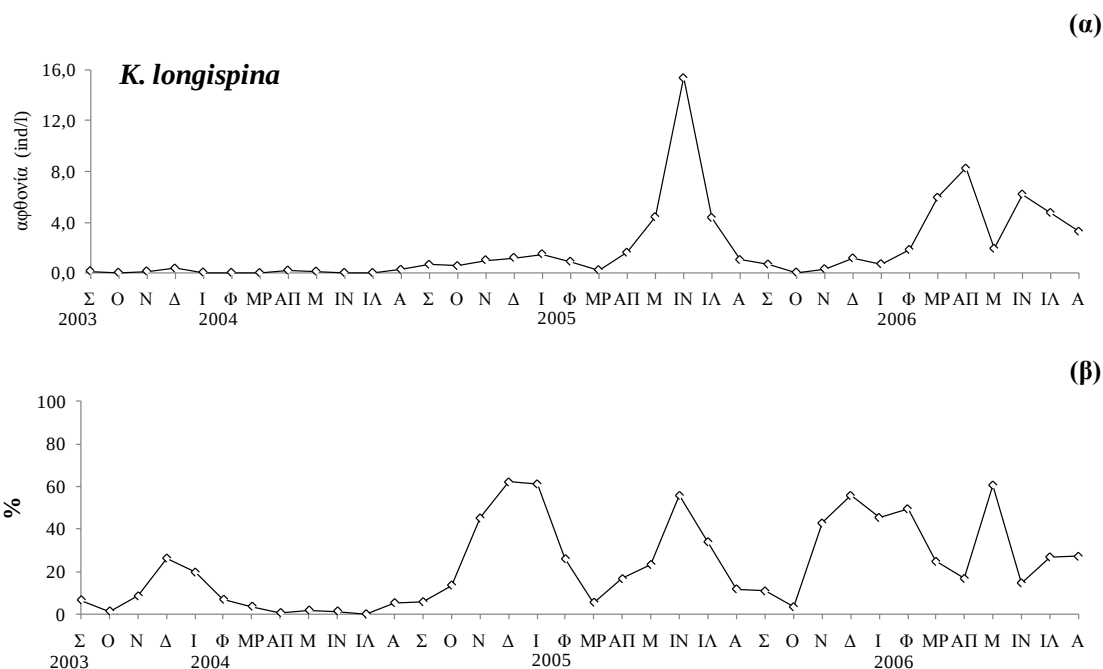
Η μέση αφθονία του κυμάνθηκε από 0,01 έως 21,1 ind/l. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν τον Ιούνιο του 2005. Μεταξύ των τριών σταθμών δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά της αφθονίας του (one way ANOVA, $p=0,507$ και $p=0,691$) η οποία, ωστόσο ήταν σημαντικά μικρότερη κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο (one way ANOVA, $p=0,001$). Κατά τις περιόδους 2004-05 και 2005-06 η αφθονία του είδους βρέθηκε να αυξάνεται την άνοιξη και το καλοκαίρι ενώ παρέμενε σε χαμηλότερα επίπεδα τον υπόλοιπο χρόνο (Εικόνα 3.44α).



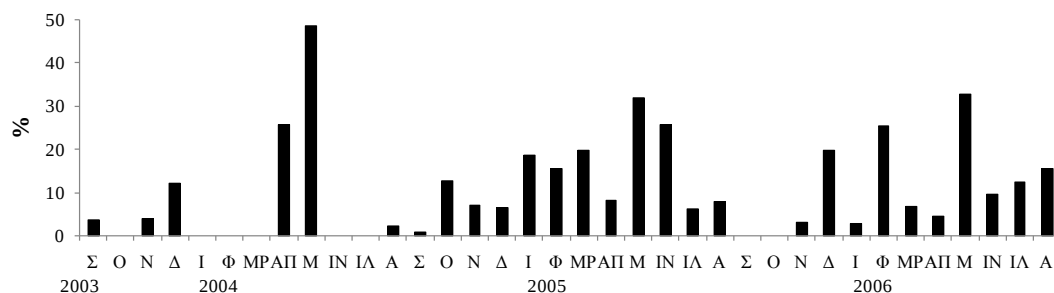
Εικόνα 3.43: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *K. longispina* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Παρά τη χαμηλή αφθονία του *K. longispina* κατά τους χειμερινούς μήνες, η ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων ήταν αυξημένη και στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους (Εικόνα 3.44β). Την περίοδο 2003-04 το είδος δεν κυριάρχησε μεταξύ των τροχοζώων, ενώ τις επόμενες περιόδους ήταν επικρατέστερο το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Ωοφόρα άτομα του είδους παρατηρήθηκαν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της παρουσίας του, σε ποσοστά που κυμάνθηκαν μεταξύ 0,9 – 48,7 %. Αύξηση του ποσοστού των ωοφόρων ατόμων παρατηρήθηκε κατά το χειμώνα και την άνοιξη (Εικόνα 3.45). Τα μέγιστα της ποσοστιαίας συμμετοχής των ωοφόρων ατόμων στον πληθυσμό του είδους συνέπειπταν με το μέγιστο της αφθονίας του κατά την περίοδο 2004-05, ενώ την περίοδο 2005-06, το μεγαλύτερο ποσοστό ωοφόρων ατόμων παρατηρήθηκε κατά τις περιόδους πριν την αύξηση της αφθονίας του πληθυσμού.



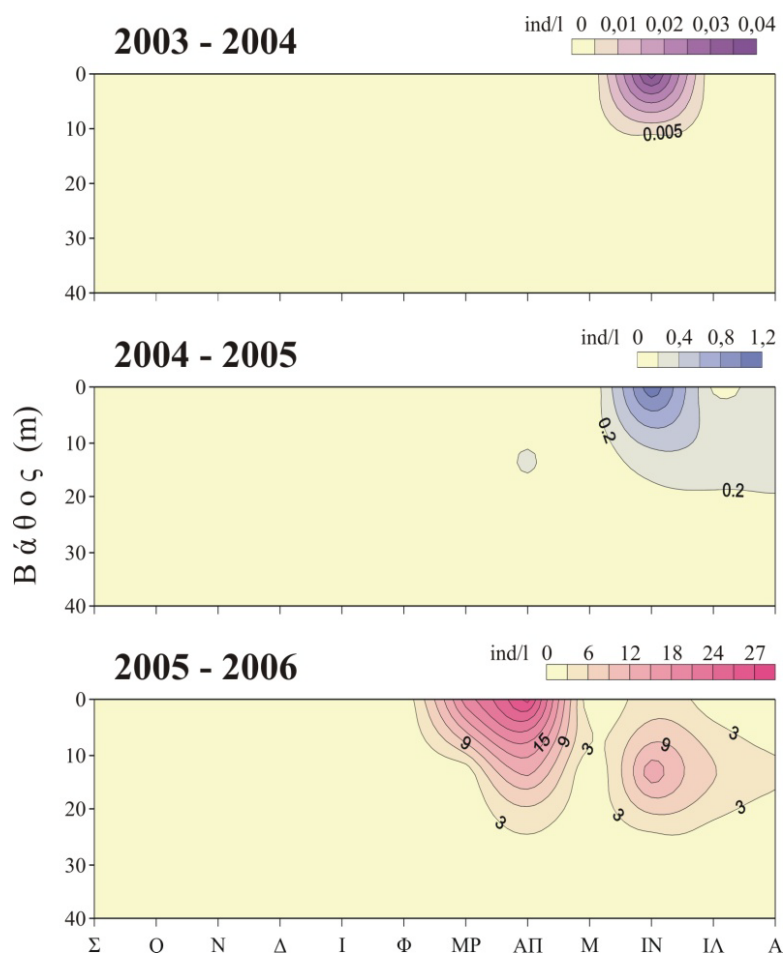
Εικόνα 3.44: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *K. longispina* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.45: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων απόμων στον πληθυσμό του *K. longirostris* στο στρώμα των 0-20 m.

Conochilus unicornis

Το είδος *C. unicornis* γενικά βρέθηκε στη λίμνη κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Ο πληθυσμός του κατανέμονταν κυρίως στα ανώτερα 20 m και κυρίως στα 0-10 m (Εικόνα 3.46), και μόνο την περίοδο 2005-06 φάνηκε να μεταβάλλεται εποχικά η κατακόρυφη κατανομή του φτάνοντας μέχρι τα 20 m το καλοκαίρι (one way ANOVA, $p=0,013$).

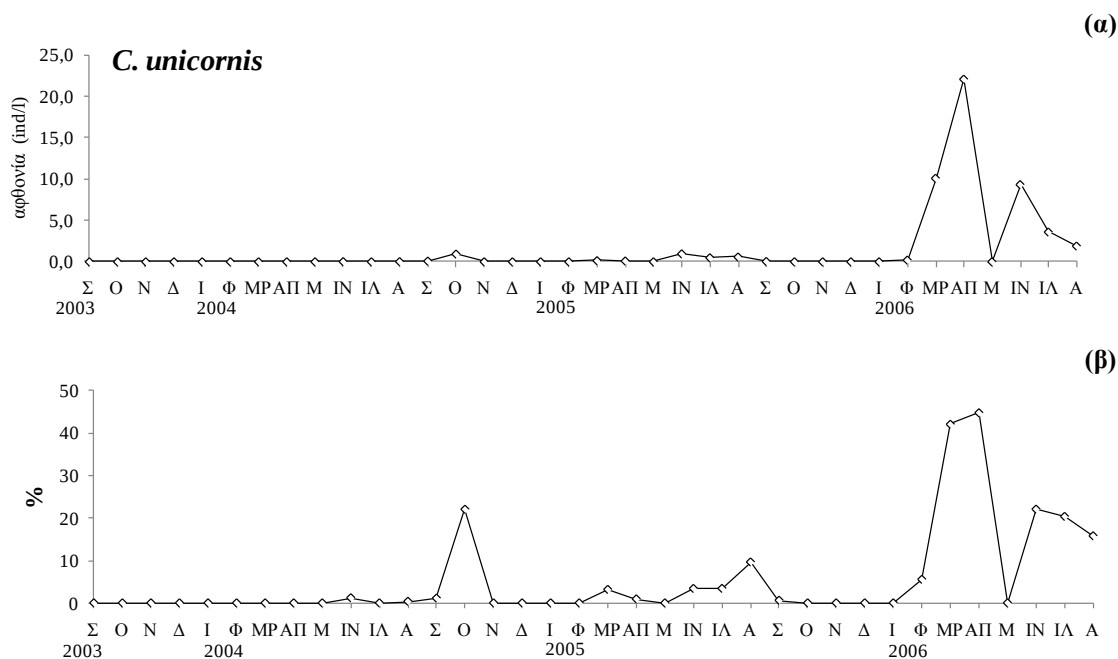


Εικόνα 3.46: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *C. unicornis* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

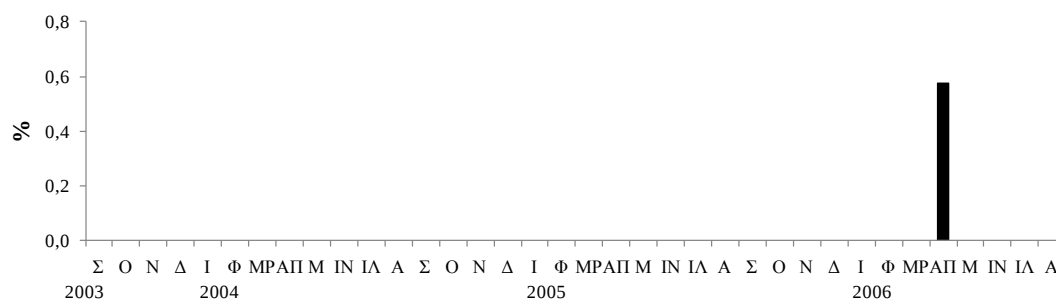
Την περίοδο 2003-04 το *C. unicornis* σχεδόν απουσίαζε από το ζωοπλαγκτό, καθώς βρέθηκε με πολύ χαμηλή αφθονία μόνο τον Ιούνιο στους σταθμούς Α και Γ. Την περίοδο 2004-05 βρέθηκε το φθινόπωρο και το καλοκαίρι σε όλους τους σταθμούς (one way ANOVA, $p=0,771$), με μέση αφθονία που δεν ξεπέρασε το 1 ind/l. Την άνοιξη και το καλοκαίρι της περιόδου 2005-06 η μέση αφθονία του κυμάνθηκε μεταξύ 1,9 – 22,1 ind/l και ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από τις προηγούμενες περιόδους (one way ANOVA, $p=0,042$) (Εικόνα 3.47α).

Η ποσοστιαία συμμετοχή του *C. unicornis* στο σύνολο των τροχοζώων ήταν μεγαλύτερη κατά την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο. Ωστόσο, σημαντική ήταν η συμμετοχή του τον Οκτώβριο του 2004, ενώ το είδος κυριάρχησε το Μάρτιο και τον Απρίλιο του 2006 (Εικόνα 3.47β).

Ωοφόρα άτομα του *C. unicornis* βρέθηκαν μόνο τον Απρίλιο του 2006, σε ποσοστό μόλις 0,6 % (Εικόνα 3.48).



Εικόνα 3.47: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *C. unicornis* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.



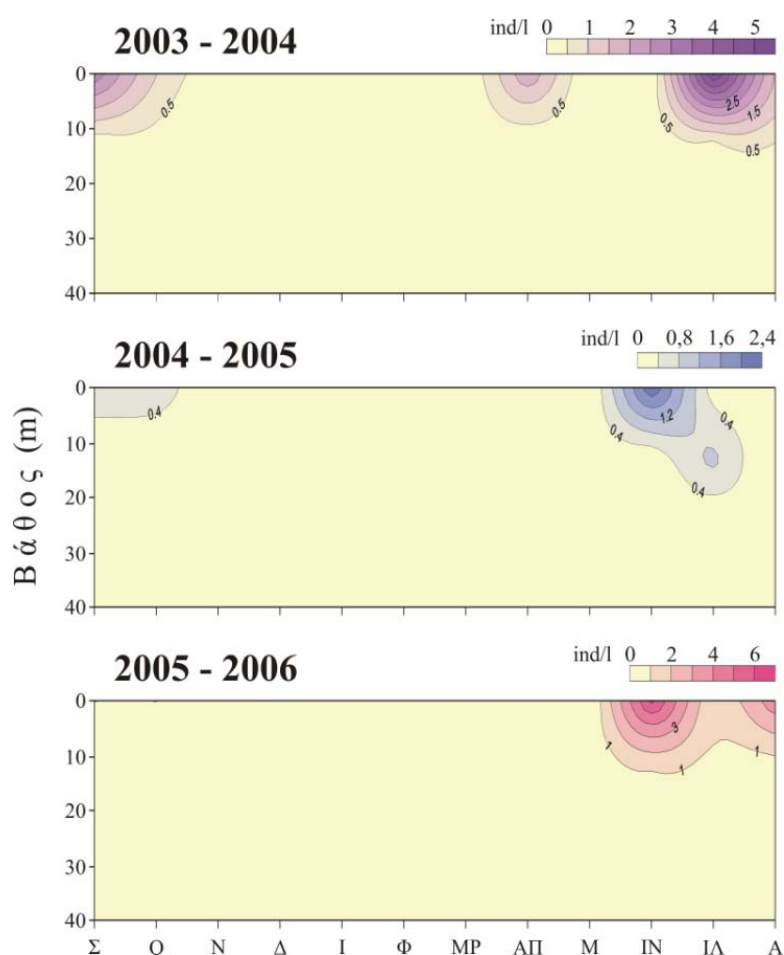
Εικόνα 3.48: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων από μων στον πληθυσμό του *C. unicornis* στο στρώμα των 0-20 m.

Ploesoma sp.

Από το γένος *Ploesoma* sp. βρέθηκαν τα είδη *P. truncatum* και *P. hudsoni*. Πιο άφθονο ήταν το είδος *P. truncatum*, ενώ άτομα του είδους *P. hudsoni* βρέθηκαν μόνο τον Ιούνιο του 2004 και στους τρεις σταθμούς, με χαμηλή αφθονία.

Στον κατακόρυφο άξονα, το είδος *P. truncatum* βρέθηκε να καταλαμβάνει κυρίως το επιφανειακό στρώμα 0-10 m και μόνο τον Ιούνιο του 2005 παρατηρήθηκε μεγαλύτερη παρουσία του στο στρώμα των 10-20 m (Εικόνα 3.49). Ωστόσο, η εποχική μεταβολή του

μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής του δεν ήταν στατιστικά σημαντική (one way ANOVA, $p=0,863$, $p=0,495$ και $p=0,588$ για τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα).

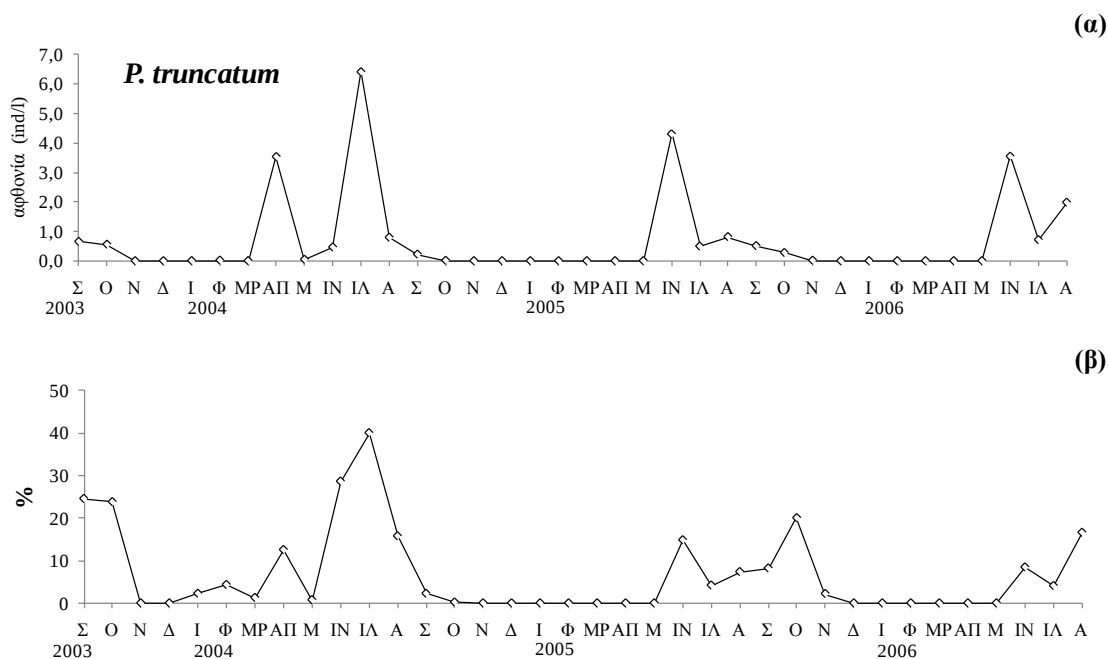


Εικόνα 3.49: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *P. truncatum* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Το είδος *P. truncatum* βρέθηκε και στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους με μεγαλύτερη αφθονία το καλοκαίρι και μικρότερη το φθινόπωρο. Το χειμώνα και την άνοιξη σχεδόν απουσίασε από τη λίμνη, με εξαίρεση την περίοδο 2003-04 που βρέθηκε με μέση αφθονία 0,1 – 5,7 ind/l (Εικόνα 3.50α). Η αφθονία του δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,746$ και $p=0,261$), ή μεταξύ των περιόδων δειγματοληψίας (one way ANOVA, $p=0,512$).

Κατά τη διάρκεια της έρευνας, το είδος *P. truncatum* επικράτησε μεταξύ των τροχοζών τον Ιούλιο του 2004, ενώ η συμμετοχή του ήταν μεγαλύτερη κυρίως το φθινόπωρο και το καλοκαίρι, με εξαίρεση το φθινόπωρο του 2004, που δεν ξεπέρασε το 2,3 % (Εικόνα 3.50β).

Ωοφόρα άτομα του γένους *Ploesoma* sp. δεν παρατηρήθηκαν.

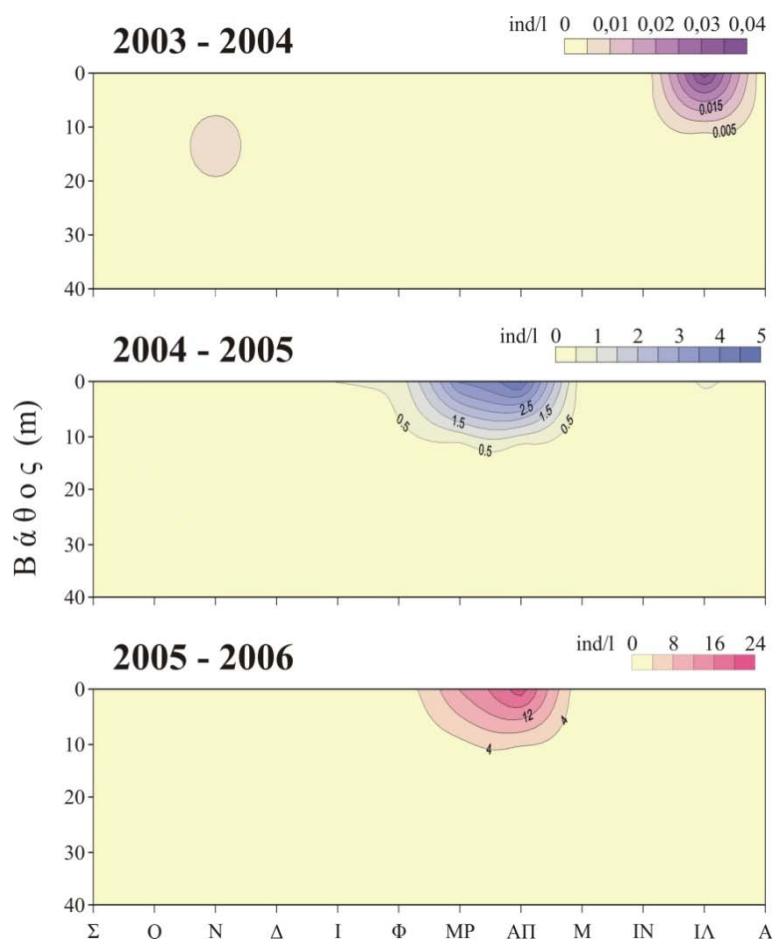


Εικόνα 3.50: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *P. truncatum* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Trichocerca sp.

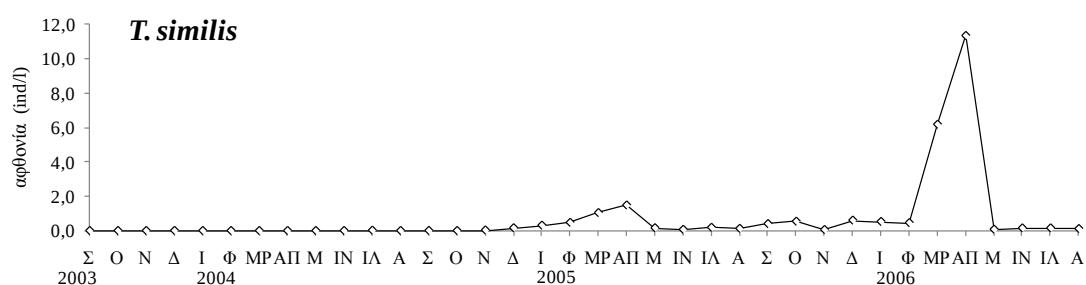
Από το γένος *Trichocerca* βρέθηκαν τα είδη *T. similis* και *T. carucina*. Πιο άφθονο ήταν το *T. similis* το οποίο, στον κατακόρυφο άξονα, βρέθηκε κυρίως στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m (Εικόνα 3.51), χωρίς να μεταβάλλει εποχικά την κατακόρυφη κατανομή του (one way ANOVA, $p=0,212$, $p=0,220$ και $p=0,085$ για τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα).

Η μέση αφθονία του *T. similis* στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε από 0,001 έως 11,36 ind/l, ενώ σχεδόν απουσίαζε από τη λίμνη την περίοδο 2003-04. Τις επόμενες δειγματοληπτικές περιόδους εμφάνισε περιοδικότητα στην αύξηση της αφθονίας του πληθυσμού του, με τις μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται την άνοιξη και συγκεκριμένα τον Απρίλιο (Εικόνα 3.52α). Παρά την αυξημένη παρουσία του κατά την άνοιξη της τρίτης περιόδου, η διαφορά στην αφθονία του *T. similis* μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων δεν ήταν στατιστικά σημαντική (one way ANOVA, $p=0,408$).

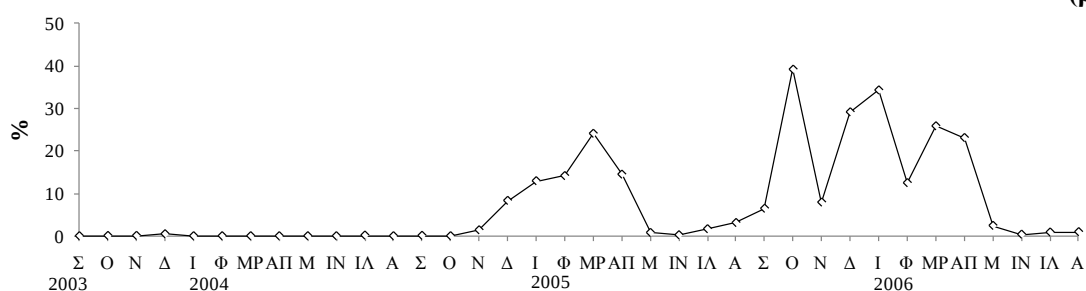


Εικόνα 3.51: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *T. similis* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

(α)



(β)

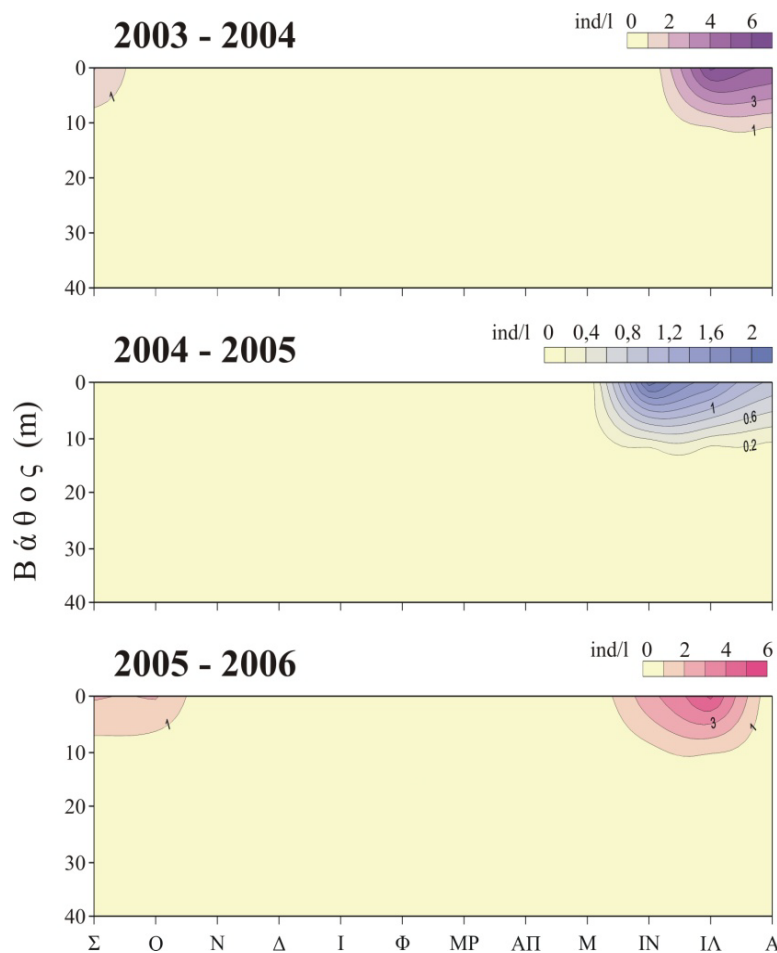


Εικόνα 3.52: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *T. similis* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Σημαντική ήταν η συμμετοχή του είδους στο σύνολο των τροχοζώων το χειμώνα και στις αρχές της άνοιξης για τις περιόδους 2004-05 και 2005-06 (Εικόνα 3.52β), ενώ το είδος επικράτησε στην ομάδα των τροχοζώων τον Οκτώβριο του 2005. Το είδος *T. carucina* βρέθηκε με πολύ χαμηλή αφθονία (0,1 ind/l) μόνο τον Ιούλιο του 2006, στο στρώμα των 10-20 m στον σταθμό Α. Δεν παρατηρήθηκαν ωοφόρα άτομα των δύο ειδών.

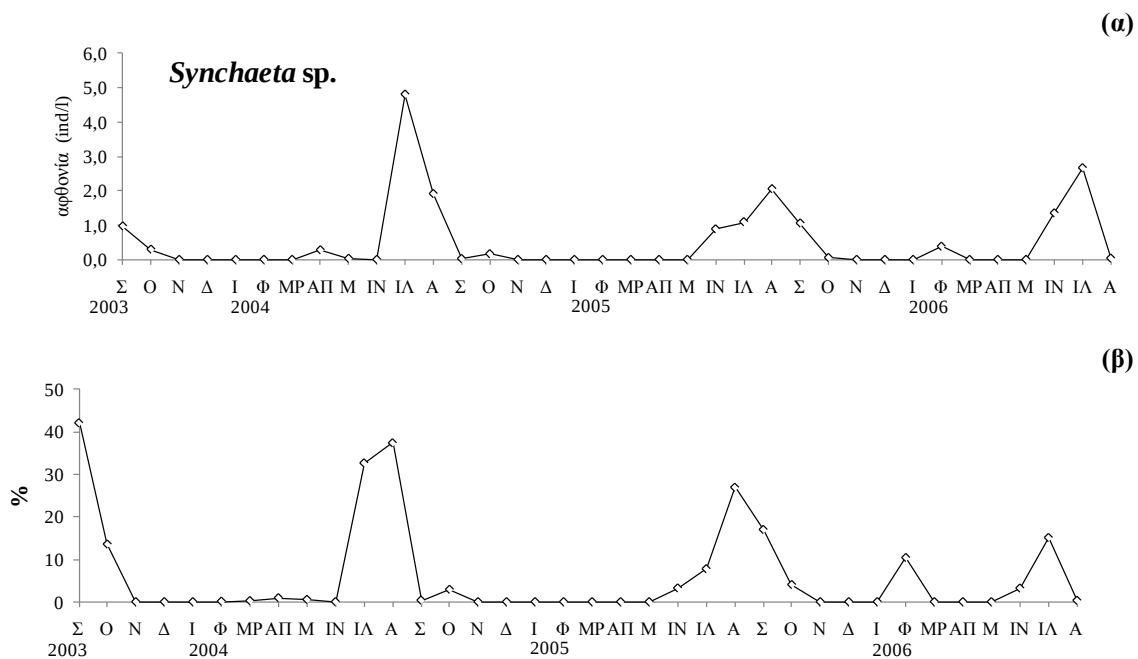
***Synchaeta* sp.**

Το γένος *Synchaeta* sp. βρέθηκε και στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους, σχεδόν αποκλειστικά μέχρι το βάθος των 20 m, ενώ η μεγαλύτερη αφθονία του ήταν συγκεντρωμένη στο επιφανειακό στρώμα 0-10 m (Εικόνα 3.53). Άτομα του γένους *Synchaeta* sp. βρέθηκαν σε μεγαλύτερη αφθονία κυρίως το καλοκαίρι, ενώ σχεδόν απουσίαζε το χειμώνα και την άνοιξη (Εικόνα 3.54α).



Εικόνα 3.53: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του γένους *Synchaeta* sp. στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Η μέση αφθο $\bar{x}$ το $\bar{u}$ δεν βρέθηκε να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,988$ και $p=0,334$), ούτε μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,962$). Στα τρία έτη της έρευνας, η συμμετοχή του γένους *Synchaeta* στη βιοκοινωνία των τροχοζώων ήταν μεγαλύτερη κατά το τέλος του καλοκαιριού (Εικόνα 3.54β). Αυτή τη περίοδο, με εξαίρεση το καλοκαίρι του 2006, το γένος *Synchaeta* επικρατούσε μεταξύ των τροχοζώων. Ωοφόρα άτομα του γένους *Synchaeta* δεν παρατηρήθηκαν.

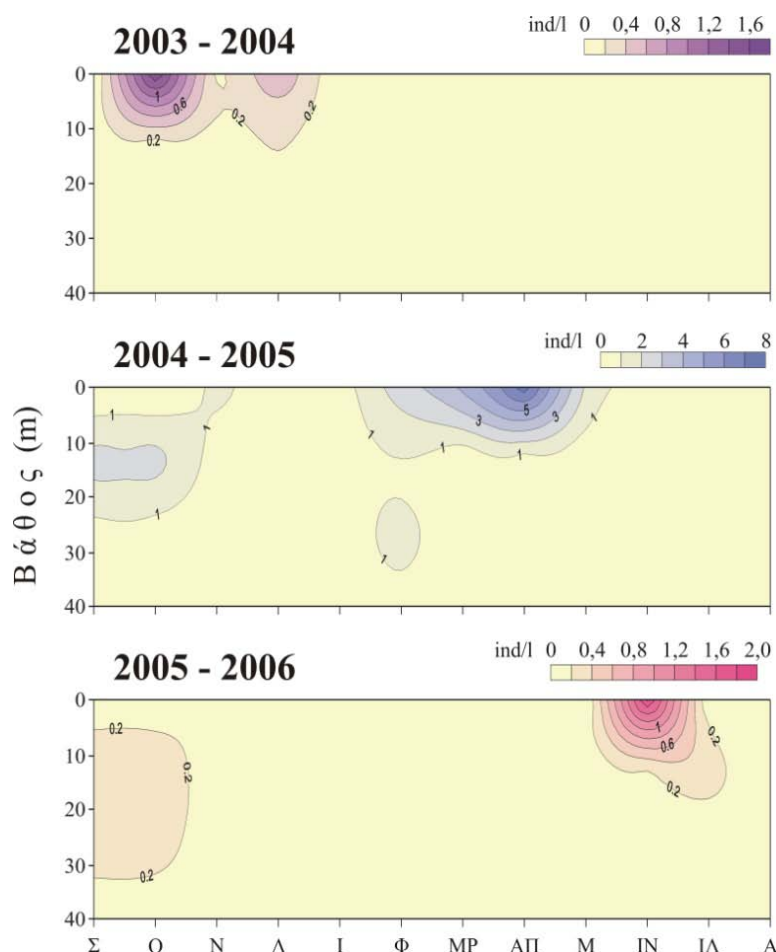


Εικόνα 3.54: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του γένους *Synchaeta* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Hexarthra sp.

Από το γένος *Hexarthra* βρέθηκαν τα είδη *H. mira* και *H. intermedia*. Κατά την περίοδο 2003-04, τα δύο είδη δεν καταμετρήθηκαν ξεχωριστά αλλά καταγράφηκαν μαζί ως *Hexarthra* sp. Το γένος *Hexarthra* σχεδόν απουσίασε από το ζωοπλαγκτό το χειμώνα και την άνοιξη κατά τις περιόδους 2003-04 και 2005-06, ενώ ήταν πιο άφθονο και είχε συνεχή παρουσία κατά την περίοδο 2004-05 (one way ANOVA, $p=0,008$). Η μέση αφθονία του γένους κυμάνθηκε από 0,01 έως 0,8 ind/l την περίοδο 2003-04, από 0,1 έως 2,7 ind/l την περίοδο 2004-05, ενώ δεν ξεπέρασε το 1 ind/l κατά την περίοδο 2005-06,

χωρίς σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,998$ και $p=0,965$ για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα).

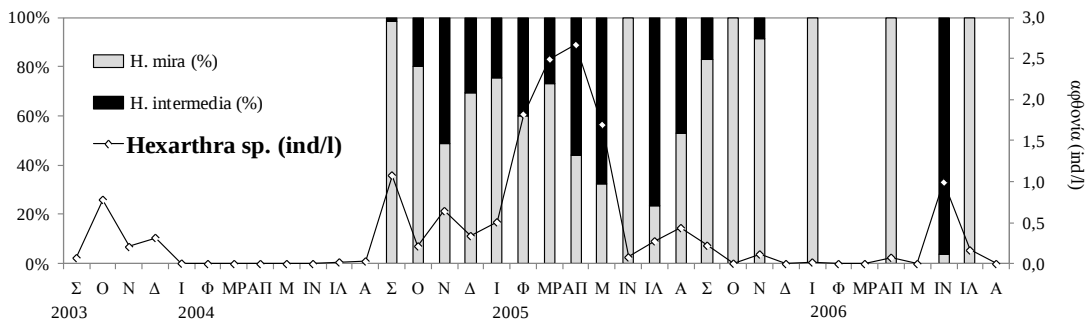


Εικόνα 3.55: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του γένους *Hexarthra* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

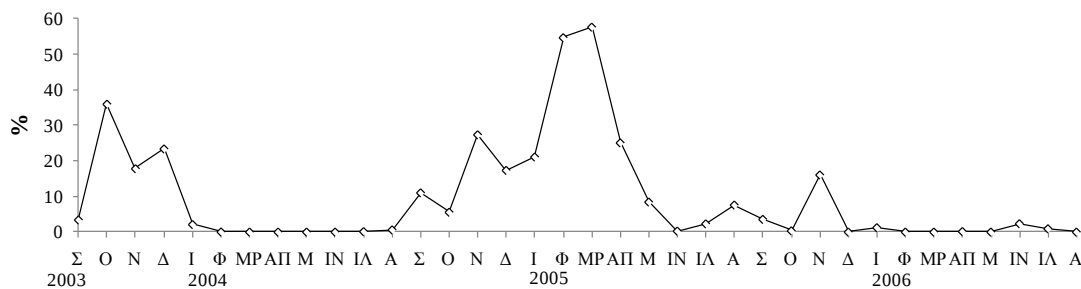
Στον κατακόρυφο άξονα, τα άτομα του γένους *Hexarthra* sp. βρέθηκαν κυρίως στο επιφανειακό στρώμα των 0-20 m, ενώ την περίοδο 2004-2006 ένα μικρό μέρος τους βρέθηκε μέχρι τα 30 m, κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα (Εικόνα 3.55). Ωστόσο, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική εποχική μεταβολή του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής τους (one way ANOVA, $p=0,104$, $p=0,253$ και $p=0,153$ για τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα).

Στη συνολική διάρκεια της έρευνας, οι μεγαλύτερες τιμές αφθονίας του γένους *Hexarthra* sp. βρέθηκαν την άνοιξη του 2005, ενώ κορυφές στην αφθονία του γένους σημειώθηκαν επίσης το φθινόπωρο και το καλοκαίρι (Εικόνα 3.56). Η συμμετοχή του στη βιοκοινωνία

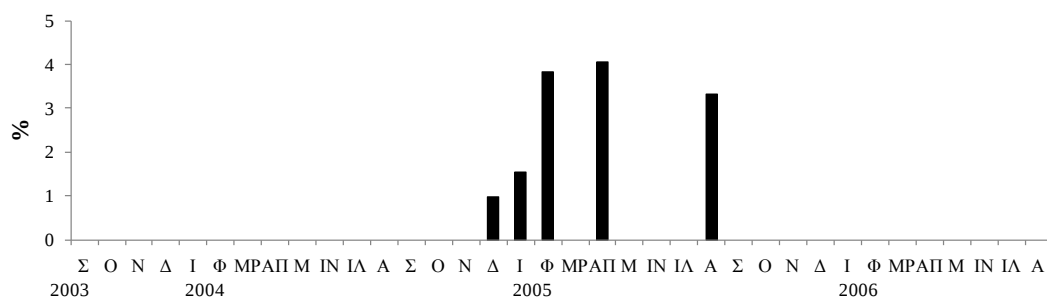
των τροχοζώων ήταν σημαντικότερη το φθινόπωρο και στις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό στο σύνολο των τροχοζώων σημειώθηκε στα τέλη του χειμώνα του 2005 (54,8-57,7 %), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.57. Τον Οκτώβριο του 2003 και το Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2005 το γένος *Hexarthra* sp. ήταν το επικρατέστερο μεταξύ των τροχοζώων. Μεταξύ των επιμέρους ειδών, το *H. mira* βρέθηκε να επικρατεί κατά την ψυχρότερη περίοδο ενώ το *H. intermedia* ήταν επικρατέστερο τους θερμότερους μήνες (Εικόνα 3.56).



Εικόνα 3.56: Εποχική διακύμανση της μέσης συνολικής αφθονίας του γένους *Hexarthra* sp. και ποσοστιαία συμμετοχή των ειδών *H. mira* και *H. intermedia* στην αφθονία του γένους στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.57: Ποσοστιαία συμμετοχή του γένους *Hexarthra* στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

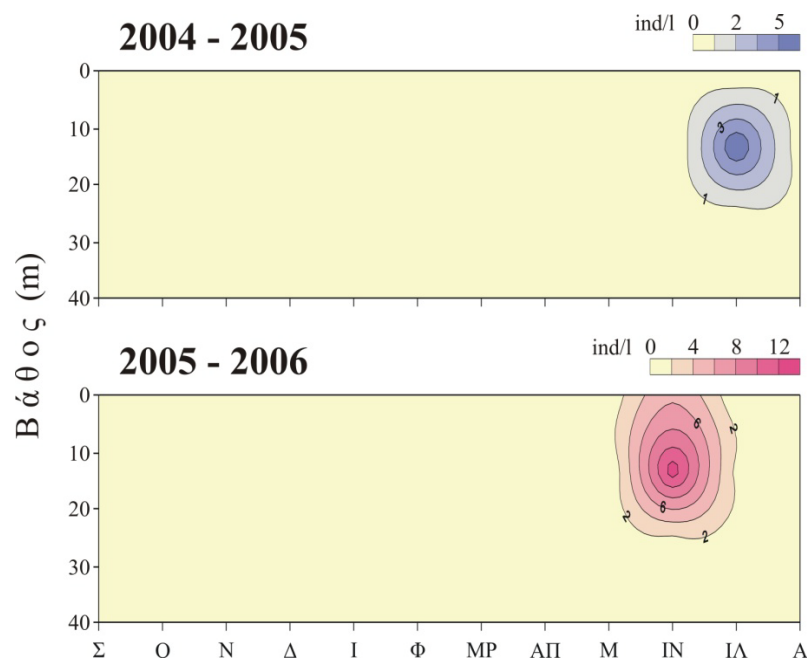


Εικόνα 3.58: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στον πληθυσμό του είδους *H. mira* στο στρώμα των 0-20 m.

Ωοφόρα άτομα του γένους *Hexarthra* βρέθηκαν μόνο κατά τη δεύτερη δειγματοληπτική περίοδο και, κυρίως το χειμώνα για το είδος *H. mira*, ενώ μόνο το φθινόπωρο για το είδος *H. intermedia*. Το ποσοστό τους στον πληθυσμό του *H. mira* την περίοδο Δεκέμβριος 2004 – Απρίλιος 2005 κυμάνθηκε μεταξύ 0 – 4,1 % (Εικόνα 3.58). Ωοφόρα άτομα του είδους *H. intermedia* βρέθηκαν μόνο στο σταθμό Α τον Οκτώβριο του 2004 (ποσοστό 100 %). Σε κάθε περίπτωση, αυξημένα ποσοστά ωοφόρων ατόμων των δύο ειδών παρατηρήθηκαν σε περιόδους αύξησης της αφθονίας τους.

Pompholyx sulcata

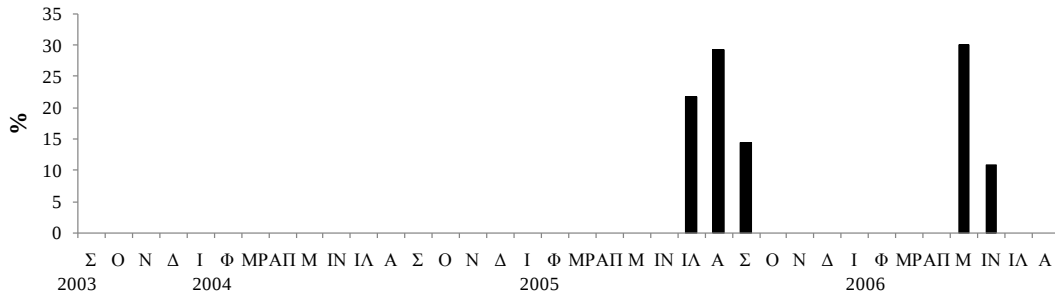
Το είδος απουσίαζε κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο και βρέθηκε κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 2005 και 2006 (Εικόνα 3.61α). Στον κατακόρυφο άξονα, η παρουσία του εντοπίστηκε κυρίως μέχρι το βάθος των 20 m, ενώ με μεγαλύτερη αφθονία βρέθηκε μεταξύ των 10 και 20 m (Εικόνα 3.59).



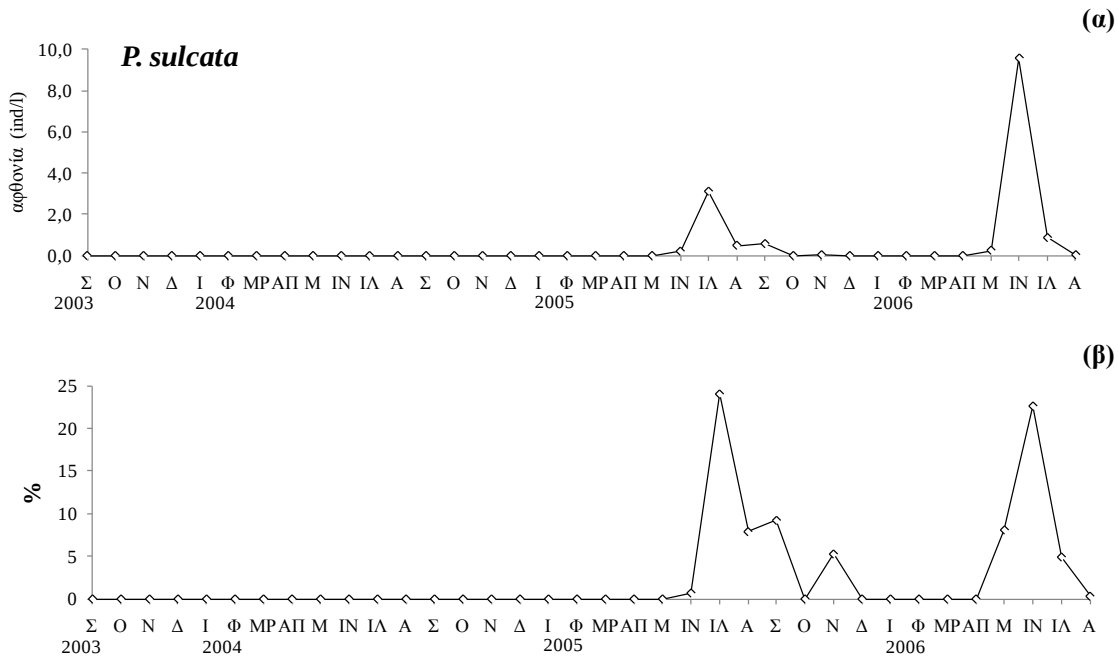
Εικόνα 3.59: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *P. sulcata* στο σταθμό Α κατά τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους (2004-05 και 2005-06).

Η μέση αφθονία του *P. sulcata* δεν διέφερε μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,949$). Μεγαλύτερες τιμές μέσης αφθονίας σημειώθηκαν κατά την περίοδο 2005-06, χωρίς όμως να διαφέρουν σημαντικά από την προηγούμενη (t-test, $p=0,845$). Η συμμετοχή του *P. sulcata* στη βιοκοινωνία των τροχοζώων ήταν μεγαλύτερη το καλοκαίρι

(Εικόνα 3.61β), ενώ το είδος κυριάρχησε στα τροχόζωα τον Ιούνιο του 2006. Ωοφόρα άτομα του είδους *P. sulcata* παρατηρήθηκαν κατά την περίοδο αύξησης της αφθονίας του πληθυσμού (Εικόνα 3.60).



Εικόνα 3.60: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στον πληθυσμό του είδους *P. sulcata* στο στρώμα των 0-20 m.



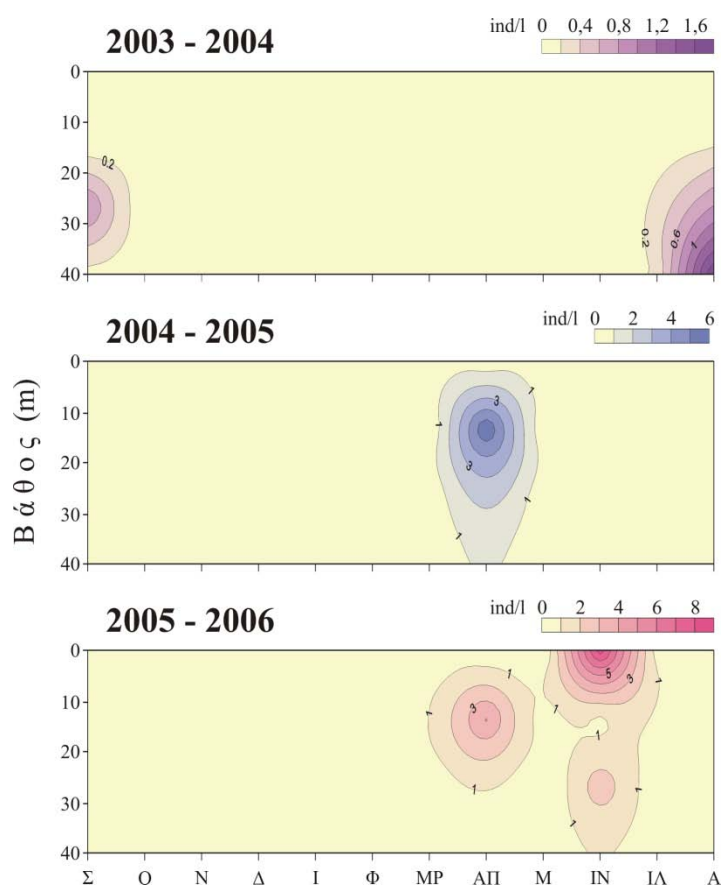
Εικόνα 3.61: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *P. sulcata* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχόζωων στο στρώμα των 0-20 m.

Filinia sp.

Από το γένος *Filinia* sp. βρέθηκαν τρία είδη, τα *F. longiseta*, *F. terminalis* και *F. opoliensis*. Το είδος *F. opoliensis* βρέθηκε σποραδικά στα δείγματα, ενώ το *F. terminalis*

αναγνωρίστηκε ποιοτικά και δεν προσδιορίστηκε η αφθονία του, λόγω της δυσκολίας διάκρισής του από το *F. longiseta*.

Στον κατακόρυφο άξονα, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του *F. longiseta* βρέθηκε κάτω από τα 10 m. Ωστόσο παρατηρήθηκε εντονότερη παρουσία του σε ανώτερα στρώματα σε συνδιασμό με την αύξηση της αφθονίας του (Εικόνα 3.62). Στατιστικά σημαντική εποχική μεταβολή του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής του σημειώθηκε κατά την περίοδο 2004-05, καθώς την άνοιξη βρέθηκε κυρίως μεταξύ των 10 και 30 m (one way ANOVA, $p=0,028$).

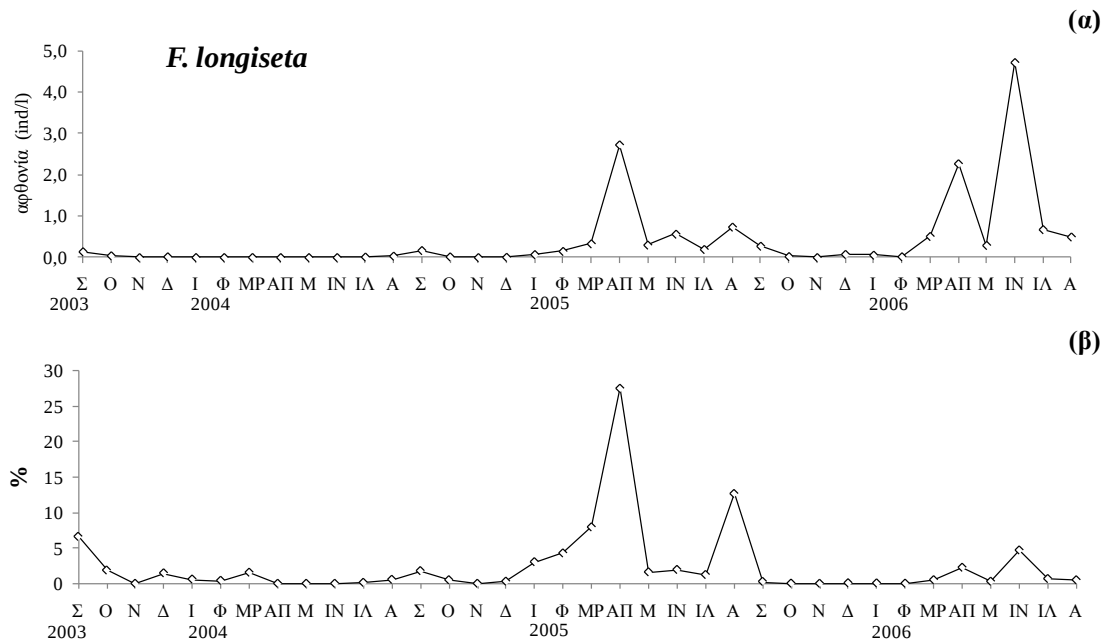


Εικόνα 3.62: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *F. longiseta* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

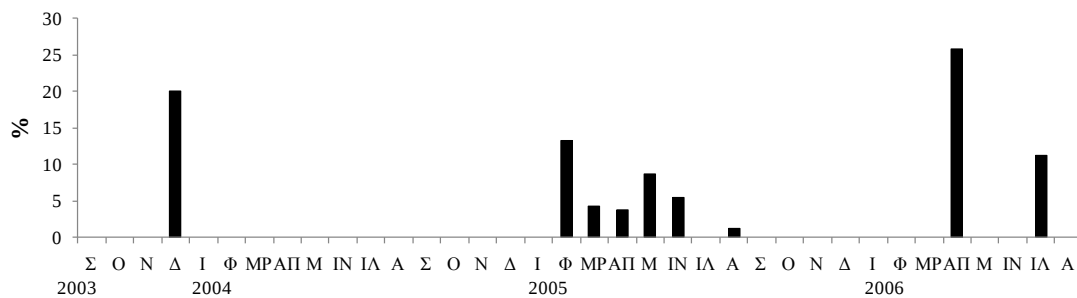
Η αφθονία του *F. longiseta* δεν διέφερε μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,745$ και $p=0,784$), ούτε μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,241$). Από την εποχική διακύμανση τόσο της μέσης αφθονίας του στο στρώμα των 0-20 m (Εικόνα 3.63α), όσο και της αφθονίας του στη στήλη νερού στον βαθύτερο σταθμό Α (Εικόνα 3.62), φαίνεται ότι το είδος συναντάται στη λίμνη κυρίως κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Το *F. longiseta* ήταν επικρατέστερο μεταξύ των

τροχοζώων τον Απρίλιο του 2005, ενώ κατά το υπόλοιπο διάστημα το ποσοστό συμμετοχής του στο σύνολο της ομάδας (στο στρώμα των 0-20 m) ήταν χαμηλό και παρουσίαζε μικρή αύξηση το καλοκαίρι (Εικόνα 3.63β).

Ωοφόρα άτομα του είδους *F. longiseta* βρέθηκαν κυρίως στα ανώτερα 20 m και η παρουσία τους ήταν εντονότερη κυρίως κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι (Εικόνα 3.64).



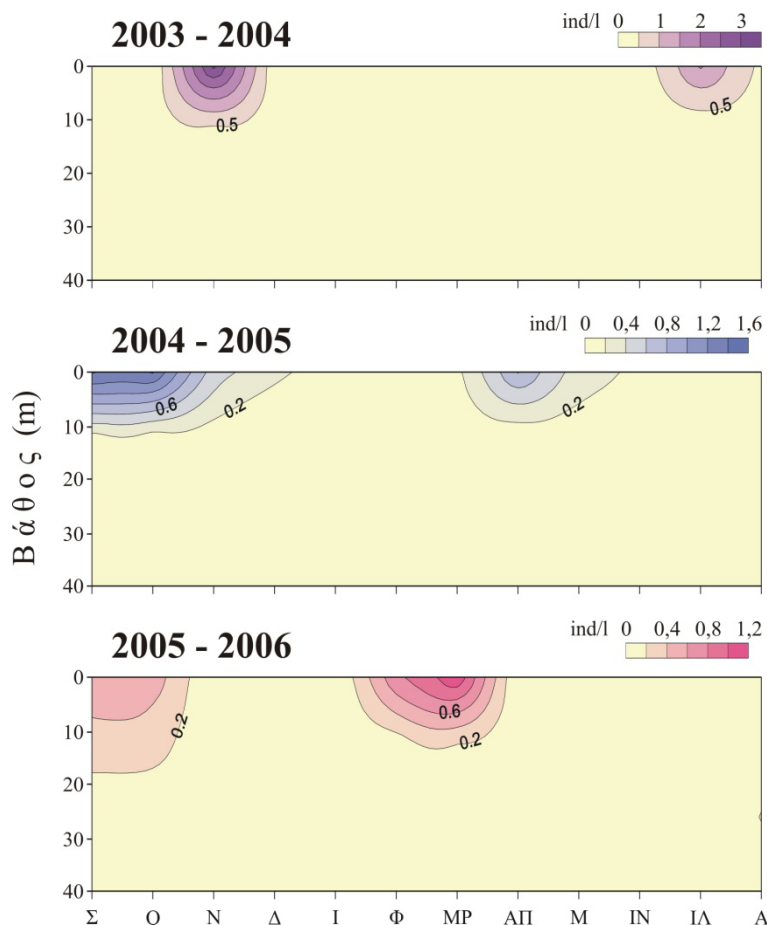
Εικόνα 3.63: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *F. longiseta* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.64: Ποσοστιαία Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στον πληθυσμό του είδους *F. longiseta* στο στρώμα των 0-20 m.

***Polyarthra* sp.**

Τα άτομα του γένους *Polyarthra* sp. δεν εμφάνισαν εποχική μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής τους (one way ANOVA, $p=0,208$, $p=0,463$ και $p=0,205$ για τις τρεις περιόδους) και βρέθηκαν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας κυρίως στο επιφανειακό στρώμα 0-10 m (Εικόνα 3.65).

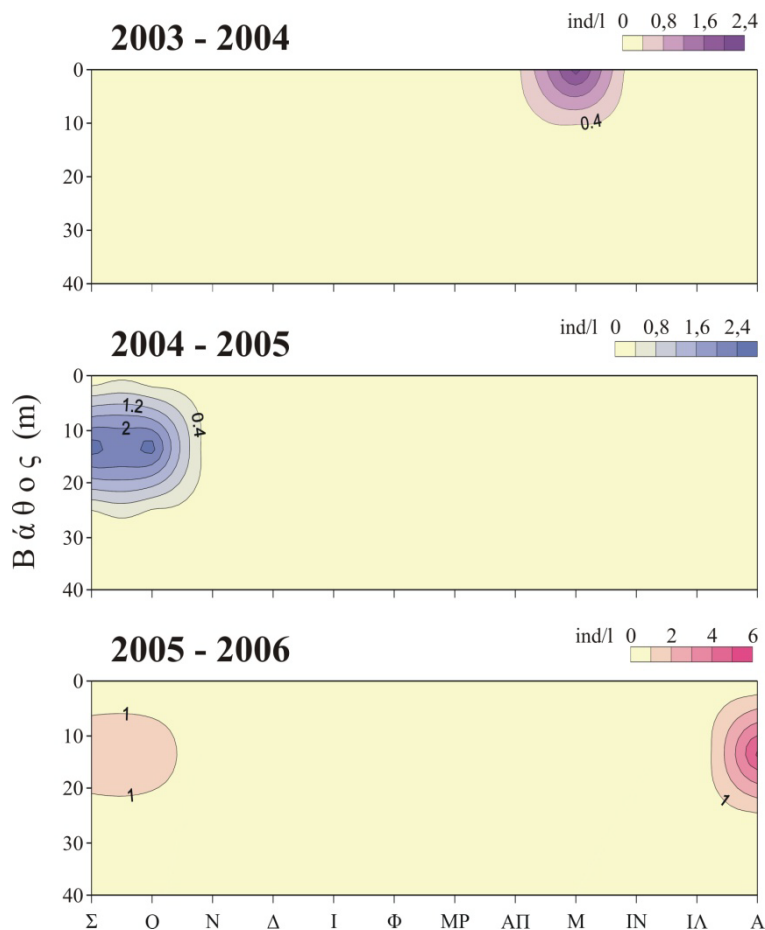


Εικόνα 3.65: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του γένους *Polyarthra* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

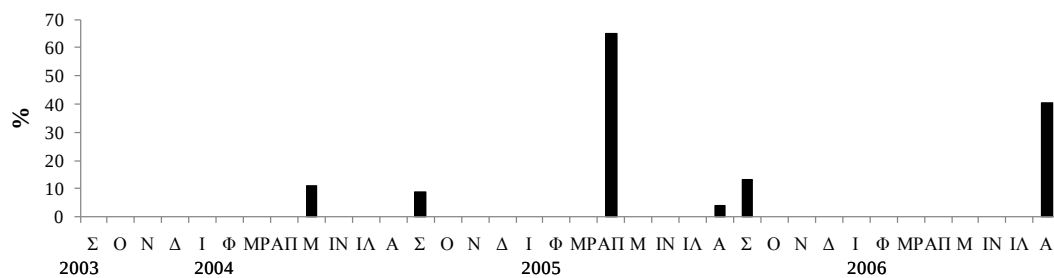
Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε σημαντική διαφορά της αφθονίας του (one way ANOVA, $p=0,721$ και $p=0,298$ για τις δύο δειγματοληπτικές περιόδους, αντίστοιχα) και η μέση αφθονία του στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε από 0,01 έως 1 ind/l. Μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, ενώ σχεδόν απουσίαζε το χειμώνα (Εικόνα 3.66α). Ωστόσο, μεταξύ των τριών περιόδων, παρατηρήθηκε αύξηση της παρουσίας του κατά την άνοιξη και την περίοδο 2005-06 εμφάνισε μέγιστο αφθονίας το

δειγματοληπτικής περιόδου (Εικόνα 3.69β). Ωστόσο, το είδος *A. priodonta* δεν επικράτησε ποτέ στα τροχόζωα.

Άτομα με αυγά παρατηρήθηκαν σποραδικά, κυρίως κατά τις περιόδους αύξησης της αφθονίας του είδους (Εικόνα 3.68).

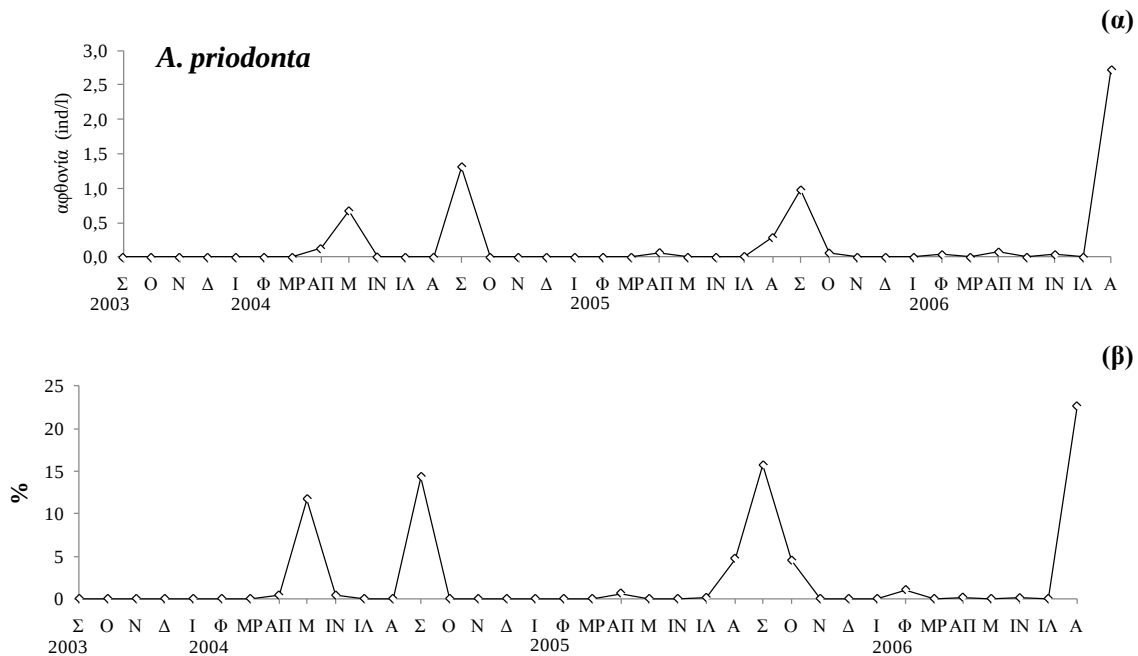


Εικόνα 3.67: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *A. priodonta* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.



Εικόνα 3.68: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στον πληθυσμό του είδους *priodonta* στο στρώμα των 0-20 m.

A.



Εικόνα 3.69: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *A. priodonta* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του είδους στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

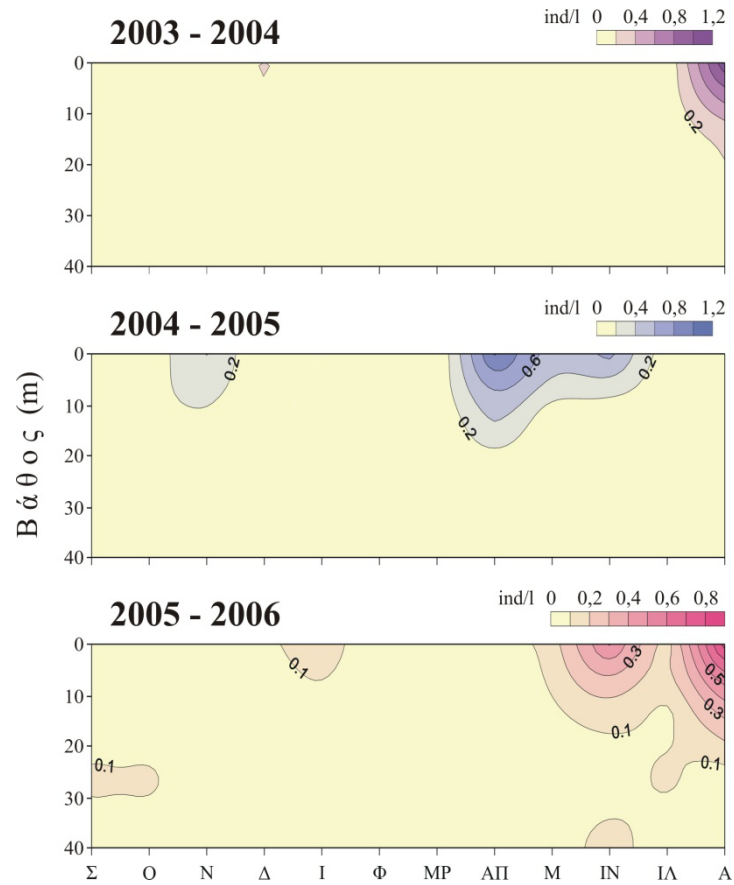
Colotheca sp.

Το γένος *Colotheca* sp. βρέθηκε σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας, έχοντας γενικά χαμηλή αφθονία. Στον κατακόρυφο άξονα εντοπίστηκε κυρίως στα ανώτερα 20 m (Εικόνα 3.70).

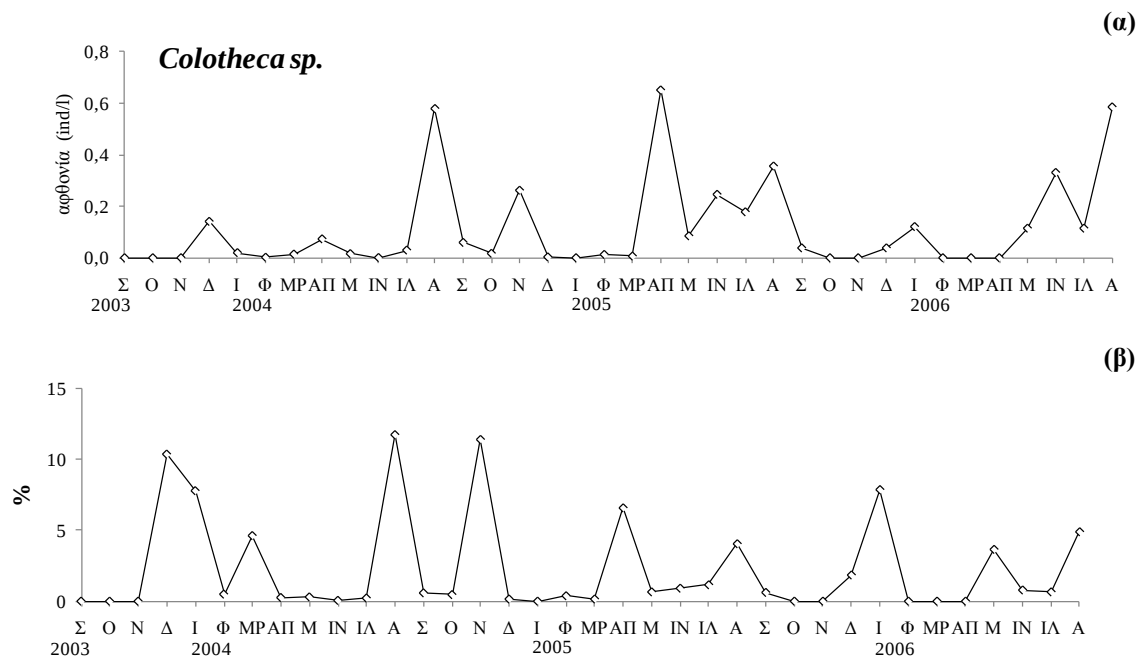
Το γένος *Colotheca* sp. σχεδόν απουσίαζε το χειμώνα, ενώ μεγαλύτερες τιμές αφθονίες καταγράφηκαν κυρίως το καλοκαίρι, αλλά και την άνοιξη της δεύτερης περιόδου (Εικόνα 3.71α). Η αφθονία του δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των σταθμών (one way ANOVA, $p=0,882$ και $p=0,413$), ή μεταξύ των δύο δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,613$).

Η συμμετοχή του γένους στο σύνολο των τροχοζώων ήταν σχετικά χαμηλή καθόλη τη διάρκεια της παρουσίας του, ενώ η εποχική του διακύμανση ήταν ανάλογη με εκείνη της αφθονίας του (Εικόνα 3.71β). Το γένος *Colotheca* sp. δεν επικράτησε ποτέ μεταξύ των τροχοζώων.

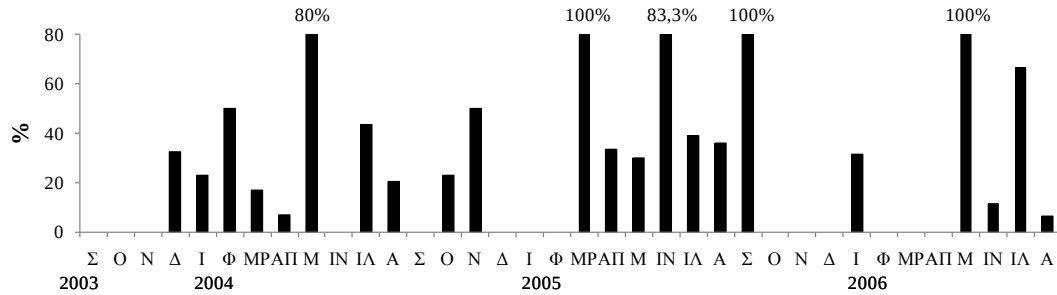
Άτομα με αυγά παρατηρήθηκαν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της παρουσίας του είδους, με μεγαλύτερα ποσοστά κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι (Εικόνα 3.72).



Εικόνα 3.70: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του γένους *Colotheca* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.



Εικόνα 3.71: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του γένους *Colotheca* sp. και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του γένους στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.



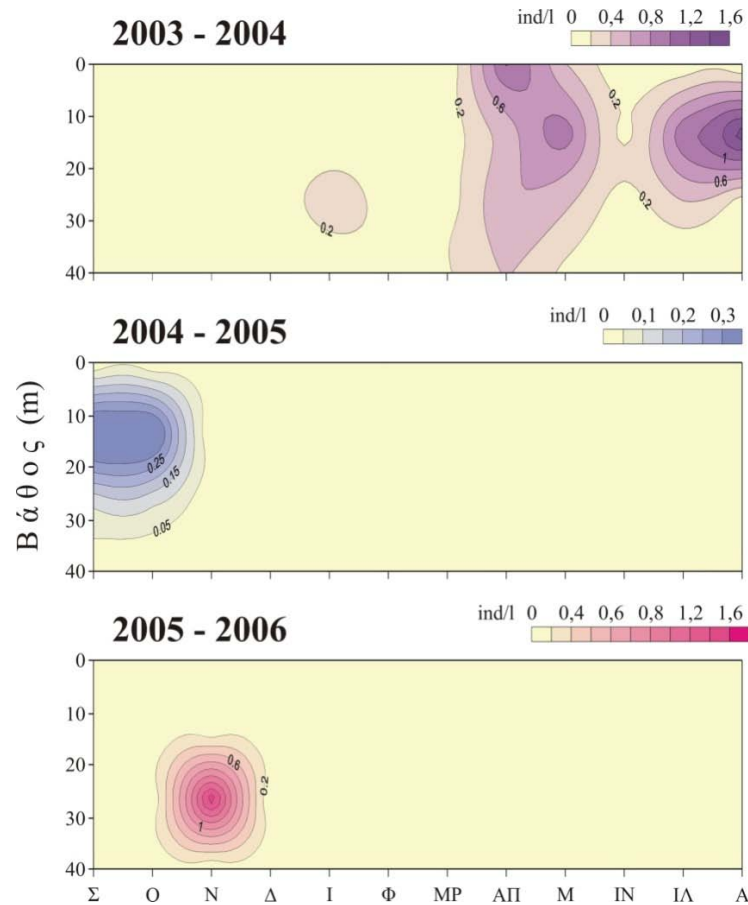
Εικόνα 3.72: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στο σύνολο του γένους *Colotheca* sp. στο στρώμα των 0-20 m.

Brachionus calyciflorus

Το είδος *B. calyciflorus* είχε συνεχή παρουσία κατά το διάστημα από το Σεπτέμβριο του 2003 έως τον Οκτώβριο του 2004, ενώ ξαναεμφανίστηκε το φθινόπωρο του 2005. Στον κατακόρυφο άξονα, μεγαλύτερη αφθονία του *B. calyciflorus* βρέθηκε στα βαθύτερα στρώματα των 10-20 και 20-30 m. Ειδικά το Νοέμβριο του 2005, η μέγιστη αφθονία του είδους καταγράφηκε στο στρώμα μεταξύ των 20 και 30 m (Εικόνα 3.73). Η μέση αφθονία του κατά τη διάρκεια της έρευνας κυμάνθηκε από 0,01 έως 0,6 ind/l. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν κατά το τέλος του χειμώνα και στο τέλος του καλοκαιριού (Εικόνα 3.74α). Την περίοδο της συνεχούς παρουσίας του, δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά της αφθονίας του είδους μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,915$).

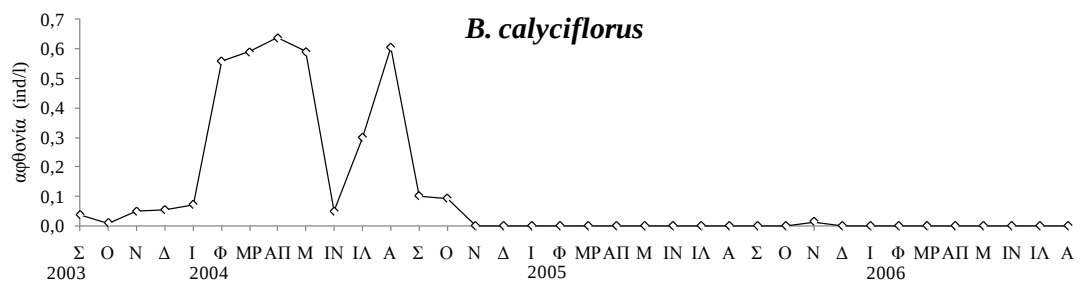
Στο στρώμα των 0-20 m, το είδος *B. calyciflorus* είχε σημαντική συμμετοχή στη βιοκοινωνία των τροχοζώνων μόνο κατά την περίοδο 2003-04, ενώ η μεγαλύτερη σημειώθηκε το Φεβρουάριο και το Μάρτιο, που ήταν το κυρίαρχο είδος (Εικόνα 3.74β).

Άτομα με αυγά βρέθηκαν μόνο κατά την περίοδο συνεχούς παρουσίας του είδους. Το ποσοστό των ωοφόρων ατόμων κυμάνθηκε από 1,7 έως 16,3% και ήταν μεγαλύτερο το χειώνα και το καλοκαίρι (Εικόνα 3.75).

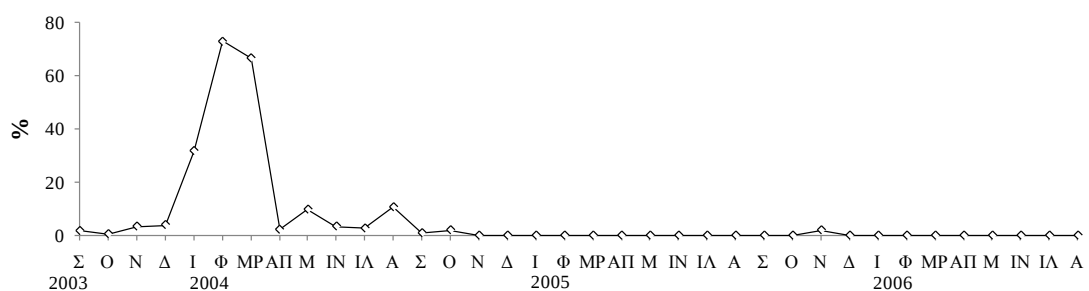


Εικόνα 3.73: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *B. calyciflorus* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

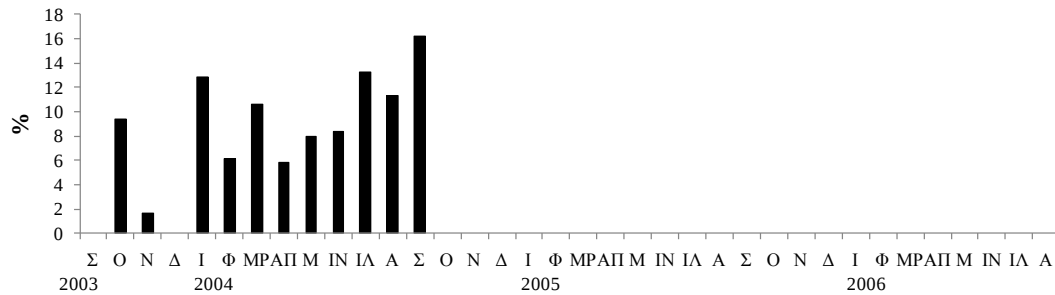
(α)



(β)



Εικόνα 3.74: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *B. calyciflorus* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.75: Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων ατόμων στον πληθυσμό του είδους *calyciflorus* στο στρώμα των 0-20 m.

B.

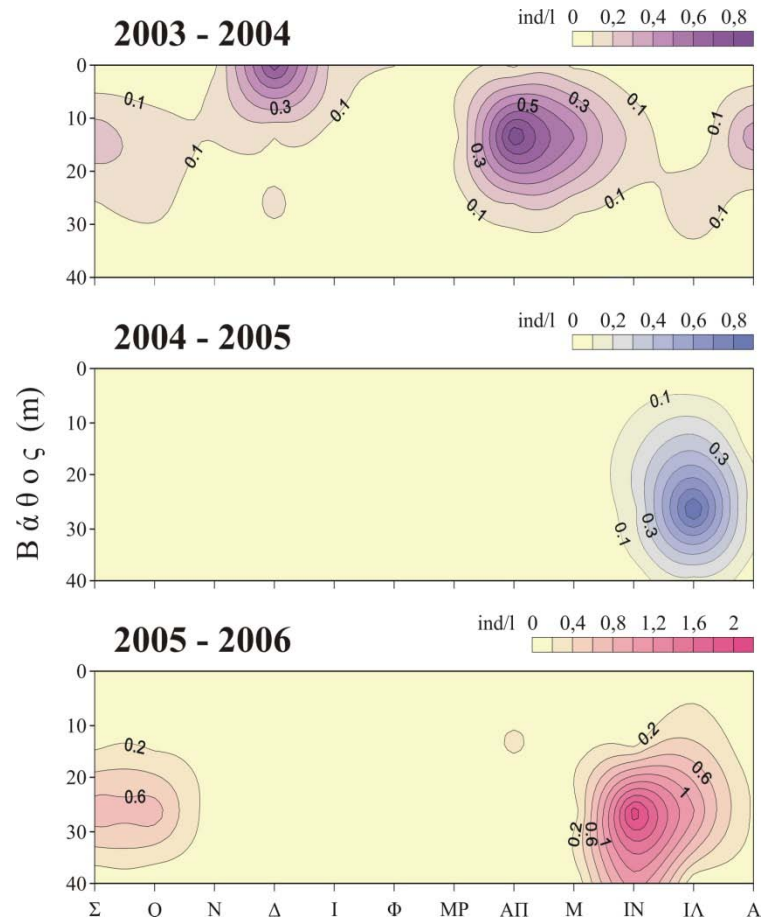
***Keratella* sp.**

Από το γένος *Keratella* αναγνωρίστηκαν τα είδη *K. quadrata* και *K. cochlearis*. Στον κατακόρυφο άξονα, τα άτομα του είδους *K. quadrata* βρέθηκαν κυρίως μεταξύ των 10 και 30 m, σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας (Εικόνα 3.76). Την περίοδο 2003-04, η μεγαλύτερη αφθονία το υ βρέθηκε μεταξύ των 10 και 20 m και μόνο το χειμώνα βρέθηκαν κυρίως στο επιφανειακό στρώμα 0-10 m (one way ANOVA, $p=0,042$). Τις επόμενες περιόδους η αφθονία τους ήταν μεγαλύτερη στο στρώμα των 20-30 m, κυρίως το καλοκαίρι. Τα άτομα του *K. cochlearis* βρέθηκαν κυρίως στο στρώμα των 10-20 m.

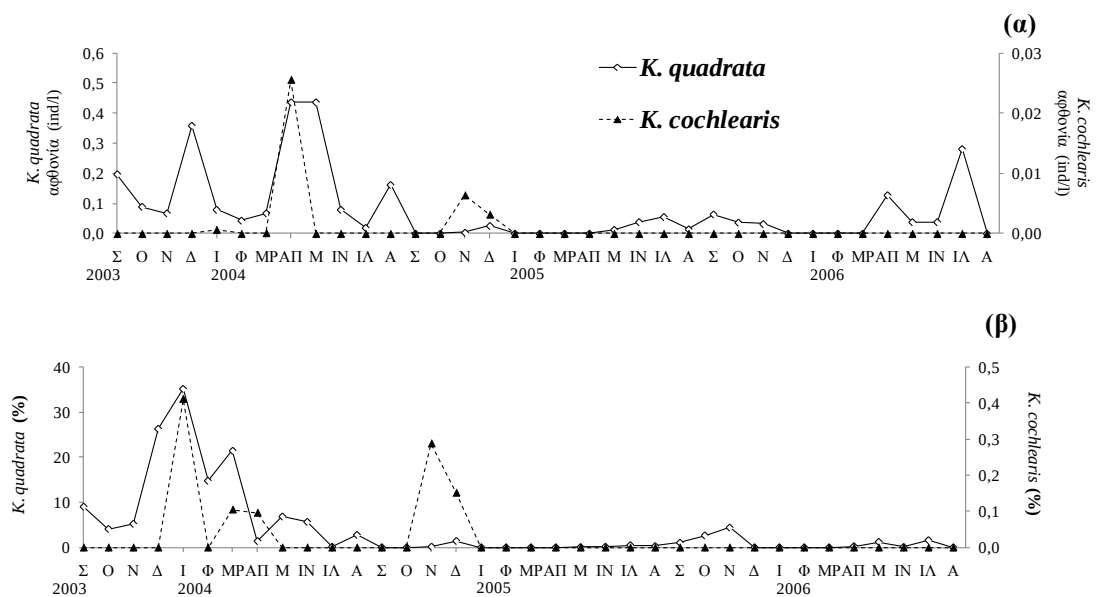
Κατά τη διάρκεια της έρευνας, η μέση αφθονία του *K. quadrata* στο στρώμα των 0-20 m δεν ξεπέρασε το 1 ind/l και δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,762$ και $p=0,585$ για τις δυο περιόδους, αντίστοιχα), ή των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,850$). Γενικά, η παρουσία του είδους στο ζωοπλαγκτό σημειώθηκε κατά τους θερμότερους μήνες του χρόνου, ενώ το χειμώνα σχεδόν απουσίαζε (Εικόνα 3.77α).

Η συμμετοχή του *K. quadrata* στη βιοκοινωνία των τροχοζώων στο μεγαλύτερο διάστημα της έρευνας ήταν χαμηλή και δεν ξεπέρασε το 9 % (Εικόνα 3.77β). Ωστόσο, από το Δεκέμβριο του 2003 μέχρι το Μάρτιο του 2004 ήταν αυξημένη και το είδος επικράτησε μεταξύ των τροχοζώων το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο.

Το είδος *K. cochlearis* καταγράφηκε στο στρώμα των 0-20 m μόνο κατά τις δύο πρώτες περιόδους (Εικόνα 3.77α), με μέση αφθονία μικρότερη από 0,03 ind/l, ενώ η συμμετοχή στην κοινωνία των τροχοζώων ήταν αμεληταία (Εικόνα 3.77β).

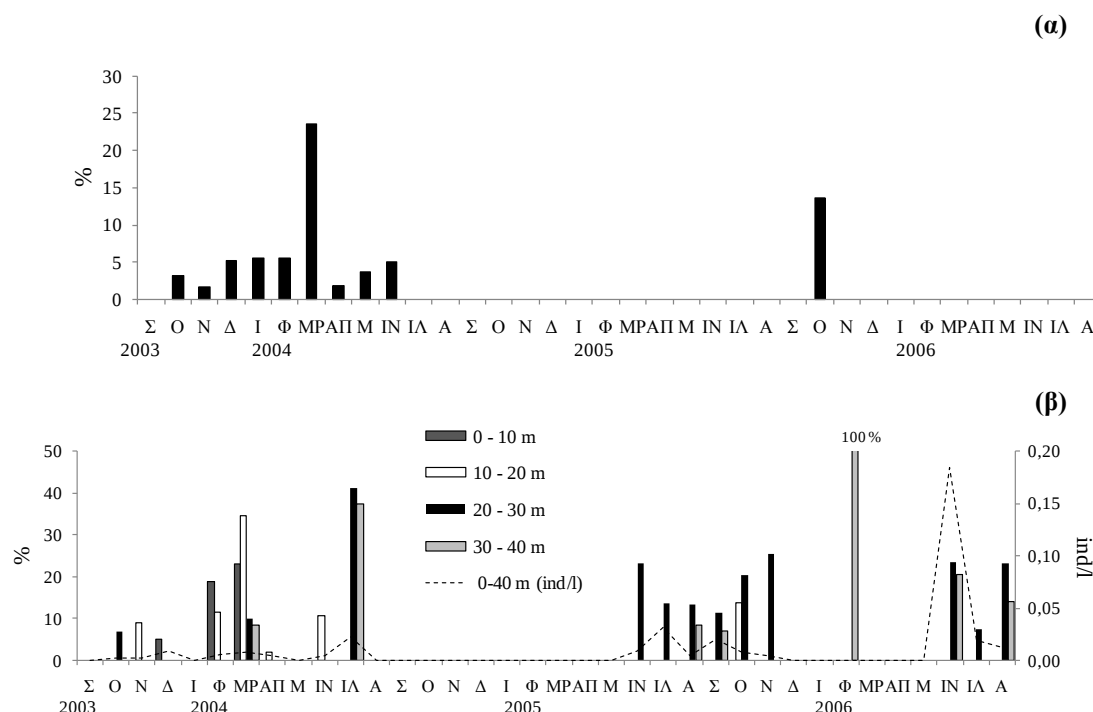


Εικόνα 3.76: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *K. quadrata* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.



Εικόνα 3.77: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας των ειδών *K. quadrata* και *K. cochlearis* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Άτομα με αυγά βρέθηκαν μόνο για το είδος *K. quadrata*. Στο στρώμα των 0-20 m παρατηρήθηκαν κυρίως κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, με μεγαλύτερα ποσοστά το χειμώνα, πριν την αύξηση της αφθονίας του είδους. Ωστόσο, κατά τις επόμενες περιόδους, ωοφόρα άτομα βρέθηκαν σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες (Εικόνα 3.78α,β).

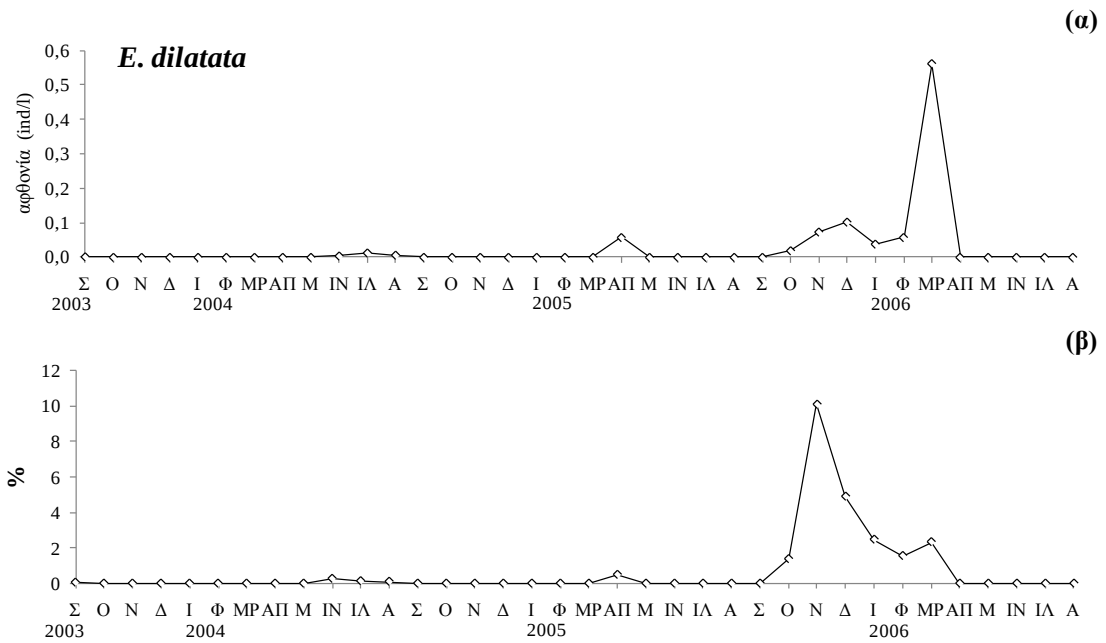


Εικόνα 3.78: (α) Μέση ποσοστιαία συμμετοχή των ωοφόρων από μων στον πληθυσμό του είδους *K. quadrata* στο στρώμα των 0-20 m και (β) ποσοστιαία συμμετοχή στα τέσσερα στρώματα βάθους του σταθμού Α. (Με την διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η μέση αφθονία τους στην υδάτινη στήλη του σταθμού Α)

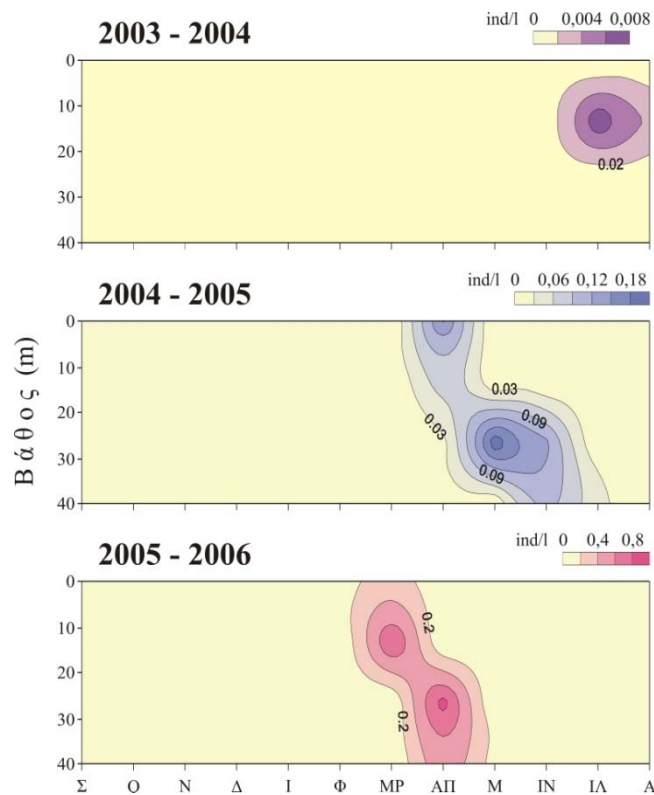
Euchlanis dilatata

Το είδος *E. dilatata* βρέθηκε με μικρή αφθονία κατά το καλοκαίρι και την άνοιξη των δύο πρώτων δειγματοληπτικών περιόδων αντίστοιχα, ενώ κατά την περίοδο 2005-06 η παρουσία του ήταν συνεχής κατά την ψυχρότερη εποχή του χρόνου (Εικόνα 3.79α).

Η μέση αφθονία του *E. dilatata* γενικά ήταν πολύ χαμηλή και, στο στρώμα των 0-20 m, δεν ξεπέρασε τα 0,6 ind/l. Ωστόσο, κυρίως την άνοιξη του 2005 και 2006 παρατηρήθηκε μεγαλύτερη παρουσία του είδους σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m (Εικόνα 3.80). Γενικά, κατά την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο σημειώθηκαν μεγαλύτερες τιμές αφθονίας.



Εικόνα 3.79: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *E. dilatata* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του είδους στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.



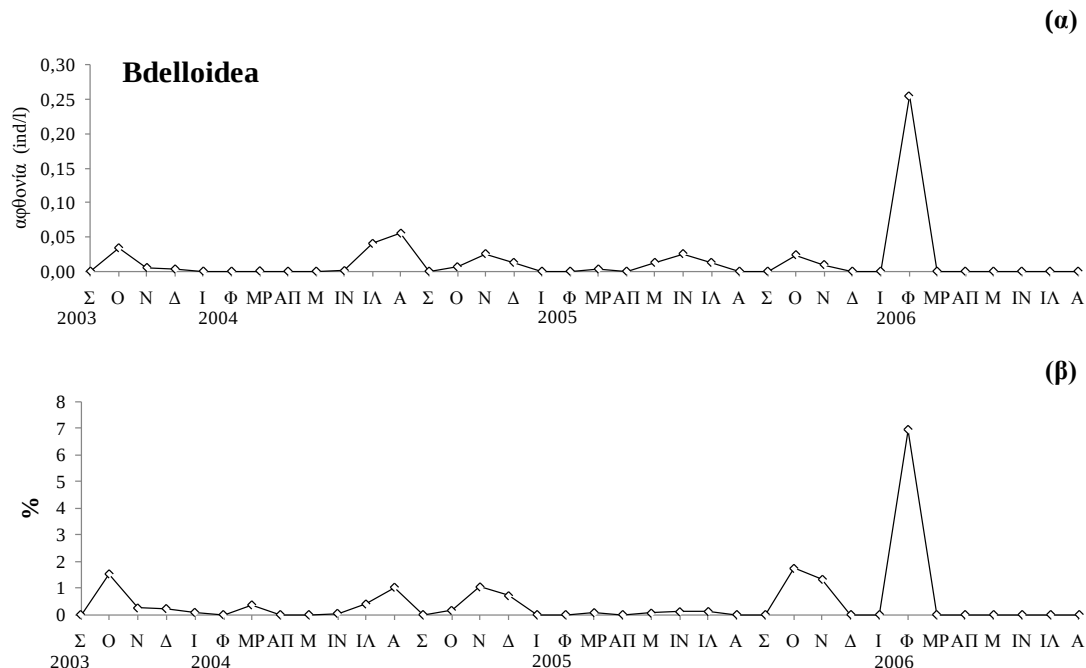
Εικόνα 3.80: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) του είδους *E. dilatata* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Το ποσοστό συμμετοχής του είδους *E. dilatata* στη βιοκοινωνία των τροχοζώνων ήταν σχετικά μεγαλύτερο κατά την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο, ενώ η μέγιστη συμμετοχή του παρατηρήθηκε το Νοέμβριο 2005 (Εικόνα 3.79β). Ωστόσο, δεν επικράτησε ποτέ μεταξύ των τροχοζώνων. Δεν παρατηρήθηκαν ωοφόρα άτομα.

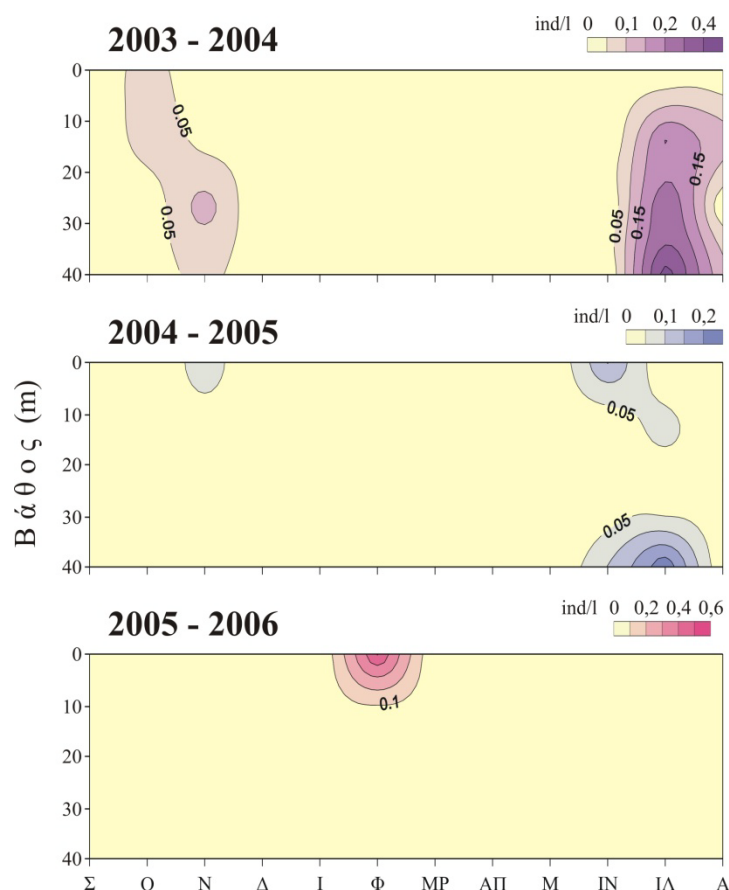
Τάξη Bdelloidea

Τροχοζώα της τάξης Bdelloidea βρέθηκαν σε πολύ χαμηλή αφθονία, που δεν ξεπέρασε τα 0,3 ind/l στο στρώμα των 0-20 m. Μεταξύ των σταθμών δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά της αφθονίας τους (one way ANOVA, $p=0,355$ και $p=0,213$). Κυρίως βρέθηκαν το φθινόπωρο και το καλοκαίρι, ενώ ήταν αυξημένη -έως και 0,4 ind/l- η παρουσία τους στο βαθύτερο στρώμα 30-40 m το καλοκαίρι του 2004 και 2005 (Εικόνα 3.82). Κατά την τρίτη δειγματοληπτική περίοδο, δεν βρέθηκαν το καλοκαίρι αλλά το χειμώνα (Εικόνα 3.81α). Ωοφόρα άτομα δεν παρατηρήθηκαν.

Το ποσοστό συμμετοχής τους στη βιοκοινωνία των τροχοζώνων ήταν χαμηλό και συνήθως μεγαλύτερο κατά το φθινόπωρο, εκτός από το Φεβρουάριο του 2006 που σημειώθηκε η μέγιστη τιμή του (Εικόνα 3.81β).



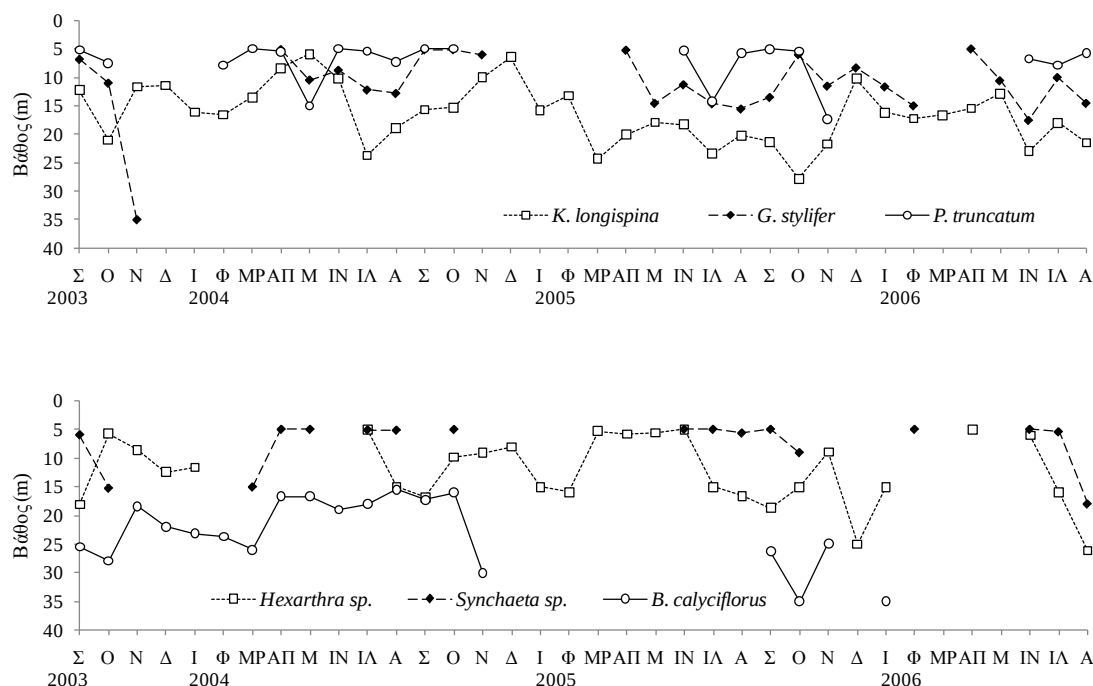
Εικόνα 3.81: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας των τροχοζώνων της τάξης Bdelloidea και (β) ποσοστιαία συμμετοχή τους στο σύνολο των τροχοζώνων στο στρώμα των 0-20 m.



Εικόνα 3.82: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) των τροχοζών της τάξης Bdelloidea στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.

Κατακόρυφη στρωμάτωση τροχοζών

Εξετάζοντας τη διακύμανση του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής των τροχοζών παρατηρήθηκε κάθετος διαχωρισμός μεταξύ των αφθονότερων ειδών *K. longispina*, *G. stylifer* και *Ploesoma* sp. (one way ANOVA, $p=0,000$), σχεδόν καθόλη τη διάρκεια της έρευνας. Από αυτά το είδος *K. longispina*, είχε τη βαθύτερη κατανομή, ενώ το *Ploesoma* sp. τη ρηχότερη. Επίσης, κάθετος διαχωρισμός σημειώθηκε και μεταξύ των λιγότερο αφθονων γενών *Hexarthra*, *Synchaeta* και *Brachionus* (Εικόνα 3.83).



Εικόνα 3.83: Εποχική διακύμανση του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής των ειδών τροχοζώων στο σταθμό Α την περίοδο 2003-2006.

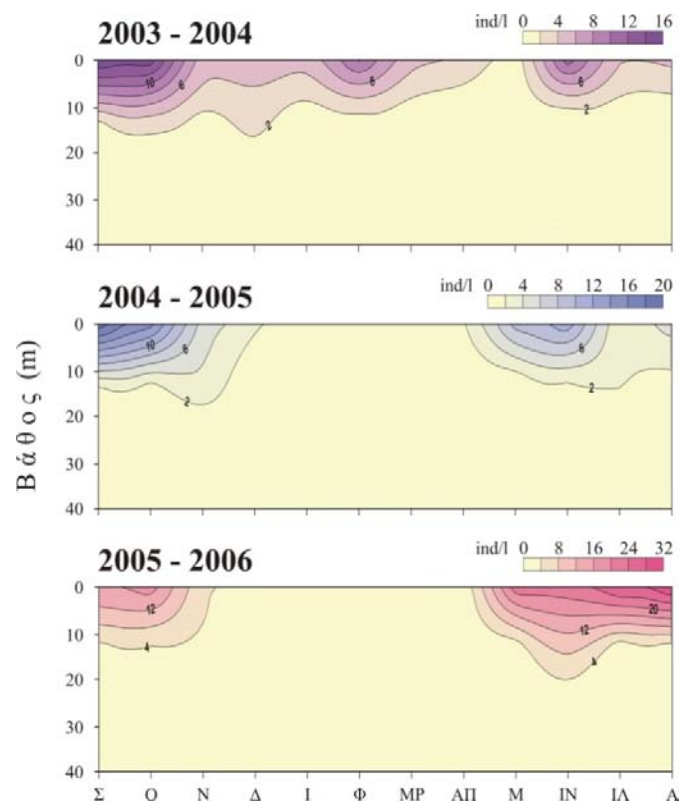
3.3.2.5 Προνύμφες μαλακίων

Dreissena polymorpha

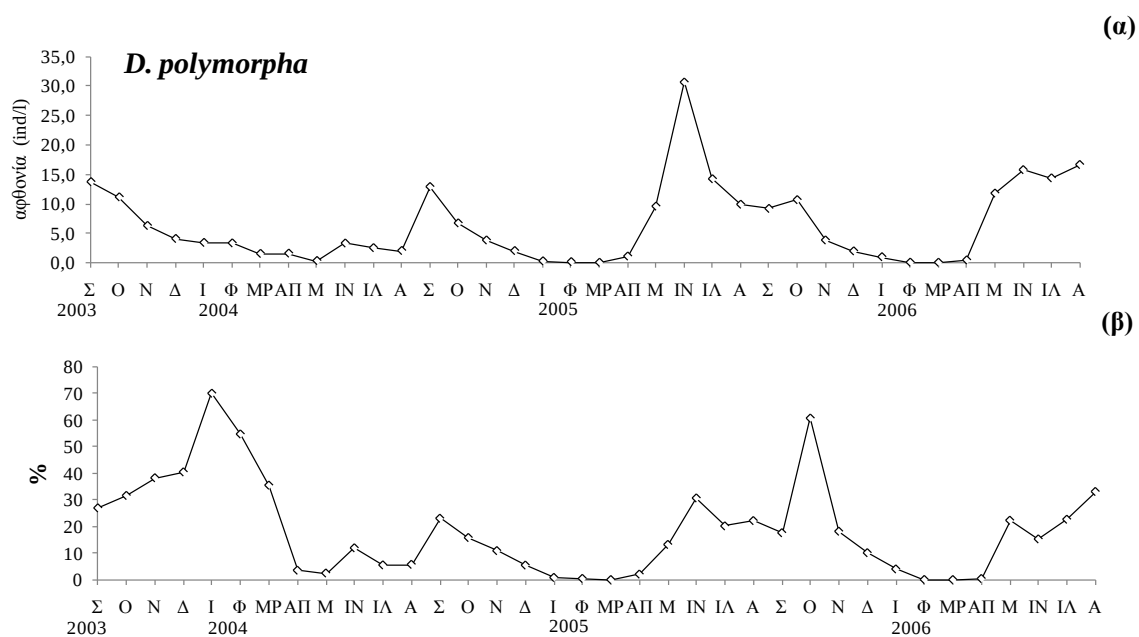
Στον κατακόρυφο άξονα, το μεγαλύτερο μέρος της αφθονίας των προνυμφών του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha* βρέθηκε κυρίως στα ανώτερα 10 m (Εικόνα 3.84). Γενικά, το μέσο βάθος κατακόρυφης κατανομής τους εντοπιζόταν βαθύτερα κατά τους χειμερινούς μήνες, ωστόσο στατιστικά σημαντική διαφορά βρέθηκε μόνο κατά την τρίτη δειγματοληπτική (one way ANOVA, $p=0,046$).

Η μέση αφθονία των προνυμφών του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha* στο στρώμα των 0-20 m κυμάνθηκε μεταξύ 0,02 – 30,7 ind/l, με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται τον Ιούνιο 2005. Οι προνύμφες του *D. polymorpha* είχαν σχεδόν συνεχή παρουσία στη λίμνη και σταθερό πρότυπο διακύμανσης κατά τη διάρκεια της έρευνας. Η αφθονία τους άρχισε να αυξάνεται προς το τέλος της άνοιξης και σημείωνε μέγιστο κατά το καλοκαίρι, ή το φθινόπωρο. Στη συνέχεια ελαττώνονταν, με αποτέλεσμα το χειμώνα να

υπάρχει σημαντική μείωση, ενώ απουσίασαν από το στρώμα των 0-20 m κατά το Μάρτιο του 2005 και 2006 (Εικόνα 3.85α).



Εικόνα 3.84: Κατακόρυφη κατανομή της αφθονίας (ind/l) των προνυμφών του υδίουρου μαλάκιου *D. polymorpha* στο σταθμό Α κατά τις τρεις δειγματοληπτικές περιόδους.



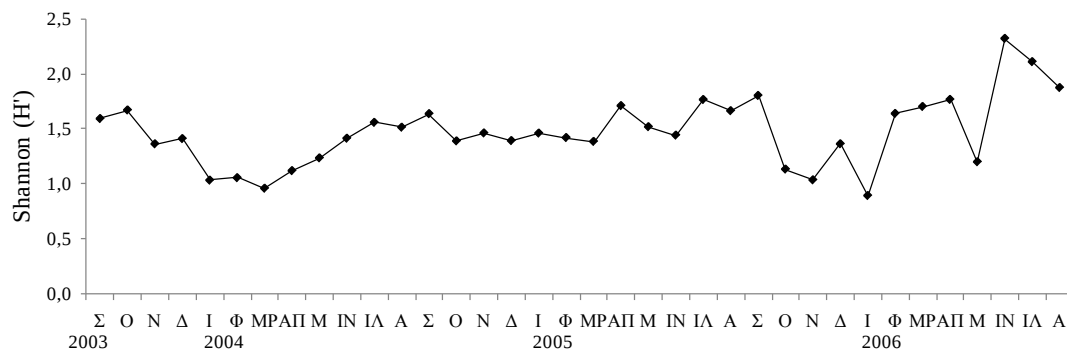
Εικόνα 3.85: (α) Εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του είδους *D. polymorpha* και (β) ποσοστιαία συμμετοχή του είδους στο σύνολο των τροχοζώων στο στρώμα των 0-20 m.

Το μέσο ποσοστό συμμετοχής των προνυμφών του *D. polymorpha* έφτασε μέχρι το 82,7 %, κυριαρχώντας στο σύνολο του ζωοπλαγκτού τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο του 2004. Τις επόμενες περιόδους, η ποσοστιαία συμμετοχή του ήταν μεγαλύτερη κατά τις περιόδους αύξησης της αφθονίας του (Εικόνα 3.85β).

3.3.3 Ποικιλότητα

Οι εποχικές διακυμάνσεις του δείκτη ποικιλότητας Shannon (H'), όπως αυτός υπολογίστηκε για το στρώμα των 0-20 m, παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.86. Ο δείκτης υπολογίστηκε με βάση την μέση αφθονία των οργανισμών και δεν βρέθηκε να διαφέρει στατιστικά σημαντικά μεταξύ των τριών σταθμών (one way ANOVA, $p=0,659$ και $p=0,511$), ούτε μεταξύ των τριών δειγματοληπτικών περιόδων (one way ANOVA, $p=0,542$).

Οι τιμές του δείκτη κυμάνθηκαν από 0,9 έως 2,3. Και στις τρεις περιόδους της έρευνας, χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν κατά την ψυχρότερη περίοδο του έτους και μεγαλύτερες κυρίως το καλοκαίρι.



Εικόνα 3.86: Εποχικές μεταβολές του δείκτη ποικιλότητας Shannon.

3.3.4 Ζωοπλαγκτό & φυσικοχημικές παράμετροι

Τα αποτελέσματα της συσχέτισης της αφθονίας των ζωοπλαγκτικών ειδών με τις φυσικοχημικές παραμέτρους με εφαρμογή της RDA ανάλυσης φαίνονται στην Εικόνα

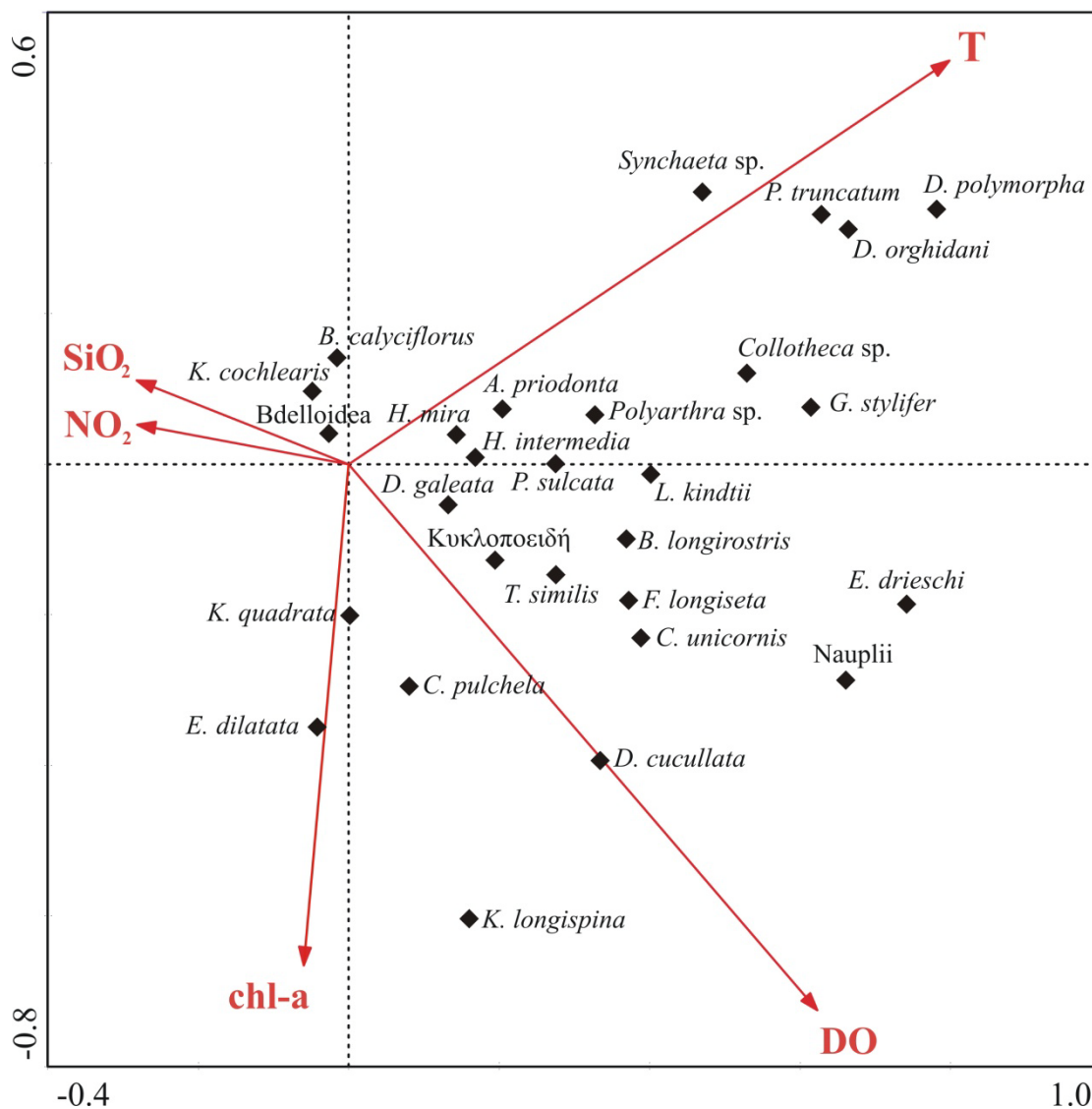
3.87. Σημειώνεται ότι, από το σύνολο των αβιοτικών παραγόντων που προσδιορίστηκαν κατά την παρούσα διδακτορική διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν στην παραπάνω ανάλυση μόνο εκείνοι που είχαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με την αφθονία των ειδών, όπως ελέγχθηκε με το Monte Carlo permutation test ($p < 0,05$).

Από τις ιδιοτιμές (eigenvalues) του Πίνακα 3.3 φαίνεται ότι ο πρώτος άξονας ερμηνεύει καλύτερα τα αποτελέσματα και συγκεκριμένα το 29 % της εξηγούμενης μεταβολής, ενώ ο δεύτερος άξονας το 8 %. Η συσχέτιση ανάμεσα στα είδη και το περιβάλλον τους (species-environment correlation) αποτελεί μέτρο της έντασης της συσχέτισης μεταξύ των ειδών και των περιβαλλοντικών δεδομένων για κάθε άξονα. Στα εξεταζόμενα διαγράμματα κατάταξης οι τιμές των δύο πρώτων αξόνων είναι πολύ υψηλές. Από τα διπλά διαγράμματα των ειδών με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές που βασίζονται στους δύο πρώτους άξονες, εξηγείται το 37 % της μεταβολής των δεδομένων των ειδών, καθώς και το 88,6 % της μεταβολής των ειδών σε σχέση με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές (Πίνακας 3.3). Το ποσοστό μεταβολής των δεδομένων των ειδών που εξηγείται από τους άξονες κατάταξης, δίνεται αθροιστικά.

Πίνακας 3.3: Συσχέτιση των περιβαλλοντικών μεταβλητών (θερμοκρασία, διαλυμένο οξυγόνο, NO_2 , SiO_2 , χλωροφύλλη-α) με τους δυο πρώτους RDA άξονες, ιδιοτιμές (eigenvalues) των αξόνων κατάταξης, τιμές του συντελεστή συσχέτισης των ειδών με τις περιβαλλοντικές μεταβλητές και άθροισμα όλων των ιδιοτιμών.

Περιβαλλοντικές μεταβλητές	Άξονας 1	Άξονας 2
Θερμοκρασία (T)	0,71	0,40
Διαλυμένο οξυγόνο (DO)	0,55	-0,54
NO_2	-0,25	0,04
SiO_2	-0,25	0,08
Χλωροφύλλη-α (chl-a)	-0,05	-0,50
Ιδιοτιμή (Eigenvalue)	0,29	0,08
Ποσοστό εξηγούμενης μεταβολής ειδών–περιβαλλοντικών μεταβλητών	0,89	0,75
Αθροιστική εκατοστιαία διακύμανση των δεδομένων των ειδών (Cumulative percentage variance of species data)	28,6	37,0
Αθροιστική εκατοστιαία διακύμανση των ειδών με τις περ/κές μεταβλητές (Cumulative percentage variance of species-environment relation)	68,4	88,6
Άθροισμα όλων των ιδιοτιμών (Sum of all eigenvalues)		1,0
Άθροισμα όλων των κανονικών ιδιοτιμών (Sum of all canonical eigenvalues)		0,42
Συνολική αδράνεια (Total inertia)		1,0

Από το σύνολο των εξεταζόμενων μεταβλητών, όπως αποδίδονται στο διάγραμμα της Εικόνα 3.87, η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α εμφανίζουν τα μεγαλύτερα βέλη, γεγονός που σημαίνει ότι οι παραπάνω μεταβλητές συσχετίζονται ισχυρότερα με τους άξονες κατάταξης. Κατά μήκος του πρώτου άξονα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, NO_2 και SiO_2 ερμηνεύουν το 71 %, 55 %, 25 % και 25 % της σύνθεσης των ειδών αντίστοιχα, ενώ κατά μήκος του δεύτερου άξονα η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α ερμηνεύει το 50 %.



Εικόνα 3.87: Τα αποτελέσματα της συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων (βέλη) και των κυριότερων ειδών του ζωοπλαγκτού (σημεία) με εφαρμογή της RDA ανάλυσης.

Από την Εικόνα 3.87 και με βάση τις συσχετίσεις της αφθονίας των ειδών με τις επιμέρους περιβαλλοντικές μεταβλητές, φαίνεται ότι κυρίως η θερμοκρασία και το

διαλυμένο οξυγόνο είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρική και χρονική κατανομή της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα. Επίσης, σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει και η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α ιδιαίτερα για κάποια είδη, ενώ από τους υπόλοιπους παράγοντες μικρή επίδραση στο ζωοπλαγκτό φαίνεται να έχουν τα νιτρώδη (NO_2) και τα πυριτικά ιόντα (SiO_2).

Για τη διερεύνηση της συσχέτισης της αφονίας των ζωοπλαγκτικών ειδών με τις φυσικοχημικές παραμέτρους εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression). Αυτή η ανάλυση παρέχει τη δυνατότητα να διερευνήσουμε την επίδραση των φυσικοχημικών παραμέτρων σε καθένα από τα επιμέρο ή είδη του ζωοπλαγκτού. Τα αποτελέσματα αυτής της μεθοδολογίας φαίνονται στον Πίνακα 3.4.

Από τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνεται η σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας και του διαλυμένου οξυγόνου, ενώ παρατηρούμε ότι για κάθε είδος υπάρχει ένας συνδυασμός παραμέτρων που επηρεάζουν τη χωρική και χρονική κατανομή του. Αναλυτικότερα, παρατηρούμε ότι για την ομάδα των τροχοζώων οι σημαντικότεροι φυσικοχημικοί παράγοντες είναι το pH και το οξυγόνο. Ωστόσο, για αρκετά τροχοζώα (*Collothea* sp., *P. truncatum*, *P. sulcata* και *Synchaeta* sp.), η θερμοκρασία παίζει επίσης πολύ σημαντικό ή ακόμη και κυρίαρχο ρόλο για την παρουσία τους στη λίμνη. Για κάποια είδη τροχοζώων η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α έχει επίσης σημαντική επίδραση (*E. dilatata*, *G. stylifer*, *P. truncatum*, *Synchaeta* sp. και *T. capucina*). Η συγκέντρωση πυριτικών ιόντων φαίνεται να έχει μεγάλη επίδραση στα είδη *G. stylifer*, *P. sulcata* και *T. similis*, ενώ ο ολικός φώσφορος (TP) και η αγωγιμότητα επηρεάζουν αρνητικά την παρουσία των *G. stylifer* και των ειδών του γένους *Hexarthra*. Από τις υπόλοιπες παραμέτρους η συγκέντρωση των νιτρωδών ιόντων παίζει σημαντικό ρόλο για το είδος *F. longiseta*, αλλά και για το *P. sulcata*.

Για το σύνολο των κωπηπόδων, γενικά, κυρίαρχη επίδραση ασκούν το διαλυμένο οξυγόνο και η θερμοκρασία. Αυτό είναι ξεκάθαρο για το καλανοειδές *E. drieschi* και για τους ναύπλιους, ενώ τα κυκλοποειδή φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από το οξυγόνο, αλλά και από τη συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων.

Τέλος, η θερμοκρασία και το οξυγόνο φαίνεται ότι επηρεάζουν και τα κλαδόκερα, ενώ η θερμοκρασία έδειξε τεράστια επίδραση στην κατανομή και αφθονία των προνυμφών του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha*.

Πίνακας 3.4: Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της πολλαπλής παλινδρόμησης μεταξύ των βασικών ομάδων και ειδών του ζωοπλαγκτού και των φυσικοχημικών παραμέτρων στη λίμνη Τριχωνίδα για την περίοδο 2003-2006.

Είδη / Ομάδες	Φυσικοχημικές παράμετροι													
	T	DO	pH	Cond	TP	PO ₄	TN	NH ₄	NO ₂	NO ₃	SiO ₂	Chl-a	(r ²)	(d.f.)
<i>B. calyciflorus</i>							-0,224*						0,050	95
<i>Collotheca</i> sp.	0,464***												0,215	95
<i>C. unicornis</i>			0,403***						0,290**				0,150	95
<i>E. dilatata</i>												0,266*	0,071	71
<i>F. longiseta</i>			0,254*						0,360**				0,153	95
<i>G. stylifer</i>			0,493***		-0,292**			0,239**			0,212**	-0,299**	0,410	71
<i>H. intermedia</i>			0,264**	-0,215*									0,104	95
<i>H. mira</i>				-0,392***									0,154	95
<i>K. longispina</i>		0,295**											0,220	95
<i>P. truncatum</i>	0,534***				-0,197*							-0,259**	0,501	71
<i>Polyarthra</i> sp.			0,332**										0,110	95
<i>P. sulcata</i>	0,354**	0,338**							0,364**		0,370**		0,271	95
<i>Synchaeta</i> sp.	0,491**											-0,280**	0,422	71
<i>T. similis</i>											0,278**		0,077	95
<i>T. capuccina</i>												-0,263**	0,056	71
ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΟΧΟΖΩΩΝ		0,230*	0,454***										0,380	95
<i>E. drieschi</i>	0,386***	0,439***				0,150*							0,537	95
Κυκλοποειδή κωπήποδα		0,270**								0,230*			0,097	95
Ναύπλιοι κωπηπόδων	0,277**	0,500***		-0,174*									0,415	95
ΣΥΝΟΛΟ ΚΩΠΗΠΟΔΩΝ	0,388***	0,604											0,574	95
<i>B. longirostris</i>	0,234*	0,229*											0,107	95
<i>Daphnia</i> sp.		0,327**											0,107	95
<i>D. orghidani</i>	0,650***			-0,329***									0,460	95
<i>L. kindtii</i>	0,460***												0,164	95
ΣΥΝΟΛΟ ΚΛΑΔΟΚΕΡΩΝ	0,366***	0,297**									-0,254**	-0,241**	0,460	71
προνύμφες <i>D. polymorpha</i>	0,837***			-0,116*	-0,171*								0,791	95
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟ	0372***	0,520***	0,197*										0,692	95

(* p<0,05 ** p<0,01 *** p<0,001)

(* p<0,05 ** p<0,01 *** p<0,001)

3.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.4.1 Σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας

Η μέχρι στιγμής πληροφορία για τη σύνθεση της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού της λίμνης Τριχωνίδας ήταν πολύ περιορισμένη και προέρχονταν από τις μελέτες των Koussouris (1978, 1979), Κουσουρή και συν. (1993) και Kehayias et al. (2004), στις οποίες οι δειγματοληπτικές περίοδοι, ο αριθμός των σταθμών και οι μέθοδοι συλλογής του ζωοπλαγκτού διέφεραν σημαντικά. Έτσι, οι καταγραφές του Koussouris (1978, 1979) προέκυψαν από περιστασιακές δειγματοληψίες με τη χρήση φιάλης δειγματοληψίας και δίχτυου 20 μm , των Κουσουρή και συν. (1993) από διμηνιαίες συλλογές ζωοπλαγκτού με δίχτυ ανοίγματος ματιού 120 μm , ενώ οι Kehayias et al. (2004) παρουσίασαν τα αποτελέσματα τεσσάρων εποχικών δειγματοληψιών σε έναν σταθμό δειγματοληψίας, κατά τις οποίες τα δείγματα ζωοπλαγκτού ελήφθησαν με δίχτυ ανοίγματος ματιού 100 μm .

Η σύνθεση των ειδών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας που βρέθηκε κατά την παρούσα ερευνητική προσπάθεια παρουσίασε κάποιες διαφορές σε σύγκριση με τις προηγούμενες μελέτες. Όσον αφορά στα καρκινοειδή του ζωοπλαγκτού, στην πιο πρόσφατη μελέτη των Kehayias et al. (2004) αλλά και κατά την παρούσα έρευνα βρέθηκαν δύο είδη κυκλοποειδών και μόνο ένα είδος καλανοειδών κωπηπόδων (Πίνακας 4.1). Αντίθετα, στις παλαιότερες μελέτες του Κουσουρή και των συνεργατών του (Koussouris, 1978; Koussouris, 1979; Κουσουρή και συν., 1993) είχαν αναγνωριστεί τουλάχιστον 2 είδη κυκλοποειδών (σημείωση: το είδος *Megacyclops viridis* είναι συνώνυμο με το *Acanthocyclops viridis*) και 4 είδη καλανοειδών κωπηπόδων, συμπεριλαμβανομένου του *E. drieschi* που βρέθηκε στην παρούσα εργασία. Το γεγονός της μείωσης του αριθμού των ειδών των καλανοειδών κωπηπόδων ίσως να αποτελεί ένδειξη μιας μεταβολής της τροφικής κατάστασης της λίμνης, καθώς η συμμετοχή των καλανοειδών κωπηπόδων μειώνεται σε λίμνες υψηλής τροφικότητας (Gannon & Stemberger, 1978).

Το είδος *Diaphanosoma orghidani* αναφέρθηκε στην παρούσα μελέτη ως νέα καταγραφή για τη λίμνη Τριχωνίδα, καθώς δεν είχε βρεθεί από τους Koussouris (1978) και Κουσουρή και συν. (1993), ενώ οι Kehayias et al. (2004) δεν αναγνώρισαν το γένος

Diaphanosoma σε επίπεδο είδους. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη μεγάλη αφθονία του είδους *D. orghidani* που σημειώθηκε κατά την παρούσα μελέτη, αλλά και την αφθονία του γένους *Diaphanosoma* στην εργασία των Kehayias et al. (2004), μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κατά τις προηγούμενες δεκαετίες το είδος πρέπει να ήταν σπάνιο, ή ακόμα και να απουσίαζε από τη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης.

Επίσης, η παρούσα αλλά και η πιο πρόσφατη μελέτη των Kehayias et al. (2004), δείχνουν μεταβολή της σύνθεσης των ειδών του γένους *Daphnia* στη λίμνη Τριχωνίδα. Αντίθετα με τους Koussouris (1978, 1979) και Κουσουρή και συν. (1993) που αναφέρουν την παρουσία των ειδών *D. hyalina* και *D. longispina*, στην παρούσα μελέτη όπως και σε εκείνη των Kehayias et al. (2004) βρέθηκαν τα είδη *D. cucullata* και *D. galeata*. Ωστόσο, στη μελέτη των Kehayias et al. (2004) αναφέρεται και η παρουσία λιγοστών ατόμων *D. longispina*. Είναι, λοιπόν, πιθανό το είδος αυτό είτε να είναι σπάνιο στη λίμνη, είτε ο πληθυσμός του να έχει μειωθεί κατά τα τελευταία χρόνια. Άτομα του είδους *D. hyalina* δεν βρέθηκαν κατά την παρούσα έρευνα, ούτε και στη μελέτη των Kehayias et al. (2004). Το είδος αυτό θεωρείται είδος παγετωγενών λιμνών, το οποίο δεν απαντάται στην Ελλάδα (Hrbacek et al., 1978 από Michaloudi et al., 1997). Στο παρελθόν συγγεόταν συχνά με το *D. longispina*, ενώ μεταξύ των ειδών *D. hyalina*, *D. cucullata* και *D. galeata* έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα υβριδισμού και δημιουργίας ενδιάμεσων μορφών (Benzie, 2005).

Το είδος *Leptodora kindtii* αποτελεί επίσης νέα καταγραφή για τη λίμνη Τριχωνίδα, ενώ συναντάται συνήθως σε μεγαλύτερη αφθονία το καλοκαίρι. Εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους του αλλά και της μικρής του αφθονίας μέσα στο νερό, δεν είναι εύκολο να συλλεγχθεί με φιάλες δειγματοληψίας, ενώ η εποχικότητα στην παρουσία του ίσως ήταν ο λόγος για την απουσία του από τις παλαιότερες μελέτες. Τέλος, όσον αφορά στη σύνθεση της βιοκοινωνίας των τροχοζώων, βρέθηκαν 9 νέες καταγραφές, ενώ σε σχέση με τις παλαιότερες εργασίες των Koussouris (1978; 1979) και Κουσουρή και συν. (1993), δεν καταγράφηκαν 9 είδη (Πίνακας 3.2).

Συμπερασματικά, οι διαφορές στη σύνθεση των ειδών που βρέθηκαν στην παρούσα έρευνα μπορούν να αποδοθούν στη διαφορετική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη συλλογή των δειγμάτων σε κάθε μελέτη, σε προ βλήματα κατά την αναγνώριση των οργανισμών, ή σε μια πιθανή μεταβολή της σύνθεσης της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης κατά τα τελευταία χρόνια. Φυσικά δεν εμφανίστηκαν καινούρια είδη μέσα στο διάστημα των 20-25 ετών, όμως είναι πιθανό σε αυτό το διάστημα να δημιουργήθηκαν

κατάλληλες συνθήκες οι οποίες επέτρεψαν σε κάποια είδη, που κατά το παρελθόν βρίσκονταν σε μικρή αφθονία ή ήταν σπάνια, να αυξήσουν την αφθονία τους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η καταγραφή του είδους *Daphnia cucullata* στη λίμνη Τριχωνίδα, καθώς αποτελεί τυπικό εκπρόσωπο εύροφων λιμνών της Ευρώπης (Gliwicz & Lampert, 1990). Λαμβάνοντας υπ' όψιν την αύξηση του φορτίου θρεπτικών που καταγράφεται στη λίμνη τα τελευταία χρόνια (Κεφάλαιο 2), η παρουσία του συγκεκριμένου είδους θα μπορούσε να αποτελεί άλλη μία ένδειξη δυνητικής μετάβασης της λίμνης σε ανώτερο τροφικό επίπεδο. Ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να έχει ευνοήσει την παρουσία του *D. cucullata* είναι η μεταβολή στην ασκούμενη θηρευτική πίεση. Ο κύριος θηρευτής του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα είναι η αθερίνα, η οποία τρέφεται αποκλειστικά με ζωοπλαγκτό (Chrisafi et al., 2007; Ντούλκα και συν., 2007) και μάλιστα ασκεί επιλεκτική θήρευση (βλέπε Κεφάλαιο 5, Ντούλκα και συν., 2007). Θα μπορούσε, λοιπόν, να υποτεθεί ότι κατά το παρελθόν η αφθονία τη αθερίνας στη λίμνη - άρα και η θηρευτική πίεση που ασκούσε - ήταν μεγαλύτερη από ότι τα τελευταία χρόνια που γίνεται υπεραλίευση του ψαριού. Κάτι τέτοιο δεν είναι γνωστό καθώς δεν έχει γίνει εκτίμηση του αποθέματος της αθερίνας στη λίμνη, ωστόσο υπάρχουν τέτοιες ενδείξεις από εμπειρικά στοιχεία ψαράδων της περιοχής.

Άλλα ζωοπλαγκτικά είδη της λίμνης Τριχωνίδας που θεωρούνται δείκτες ευτροφισμού είναι το κλαδόκερο *Bosmina longirostris* και τα τροχόζωα *Brachionus calyciflorus*, *Filinia longiseta*, *Keratella quadrata* και *Pompholyx sulcata* (Gannon & Stemberger, 1978; Geller & Müller, 1981; Pejler, 1983; Gliwicz & Lampert, 1990). Ωστόσο, στη λίμνη συναντώνται και είδη oligότροφων και μεσότροφων νερών, όπως τα τροχόζωα *Kellicottia longispina* και *Ploesoma hudsoni* και τα κλαδόκερα *Daphnia galeata* και *Leptodora kindtii* (Gannon & Stemberger, 1978; Pejler, 1983).

Εκτός από τα είδη δείκτες, ο τροφισμός μιας λίμνης πιστεύεται ότι αντανακλάται και στον αριθμό των ζωοπλαγκτικών ειδών που συναντώνται σε αυτή. Η ποικιλότητα των ειδών και η παραγωγικότητα των λιμνών συνδέονται με μια μονοκόρυφη σχέση (unimodal relationship), κατά την οποία ο αριθμός των ειδών είναι μικρότερος σε oligότροφα ή πολύ εύτροφα συστήματα και μεγαλύτερος σε ενδιάμεσες τροφικές συνθήκες, ενώ επίσης έχει να κάνει με το μέγεθος της λίμνης αλλά και την παρουσία άλλων λιμνών στην ευρύτερη περιοχή (Dodson, 1991; Dodson, 1992). Ο αριθμός των ειδών που καταγράφηκαν στην παρούσα εργασία (n=35) είναι μεγαλύτερος από εκείνον που παρουσιάζεται σε άλλες

βαθείς oligότροφες λίμνες, ενώ είναι συγκρίσιμος με τον αριθμό των ειδών εύτροφων βαλκανικών λιμνών (Πίνακα 3.4).

Πίνακας 3.4: Σύγκριση του αριθμού πελαγικών ειδών σε διάφορες λίμνες.

Λίμνη	Βάθος (m)	Έκταση (km ²)	Τροφική κατάσταση	Αριθμός ειδών	Βιβλιογραφική αναφορά
Mowich	58,6	459	Ολιγότροφη	9	Larson, 1973
Ohrid	286	348	»	14	Stancovic, 1960
Μ. Πρέσπα	52	275,4	»	25	Serafimova-Hadzisce, 1959
Κουρνάς	25	0,6	Ολιγομεσότροφη	11-14	Τίγκιλης, 2007
Βεγορίτιδα	45	43	Μεσότροφη	28	Ζαρφτζιάν αδημοσίευτο (από Μιχαλούδη, 1997)
Βόλβη	23	68,6	Εύτροφη	33	Zarfdjian et al., 1990
Μ. Πρέσπα	7	48	»	34	Μιχαλούδη, 1997
Δοϊράνη	9,5	127	»	40	Popovska-Stankovic, 1954
Skadar	8,3	370	»	45	Gannon & Stemberger, 1981

Η ποικιλότητα θεωρείται δείκτης της ωριμότητας ή της εσωτερικής σταθερότητας ενός οικοσυστήματος, καθώς και δείκτης επίδρασης της ρύπανσης (Μιχαλούδη, 1997). Το εύρος των τιμών του δείκτη ποικιλότητας που καταγράφηκαν κατά την παρούσα μελέτη δείχνουν ότι η ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης Τριχωνίδας είναι χαρακτηριστική ενός σταθερού φυσικοχημικού περιβάλλοντος, σύμφωνα με τις αναφορές των Ferrara et al. (2002) για την λίμνη Bracciano της Ιταλίας.

3.4.2 Χωρική και χρονική διακύμανση

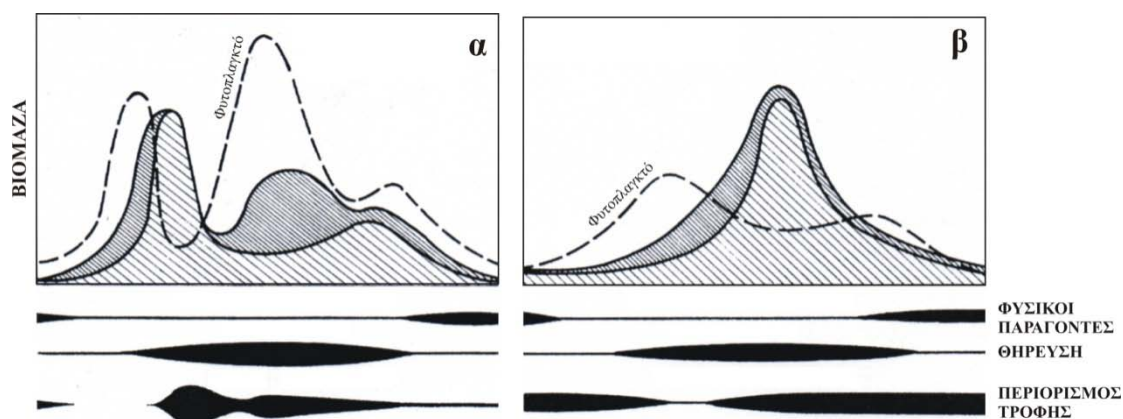
Η λίμνη Τριχωνίδα χαρακτηρίζεται από ισχυρή υδρολογική ομοιογένεια κατά μήκος του οριζόντιου άξονα, καθώς η υδάτινη μάζα αναμειγνύεται κατά την μη στρωματωμένη περίοδο ως αποτέλεσμα της ύπαρξης ρευμάτων, του επιφανειακού κυματισμού, της θερμοκρασιακής κατανομής και των εισροών και εκροών νερού (Zacharias & Ferentinos, 1997; Zacharias et al., 2005). Σε αυτό μάλλον οφείλεται και το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκε οριζόντια διαφοροποίηση της παρουσίας των ζωοπλαγκτικών ομάδων και ειδών.

Οι τιμές αφθονίας που καταγράφηκαν κατά την παρούσα έρευνα είναι σχετικά υψηλότερες σε σύγκριση με εκείνες άλλων μεγάλων oligότροφων λιμνών της νότιας

Ευρώπης, όπως η λίμνη Ohrid (Stankovic, 1960), η λίμνη Ταυρωπού (ή λίμνη Πλαστήρα) (Tsekos et al., 1992) και η λίμνη Bracciano (Ferrara et al., 2002). Ωστόσο, είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες εύτροφων λιμνών της Ελλάδας (Βόλβη, Ζαρφντζιάν, 1989; Μ. Πρέσπα, Michaloudi et al., 1997; Παμβώτιδα, Romero et al., 2002). Η επικράτηση των καλανοειδών κωπηπόδων στη βιοκοινωνία των καρκινοειδών, που παρατηρήθηκε σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της έρευνας στην παρούσα μελέτη, θεωρείται χαρακτηριστικό oligότροφων οικοσυστημάτων (Sager & Richman, 1991; Elser & Goldman, 1991; Maier, 1996). Σε σχέση με το παρελθόν, το ποσοστό των καλανοειδών στο σύνολο των καρκινοειδών φαίνεται να έχει μειωθεί από 50-100 % (Κουσουρή και συν., 1993) σε 22-88 % στην παρούσα μελέτη, ενώ η συμμετοχή των κλαδόκερων παρουσίασε μικρή αύξηση (από 0-49 % σε 2-49 %, αντίστοιχα). Σε λίμνες που βρίσκονται σε ανώτερα επίπεδα τροφικότητας αυξάνει η συμμετοχή των κυκλοποειδών και των κλαδόκερων, ενώ μειώνεται η παρουσία των καλανοειδών (Patalas, 1972; Pinto-Coelho et al., 2005). Η μείωση στο ποσοστό συμμετοχής των καλανοειδών που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια στη λίμνη Τριχωνίδα και η μικρή αύξηση της παρουσίας των κλαδόκερων, μπορεί να αποτελούν ένδειξη μιας τάσης μεταβολής της τροφικής κατάστασης της λίμνης.

Οι μέσες τιμές αφθονίας των κωπηπόδων και των κλαδόκερων που καταγράφηκαν κατά την παρούσα μελέτη είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες άλλων μεγάλων oligότροφων λιμνών [λίμνη Ohrid: κωπήποδα 2.5-12 ind/l, κλαδόκερα <1 ind/l (Stankovic, 1960); λίμνη Ταυρωπού: κωπήποδα 3-20 ind/l, κλαδόκερα 0.4-16 ind/l (Tsekos et al., 1992); λίμνη Bracciano: κωπήποδα 3-17,5 ind/L, κλαδόκερα: 0-3 ind/l (Ferrara et al., 2002)]. Ωστόσο οι τιμές αυτές είναι πολύ χαμηλότερες από εκείνες εύτροφων οικοσυστημάτων [(Μ. Πρέσπα: Μιχαλούδη (1997), Βόλβη: Ζαρφντζιάν (1989), Παμβώτιδα: Romero et al. (2002)].

Η εποχική διακύμανση της αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού απέκλινε σε γενικές γραμμές από το μονοακμικό πρότυπο που περιγράφεται για τις oligότροφες λίμνες (Sommer et al., 1986, Εικ. 3.88), καθώς εμφάνισε περισσότερες από μία κορυφές αφθονίας κατά τη διάρκεια του έτους. Οι δύο κορυφές αφθονίας που παρουσίασαν τα τροχόζωα (ως μικρότερα σε μέγεθος) κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι συμφωνεί με το πρότυπο διαδοχής των φυτοφάγων ζωοπλαγκτικών οργανισμών που περιγράφουν οι παραπάνω ερευνητές. Ωστόσο, η αύξηση των κωπηπόδων, στα οποία κυριαρχεί το φυτοφάγο *E. drieschi*, δεν ακολουθεί το πρότυπο αυτό, καθώς τις δύο τελευταίες δειγματοληπτικές περιόδους προηγήθηκε της αύξησης των τροχοζώων.



Εικόνα 3.88: Εποχική ανάπτυξη του ζωοπλαγκτού σε μια ιδανική, στρωματωμένη (α) εύτροφη και (β) oligότροφη λίμνη. Η περιοχή με την πυκνή διαγράμμιση αντιστοιχεί στο φ μικρότερους φυτοφάγους ζωοπλαγκτικούς οργανισμούς, ενώ εκείνη με την αραιή διαγράμμιση αντιστοιχεί στους μεγαλύτερους. Με τη διακεκομμένη γραμμή απεικονίζεται η φυτοπλαγκτική βιομάζα. Τα οριζόντια διαγράμματα δείχνουν τις περιόδους κατά τις οποίες είναι σημαντικοί κύριοι περιβαλλοντικοί περιορισμοί. [τροποποιημένο διάγραμμα από Sommer et al. (1986), σελ. 459]

3.4.2.1 Εποχικές διακυμάνσεις

Κωπήποδα

Τα καλανοειδή κωπήποδα κυριαρχούν στην πελαγική ζώνη μεγάλων oligο-μεσότροφων λιμνών (Sager & Richman, 1991; Elser & Goldman, 1991; Maier, 1996; Andronikova, 1996). Αντίθετα, τα κυκλοποειδή έχουν βρεθεί να είναι επικρατέστερα των καλανοειδών σε οικοσυστήματα υψηλών τροφικών καταστάσεων (Gliwicz, 1969; Patalas, 1972; Karabin, 1983; Maier & Buchholz, 1996).

Το γένος *Eudiaptomus* έχει σημαντική συμμετοχή στην ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία oligότροφων και μεσότροφων λιμνών (Gulati, 1983). Στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, το είδος *Eudiaptomus drieschi* έχει αναφερθεί ως ο μοναδικός εκπρόσωπος καλανοειδών κωπηπόδων στη λίμνη Kinneret στο Ισραήλ (Gorphen, 1978), ενώ έχει καταγραφεί και σε λίμνες της Τουρκίας (Gündüz, 1998; Atici et al., 2010). Στην Ελλάδα η παρουσία του έχει αναφερθεί στις λίμνες της ευρύτερης περιοχής της δυτικής Στερεάς Ελλάδας [τεχνητή λίμνη Στράτου (Kehayias et al., 2008), Αμβρακία (Chalkia et al., 2009)]. Ωστόσο, πέρα από τη λίμνη Τριχωνίδα (Doulka & Kehayias, 2008), δεν υπάρχει

δημοσιευμένη πληροφορία για τις εποχικές διακυμάνσεις και την αναπαραγωγή του είδους σε άλλες περιοχές της γεωγραφικής του κατανομής. Οι Atici et al. (2010) αναφέρουν την παρουσία του *E. drieschi* στη λίμνη Beysehir καθόλη την διάρκεια του χρόνου, ενώ στην Τεχνητή Λίμνη Στράτου ήταν σπάνιο και η παρουσία του καταγράφηκε κυρίως την εαρινή περίοδο (Kehayias et al., 2008). Η συνεχής παρουσία του είδους και η αύξηση της αφθονίας του κατά την άνοιξη ή/και το καλοκαίρι που παρατηρήθηκε κατά την παρούσα μελέτη στην λίμνη Τριχωνίδα βρίσκονται σε συμφωνία με τις παραπάνω παρατηρήσεις. Σύμφωνα με την παρούσα έρευνα, η συνεχής παρουσία ναυπλίων και ωοφόρων θηλυκών αυτού του είδους πιθανόν να αποτελούν ενδείξεις ότι το είδος έχει πολλαπλές περιόδους αναπαραγωγής, ή η αναπαραγωγή του είναι συνεχής κατά τη διάρκεια του έτους.

Κλαδόκερα

Η βιοκοινωνία των κλαδόκερων χαρακτηρίστηκε κυρίως από την παρουσία των ειδών *Diaphanosoma orghidani* και *Bosmina longirostris*. Η εποχική διαδοχή αυτών των ειδών είναι σε συμφωνία με το πρότυπο που περιγράφεται από τους Geller & Müller (1981) για εύτροφες λίμνες, σύμφωνα με το οποίο κατά το καλοκαίρι αναμένεται να επικρατούν οι υψηλής ικανότητας βακτηριοφάγοι, ενώ την άνοιξη και το φθινόπωρο οι χαμηλής ικανότητας. Ωστόσο, αυτό παρατηρήθηκε μόνο κατά την πρώτη δειγματοληπτική περίοδο, ενώ στις επόμενες προστέθηκαν άλλα δύο κλαδόκερα και η διαδοχή άλλαξε.

Είναι γνωστή η προτίμηση του γένους *Diaphanosoma* για την θερμότερη περίοδο του χρόνου (Herzig, 1984; Koronchinsky, 1992). Η Ζαρφντζιάν (1989) αναφέρει ότι, στη λίμνη Βόλβη (βόρεια Ελλάδα), το είδος *D. orghidani* σημείωσε μέγιστο αφθονίας το καλοκαίρι, ενώ κατά το χειμώνα το είδος απουσίαζε ή βρισκόταν μόνο με τη μορφή αυγών διάπαυσης (resting eggs). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι στην λίμνη Τριχωνίδα, που σημειώνονται θερμοκρασίες υψηλότερες από εκείνες της λίμνης Βόλβης, το είδος μπορεί να έχει συνεχή παρουσία καθόλη τη διάρκεια του έτους.

Το είδος *B. longirostris* είναι κοινός αντιπρόσωπος των εύτροφων λιμνών, όπου φαίνεται να έχει διαρκή παρουσία κατά τη διάρκεια του έτους (Hanazato & Yasuno, 1987; Mason & Abdul-Hussein, 1991). Αυτό το είδος, που χαρακτηρίζεται ως χαμηλής ικανότητας βακτηριοφάγος οργανισμός, μπορεί να εκμεταλεύεται την χαμηλή διαθεσιμότητα τροφής ενώ, αντίθετα με τα άλλα κλαδόκερα, εφαρμόζει ενεργητική διατροφή και δεν στηρίζεται στην παθητική διηθητική τροφοληψία (Geller & Müller, 1981; Kerfoot et al., 1985). Αυτή η ιδιότητα του παρέχει το πλεονέκτημα να

προσαρμόζεται καλύτερα από τα άλλα είδη σε δύσκολες περιόδους και να μπορεί να αυξάνει την αφθονία του το χειμώνα και κατά τις αρχές της άνοιξης, όπως φάνηκε και στην παρούσα έρευνα. Ο Urabe (1991) σημειώνει ότι σε παρουσία υψηλών τροφικών αποθεμάτων, το μέγεθος των ώριμων ατόμων του *B. longirostris* είναι μεγαλύτερο και το μέγεθος των ατόμων αυξάνει συνεχώς. Αντίθετα, σε χαμηλές ποσότητες τροφής το μέγεθος των ώριμων ατόμων είναι μικρό και τα άτομα δεν αυξάνουν. Στη λίμνη Τριχωνίδα βρέθηκαν άτομα και των τριών κλάσεων μεγέθους, με την μεγαλύτερη κλάση να συμπεριλαμβάνει και ωοφόρα άτομα. Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω, τα τροφικά αποθέματα στη λίμνη για αυτό το είδος θεωρούνται ικανοποιητικά. Ωστόσο, για την ορθότερη εκτίμηση αυτού, θα πρέπει να μελετηθεί η διατροφή του είδους στη λίμνη. Πιθανοί θηρευτές του *B. longirostris* θεωρούνται το αρπακτικό τροχόζωο *Asplanchna priodonta*, το κλαδόκερο *Leptodora kindtii*, οι προνύμφες του δίπτερου εντόμου *Chaoborus* και τα ψάρια (Culver et al., 1984; De Bernardi et al., 1987; Branstrator & Lehman, 1991). Γενικά, οι περίοδοι μειωμένης αφθονίας του πληθυσμού του *B. longirostris* συνέπεσαν με την αυξημένη παρουσία του *A. priodonta*, αλλά και του *L. kindtii*. Όσον αφορά στη θήρευσή του από το κύριο ζωοπλαγκτοφάγο ψάρι της λίμνης, την αθερίνα, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η μειωμένη του παρουσία το χειμώνα μπορεί να οφείλεται στην κατανάλωση ατόμων του είδους από το ψάρι (βλέπε παρακάτω, Κεφάλαιο 5).

Το είδος *Daphnia cucullata* είναι ένα θερμοφίλο είδος που εμφανίζει μέγιστο αφθονίας στο τέλος της άνοιξης και το καλοκαίρι, παρόλο που μπορεί να βρίσκεται στο ζωοπλαγκτό καθόλη τη διάρκεια του έτους (Gliwicz et al., 1981; Ζαρφοντζιάν, 1989; Michaloudi et al., 1997). Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε εδώ ότι η εμφάνιση του *D. cucullata* τον Αύγουστο του 2004 συνέπεσε με την εμφάνιση του *L. kindtii*. Το τελευταίο αποτελεί θηρευτή του ζωοπλαγκτού στα εσωτερικά νερά καθώς τρέφεται με τροχόζωα και άλλα καρκινοειδή, κυρίως *Daphnia*, *Diaphanosoma*, ναύπλιους κωπηπόδων και αποικίες *Conochilus* (Lunte & Luecke, 1990). Πιθανώς, σε αυτή την περίπτωση, η ταυτόχρονη εμφάνιση των δύο κλαδόκερων να μπορούσε να αποδοθεί σε μια σχέση θηράματος-θηρευτή. Το είδος *D. cucullata* θεωρείται είδος εύτροφων λιμνών (Amoros, 1984), ενώ το είδος *D. galeata* είναι τυπικό είδος oligότροφων λιμνών (Gannon & Stemberger, 1978).

Το είδος *Ceriodaphnia pulchella* απαντά σε εύκρατες λίμνες (Boersma & Vijverberg, 1996) και η παρουσία του φαίνεται να ρυθμίζεται από την ποιότητα και την ποσότητα της τροφής (Abrantes & Gonçalves, 2003). Σημειώνουμε εδώ ότι το είδος αυτό

δεν είχε καταγραφεί στις παλαιότερες μελέτες του ζωοπλαγκτού της λίμνης (Koussouris, 1978; 1979; Κουσουρή και συν., 1993).

Το *L. kindtii* θεωρείται καλοκαιρινό είδος και, εκτός από θηρευτή άλλων ζωοπλαγκτικών οργανισμών, αποτελεί προτιμώμενη τροφή πλαγκτοφάγων ψαριών (Herzig, 1995). Συνήθως δεν απαντάται σε μεγάλες αφθονίες (Karabin, 1974) ενώ στη λίμνη Τριχωνίδα θηρεύεται από την αθερίνα (Chrisafi et al., 2007, Doulka & Kehayias, 2007) και πιθανόν και από άλλα πλαγκτοφάγα ψάρια.

Τροχόζωα

Τα τροχόζωα εκμεταλεύονται τις όποιες ευνοϊκές γι' αυτά συνθήκες και, χάρη στους γρήγορους ρυθμούς αναπαραγωγής, πετυχαίνουν υψηλές αφθονίες σε σύντομο χρονικό διάστημα (Allan, 1976). Τα αποτελέσματα της εποχικής διακύμανσης της αφθονίας των τροχοζώων της παρούσας έρευνας είναι γενικά σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες από διαφορετικές περιοχές.

Το είδος *Kellicottia longispina* θεωρείται τυπικό είδος oligομεσότροφων λιμνών (Mäemets, 1983). Στη λίμνη Τριχωνίδα βρέθηκε σε μεγαλύτερη αφθονία κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι των δύο τελευταίων δειγματοληπτικών περιόδων, γεγονός που βρίσκεται σε συμφωνία με τις αναφορές των Ferrara et al. (2002) και Halvorsen et al. (2004) σε λίμνες της Ευρώπης και με των Michaloudi et al. (1997) στη λίμνη Μικρή Πρέσπα. Ωστόσο, ο Laxhuber (1987) κατατάσσει το είδος *K. longispina* στα είδη με ετήσια παρουσία.

Το είδος *Gastropus stylifer* σημείωσε μέγιστο αφθονίας κατά την άνοιξη, όπως έχει αναφερθεί και στην λίμνη Μικρή Πρέσπα (Michaloudi et al., 1997). Ο Elliott (1977) βρήκε αυτό το είδος από την άνοιξη έως το φθινόπωρο σε λίμνες της Αγγλίας, ενώ οι Bērziņš & Pejler (1989α) το θεώρησαν ως χειμερινό είδος. Τα άτομα του είδους αυτού εναποθέτουν τα αυγά τους σε πλαγκτικά φύκη (Ruttner-Kolisko, 1974) και γι' αυτό δεν παρατηρήθηκαν ωοφόρα άτομα.

Παρόμοια τακτική όσον αφορά την εναπόθεση των αυγών ακολουθεί και το είδος *Trichocerca similis* (Ruttner-Kolisko, 1974). Επιπλέον, κάποια είδη του γένους *Trichocerca* έχει βρεθεί να τρέφονται με νηματώδη διάτομα, ή ακόμ και να τα χρησιμοποιούν για να εναποθέτουν σε αυτά τα αυγά τους (May et al., 2001). Η αφθονία των διατόμων έχει βρεθεί να συνδέεται με την διαθεσιμότητα διαλυμένου πυριτίου (Bailey-Watts, 1976α; Bailey-Watts, 1976β; Kilham et al., 1986; Akçaalan et al., 2007).

Αυξημένη συμμετοχή διατόμων στην φυτοπλαγκτική βιοκοινωνία κατά την έναρξη της στρωμάτωσης αναφέρουν και οι Tafas & Economou-Amili (1997). Κατά τις περιόδους αύξησης της αφθονίας του *T. similis* (αρχές άνοιξης) είναι πιθανό στην λίμνη να είναι αυξημένη η παρουσία διατόμων καθώς την ίδια περίοδο παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης των πυριτικών (βλέπε Κεφάλαιο 2), ενώ το είδος έδειξε θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση των πυριτικών, η οποία πιθανόν αντανακλά μια προτίμηση του είδους για τα διάτομα.

Από τα είδη του γένους *Hexarthra*, το *H. mira* θεωρείται εκπρόσωπος εύτροφων λιμνών (Mäemets, 1983). Οι μόνες αναφορές για το γένος *Hexarthra* προέρχονται από τους Burns & Mitchell (1980) στην Νέα Ζηλανδία, οι οποίοι βρήκαν μεγάλη αφθονία το χειμώνα ενώ η Ζαρφντζιάν (1989) βρήκε το είδος *H. mira* σποραδικά στη λίμνη Βόλβη. Πρόσφατα, οι Atici et al. (2010) ανέφεραν την παρουσία του γένους στη λίμνη Beyşehir κατά το καλοκαίρι, αλλά και του είδους *H. mira* στη λίμνη Mogan, την ίδια εποχή. Στη λίμνη Τριχωνίδα, τα είδη του γένους *Hexarthra* ήταν πιο άφθονα κατά την ψυχρότερη περίοδο του έτους, παρόλο που θεωρούνται θερμοφιλά είδη (Ruttner-Kolisko, 1974), πιθανότατα λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών της λίμνης σε σύγκριση με αντίστοιχες της Ευρώπης.

Το *Ploesoma truncatum* είναι ένα είδος που συναντάται με μεγαλύτερη αφθονία το καλοκαίρι σύμφωνα με τους Bērziņš & Pejler (1989a) και Ferrara et al. (2002), όπως παρατηρήθηκε και στη λίμνη Τριχωνίδα.

Το γένος *Synchaeta* έχει επίσης βρεθεί με μεγαλύτερη αφθονία την άνοιξη έως τις αρχές του καλοκαιριού σε λίμνες της Αγγλίας και της Γερμανίας (Elliott, 1977; Holst et al., 1998). Η προτίμηση του είδους για τη θερμότερη περίοδο κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας αντανακλάται μέσα από την θετική συσχέτιση που έδειξε να έχει με τη θερμοκρασία.

Το είδος *Brachionus calyciflorus* αποτελεί ένα από τα λιγοστά πελαγικά είδη του γένους *Brachionus*. Τα αποτελέσματα για την εποχική διακύμανση του είδους *B. calyciflorus* συμφωνούν με τις αναφορές των Bērziņš & Pejler (1989a) και Holst et al. (1998). Οι Atici et al. (2010) στη λίμνη Beyşehir της Τουρκίας αναφέρουν την παρουσία του είδους το καλοκαίρι, ενώ η Ζαρφντζιάν (1989) αναφέρει περιστασιακή παρουσία του είδους στη λίμνη Βόλβη. Η παρουσία του είδους κυρίως το χειμώνα έρχεται σε αντίθεση με τον θερμοφιλό χαρακτήρα του γένους *Brachionus* (Ruttner-Kolisko, 1974). Πέρα από τη θερμοκρασία, η Μιχαλούδη (1997) αναφέρει και την τροφή ως σημαντικό παράγοντα

που επηρεάζει την διακύμανση της αφθονίας άλλων ειδών του γένους, στη λίμνη Μικρή Πρέσπα. Η έλλειψη δεδομένων για την ποιοτική σύνθεση και τις διακυμάνσεις της αφθονίας της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας στη λίμνη Τριχωνίδα δεν επιτρέπει την εκτίμηση αυτής της παραμέτρου, η οποία θα μπορούσε ενδεχομένως να αποτελεί εξήγηση για την παρουσία του είδους μόνο κατά την περίοδο 2003-04.

Το *Conochilus unicornis* απαντάται στην πελαγική ζώνη oligότροφων λιμνών και εμφανίζει μέγιστο συνήθως κατά το τέλος της άνοιξης (Ruttner-Kolisko, 1974).

Το γένος *Polyarthra* αποτελείται από μια πληθώρα ειδών με διαφορετικό εύρος ανοχής σε θερμοκρασία και οξυγόνο, που συναντώνται από oligότροφα έως εύτροφα νερά (Ruttner-Kolisko, 1974). Στην oligότροφη λίμνη Königsee, τα είδη του γένους *Polyarthra* είχαν παρουσία σε όλες τις εποχές του έτους (Laxhuber, 1981), όπως και στη λίμνη Τριχωνίδα.

Η εμφάνιση του είδους *Keratella quadrata* κατά τους θερμότερους μήνες του χρόνου στη λίμνη Τριχωνίδα είναι σε συμφωνία με την καταγραφή της παρουσίας του είδους κατά το καλοκαίρι από τους Atici et al. (2010) στην εύτροφη λίμνη Mogan της Τουρκίας, αλλά και από τον Τίγκιλη (2007) στη λίμνη Κουρνά. Τα τροχόζωα *K. quadrata* και *Filinia longiseta* θεωρούνται τυπικοί εκπρόσωποι εύτροφων λιμνών (Bērziņš & Pejler, 1989β). Η παρουσία του τελευταίου κυρίως κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι συμφωνεί με τον θερμόφιλο χαρακτήρα του είδους (Ruttner-Kolisko, 1974).

Από τα υπόλοιπα τροχόζωα, το είδος *Pompholyx sulcata* είναι τυπικός εκπρόσωπος εύτροφων λιμνών (Gannon & Stemberger, 1978; Geller & Müller, 1981; Mäemets, 1983; Pejler, 1983), ενώ το *Asplanchna priodonta* είναι θηρευτής τροχοζώων, κλαδόκερων και κωπηπόδων και θεωρείται ικανό να ρυθμίζει τους πληθυσμούς του μικροζωοπλαγκτού (Nogrady & Segers, 1990).

Τα τροχόζωα της τάξης Bdelloidea είναι στην πλειοψηφία τους βενθικοί οργανισμοί που επίσης διαβιούν στο περίφυτο ποταμών και λιμνών, ενώ κάποια είδη μπορεί να βρίσκονται περιστασιακά στο πλαγκτό (Ricci & Melone, 2000).

Μαλάκια

Το δίθυρο μαλάκιο *Dreissena polymorpha* αποτελεί κοινό είδος των ευρωπαϊκών λιμνών (Borcherding, 1991). Από παρατηρήσεις σε ευρωπαϊκές λίμνες, ο Lewandowski (1982) αναφέρει ότι η διάρκεια της πλαγκτικής φάσης των προνυμφών του *D. polymorpha* αυξάνεται στις νοτιότερες περιοχές ως αποτέλεσμα της επίδρασης της θερμοκρασίας στην

περίοδο αναπαραγωγής του. Οι προνύμφες του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha* είχαν σχεδόν συνεχή παρουσία στη λίμνη Τριχωνίδα κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, απουσιάζοντας μόνο στο τέλος του χειμώνα του 2005 και 2006. Συνεχή παρουσία των προνυμφών παρατηρήθηκε και στη λίμνη Οχρίδα (Stanković, 1960). Τόσο στη λίμνη Τριχωνίδα όσο και στην λίμνη Οχρίδα η θερμοκρασία δεν πέφτει χαμηλότερα από τους 9 °C και αυτό πιθανόν συντελεί στην παρατεταμένη πλαγκτική φάση, καθώς σε γεωγραφικά ενδιάμεσες λίμνες που οι χειμερινές θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες, η διάρκεια της πλαγκτικής φάσης του είδους είναι συντομότερη [Μεγάλη Πρέσπα: Serafimova-Hadzisce (1959), Βόλβη: Ζαρφντζιάν (1989), Μικρή Πρέσπα: Michaloudi et al. (1997)].

Επίσης, η θερμοκρασία φαίνεται να αποτελεί τον κρισιμότερο αβιοτικό παράγοντα που επηρεάζει την εποχική διακύμανση των προνυμφών, καθώς αυτή η ομάδα έδειξε την πιο ξεκάθαρη συσχέτιση με την θερμοκρασία από όλες τις ομάδες του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα. Παρόμοια συσχέτιση αναφέρεται και από τους Michaloudi et al. (1997) στη λίμνη Μικρή Πρέσπα. Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην αναπαραγωγή του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha*, τόσο στην γονιμοποίηση των αυγών όσο και στην απόθεση (Sprung, 1987; Borchertding, 1991). Σύμφωνα με αυτούς τους ερευνητές, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 10 °C δεν μπορεί να επιτευχθεί γονιμοποίηση των αυγών, ενώ για τη διαδικασία της απόθεσης χρειάζονται θερμοκρασίες άνω των 12 °C. Ο Sprung (1989) παρατήρησε την πρώτη εμφάνιση των πλαγκτικών προνυμφών σε θερμοκρασίες άνω των 10 °C. Σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, η ανεπαρκής διαθεσιμότητα τροφής μπορεί να καθυστερήσει την έναρξη της απόθεσης των αυγών (Borchertding, 1991). Συνεπώς, τα θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά της λίμνης Τριχωνίδας ενδείκνυνται για την επιτυχή αναπαραγωγή του δίθυρου μαλάκιου ενώ, σε συνδυασμό με την χαμηλή πρωτογενή παραγωγικότητα κατά τον χειμώνα, αιτιολογείται η απουσία των προνυμφών από το ζωοπλαγκτό κατά τα τέλη του χειμώνα.

3.4.2.2 Κατακόρυφη κατανομή

Στη λίμνη Τριχωνίδα, κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση του ζωοπλαγκτού στο επιφανειακό στρώμα 0-10 m, ενώ η αφθονία του μειώνονταν με το βάθος. Αυτό το μοτίβο είναι σύνηθες στις βαθιές και στρωματωμένες λίμνες (Hanazato, 1992; Wetzel, 2001). Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός

ότι τα περισσότερα είδη και ομάδες του ζωοπλαγκτού διατήρησαν το ίδιο μοτίβο κατακόρυφης κατανομής σε όλη τη διάρκεια της έρευνας, χωρίς να εμφανίζουν σημαντικές μεταβολές μεταξύ των δειγματοληπτικών περιόδων. Αυτή η σταθερότητα στην κατακόρυφη κατανομή των οργανισμών πιθανόν να σημαίνει ότι τα είδη έχουν υιοθετήσει μια κατακόρυφη θέση που έχει αποδειχθεί ευεργετική για την επιβίωσή τους. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία φαίνεται να είναι ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την κατακόρυφη κατανομή του *D. orghidani* το οποίο ως θερμόφιλο είδος (Korovchinski, 1992) βρισκόταν συνεχώς στα ανώτερα στρώματα, όπου η θερμοκρασία κυμαίνονταν μεταξύ 15 και 29 °C.

Σε βαθιές λίμνες που εμφανίζουν θερμική στρωμάτωση είναι σύνηθες το φαινόμενο του κατακόρυφου διαχωρισμού ή στρωμάτωσης των ειδών (Hanazato, 1992; Armengol-Diaz et al., 1993), το οποίο ενισχύεται από τον ανταγωνισμό ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλής διαθεσιμότητας τροφής (Wetzel, 2001). Δεδομένης της χαμηλής πυκνότητας φυτοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα (Tafas & Economou-Amili, 1997), θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι ο κατακόρυφος διαχωρισμός μεταξύ των σημαντικότερων ειδών τροχοζώων αποτελεί μια προσαρμογή προκειμένου να μειώσουν τον ανταγωνισμό μεταξύ τους και να πετύχουν καλύτερη αξιοποίηση του φυτοπλαγκτού, με το οποίο τρέφονται. Ωστόσο, δεν υπάρχουν πρόσφατα δεδομένα για τη σύνθεση και την αφθονία του φυτοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα, ή πληροφορίες για την διατροφή των τροχοζώων εκεί, για να στηριχθεί η παραπάνω υπόθεση.

Αντίθετα, μεταξύ των αναπτυξιακών σταδίων των κωπηπόδων δεν παρατηρήθηκε κατακόρυφος διαχωρισμός. Θεωρητικά, η συνύπαρξη των ναυπλίων, των κωπηποδιτών και των ενήλικων ατόμων του *Eudiaptomus drieschi* στον ίδιο ορίζοντα βάθους θα μπορούσε να οδηγήσει σε έντονο ανταγωνισμό, στην περίπτωση που όλα τα στάδια αξιοποιούσαν τις ίδιες πηγές ενέργειας (πχ. τροφή), ιδιαίτερα όταν και τα τρία αναπτυξιακά στάδια συνυπάρχουν χρονικά. Δυστυχώς, δεν υπάρχουν αναφορές για τη διατροφή και τις τροφικές προτιμήσεις αυτού του είδους. Ωστόσο, μπορεί να θεωρηθεί ότι, σε oligότροφα οικοσυστήματα η προσλαμβανόμενη τροφή διαφοροποιείται ανάλογα με το μέγεθος των onτογενετικών σταδίων ούτως ώστε τα μεγαλύτερα αναπτυξιακά στάδια να καταναλώνουν τα μεγαλύτερου μεγέθους τροφικά στοιχεία. Το παραπάνω έχει παρατηρηθεί για θαλάσσια είδη κωπηπόδων, όπως το *Acartia tonsa* (Berggreen et al., 1988), το *Paracalanus parvulus* (Paffenhöfer, 1984α; Paffenhöfer, 1984β) και το *Pseudodiaptomus marinus* (Uye & Kasahara, 1983).

Στην περίπτωση των κλαδόκερων, ανταγωνιστικές σχέσεις έχουν αναφερθεί για είδη των γενών *Bosmina*, *Daphnia* και *Diaphanosoma* (DeMott & Kerfoot, 1982; Matveev, 1987). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συγκλίνουν στην άποψη ότι τα διάφορα είδη κλαδόκερων υιοθετούν διαφορετικές οικολογικές στρατηγικές, όπως ο χωρικός ή/και ο χρονικός διαχωρισμός των κατανομών τους, προκειμένου να μειώσουν το διαειδικό ανταγωνισμό. Ωστόσο, ανταγωνισμός μπορεί να υπάρξει και μεταξύ κλαδόκερων και κωπηπόδων (Dodson, 1974; Muck & Lampert, 1984), γεγονός που περιπλέκει τα πράγματα, και σε κάθε περίπτωση δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί η σημασία του με τα δεδομένα της παρούσας εργασίας.

Η θήρευση αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα που επηρεάζει την αφθονία και την κατανομή των οργανισμών (Wetzel, 2001). Στη λίμνη Τριχωνίδα υπάρχει ένας τεράστιος πληθυσμός αθερίνας, ο οποίος τρέφεται με ζωοπλαγκτό, ενώ η σύνθεση της διαίτας του φαίνεται να ακολουθεί την εποχική σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας (Chrisafi et al., 2007; Ντούλκα και συν., 2007). Ωστόσο είναι αναγκαία περαιτέρω έρευνα πάνω στις τροφικές προτιμήσεις και την διατροφή του είδους (βλ. Κεφάλαιο 5), προκειμένου να γίνει αντιληπτή η δυναμική που ασκείται στο ζωοπλαγκτό. Επιπλέον, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η επίδραση ασπόνδυλων θηρευτών, όπως το *L. kindtii*, σε ζωοπλαγκτικές ομάδες και είδη, καθώς δεν υπάρχουν πληροφορίες για την διατροφή αυτού του είδους στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

3.4.3 Επίδραση φυσικοχημικών παραμέτρων στο ζωοπλαγκτό

Η επίδραση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδάτινων οικοσυστημάτων στην δομή και λειτουργία της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας έχει μελετηθεί εκτεταμένα, χωρίς ωστόσο να υπάρχει πάντα συμφωνία για την εξειδικευμένη επίδραση της κάθε παραμέτρου στα διαφορετικά οικοσυστήματα (Devetter, 1998; Gliwicz, 1999; Geraldes & Boavida, 2004; Abrantes et al., 2006). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν ότι οι κυριότεροι αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν το ζωοπλαγκτό στη λίμνη Τριχωνίδα είναι η θερμοκρασία και το διαλυμένο οξυγόνο, ενώ μικρότερη επίδραση είχε και η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α.

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρούν και ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό τις εποχικές διακυμάνσεις της αφθονίας, την

κατανομή και τις τροφικές αλληλεπιδράσεις των υδρόβιων οργανισμών, κυρίως μέσω της επίδρασής της στο μεταβολισμό των ποικιλόθερων οργανισμών (Κεχαγιάς, 2006). Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία επηρεάζει τους μεταβολικούς ρυθμούς των κλαδόκερων (Moore et al., 1996), όπως και άλλων οργανισμών του ζωοπλαγκτού και με αυτή την έννοια μπορεί να εξηγηθεί η χαμηλή τους αφθονία το χειμώνα. Ωστόσο, η ποιότητα και η ποσότητα της τροφής -φυτοπλαγκτό- αυτών των οργανισμών είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικές βιοτικές παράμετροι σε άλλες περιόδους (Abrantes et al., 2006).

Η συγκέντρωση του οξυγόνου μέσα στο νερό μπορεί να γίνει κρίσιμη για την επιβίωση όλων των υδρόβιων οργανισμών όταν πέσει κάτω από ένα όριο. Συνήθως κάτι τέτοιο συμβαίνει σε μεγάλο βάθος στο υπολίμνιο, όπου αρχίζουν να δημιουργούνται ανοξικές συνθήκες. Έτσι, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να είναι κρίσιμος παράγοντας για την κατακόρυφη κατανομή πολλών ειδών, λειτουργώντας όμως ως περιοριστικός παράγοντας μόνο στα βαθύτερα στρώματα και μόνο κατά την περίοδο της θερμικής στρωμάτωσης. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 2), στη λίμνη Τριχωνίδα παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου σε κάποιες περιπτώσεις. Από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων όπου χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από όλα τα βάθη, φαίνεται ότι η παράμετρος αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην εποχική διακύμανση και κατανομή του ζωοπλαγκτού. Η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου συγκαταλέγονται μεταξύ των σημαντικότερων αβιοτικών παραμέτρων που επηρεάζουν την κατακόρυφη κατανομή των ζωοπλαγκτικών ειδών, ενώ άλλες όπως η διεύδυση του φωτός, η διαθεσιμότητα της τροφής, ο ανταγωνισμός και η θήρευση συνιστούν ένα πολυδιάστατο πλαίσιο αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων (Wetzel, 2001).

Από το σύνολο των ζωοπλαγκτικών ειδών, εκείνα που έδειξαν συσχέτιση με την συγκέντρωση της χλωροφύλλης ανήκαν στην ομάδα των τροχοζώων. Μάλιστα σε όλες τις περιπτώσεις υπήρξε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της αφθονίας/παρουσίας των ειδών και αυτή της χλωροφύλλης-α. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι τα συγκεκριμένα είδη αναπτύσσονται σε εποχές ή σε θέσεις στον κατακόρυφο άξονα, όπου δεν υπάρχει μεγάλη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α. Αυτό ίσως είναι μία ένδειξη των απαιτήσεων που έχουν τα συγκεκριμένα είδη από το ενδιαίτημα μιας λίμνης με ολιγότροφα χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα όταν κάποια από αυτά (π.χ. *Keratella quadrata*) προτιμούν εύτροφες συνθήκες. Από την άλλη, η αρνητική σχέση μεταξύ της φυτοπλαγκτικής βιομάζας και της ζωοπλαγκτικής αφθονίας θεωρείται αποτέλεσμα της βόσκησης του ζωοπλαγκτού (Goldyn

& Kowalczevska-Madura, 2008). Γενικά πάντως, η χωρική και χρονική διακύμανση της αφθονίας των τροχοζώων επηρεάζεται από την τροφή, τη θερμοκρασία και το οξυγόνο (Mikschi, 1989). Ωστόσο, δεν υπάρχουν βιβλιογραφικά δεδομένα για τα συγκεκριμένα είδη ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγκριτικά με αυτά της παρούσας εργασίας. Τέλος, κάποια είδη φαίνεται να σχετίζονται με συγκεκριμένες απαιτήσεις από το περιβάλλον τους, όπως το είδος *Trichocerca similis* που ο βιολογικός του κύκλος συνδέεται με τη συγκέντρωση πυριτικών ιόντων, όπως προαναφέρθηκε.

Το γενικό συμπέρασμα πάντως που μπορεί να προκύψει λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα των συσχετίσεων του ζωοπλαγκτού και των φυσικοχημικών παραμέτρων, συντείνουν στη διαπίστωση ότι η λίμνη Τριχωνίδα είναι ένα «ισορροπημένο» οικοσύστημα, με την έννοια ότι σε αυτό δεν επικρατούν ιδιαίτερες συνθήκες που να δημιουργούν τις αντίστοιχες απαιτήσεις από τους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση του
ζωοπλαγκτού

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.1.1 Γενικά

Κατακόρυφες μεταναστεύσεις ζωοπλαγκτικών οργανισμών συμβαίνουν τόσο στη θάλασσα όσο και σε λίμνες, διαφορετικού μεγέθους, βάθους και τροφικής κατάστασης, ενώ έχει αναφερθεί ότι το εύρος αυτών των κάθετων μετατοπίσεων μπορεί να φτάνει από μερικά μέχρι και εκατοντάδες μέτρα (Hutchinson, 1967). Καθώς οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί δεν εξαρτώνται άμεσα από την παρουσία φωτός, το βάθος στο οποίο προτιμούν να βρίσκονται εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και την ηθολογία κάθε είδους. Οι κατακόρυφες μεταναστεύσεις μπορεί να χαρακτηρίζονται από μεγάλο χρονικό κύκλο, οπότε είναι γνωστές ως «εποχικές» ή «οντογενετικές κατακόρυφες μεταναστεύσεις», είτε μπορεί να συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου και τότε ονομάζονται «ημερονύκτιες κατακόρυφες μεταναστεύσεις» (HKM), που αναφέρονται και ως νυχθημερήσιες.

Αυτές οι κινήσεις αποτελούν τη μαζικότερη μετανάστευση οργανισμών πάνω στη γη σε κάθε 24ωρο και έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον των ερευνητών για περισσότερο από 100 χρόνια. Η πρώτη παρατήρηση του φαινομένου έγινε από τον Cuvier το 1817 ενώ ακολούθησαν και άλλοι ερευνητές, όπως οι Rang (1828), Leydig (1862), Weismann (1877), Fuchs (1882), Brady (1883), Murray (1885) και Chun (1888) (βλέπε για ανασκόπηση Cushing, 1951). Σε εσωτερικά νερά, πρώτος ο Weismann (1877) παρατήρησε HKM του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Constance το 1874, ενώ το 1878 ο Forel (1878) ανέφερε το ίδιο φαινόμενο και στη λίμνη της Γενεύης.

4.1.2 Πρότυπα HKM

Στα εσωτερικά νερά, έχουν αναγνωριστεί τρία βασικά πρότυπα HKM. Η πιο απλή περίπτωση είναι η παραμονή των οργανισμών σε μεγαλύτερα βάθη την ημέρα και η κατανομή τους πιο κοντά στην επιφάνεια τη νύχτα. Αυτό επιτυγχάνεται με άνοδο προς την επιφάνεια το απόγευμα και βύθιση κατά το ξημέρωμα στο επιθυμητό βάθος παραμονής κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το πρότυπο αυτό ορίζεται ως «κανονική» (normal) HKM.

Το αντίθετο φαινόμενο, η άνοδος δηλαδή σε επιφανειακότερα νερά κατά το ξημέρωμα και η κάθοδος σε μεγαλύτερα βάθη το σούρουπο, περιγράφεται ως «ανάστροφη» (reverse) HKM. Ένα τρίτο πρότυπο, γνωστό ως «μετανάστευση του λυκόφωτος» (twilight migration), περιλαμβάνει την άνοδο των ζωοπλαγκτικών οργανισμών προς την επιφάνεια κατά το σούρουπο, μια κάθοδο σε βαθύτερα στρώματα γύρω στα μεσάνυχτα, που ακολουθείται από μια δεύτερη άνοδο προς την επιφάνεια και την εκ νέου βύθιση των οργανισμών κατά το ξημέρωμα (Hutchinson, 1967; Lampert, 1989). Τα πρότυπα αυτών των μεταναστεύσεων διαφοροποιούνται μεταξύ υδάτινων μαζών και εποχών ως προς το εύρος και το χρόνο κατά τον οποίο συμβαίνουν, ενώ επηρεάζουν τη δομή και λειτουργία της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, τη δυναμική της τροφικής αλυσίδας στα υδάτινα οικοσυστήματα και την κατακόρυφη μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στη στήλη του νερού (Haupt et al., 2010).

4.1.3 Οικολογική ερμηνεία της HKM

Η HKM είναι μια συμπεριφορά που ακολουθείται από μεγάλη ποικιλία οργανισμών (Hutchinson, 1967; Lampert, 1989; De Meester & Weider, 1999). Αυτό σημαίνει, προφανώς, ότι θα πρέπει να προσδίδει σημαντικά πλεονεκτήματα στους οργανισμούς που την υιοθετούν. Σχετικά, λοιπόν, με την οικολογική ερμηνεία του φαινομένου αυτού, έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, οι οποίες περιγράφονται παρακάτω:

A) Η υπόθεση της «αποφυγής της υπεριώδους ακτινοβολίας»

Η αποφυγή του επιβλαβούς ηλιακού φωτός ήταν η πρώτη υπόθεση που προτάθηκε ως ερμηνεία της μετανάστευσης των ζωοπλαγκτικών οργανισμών μακριά από την επιφάνεια κατά τη διάρκεια της ημέρας (Kikuchi, 1930). Μερικά χρόνια αργότερα, μετεξελίχθηκε στην υπόθεση ότι οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί μεταβάλλουν την κατακόρυφη κατανομή τους έτσι ώστε να βρίσκονται στην κατάλληλη ισόφωτη που θα εξασφαλίζει τη βέλτιστη και συνεχή ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού που χρησιμοποιούν ως τροφή (Kerfoot, 1970). Κεντρικός άξονας αυτής της θεωρίας είναι η σοβαρή επίπτωση που έχει η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) τόσο στους ζωοπλαγκτικούς οργανισμούς (Zagarese et

al., 1998; Williamson et al., 2001), όσο και στα βακτήρια και το φυτοπλαγκτό (Karentz et al., 1994). Η διεισδυτική ικανότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας στα λιμναία οικοσυστήματα επηρεάζεται από το περιεχόμενό τους σε διαλυμένη οργανική ύλη (dissolved organic matter, DOM), ενώ μπορεί να μεταβάλλεται εποχικά και εντός της ίδιας λίμνης (Williamson & Rose, 2009). Πρόσφατες *in situ* μελέτες τονίζουν το σημαντικό ρόλο της UV ακτινοβολίας σε λίμνες με χαμηλό περιεχόμενο σε DOM (Leech & Williamson, 2000; Leech & Williamson, 2001; Rhode et al., 2001; Williamson et al., 2002; Leech et al., 2005; Persaud & Williamson, 2005; Fischer et al., 2006). Η υπόθεση της αποφυγής της UV ακτινοβολίας θεωρείται ότι μπορεί να ερμηνεύσει την απουσία HKM σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει θηρευτές αλλά υπάρχει φως (Loose, 1993a), ή την πραγματοποίηση HKM σε λίμνες που απουσιάζουν οπτικοί θηρευτές (Williamson et al., 2001; Aguilera et al., 2006).

B) Η υπόθεση των «μεταβολικών και δημογραφικών πλεονεκτημάτων»

Η HKM θεωρήθηκε επίσης ως μηχανισμός αποφυγής της υπερβόσκησης του φυτοπλαγκτού από το ζωοπλαγκτό (Hardy, 1936). Ο McAllister (1969) έδωσε μια αιφορική διάσταση στην παραπάνω υπόθεση, η οποία υποστηρίχθηκε και από κάποια μαθηματικά μοντέλα (McAllister, 1969; Petipa & Makarova, 1969; Lampert, 1987). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, η αλλαγή του βάθους παρουσίας του ζωοπλαγκτού την ημέρα και τη νύχτα γίνεται ώστε να υπάρξει ασυνεχής βόσκησή του επί του φυτοπλαγκτού στα επιφανειακά στρώματα. Μια τέτοια ασυνεχής βόσκησις θα είχε σαν αποτέλεσμα τη διατήρηση υψηλής φυτοπλαγκτικής παραγωγής (Κεχαγιάς, 2006).

Μια άλλη πρόταση, υποστήριξε ότι, με την κατακόρυφη μετανάστευση, οι οργανισμοί αποκτούν μεταβολικά πλεονεκτήματα με το να τρέφονται στο θερμό και πλούσιο σε τροφή επιλίμνιο κατά τη διάρκεια της νύχτας και να ξεκουράζονται στο ψυχρό υπολίμνιο την ημέρα (McLaren, 1963). Καθώς, όμως, πέρα από το ενεργειακό πλεονέκτημα, οι χαμηλές θερμοκρασίες καθυστερούν την ανάπτυξη, αυτή η θεωρία τροποποιήθηκε προσπαθώντας να συμπεριλάβει και ένα δημογραφικό πλεονέκτημα. Προτάθηκε, λοιπόν, ότι τα κωπήποδα που μεγαλώνουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να φτάσουν σε μεγαλύτερο μέγεθος σώματος. Σε συνδυασμό με ευνοϊκές τροφικές συνθήκες και θεωρώντας ότι τα πιο ευμεγέθη άτομα είναι και πιο γόνιμα, ο παραπάνω ισχυρισμός θα μπορούσε να οδηγήσει και σε δημογραφικό πλεονέκτημα

(McLaren, 1974). Ωστόσο, μελέτες που ακολούθησαν τόσο σε κωπήποδα (Kerfoot, 1985), όσο και σε διάφορα είδη *Daphnia* (Stich & Lampert, 1984) δεν κατάφεραν να αναδείξουν κάποιο αναπαραγωγικό πλεονέκτημα της ΗΚΜ.

Ο Enright (1977), διατύπωσε την υπόθεση ότι η ΗΚΜ σχετίζεται με τους διαθέσιμους τροφικούς πόρους. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, η φυτοπλαγκτική βιομάζα είναι μεγαλύτερη το απόγευμα, καθώς η διαδικασία της φωτοσύνθεσης συμβαίνει μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, η ποιότητα του φυτοπλαγκτού θα πρέπει να είναι διαφορετική, μιας και θα έχουν γεμίσει τα κύτταρά τους με αποθέματα για το βράδυ. Έτσι, οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί που επιστρέφουν στην επιφάνεια το απόγευμα μετά από πολλές ώρες, καταναλώνουν τροφή με μεγαλύτερο ρυθμό, έχοντας στη διάθεσή τους περισσότερη και καλύτερης ποιότητας τροφή. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο μεταβολισμός των ζωοπλαγκτικών οργανισμών μειώνεται κατά τις ώρες παραμονής τους στο ψυχρότερο μεταλίμνιο, μπορεί να τους προσφέρουν τελικά σημαντικό ενεργειακό όφελος.

Τέλος, ο Geller (1986), διατύπωσε την ιδέα μιας στρατηγικής «συντήρησης», που ακολουθείται από κάποια είδη *Daphnia*, κατά την οποία, σε περιόδους περιορισμένης τροφής, αποθηκεύουν ενέργεια παραμένοντας σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ μεταναστεύουν στο επιλίμνιο μόνο για να τραφούν.

Γ) Η υπόθεση της «αποφυγής της θήρευσης»

Η πλέον αποδεκτή θεωρία στην οποία αποδίδεται το φαινόμενο της ΗΚΜ είναι η υπόθεση της αποφυγής της θήρευσης, η οποία προτάθηκε συγκροτημένα για πρώτη φορά από τους Zaret & Suffern (1976). Η υπόθεση αυτή, εξηγεί τις ΗΚΜ υποστηρίζοντας ότι οι οργανισμοί ακολουθούν ένα μεταναστευτικό πρότυπο για να απογεύγουν τους θηρευτές τους, όπως τα ψάρια, που βασίζονται στην όραση. Έτσι, αποφεύγουν τα επιφανειακά νερά κατά τη διάρκεια της ημέρας επειδή εκεί κινδυνεύουν περισσότερο. Οι πιο ευδιάκριτοι οργανισμοί (όπως είναι το γένος *Daphnia* ή τα ωοφόρα κωπήποδα) γίνονται πιο εύκολα αντιληπτοί από τους θηρευτές σε αυτά τα στρώματα και καταφεύγουν σε κατακόρυφη μετανάστευση (Lampert, 1993). Το εύρος της μετανάστευσης αυξάνεται με την διαφάνεια του νερού (Dodson, 1990), αλλά και με την πυκνότητα και δραστηριότητα των ψαριών (Ringelberg, 1991; Ringelberg et al., 1991). Τα πειράματα των Stich & Lampert (1984) ενίσχυαν αυτή την θεωρία, αμφισβητώντας τη θεωρία του μεταβολικού πλεονεκτήματος

και δείχνοντας ότι η HKM συνοδεύεται από σημαντικό κόστος, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών και των φτωχότερων διατροφικών συνθηκών στα βαθύτερα στρώματα. Επίσης, η πειραματική απόδειξη ότι φαινόμενα HKM ενεργοποιούνται από χημικά σήματα (καιρομόνες) που εκκρίνουν τα ψάρια (Dodson, 1988; Loose, 1993a; Loose, 1993b), άνοιξε τον δρόμο για την ευρύτερη αποδοχή της υπόθεσης της αποφυγής θήρευσης. Οι Ringelberg & van Gool (2003), ωστόσο, υποστηρίζουν ότι η παρουσία καιρομονών εντείνει την αντίδραση στη μεταβολή της φωτεινότητας, καθώς δεν υπάρχει ξεκάθαρη απόδειξη ότι από μόνη της η παρουσία αυτών των ουσιών μπορεί να προκαλέσει περιοδικές ανοδικές και καθοδικές κινήσεις.

Εκτός από την απομάκρυνση από την επιφάνεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και την επιστροφή σε αυτήν κατά τη νύχτα, ως μηχανισμός μείωσης της πιθανότητας θήρευσης έχει θεωρηθεί και η αντίστροφη κίνηση με τη μορφή της «ανάστροφης» HKM. Μελέτες στη θάλασσα (Ohman et al., 1983) αλλά και σε εσωτερικά νερά (Neill, 1990) έχουν δείξει ότι πρότυπα ανάστροφων HKM από μικρότερους ζωοπλαγκτικούς οργανισμούς που δεν κινδυνεύουν άμεσα από οπτικούς θηρευτές, αποτελούν μηχανισμούς μείωσης της πιθανότητας θήρευσης από ασπόνδυλους θηρευτές, οι οποίοι εκτελούν κανονική HKM.

Ωστόσο, εκτός από τα εξωτερικά ερεθίσματα, δεν έχει ακόμα αποσαφηνιστεί εάν ο μηχανισμός της HKM επηρεάζεται από κάποια ενδογενή ρυθμιστικότητα, ή αν έχει κάποια γενετική βάση (Loose, 1993b; De Meester et al., 1995; Young & Watt, 1996; Spaak & Ringelberg, 1997; Stirling & Roff, 2000; Ringelberg et al., 2004). Ο Lampert (1993) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η HKM δεν είναι μια πάγια συμπεριφορά αλλά μια ευέλικτη στρατηγική, καθώς υπάρχει ανταλλαγή μεταξύ μέγιστης προστασίας και μέγιστης ενεργειακής κάλυψης.

4.1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την HKM

Καθώς η HKM, εξ ορισμού έχει 24ωρη περιοδικότητα και κατακόρυφο προσανατολισμό, τα γενεσιουργά της αίτια πρέπει να αναζητηθούν ανάμεσα σε παράγοντες που παρέχουν τέτοια ερεθίσματα. Ο ρόλος του φωτός είναι αδιαμφισβήτητος, καθώς η HKM είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση της φωτεινότητας κατά τη

διάρκεια του 24ώρου. Η υπόθεση της «βέλτιστης φωτεινότητας» (light preferendum hypothesis), σύμφωνα με την οποία οι οργανισμοί μεταναστεύουν κατακόρυφα ώστε να παραμένουν στην ίδια ισόφωτη, χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της ανάπτυξης της ΗΚΜ στο χώρο και τον χρόνο (Richards et al., 1996). Ωστόσο, εκτενείς μελέτες στο πεδίο και αναλυτικά εργαστηριακά πειράματα έδειξαν ότι η ΗΚΜ του γένους *Daphnia* δεν καθορίζεται από την ένταση του φωτός, αυτή καθ' αυτή, αλλά από τη σχετική μεταβολή της φωτεινότητας (Ringelberg, 1999).

Διάφοροι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες επηρεάζουν τα πρότυπα κατακόρυφης κατανομής και ΗΚΜ του ζωοπλαγκτού των εσωτερικών νερών, ειδικά σε στρωματοποιημένες λίμνες που χαρακτηρίζονται από έντονες κατακόρυφες διαβαθμίσεις συγκεκριμένων φυσικών, χημικών και βιολογικών παραγόντων (Wetzel, 2001). Η κατακόρυφη στρωμάτωση αυτών, προκαλεί τη δημιουργία ποικίλων μικροβιότοπων (microhabitats), με διαφορετικές συνθήκες στο εσωτερικό τους. Στο πελαγικό τμήμα των λιμνών, φυσικοί και χημικοί παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία, το φως και το οξυγόνο μπορούν να περιορίσουν τη θήρευση από τα ψάρια και έτσι να λειτουργήσουν σαν καταφύγια για τους ζωοπλαγκτικούς οργανισμούς έναντι των θηρευτών τους (Horppila et al., 2000).

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στο επιλίμνιο είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη των οργανισμών και την αναπαραγωγή τους (Kerfoot, 1985; Dawidowicz & Loose, 1992), ενώ ένα επιπλέον κόστος προσδίδει η απότομη μείωση της θερμοκρασίας στο στρώμα του θερμοκλινούς (Reichwaldt et al., 2005). Σε βαθιές λίμνες, η θερμική στρωμάτωση μπορεί να περιορίσει την έκταση της κατακόρυφης κατανομής κάποιων ζωοπλαγκτικών ειδών, επιφέροντας ένα φαινόμενο γνωστό ως «στρωμάτωση του ζωοπλαγκτού» (Thackeray et al., 2006) ενώ, σε λιγότερο παραγωγικά συστήματα, ο ανταγωνισμός για την περιορισμένη τροφή είναι δυνατό να προκαλέσει χωρικό και χρονικό διαχωρισμό ενδιαιτημάτων μεταξύ των ειδών (Leibold, 1991; Ciro-Perez et al., 2001).

Η τροφή είναι συνήθως αφθονότερη στο επιλίμνιο, ωστόσο σε πολλές μεγάλες ολιγότροφες λίμνες εμφανίζεται μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α σε βαθύτερα στρώματα (deep chlorophyll maximum, DCM), ειδικά κατά τους θερινούς μήνες (Padisák et al., 1997; Williamson et al., 1996; Barbiero & Touchman, 2001; Winder & Hunter, 2008). Το γεγονός αυτό, αλλά και η ποσοτική (Gliwicz & Pijanowska, 1988; Adrian &

Schipolowski, 2003) και ποιοτική (Kasprzak et al., 2000; Cole et al., 2002) κατανομή της τροφής στον κατακόρυφο άξονα μπορούν να επηρεάσουν την HKM των οργανισμών.

Η έλλειψη οξυγόνου στο υπολίμνιο μπορεί να περιορίσει την κάθοδο κατά την HKM (Forsyth et al., 1990; Vanderploeg et al., 2009). Από πειράματα σε άτομα του γένους *Daphnia*, γνωρίζουμε ότι οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί αντιλαμβάνονται τέτοιες διαβαθμίσεις και τείνουν να κατανέμονται με τρόπο ώστε να έχουν τις μικρότερες ενεργειακές απώλειες και τη βέλτιστη φυσική κατάσταση (Lampert et al., 2003; Kessler & Lampert, 2004).

4.1.5 Σκοπός

Παρότι, όπως ειπώθηκε προηγουμένως, το φαινόμενο της HKM του ζωοπλαγκτού απασχόλησε από πολύ νωρίς την ερευνητική κοινότητα και είχε σαν αποτέλεσμα να υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός αναφορών στη διεθνή βιβλιογραφία, το θέμα αυτό εξακολουθεί ακόμη να είναι ενδιαφέρον καθώς πολλές παράμετροι παραμένουν αδιευκρίνιστες. Ταυτόχρονα, η πολυπλοκότητα των οικοσυστημάτων και η μεταβολή των κλιματικών αλλαγών, διατηρούν αυτή την ηθολογική προσαρμογή στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος της έρευνας στα υδάτινα οικοσυστήματα. Στην περιοχή της ανατολικής Ευρώπης και της ανατολικής Μεσογείου, γενικότερα, η πληροφορία για την κατακόρυφη μετανάστευση του ζωοπλαγκτού σε εσωτερικά νερά και είναι περιορισμένη και προέρχεται κυρίως από την λίμνη Piaseczno της Πολωνίας (Grzegorz et al., 2005; Grzegorz et al., 2006; Adamczuk, 2009) και τη λίμνη Kinneret στο Ισραήλ (Easton & Gophen, 2003). Στον ελλαδικό χώρο, η HKM του ζωοπλαγκτού έχει μελετηθεί σε θαλάσσιες περιοχές (Fragopulu & Lykakis, 1990; Koulouri et al., 2009) ενώ σε εσωτερικά νερά, τέτοιες μελέτες απουσιάζουν.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην ιχθυοπανίδα της λίμνης Τριχωνίδας κυριαρχεί η αθερίνα (*Atherina boyeri*), η οποία αποτελεί το κυριότερο αλίευμα και σημαντική πηγή εσόδων για τους αλιείς της περιοχής (Leonardos, 2001). Η αθερίνα ως ζωοπλαγκτοφάγο ψάρι βασίζεται για τη διατροφή του στο ζωοπλαγκτό της λίμνης, το οποίο αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας αυτού του είδους (Chrisafi et al., 2007; Ντούλκα και συν., 2007). Κατά συνέπεια, όλες οι πληροφορίες που αφορούν παραμέτρους

της βιολογίας και της οικολογίας του ζωοπλαγκτού της λίμνης, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την βέλτιστη και ολοκληρωμένη διαχείριση όχι μόνο του ιχθυοαποθέματος της αθερίνας, αλλά και του οικοσυστήματος της Τριχωνίδας γενικότερα.

Όσον αφορά στην κατανομή του ζωοπλαγκτού στη λίμνη (βλέπε Κεφάλαιο 3 και Doulka & Kehayias, 2008), φάνηκε η ύπαρξη κατακόρυφου διαχωρισμού (ή στρωμάτωσης) μεταξύ ορισμένων ειδών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, πιθανότατα ως αποτέλεσμα της περιορισμένης διαθεσιμότητας τροφής. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά προήλθαν από δειγματοληψίες που διενεργήθηκαν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας (πρωί) και συνεπώς υπάρχει έλλειψη πληροφορίας για την κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου.

Γνωρίζοντας ότι η αθερίνα αποτελεί το σημαντικότερο θηρευτή του ζωοπλαγκτού στην Τριχωνίδα, καθώς και το ότι η θήρευση αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο καθορισμού της ηθολογίας του ζωοπλαγκτού, θα ήταν ενδιαφέρον να δούμε αν η συμβίωση των δύο αυτών βιοτικών παραγόντων έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση μηχανισμών επίτευξης μιας οικολογικής ισορροπίας στη λίμνη. Για τη διερεύνηση των παραπάνω, κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η δυναμική της κατακόρυφης κατανομής του ζωοπλαγκτού κατά τη διάρκεια του 24ώρου και μάλιστα σε τέσσερις εποχές στη λίμνη Τριχωνίδα, ώστε να αναδειχθούν επίσης πιθανές εποχικές μεταβολές στα πρότυπα της κατανομής των ειδών. Επιπλέον, μεταξύ των στόχων αυτής της εργασίας αποτέλεσε και η εκτίμηση της επίδρασης συγκεκριμένων φυσικοχημικών και βιολογικών παραμέτρων στην κατακόρυφη μετανάστευση του ζωοπλαγκτού.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την μελέτη του φαινομένου της ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης πραγματοποιήθηκαν τέσσερις (4) εποχικές εικοσιτετράωρες δειγματοληψίες, οι οποίες διεξήχθησαν κατά τους μήνες Μάρτιο (23/3/2005), Ιούνιο (27/6/2005), Σεπτέμβριο (8/9/2005) και Οκτώβριο (28/10/2005), αντιπροσωπεύοντας αντίστοιχα το χειμώνα, την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

4.2.1 Στο πεδίο

Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στον πελαγικό σταθμό Α (Στ. Α) με βάθος 48 m, στο νοτιοανατολικό τμήμα της λίμνης (βλέπε Κεφάλαιο 2, Εικόνα 2.1). Κατά τη διάρκεια κάθε 24ώρου πραγματοποιήθηκαν 6 δειγματοληψίες, με ώρα έναρξης τις 09:00 π.μ. και χρονική διαφορά 4 ωρών, αντιπροσωπεύοντας το πρωί (09:00), το μεσημέρι (13:00), το απόγευμα (17:00), το βράδυ (21:00), τις πρώτες πρωινές ώρες (01:00) και το ξημέρωμα (05:00). Σημειώνεται ότι σημαντικό κριτήριο κατά τον προγραμματισμό των δειγματοληψιών ήταν η ύπαρξη νέας σελήνης, καθώς έχει αναφερθεί ότι το φως του φεγγαριού μπορεί να περιορίσει το εύρος των ημερονύκτιων κατακόρυφων μεταναστεύσεων (Lampert, 1993).

Τα δείγματα ζωοπλαγκτού συλλέγονταν ανά 5 m βάθος, καλύπτοντας ολόκληρη την υδάτινη στήλη, από την επιφάνεια έως τα 45 m. Η συλλογή και η διατήρηση των δειγμάτων έγινε με τον τρόπο που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3 (ενότητα 3.2.1).

Το πρωί κάθε εποχικής δειγματοληψίας προσδιορίζονταν η διαφάνεια του νερού με τη χρήση του δίσκου του Secchi, ενώ γινόταν κατακόρυφη καταγραφή της θερμοκρασίας (T) και του διαλυμένου οξυγόνου (DO) από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 40 m με τη χρήση φορητών οργάνων της εταιρίας WTW. Σημειώνεται ότι δεδομένα χλωροφύλλης-α δεν αποκτήθηκαν εκ νέου κατά την διεξαγωγή της παρούσας έρευνας αλλά χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα μηνιαία, καθώς οι συγκεκριμένες δειγματοληψίες συνέπιπταν με εκείνες της μελέτης της εποχικής διακύμανσης του ζωοπλαγκτού.

4.2.2 Στο εργαστήριο

Η αναγνώριση και ο υπολογισμός της αφθονίας των ζωοπλαγκτικών οργανισμών έγινε με τον τρόπο που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3. Κατά την παρούσα μελέτη δεν μετρήθηκαν σωματικά μεγέθη.

Η κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού προσδιορίστηκε μετατρέποντας την αφθονία κάθε ομάδας, είδους ή αναπτυξιακού σταδίου σε κάθε βάθος σε % ποσοστό της συνολικής αφθονίας τους στην υδάτινη στήλη. Για την σύγκριση μεταξύ κατακόρυφων κατανομών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας χρησιμοποιήθηκε το μέσο βάθος κατακόρυφης κατανομής (S), όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.

4.2.3 Στατιστική επεξεργασία

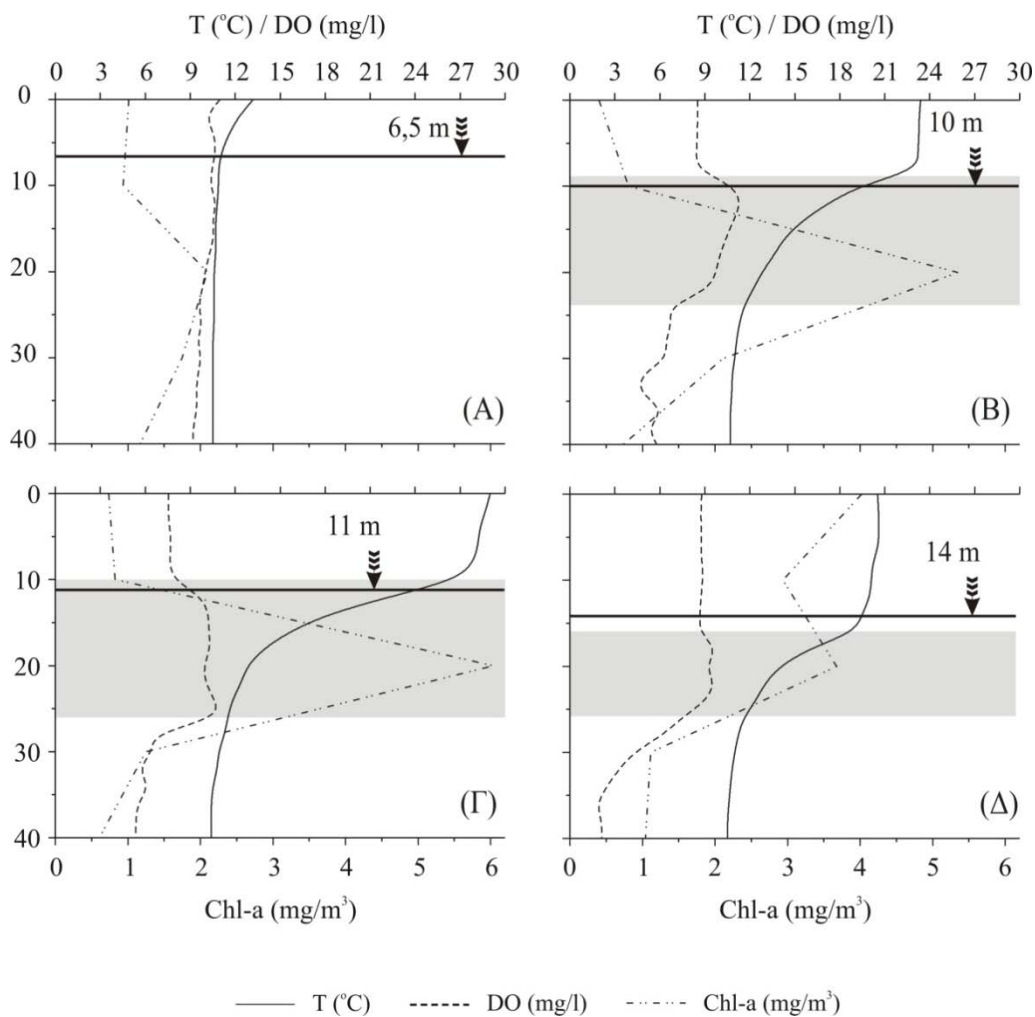
Η ύπαρξη εποχικών διαφορών στο μέσο βάθος κατακόρυφης κατανομής των οργανισμών εξετάστηκε με την μη-παραμετρική δοκιμή Kruskal-Wallis (ή με το U-test, για τα είδη που εμφανίστηκαν μόνο σε δύο εποχές). Τα ίδια στατιστικά τεστ εφαρμόστηκαν και για την διερεύνηση της ύπαρξης διαφορών στην κατακόρυφη κατανομή μεταξύ ειδών που συνυπήρχαν την ίδια περίοδο.

Συσχετίσεις μεταξύ της αφθονίας του ζωοπλαγκτού και των κατακόρυφων κατανομών θερμοκρασίας, διαλυμένου οξυγόνου και χλωροφύλλης-α αναδείχθηκαν μέσω του συντελεστή συσχέτισης Pearson (Pearson's r correlation coefficient) σε διάστημα εμπιστοσύνης 0,01 ή 0,05. Όλες οι στατιστικές δοκιμές έγιναν με το πρόγραμμα SPSS Statistics 17.0.

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.3.1 Φυσικοχημικά δεδομένα

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα για την κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας (T), της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) και της χλωροφύλλης-α (chl-a), καθώς και η διακύμανση της διαφάνειας του νερού, στις τέσσερις περιόδους δειγματοληψίας.



Εικόνα 4.1: Εποχική διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας (T, °C), του διαλυμένου οξυγόνου (DO, mg/l) και της συγκέντρωσης χλωροφύλλης-α (chl-a, mg/m³) στον σταθμό δειγματοληψίας, (Α) το χειμώνα, (Β) την άνοιξη, (Γ) το καλοκαίρι και (Δ) το φθινόπωρο. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές, ενώ το κατακόρυφο βέλος δείχνει την διαφάνεια του νερού.

Θερμοκρασία

Το χειμώνα, η θερμοκρασιακή κατανομή στην υδάτινη στήλη ήταν σχεδόν ομοιόμορφη, κυμαινόμενη από 13,2 °C στην επιφάνεια έως 10,5 °C στα βαθύτερα στρώματα (Εικόνα 4.1). Την άνοιξη, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της λίμνης έφτασε τους 23,4 °C, ενώ στα βαθύτερα στρώματα τους 10,7 °C. Την ίδια περίοδο το στρώμα του θερμοκλινούς εκτείνεται από τα 8 έως τα 24 m και στο εσωτερικό του η θερμοκρασία μειώνεται κατά 11,6 °C, (από 23,2 έως 11,6 °C). Το καλοκαίρι, το στρώμα του θερμοκλινούς αναπτύσσεται ελαφρώς βαθύτερα, μεταξύ των 10 και 20 m, ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό του μεταβάλλεται κατά 15,3 °C (από 26,8 έως 11,5 °C). Στην επιφάνεια της λίμνης η θερμοκρασία αγγίζει τους 29 °C, ενώ στα βαθύτερα στρώματα μειώνεται στους 10,4 °C. Το φθινόπωρο το εύρος του θερμοκλινούς περιορίζεται και αναπτύσσεται σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη (16 έως 26 m), ενώ η θερμοκρασιακή διαβάθμιση στο εσωτερικό του είναι περιορισμένη (4,3 °C). Η θερμοκρασία στην επιφάνεια της λίμνης, αυτή την εποχή έφτασε τους 20,5 °C ενώ στα βαθύτερα στρώματα τους 10,4 °C).

Διαλυμένο οξυγόνο

Η κατανομή της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου (DO) κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα το χειμώνα ήταν αρκετά ομοιόμορφη, με τιμές που κυμάνθηκαν μεταξύ 11 και 9,2 mg/l (Εικόνα 4.1). Όλες τις υπόλοιπες εποχές, που υπήρξε στρωμάτωση της λίμνης, η συγκέντρωση του DO παρουσίαζε αύξηση μέσα στο θερμοκλινές. Έτσι, την άνοιξη η συγκέντρωση του DO στο επιλίμνιο ήταν περίπου 8,5 mg/l, ενώ στο μεταλίμνιο έφτασε μέχρι τα 11,4 mg/l. Η μέγιστη συγκέντρωση DO καταγράφηκε στο βάθος των 12 m. Στο υπολίμνιο, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα, μεταξύ 6,8 και 4,6 mg/l. Το καλοκαίρι η τιμή του DO στο επιλίμνιο ήταν περίπου 7,6 mg/l, στο μεταλίμνιο αυξήθηκε μέχρι τα 10,9 mg/l (με τη μέγιστη τιμή να καταγράφεται στο βάθος των 26 m), ενώ στο υπολίμνιο κυμάνθηκε μεταξύ 6,5 και 5,3 mg/l. Το φθινόπωρο, η συγκέντρωση του DO στο επιλίμνιο ήταν περίπου 8,7 mg/l ενώ μέσα στο στρώμα του θερμοκλινούς έφτασε τα 9,7 mg/l. Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε στο βάθος των 22 m. Στο υπολίμνιο, αυτή την εποχή, σημειώθηκαν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (6,2 έως 2,0 mg/l), με την ελάχιστη τιμή των περίπου 2,0 mg/l να επικρατεί σε βάθη μεγαλύτερα των 35 m.

Χλωροφύλλη – α

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α το χειμώνα, την άνοιξη και το καλοκαίρι βρέθηκε στο βάθος των 20 m, με τιμές 2,1, 5,3 και 6,03 mg/m³ αντίστοιχα (Εικόνα 4.1). Το χειμώνα, οι τιμές της κυμάνθηκαν από 0,9 (στα 10 m) έως 2,1 mg/m³ (στα 20 m), την άνοιξη από 0,4 (στην επιφάνεια) έως 5,3 mg/m³ (στα 20 m) και το καλοκαίρι από 0,6 (στα 40 m) έως 6,03 mg/m³ (στα 20 m). Το φθινόπωρο, σημειώθηκαν δύο μέγιστα χλωροφύλλης-α, με τιμές 4,02 mg/m³ στην επιφάνεια και 3,7 mg/m³ στα 20 m βάθος. Αυτή την εποχή παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο επιλίμνιο και στο μεταλίμνιο συγκριτικά με το υπολίμνιο, όπου η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α ήταν περίπου 1,1 mg/m³.

Διαφάνεια

Το χειμώνα, η διαφάνεια του νερού στον σταθμό δειγματοληψίας έφτασε τα 6,5 m. Καθώς η θερμική στρωμάτωση της λίμνης εξελίσσεται με την πάροδο των εποχών, τα επιφανειακά της στρώματα γίνονται όλο και πιο διαυγή. Έτσι, η διαφάνεια του νερού την άνοιξη έφτασε τα 10 m βάθος, το καλοκαίρι τα 11 m και το φθινόπωρο τα 14 m βάθος (Εικόνα 4.1).

4.3.2 Ημερονύκτια μετανάστευση ζωοπλαγκτού

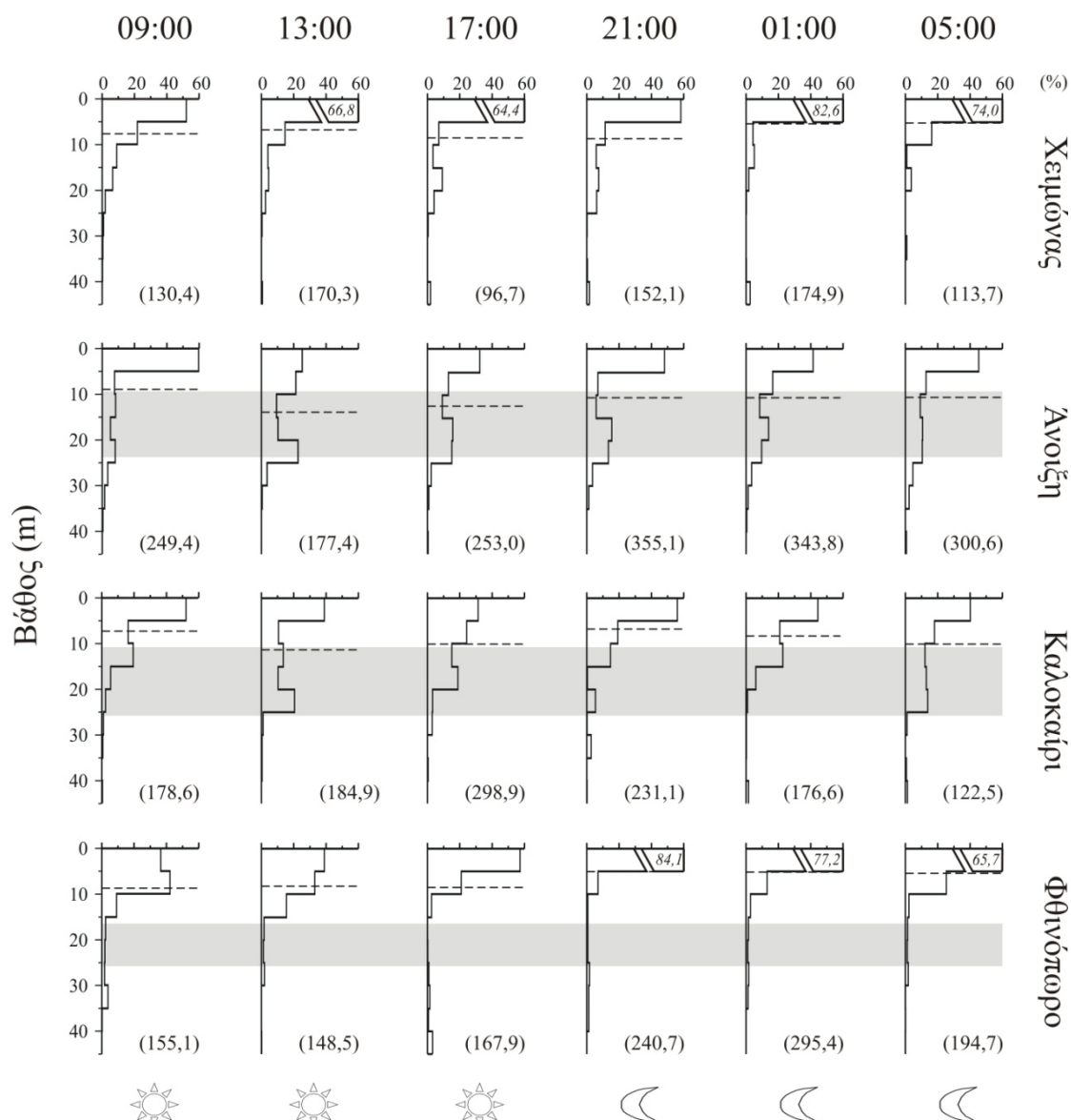
Η μέση αφθονία του συνολικού ζωοπλαγκτού στις τέσσερις εποχές κυμάνθηκε από 15,5 ind/l το χειμώνα έως 31,1 ind/l την άνοιξη (Πίνακας 4.1).

Η κατακόρυφη κατανομή του συνόλου του ζωοπλαγκτού παρουσίασε εποχικές μεταβολές (Kruskal-Wallis, $p=0,003$), με το μεγαλύτερο μέρος των οργανισμών να βρίσκεται συγκεντρωμένο στα επιφανειακότερα στρώματα (0-10 m) κυρίως κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα, ενώ την άνοιξη και το καλοκαίρι να είναι αυξημένη η παρουσία τους σε μεγαλύτερα βάθη. Πιο συγκεκριμένα, τις εποχές αυτές παρατηρήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις δικόρυφες κατανομές, με μία πρώτη κορυφή αφθονίας να εμφανίζεται στο επιφανειακό στρώμα (0-5 m) και μία δεύτερη μέσα στο θερμοκλινές (Εικ. 4.2).

Πίνακας 4.1: Εποχική καταγραφή της μέσης αφθονίας (ind/l) του συνόλου των ζωοπλαγκτικών ομάδων και των επιμέρους ειδών που αναγνωρίστηκαν κατά την παρούσα εργασία στη λίμνη Τριχωνίδα.

ΕΙΔΗ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
<i>Ascomorpha</i> sp.		0,1		0,003
<i>Asplanchna priodonta</i>			0,1	0,02
<i>Bdelloida</i>	0,01	0,02	0,01	0,001
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0,0001	0,0001	0,002	0,001
<i>Colotheca</i> sp.	0,001	0,04	0,1	0,01
<i>Conochilus unicornis</i>		0,01	0,2	0,003
<i>Euchlanis dilatata</i>	0,0003	0,1	0,01	0,003
<i>Filinia longiseta</i>	0,07	0,3	0,3	0,3
<i>Gastropus stylifer</i>	0,0001	1,1	0,1	0,2
<i>Hexarthra intermedia</i>	0,2	0,0003	0,1	
<i>Hexarthra mira</i>	0,3	0,01	0,2	0,001
<i>Kellicottia longispina</i>	0,3	7,7	0,6	0,5
<i>Keratella cochlearis</i>	0,0001	0,0002	0,0002	0,00003
<i>Keratella quadratta</i>	0,001	0,04	0,1	0,07
<i>Ploesoma truncatum</i>	0,003	0,3	0,02	0,07
<i>Polyarthra</i> sp.	0,03	0,1	0,01	0,02
<i>Pompholyx sulcata</i>		0,01	0,7	
<i>Synchaeta</i> sp.		0,01	0,4	0,02
<i>Trichocerca capuccina</i>	0,02		0,00003	0,003
<i>Trichocerca similis</i>	0,07	0,1	0,1	0,8
ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΟΧΟΖΩΩΝ	1,7	10,0	3,0	2,1
<i>E. drieschi</i> (Αρσενικά)	1,1	2,0	1,8	0,3
<i>E. drieschi</i> (Θηλυκά)	1,04	1,2	1,4	0,1
κωπηποδίτες <i>E. drieschi</i>	4,5	7,0	2,5	3,6
<i>M. albidus</i> (Θηλυκά)	0,04	0,1	0,00003	0,01
<i>M. albidus</i> (Αρσενικά)	0,07	0,2		0,02
κωπηποδίτες <i>M. albidus</i>	0,02	0,01	0,004	0,03
<i>M. varicans</i> (Θηλυκά)			0,0002	0,0001
<i>M. varicans</i> (Αρσενικά)			0,001	0,0002
κωπηποδίτες <i>M. varicans</i>	*	0,002	0,01	0,003
Κυκλοποειδή (Θηλυκά)	0,04	0,1	0,0002	0,01
Κυκλοποειδή (Αρσενικά)	0,07	0,2	0,001	0,02
κωπηποδίτες κυκλοποειδών	0,02	0,01	0,01	0,03
Ναύπλιοι κωπηπόδων	4,4	3,2	5,7	1,7
ΣΥΝΟΛΟ ΚΩΠΗΠΟΔΩΝ	11,2	13,7	11,3	5,9
<i>B. longirostris</i>	0,6	0,02	0,1	0,07
<i>Ceriodaphnia pulchella</i>			0,03	
<i>Daphnia</i> sp.	0,2	0,1		
<i>D. orghidani</i>	2,4	0,7	3,3	0,9
<i>Leptodora kindtii</i>			0,01	
ΣΥΝΟΛΟ ΚΛΑΔΟΚΕΡΩΝ	3,2	0,8	3,4	1,0
Προνύμφες <i>D. polymorpha</i>	0,1	6,6	4,4	13,2
ΣΥΝΟΛΟ ΖΩΟΠΛΑΓΚΤΟΥ	15,5	31,1	22,1	22,3

* δεν μετρήθηκαν ξεχωριστά



Εικόνα 4.2: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του συνολικού ζωοπλαγκτού. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Για το σύνολο του ζωοπλαγκτού δεν παρατηρήθηκε κάποιο πρότυπο ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις, ήταν εμφανής η απομάκρυνση ενός μέρους του συνόλου των οργανισμών από το επιφανειακό στρώμα και η κάθοδός του μέχρι τα κατώτερα στρώματα του θερμοκλινούς. Η τάση αυτή παρατηρήθηκε κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι ενώ ήταν πιο χαρακτηριστική κατά το μεσημέρι και το απόγευμα.

Στην ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία καταγράφηκαν 4 ζωοπλαγκτικές ομάδες. Τα κωπήποδα ήταν κυρίαρχα το χειμώνα, την άνοιξη και το καλοκαίρι με ποσοστά 71,9, 44,2 και 51,3 % αντίστοιχα, ενώ ακολουθούσαν το χειμώνα τα κλαδόκερα (20,4 %), την άνοιξη τα τροχόζωα (32,1 %) και το καλοκαίρι οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *Dreissena polymorpha* (19,9 %). Οι τελευταίες κυριάρχησαν το φθινόπωρο με ποσοστό 59,5 %, ενώ τα κωπήποδα αποτέλεσαν το 26,5 % του συνολικού ζωοπλαγκτού.

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η κατακόρυφη κατανομή των κυριότερων ζωοπλαγκτικών ειδών και ομάδων κατά τη διάρκεια του 24ώρου, στις τέσσερις περιόδους δειγματοληψίας.

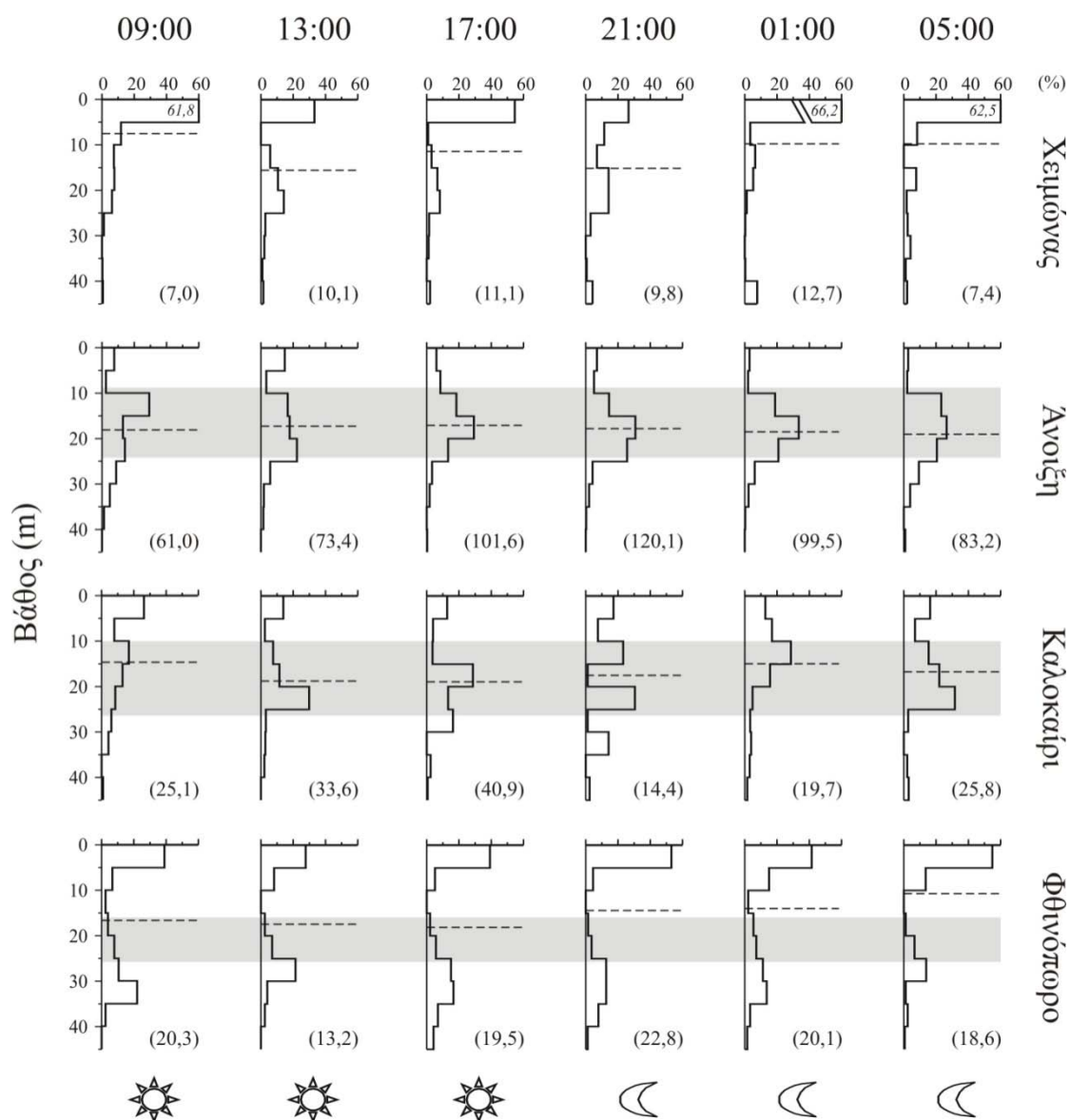
4.3.2.1 Τροχόζωα

Η μέση αφθονία των τροχοζώων κυμάνθηκε από 1,1 ind/l το χειμώνα έως 10,0 ind/l την άνοιξη (Πίνακας 4.1). Η κατακόρυφη κατανομή του συνόλου των τροχοζώων παρουσίασε εποχικές μεταβολές (Kruskal-Wallis, $p=0,007$), με τους οργανισμούς να βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια το χειμώνα και σε μεγαλύτερα βάθη την άνοιξη. Για το σύνολο των τροχοζώων δεν ήταν εμφανές κάποιο πρότυπο ημερονύκτιας μετανάστευσης, όμως, χαρακτηριστικό της κατακόρυφης κατανομής του ήταν η αυξημένη παρουσία τους στο στρώμα του θερμοκλινούς κατά την περίοδο θερμικής στρωμάτωσης της λίμνης, αλλά και η εμφάνιση δικόρυφων κατανομών, κυρίως το χειμώνα και το φθινόπωρο. Ιδιαίτερα το φθινόπωρο, φαίνεται να υπάρχει ένα στρώμα, μεταξύ των 10 και των 15 m βάθους, όπου τα τροχόζωα σχεδόν απουσιάζουν καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου (Εικόνα 4.3).

Στη βιοκοινωνία των τροχοζώων, μόνο το είδος *Kellicottia longispina* είχε σημαντική παρουσία και στις τέσσερις εποχές, με αφθονία που το καθιστούσε κυρίαρχο (την άνοιξη), ή δεύτερο σε αφθονία είδος (τις υπόλοιπες εποχές). Από τα υπόλοιπα είδη, αφθονότερα ήταν τα *Hexarthra mira* και *H. intermedia* το χειμώνα, τα *Gastropus stylifer* και *Ploesoma truncatum* την άνοιξη, τα *Pompholyx sulcata* και *Synchaeta* sp. το καλοκαίρι και τα *Trichocerca similis* και *Filinia longiseta* το φθινόπωρο.

Για την περίπτωση των τροχοζώων θα πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά τις μικρές ημερονύκτιες μετακινήσεις των επιμέρους ειδών, δεν ήταν ξεκάθαρη η ύπαρξη κάποιου

προτύπου ΗΚΜ. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η ημερονύκτια κατακόρυφη κατανομή των σημαντικότερων σε αφθονία ειδών τροχοζώων στις τέσσερις εποχές.



Εικόνα 4.3: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του συνόλου των τροχοζώων. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Kellicottia longispina

Το είδος *K. longispina* βρέθηκε και στις τέσσερις εποχές, με μέση αφθονία που κυμάνθηκε από 0,3 ind/l το χειμώνα έως 7,7 ind/l την άνοιξη (Πίνακας 4.1). Χαρακτηριστική ήταν η προτίμηση αυτού του είδους για τα μεγαλύτερα βάθη, καθώς η παρουσία του στο επιφανειακό στρώμα των 0-10 m ήταν εξαιρετικά περιορισμένη καθόλη την περίοδο δειγματοληψίας (Εικόνα 4.4). Το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής του παρουσίασε στατιστικά σημαντική μεταβολή μεταξύ των τεσσάρων εποχών (Kruskal-Wallis, $p=0,001$) καθώς, κατά τη διάρκεια της στρωμάτωσης, η κατανομή του παρουσίασε μέγιστο μέσα στο θερμοκλινές, ακολουθώντας τη βύθισή του.

Το χειμώνα τα άτομα αυτού του είδους βρέθηκαν σε όλο το βάθος της υδάτινης στήλης, με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να βρίσκεται μεταξύ των 15-25 m.

Την άνοιξη, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε συγκεντρωμένο μέσα στο θερμοκλινές σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου, ενώ το καλοκαίρι το φαινόμενο αυτό ήταν ακόμη πιο έντονο. Οι μεταβολές στην ημερονύκτια κατακόρυφη κατανομή του και στις δύο εποχές εντοπίστηκαν κυρίως στα όρια του μεταλιμνίου και μόνο το βράδυ (21:00) άτομα του είδους βρέθηκαν στο επιφανειακό στρώμα (0- 5 m).

Το φθινόπωρο το είδος συναντάται κάτω από τα 10 m, με ένα σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού να βρίσκεται και κάτω από το θερμοκλινές. Μεταβολές στην κατακόρυφη κατανομή συνέβαιναν κυρίως μεταξύ μεταλιμνίου και υπολιμνίου, ενώ το βράδυ και το ξημέρωμα μέρος του πληθυσμού βρέθηκε στο επιφανειακό στρώμα (0- 5 m).

Η κατανομή του *K. longispina* στον κατακόρυφο άξονα συσχετίστηκε θετικά με το DO σε κάποιες ώρες δειγματοληψίας (09:00, 17:00 και 01:00) το καλοκαίρι ($0,738 < r < 0,812$, $p < 0,05$), ενώ συσχετίστηκε αρνητικά με την θερμοκρασία σε κάποιες ώρες (09:00, 21:00 και 01:00) το φθινόπωρο ($-0,720 < r < -0,760$, $p < 0,05$). Επιπλέον, το *K. longispina* έδειξε θετική συσχέτιση με την συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α σε κάποιες περιπτώσεις το χειμώνα (13:00), την άνοιξη (13:00) και το καλοκαίρι (09:00) ($0,953 < r < 0,997$, $p < 0,05$).

Fillinia longiseta

Το είδος *F. longiseta* βρέθηκε και στις τέσσερις εποχές με μέση αφθονία που κυμάνθηκε από 0,08 ind/l το χειμώνα έως 0,3 ind/l το φθινόπωρο (Πίνακας 4.1). Σε αυτές

τις εποχές και ιδιαίτερα το φθινόπωρο, το είδος είχε βαθύτερη κατανομή σε σχέση με την άνοιξη και το καλοκαίρι (Kruskal-Wallis, $p=0,000$).

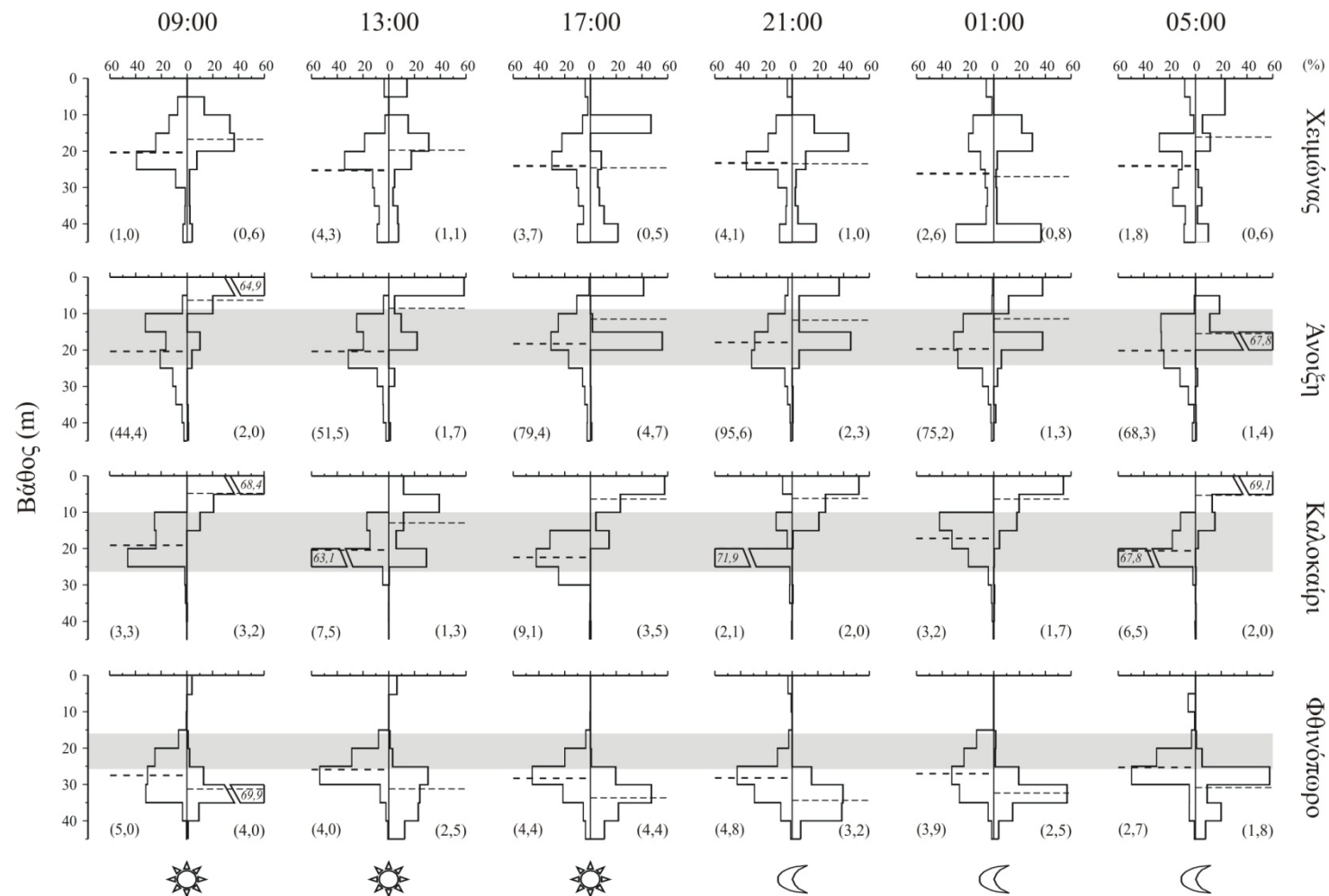
Το χειμώνα, τα άτομα αυτού του είδους απουσίαζαν από το επιφανειακό στρώμα (0-5 m) όλες τις ώρες εκτός από το μεσημέρι και το ξημέρωμα, ενώ κατανέμονταν σχεδόν σε όλη την υπόλοιπη υδάτινη στήλη. Το μεγαλύτερο μέρος τους βρέθηκε συγκεντρωμένο μεταξύ των 10-25 m το πρωί και το μεσημέρι, ενώ το απόγευμα, το βράδυ και κατά τις πρώτες πρωινές ώρες παρατηρήθηκε μια δικόρυφη κατανομή, με αυξημένη παρουσία τους, εκτός από το παραπάνω στρώμα, και στα 40-45 m. Το ξημέρωμα το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε συγκεντρωμένο στα 0-20 m.

Την άνοιξη παρατηρήθηκε δικόρυφη κατανομή σχεδόν καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου, με αποτέλεσμα το σύνολο του πληθυσμού να μοιράζεται στο επιφανειακό στρώμα και στο θερμοκλινές, εκτός από το ξημέρωμα, όταν σχεδόν το σύνολο του πληθυσμού βρέθηκε συγκεντρωμένο μέσα στο θερμοκλινές.

Το καλοκαίρι, τα άτομα αυτού του είδους βρέθηκαν να κατανέμονται κυρίως από την επιφάνεια μέχρι τα 15 m βάθος. Το μεσημέρι και το απόγευμα παρατηρήθηκε βαθύτερη, δικόρυφη κατανομή μέχρι τα κατώτερα (20-25 m) και τα μεσσαία (15-20 m) στρώματα του θερμοκλινούς, αντίστοιχα.

Κατά το φθινόπωρο παρατηρήθηκε τελείως διαφορετική κατακόρυφη κατανομή, καθώς τα άτομα αυτού του είδους απουσίασαν από το επιλίμνιο και το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του βρέθηκε να κατανέμεται στο υπολίμνιο, ανεβαίνοντας στα κατώτερα στρώματα του θερμοκλινούς μόνο το ξημέρωμα (Εικόνα 4.4).

Η κατακόρυφη κατανομή του *F. longiseta* συσχετίστηκε αρνητικά με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α σχεδόν σε όλες τις ώρες δειγματοληψίας το φθινόπωρο, εκτός από το ξημέρωμα ($-0,952 < r < -0,987$, $p < 0,05$). Θετική συσχέτιση υπήρξε με την θερμοκρασία σε κάποιες ώρες το χειμώνα, την άνοιξη (09:00, $r = 0,808$, $p < 0,05$) και σε όλες σχεδόν τις ώρες το καλοκαίρι ($0,774 < r < 0,925$, $p < 0,05$), εκτός από το μεσημέρι, ενώ υπήρξε αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία το φθινόπωρο (13:00, 17:00 και 21:00, $-0,746 < r < -0,795$, $p < 0,05$).



Εικόνα 4.4: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των *K. longispina* (αριστερά) και *F. longiseta* (δεξιά). Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

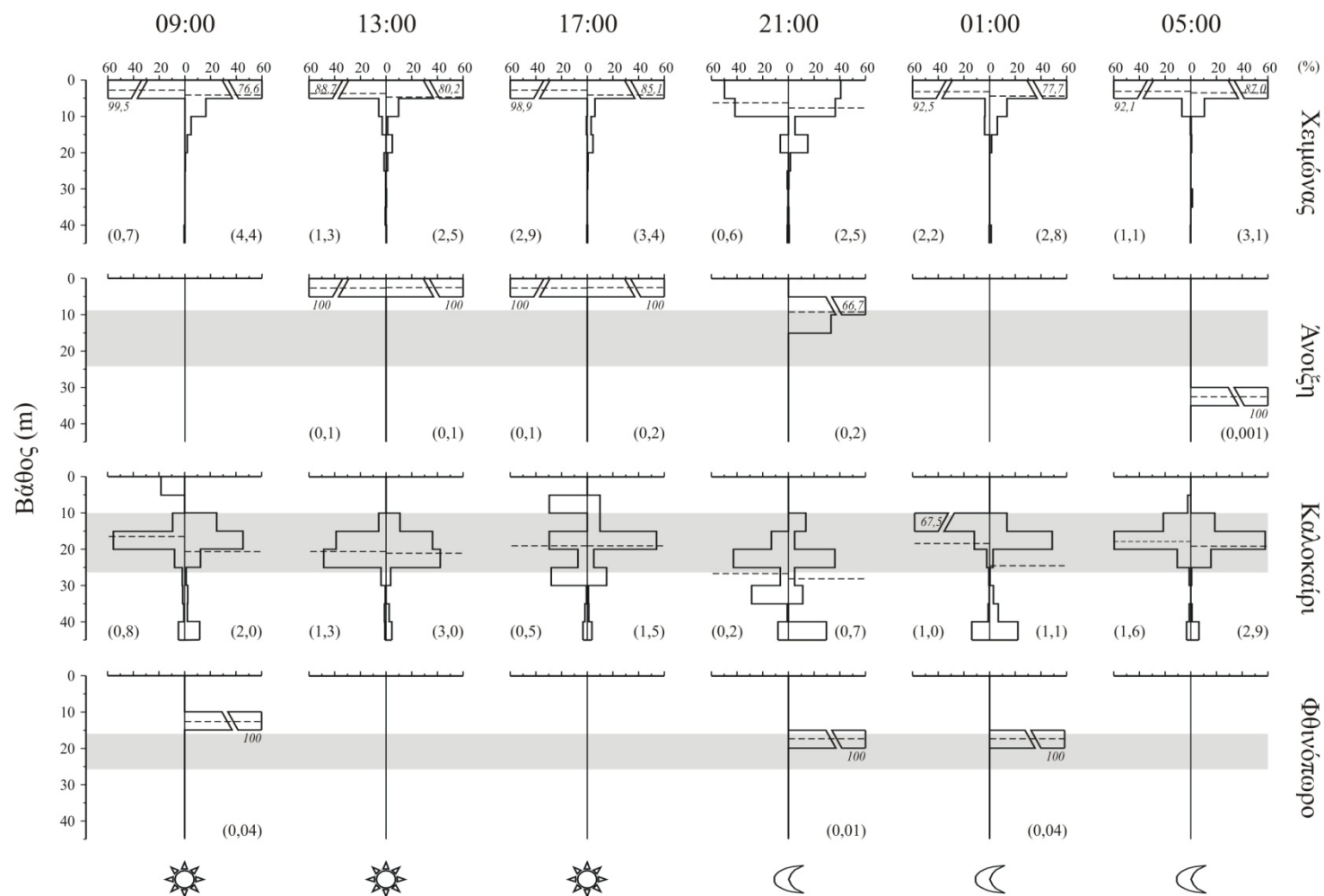
Hexarthra mira* και *H. intermedia

Το είδος *H. mira* ήταν γενικά αφθονότερο από το *H. intermedia*. Βρέθηκε σποραδικά την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ το χειμώνα και το καλοκαίρι η μέση αφθονία του ήταν 0,3 και 0,2 ind/l, αντίστοιχα. Το είδος *H. intermedia* δε βρέθηκε καθόλου το φθινόπωρο και ήταν επίσης σπάνιο την άνοιξη, ενώ η μέση αφθονία του το χειμώνα και το καλοκαίρι ήταν 0,2 και 0,1 ind/l, αντίστοιχα. (Πίνακας 4.1). Τα δύο είδη εμφάνισαν χαρακτηριστική ομοιότητα στις κατακόρυφες κατανομές τους κατά τη διάρκεια του 24ώρου στις δύο εποχές που συνυπήρχαν (χειμώνα και καλοκαίρι), γεγονός που επιβεβαιώνεται και στατιστικά (U-test, $p=0.055$ και $p=0.109$ αντίστοιχα).

Η διακύμανση του μέσου βάθου κατακόρυφης κατανομής έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο εποχών (Kruskal-Wallis, $p=0.004$ και για τα δύο είδη), καθώς και τα δύο είδη κατανέμονταν σε επιφανειακότερα βάθη το χειμώνα.

Πιο αναλυτικά, το χειμώνα, το μεγαλύτερο μέρος των δύο πληθυσμών βρέθηκε στο επιφανειακό 0-5 m στρώμα σχεδόν καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου και μόνο το βράδυ (21:00) εμφανίστηκε μια διασπορά σε μεγαλύτερα βάθη που έφταναν τα 20 m. Αντίθετα, το καλοκαίρι, το μεγαλύτερο μέρος και των δύο πληθυσμών βρέθηκε συγκεντρωμένο μέσα στα όρα του θερμοκλινούς, ενώ στις βραδυνές ώρες ήταν εμφανής μία κάθοδος στο υπολίμνιο (Εικόνα 4.5).

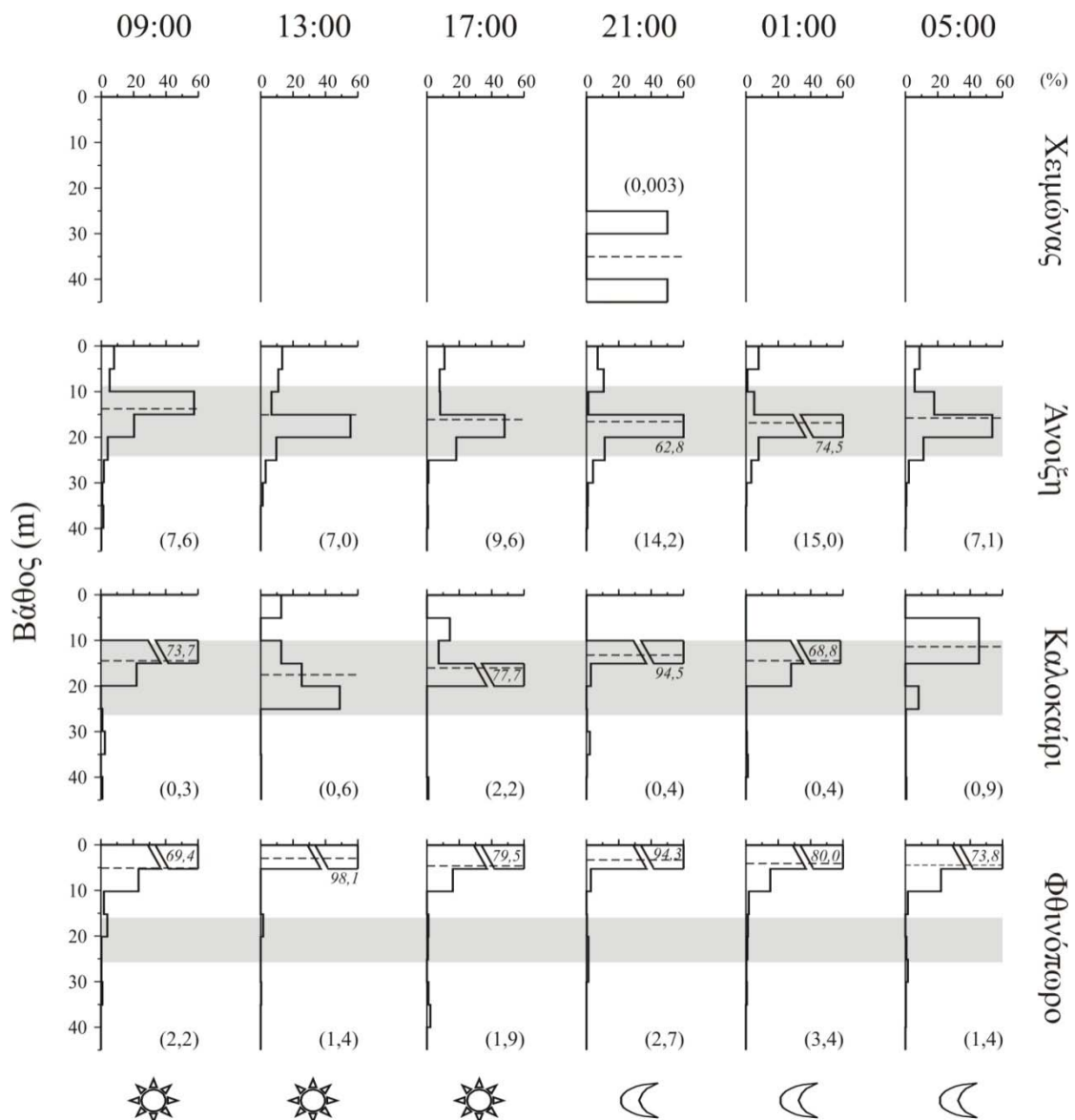
Ισχυρή θετική συσχέτιση της κατακόρυφης κατανομής του *H. mira* με τη θερμοκρασία βρέθηκε σε όλες τις ώρες δειγματοληψίας το χειμώνα ($0.892 < r < 0.972$, $p < 0.01$).



Εικόνα 4.5: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των *H. intermedia* (αριστερά) και *H. mira* (δεξιά). Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Gastropus stylifer

Το είδος *G. stylifer* ήταν σπάνιο στο νερό το χειμώνα ενώ, τις υπόλοιπες εποχές, η μέση αφθονία του κυμάνθηκε από 0,01 ind/l το καλοκαίρι έως 1,1 ind/l την άνοιξη (Πίνακας 4.1). Η διακύμανση του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών εποχών (Kruskal-Wallis, $p=0,003$), καθώς το φθινόπωρο κατανέμονταν σε μικρότερα βάθη από ότι την άνοιξη και το καλοκαίρι.

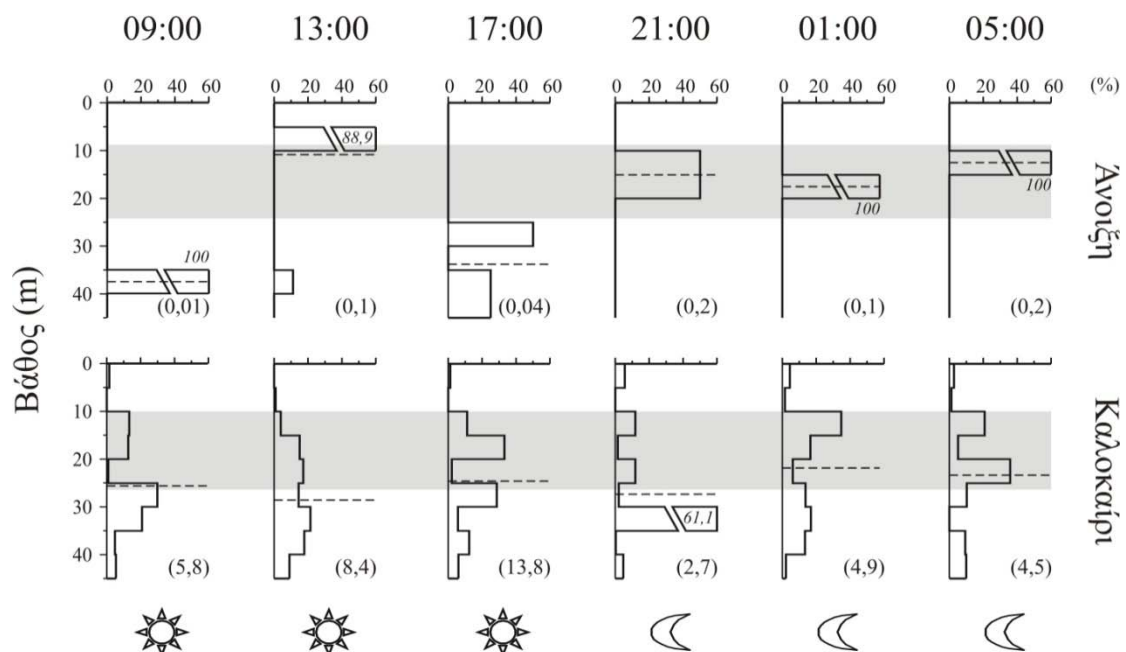


Εικόνα 4.6: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *G. stylifer*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Την άνοιξη, τα άτομα αυτού του είδους βρέθηκαν από την επιφάνεια μέχρι τα 25 m, με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να βρίσκεται συγκεντρωμένο μέσα στο θερμοκλινές. Το καλοκαίρι, η κατακόρυφη κατανομή του ήταν περισσότερο περιορισμένη εντός του θερμοκλινούς και λίγα άτομα αυτού του είδους βρέθηκαν στο επιλίμνιο μόνο κατά το μεσημέρι, το απόγευμα και το ξημέρωμα. Το φθινόπωρο το είδος αυτό βρέθηκε σχεδόν αποκλειστικά στα 0-10 m και κυρίως στο επιφανειακό στρώμα (0-5 m) σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου (Εικόνα 4.6).

Pompholyx sulcata

Το είδος *P. sulcata* απουσίαζε από το ζωοπλαγκτό της λίμνης το φθινόπωρο και το χειμώνα και εμφανίστηκε μόνο την άνοιξη και το καλοκαίρι, με μέση αφθονία 0,01 και 0,7 ind/l, αντίστοιχα (Πίνακας 4.1). Μεταξύ των δύο εποχών, δεν παρατηρήθηκε μεταβολή στην κατακόρυφη κατανομή του, καθώς ήταν εμφανής η προτίμησή του στα μεγαλύτερα βάθη. Ιδιαίτερα το καλοκαίρι, ήταν χαρακτηριστική η περιορισμένη παρουσία του στα 0-10 m καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *P. sulcata*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Το πρωί, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του *P. sulcata* βρέθηκε στο υπολίμνιο, ενώ το μεσημέρι και το απόγευμα παρατηρήθηκε αύξηση της παρουσίας τους μέσα στο θερμοκλινές. Το βράδυ, άτομα του είδους βρέθηκαν και στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m, ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού παρέμεινε στο υπολίμνιο. Τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα παρατηρήθηκε και πάλι αύξηση της παρουσίας τους μέσα στο θερμοκλινές. Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι οι μεταβολές στην κατακόρυφη κατανομή του *P. sulcata* κατά τη διάρκεια του 24ώρου περιορίστηκαν κυρίως μεταξύ του θερμοκλινούς και του υπολιμνίου, χωρίς σε αυτές να αντανakλάται κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο ΗΚΜ.

Trichocerca similis

Το είδος *T. similis* είχε σποραδική εμφάνιση το χειμώνα, ενώ τις υπόλοιπες εποχές η μέση αφθονία του κυμάνθηκε από 0,1 ind/l το καλοκαίρι έως 0,8 ind/l το φθινόπωρο (Πίνακας 4.1). Από τα στοιχεία του μέσου βάθους κατανομής δεν φάνηκε να μεταβάλλεται η κατακόρυφη κατανομή του *T. similis* μεταξύ των εποχών (Kruskal-Wallis, $p=0,220$), καθώς το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του βρέθηκε κυρίως μεταξύ των 0-10 m (Εικόνα 4.9).

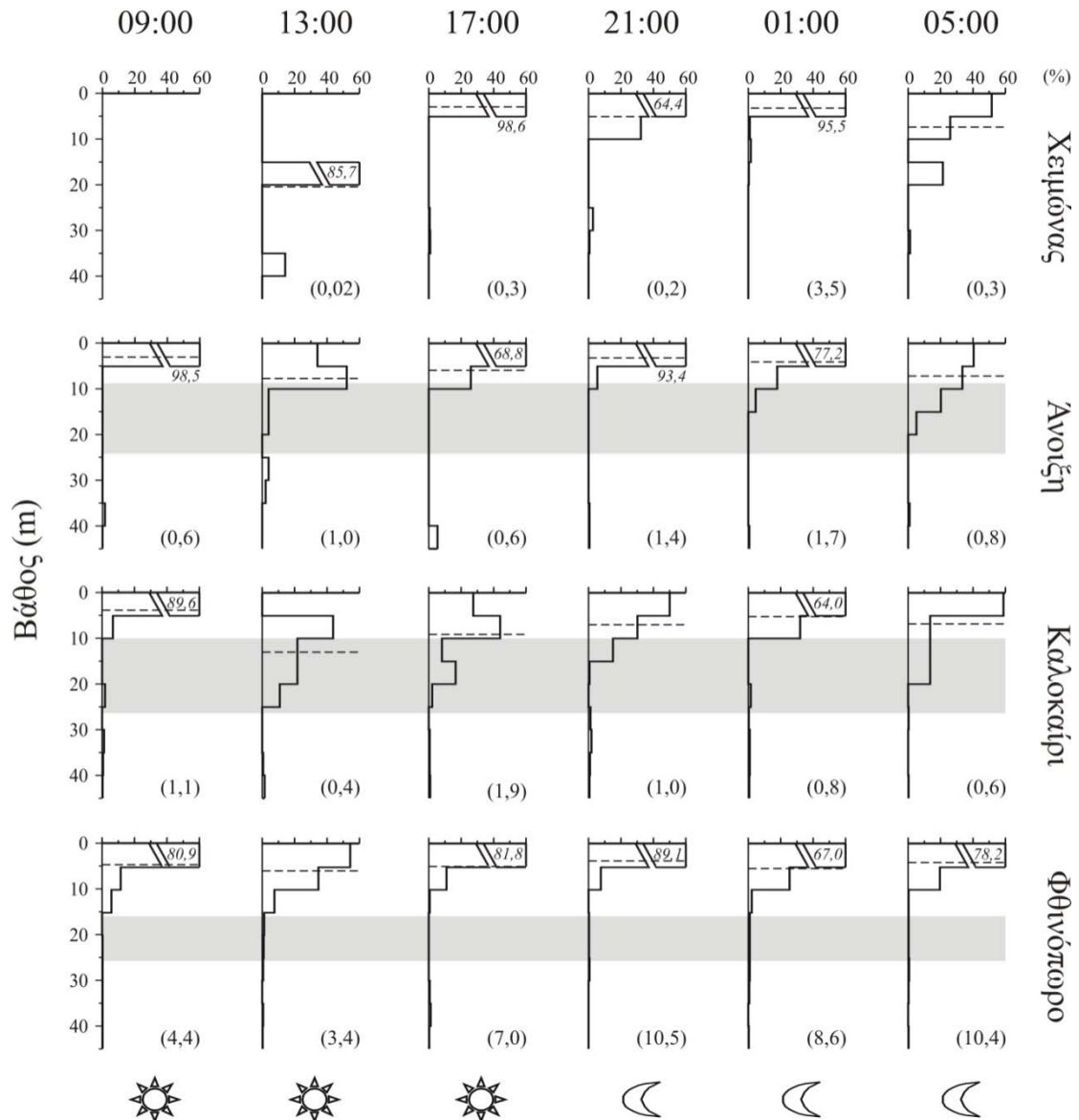
Την άνοιξη, σχεδόν το σύνολο του πληθυσμού βρέθηκε κοντά στην επιφάνεια (0-5 m) το πρωί, ενώ το μεσημέρι ένα μέρος του βυθίστηκε κυρίως στο στρώμα των 5-10 m αλλά και μέσα στο θερμοκλινές. Τις υπόλοιπες ώρες, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε και πάλι κυρίως στο επιφανειακό στρώμα (0-5 m), ενώ μια βαθύτερη κατανομή μέχρι τα 20 m παρατηρήθηκε το ξημέρωμα.

Παρόμοια ήταν η κατανομή των οργανισμών και το καλοκαίρι. Αυτή την εποχή, ωστόσο, το είδος δεν βρέθηκε καθόλου στο επιφανειακό 0-5 m στρώμα το μεσημέρι και η παραμονή του σε βάθη κοντά και μέσα στο θερμοκλινές συνεχίστηκε και το απόγευμα.

Το φθινόπωρο, τα άτομα του είδους αυτού δεν εμφάνισαν ιδιαίτερη μεταβολή στην κατακόρυφη κατανομή τους κατά τη διάρκεια του 24ώρου καθώς το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε συγκεντρωμένο κυρίως στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m. Ωστόσο, και αυτή την εποχή, παρατηρήθηκε μια μικρή κάθοδος στα 5-10 m το μεσημέρι, πολύ μικρότερης, όμως, έντασης.

Στην 24ωρη διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής του *T. similis* που παρατηρήθηκε το καλοκαίρι, ίσως να μπορούσε να διακριθεί κάποιο πρότυπο παρόμοιο με

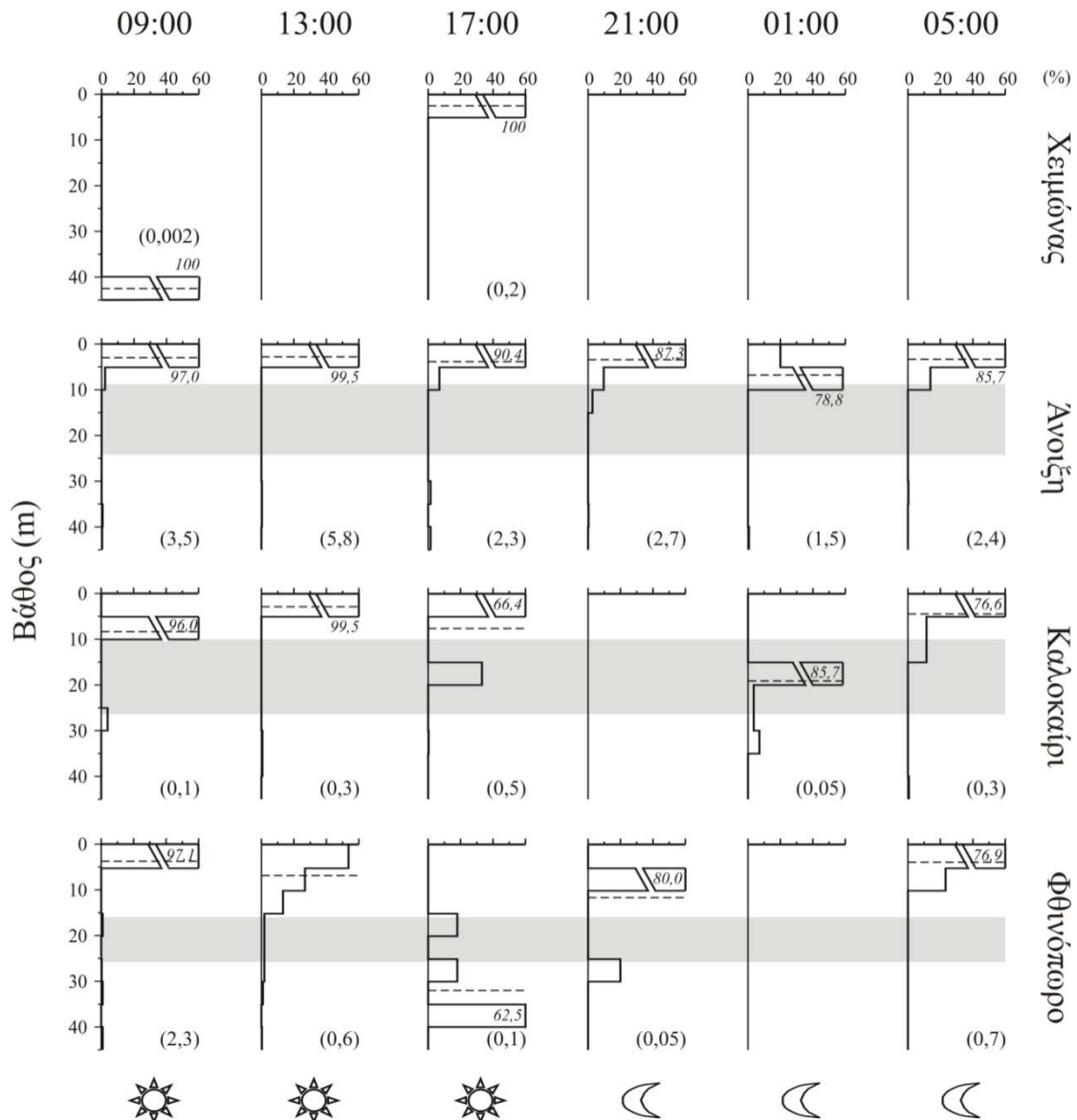
αυτό της «κανονικής ΗΚΜ», κατά την οποία οι οργανισμοί απομακρύνονται από τα επιφανειακά στρώματα την ημέρα και επιστρέφουν σε αυτά τη νύχτα.



Εικόνα 4.9: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *T. similis*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Ploesoma truncatum

Το είδος *P. truncatum* ήταν αρκετά σπάνιο στο νερό το χειμώνα, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, ενώ την άνοιξη η μέση αφθονία του ήταν 0,3 ind/l (Πίνακας 4.1). Δεν ήταν εμφανές κάποιο πρότυπο ΗΚΜ για το *P. truncatum*, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε στο επιφανειακό 0-5 m στρώμα σχεδόν καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου και μόνο κατά τις πρώτες πρωινές ώρες τα άτομα αυτού του είδους βρισκόντουσαν μεταξύ των 5-10 m (Εικόνα 4.7).

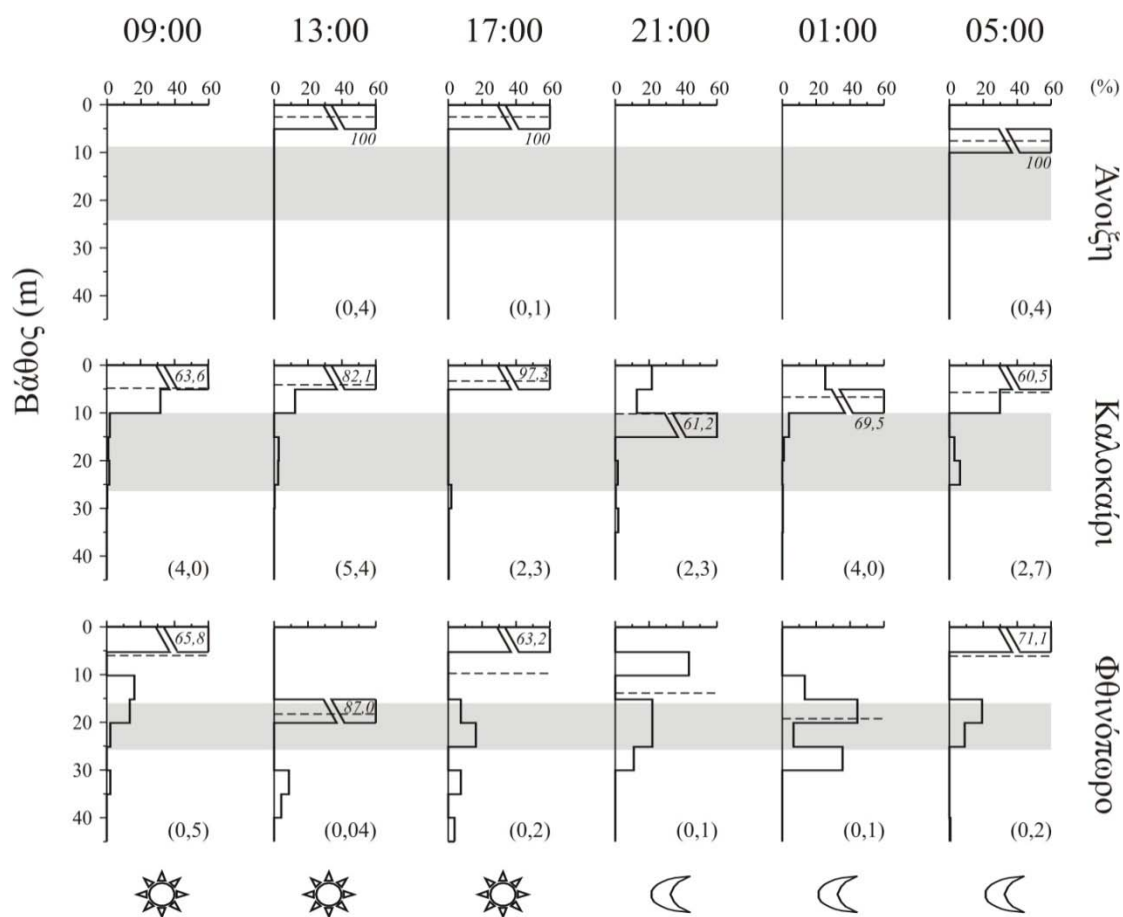


Εικόνα 4.7: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *P. truncatum*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

***Synchaeta* sp.**

Το γένος *Synchaeta* sp. δεν βρέθηκε καθόλου το χειμώνα, βρέθηκε σποραδικά στο ζωοπλαγκτό της λίμνης την άνοιξη, ενώ η μέση αφθονία του το καλοκαίρι και το φθινόπωρο ήταν 0,4 και 0,02 ind/l, αντίστοιχα (Πίνακας 4.1). Το καλοκαίρι τα άτομα αυτού του γένους είχαν επιφανειακότερη κατανομή από ότι το φθινόπωρο (U-test, $p=0,010$).

Το καλοκαίρι, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε στα επιφανειακότερα στρώματα 0-10 m κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ το βράδυ παρατηρήθηκε κάθοδος μέχρι τα ανώτερα στρώματα του θερμοκλινούς (10-15 m). Τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα τα άτομα του γένους αυτού βρέθηκαν ξανά στο επιλίμνιο και σταδιακά στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m.



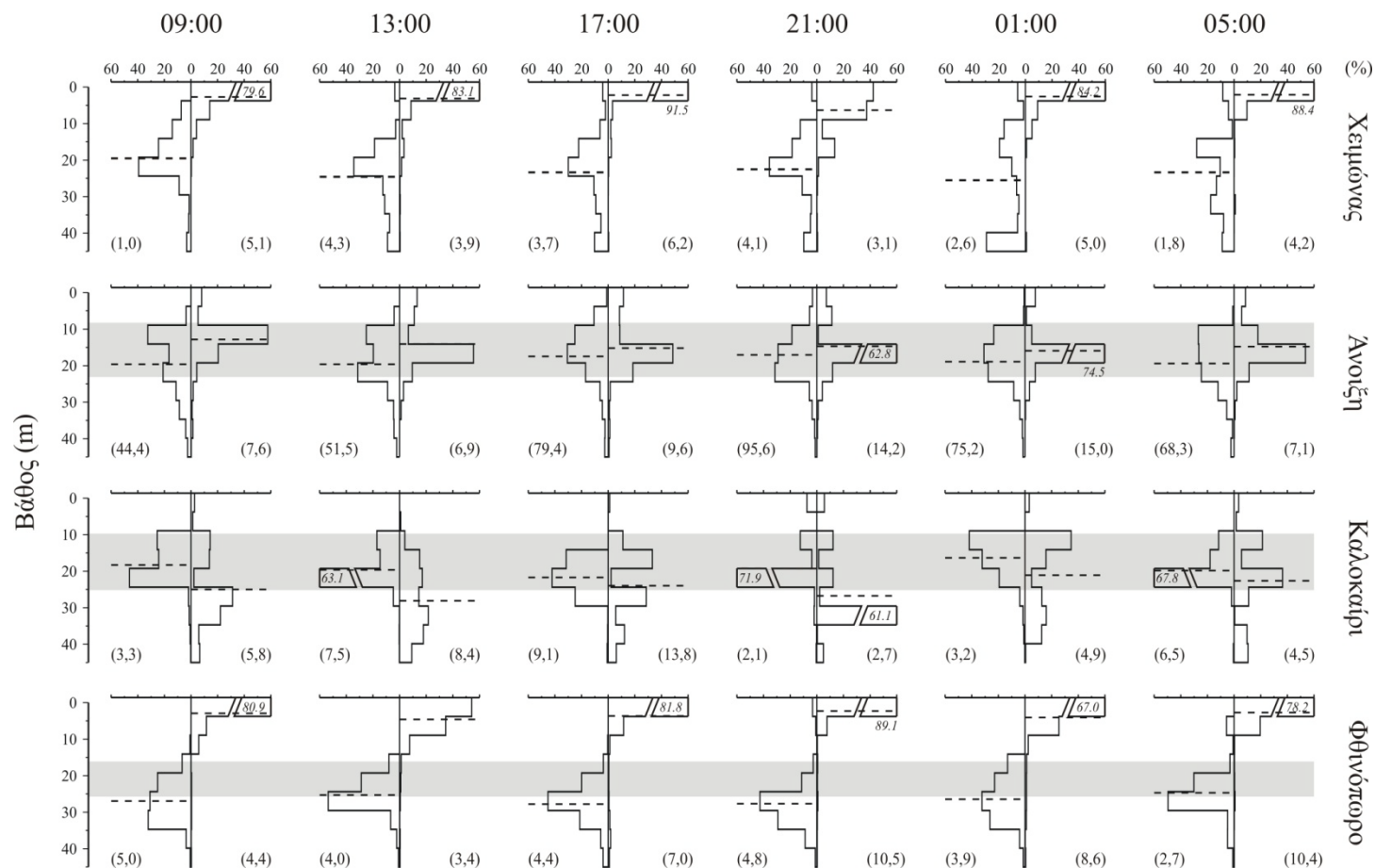
Εικόνα 4.10: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *Synchaeta* sp. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Το φθινόπωρο, παρουσιάστηκαν δικόρυφες κατανομές καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου, ωστόσο οι μικρές τιμές αφθονίας δεν επιτρέπουν την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για τις κατακόρυφες μετακινήσεις του (Εικόνα 4.10).

Αντίθετα, η 24ωρη διακύμανση της κατακόρυφης κατανομής του γένους *Synchaeta* sp. που παρατηρήθηκε το καλοκαίρι, θα μπορούσε να αντανakλά το πρότυπο της ανάστροφης ΗΚΜ, κατά την οποία οι οργανισμοί μεταβαίνουν σε μεγαλύτερα βάθη κατά τη διάρκεια της νύχτας (Εικόνα 4.10).

Κατακόρυφη στρωμάτωση των ειδών

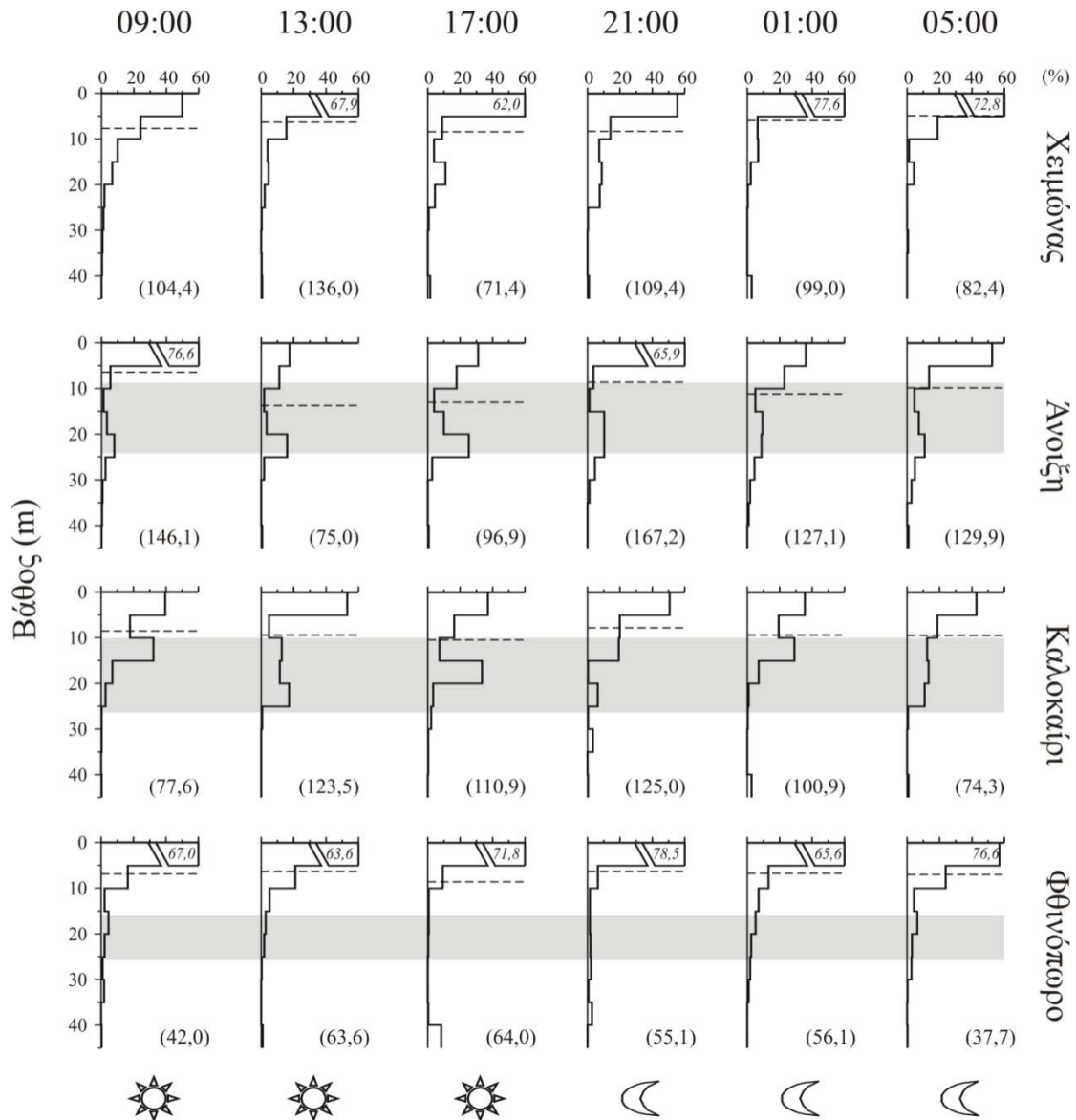
Η σύγκριση της ημερονύκτιας διακύμανσης του μέσου βάθους κατανομής μεταξύ των ειδών, έδειξε την ύπαρξη του φαινομένου του κατακόρυφου διαχωρισμού στις κατανομές των πιο άφθονων ειδών τροχοζώων (ή αλλιώς κατακόρυφη στρωμάτωση) σε όλες τις εποχές (Εικόνα 4.11). Πιο συγκεκριμένα, το χειμώνα τέτοια στρωμάτωση υπήρξε μεταξύ του γένους *Hexarthra* sp. που βρέθηκε κυρίως στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m, και του *K. longispina* που βρισκόταν βαθύτερα, μεταξύ των 15 και 25 m (U-test, $p=0,004$). Την άνοιξη, παρόμοια κατάσταση σημειώθηκε στην κατακόρυφη κατανομή των δύο αφθονότερων ειδών τροχοζώων, *K. longispina* και *G. stylifer* (U-test, $p=0,004$). Και τα δύο είδη βρέθηκαν κυρίως εντός του θερμοκλινούς, ωστόσο το *G. stylifer* κατανέμονταν επίσης στο επιλίμνιο, ενώ το *K. longispina* στο υπολίμνιο. Αντίθετα, το τρίτο σε αφθονία είδος *P. truncatum* βρέθηκε επιφανειακότερα (Kruskal-Wallis, $p=0,060$). Το καλοκαίρι, τα δύο αφθονότερα είδη τροχοζώων *P. sulcata* και *K. longispina* είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην κατακόρυφη κατανομή τους (U-test, $p=0,006$), με το πρώτο να κατανέμεται σε μεγαλύτερα βάθη από το δεύτερο. Αντίθετα, τα λιγότερο άφθονα είδη *Synchaeta* sp. και *F. longiseta* είχαν παρόμοια ημερονύκτια κατακόρυφη κατανομή (U-test, $p=0,423$) και βρέθηκαν κυρίως στο επιφανειακό στρώμα, κατακόρυφα διαχωρισμένα από τα δύο προηγούμενα είδη με τη μεγαλύτερη αφθονία. Το φθινόπωρο, το είδος *T. similis* βρέθηκε κυρίως στο επιλίμνιο, ενώ το *K. longispina* στο μεταλίμνιο και υπολίμνιο, έχοντας σχεδόν απόλυτα διακριτούς ορίζοντες βάθους (U-test, $p=0,004$). Το τρίτο σε αφθονία είδος *F. longiseta* βρέθηκε μόνο στο υπολίμνιο, έχοντας διαφορετική κατανομή από το *K. longispina* (U-test, $p=0,004$), ενώ τέταρτο σε αφθονία αυτή την εποχή *G. stylifer* είχε παρόμοια κατανομή με το *T. similis* (U-test, $p=0,337$).



Εικόνα 4.11: Ημερονύκτια κατακόρυφη κατανομή των *K. longispina* (αριστερά) και *Hexarthra* sp. (δεξιά) το χειμώνα, *K. longispina* (αριστερά) και *G. stylifer* (δεξιά) την άνοιξη, *K. longispina* (αριστερά) και *P. sulcata* (δεξιά) το καλοκαίρι και *K. longispina* (αριστερά) και *T. similis* (δεξιά) το φθινόπωρο. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

4.3.2.2 Κωπήποδα

Η μέση αφθονία του συνόλου των κωπηπόδων κυμάνθηκε από 5,9 ind/l το φθινόπωρο έως 13,7 ind/l την άνοιξη (Πίνακας 4.1). Η κατακόρυφη κατανομή τους διέφερε μεταξύ των εποχών (Kruskal-Wallis, $p=0,005$), καθώς κατανέμονταν επιφανειακότερα το χειμώνα και το φθινόπωρο και βαθύτερα την άνοιξη και το καλοκαίρι.



Εικόνα 4.12: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του συνόλου των κωπηπόδων. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Πιο συγκεκριμένα, το χειμώνα και το φθινόπωρο το μεγαλύτερο μέρος των κωπηπόδων ήταν συγκεντρωμένο κυρίως στα 0-10 m καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου. Την άνοιξη, και κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρήθηκε δικόρυφη κατανομή του συνόλου των κωπηπόδων μέχρι τα 30 m, με τα μεγαλύτερα ποσοστά να σημειώνονται στο επιφανειακό στρώμα (0-5 m) και στα κατώτερα στρώματα του θερμοκλινούς (20-25 m). Το βράδυ και το ξημέρωμα τα περισσότερα κωπήποδα βρέθηκαν ξανά συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια, ενώ μεσολάβησε μια μικρή βύθιση κυρίως στο στρώμα των 5-10 m κατά τις πρώτες πρωινές ώρες. Αυτές οι κατακόρυφες μετακινήσεις παραπέμπουν στο πρότυπο HKM που είναι γνωστό ως «μετανάστευση του λυκόφωτος» (Εικόνα 4.12). Το καλοκαίρι και πάλι η κατανομή των κωπηπόδων εναλλάσσονταν μεταξύ επιφάνειας και θερμοκλινούς με δικόρυφες κατανομές κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά τις πρώτες πρωινές ώρες (Εικόνα 4.12).

E. drieschi

Μεταξύ των κωπηπόδων, κυρίαρχο ήταν το καλανοειδές είδος *E. drieschi*, με μέση αφθονία που κυμαίνονταν από 4,4 ind/l το φθινόπωρο έως 10,3 ind/l την άνοιξη. Η διακύμανση του μέσου βάθους κατανομής έδειξε την ύπαρξη εποχικών διαφορών στην κατακόρυφη κατανομή τόσο των ενήλικων όσο και των κωπηποδιτών (Kruskal-Wallis test, $p=0,045$ και $p=0,001$ αντίστοιχα), αλλά και διαφορές στις κατακόρυφες κατανομές μεταξύ των επιμέρους αναπτυξιακών σταδίων. Το χειμώνα και το φθινόπωρο, οι κωπηποδίτες ήταν συγκεντρωμένοι πιο κοντά στην επιφάνεια σε σχέση με τα ενήλικα (U-test, $p=0,025$ και $p=0,006$ αντίστοιχα), ενώ και τα δύο αυτά στάδια κατανέμονταν σε μεγαλύτερα βάθη την άνοιξη και το καλοκαίρι (Εικόνα 4.13).

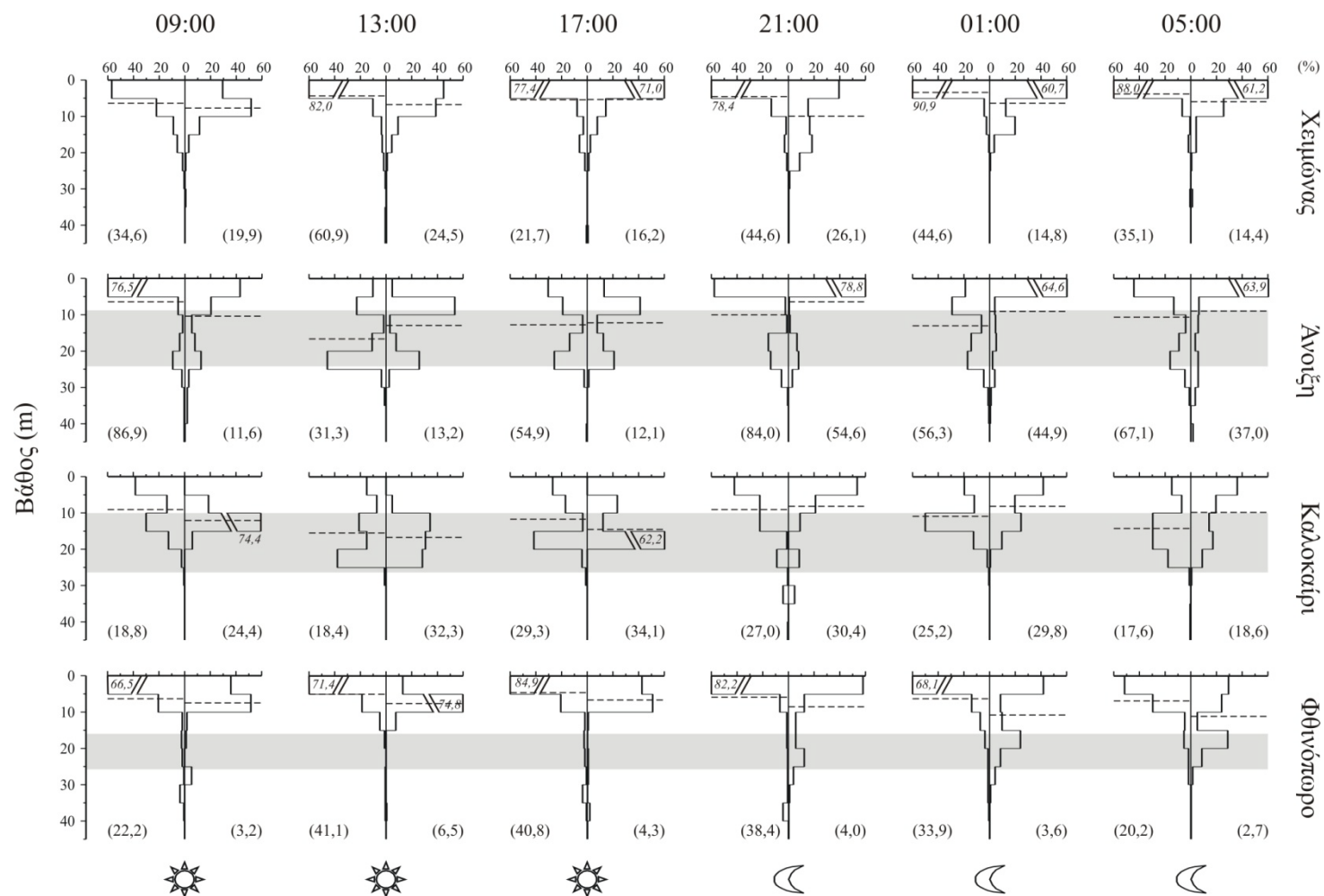
Στατιστικά σημαντικές διαφορές σημειώθηκαν και μεταξύ του μέσου βάθους κατανομής των αρσενικών και των θηλυκών κωπηπόδων το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο (U-test, $p=0,025$, $p=0,016$ και $p=0,037$, αντίστοιχα), όπου στις περισσότερες περιπτώσεις, τα θηλυκά άτομα κατανέμονταν βαθύτερα (Εικ 4.14). Ποικίλα πρότυπα ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης καταγράφηκαν την άνοιξη και το καλοκαίρι για τα ενήλικα άτομα και τους κωπηποδίτες του *E. drieschi*. Κατά τις κινήσεις αυτές, τα περισσότερα άτομα έμπαιναν στο θερμοκλινές.

Το χειμώνα, η συντριπτική πλειοψηφία των κωπηποδιτών του *E. drieschi* βρέθηκε συγκεντρωμένη στο επιφανειακό στρώμα (0–5 m) καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου. Αντίθετα, το μεγαλύτερο μέρος των ενήλικων ατόμων βρισκόταν στα 0-10 m κατά τη

διάρκεια της ημέρας, ενώ το βράδυ παρατηρήθηκε διασπορά της κατανομής τους μέχρι τα 25 m βάθος. Κατά τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα, το μεγαλύτερο μέρος των ενήλικων συναντάται ξανά στα 0-10 m (Εικόνα 4.13).

Την άνοιξη, η κατακόρυφη κατανομή των κωπηποδιτών χαρακτηρίστηκε από δύο κορυφές, μια στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m και μια στα 15-25 m. Αυτό το μοτίβο ήταν πιο έντονο το μεσημέρι και το απόγευμα, ενώ το βράδυ παρατηρήθηκε αύξηση των ποσοστών των κωπηποδιτών στο επιφανειακό στρώμα. Η ανοδική αυτή τάση διακόπηκε κατά τις πρώτες πρωινές ώρες όταν, όπως και το μεσημέρι, το μεγαλύτερο ποσοστό τους εντοπίστηκε μέσα στα όρια του θερμοκλινούς (Εικόνα 4.13). Ωστόσο, το φαινόμενο της δικόρυφης κατανομής διατηρήθηκε όλο το 24ωρο. Ανάλογη ήταν και η κατακόρυφη κατανομή των ενήλικων, με τη διαφορά ότι η δικόρυφη κατανομή ήταν εμφανής μόνο κατά την παρουσία φωτός, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας το μεγαλύτερο μέρος των ενήλικων ατόμων βρέθηκε συγκεντρωμένο στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m. Τα θηλυκά και αρσενικά άτομα μετακινήθηκαν πιο κοντά στην επιφάνεια την νύχτα, ενώ η άνοδος ήταν πιο έντονη για τα θηλυκά (Εικόνα 4.14). Η μεταβολή στην κατακόρυφη κατανομή των κωπηποδιτών και των θηλυκών του *E. drieschi* κατά τη διάρκεια του 24ώρου αυτή την εποχή παραπέμπει στο πρότυπο HKM που αντιστοιχεί στη «μετανάστευση του λυκόφωτος». Αντίθετα, η αυξημένη παρουσία των αρσενικών στο επιλίμνιο κατά τη διάρκεια της νύχτας σε σχέση με την ημέρα υποδηλώνει «κανονική HKM».

Το καλοκαίρι, οι κωπηποδίτες του *E. drieschi* φάνηκε να βυθίζονται στο θερμοκλινές το μεσημέρι και το απόγευμα. Το βράδυ βρέθηκαν στο επιλίμνιο αλλά τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα αυξήθηκε και πάλι η παρουσία τους μέσα στο θερμοκλινές. Τα ενήλικα άτομα αυτή την εποχή απουσίαζαν από το επιφανειακό στρώμα (0-5 m) κατά τη διάρκεια της ημέρας και η κατακόρυφη κατανομή τους δεν ξεπέρασε τα όρια του θερμοκλινούς.

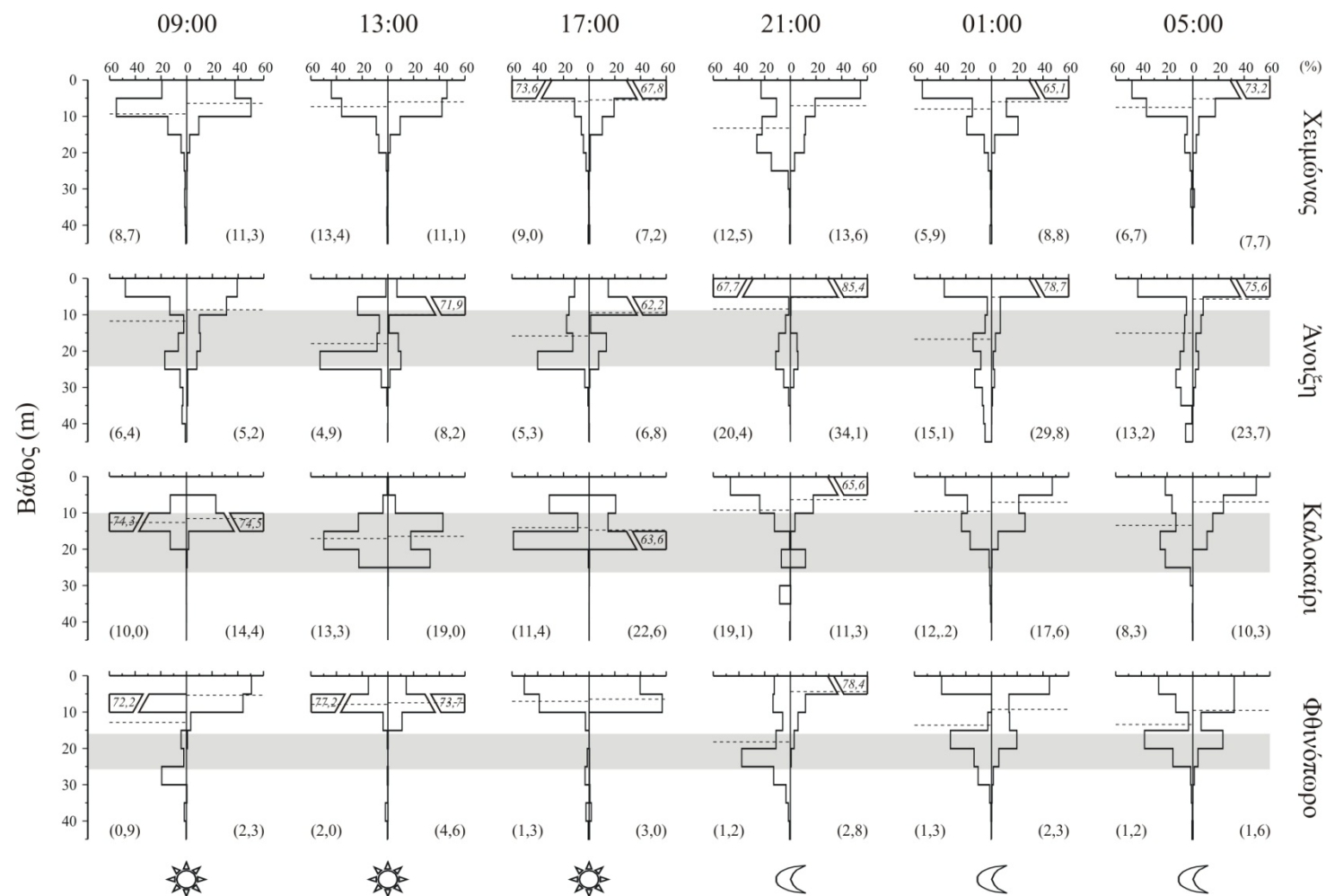


Εικόνα 4.13: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των κωπηποδιτών (αριστερά) και ενήλικων ατόμων (δεξιά) του καλανοειδούς κωπηπόδου *E. drieschi*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Αυτή την εποχή, και τα δύο φύλα μοιάζουν να εκτελούν «κανονική ΗΚΜ», αποφεύγοντας την επιφάνεια κατά τη διάρκεια της μέρας και μεταβαίνοντας σ' αυτή κατά τη διάρκεια της νύχτας (Εικόνα 4.14).

Το φθινόπωρο, το μεγαλύτερο μέρος των κωπηποδιτών βρέθηκε συγκεντρωμένο στα 0-10 m καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου ενώ, σε κάποιες ώρες (09:00, 17:00 και 21:00), ένα μικρό ποσοστό βρέθηκε στο υπολίμνιο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ενήλικων ατόμων βρέθηκε συγκεντρωμένο στα δύο επιφανειακά στρώματα από το πρωί μέχρι και το απόγευμα, ενώ κατά τις βραδυνές ώρες εμφάνισαν μια δικόρυφη κατανομή, αυξάνοντας τα ποσοστά τους στο μεταλίμνιο (Εικόνα 4.13). Αναλύοντας τις κατανομές των δύο φύλων, φαίνεται ότι αυτή η δεύτερη κορυφή μέσα στο θερμοκλινές κατά τη διάρκεια της νύχτας οφείλεται στην κάθοδο των θηλυκών σ' αυτό το στρώμα (Εικόνα 4.14), κίνηση που είναι σύμφωνη με το πρότυπο της «ανάστροφης ΗΚΜ».

Η θερμοκρασία συσχετίζεται θετικά με την κατακόρυφη κατανομή των ενήλικων και των κωπηποδιτών του *E. drieschi* σχεδόν σε όλες τις ώρες δειγματοληψίας το χειμώνα ($0,780 < r < 0,989$, $p < 0,05$). Αυτή την εποχή, το μεσημέρι και το βράδυ εμφάνισαν θετική συσχέτιση με το DO τα αρσενικά ($r = 0,731$ και $r = 0,741$, $p < 0,05$) και θηλυκά *E. drieschi* ($r = 0,764$ και $r = 0,838$, $p < 0,05$). Την άνοιξη, οι κωπηποδίτες συσχετίστηκαν θετικά με τη θερμοκρασία μόνο κατά τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα ($r = 0,768$ και $r = 0,734$, $p < 0,05$ αντίστοιχα), ενώ από τα ενήλικα μόνο τα αρσενικά έδειξαν θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία, το πρωί ($r = 0,972$, $p < 0,01$) και το ξημέρωμα ($r = 0,714$, $p < 0,05$). Το καλοκαίρι, η κατανομή των αρσενικών και θηλυκών εμφάνισε θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία μόνο τις νυχτερινές ώρες ($0,746 < r < 0,921$, $p < 0,05$), ενώ με το DO συσχετίστηκαν θετικά το μεσημέρι και τα δύο φύλα ($r = 0,746$ και $r = 0,773$, $p < 0,05$ αντίστοιχα). Το φθινόπωρο, υπήρξε θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία της κατακόρυφης κατανομής των αρσενικών το πρωί ($r = 0,729$, $p < 0,05$) και κατά τις πρώτες πρωινές ώρες ($r = 0,838$, $p < 0,01$) και των κωπηποδιτών το ξημέρωμα ($r = 0,733$, $p < 0,05$). Ακόμη, την ίδια εποχή υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της κατανομής των θηλυκών ατόμων και της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α τις πρώτες πρωινές ώρες ($r = 0,996$, $p < 0,01$) και το ξημέρωμα ($r = 0,980$, $p < 0,05$).



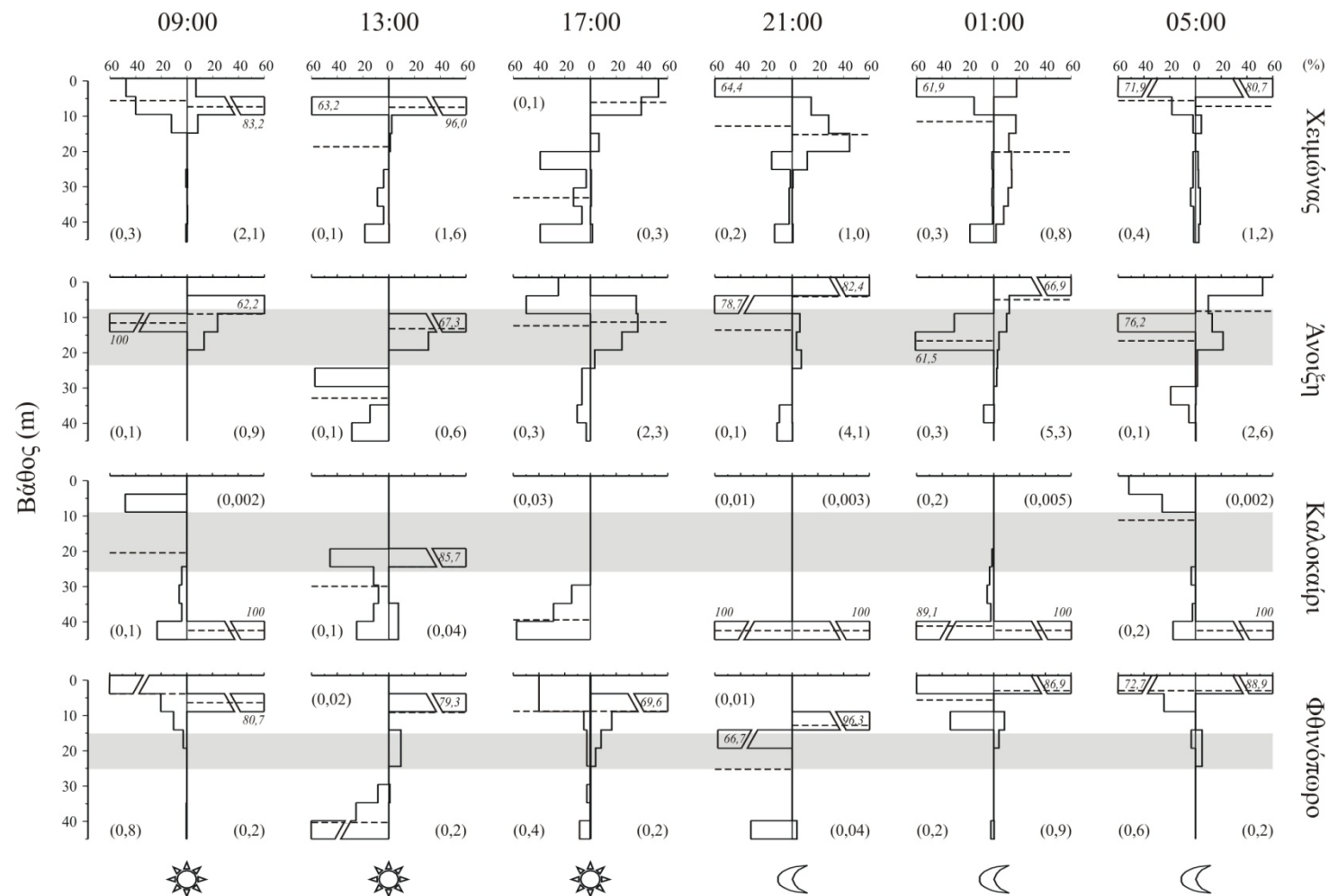
Εικόνα 4.14: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των θηλυκών (αριστερά) και αρσενικών (δεξιά) ατόμων του καλανοειδούς κωπηπόδου *E. drieschi*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Κυκλοποειδή κωπήποδα

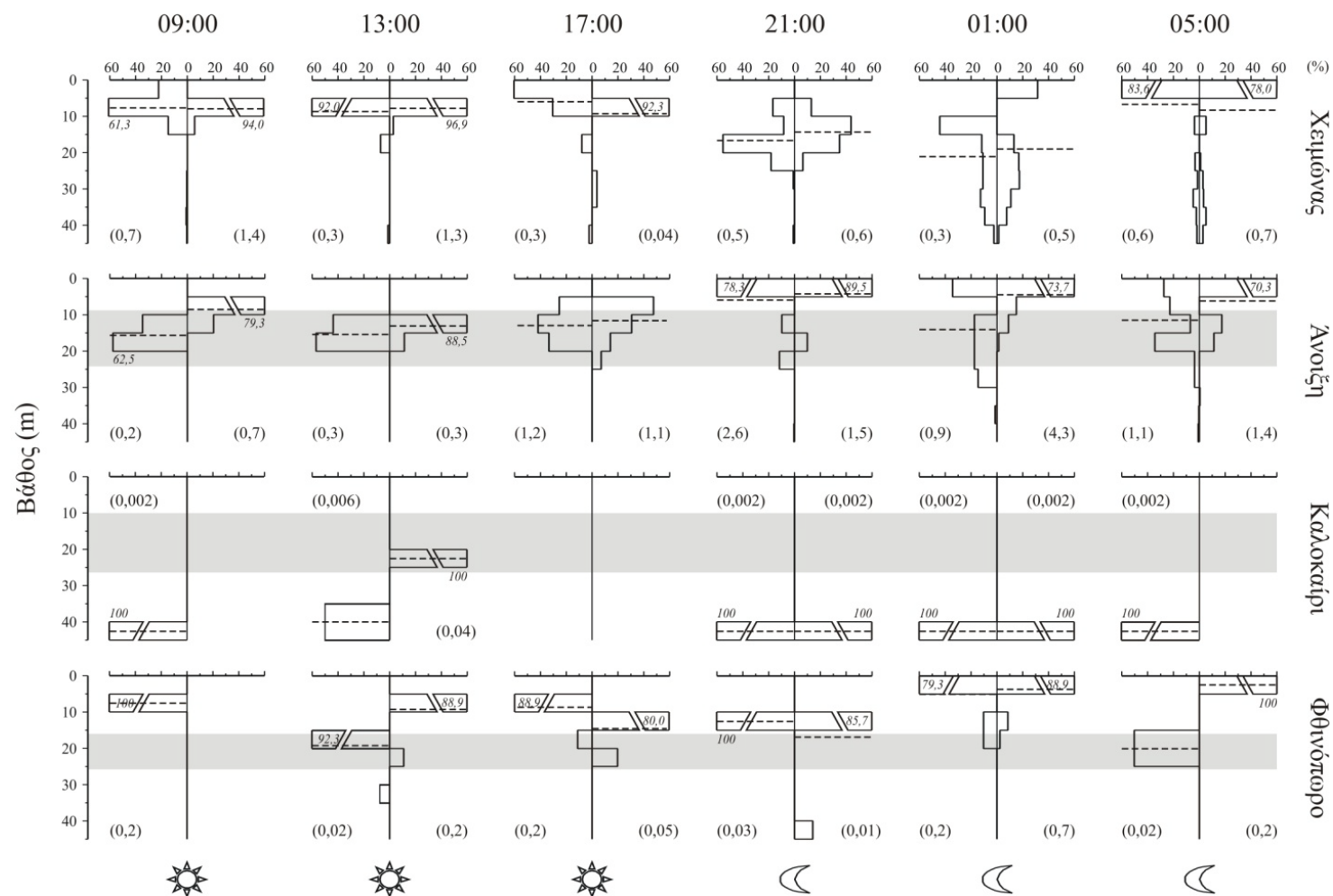
Από τα κυκλοποειδή είδη, το *M. albidus* βρέθηκε σποραδικά το καλοκαίρι, ενώ και στις υπόλοιπες εποχές η μέση αφθονία του ήταν μικρή, κυμαινόμενη μεταξύ 0,1 ind/l το φθινόπωρο και 0,3 ind/l την άνοιξη. Το *M. varicans* δεν βρέθηκε το χειμώνα και ήταν ακόμα πιο σπάνιο την άνοιξη με μέση αφθονία μεταξύ 0,002 ind/l και το καλοκαίρι με 0,01 ind/l (Πίνακας, 4.1).

Το χειμώνα, οι κωπηποδίτες των κυκλοποειδών βρέθηκαν σποραδικά σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια έως και τα 45 m (Εικόνα 4.15). Το πρωί η παρουσία τους ήταν περιορισμένη στα 0-15 m και σχεδόν όλο το 24ωρο είχαν μεγαλύτερη παρουσία στα 0-5 m, εκτός από το απόγευμα που βρέθηκαν μόνο κάτω από τα 20 m. Τα ενήλικα άτομα, κατά τη διάρκεια της ημέρας βρέθηκαν κυρίως μεταξύ των 0-10 m, ενώ το βράδυ (21:00) εντοπίστηκαν μεταξύ των 5-25 m. Κατά τις πρώτες πρωινές ώρες κατανέμονταν σχεδόν σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη, ενώ το ξημέρωμα αυξήθηκε η παρουσία τους στα 0-5 m. Το πρωί και το απόγευμα στα 0-5 m βρέθηκαν μόνο θηλυκά άτομα ενώ, αντίθετα, τις πρώτες πρωινές ώρες σ' αυτό το στρώμα βρέθηκαν μόνο αρσενικά.

Την άνοιξη, οι κωπηποδίτες βρέθηκαν στα 0-5 m μόνο το απόγευμα, ενώ όλες τις υπόλοιπες ώρες εντοπίστηκαν μέσα στο θερμοκλινές και στο υπολίμνιο. Αντίθετα, η παρουσία των ενήλικων ατόμων στα 0-5 m ήταν μεγαλύτερη κατά τις νυχτερινές ώρες, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας βρέθηκαν στα βαθύτερα στρώματα του επιλίμνιου και στο μεταλίμνιο. Τα θηλυκά άτομα κατά τη διάρκεια της ημέρας φαίνεται να κατανέμονται σε ελαφρώς βαθύτερα στρώματα του θερμοκλινούς απ' ότι τα αρσενικά, ωστόσο οι διαφορές αυτές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Η παραμονή των αρσενικών κυκλοποειδών στο θερμοκλινές κατά τη διάρκεια της ημέρας και η βραδυνή άνοδός τους στην επιφάνεια αντανακλά στο πρότυπο της «κανονικής ΗΚΜ». Η ανάλογη συμπεριφορά των θηλυκών ατόμων που όμως φαίνεται να βυθίζονται κατά τις πρώτες πρωινές ώρες, παραπέμπει στο πρότυπο της «μετανάστευσης του λυκόφωτος».



Εικόνα 4.15: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των κωπηποδιών (αριστερά) και ενήλικων ατόμων (δεξιά) των κυκλοποειδών κωπηπόδων. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.



Εικόνα 4.16: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των θηλυκών (αριστερά) και αρσενικών (δεξιά) ατόμων των κυκλοποειδών κωπηπόδων. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Το καλοκαίρι οι κωπηποδίτες βρέθηκαν κυρίως σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m και μόνο το πρωί και το ξημέρωμα ήταν μεγαλύτερη η παρουσία τους στο επιλίμνιο. Ενήλικα άτομα βρέθηκαν μόνο στο βαθύτερο στρώμα 40-45 m το πρωί και κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ μόνο το μεσημέρι βρέθηκαν μέσα στο θερμοκλινές, χωρίς να διαφοροποιούνται οι κατανομές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Το φθινόπωρο, οι κωπηποδίτες βρέθηκαν σε διαφορά βάθη της υδάτινης στήλης κατά τη διάρκεια του 24ώρου, κυρίως όμως στο επιλίμνιο. Τα ενήλικα άτομα απουσίαζαν από τα 0-5 m κατά τη διάρκεια της ημέρας και το βράδυ (21:00), ενώ σ' αυτό το βάθος βρέθηκαν τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα. Τα ενήλικα αυτή την εποχή δεν ξεπέρασαν το βάθος του θερμοκλινούς. Οι δικόρυφες κατανομές των ενήλικων που παρατηρήθηκαν το μεσημέρι και το ξημέρωμα οφείλονται στην κατανομή σε μεγαλύτερα βάθη των θηλυκών ατόμων (Εικ. 4.16).

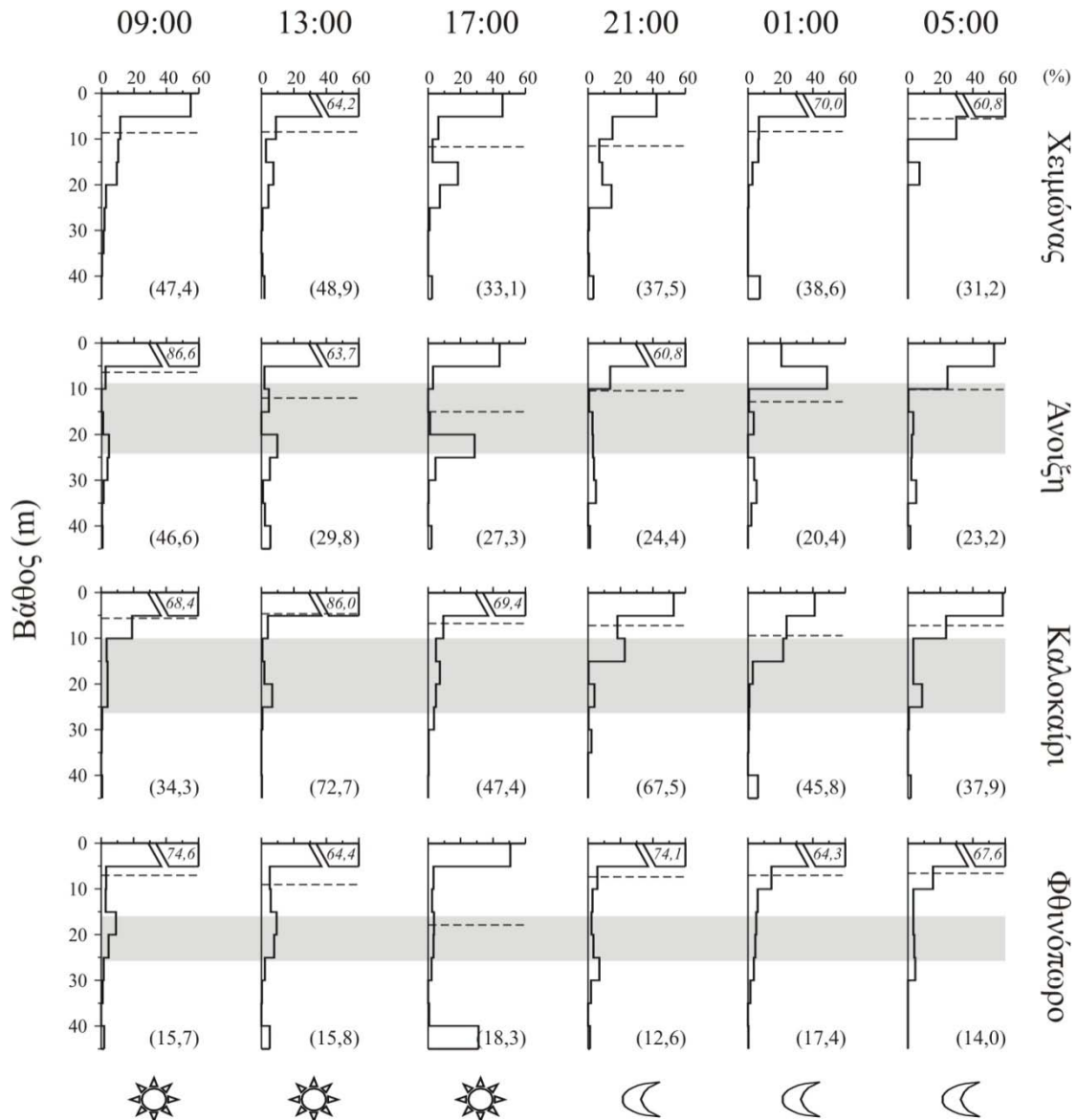
Ναύπλιοι κωπηπόδων

Οι ναύπλιοι στις περισσότερες περιπτώσεις βρέθηκαν να κατανέμονται στο επιλίμνιο, εκτός από την άνοιξη που καταγράφηκε ένα μεγάλο ποσοστό τους στο κατώτερο μέρος του μεταλιμνίου, σε μια δικόρυφη κατακόρυφη κατανομή (Εικόνα 4.17). Η διακύμανση του μέσου βάθους κατακόρυφης κατανομής των ναυπλίων δεν έδειξε να υπάρχουν εποχικές διαφορές (Kruskal-Wallis, $p=0,224$), υπήρξαν, ωστόσο, ορισμένες διαφορές σε σύγκριση με την κατακόρυφη κατανομή των υπόλοιπων αναπτυξιακών σταδίων.

Πιο συγκεκριμένα, το χειμώνα το μεγαλύτερο ποσοστό των ναυπλίων βρέθηκε συγκεντρωμένο στο επιφανειακό στρώμα σχεδόν καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου και μόνο το απόγευμα και το βράδυ παρατηρήθηκε αυξημένη παρουσία τους μεταξύ των 15-25 m βάθους. Αντίθετα με τους κωπηποδίτες και τα αρσενικά άτομα του *E. drieschi*, αυτή την εποχή η κατακόρυφη κατανομή των ναυπλίων βρέθηκαν να φτάνει σε μεγαλύτερα βάθη (U-test, $p=0,006$ και $p=0,025$ αντίστοιχα).

Την άνοιξη η συντριπτική πλειοψηφία των ναυπλίων βρέθηκε το πρωί στα 0-5 m, ενώ το μεσημέρι και το απόγευμα παρατηρήθηκε αύξηση της παροχής στο κατώτερο μέρος του θερμοκλινούς (20-25 m). Κατά τις βραδυνές ώρες, το μεγαλύτερο μέρος των ναυπλίων βρέθηκε και πάλι στα 0-5 m με μικρή κάθοδο κατά τις πρώτες

πρωινές ώρες στα 5-10 m. Αυτή την εποχή οι ναύπλιοι βρέθηκαν να κατανέμονται ρηχότερα από τους κωπηποδίτες των κυκλοποειδών κωπηπόδων (U-test, $p=0,016$).



Εικόνα 4.17: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των ναυπλίων των κωπηπόδων. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Το καλοκαίρι, το μεγαλύτερο μέρος των ναυπλίων βρέθηκε στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τη νύχτα (κυρίως 21:00 και 01:00) ήταν αυξημένη η παρουσία τους στο στρώμα μεταξύ 5-15 m. Κυρίως κατά τη διάρκεια της

ημέρας είχαν διαφορετική κατανομή από τους κωπηποδίτες και τα θηλυκά του *E. drieschi* (Kruskal-Wallis test, $p=0,011$).

Το φθινόπωρο η κατανομή των ναυπλίων εκτείνεται σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη. Το μεγαλύτερο ποσοστό τους βρέθηκε συγκεντρωμένο στα 0-5 m καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου και μόνο το απόγευμα ένα μεγάλο μέρος τους βρέθηκε στο βαθύτερο στρώμα των 40-45 m.

Η μείωση της παρουσίας των ναυπλίων στο επιφανειακό στρώμα 0-5 m που παρατηρήθηκε κατά τις νυχτερινές ώρες το καλοκαίρι παραπέμπει στο πρότυπο της «ανάστροφης ΗΚΜ», ενώ το ίδιο πρότυπο θα μπορούσε να αποτυπωθεί και στην ημερονύκτια μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής τους το χειμώνα (αυξημένη παρουσία στα 15-25 m το βράδυ).

Η θερμοκρασία ήταν ο μοναδικός παράγοντας για τον οποίο βρέθηκε θετική συσχέτιση με την κατακόρυφη κατανομή των ναυπλίων. Τέτοιες συσχετίσεις βρέθηκαν σε όλες τις ώρες κατά το χειμώνα ($0,895 < r < 0,977$, $p < 0,01$), το βράδυ ($r = 0,845$, $p < 0,01$) και το ξημέρωμα ($r = 0,758$, $p < 0,05$) την άνοιξη, καθώς και το πρωί ($r = 0,773$, $p < 0,05$) και όλες τις βραδυνές ώρες ($0,813 < r < 0,950$, $p \leq 0,01$) το καλοκαίρι.

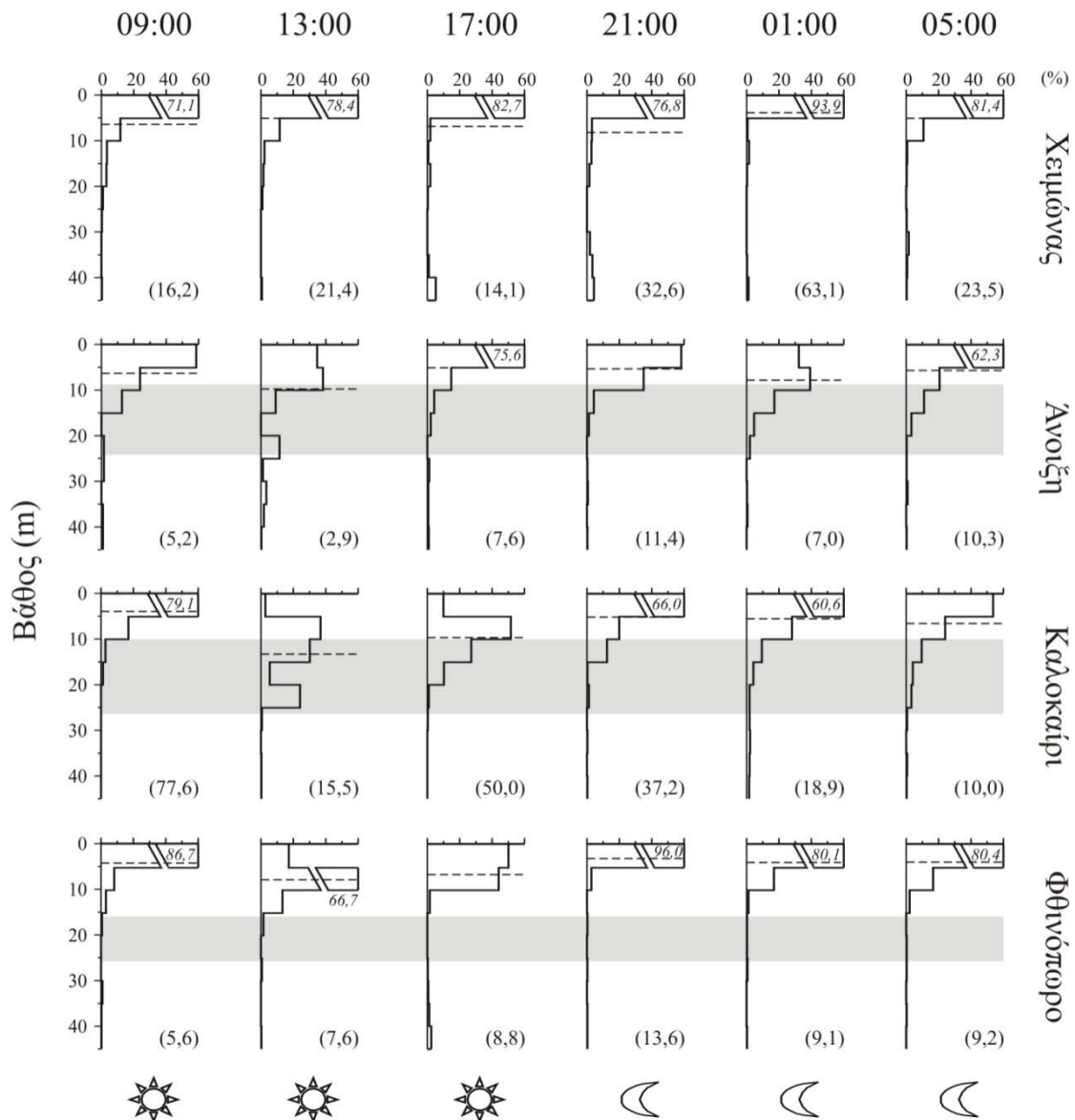
4.5.2.3 Κλαδόκερα

Η αφθονία του συνόλου των κλαδόκερων κυμάνθηκε από 0,8 ind/l την άνοιξη μέχρι 3,4 ind/l το καλοκαίρι. Η κατακόρυφη κατανομή τους δεν παρουσίασε εποχικές μεταβολές (Kruskal-Wallis, $p=0,297$), με τα περισσότερα άτομα να βρίσκονται κυρίως μεταξύ των 0-10 m σε όλες τις εποχές εκτός από το καλοκαίρι, όπου το μεσημέρι και το απόγευμα παρατηρήθηκε αύξηση της παρουσίας τους μέσα στο θερμοκλινές (Εικ. 4.18).

Μεταξύ των κλαδόκερων, το είδος *D. orghidani* ήταν κυρίαρχο καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου, ενώ το είδος *B. longirostris* και το γένος *Daphnia* sp. ήταν λιγότερο άφθονα και δεν βρέθηκαν σε όλες τις εποχές.

Μεταξύ των τριών ειδών παρατηρήθηκε κατακόρυφη στρωμάτωση στις διάφορες εποχές. Έτσι, το χειμώνα, το είδος *D. orghidani* και το γένος *Daphnia* sp. είχαν παρόμοιες κατανομές, καθώς και τα δύο βρίσκονταν κυρίως στην επιφάνεια, ενώ το *B. longirostris* κατανέμονταν βαθύτερα (Kruskal-Wallis, $p=0,003$). Την άνοιξη, οι κατανομές των *D. orghidani* και *Daphnia* sp. ήταν διαφορετικές (U-test, $p=0,004$), με το *Daphnia* sp. να

κατανέμεται βαθύτερα. Το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, το είδος *D. orghidani* είχε επιφανειακότερη κατανομή από το *B. longirostris* (U-test, $p=0,010$ και $0,037$ αντίστοιχα).

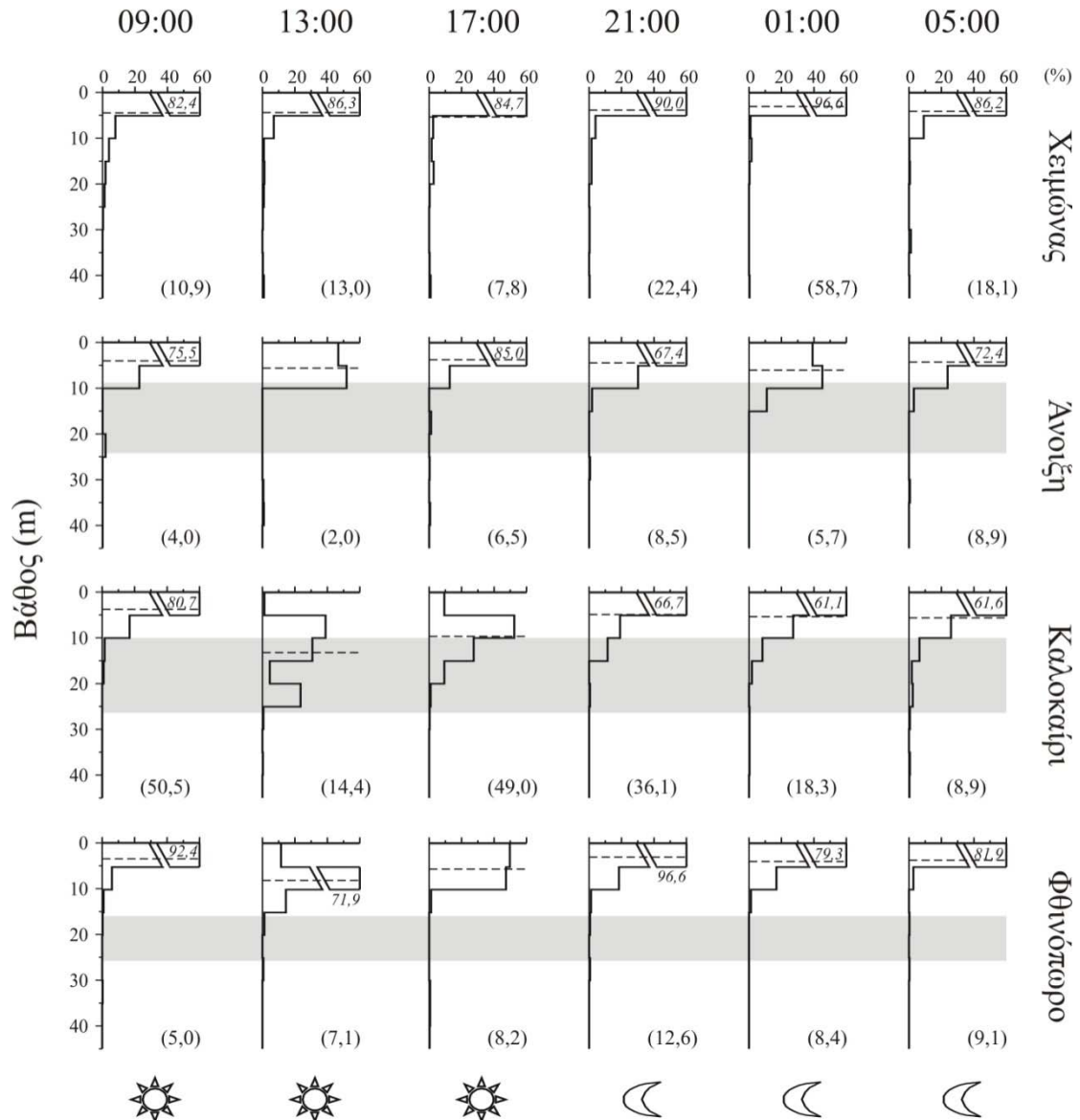


Εικόνα 4.18: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του συνόλου των κλαδόκερων. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Diaphanosoma orghidani

Το *D. orghidani* ήταν το πιο άφθονο είδος το καλοκαίρι, ενώ δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής του μεταξύ των εποχών (Kruskal-Wallis, $p=0,209$). Το χειμώνα, σχεδόν το σύνολο του πληθυσμού βρέθηκε στο επιφανειακό

στρώμα 0-5 m καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου. Την άνοιξη, η κατανομή του περιορίστηκε στο επιλίμνιο, με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να βρίσκεται μεταξύ των 0-5 m τις περισσότερες ώρες και μόλις το μεσημέρι και τις πρώτες πρωινές ώρες σημειώθηκε κάθοδος μέσα στο θερμοκλινές (Εικ. 4.19).



Εικόνα 4.19: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *D. orghidani*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

Παρόμοια ήταν η κατανομή του είδους και το καλοκαίρι, μόνο που, αυτή την εποχή, κάθοδος σε βαθύτερα στρώματα παρατηρήθηκε το απόγευμα και ιδιαίτερα το

μεσημέρι, οπότε έφτασε μέχρι τα κατώτερα στρώματα του θερμοκλινούς. Τις υπόλοιπες ώρες, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε στα 0-5 m. Αυτή την εποχή, ήταν εμφανές το πρότυπο της «κανονικής ΗΚΜ», καθώς τα άτομα αυτού του είδους κατέβαιναν μέχρι το θερμοκλινές το μεσημέρι, ενώ ανέβαιναν στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της νύχτας. Όπως στην περίπτωση του καλοκαιριού, το φθινόπωρο το *D. orghidani* πραγματοποίησε μια μετατόπιση της κατακόρυφης κατανομής του χωρίς όμως να φτάνει στο στρώμα του θερμοκλινούς.

Σε σχέση με τα υπόλοιπα καρκινοειδή, το *D. orghidani* βρισκόταν κατανεμημένο σε μικρότερα βάθη από τα ενήλικα του καλανοειδούς *E. drieschi* και τους ναύπλιους κατά το μεγαλύτερο μέρος της δειγματοληπτικής περιόδου (U-test, $p < 0,05$), εκτός από το καλοκαίρι, όταν το *D. orghidani* είχε την μεγαλύτερη αφθονία του στη λίμνη. Και στις 4 εποχές είχε επιφανειακότερη κατανομή από τα ενήλικα και το ψ κωπηποίδες των κυκλοποειδών κωπηπόδων (U-test, $p < 0,05$), ενώ κατακόρυφος διαχωρισμός μεταξύ του *D. orghidani* και των κωπηποιδών του *E. drieschi* υπήρξε μόνο την άνοιξη (U-test, $p = 0,004$).

Η κατακόρυφη κατανομή του *D. orghidani* συσχετίστηκε θετικά μόνο με τη θερμοκρασία σε όλες τις ώρες δειγματοληψίας το χειμώνα, την άνοιξη και το καλοκαίρι ($0,737 < r < 0,954$, $p < 0,05$).

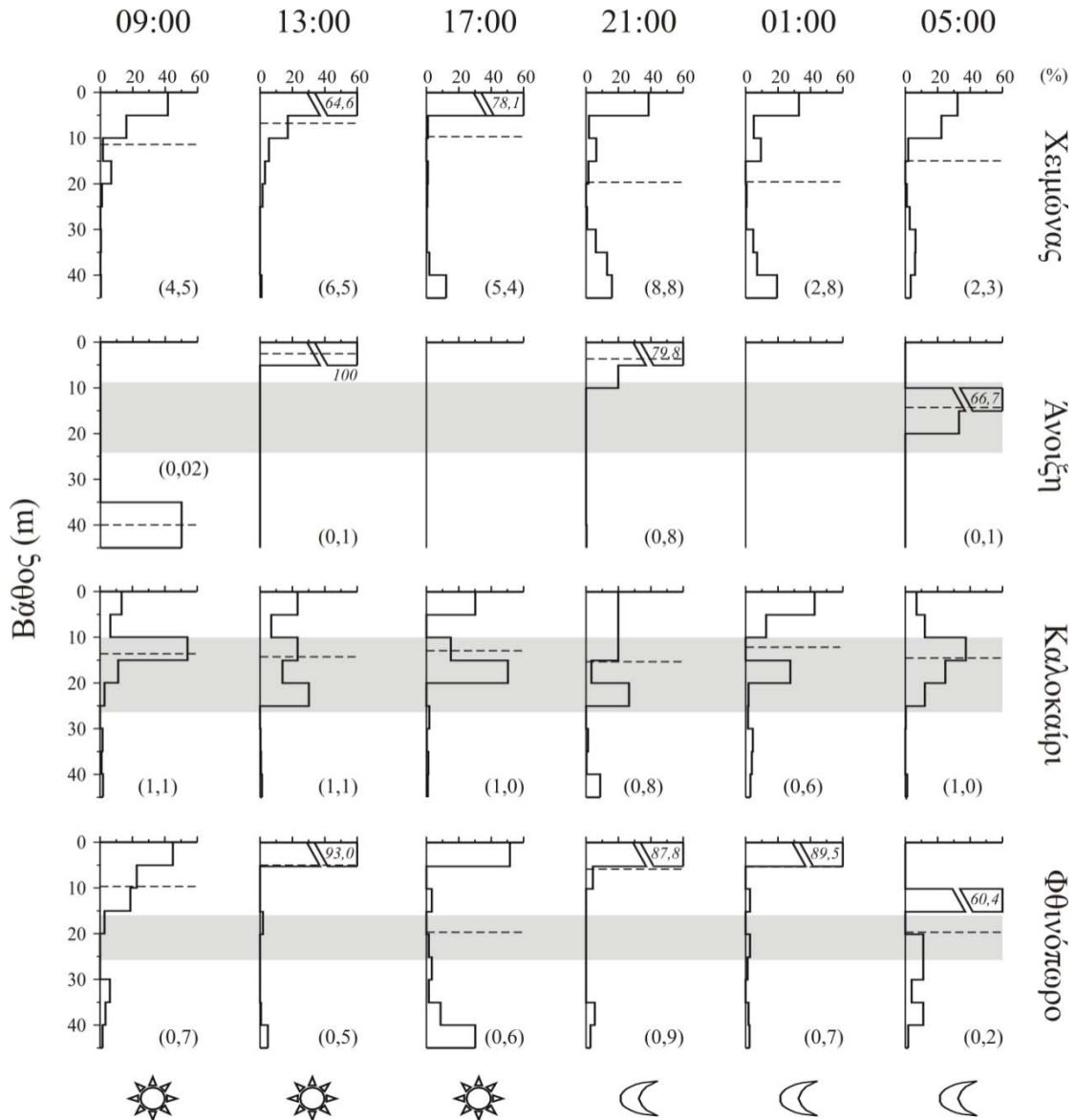
Bosmina longirostris

Το είδος *B. longirostris* βρέθηκε σποραδικά την άνοιξη και, μεταξύ των υπόλοιπων εποχών, ήταν πιο άφθονο το χειμώνα. Η διακύμανση του μέσου βάθους κατανομής δεν έδειξε εποχικές διαφορές (Kruskal-Wallis, $p = 0,422$).

Το χειμώνα το είδος κατανέμονταν σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη (Εικόνα 4.20). Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού βρέθηκε στο στρώμα 0-5 m κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά τις νυχτερινές ώρες αυξήθηκε η παρουσία του σε βάθη μεγαλύτερα των 30 m. Αυτή η μεταβολή στην κατακόρυφη κατανομή παραπέμπει στο πρότυπο της «ανάστροφης ΗΚΜ». Το καλοκαίρι βρέθηκε σε όλο το βάθος της υδάτινης στήλης, με το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού να είναι συγκεντρωμένο μέσα στο θερμοκλινές όλες τις ώρες, εκτός από τις πρώτες πρωινές οπότε αυξήθηκε η παρουσία του στο επιφανειακό στρώμα. Το φθινόπωρο το είδος βρέθηκε σε εξαιρετικά μικρή αφθονία και κυρίως στο επιφανειακό στρώμα, εκτός από το ξημέρωμα. Γενικότερα, αυτή την εποχή, η παραμονή

του στο επιφανειακό στρώμα φαίνεται να διακόπτεται από δύο βυθίσσεις, το απόγευμα και το ξημέρωμα χωρίς, ωστόσο, αυτό να αντιστοιχεί σε κάποιο πρότυπο ΗΚΜ.

Σε σχέση με τα υπόλοιπα καρκινοειδή, το είδος *B. longirostris* κατανέμενταν βαθύτερα από τα ενήλικα αρσενικά και τους κωπηποδίτες του *E. drieschi* το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι βρισκόταν βαθύτερα από τους ναύπλιους αλλά επιφανειοκότερα από τα ενήλικα και τους κωπηποδίτες των κυκλοποειδών.



Εικόνα 4.20: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *B. longirostris*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

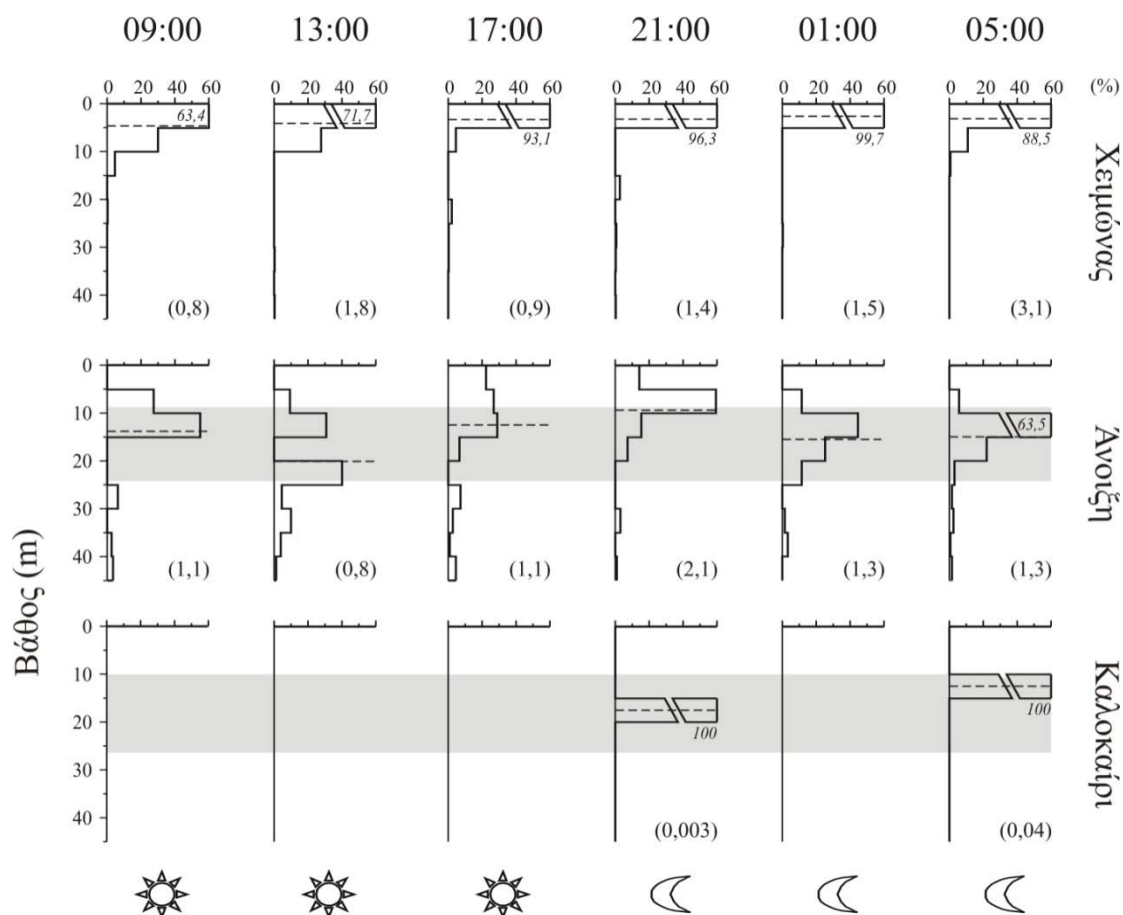
Η κατακόρυφη κατανομή του *B. longirostris* εμφάνισε θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία σε όλες τις ώρες δειγματοληψίας το χειμώνα ($0,824 < r < 0,988$, $p \leq 0,01$), ενώ συσχετίστηκε αρνητικά με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α το βράδυ και τις πρώτες πρωινές ώρες ($r = -0,952$ και $r = -0,966$, $p < 0,05$ αντίστοιχα). Το φθινόπωρο εμφάνισε συσχέτιση με τη θερμοκρασία μόνο το πρωί ($r = 0,784$, $p < 0,05$).

***Daphnia* sp.**

Άτομα του γένους *Daphnia* sp. βρέθηκαν μόνο το χειμώνα και την άνοιξη. Η κατακόρυφη κατανομή τους ήταν διαφορετική μεταξύ των δύο εποχών που εμφανίστηκε (U-test, $p = 0,008$). Το χειμώνα τα άτομα του γένους βρίσκονταν κοντά στην επιφάνεια και κυρίως στα 0-5 m καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου, ενώ την άνοιξη κατανέμονταν βαθύτερα (Εικόνα 4.21). Τα περισσότερα άτομα βρέθηκαν μέσα στο θερμοκλινές το πρωί και το μεσημέρι. Το απόγευμα και το βράδυ παρατηρήθηκε αύξηση της παρουσίας τους στα 0-10 m, ενώ κατά τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα παρατηρήθηκε βύθιση των οργανισμών μέσα στο θερμοκλινές. Αυτή η μεταβολή στην κατακόρυφη κατανομή του γένους κατά τη διάρκεια του 24ώρου θυμίζει το πρότυπο της «μετανάστευσης του λυκόφωτος», χωρίς όμως αυτό να είναι ιδιαίτερα ξεκάθαρο.

Σε σχέση με τα υπόλοιπα καρκινοειδή, τα άτομα του γένους *Daphnia* sp. το χειμώνα είχαν επιφανειακότερη κατανομή από τα ενήλικα του *E. drieschi*, τα ενήλικα και τους κωπηποδίτες των κυκλοποειδών αλλά και από τους ναύπλιους των κωπηπόδων. Αντίθετα, την άνοιξη κατανέμονταν βαθύτερα από τα αρσενικά *E. drieschi*, τα αρσενικά κυκλοποειδή και τους ναύπλιους.

Η κατακόρυφη κατανομή των ατόμων του γένους *Daphnia* sp. συσχετίστηκε θετικά με τη θερμοκρασία σε όλες τις ώρες δειγματοληψίας το χειμώνα ($0,921 < r < 0,980$, $p < 0,01$), ενώ την άνοιξη εμφάνισε θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α το μεσημέρι ($r = 0,980$, $p < 0,05$), με τη θερμοκρασία το απόγευμα και το βράδυ ($r = 0,845$, $p < 0,01$ και $r = 0,758$, $p < 0,05$ αντίστοιχα) και με το DO τις πρώτες πρωινές ώρες και το ξημέρωμα ($r = 0,815$ και $r = 0,816$, $p < 0,05$ αντίστοιχα).

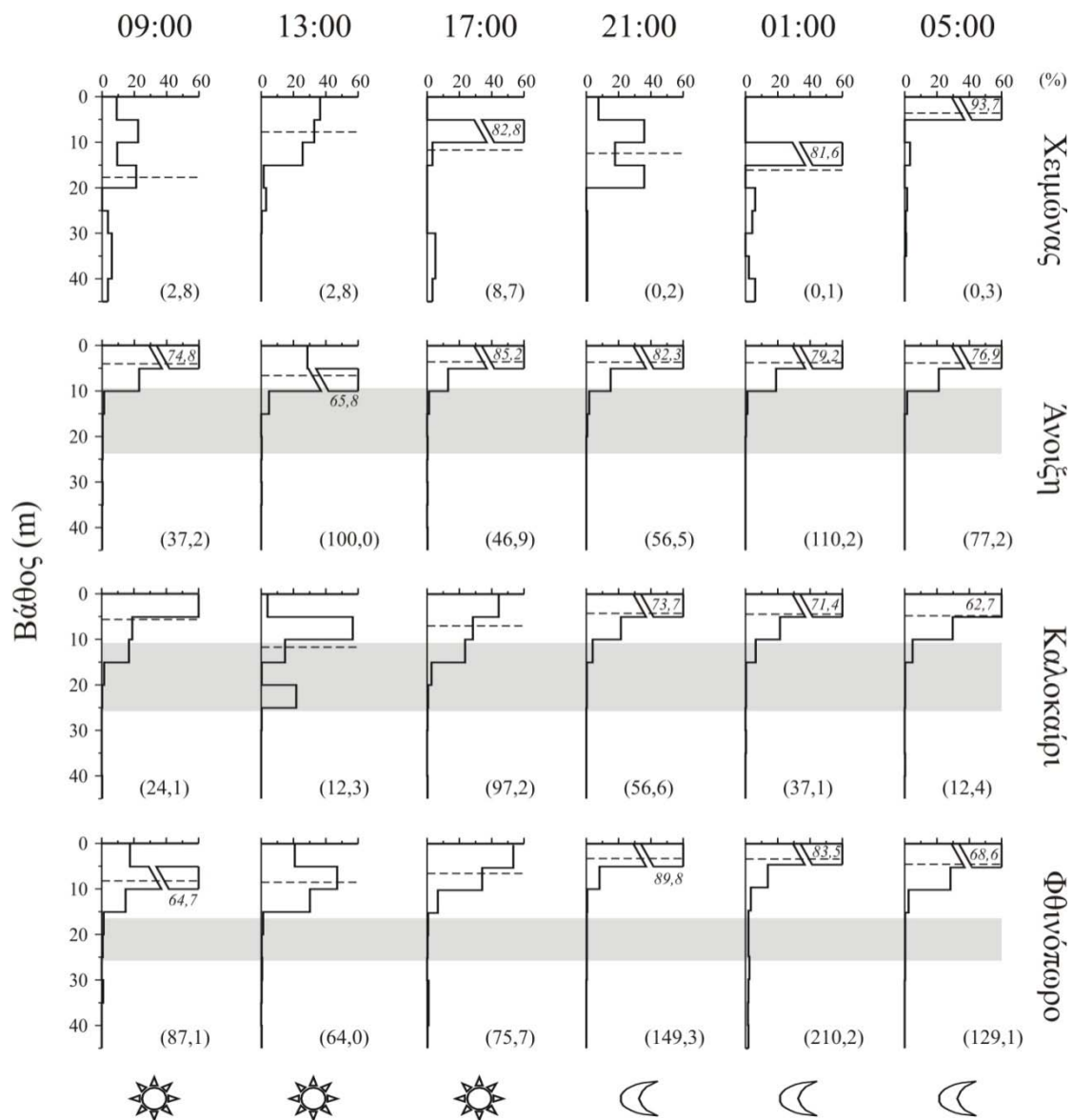


Εικόνα 4.21: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του *Daphnia* sp.. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

4.3.2.4 Προνύμφες μαλακίων

Οι προνύμφες του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha* βρέθηκαν κυρίως στο επιλίμνιο, ενώ κατανομή τους σε βάθη μεγαλύτερα από 30 m καταγράφηκε μόνο το χειμώνα (Εικόνα 4.22). Αυτή την εποχή οι προνύμφες βρέθηκαν σε χαμηλή αφθονία και η ημερονύκτια διακύμανση του μέσου βάθους κατανομής τους ήταν πιο έντονη, χωρίς ωστόσο να διακρίνεται κάποιο πρότυπο ΗΚΜ. Την άνοιξη και το καλοκαίρι, ο πληθυσμός βυθίστηκε από την επιφάνεια το μεσημέρι και έφτασαν στα κατώτερα στρώματα του μεταλιμνίου κατά τη δεύτερη εποχή. Το φθινόπωρο, η συγκέντρωση των προνυμφών του *D. polymorpha* στο επιφανειακό στρώμα κατά τη διάρκεια της νύχτας ίσως υποδηλώνει μια μικρής έκτασης «κανονική ΗΚΜ».

Το χειμώνα η κατακόρυφη κατανομή των προνυμφών του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha* συσχετίστηκε με την θερμοκρασία μόνο το μεσημέρι ($r=0,838$, $p<0,01$) και το ξημέρωμα ($r=0,924$, $p<0,01$). Αντίθετα, την άνοιξη εμφάνισε θετική συσχέτιση σε όλες σχεδόν τις ώρες δειγματοληψίας ($0,739<r<0,833$, $p<0,05$), ενώ το καλοκαίρι βρέθηκε συσχέτιση με την θερμοκρασία σε όλες τις ώρες εκτός από το μεσημέρι ($0,788<r<0,963$, $p<0,05$). Το φθινόπωρο, υπήρξε θετική συσχέτιση μόνο το μεσημέρι και το απόγευμα ($r=0,824$ και $r=0,731$, $p<0,05$ αντίστοιχα).



Εικόνα 4.22: Εποχική διακύμανση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής των προνυμφών του δίθυρου μαλάκιου *D. polymorpha*. Με τη σκιασμένη περιοχή δηλώνεται το θερμοκλινές ενώ με τη διακεκομμένη γραμμή το μέσο βάθος της κατακόρυφης κατανομής. Στην παρένθεση δίνεται η συνολική αφθονία (ind/l) των οργανισμών στην υδάτινη στήλη.

4.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.4.1 Φυσικοχημικά δεδομένα

Τα φυσικοχημικά δεδομένα για τις τέσσερις εποχές στις οποίες μελετήθηκε το φαινόμενο της ΗΚΜ του ζωοπλαγκτού, είναι σύμφωνα με την εικόνα του αβιοτικού περιβάλλοντος της λίμνης Τριχωνίδας, που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα (Κεφάλαιο 3). Η θερμική στρωμάτωση, με τον σχηματισμό του θερμοκλινούς, είναι γνωστό ότι επηρεάζει τη δομή της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας στον κατακόρυφο άξονα, προκαλώντας χωρικές διαφοροποιήσεις (Brönmark & Hansson, 1998; Thackeray et al., 2005). Το μεταλίμνιο στη λίμνη Τριχωνίδα είναι ένα στρώμα περιορισμένης διαφάνειας, εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης οργανικής ύλης και φυτοπλαγκτού στο εσωτερικό του. Από την άλλη πλευρά, η ένταση του φωτός που φτάνει μέσα σε αυτό το στρώμα επιτρέπει την φωτοσύνθεση, ενώ η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού ευνοείται και από την υψηλή συγκέντρωση σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο & φώσφορο), που ελευθερώνονται σε αυτό το στρώμα κατά τις διαδικασίες αποσύνθεσης. Κατά τη διάρκεια της περιόδου στρωμάτωσης, η μέγιστη συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α εντοπιζόταν εντός του θερμοκλινούς, ένα φαινόμενο γνωστό ως «deep chlorophyll maximum» (DCM), χαρακτηριστικό κοινό σε βαθιές oligότροφες λίμνες (Padisák et al., 1997; Williamson et al., 1996; Barbiero & Touchman, 2001; Winder & Hunter, 2008). Καθώς η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού ευνοείται μέσα στο θερμοκλινές, η παραγωγή οξυγόνου αυξάνεται και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου ενισχύεται από την ελάττωση της θερμοκρασίας, καταλήγοντας έτσι σε μεταλιμνητικό μέγιστο οξυγόνου κατά τη περίοδο στρωμάτωσης. Λόγω της παρατεταμένης διάρκειας αυτής της περιόδου στη λίμνη Τριχωνίδα, κατά το φθινόπωρο καταγράφηκε η ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο κατώτερο υπολίμνιο, γεγονός που παρατηρείται συχνά σε τέτοιες περιπτώσεις (Wetzel, 2001). Συνεπώς, το μεταλίμνιο στη λίμνη Τριχωνίδα είναι το πλέον παραγωγικό μέρος της λίμνης, ενώ η έντονη διακύμανση των αβιοτικών και βιοτικών παραμέτρων εντός των ορίων του δημιουργεί ένα μοναδικό βιότοπο για το ζωοπλαγκτό.

4.4.2 Πρότυπα κατακόρυφης κατανομής ζωοπλαγκτού

Η σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας και η εποχική διακύμανση της μέσης αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού αλλά και των επιμέρους ειδών, ήταν σε συμφωνία με τις τιμές που καταγράφηκαν κατά την τριετή μελέτη της εποχικής διακύμανσης της αφθονίας του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα (Κεφάλαιο 3).

Σε στρωματοποιημένες λίμνες, ο τρόπος με τον οποίο κατανέμεται το ζωοπλαγκτό στον κατακόρυφο άξονα σχετίζεται με την προτίμηση των επιμέρους ειδών και οργανισμών διαφορετικής ηλικίας και φύλου για συγκεκριμένα βάθη, με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η ιδανικότερη διαβίωσή τους (Lampert et al., 2003). Όμως, η διαθεσιμότητα της τροφής και η παρουσία ασπόνδυλων ή σπονδυλωτών θηρευτών μπορεί να επηρεάζουν την παραπάνω κατανομή (Leibold, 1991; Primicerio, 2000; Primicerio, 2003). Στη λίμνη Τριχωνίδα, το μεγαλύτερο μέρος των ζωοπλαγκτικών ομάδων βρέθηκε, γενικά, να κατανέμεται σε πιο επιφανειακά βάθη την περίοδο που δεν είχε αναπτυχθεί το θερμοκλινές, ενώ η κατανομή τους ήταν βαθύτερη κατά την περίοδο της έντονης στρωμάτωσης. Επίσης, ήταν εμφανές το φαινόμενο του κατακόρυφου χωρικού διαχωρισμού μεταξύ ειδών, οντογενετικών σταδίων και φύλων.

Ο διαχωρισμός ενδιαιτημάτων μεταξύ ειδών κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα είναι ένα φαινόμενο κοινό σε λίμνες που εμφανίζουν θερμική στρωμάτωση (Armengol-Diaz et al., 1993 και αναφορές εκεί). Κατά τη μελέτη της κατακόρυφης κατανομής (βλέπε Κεφάλαιο 3 και Doulka & Kehayias 2008) είχε καταγραφεί το γεγονός της επιλογής διαφορετικών στρωμάτων βάθους από τα αφθονότερα είδη των τροχοζώων. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα τροφής και ο ανταγωνισμός για τροφικούς πόρους είναι γνωστό ότι μπορούν να ρυθμίσουν τη δομή της βιοκοινωνίας φυτοφάγων ζωοπλαγκτικών οργανισμών σε φυσικά περιβάλλοντα, ενώ ο χωρικός διαχωρισμός ενδιαιτημάτων μπορεί να μειώσει τον ανταγωνισμό για εκμετάλλευση της τροφής (Ciros-Perez et al., 2001 και αναφορές εκεί). Σύμφωνα με παλαιότερες αναφορές σχετικά με τη χαμηλή πυκνότητα του φυτοπλαγκτού (Tafas & Economou-Amilli, 1997), αλλά και με βάση τα πρόσφατα δεδομένα της παρούσας εργασίας, η λίμνη Τριχωνίδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα ολιγο-μεσότροφο υδάτινο οικοσύστημα. Έτσι, θα μπορούσε να υποθέσει κανείς ότι τα πιο άφθονα είδη τροχοζώων υιοθετούν την τακτική του κατακόρυφου διαχωρισμού στις κατανομές τους ώστε να μειώσουν τον διαειδικό ανταγωνισμό για την εκμετάλλευση του

φυτοπλαγκτού που αποτελεί τη βασική τους τροφή (Doulka & Kehayias, 2008). Ωστόσο, προκειμένου να υποστηριχθεί αυτή η υπόθεση, χρειάζονται πρόσφατα δεδομένα για τη σύνθεση και αφθονία της φυτοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, αλλά και στοιχεία για τη διατροφή των τροχοζώων στη λίμνη Τριχωνίδα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν εποχικές μεταβολές στην κατακόρυφη κατανομή κάποιων ειδών τροχοζώων. Έχει αναφερθεί ότι κάποια τροχόζωα τείνουν να συγκεντρώνονται σε ζώνες έντονων διαβαθμίσεων και να μεταναστεύουν ακολουθώντας το θερμοκλινές (Armengol-Diaz et al., 1993) ή, όπου υπάρχει, το οξυκλινές (Miracle & Alfonso, 1993). Η εποχική κατακόρυφη κατανομή των *K. longispina* και *Hexarthra* sp. ήταν χαρακτηριστική αυτής της τάσης, ενώ η κατακόρυφη κατανομή του *G. stylifer* την άνοιξη ήταν περιορισμένη εντός της ζώνης θερμοκρασιακής διαβάθμισης.

Στο Κεφάλαιο 3 (βλέπε και Doulka & Kehayias, 2008) αναφέρθηκε ότι τα ενήλικα και οι κωπηποδίτες του καλανοειδούς *E. drieschi* καθώς και οι ναύπλιοι των κωπηπόδων είχαν παρόμοια κατακόρυφη κατανομή. Ωστόσο, η μελέτη της κατακόρυφης κατανομής σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, αποκάλυψε ότι κατά τη διάρκεια του 24ώρου παρατηρείται το φαινόμενο του κατακόρυφου διαχωρισμού μεταξύ της κατανομής των ναυπλίων και των μεγαλύτερων οντογενετικών σταδίων των κωπηπόδων, ιδιαίτερα του καλανοειδούς *E. drieschi*. Το φαινόμενο αυτό ήταν πιο έντονο το καλοκαίρι, όταν οι ναύπλιοι κατανέμονταν μέσα στο επιλίμνιο, ξεκάθαρα διαχωρισμένοι κατά τη διάρκεια της ημέρας από τα ενήλικα κωπήποδα, τα οποία βρίσκονταν κυρίως μέσα στο θερμοκλινές. Μία εξήγηση για αυτό τον κάθετο διαχωρισμό θα μπορούσε να βρίσκεται στη διαφορετικής έντασης θηρευτική πίεση που δέχονται τα επιμέρους οντογενετικά στάδια των κωπηπόδων από τα πλαγκτοφάγα ψάρια. Η αθερίνα (*A. boyeri*) αποτελεί το κύριο πλαγκτοφάγο ψάρι στη λίμνη Τριχωνίδα και έχει βρεθεί ότι κύρια τροφή της αποτελούν οι κωπηποδίτες και, ιδιαίτερα, τα ενήλικα άτομα του καλανοειδούς *E. drieschi*, ενώ οι ναύπλιοι απουσιάζουν από τη δίαιτά της (βλέπε Κεφάλαιο 5, Chrisafi et al., 2007; Ντούλκα και συν., 2007). Γνωρίζοντας ότι η θηρευτική πίεση στο ζωοπλαγκτό από τα περισσότερα πελαγικά ψάρια εξασκείται κυρίως στο ανώτερο και καλύτερα φωτισμένο μέρος της υδάτινης στήλης (Zaret, 1980; Gliwicz & Pijanowska, 1988), γίνεται αντιληπτό ότι η ένταση της θήρευσης των κωπηπόδων μεγιστοποιείται στην περιοχή του επιλιμνίου. Είναι γνωστό επίσης ότι, προκειμένου να μειώσουν τον κίνδυνο της θήρευσης, τα καρκινοειδή είναι ικανά να αναζητήσουν καταφύγιο σε τμήματα της λίμνης που καθιστούν τη θήρευση λιγότερο αποτελεσματική (Neill, 1990; Pasternak et al., 2006). Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω,

θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι η παραμώλη των ενήλικων κωπηπόδων κατά τη διάρκεια της ημέρας στο μεταλίμνιο, όπου οι συνθήκες φωτός και η διαφάνεια του νερού δεν ευνοούν τους οπτικούς θηρευτές, πιθανόν να λειτουργεί ως μηχανισμός αποφυγής της θήρευσης από την αθερίνα. Επιπρόσθετα, επειδή το καλοκαίρι η αφθονία της αθερίνας στη λίμνη λαμβάνει μέγιστες τιμές (βλέπε Κεφάλαιο 5), η παραπάνω ηθολογική αντίδραση του ζωοπλαγκτού καθίσταται ζωτικής σημασίας για την επιβίωσή του.

Μεταξύ των οντογενετικών σταδίων των κωπηπόδων, οι ναύπλιοι είναι εκείνοι που αντέχουν λιγότερο χωρίς τροφή (Santer, 1998). Εντούτοις, παρόλο που το μεταλίμνιο στη λίμνη Τριχωνίδα είναι ένα στρώμα υψηλής παραγωγικότητας και φυτοπλαγκτικής αφθονίας (Tafas & Economidou-Amilli, 1997), οι ναύπλιοι των κωπηπόδων φαίνεται να το αποφεύγουν και να παραμένουν στο επιλίμνιο. Επιπλέον, καθώς αυτό το οντογενετικό στάδιο θεωρείται λιγότερο ανθεκτικό στην υπεριώδη (UV) ακτινοβολία συγκριτικά με τα ενήλικα (Leech & Williamson, 2000), θα περίμενε κανείς να κατανέμεται σε βαθύτερα υδάτινα στρώματα κατά τις περιόδους έντονης ηλιακής ακτινοβολίας. Στη βιβλιογραφία έχει αναφερθεί ότι οι ναύπλιοι μειώνουν τον ανταγωνισμό με μεγαλύτερα οντογενετικά στάδια επιλέγοντας να βρίσκονται σε διαφορετικούς ορίζοντες βάθους (Zadereev & Tolomeyev, 2007; Rejas et al., 2007). Έτσι, δεδομένης της χαμηλής τροφικής κατάστασης της λίμνης, ο κάθετος διαχωρισμός που παρατηρήθηκε μεταξύ των ναυπλίων και των ενήλικων καλανοειδών, θα μπορούσε να λειτουργεί και ως μηχανισμός μείωσης του ανταγωνισμού, εξασφαλίζοντας τελικά αφθονότερη τροφή για τους ναύπλιους. Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στο επιφανειακό στρώμα ευνοούν τον ρυθμό ανάπτυξής τους (Lee et al., 2003; Rhyne et al., 2009). Ανάλογα είναι τα ευρήματα των Zadereev & Tolomeyev (2007) στη λίμνη Shira της Ρωσίας, όπου οι ναύπλιοι και τα νεαρά κωπηποδιτικά στάδια του καλανοειδούς *Arctodiaptomus salinus* παρέμεναν στο επιλίμνιο, για να μεγιστοποιήσουν ίσως τη φυσική τους κατάσταση και να εξασφαλίσουν υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης, παρά το γεγονός ότι η μέγιστη συγκέντρωση χλωροφύλλης-α εντοπιζόταν κάτω από το θερμοκλινές.

Εκτός από τις διαφορές που παρατηρήθηκαν στις κατακόρυφες κατανομές μεταξύ των οντογενετικών σταδίων των κωπηπόδων, διαχωρισμός παρατηρήθηκε επίσης και μεταξύ των κατακόρυφων κατανομών των αρσενικών και θηλυκών *E. drieschi*. Τα θηλυκά άτομα καταλάμβαναν βαθύτερα στρώματα από τα αρσενικά σχεδόν σε όλες τις ώρες, ενώ η κατακόρυφη μετατόπισή τους μέσα 24 ωρών ήταν γενικά μεγαλύτερη από εκείνη των αρσενικών. Παρόμοιες κατανομές, με τα θηλυκά καλανοειδή κωπήποδα να προτιμούν

βαθύτερα στρώματα από τα αρσενικά αναφέρουν και οι Svensson (1997), Schabetsberger & Jersabek (2004) και Jamieson (2005), ενώ διαφορές στην ένταση της μετανάστευσης μεταξύ των δύο φύλων έχουν αναφερθεί και σε άλλες περιπτώσεις, με τη μεγαλύτερη ένταση να καταγράφεται τόσο από τα θηλυκά (Rejas et al., 2007), όσο και από τα αρσενικά κωπήποδα (Schabetsberger & Jersabek, 2004). Μελέτες στο πεδίο (Hairstone et al., 1983) αλλά και στο εργαστήριο (Svensson, 1997) έχουν δείξει ότι τα θηλυκά κωπήποδα είναι πιο επιρρεπή στη θήρευση από ότι τα αρσενικά, καθώς διακρίνονται πιο εύκολα. Η ανάλυση της διατροφής της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα (βλέπε Κεφάλαιο 5) έδειξε ότι τα ενήλικα *E. drieschi*, και κυρίως τα ωοφόρα θηλυκά, δέχονται ισχυρή επιλεκτική θήρευση (Ντούλκα και συν., 2007). Οι Bollens & Frost (1991) μελέτησαν την ΗΚΜ θαλάσσιων καλανοειδών και βρήκαν όα τα θηλυκά άτομα που δεν έφεραν αυγά πραγματοποιούσαν ΗΚΜ ενώ, αντίθετα, εκείνα που έφεραν αυγά παρέμεναν συνεχώς σε μεγάλα βάθη. Συνεπώς, η επιλογή βαθύτερων στρωμάτων από αυτό το μέρος του πληθυσμού, μπορεί να θεωρηθεί ως μία ηθολογική προσαρμογή που αυξάνει την αναπαραγωγή και τελικά την επιβίωση του *E. drieschi*.

Κατακόρυφη στρωμάτωση παρατηρήθηκε και μεταξύ των ειδών των κλαδόκερων, στις εποχές που αυτά συνυπήρχαν. Τα επιμέρους είδη των κλαδόκερων έχουν την δυνατότητα να εκμεταλεύονται διαφορετικού μεγέθους τροφή το καθένα, η οποία πιθανότατα βρίσκεται σε διαφορετικά στρώματα βάθους και ο κατακόρυφος διαχωρισμός μεταξύ τους συνιστά αποτέλεσμα του ανταγωνισμού για την διαθέσιμη τροφή (Adamczuk, 2009). Βεβαίως δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι η εξήγηση του φαινομένου της στρωμάτωσης μπορεί να είναι πιο σύνθετη, δεδομένου ότι πολλά είδη κλαδόκερων μπορούν να ανταγωνίζονται τα κωπήποδα (Dodson, 1974; Muck & Lampert, 1984).

4.4.3 ΗΚΜ του ζωοπλαγκτού

Τα τροχόζωα δεν έδειξαν κάποιο ξεκάθαρο πρότυπο ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης (ΗΚΜ) σε καμία από τις τέσσερις εποχές στη λίμνη Τριχωνίδα. Λόγω του μικρού τους μεγέθους και των περιορισμένων κολυμβητικών ικανοτήτων τους, θα περίμενε κανείς τα τροχόζωα είτε να μην εκτελούν μεταναστευτικές κινήσεις, είτε να προβαίνουν σε «ανάστροφη» ή σε μικρής έντασης «κανονική» ΗΚΜ (Rejas et al., 2007;

Zhou et al., 2007; Armengol & Miracle, 2000). Κάποια από τα είδη και γένη τροχοζώων, που υπάρχουν και στην Τριχωνίδα, έχει αναφερθεί ότι πραγματοποιούν HKM. Στη λίμνη Piasieczno, η ημερονύκτια μεταβολή της κατακόρυφης κατανομής του είδους *G. stylifer* παρέπεμπε στο πρότυπο της «ανάστροφης» HKM (Grzegorz et al., 2006). Στην ίδια λίμνη, ένα μέρος του πληθυσμού του είδους *T. similis* ανέβαινε στο επιλίμνιο το βράδυ, ενώ το είδος *K. longispina* παρέμενε συνεχώς στο μεταλίμνιο (Grzegorz et al., 2006). Αντίθετα, στη λίμνη Crescent το είδος *K. longispina* εμφάνισε (ασθενείς) ενδείξεις HKM (Rainey et al., 2007), ενώ στη λίμνη Kruczy Staw της Πολωνίας, το είδος *Synchaeta pectinata* βρίσκονταν σε μεγαλύτερα βάθη κατά την ημέρα (Karabin & Ejsmont-Karabin, 2005). Στην παρούσα εργασία, τα τροχόζωα του γένους *Synchaeta* sp. φαίνεται να είναι τα μόνα που εμφανίζουν κάποια στοιχεία HKM, ακολουθώντας το πρότυπο της «ανάστροφης» HKM το καλοκαίρι. Αυτού του είδους η HKM, έχει αναφερθεί συχνά για τα τροχόζωα (Connell, 1978; Bayly, 1986) και θεωρείται ως ένας αμυντικός μηχανισμός των πιο μικρόσωμων οργανισμών που είναι πιο ευάλωτοι σε ασπόνδυλους θηρευτές (Lampert, 1993). Επίσης, μέσω της ανάστροφης HKM, τα τροχόζωα μπορούν να μειώσουν τον ανταγωνισμό με τα κλαδόκερα και τα κωπήποδα (Dumont, 1972; MacIsaac & Gilbert, 1989). Ωστόσο, η λήψη δειγμάτων ανά διαστήματα των 5 m βάθους που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, μαζί με το μικρό εύρος κινήσεων των τροχοζώων, δεν επιτρέπει την ακριβή καταγραφή της κατακόρυφης μετακίνησης και άρα της ύπαρξης του φαινομένου της HKM για τη συγκεκριμένη ζωοπλαγκτική ομάδα.

Φαινόμενα ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης καταγράφηκαν για το κυρίαρχο καλανοειδές κωπήποδο *E. drieschi*, με διαφορές στο εύρος της κατακόρυφης μετατόπισης αλλά και στα πρότυπα HKM που ακολούθησαν τα οντογενετικά στάδια και τα δύο φύλα. Το στρώμα του θερμοκλινούς φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά αυτή τη συμπεριφορά, καθώς τα μεταναστευτικά φαινόμενα ήταν πιο έντονα κατά τη διάρκεια της περιόδου στρωμάτωσης. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα (Κεφάλαιο 3), η πιο αποδεκτή ερμηνευτική θεωρία για την HKM του ζωοπλαγκτού είναι ότι αυτή λειτουργεί ως μηχανισμός αποφυγής της θήρευσης από οπτικούς θηρευτές μέσα στα σχετικά διαυγή νερά του επιλίμνιου (Dodson, 1990; Lampert, 1993; Han & Straškraba, 2001). Η θεωρία της αποφυγής της θήρευσης μπορεί να εξηγήσει την «κανονική» μετανάστευση και την «μετανάστευση του λυκόφωτος», πρότυπα που ακολουθούν οι κωπήποδιτες και τα ενήλικα *E. drieschi* στη λίμνη Τριχωνίδα αλλά και αλλού (Hart & Allanson, 1976). Καθώς και τα δύο αυτά αναπτυξιακά στάδια αποτελούν τροφή για οπτικούς θηρευτές όπως η *A.*

boyeri, είναι πιθανό να επιτυγχάνουν μεγαλύτερη προστασία με το να παραμένουν σε βαθύτερα στρώματα του θερμοκλινούς κατά τη διάρκεια της ημέρας και να ανέρχονται στο επιλίμνιο κατά τις ώρες μειωμένης ορατότητας (Zaret & Suffern, 1976; Stich & Lampert, 1981; De Meester et al., 1999). Έτσι, το στρώμα του θερμοκλινούς, που είναι ένα στρώμα χαμηλής διαφάνειας λόγω της υψηλής συγκέντρωσης οργανικής ουσίας και φυτοπλαγκτού, λειτουργεί ως καταφύγιο για τα πιο ευάλωτα στην θηρευτική πίεση καρκινοειδή.

Ωστόσο, η μεταβολή στην μεταναστευτική κίνηση των θηλυκών το φθινόπωρο σε «ανάστροφη ΗΚΜ», καθώς και το ίδιο πρότυπο που εμφάνισαν οι ναύπλιοι το χειμώνα και το καλοκαίρι, δεν είναι εύκολο να εξηγηθεί. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα πρότυπα αυτά θα μπορούσαν να είναι ενδεικτικά της προσπάθειας αποφυγής της θήρευσης από ασπόνδυλους θηρευτές, όπως το κλαδόκερο *Leptodora kindtii* που είναι πιο άφθονο το καλοκαίρι (Doulka & Kehayias, 2008). Αυτού του είδους η μετανάστευση είναι γνωστό ότι μπορεί να προκληθεί και από χημικά σήματα που ελευθερώνονται από μη οπτικούς (non visually feeding) ασπόνδυλους θηρευτές (Lampert, 1993), ή για λόγους αποφυγής του ανταγωνισμού με τα κλαδόκερα και τα μεγαλύτερα κωπήποδα (Rejas et al., 2007). Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι ναύπλιοι των κωπηπόδων δεν διαχωρίστηκαν μεταξύ καλανοειδών και κυκλοποειδών ειδών στη λίμνη Τριχωνίδα. Σε αυτό το γεγονός θα μπορούσε να αποδοθεί η δικόρυφη κατανομή που παρατηρήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις για τους ναύπλιους. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η ύπαρξη ναυπλίων διαφορετικών ειδών θα μπορούσε να περιπλέξει τις παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα για τις αντιδράσεις τους.

Το κλαδόκερο *D. orghidani* κατανέμονταν ρηχότερα από το *E. drieschi* στις περισσότερες περιπτώσεις εκτός από το καλοκαίρι, όταν η στρωμάτωση της λίμνης ήταν πιο έντονη και η αφθονία του ήταν μεγαλύτερη. Αναφέρεται ότι, όταν εντείνεται η θερμική στρωμάτωση τα είδη των καρκινοειδών που έχουν μεγάλη αφθονία κατανέμονται σε στενότερους ορίζοντες στον κατακόρυφο άξονα (Thackeray et al., 2006; Helland et al., 2007). Επιπλέον, αφού το *D. orghidani* αποτελεί επίσης θήραμα για την αθερίνα (Ντούλκα και συν., 2007), η κατακόρυφη μετακίνησή του σε μεγαλύτερα βάθη που φτάνουν τα κατώτερα στρώματα του μεταλιμνίου θα μπορούσε να αποτελεί έναν μηχανισμό αποφυγής της θήρευσης, όπως και στην περίπτωση των κωπηπόδων. Αυτό φαίνεται να είναι πιο εμφανές κατά το καλοκαίρι, όταν η αθερίνα αυξάνει την αφθονία της (βλ. Κεφάλαιο 5) και

συνεπώς η θηρευτική πίεση που ασκείται από αυτή στα καρκινοειδή αυξάνεται επίσης (Ντούλκα και συν., 2007).

Το είδος *B. longirostris* το χειμώνα εμφάνισε ανάστροφη ΗΚΜ. Έχει βρεθεί ότι τα άτομα του γένους *Bosmina* προσαρμόζουν τις κατακόρυφες μετακινήσεις τους ανάλογα με τους θηρευτές τους. Όταν, για παράδειγμα, ο θηρευτής μεταναστεύει κατά τη διάρκεια της ημέρας, αυτά παραμένουν στον ίδιο ορίζοντα βάθους. Σε αντίθετη περίπτωση τα άτομα του γένους *Bosmina* μεταναστεύουν και, συγκεκριμένα, με την ανάστροφη ΗΚΜ προσπαθούν να αποφύγουν ασπόνδυλους θηρευτές που εκτελούν ΗΚΜ (Levy, 1990). Το ίδιο ισχύει και για τα άτομα του γένους *Daphnia* (Pijanowska & Dawidowicz, 1987). Στην Τριχωνίδα, μόνο αυτά τα δύο κλαδόκερα προσέγγισαν κάποιο πρότυπο ΗΚΜ, ωστόσο σε διαφορετικές εποχές. Η εξήγηση, λοιπόν, δεν μπορεί προφανώς να αναζητηθεί εξολοκλήρου στην ΗΚΜ του θηρευτή τους (αθερίνα). Ο Lampert (1989) αναφέρει ότι σε ολιγοτροφικές συνθήκες, η διαθέσιμη τροφή σε μεγαλύτερα βάθη μπορεί να είναι τόσο περιορισμένη ώστε το ενεργειακό ισοζύγιο να μη μπορεί να αντισταθμιστεί με την πρόσληψη τροφής από την επιφάνεια για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Τα πειράματα των Johnsen & Jacobsen (1987) με το *Daphnia longispina* έδειξαν ότι τα άτομα αυτού του είδους δεν μετανάστευαν σε βαθύτερα στρώματα όταν η τροφή ήταν περιορισμένη, παρά μόνο όταν αυξάνονταν. Τα άτομα του γένους *Daphnia* (με κυρίαρχο είδος το *Daphnia cucullata*), στην Τριχωνίδα παρέμειναν στην επιφάνεια το χειμώνα, ενώ την άνοιξη βρέθηκαν σε βαθύτερα στρώματα και εμφάνισαν ένα πρότυπο ΗΚΜ ανάλογο με αυτό της «μετανάστευσης του λυκόφωτος». Σύμφωνα με τα στοιχεία του Κεφαλαίου 2, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α αυξάνεται την άνοιξη μέσα στο θερμοκλινές. Οι μορφολογικές προσαρμογές που αναπτύσσει το είδος *Daphnia cucullata* μέσω της κυκλομόρφωσης το κάνουν λιγότερο ελκυστικό στους πιθανούς θηρευτές του και με αυτό τον τρόπο μπορεί να παραμένει σε επιφανειακά νερά (Grzegorz et al., 2005). Έτσι, η παραπάνω υπόθεση θα μπορούσε να εξηγήσει αυτή τη διαφορά στη συμπεριφορά που εμφανίζουν τα άτομα του γένους *Daphnia* μεταξύ των δύο εποχών.

Η ευρεία κατακόρυφη κατανομή των προνυμφών του δίθυρου μαλάκιου *Dreissena polymorpha* στην υδάτινη στήλη το χειμώνα βρίσκεται σε συμφωνία με τους Lewandowski & Eijsmont-Karabin (1983), οι οποίοι ανέφεραν ομοιογενή κατακόρυφη κατανομή των προνυμφών κατά την μη στρωματοποιημένη περίοδο. Αντίθετα, κατά την περίοδο ανάπτυξης του θερμοκλινούς, οι προνύμφες του *D. polymorpha* έχει βρεθεί ότι περιορίζονται στο επιλίμνιο (Lewandowski & Eijsmont-Karabin, 1983). Αυτό

παρατηρήθηκε και στη λίμνη Τριχωνίδα. Οι προνύμφες του *D. polymorpha* έχει αναφερθεί να εκτελούν κατακόρυφη μετανάστευση (Sprung, 1993). Το πρότυπο της «κανονικής» ΗΚΜ που εκτέλεσαν οι προνύμφες του *D. polymorpha* το φθινόπωρο φαίνεται να είναι σε συμφωνία με τους Einsle & Walz (1972), που ανέφεραν κάθοδο των προνυμφών στο κατώτερο επιλίμνιο το μεσημέρι και το σούρουπο.

4.4.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ΗΚΜ

Η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου θεωρούνται μεταξύ των κύριων αβιοτικών παραγόντων που καθορίζουν την αξιοποίηση βιοτόπων από το ζωοπλαγκτό στον κατακόρυφο άξονα (Kessler & Lampert, 2004; Thackeray et al., 2006; Helland et al., 2007). Κάποια είδη προτιμούν να κατανέμονται εντός του θερμού επιλίμνιου, ενώ άλλα στο ψυχρότερο μεταλίμνιο. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, το *D. orghidani* ως θερμόφιλο είδος (Koronchinsky, 1992), έδειξε θετική συσχέτιση με τη θερμοκρασία και βρέθηκε στα ανώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης. Αντίθετα, το *K. longispina* έχει αναφερθεί ότι αποφεύγει τα επιφανειακά στρώματα και περιορίζεται σε βαθύτερα στρώματα (Grzegorz et al., 2006; Rainey et al., 2007; Doulka & Kehayias, 2008). Οι Grzegorz et al. (2006) αναφέρουν αυτό το είδος ως οξύφιλο και τονίζουν ότι το *K. longispina* στη λίμνη Piaseczno στην Πολωνία παρέμεινε στο μεταλίμνιο καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου και ότι φαίνεται να επηρεάζεται από το οξυγόνο και τις συνθήκες τροφής. Η θετική συσχέτιση που εμφάνισε το *K. longispina* με το διαλυμένο οξυγόνο και την χλωροφύλλη-α στην παρούσα μελέτη, συμφωνούν με τις παραπάνω παρατηρήσεις.

Το φθινόπωρο, το είδος *F. longiseta* βρέθηκε αποκλειστικά στο υπολίμνιο και εμφάνισε αρνητική συσχέτιση με τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου. Κάποια τροχόζωα έχει βρεθεί να δείχνουν προτίμηση για το οξυκλινές μερομικτικών λιμνών ή και στρωματοποιημένων λιμνών (Miracle & Alfonso, 1993). Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται και το γένος *Filinia* (Hoffmann, 1987; Miksch, 1989; Armengol-Diaz et al., 1993), από το οποίο το είδος *F. hoffmanni* (Koste, 1980) παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με το *F. longiseta*. Στην μερομικτική λίμνη Plußsee, ο Hoffmann (1987) παρατήρησε ότι το είδος *F. terminalis* μετέβαλλε την κατακόρυφη κατανομή του μεταξύ του επιλίμνιου την άνοιξη και του οξυκλινούς στρώματος το καλοκαίρι. Στη λίμνη Τριχωνίδα, το φθινόπωρο

προκαλείται έντονη μείωση του οξυγόνου λόγω της παρατεταμένης θερμικής στρωμάτωσης. Είναι πιθανό, λοιπόν, το είδος *F. longiseta* να αλλάζει την κατακόρυφη κατανομή του όταν στη λίμνη αναπτύσσονται τέτοιες συνθήκες, όπως και στην παραπάνω περίπτωση. Τέλος, δεν μπορούμε να αποκλείσουμε το ενδεχόμενο της μεταβολής στη σύνθεση της τροφής (φυτοπλαγκτό) του είδους στον κατακόρυφο άξονα κατά το φθινόπωρο, όμως δεν υπάρχουν πρόσφατα και αναλυτικά δεδομένα (να καλύπτουν δηλαδή όλη την κατακόρυφη στήλη) για το φυτοπλαγκτό στη λίμνη Τριχωνίδα, όπως επίσης και δεδομένα τροφικών προτιμήσεων του συγκεκριμένου είδους.

Η κατακόρυφη διακύμανση της θερμοκρασίας φαίνεται να επηρεάζει και την κατανομή του *E. drieschi* το χειμώνα. Η απουσία κάθετων κινήσεων καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου και η ισχυρή συσχέτιση του συνολικού πληθυσμού με την θερμοκρασία θα μπορούσε να εξηγηθεί βάση της θεωρίας του μεγαλύτερου μεταβολικού οφέλους (γρηγορότερη ωρίμανση και ανάπτυξη των αυγών) που παρέχεται από την ελαφρώς υψηλότερη θερμοκρασία των επιφανειακότερων στρωμάτων (Kessler & Lampert, 2004), ιδιαίτερα κατά την ψυχρότερη εποχή του χρόνου. Την άνοιξη και το καλοκαίρι, ωστόσο, η θετική συσχέτιση του *E. drieschi* με τη θερμοκρασία περιορίστηκε στις νυχτερινές ώρες, καθώς άλλοι παράγοντες (π.χ. θήρευση) πιθανότατα καθιστούσαν τα επιφανειακότερα νερά λιγότερο ελκυστικά ή ασφαλή κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Η σημασία της αυξημένης συγκέντρωσης της χλωροφύλλης-α σε μεγάλο βάθος (deep chlorophyll maximum ή DCM) στην κατακόρυφη κατανομή του ζωοπλαγκτού έχει αποτελέσει αντικείμενο αρκετών ερευνών (Lampert et al., 2003; Winder et al., 2003). Το στρώμα αυτό όπου παρατηρείται μέγιστο της χλωροφύλλης μπορεί να έχει πολύπλοκη δομή με τα διαφορετικά φυτικά είδη να καταλαμβάνουν διαφορετικά βάθη στα όριά του (Gaevsky et al., 2002). Οι Zadereev & Tolomeyev (2007) διατύπωσαν την πιθανότητα να σχετίζεται η κατανομή των φυτοφάγων ειδών του ζωοπλαγκτού με την διαθεσιμότητα της προτιμώμενης τροφής τους εντός αυτού του στρώματος. Ωστόσο, στην περίπτωση της Τριχωνίδας, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τις τροφικές προτιμήσεις των ειδών σε σχέση με την κατανομή του φυτοπλαγκτού ώστε να εκτιμηθεί η οικολογική σημασία αυτού του στρώματος.

Σε λίμνες μεγάλης διαφάνειας, η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία μπορεί να παίζει πιο σημαντικό ρόλο στην κατακόρυφη μετανάστευση του ζωοπλαγκτού από την οπτική θήρευση (Williamson & Rose, 2009). Μεταξύ των ομάδων του ζωοπλαγκτού των

εσωτερικών νερών, τα κλαδόκερα θεωρείται ότι είναι τα λιγότερο ανθεκτικά στην UV ακτινοβολία και έτσι, τείνουν να αποφεύγουν την επιφάνεια κατά τις περιόδους που αυτή είναι πιο έντονη (Leech et al., 2005). Παρότι δεν υπάρχουν μετρήσεις της UV ακτινοβολίας στη λίμνη Τριχωνίδα, αναμένεται ότι η υψηλή διαφάνεια του επιλιμνίου κατά τη διάρκεια της στρωμάτωσης θα επιτρέπει την διείσδυση αυτής της ακτινοβολίας στα επιφανειακά στρώματα. Ωστόσο, οι ναύπλιοι και τα κλαδόκερα, που θεωρητικά είναι και τα δύο πολύ ευαίσθητα στην UV ακτινοβολία (Leech & Williamson, 2000; Leech et al., 2005), δεν φαίνεται να επηρεάζονται έχοντας μεγαλύτερη αφθονία στο επιλίμνιο.

Συμπερασματικά, η κατακόρυφη κατανομή και η ημερονύκτια μετανάστευση των κυριότερων ζωοπλαγκτικών καρκινοειδών στη λίμνη Τριχωνίδα φαίνεται να ακολουθεί τους βασικούς οικολογικούς κανόνες της αποφυγής της θήρευσης και της μείωσης του ενδο- και δια- ειδικού ανταγωνισμού. Από την άλλη, δεδομένης της περιορισμένης διαθεσιμότητας τροφής στο οικοσύστημα, καθώς και της μικρής κολυμβητικής ικανότητας των τροχοζώων, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι τα πιο άφθονα είδη αυτής της ζωοπλαγκτικής ομάδας προτιμούν να διαχωρίζονται κάθετα προκειμένου να μειώσουν τον διαειδικό ανταγωνισμό, από το να σπαταλούν ενέργεια σε μεγάλης κλίμακας ημερονύκτιες κατακόρυφες μετατοπίσεις. Η θερμοκρασία φαίνεται πως είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των τροχοζώων, ενώ η αθερίνα, ως το κυρίαρχο πλαγκτοφάγο ψάρι στη λίμνη Τριχωνίδα, φαίνεται να ασκεί μεγάλη επιρροή στο ζωοπλαγκτό και είναι ίσως ο καθοριστικός παράγοντας για την κατακόρυφη κατανομή και την ΗΚΜ των μεγαλύτερων οργανισμών, όπως είναι τα καρκινοειδή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

Το ζωοπλαγκτό ως τροφή της αθερίνας

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αθερίνα, *Atherina boyeri* (Risso 1810), είναι ένα από τα είδη της οικογένειας Atherinidae που διαβιούν στα εύκρατα νερά. Αποτελεί πολύ κοινό είδος της Μεσογείου καθώς επίσης συναντάται και στο βορειοανατολικό Ατλαντικό ωκεανό, από τις Αζόρες μέχρι τις ακτές της Σκωτίας αλλά και από τις αφρικανικές ακτές έως τον Ινδικό Ωκεανό (Quignard & Pras, 1986). Η αθερίνα είναι ένα μικρόσωμο ψάρι με μικρή διάρκεια ζωής, το οποίο μπορεί να προσαρμόζει την διαβίωσή του σε ένα μεγάλο εύρος αλατότητας, από παράκτια νερά, εκβολές ποταμών, λιμνοθάλασσες έως, σπανιότερα, εσωτερικά νερά (Henderson & Bamber, 1987; Focant et al., 1999; Koutrakis et al., 2004).

Οι πληθυσμοί της αθερίνας λόγω της αφθονίας τους αποτελούν προϊόν εμπορικής εκμετάλλευσης σε διάφορα οικοσυστήματα της Μεσογείου, όπως στις ακτές της Κροατίας (Bartulović et al., 2004), σε λιμνοθάλασσες της Ισπανίας (Guevara & Sautier-Casaseca, 1977), στις ακτές της Ιταλίας (Boscolo, 1970; Frogia & Orel, 1979) αλλά και σε λίμνες, εκβολές ποταμών και λιμνοθάλασσες της Ελλάδας (Leonardos, 2001; Koutrakis et al., 2004; Leonardos & Sinis, 2000).

Η διατροφή της αθερίνας έχει μελετηθεί εκτεταμένα σε πληθυσμούς λιμνοθαλασσών και θαλασσών (Vizzini & Mazzola, 2005; Vizzini & Mazzola, 2003; Bartulovic et al., 2004; Gisbert et al., 1996; Trabelsi et al., 1994; Danilova, 1991). Σε τέτοια περιβάλλοντα, η αθερίνα έχει βρεθεί να τρέφεται κυρίως με μικρά πλαγκτικά καρκινοειδή, ενώ στρέφεται προς το βένθος όταν η ζωοπλαγκτική αφθονία είναι χαμηλή. Ωστόσο, από τις λιγοστές πληροφορίες για την διατροφή του είδους σε εσωτερικά νερά, διαπιστώνεται ότι στη δίαιτά του κυριαρχούν τα κωπήποδα και τα κλαδόκερα λόγω της μεγάλης αφθονίας τους (Moretti et al., 1959; Mantilacci et al., 1990; Roscchi & Crivelli, 1992; Chrisafi et al., 2007). Έτσι, και λόγω της σημαντικής αφθονίας τους, οι πληθυσμοί της αθερίνας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην δομή της τροφικής αλυσίδας, αντιπροσωπεύοντας έναν ενδιάμεσο κρίκο μεταξύ διαφορετικών τροφικών επιπέδων, ενώ μεταβάλλουν τα διατροφικά τους μονοπάτια ανάλογα με την διαθεσιμότητα και την αφθονία των πηγών τροφής (Vizzini & Mazzola, 2002; Chrisafi et al., 2007).

Μελέτες των διατροφικών συνηθειών αυτού του πλαγκτοφάγου ψαριού του αποδίδουν τα χαρακτηριστικά ενός ευκαιριακού θηρευτή (opportunistic feeder) (Castel et al., 1977; Turnpenny et al., 1981; Gon & Ben-Tuvia, 1983; Trabelsi et al., 1994; Vizzini &

Mazzola, 2002; Chrisafi et al., 2007), ενώ η περίπτωση της επιλεκτική θήρευσης του ζωοπλαγκτού από την αθερίνα δεν έχει μελετηθεί επαρκώς. Είναι ωστόσο σημαντικό να τονιστεί ότι, σε όλες τις παραπάνω μελέτες τα συμπεράσματα προέκυψαν από τη σύγκριση του στομαχικού περιεχομένου της αθερίνας με βιβλιογραφικά δεδομένα για την αφθονία του ζωοπλαγκτού στο οικοσύστημα, καθώς δεν γινόταν παράλληλη συλλογή δεδομένων ζωοπλαγκτού από το πεδίο.

Στη λίμνη Τριχωνίδα απαντάται ένας γεωγραφικά απομονωμένος πληθυσμός αθερίνας, ο οποίος εικάζεται ότι έχει προέλθει από τη μετακίνηση ατόμων από τη θάλασσα διαμέσου του Αχελώου ποταμού. Τα άτομα αυτά εγκλιματίστηκαν πλήρως στο περιβάλλον της λίμνης και αναπτύχθηκαν σε μεγάλη αφθονία, δημιουργώντας τελικά έναν γενετικά διαφοροποιημένο πληθυσμό σε σύγκριση με τις παρακείμενες θαλάσσιες περιοχές (Klossa-Kilia et al., 2007; Klossa-Kilia et al., 2002), καταλαμβάνοντας μέρος του οικολογικού θώκου των πλαγκτοφάγων ψαριών στη λίμνη (Bamber & Henderson, 1988). Σήμερα η αθερίνα αποτελεί το κυρίαρχο είδος της ιχθυοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας και έχει μεγάλη εμπορική σημασία, καθώς αντιπροσωπεύει το κυριότερο αλίευμά της (Leonardos, 2001), με ετήσια παραγωγή έως και 250 tn (Νταουλάς και συν., 1993).

5.1.1 Σκοπός

Στα πλαίσια της μελέτης της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας, κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί ο ρόλος του ζωοπλαγκτού ως τροφή για την αθερίνα, ως το κατεξοχήν ζωοπλαγκτοφάγο ψάρι στη λίμνη. Αποτελώντας το κυρίαρχο είδος σε ένα απομονωμένο λιμναίο υδάτινο οικοσύστημα και έχοντας βασίσει την διατροφή του αποκλειστικά στο ζωοπλαγκτό της λίμνης (Chrisafi et al., 2007), η αθερίνα θα πρέπει να προσαρμόζει τις ενεργειακές της απαιτήσεις στις εποχικές διακυμάνσεις της τροφής της, καθώς και να εκμεταλεύεται κάθε διαθέσιμη πηγή ενέργειας. Οι πληροφορίες για την διατροφή της αθερίνας στην λίμνη Τριχωνίδα είναι ελάχιστες και προέρχονται από τη μόνη δημοσιευμένη εργασία των Chrisafi et al. (2007) οι οποίοι περιορίζονται, ωστόσο, μόνο στη μελέτη της διαίτας χωρίς να συσχετίζουν τα ευρήματα από την ανάλυση του στομαχικού περιεχομένου με αυτά που αφορούν στη σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας στη λίμνη. Αντίθετα, στην παρούσα μελέτη, εκτός από το στομαχικό

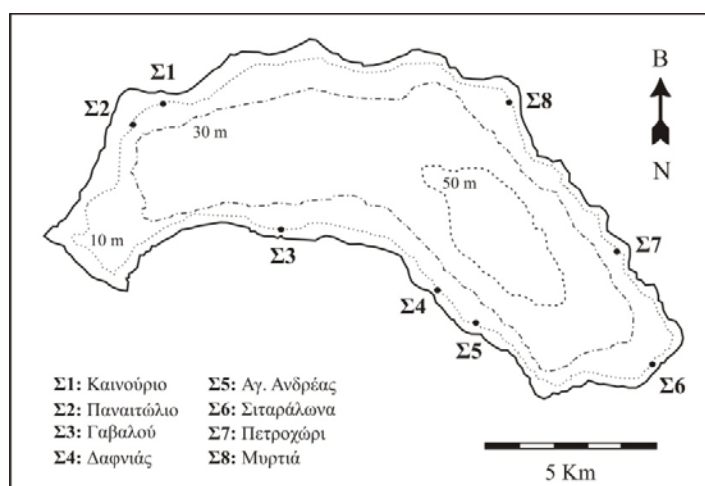
περιεχόμενο, εξετάζεται και η αφθονία της τροφής στο περιβάλλον του ψαριού, ώστε να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τις τροφικές του προτιμήσεις. Επειδή οι διατροφικές συνήθειες της αθερίνας μπορούν να επηρεάζουν την αφθονία και κατανομή των ζωοπλαγκτικών ειδών (Vizzini & Mazzola, 2002), μεταξύ των επιδιώξεων αυτής της μελέτης είναι η διερεύνηση της στρατηγικής θήρευσης της αθερίνας επί του ζωοπλαγκτού, πώς αυτή μπορεί να μεταβάλλεται εποχικά και ποια είναι η σύνδεσή της με την ηλικία ή/και το φύλο του ψαριού. Τελικά, το ζητούμενο είναι η εκτίμηση της σημασίας της θήρευσης για τη βιοκοινωνία του ζωοπλαγκτού, ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητός ο οικολογικός ρόλος της αθερίνας στο οικοσύστημα της λίμνης.

5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την διερεύνηση του ρόλου του ζωοπλαγκτού ως τροφή για την αθερίνα αλλά και της οικολογικής σπουδαιότητας του ψαριού στο οικοσύστημα της λίμνης, πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες δειγματοληψίες αθερίνας και ζωοπλαγκτού κατά το χρονικό διάστημα από τον Απρίλιο του 2006 έως το Μάρτιο του 2007. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι μήνες και οι περιοχές (η θέση των οποίων φαίνεται στην Εικόνα 5.1) στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες, καθώς και ο αριθμός του συνολικού δείγματος των ψαριών.

Πίνακας 5.1: Περιοχές συλλογής δειγμάτων αθερίνας και ζωοπλαγκτού από τη λίμνη Τριχωνίδα κατά το διάστημα Απρίλιος 2006 – Μάρτιος 2007.

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΑΤΟΜΩΝ
Απρίλιος	Γαβαλού	50
Μάιος	Καινούριο	50
Ιούνιος	Δαφνιάς	50
Ιούλιος	Πετροχώρι	50
Αύγουστος	Ανατολικές ακτές	50
Σεπτέμβριος	Ανατολικές ακτές	50
Οκτώβριος	Σιταράλωνα	50
Νοέμβριος	Ανατολικές ακτές	50
Δεκέμβριος	Μυρτιά	50
Ιανουάριος	Δαφνιάς	50
Φεβρουάριος	Αγ. Ανδρέας	40
Μάρτιος	Παναιτώλιο	50



Εικόνα 5.1: Χάρτης της λίμνης Τριχωνίδας με τις διάφορες θέσεις συλλογής ατομών αθερίνας

5.2.1 Στο πεδίο

Τα δείγματα της αθερίνας συλλέχθηκαν με τη βοήθεια επαγγελματιών ψαράδων και τη χρήση κυκλωτικού διχτυού (άνοιγμα «ματιού» από κόμπο σε κόμπο 6 mm). Η αλιευτική διαδικασία πραγματοποιούνταν συνήθως κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι τις πρωινές ώρες, σε σημεία όπου το βάθος κυμαίνονταν από 10 έως 30 m. Αμέσως μετά τη συλλογή, τα άτομα της αθερίνας διατηρούνταν σε διάλυμα φορμόλης 4 %, προκειμένου να περιοριστεί η περαιτέρω πέψη του στομαχικού τους περιεχομένου (Windell & Bowen, 1978).

Παράλληλα με τη συλλογή της αθερίνας και από το ίδιο σημείο δειγματοληψίας γινόταν συλλογή δειγμάτων ζωοπλαγκτού, με κατακόρυφη σύρση πλαγκτικού διχτυού μήκους 1 m, διαμέτρου 40 cm και ανοίγματος “ματιού” γάζας 50 μ m, το οποίο σύρονταν με ταχύτητα περίπου 0,5 m/sec, καλύπτοντας ολόκληρη την υδάτινη στήλη στο σημείο δειγματοληψίας. Αμέσως μετά τη συλλογή τους, τα δείγματα του ζωοπλαγκτού διατηρούνταν σε διάλυμα φορμόλης 4 %, έχοντας τελικό όγκο 100 ml.

5.2.2 Στο εργαστήριο

Η αναγνώριση των ζωοπλαγκτικών οργανισμών και ο υπολογισμός της αφθονίας τους στα δείγματα έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλέπε Κεφάλαιο 3).

Από το σύνολο των συλλεχθέντων ψαριών κάθε μήνα, γινόταν τυχαία επιλογή 50 ατόμων διαφόρων μεγεθών και μόνο το Φεβρουάριο χρησιμοποιήθηκε όλο το δείγμα των ψαριών, καθώς αποτελούνταν από 40 άτομα.

Σε κάθε ψάρι μετρήθηκε το ολικό μήκος (TL) και το άνοιγμα του στόματος με τη βοήθεια ψηφιακού μικρομέτρου και ακρίβεια 0,01 mm. Το φύλο κάθε ψαριού προσδιορίστηκε με μακροσκοπική ή, σε κάποιες περιπτώσεις, μικροσκοπική παρατήρηση των γονάδων, ενώ τα άτομα των οποίων οι γονάδες δεν ήταν ευδιάκριτες χαρακτηρίστηκαν ως ανώριμα και εξαιρέθηκαν από τις συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Από το καθαρό βάρος σώματος (NW) και το βάρος της γοάδας (GW) υπολογίστηκε για κάθε ψάρι ο γοναδοσωματικός δείκτης (gonadosomatic index, GSI), ο οποίος περιγράφεται από τη σχέση:

—

Συνολικά εξετάστηκε στερεοσκοπικά το στομαχικό περιεχόμενο 590 ατόμων αθερίνας και η αναγνώριση των οργανισμών που αποτέλεσαν τροφή έγινε στο ανώτερο δυνατό ταξινομικό επίπεδο. Η ποσοτικοποίηση του στομαχικού περιεχομένου για τους υπολογισμούς της αφθονίας βασίστηκε στον αριθμό των αναγνωρίσιμων οργανισμών αλλά και σε «υπολείμματα» τους αποτελούμενα από κεραίες, μάτια, πόδια, ή άλλα εξαρτήματα. Τα τελευταία θεωρήθηκε ότι προέρχονταν από τον ίδιο οργανισμό εφόσον ο αριθμός και οι διαστάσεις τους δεν ήταν μεγαλύτερα εκείνων που θα μπορούσαν να ανήκουν στο ίδιο ζώο (Pais, 2002). Για τις ιχθυοπρονύμφες που βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο των υπό εξέταση ψαριών, μετρήθηκε το ολικό μήκος και το πλάτος του σώματός τους, ενώ όλες από αυτές ήταν σε καλή κατάσταση αναγνωρίστηκαν σε είδος σύμφωνα με τους Νταουλάς και συν. (1993). Μέσα στο στομαχικό περιεχόμενο των ατόμων της αθερίνας που εξετάστηκαν βρέθηκε μεγάλος αριθμός αυγών καλανοιδών κωπηπόδων, τα οποία θεωρήθηκε ότι προέκυψαν από ωοφόρα θηλυκά που τα μετέφεραν και δεν αποτέλεσαν τα ίδια τροφή για το ψάρι, μιας και στη βιβλιογραφία δεν αναφέρεται η παρουσία αυγών κωπηπόδων ως τροφή. Έτσι, τα αυγά αυτά αντιστοιχήθηκαν σε ωοφόρα θηλυκά κωπήποδα με μια αναλογία κατά προσέγγιση 6 αυγά:1 θηλυκό, βασιζόμενοι σε παρατηρήσεις από το σύνολο των δειγμάτων του ζωοπλαγκτού.

Ο δείκτης κενών στομάχων (vacuity index, VI) υπολογίστηκε ως ο λόγος των κενών στομάχων προς τον συνολικό αριθμό αυτών που εξετάστηκαν, πολλαπλασιασμένος επί 100 (Molinero & Flos, 1992). Για την εκτίμηση της έντασης τροφοληψίας, προσδιορίστηκε εμπειρικά ο βαθμός πληρότητας του στομάχου ανάλογα με τον όγκο της τροφής που περιέχονταν σε αυτό. Έτσι, τα στομάχια διακρίθηκαν σε πέντε κατηγορίες: κενά, σχεδόν κενά, μισογεμάτα, σχεδόν γεμάτα και πλήρη.

Για κάθε ψάρι μετρήθηκε ολόκληρο το στομαχικό περιεχόμενο και για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η αριθμητική μέθοδος, η οποία κρίθηκε καταλληλότερη λόγω του μικρού μεγέθους όλων των ειδών τροφής (Hyslop, 1980). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, υπολογίστηκαν η συχνότητα εμφάνισης και η σχετική αφθονία κάθε είδους τροφής.

Η συχνότητα εμφάνισης (F) ορίζεται ως το ποσοστό του αριθμού (n_i) των στομάχων στα οποία περιέχεται το είδος τροφής i προς το σύνολο των μη κενών στομάχων (N), όπως περιγράφεται από τον τύπο:

—

Η σχετική αφθονία κάθε είδους τροφής (PN) εκφράστηκε ως το ποσοστό του συνόλου (Σp_i) των ατόμων του είδους τροφής i προς το σύνολο του στομαχικού περιεχομένου (ΣP), όπως περιγράφεται από τον τύπο:

—

Η ποικιλότητα της τροφής εκτιμήθηκε με τη χρήση του δείκτη ποικιλότητας Shannon-Wiener (Wilson & Bossert, 1971), η περιγραφή του οποίου έχει δοθεί στο Κεφάλαιο 3.

Προκειμένου να διερευνηθεί η μεταβολή των διατροφικών συνηθειών σε συνάρτηση με την ηλικία, τα άτομα της αθερίνας διακρίθηκαν με βάση το ολικό τους μήκος σε τέσσερις τάξεις μεγέθους, οι οποίες αντιστοιχούν στο ολικό μήκος των ηλικιακών ομάδων 0+ έως 3+ του είδους στη λίμνη Τριχωνίδα (Leonardos, 2001) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2:

Πίνακας 5.2: Όρια ολικού μήκους των ηλικιακών ομάδων της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα (Leonardos, 2001).

Τάξη μεγέθους	Ηλικιακή ομάδα	Ολικό μήκος (mm)
L ₁	0+	< 50
L ₂	1+	50,1 - 70
L ₃	2+	70,1 - 85
L ₄	3+	> 85

Για την διερεύνηση της επιλεκτικής πρόσληψης τροφής, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης επιλεκτικότητας (E_i) του Ivlev (Ivlev, 1961). Ο δείκτης λαμβάνει τιμές από -1 έως +1 δηλώνοντας, αντίστοιχα, αρνητική και θετική προτίμηση, ενώ υπολογίζεται από την μέση τιμή του ποσοστού παρουσίας του κάθε τροφικού είδους στο στομαχικό περιεχόμενο και στο περιβάλλον, ως εξής:

—

όπου p_i είναι το ποσοστό της τροφής i στο στομαχικό περιεχόμενο και P_i είναι το ποσοστό της τροφής i στο περιβάλλον.

Για την ανάλυση της στρατηγικής διατροφής της αθερίνας χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη από τους Amundsen et al. (1996) γραφική μέθοδος Costello (1990). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, σε ένα δισδιάστατο γράφημα αντιστοιχίζεται η ειδική αφθονία κάθε τροφικού είδους (prey specific abundance, P_i) με την συχνότητα εμφάνισής του στο στομαχικό περιεχόμενο. Η ειδική αφθονία ορίζεται ως το ποσοστό μιας κατηγορίας τροφής στο σύνολο του στομαχικού περιεχομένου όλων των θηρευτών που έχουν καταναλώσει την συγκεκριμένη τροφή, και υπολογίζεται από τον τύπο:

—

όπου P_i είναι η ειδική αφθονία της τροφής i και St_i είναι το σύνολο του περιεχομένου όλων των στομάχων στα οποία βρέθηκε η τροφή i . Η κατανομή των σημείων κατά μήκος των αξόνων και των διαγωνίων του διαγράμματος παρέχει πληροφορίες για την σπουδαιότητα της λείας και τη στρατηγική διατροφής του θηρευτή.

Σε ένα διάγραμμα με την τροποποιημένη από τους Amundsen et al. (1996) γραφική μέθοδο Costello (1990), η *σπουδαιότητα* της τροφής αντιπροσωπεύεται κατά μήκος της διαγωνίου από το κάτω αριστερά τμήμα του γραφήματος (σποραδική εμφάνιση) προς το πάνω δεξιά (κυρίαρχο είδος τροφής), ενώ η *στρατηγική διατροφής* αντιπροσωπεύεται κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα, από την βάση (γενικευμένη θήρευση) προς την κορυφή (εξειδικευμένη/στοχευμένη θήρευση). Η διαγώνιος από το κάτω δεξιά τμήμα του γραφήματος προς το επάνω αριστερά, αντιπροσωπεύει την φαινοτυπική συνεισφορά στη στρατηγική διατροφής. Μια κατηγορία τροφής που καταναλώνεται από μεγάλο αριθμό ατόμων (και άρα μεγάλο εύρος φαινότυπων) τοποθετείται στα δεξιά της διαγωνίου. Αντίθετα, μια κατηγορία τροφής που καταναλώνεται από περιορισμένο αριθμό ατόμων τοποθετείται στο αριστερό άκρο.

Τέλος, από τη σύνθεση του στομαχικού περιεχομένου υπολογίστηκε το TROPH με τη χρήση του TrophLab (Pauly et al., 2000), για το σύνολο των εξεταζόμενων ατόμων αθερίνας αλλά και για τις επιμέρους ηλικιακές κλάσεις ξεχωριστά. Το TROPH ενός υδρόβιου καταναλωτή αποτελεί ένα δείκτη των τροφικών συνηθειών του και λαμβάνει τιμές από 2,0 για φυτοφάγους/σαπροφάγους οργανισμούς, και έως 5,0 για ιχθυοφάγους/σαρκοφάγους οργανισμούς.

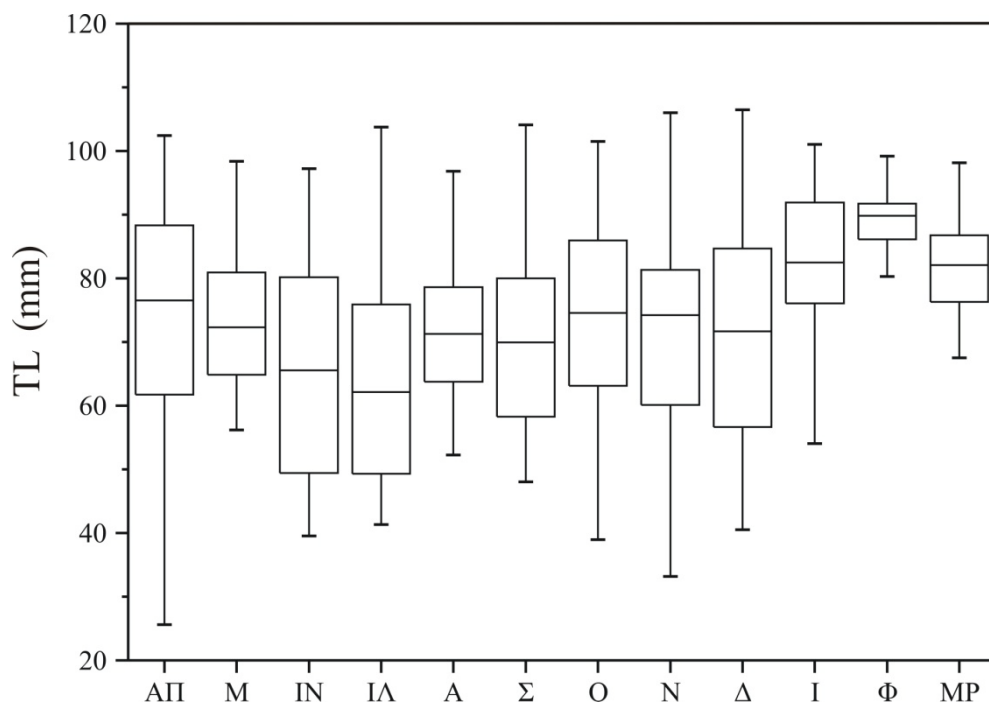
5.2.3 Στατιστική επεξεργασία

Η μηνιαία διακύμανση του ολικού μήκους των εξεταζόμενων ατόμων κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου ελέγχθηκε με την μη παραμετρική δοκιμή Kruskal-Wallis (επειδή δεν πληρούνταν οι προϋποθέσεις για το παραμετρικό τεστ ANOVA), ενώ η διαφορά του γοναδοσωματικού δείκτη αλλά και του δείκτη κενών στομάχων μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων ελέγχθηκε με το παραμετρικό t-test. Ανάλυση της διασποράς διπλής κατεύθυνσης (two way ANOVA) χρησιμοποιήθηκε σε $\log(x+1)$ τιμές του δείκτη Shannon–Wiener για τη διερεύνηση εποχικών και οντογενετικών μεταβολών της ποικιλότητας της διατροφής, ενώ παρόμοια μεταβολή μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων εξετάστηκε με το t-test. Διαφοροποίηση στην αναλογία των ιχθυοπρονυμφών που καταναλώθηκαν από θηλυκά και αρσενικά άτομα εξετάστηκε με το χ^2 -test, ενώ ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson (r) χρησιμοποιήθηκε για την συσχέτιση μορφομετρικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων ατόμων αλλά και των ιχθυοπρονυμφών που βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο. Όλες οι στατιστικές δοκιμές έγιναν σε διάστημα εμπιστοσύνης 0,05 με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS Statistics 17.0.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.3.1 Μορφομετρικά στοιχεία και αναπαραγωγή

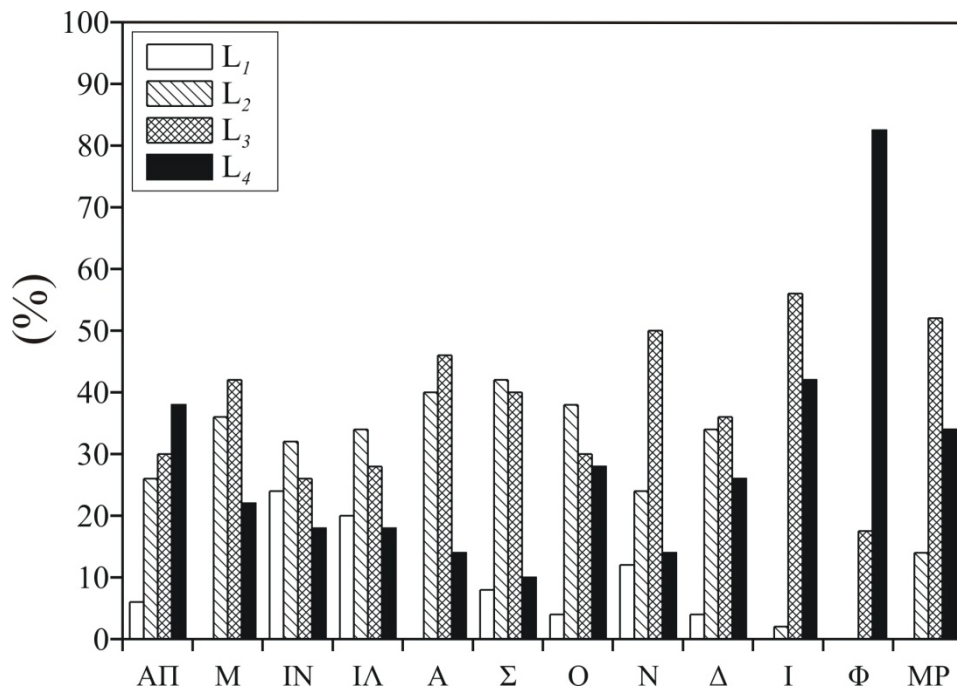
Το ολικό μήκος (TL) των ψαριών που εξετάστηκαν κυμάνθηκε από 25,58 έως 112,21 mm, εμφανίζοντας στατιστικά σημαντική μεταβολή μεταξύ των μηνών (Kruskal-Wallis test, $p=0,000$). Οι μικρότερες τιμές ολικού μήκους σημειώθηκαν τον Ιούνιο ($65,6 \text{ mm} \pm 17,7$) ενώ οι μεγαλύτερες το Φεβρουάριο ($89,3 \text{ mm} \pm 4,3$) (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Μηνιαία διακύμανση του ολικού μήκους των εξεταζόμενων ατόμων αθερίνας. Με τις μπάρες δηλώνεται το εύρος των τιμών και με την οριζόντια γραμμή η μέση τιμή, ενώ τα πλαίσια αντιστοιχούν στο εύρος των τιμών που εμφανίζει το 75% του δείγματος.

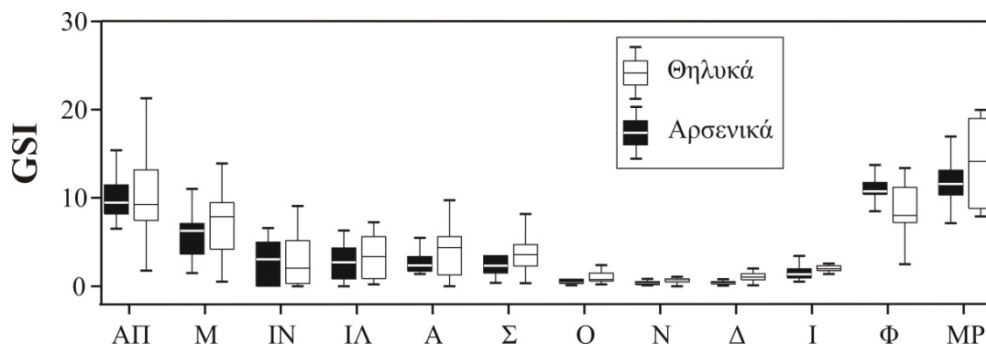
Με βάση το ολικό τους μήκος, τα εξεταζόμενα άτομα διακρίθηκαν σε τέσσερις ηλικιακές κλάσεις, που αντιστοιχούν στα 0+ έως 3+ έτη ζωής. Βρέθηκαν 39 άτομα της ηλικιακής κλάσης L_1 , 161 άτομα της ηλικιακής κλάσης L_2 , 225 άτομα της ηλικιακής κλάσης L_3 και 165 άτομα της ηλικιακής κλάσης L_4 .

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.3, περισσότερα νεαρά άτομα (L_1) βρέθηκαν τον Ιούνιο, ενώ το Φεβρουάριο το δείγμα απαρτιζόταν μόνο από άτομα μεγαλύτερης ηλικίας (L_3 και L_4).



Εικόνα 5.3: Ηλικιακή σύνθεση των εξεταζόμενων ατόμων αθερίνας από την λίμνη Τριχωνίδα.

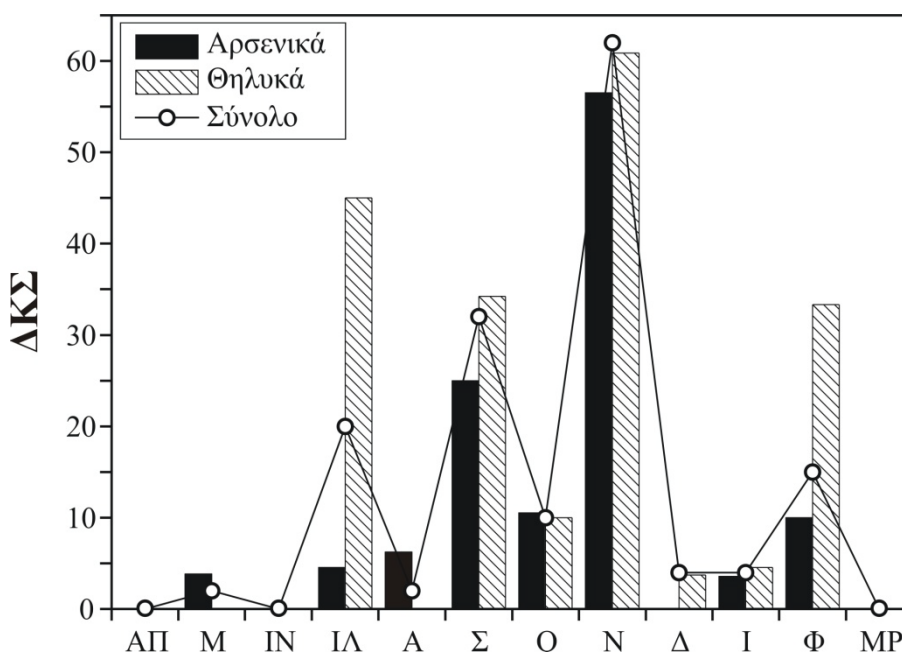
Ο γοναδοσωματικός δείκτης και για τα δύο φύλα σημείωσε μεγαλύτερες τιμές το Μάρτιο και μικρότερες το Νοέμβριο (Είόνα 5.4), χωρίς να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο φύλων (t-test, $p=0,570$).



Εικόνα 5.4: Μηνιαία διακύμανση του γοναδοσωματικού δείκτη (GSI) των θηλυκών και αρσενικών ατόμων αθερίνας κατά τη δειγματοληπτική περίοδο. Με τις μπάρες δηλώνεται το εύρος των τιμών και με την οριζόντια γραμμή η μέση τιμή, ενώ τα πλαίσια αντιστοιχούν στο εύρος των τιμών που εμφανίζει το 75% του δείγματος.

5.3.2 Ένταση τροφοληψίας / Πληρότητα στομάχου

Από τα 590 στομάχια που αναλύθηκαν κατά την παρούσα μελέτη, 75 βρέθηκαν κενά. Ο δείκτης κενών στομάχων (ΔΚΣ) για το σύνολο των εξεταζόμενων ατόμων βρέθηκε ίσος με 12,71 % και εμφάνισε μηνιαία μεταβολή, με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται το Νοέμβριο και τις χαμηλότερες την άνοιξη και το καλοκαίρι (Εικόνα 5.5).

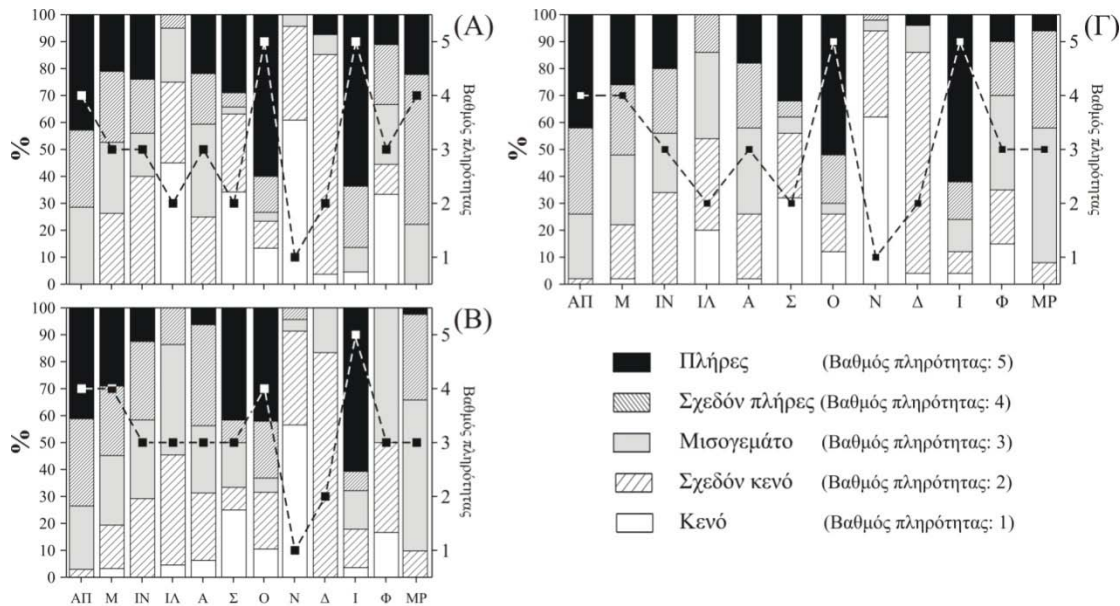


Εικόνα 5.5: Μηνιαία διακύμανση του δείκτη κενών στομάχων για το σύνολο των εξεταζόμενων ψαριών και για τα δύο φύλα ξεχωριστά.

Ο ΔΚΣ γενικά δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων (t -test, $p=0,818$), ενώ μόνο τον Ιούλιο και το Φεβρουάριο τα θηλυκά εμφάνισαν μεγαλύτερο αριθμό κενών στομάχων σε σχέση με τα αρσενικά (Εικόνα 5.5).

Γενικά, μεγαλύτερος βαθμός κορεσμού των στομάχων βρέθηκε τον Ιανουάριο και λιγότερο κορεσμένα στομάχια βρέθηκαν το Νοέμβριο, ενώ το ίδιο παρατηρήθηκε και για τα δύο φύλα ξεχωριστά (Εικόνα 5.6). Ωστόσο, μεταξύ των θηλυκών και αρσενικών ατόμων παρατηρήθηκαν κάποιες διαφορές στην ένταση τροφοληψίας κατά τη διάρκεια της περιόδου δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, το Μάρτιο και τον Απρίλιο παρατηρήθηκε μικρότερος βαθμός πληρότητας στα στομάχια των αρσενικών ατόμων ενώ, αντίθετα, από

το Μάιο μέχρι τον Ιούλιο αλλά και κατά το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, τα στομάχια των θηλυκών ατόμων ήταν λιγότερο κορεσμένα σε σχέση με τα αρσενικά. Ειδικά τον Ιούλιο, τα περισσότερα θηλυκά ψάρια βρέθηκαν με κενό ή σχεδόν κενό στομάχι (Εικόνα 5.6).

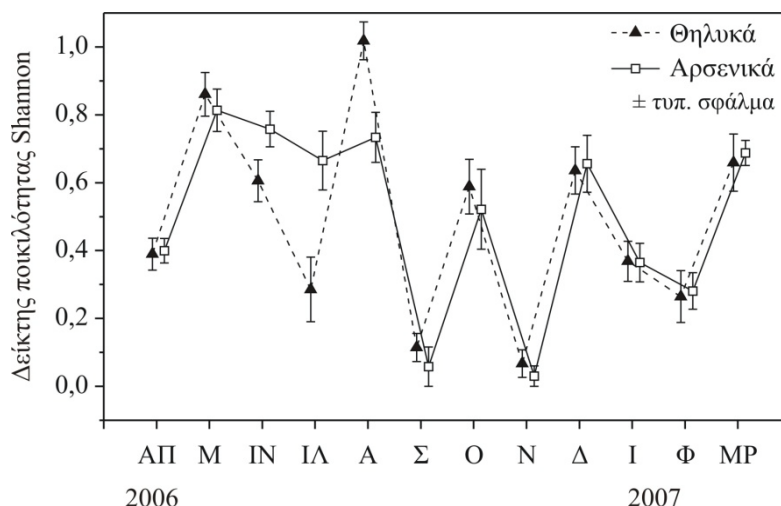


Εικόνα 5.6: Μηνιαία διακύμανση του βαθμού πληρότητας των στομάχων των θηλυκών (Α) και αρσενικών (Β) ψαριών αλλά και του συνόλου των εξεταζόμενων ατόμων (Γ). Με τη διακεκομμένη γραμμή δηλώνεται η διακύμανση του μέσου βαθμού πληρότητας των στομάχων.

5.3.3 Ποικιλότητα διατροφής

Ο δείκτης ποικιλότητας Shannon–Wiener (H') για το στομαχικό περιεχόμενο των ψαριών κυμάνθηκε από 0 έως 1,545, παρουσιάζοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μηνών και των οντογενετικών σταδίων (two way ANOVA, $p=0,000$ και $p=0,043$ αντίστοιχα), αλλά όχι μεταξύ των δύο φύλων (t-test, $p=0,344$).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.7, μεγαλύτερες τιμές του δείκτη σημειώθηκαν τον Αύγουστο και ιδιαίτερα για τα θηλυκά ψάρια, ενώ οι χαμηλότερες τιμές σημειώθηκαν το Νοέμβριο. Μείωση στην ποικιλότητα της διατροφής παρατηρήθηκε από το Μάιο προς τον Ιούλιο, η οποία ήταν πιο έντονη για τα θηλυκά ψάρια.



Εικόνα 5.7: Μηνιαία διακύμανση του δείκτη ποικιλότητας των Shannon–Wiener (H') για τα αρσενικά και θηλυκά άτομα αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα.

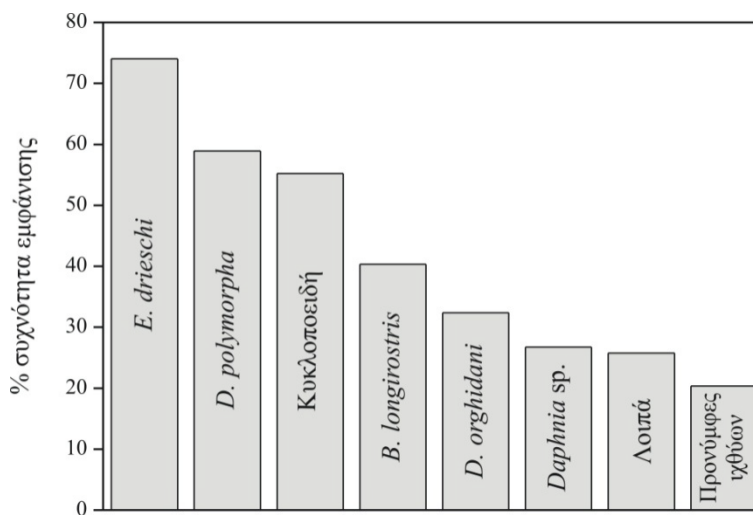
5.3.4 Σύνθεση της διαίτας και εποχικές διακυμάνσεις

Η διαίτα της αθερίνας στην Τριχωνίδα βρέθηκε να απαρτίζεται από 14 τροφικές κατηγορίες (Πίνακας 5.3). Μεταξύ αυτών ήταν τα καλανοειδή κωπήποδα του είδους *Eudiaptomus drieschi*, κυκλοποειδή κωπήποδα των ειδών *Macrocyclus albidus* και *Microcyclus varicans*, κλαδόκερα των ειδών *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Diaphanosoma orghidani*, *Leptodora kindtii* και των γενών *Daphnia* sp. και *Alona* sp., προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *Dreissena polymorpha*, προνύμφες εντόμων της οικογένειας Chironomidae αλλά και άλλων μη αναγνωρίσιμων ειδών, αμφίποδα καθώς και προνυμφικά στάδια ψαριών (γόνος) των ειδών *Economidichthys trichonis* και *A. boyeri*. Στο στομαχικό περιεχόμενο δεν βρέθηκαν τροχόζωα, ενώ κλαδόκερα του γένους *Alona* sp., κυκλοποειδή κωπήποδα *M. varicans*, ναύπλιοι κωπηπόδων, προνύμφες εντόμων και αμφίποδα εμφανίστηκαν σποραδικά.

Πίνακας 5.3: Ποσοστιαία ανά μήνα σύνθεση της διαίτας της αθερίνας (*A. boyeri*) στην λίμνη Τριχωνίδα. Οι κατηγορίες με αστερίσκο είναι εκφρασμένες ποσοτικά.

	ΑΠ 06	Μ 06	ΙΝ 06	ΙΛ 06	Α 06	Σ 06	Ο 06	Ν 06	Δ 06	Ι 07	Φ 07	ΜΡ 07	(*) ΣΥΝΟΛΟ
<i>Alona</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
<i>B. longirostris</i>	3,98	0,00	4,85	12,86	0,63	2,94	2,92	83,33	100,00	99,18	35,71	7,55	2315
<i>C. pulchella</i>	1,04	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49
<i>Daphnia</i> sp.	92,86	68,26	1,65	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	26,42	5597
<i>D. orghidani</i>	1,23	31,71	93,22	86,76	82,17	97,06	97,08	16,67	0,00	0,45	57,14	66,04	11792
<i>L. kindti</i>	0,90	0,03	0,13	0,00	17,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	346
(*) ΚΛΑΔΟΚΕΡΑ	3671	2993	7450	2092	1733	34	548	6	405	1101	14	53	20100
<i>E. drieschi</i> ενήλικα	94,59	77,59	91,17	99,95	33,77	97,97	95,94	61,54	55,02	88,76	99,61	90,35	108215
<i>E. drieschi</i> κωπηποδίτες	4,59	0,01	0,00	0,00	0,19	0,00	2,16	0,00	0,37	0,96	0,02	1,08	1915
<i>M. albidus</i> ενήλικα	0,73	22,40	8,83	0,05	55,55	2,03	1,29	34,62	44,36	9,53	0,32	8,58	12541
<i>M. albidus</i> κωπηποδίτες	0,06	0,00	0,00	0,00	9,92	0,00	0,43	3,85	0,25	0,49	0,04	0,00	861
<i>M. varicans</i> ενήλικα	0,03	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	159
<i>M. varicans</i> κωπηποδίτες	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	27
Ναύπλιοι κωπηπόδων	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
(*) ΚΩΠΗΠΟΔΑ	27256	11174	3183	2000	5667	295	1159	52	807	55947	8565	7614	123719
(*) προνύμφες <i>D. polymorpha</i>	0	84	276	78	459	8	362	2	123	1475	2829	11361	17057
(*) προνύμφες Chironomidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	3
(*) ΑΜΦΙΠΟΔΑ	0	11	1	3	5	0	1	0	0	0	0	0	21
(*) ENTOMA	0	0	0	3	2	3	2	0	1	0	2	1	14
(*) Ιχθυπρονύμφες	0	14	49	11	5	143	353	10	18	0	0	5	608
(*) Αυγά κωπηπόδων	11029	455	1308	1035	6701	251	902	85	550	38330	7823	998	69467

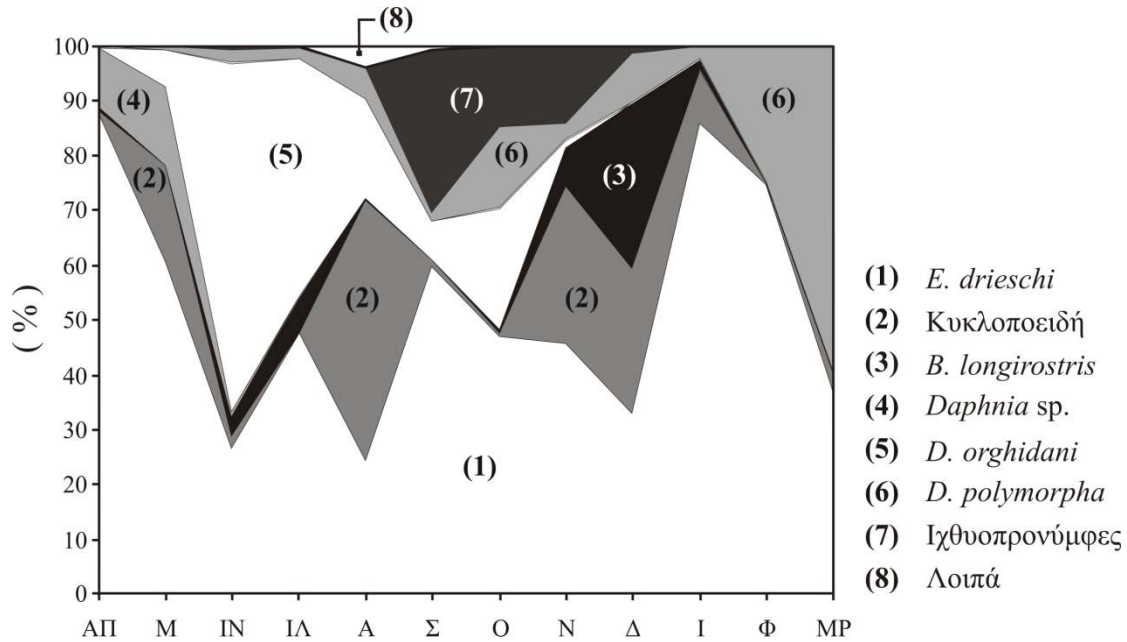
Από τις πιο συχνά εμφανιζόμενες κατηγορίες τροφής στο στομαχικό περιεχόμενο των εξεταζόμενων ατόμων ήταν τα καλανοειδή κωπήποδα και οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha*, ενώ το 20,3 % των ψαριών είχαν καταναλώσει ιχθυοπρονύμφες (Εικόνα 5.8).



Εικόνα 5.8: Συχνότητα εμφάνισης των κυριότερων τροφικών κατηγοριών στο στομαχικό περιεχόμενο των εξεταζόμενων ατόμων αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα.

Τα κωπήποδα αποτέλεσαν το 76,6 % του συνόλου των ατόμων που αποτέλεσαν τροφή, με τα καλανοειδή *E. drieschi* να απαρτίζουν το 68,2 % και τα κυκλοποειδή *M. albidus* και *M. varicans* να έχουν μαζί πολύ χαμηλότερη συμμετοχή (8,4 %). Τα κλαδόκερα αποτέλεσαν το 12,4 % της διαίτας, με τα *D. orghidani*, *Daphnia* sp. και *B. longirostris* να αντιστοιχούν στο 7,3, 3,5 και 1,4 %, αντίστοιχα. Οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* αποτέλεσαν το 10,6 % της διαίτας, ενώ μόλις το 0,4 % κατέλαβαν οι υπόλοιπες κατηγορίες τροφής (Πίνακας 5.2).

Η ανάλυση του στομαχικού περιεχομένου αποκάλυψε εποχικές διαφοροποιήσεις στη διατροφή της αθερίνας. Έτσι, ενώ τα κωπήποδα ήταν η ομάδα με το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στη διατροφή του ψαριού σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου, τον Ιούνιο και Ιούλιο ήταν κυρίαρχα τα κλαδόκερα, αλλά και το Μάρτιο ήταν ιδιαίτερα αυξημένη η παρουσία των προνυμφών του *D. polymorpha* (Εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9: Ποσοστό συμμετοχής των κυριότερων τροφικών κατηγοριών στο στομαχικό περιεχόμενο των ατόμων αθερίνας σε κάθε μήνα.

Πιο αναλυτικά, το ποσοστό των κωπηπόδων στο στομαχικό περιεχόμενο των εξεταζόμενων ατόμων κυμάνθηκε από 29 % (τον Ιούνιο) έως 95,6 % (τον Ιανουάριο). Μεταξύ των ειδών κωπηπόδων, το καλανοειδές είδος *E. drieschi* βρέθηκε να απαρτίζει το 24,5 έως 87,4 % του στομαχικού περιεχομένου ενώ, τα κυκλοποειδή *M. albidus* και *M. varicans* είχαν αυξημένη παρουσία στο στομαχικό περιεχόμενο μόνο τον Αύγουστο, το Νοέμβριο και το Δεκέμβριο, με ποσοστά 47,5, 28,6 και 26,6 %, αντίστοιχα (Εικόνα 5.9).

Τα κλαδόκερα είχαν πολύ μικρή συμμετοχή στο στομαχικό περιεχόμενο κατά το Φεβρουάριο και το Μάρτιο (0,1 και 0,3 %, αντίστοιχα), ενώ την υπόλοιπη περίοδο το ποσοστό τους κυμάνθηκε από 1,9 % (Ιανουάριος) έως 68 % (Ιούνιος). Μεταξύ των κλαδόκερων, τα άτομα του γένους *Daphnia* sp. είχαν μεγαλύτερη συμμετοχή στο στομαχικό περιεχόμενο τον Απρίλιο και το Μάιο, το είδος *D. orghidani* κυριάρχησε κατά το διάστημα Ιούνιος – Οκτώβριος, ενώ το είδος *B. longirostris* ήταν το επικρατέστερο από το Νοέμβριο έως τον Ιανουάριο (Εικόνα 5.9).

Προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* δεν βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο των ψαριών τον Απρίλιο, ενώ η συμμετοχή τους στην διαίτα του ψαριού ήταν πολύ μικρή το Μάιο (0,6 %). Κατά την περίοδο από τον Ιούνιο μέχρι το Φεβρουάριο το ποσοστό συμμετοχής τους στο στομαχικό περιεχόμενο ήταν γενικά χαμηλότερο από

εκείνο των κωπηπόδων και των κλαδόκερων (1,7 % έως 24,8 %), ωστόσο το Μάρτιο αποτέλεσαν το 59,7 % της δίαιτας.

Ιχθυο φο ύμφες βρέθηκαν κυρίως κατά το διάστημα από το Μάιο έως το Δεκέμβριο, συμμετέχοντας στο στομαχικό περιεχόμενο με ποσοστά από 0,1 έως 29,5 %, ενώ πιο έντονη ήταν η παρουσία τους από το Σεπτέμβριο έως το Νοέμβριο (29,5% – 14,3%). Η πλειοψηφία των αναγνωρίσιμων ιχθυοπρονυμφών ανήκε στο είδος *E. trichonis*.

Από τις λοιπές τροφικές κατηγορίες που αναφέρονται στον Πίνακα 5.2, τα κλαδόκερα του είδους *L. kindti* σημείωσαν αυξημένη παρουσία στο στομαχικό περιεχόμενο των ψαριών τον Αύγουστο, με ποσοστό 3,8 %.

5.3.5 Οντογενετικές διαφοροποιήσεις στη δίαιτα

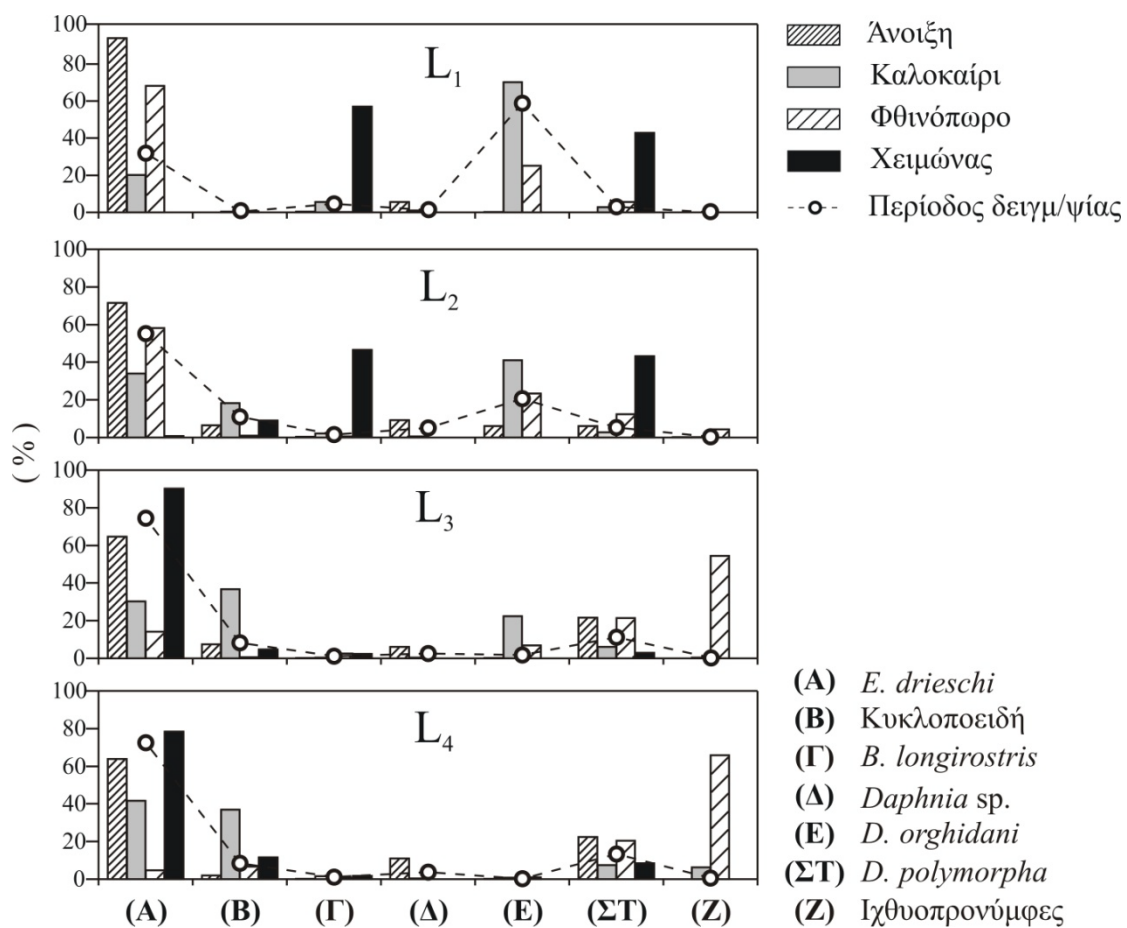
Διαφοροποιήσεις καταγράφηκαν στη σύνθεση της δίαιτας μεταξύ των διαφόρων ηλικιακών ομάδων της αθερίνας. Στο σύνολο της δειγματοληπτικής περιόδου, την πλειοψηφία του στομαχικού περιεχομένου των ατόμων της κατηγορίας L₁ αποτέλεσαν τα κλαδόκερα (64,7 %), ενώ τα κωπήποδα ήταν η πολυπληθέστερη ομάδα στο στομαχικό περιεχόμενο των υπόλοιπων οντογενετικών σταδίων των ψαριών (66,3, 82,6 και 81 %, αντίστοιχα). Ωστόσο, στα νεαρότερα άτομα (L₁, L₂) τα κωπήποδα σχεδόν απουσίαζαν κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ, αντίθετα, αυτή την εποχή ήταν μεγάλη η συμμετοχή τους στο στομαχικό περιεχόμενο των μεγαλύτερων οντογενετικών σταδίων (Εικ. 5.10).

Μεταξύ των ειδών κωπηπόδων που βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο, το καλανοειδές είδος *E. drieschi* είχε το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής και στα τέσσερα στάδια ανάπτυξης της αθερίνας. Ένας μικρός αριθμός κυκλοποειδών κωπηπόδων βρέθηκε στο στομαχικό περιεχόμενο των ατόμων του οντογενετικού σταδίου L₁ το καλοκαίρι (0,6 %) και το φθινόπωρο (0,6 %), ενώ μεγαλύτερη ήταν η συμμετοχή τους στη δίαιτα των υπόλοιπων οντογενετικών σταδίων κυρίως το καλοκαίρι.

Το ποσοστό συμμετοχής του *D. orghidani* στην δίαιτα των επιμέρους οντογενετικών σταδίων βρέθηκε να μειώνεται από 58,8 % σε 0,1 % με την αύξηση της ηλικίας του ψαριού και το ίδιο παρατηρήθηκε και για το είδος *B. longirostris*, το οποίο από το 4,5 % του στομαχικού περιεχομένου των νεαρότερων ατόμων (L₁) μειώθηκε στο 1,2 % του στομαχικού περιεχομένου των ατόμων των σταδίων L₃ και L₄. Επιπλέον,

περισσότερα άτομα του είδους *B. longirostris* καταναλώνονταν από τα νεαρότερα άτομα της αθερίνας το χειμώνα. Αντίθετα, δεν υπήρξε διαφορά στη συμμετοχή των ατόμων του γένους *Daphnia* sp. στη δίαιτα των επιμέρους ηλικιακών σταδίων του ψαριού (Εικόνα 5.10).

Το ποσοστό των προνυμφών του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* στο στομαχικό περιχόμενο της αθερίνας ήταν μεγαλύτερο στα άτομα μεγαλύτερης ηλικίας, ενώ τα νεαρότερα στάδια κατανάλωσαν μεγαλύτερο αριθμό προνυμφών κατά τους χειμερινούς μήνες (Εικόνα 5.10).



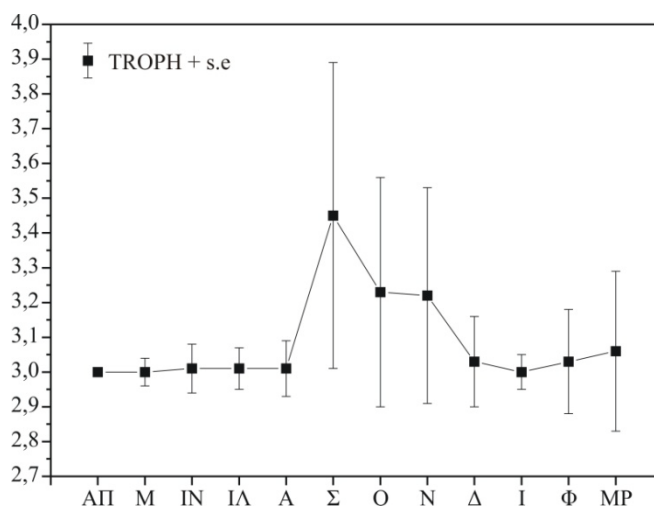
Εικόνα 5.10: Ποσοστό συμμετοχής των κυριότερων τροφικών κατηγοριών στο στομαχικό περιεχόμενο των διάφορων ηλικιακών κλάσεων της αθερίνας στις τέσσερις εποχές.

Γενικά, υπήρξε μεγάλη ομοιότητα στη σύνθεση της διαίτας των ατόμων των μεγαλύτερων ηλικιακών ομάδων L₃ και L₄, τα οποία κατανάλωσαν κυρίως την άνοιξη,

το καλοκαίρι και το χειμώνα, ενώ το φθινόπωρο οι ιχθυοπρονύμφες ήταν η σημαντικότερη κατηγορία τροφής (54,5 και 65,9 %, στις αντίστοιχες ηλικιακές ομάδες) (Εικόνα 5.10).

Ιχθυοπρονύμφες βρέθηκαν να έχουν καταναλώσει τα μεγαλύτερα σε μέγεθος άτομα αθερίνας (TL > 53,26 mm). Συνολικά 608 ιχθυοπρονύμφες βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο 105 ατόμων αθερίνας (17,8 %) με ολικό μήκος από 53,3 έως 112,2 mm. Μεταξύ αυτών, 186 προνύμφες βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο 35 αρσενικών ατόμων και 422 στο στομαχικό περιεχόμενο 70 θηλυκών, χωρίς ωστόσο η διαφορά αυτή να είναι στατιστικά σημαντική (χ^2 -test, $p = 0,645$). Από το σύνολο των ιχθυοπρονυμφών στο στομαχικό περιεχόμενο, συνολικά 366 βρέθηκαν σε κατάσταση μερικής χώνευσης, οπότε ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του ολικού μήκους και του πλάτους του σώματός τους. Το ολικό μήκος των ιχθυοπρονυμφών κυμάνθηκε μεταξύ 4 και 21 mm, ενώ το πλάτος του σώματός τους κυμάνθηκε από 0,5 έως 4 mm. Μεταξύ του ανοίγματος του στόματος της αθερίνας και του ολικού μήκους του σώματός της βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση ($r = 0,866$, $p < 0,01$), ενώ θετική συσχέτιση βρέθηκε και μεταξύ του ανοίγματος του στόματος του θηρευτή και του μήκους των ιχθυοπρονυμφών ($r = 0,306$, $p < 0,01$).

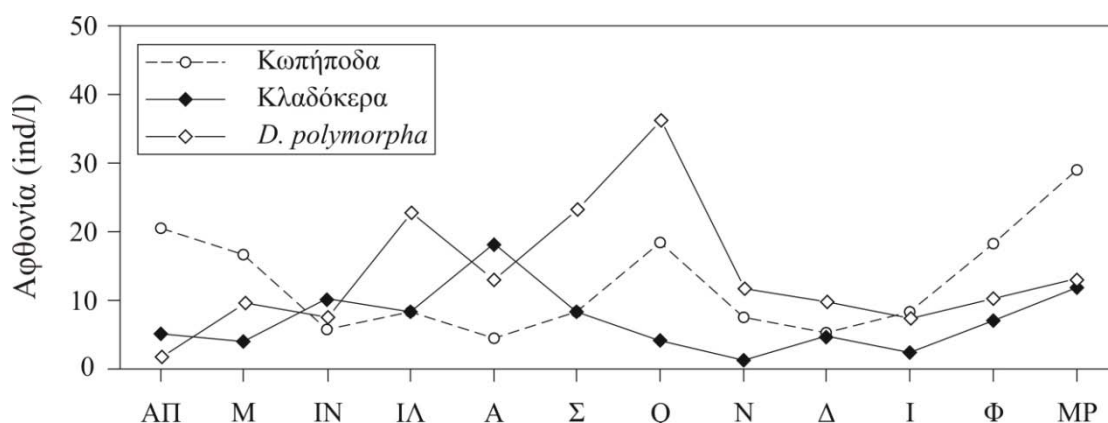
Ο δείκτης TROPH για το σύνολο των εξεταζόμενων ατόμων αθερίνας βρέθηκε 3,02 στο 0,11 s.e ενώ, στη διάρκεια του έτους κυμάνθηκε μεταξύ 3,00 στο 0,00 s.e. και 3,45 στο 0,44 s.e., εμφανίζοντας αύξηση κατά το φθινόπωρο (Εικ. 5.11). Για τις επιμέρους ηλικιακές κλάσεις βρέθηκε για την L_1 3,00 (0,05 s.e), για την L_2 3,01 (0,08 s.e), για την L_3 3,02 (0,11 s.e) και για την L_4 3,02 (0,12 s.e).



Εικόνα 5.11: Μηνιαία διακύμανση του TROPH για το σύνολο των εξεταζόμενων ατόμων αθερίνας.

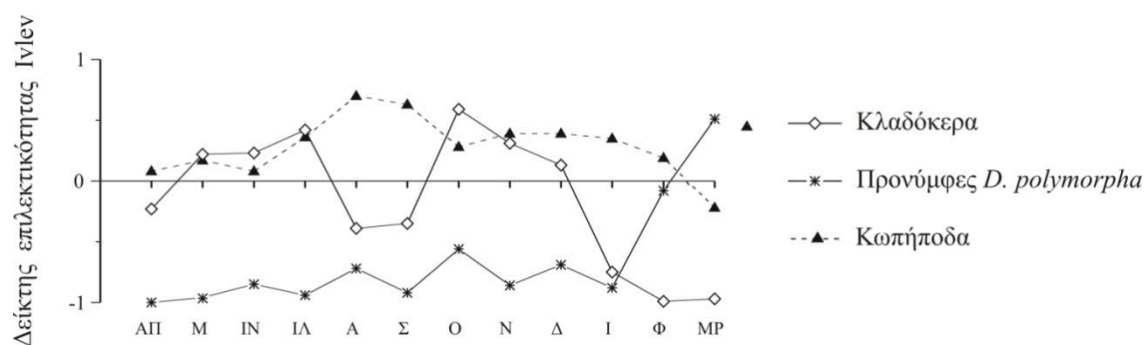
5.3.6 Επιλεκτικότητα τροφής & διατροφικές στρατηγικές

Από τα δεδομένα της ανάλυσης των δειγμάτων του ζωοπλαγκτού, που συλλέγονταν παράλληλα με την αθερίνα, προέκυψε η μηνιαία διακύμανση της αφθονίας των τριών κυριότερων ζωοπλαγκτικών ομάδων στην λίμνη Τριχωνίδα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.11. Τα κωπήποδα ήταν κυρίαρχα το χειμώνα και την άνοιξη, ενώ τα κλαδόκερα ήταν πιο άφθονα το καλοκαίρι. Οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* κυριάρχησαν στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία κατά το φθινόπωρο, ενώ χαμηλότερη αφθονία καταγράφηκε το χειμώνα και την άνοιξη.



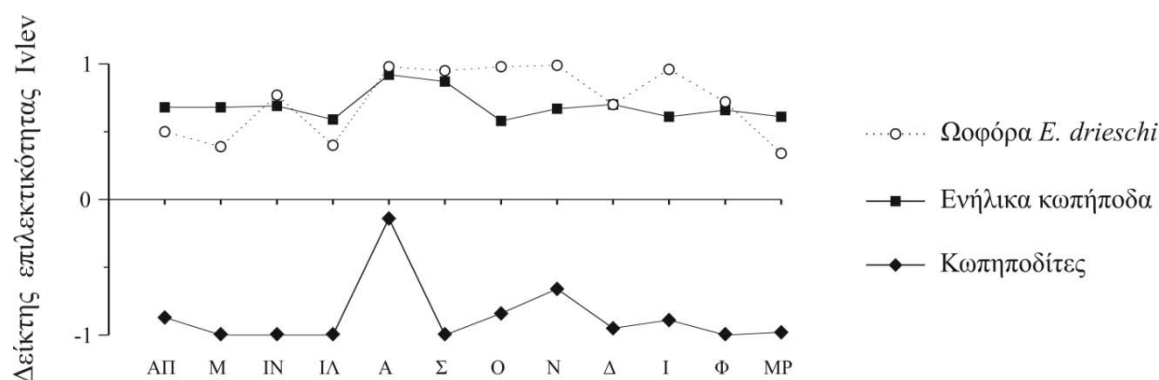
Εικόνα 5.12: Μηνιαία διακύμανση της αφθονίας των κύριων ζωοπλαγκτικών ομάδων στις θέσεις δειγματοληψίας της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα κατά την περίοδο Απρίλιος 2006–Μάρτιος 2007.

Η χρήση του δείκτη επιλεκτικότητας του Ivlev ανέδειξε την ύπαρξη προτίμησης της αθερίνας για κάποια είδη τροφής. Το σύνολο του πληθυσμού έδειξε ξεκάθαρη προτίμηση για τα κωπήποδα σχεδόν καθόλη τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου (Εικόνα 5.13). Οι τιμές του δείκτη επιλεκτικότητας για αυτή την κατηγορία τροφής κυμάνθηκαν από 0,08 έως 0,70, ενώ υπήρξε μόνο μια αρνητική τιμή (-0,22) το Μάρτιο. Αντίθετα, η αθερίνα έδειξε αρνητική προτίμηση για τις προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* (-1,00 έως 0,08), εκτός από το Μάρτιο (0,51). Επίσης, εμφάνισε θετική προτίμηση για το σύνολο των κλαδόκερων από το Μάιο έως τον Ιούλιο και από τον Οκτώβριο έως το Δεκέμβριο ($0,13 < E < 0,59$), ενώ κατά την υπόλοιπη περίοδο καταγράφηκαν αρνητικές τιμές επιλεκτικότητας για τη συγκεκριμένη κατηγορία τροφής ($-0,99 < E < -0,23$).



Εικόνα 5.13: Μηνιαία διακύμανση του δείκτη επιλεκτικότητας του Ivlev για τις τρεις κυριότερες ζωοπλαγκτικές ομάδες.

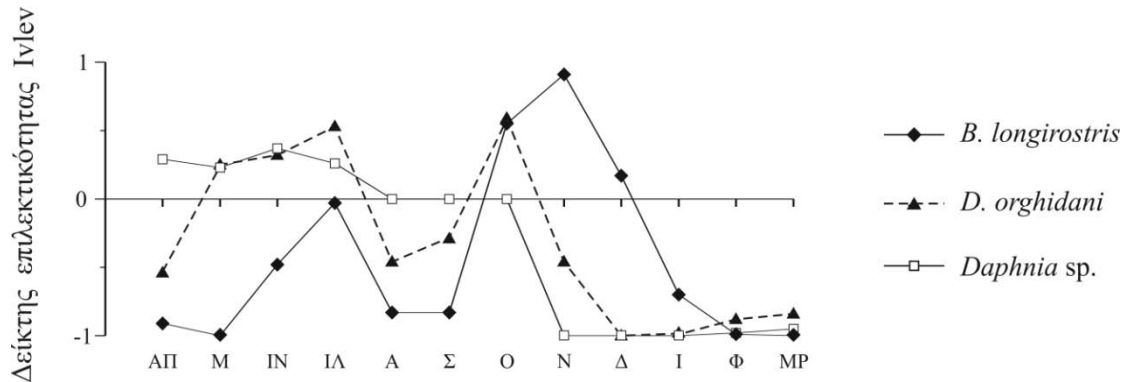
Η αθερίνα έδειξε ξεκάθαρη προτίμηση για τα μεγαλύτερα σε μέγεθος κωπήποδα, όπως τα ενήλικα καλανοαδή και κυκλοποαδή και κυρίως τα ωοφόρα θηλυκά του *E. drieschi*, ενώ αντίθετα, αρνητική προτίμηση φάνηκε για τους κωπηποδίτες όλων των ειδών κωπηπόδων (Εικόνα 5.14).



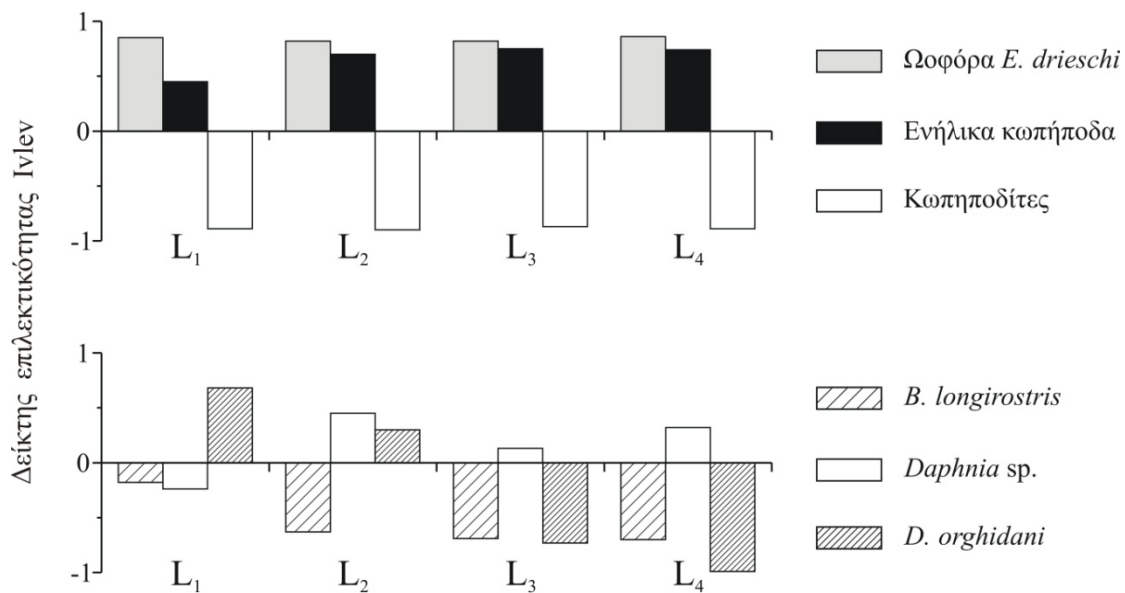
Εικόνα 5.14: Μηνιαία διακύμανση του δείκτη επιλεκτικότητας του Ivlev για τη βιοκοινωνία των κωπηπόδων.

Από τον Απρίλιο έως τον Ιούλιο φάνηκε θετική προτίμηση για τα άτομα του γένους *Daphnia* sp. (Εικόνα 5.15), ενώ κατά το υπόλοιπο διάστημα το γένος αυτό είτε απουσίαζε από τα δείγματα του ζωοπλαγκτού (Αύγουστος – Οκτώβριος), ή βρέθηκε σποραδικά (Νοέμβριος – Φεβρουάριος), με αποτέλεσμα τις αρνητικές τιμές προτίμησης ($E=-1,00$). Για το είδος *D. orghidani* καταγράφηκε θετική προτίμηση μόνο μεταξύ Μαΐου και Ιουλίου καθώς και τον Οκτώβριο. Αντιθέτως, ισχυρή αρνητική προτίμηση φάνηκε για το είδος *B. longirostris* κατά το μεγαλύτερο μέρος της δειγματοληπτικής περιόδου, εκτός από το

διάστημα μεταξύ Οκτωβρίου και Δεκεμβρίου που παρατηρήθηκαν θετικές τιμές μεταξύ 0,17 και 0,91).



Εικόνα 5.15: Μηνιαία διακύμανση του δείκτη επιλεκτικότητας του Ivlev για τα είδη κλαδόκερων.

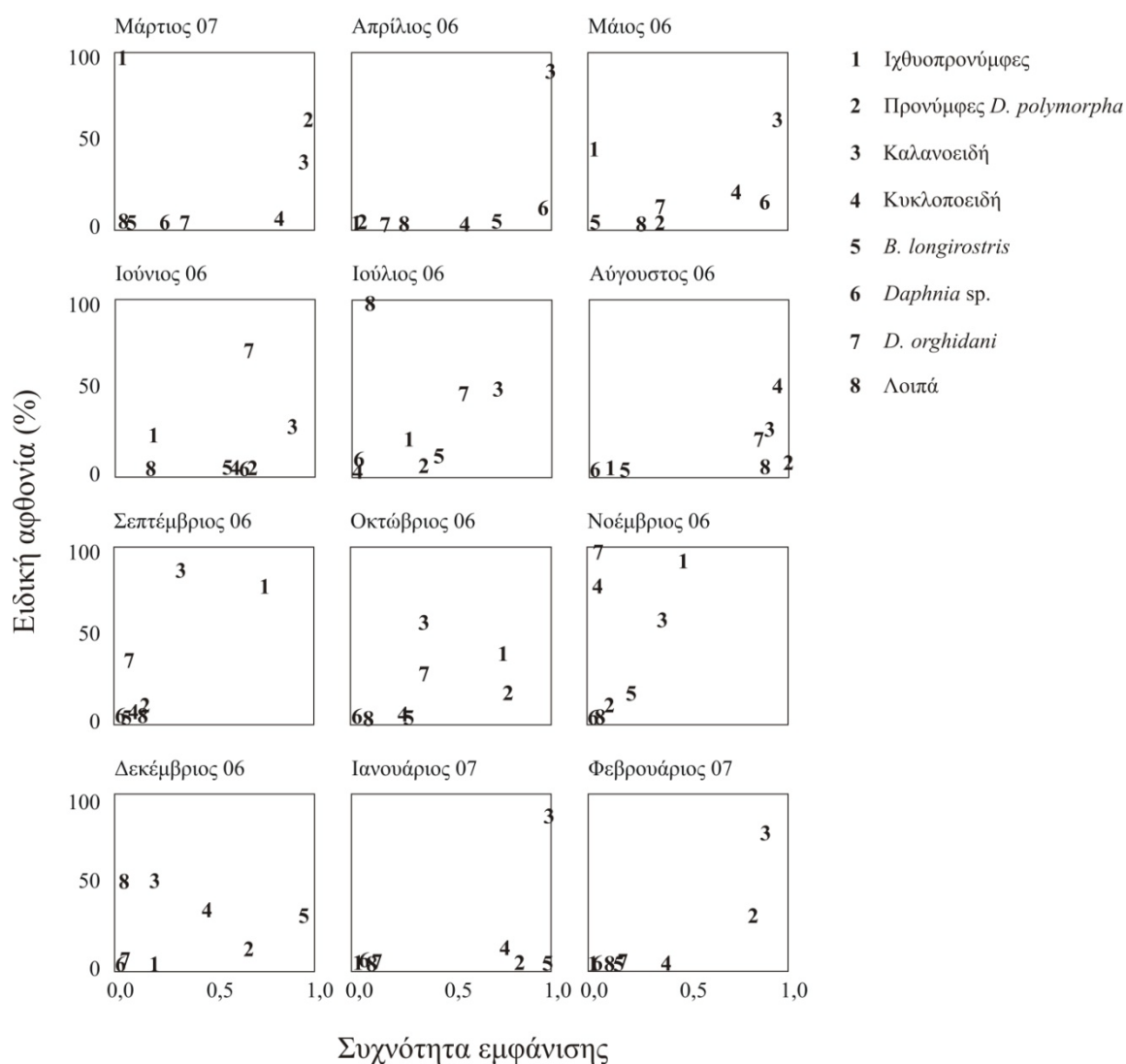


Εικόνα 5.16: Επιλεκτικότητα των τεσσάρων ηλικιακών κλάσεων (L₁ – L₄) της αθερίνας για τα κωπήποδα και τα κλαδόκερα κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής περιόδου.

Τα τέσσερα οντογενετικά στάδια της αθερίνας δεν εμφάνισαν διαφορά στην θετική ή αρνητική προτίμηση για τα κωπήποδα (Εικόνα 5.16). Αντίθετα, η αρνητική προτίμηση των νεαρότερων ψαριών (L₁) για τα άτομα του γένους *Daphnia* sp. μετατράπηκε σε θετική στα άλλα τρία οντογενετικά στάδια, ενώ υπήρξε μεταβολή της προτίμησης για το *D.*

orghidani από θετική σε αρνητική με την αύξηση της ηλικίας (από άτομα της ηλικιακής κατηγορίας L₁ προς L₄).

Η αθερίνα φάνηκε να ακολουθεί διάφορες τακτικές διατροφής με μεταβαλλόμενο βαθμό εξειδίκευσης (Εικόνα 5.17). Τον Απρίλιο και το Μάιο καθώς και τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της τρέφονταν με καλανοειδή κωπήποδα *E. drieschi*, που ήταν το κυρίαρχο είδος τροφής στο στομαχικό περιεχόμενο. Το *D. orghidani* έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διατροφή του ψαριού μόνο το καλοκαίρι. Αυτό το είδος ήταν το σημαντικότερο είδος τροφής τον Ιούνιο, ενώ η παρουσία του ήταν μειωμένη τον Ιούλιο και κυρίως τον Αύγουστο, όταν και η μέση συμμετοχή του στο στομαχικό περιεχόμενο ήταν χαμηλή.



Εικόνα 5.17: Γραφική απεικόνιση της στρατηγικής διατροφής της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα με τη μέθοδο των Amundsen et al. (1996).

Κατά την τελευταία περίοδο, ο πληθυσμός της αθερίνας έδειξε το μεγαλύτερο βαθμό γενίκευσης στη στρατηγικής της διατροφής του. Παρόλο που υπήρχε μικρός αριθμός ιχθυοπρονύμφων στο στομαχικό περιεχόμενο σε διάφορες περιόδους, αυτό το είδος τροφής φαίνεται ότι ήταν πιο σημαντικό για τη διαίτα του ψαριού το φθινόπωρο και κυρίως το Σεπτέμβριο και το Νοέμβριο, όταν φάνηκε να συμβαίνει εξειδικευμένη θήρευση. Τον Οκτώβριο οι ιχθυοπρονύμφες καταναλώθηκαν περιστασιακά από τα περισσότερα άτομα, καθιστώντας την θήρευση πιο γενικευμένη. Το Μάρτιο, οι ιχθυοπρονύμφες βρέθηκαν να αποτελούν εξ' ολοκλήρου το στομαχικό περιεχόμενο μόνο δύο ψαριών και σε αυτό οφείλεται η εξειδικευμένη θήρευση αυτής της κατηγορίας τροφής που φαίνεται να παρουσιάζεται αυτό τον μήνα.

Οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* παρατηρήθηκαν με αυξημένη σχετική αφθονία στη διαίτα κατά τους χειμερινούς μήνες και βρέθηκαν να αποτελούν την πιο σημαντική τροφή το Μάρτιο, ενώ σχεδόν σε όλη την υπόλοιπη δειγματοληπτική περίοδο αυτό το είδος τροφής ήταν λιγότερο σημαντικό. Η θήρευση όσον αφορά στο είδος *B. longirostris* και στα άτομα του γένους *Daphnia* sp. ήταν γενικευμένη, καθώς αυτά καταναλώνονταν περιστασιακά από τα περισσότερα άτομα, τα μεν πρώτα το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο, ενώ τα δεύτερα τον Απρίλιο και το Μάιο.

5.4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.4.1 Μορφομετρικά στοιχεία και αναπαραγωγή

Ένα χαρακτηριστικό του είδους *A. boyeri* είναι η μικρή διάρκεια ζωής. Η μεγαλύτερη ηλικία που έχει καταγραφεί για τα είδη της οικογένειας Atherinidae τόσο σε αλμυρά ή υφάλμυρα όσο και σε γλυκά νερά είναι τα 4 έτη (Kiener & Spillman, 1969; Palmer & Culley, 1983; Henderson & Bamber, 1987; Creech, 1992; Lorenzo & Pajuelo, 1999; Leonardos & Sinis, 2000; Leonardos, 2001; Pallaoro et al, 2002; Bartulović et al, 2004). Οι μέγιστες τιμές ολικού μήκους που μετρήθηκαν για την αθερίνα κατά την παρούσα μελέτη αντιστοιχούσαν σε άτομα 4 ετών. Αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τις αναφορές των Leonardos (2001) και Chrisafi et al. (2007) για την ίδια περιοχή, ενώ το ίδιο ισχύει και όσον αφορά στη μηνιαία διακύμανση του μέσου ολικού μήκους των ψαριών κατά τη διάρκεια του έτους, στην οποία αντανakλάται η επιμέρους ηλικιακή σύνθεση του πληθυσμού του ψαριού. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των περισσότερων αντιπροσώπων της οικογένειας Atherinidae είναι ο ιδιαίτερα υψηλός ρυθμός ανάπτυξής τους κατά τον πρώτο χρόνο ζωής (Leonardos, 2001 και αναφορές εκεί). Ειδικότερα στη λίμνη Τριχωνίδα, ο Leonardos (2001) αναφέρει πως κατά τον πρώτο χρόνο της ζωής τους, τα άτομα του είδους *A. boyeri* αναπτύσσουν μέχρι πάνω από το μισό του τελικού ολικού μήκους του σώματός τους.

Από τη μηνιαία διακύμανση του γοναδοσωματικού δείκτη των θηλυκών αλλά και των αρσενικών ατόμων κατά την παρούσα μελέτη, διακρίνεται μια κύρια αναπαραγωγική περίοδος από τον Απρίλιο μέχρι τον Ιούλιο και μία δεύτερη περίοδος λιγότερο έντονης ωοαπόθεσης κατά το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Η παρατήρηση αυτή είναι σε συμφωνία με τους Στουμπούδη και συν. (1997), που αναφέρουν ότι η αναπαραγωγική περίοδος της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα διαρκεί από το Μάρτιο μέχρι το Σεπτέμβριο. Συνεπώς, οι χαμηλές τιμές ολικού μήκους που καταγράφηκαν κατά το καλοκαίρι είναι πιθανότατα το αποτέλεσμα της στρατολόγησης νεαρών ατόμων, τα οποία αυτή την περίοδο ήταν αρκετά ευμεγέθη ώστε να συλλέγονται από τα δίχτυα.

5.4.2 Ένταση τροφοληψίας

Συνολικά η τιμή του δείκτη κενών στομάχων (ΔΚΣ) για όλη την περίοδο δειγματοληψίας ήταν μικρότερη από εκείνη που αναφέρουν οι Chrisafi et al. (2007) για την αθερίνα στην ίδια περιοχή (22,1 %), αλλά και οι Bartulovic et al. (2004) στις εκβολές του ποταμού Mala Neretva στην Κροατία (36 %). Οι Chrisafi et al. (2007) στην μελέτη τους βρήκαν άτομα με κενό στομάχι σε όλη τη διάρκεια του έτους ενώ, αντίθετα, οι Mantilacci et al. (1990) στην λίμνη Trasimeno της Ιταλίας ανέφεραν την απουσία ατόμων με κενό στομάχι κατά την περίοδο από το Νοέμβριο μέχρι το Μάρτιο.

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι περισσότερα άτομα αθερίνας με κενό στομάχι βρέθηκαν το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, σε αντίθεση με τους Chrisafi et al. (2007) που στην ίδια περιοχή βρήκαν αυτή την περίοδο τα λιγότερα άτομα με κενά στομάχια. Σε συμφωνία με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας, οι Bartulovic et al. (2004) και Gon & Ben Tuvia (1983) αναφέρουν υψηλό ποσοστό κενών στομάχων το καλοκαίρι και κυρίως το Σεπτέμβριο. Οι υψηλότερες τιμές του ΔΚΣ που καταγράφηκαν το Νοέμβριο συμπίπτουν με τη μείωση της ζωοπλαγκτικής αφθονίας στα χαμηλότερα επίπεδα ετησίως εκείνο το μήνα, γεγονός που ίσως δείχνει την επίδραση της μείωσης της τροφής στην ένταση τροφοληψίας.

Αναπαραγωγικά γεγονότα όπως η ωοαπόθεση θα μπορούσαν να αποτελούν την κύρια αιτία για την εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών του ΔΚΣ στα θηλυκά άτομα τον Ιούλιο και το Σεπτέμβριο, καθώς πολλά ψάρια που είναι πολλαπλοί ωοαποθέτες εμφανίζουν μεταβολή στην ένταση της τροφοληψίας κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης των γονάδων ή της ωοαπόθεσης (Link & Burnett, 2001). Από την άλλη, οι σχετικά μεγάλες τιμές του δείκτη που παρατηρήθηκαν το Φεβρουάριο πιθανόν να σχετίζονται με τη χαμηλότερη μέση θερμοκρασία που καταγράφηκε αυτή την περίοδο στην υδάτινη στήλη (10,0 °C), καθώς αυτή η παράμετρος έχει βρεθεί να επηρεάζει τη συμπεριφορά και την τροφοληψία των ψαριών (Holmes & Henderson, 1990; Lankford & Targett, 1994).

5.4.3 Σύνθεση της δίαιτας και εποχικές διακυμάνσεις

Η χρήση του δείκτη ποικιλότητας Shannon–Wiener ανέδειξε εποχική μεταβολή της ποικιλότητας του στομαχικού περιεχομένου της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα, όπως έχει βρεθεί και σε άλλες περιοχές από διάφορους ερευνητές (Trabelsi et al., 1994; Scilipoti, 1998; Vizzini & Mazzola, 2002; Ferrari & Rossi, 1983-84; Roscchi & Crivelli, 1992). Κατά την παρούσα μελέτη, η ποικιλότητα της τροφής παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές τον Αύγουστο και μικρότερες το Νοέμβριο. Η διακύμανση αυτή είναι σε συμφωνία με την διακύμανση της ποικιλότητας της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας στη λίμνη, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.

Η δίαιτα της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα βρέθηκε να αποτελείται κυρίως από ζωοπλαγκτικά είδη. Μικρού μεγέθους οργανισμοί όπως είναι τα τροχόζωα δεν βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο, ενώ η ανεύρεση μόλις ενός ατόμου από ναύπλιους κωπηπόδων στο στομαχικό περιεχόμενο ήταν μάλλον τυχαία. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα των Chrisafi et al. (2007) και Bartulovic et al. (2004). Άτομα των κλαδόκερων *D. orghidani*, *D. cucullata*, *C. pulchella* και του γένους *Alona* sp., αναφέρονται για πρώτη φορά στην διατροφή της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα. Στη μελέτη των Chrisafi et al. (2007), τα κυκλοποειδή κωπήποδα δεν αναγνωρίστηκαν σε επίπεδο είδους, ενώ το είδος *D. orghidani* πιθανόν να αναγνωρίστηκε εσφαλμένα ως *Diaphanosoma brachyurum*, δεδομένων των μορφολογικών ομοιοτήτων μεταξύ των δύο ειδών (Korovchinsky, 1992). Οι παραπάνω διαφορές μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι η προηγούμενη μελέτη είχε περιοριστεί μόνο στην εξέταση του στομαχικού περιεχομένου και όχι δειγμάτων του ζωοπλαγκτού από το πεδίο, γεγονός που δυσχεραίνει ακόμη περισσότερο την αναγνώριση των ατόμων που ανευρίσκονται στο στομαχικό περιεχόμενο και έχουν υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις.

Τα κωπήποδα και κυρίως τα καλανοειδή *E. drieschi* κυριάρχησαν στη δίαιτα της αθερίνας σε όλη τη διάρκεια του έτους, σε αντίθεση με τα ευρήματα των Chrisafi et al. (2007), οι οποίοι βρήκαν τις προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* να είναι το κυρίαρχο είδος τροφής και να ακολουθούν τα κωπήποδα του είδους *E. drieschi*. Μαζική συμμετοχή κωπηπόδων στη δίαιτα της αθερίνας έχει αναφερθεί και σε άλλες περιοχές (Scilipoti, 1998; Vizzini & Mazzola, 2002; Bartulovic et al., 2004). Τα κυκλοποειδή κωπήποδα είχαν σημαντική συμμετοχή στη δίαιτα της αθερίνας μόνο κατά το τέλος του

καλοκαιριού και το χειμώνα, όταν η αφθονία του ζωοπλαγκτού παρουσίασε μείωση. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι τα κωπήποδα ως τροφή μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερο ενεργειακό κέρδος για το ψάρι (Stottrup, 2000) και ότι τα κυκλοποειδή έχουν μεγαλύτερη βιομάζα από τα καλανοειδή (Michaloudi, 2005), θα μπορούσε να υποτεθεί ότι το καλοκαίρι η αθερίνα εκμεταλεύεται τα κυκλοποειδή κωπήποδα τα οποία, αν και σε χαμηλή αφθονία, μπορούν να προσφέρουν στο ψάρι μεγαλύτερα ενεργειακά οφέλη.

Κατά την παρούσα μελέτη παρατηρήθηκε μεταβολή των διατροφικών συνηθειών του ψαριού με την αύξηση της ηλικίας. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερου μέγεθους τροφή βρέθηκε να καταναλώνεται από μεγαλύτερης ηλικίας ψάρια. Το ίδιο παρατήρησαν και οι Chrisafi et al. (2007) για την αθερίνα στην ίδια περιοχή αλλά και οι Castel et al. (1977), Rosecchi & Crivelli (1992), Scilipoti (1998), Vizzini & Mazzola (2002) και Bartulovic et al. (2004) σε άλλες θαλάσσιες και υφάλμυρες περιοχές. Οι οντογενετικές μεταβολές στη διαίτα του ψαριού φαίνεται να αποτελούν προσαρμογές που αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας, μειώνουν την πιθανότητα θήρευσης κατά τη διάρκεια της τροφοληψίας και αυξάνουν τη φυσική κατάσταση (fitness) των ψαριών (Grossman, 1980). Η μείωση του ποσοστού των πιο μικρόσωμων *B. longirostris* και *D. orghidani* με την αύξηση της ηλικίας συνδέθηκε με μια στροφή προς τα άτομα του γένους *Daphnia* sp., τα οποία καθώς είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος, έχουν και μεγαλύτερη βιομάζα από τα άλλα δύο είδη (Michaloudi, 2005). Σύμφωνα με τη θεωρία αναζήτησης τροφής (foraging theory) όπως διατυπώθηκε από τον Lazzaro (1987), η χαμηλότερη κινητικότητα των μικρόσωμων οργανισμών παρέχει ένα πλεονέκτημα στα νεαρότερα άτομα του ψαριού για τη σύλληψη της τροφής. Από την άλλη, η αύξηση της κατανάλωσης των προνυμφών του διθύρου μαλακίου *D. polymorpha* με την αύξηση της ηλικίας, θα μπορούσε να συσχετιστεί με την αναπαραγωγική διαδικασία της αθερίνας. Η αύξηση του ενδοκυτταρικού Ca^{2+} φαίνεται να αποτελεί το έναυσμα για την γονιμοποίηση των αυγών (Coward et al., 2002), και έτσι είναι πιθανό τα αναπαραγωγικά ώριμα άτομα της αθερίνας να αξιοποιούν τα πλούσια σε ασβέστιο κελύφη των προνυμφών των διθύρων για τον σκοπό αυτό. Αυτή η υπόθεση θα μπορούσε να εξηγήσει την αύξηση της θήρευσης προνυμφών διθύρων κατά το τέλος του χειμώνα, λίγο πριν την ανοιξιάτικη περίοδο της αναπαραγωγής της αθερίνας.

Η κατανάλωση ιχθυοπρονυμφών από την αθερίνα φαίνεται επίσης να εξαρτάται από το σωματικό μέγεθος των ψαριών, καθώς υπήρξε άμεση συσχέτιση μεταξύ του μήκους των θηραμάτων (ιχθυοπρονυμφών) και του στοματικού ανοίγματος του θηρευτή

(αθερίνα), το οποίο, με τη σειρά του, ήταν ανάλογο με το ολικό μήκος του σώματός του. Ιχθυοπρονύμφες βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα και από τους Chrisafi et al. (2007) αλλά και σε άλλες περιοχές από τους Bartulovic et al. (2004), Gon & Ben Tuvia (1983) και Rosecchi & Crivelli (1992), χωρίς ωστόσο κανείς από τους παραπάνω να αναγνωρίζει το είδος των ιχθυοπρονυμφών που βρέθηκαν στο στομαχικό περιεχόμενο. Μεταξύ των ιχθυοπρονυμφών που βρέθηκαν ήταν και άτομα αθερίνας, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη κανιβαλισμού από αυτό το είδος. Τα κανιβαλιστικά φαινόμενα θεωρούνται παράγωγα της κανονικής διαδικασίας τροφής και ρυθμίζονται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, την τάση επέκτασης του οικοτόπου και από τη διαθεσιμότητα εναλλακτικής τροφής, ενώ καθίστανται ως ένας μηχανισμός ρύθμισης του ιχθυοπληθυσμού, εξαρτώμενος από την πυκνότητά του (Smith & Reay, 1991). Παρόμοια φαινόμενα κανιβαλισμού έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες περιοχές (βλέπε Bartulović et al., 2004), ωστόσο το γεγονός αυτό παρουσιάζει εξαιρετικά σημαντικό ενδιαφέρον, καθώς είναι πιθανό να αποτελεί ένα μηχανισμό αυτορύθμισης του μεγέθους του πληθυσμού της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα, ή πιθανώς θήρευση λόγω μειωμένης αφθονίας λείας. Ένα σενάριο που μπορεί να εξηγήσει αυτό το φαινόμενο του κανιβαλισμού, και γενικότερα της κατανάλωσης ιχθυοπρονυμφών που παρατηρήθηκε ιδιαίτερα κατά το φθινόπωρο είναι ότι η αθερίνα, όντας ο κυρίαρχος θηρευτής του ζωοπλαγκτού στη λίμνη και αντιλαμβανόμενη την επερχόμενη μείωση της τροφής της με την έναρξη του φθινοπώρου και οδεύοντας προς το χειμώνα (βλ. Κεφάλαιο 3, Doulka & Kehayias, 2008), θηρεύει τα νεαρότερα άτομα του πληθυσμού έτσι ώστε να μειώσει τον ενδοειδικό ανταγωνισμό για τροφή. Ωστόσο, για την επιβεβαίωση αυτού του σεναρίου απαιτείται η ανάλυση της διατροφής του γόνου της αθερίνας.

Το TROPH για την αθερίνα στη λίμνη Τριχωνίδα (3,02) βρέθηκε ελαφρώς μικρότερο από εκείνο θαλάσσιων πληθυσμών αθερίνας (3,30) (Stergiou & Karpouzi, 2002), καθώς τέτοιοι πληθυσμοί όντας πυθμενόβιοι εκμεταλλεύονται και βενθικούς οργανισμούς για την διατροφή τους. Οι τιμές του TROPH τόσο για το σύνολο των εξεταζόμενων ατόμων όσο και για τα επιμέρους ηλικιακά στάδια, κατατάσσουν την αθερίνα της λίμνης Τριχωνίδας στην κατηγορία των παμφάγων με προτίμηση σε ζωικούς οργανισμούς ($2,9 < \text{TROPH} < 3,7$, μέση τιμή = 3,40, τυπική απόκλιση = 0,19) (Stergiou & Karpouzi, 2002). Όπως επιβεβαιώνεται και για την αθερίνα στη λίμνη Τριχωνίδα, το TROPH γενικά αυξάνεται με την ηλικία (Pauly et al., 1998; Pauly & Palomares, 2000; Polunin & Pinnegar, 2000), κυρίως λόγω της ικανότητας των μεγαλύτερων ατόμων να

συλλαμβάνουν και μεγαλύτερου μεγέθους τροφικά είδη, χωρίς ταυτόχρονα να μειώνεται η κατανάλωση μικρότερων ειδών τροφής (βλ. Stergiou & Karpouzi, 2002 και τις εκεί αναφορές).

5.4.4 Επιλεκτικότητα τροφής & διατροφικές στρατηγικές

Οι διατροφικές συνήθειες και στρατηγικές της αθερίνας έχουν μελετηθεί σε διάφορες περιοχές μέσω της ανάλυσης του στομαχικού περιεχομένου (Moretti et al., 1959; Castel et al., 1977; Marfin, 1981; Ferrari & Rossi, 1983–84; Gon & Ben-Tuvia, 1983; Mantilacci et al., 1990; Danilova, 1991; Rosecchi & Grivelli, 1992; Trabelsi et al., 1994; Bartulovic et al., 2004). Από αυτές τις μελέτες έχει αναδειχθεί γενικά μία ευκαιριακή συμπεριφορά του είδους ως θηρευτή, με προτίμηση στα μικρά καρκινοειδή (Castel et al., 1977; Gon & Ben Tuvia, 1983; Bartulovic et al., 2004). Ωστόσο, η γραφική ανάλυση της στρατηγικής διατροφής του ψαριού και ιδιαίτερα η χρήση του δείκτη επιλεκτικότητας του Ivlev στην παρούσα εργασία, υποδηλώνουν ότι στη λίμνη Τριχωνίδα το είδος προβαίνει και σε πιο εξειδικευμένη θήρευση κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ εμφανίζει ξεκάθαρες προτιμήσεις στη διατροφή του.

Οι Chrisafi et al. (2007), βασισμένοι στη βιβλιογραφία, υποστήριξαν ότι η διατροφή της αθερίνας στην λίμνη Τριχωνίδα αντανakλά την εποχική σύνθεση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τον ευκαιριακό χαρακτήρα του είδους που προαναφέρθηκε. Πράγματι, και στην παρούσα μελέτη, παρατηρήθηκε παρόμοια ευκαιριακή συμπεριφορά του ψαριού όσον αφορά στην περίπτωση των κωπηπόδων, καθώς αυτή η κυρίαρχη ομάδα στο ζωοπλαγκτό της λίμνης ήταν η επικρατέστερη και στη δίαιτα του ψαριού. Ωστόσο, αρνητική επιλεκτικότητα βρέθηκε να επιδεικνύει η αθερίνα για τους κωπηποδίτες, παρόλο που στην βιοκοινωνία των κωπηπόδων είχαν τη μεγαλύτερη αναλογία καθόλη τη διάρκεια του έτους ενώ, αντίθετα, μεγάλη προτίμηση φάνηκε να δείχνουν για τα ενήλικα κωπήποδα και κυρίως για τα θηλυκά με αυγά. Επιπλέον, οι ναύπλιοι σίγουρα δεν αποτέλεσαν προτιμώμενη τροφή για την αθερίνα, όπως αναφέρουν επίσης και οι Chrisafi et al. (2007), Bartulovic et al. (2004), Rosecchi & Crivelli (1992) και Mantilacci et al. (1990).

Τα παραπάνω δείχνουν μια τάση του ψαριού να τρέφεται με μεγαλύτερους σε μέγεθος οργανισμούς, πιθανόν λόγω του ευκολότερου εντοπισμού τους, αλλά και των μεγαλύτερων ποσών ενέργειας ανά θήραμα που παρέχουν. Αυτή η υπόθεση ενισχύεται και από την προτίμηση της αθερίνας για τα μεγαλύτερα κλαδόκερα του γένους *Daphnia* sp., τουλάχιστον για κάποια χρονική περίοδο. Η υπόθεση της επιλογής της τροφής με βάση το μέγεθος (body-size selection), θα μπο ρ έ να εξηγήσει και την προ ήψη των μεγαλύτερου μεγέθους κλαδόκερων από τα μεγαλύτερα ηλικιακά στάδια του ψαριού, τα οποία έδειξαν μικρότερη προτίμηση για τα μικρόσωμα κλαδόκερα όπως τα *D. orghidani* και *B. longirostris*.

Σε αντίθεση με τις αναφορές των Chrisafi et al. (2007), οι προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *D. polymorpha* δεν κυριάρχησαν στη δίαιτα της αθερίνας, ακόμα και όταν βρίσκονταν στο νερό σε μεγάλη αφθονία, εμφανίζοντας έτσι αρνητικές τιμές επιλεκτικότητας. Η επιλεκτική θήρευσή τους, ωστόσο, κατά τα τέλη του χειμώνα και τις αρχές της άνοιξης, μπορεί πιθανόν να αποδοθεί, εκτός από τους αναπαραγωγικούς λόγους που προ αφέρθηκαν, και στο μεγαλύτερο κατά την περίοδο αυτή μέγεθ ός το υ. Τα παραπάνω συμφωνούν με τα όσα αναφέρονται στη θεωρία αναζήτησης τροφής (foraging theory), κατά την οποία το μεγαλύτερο μέγεθος των θηραμάτων έχει σαν αποτέλεσμα υψηλότερο ενεργειακό όφελος για το θηρευτή, αλλά και μεγαλύτερη πιθανότητα σύλληψης λόγω ευκολότερης αντίληψης από τον τελευταίο (Lazzaro, 1987).

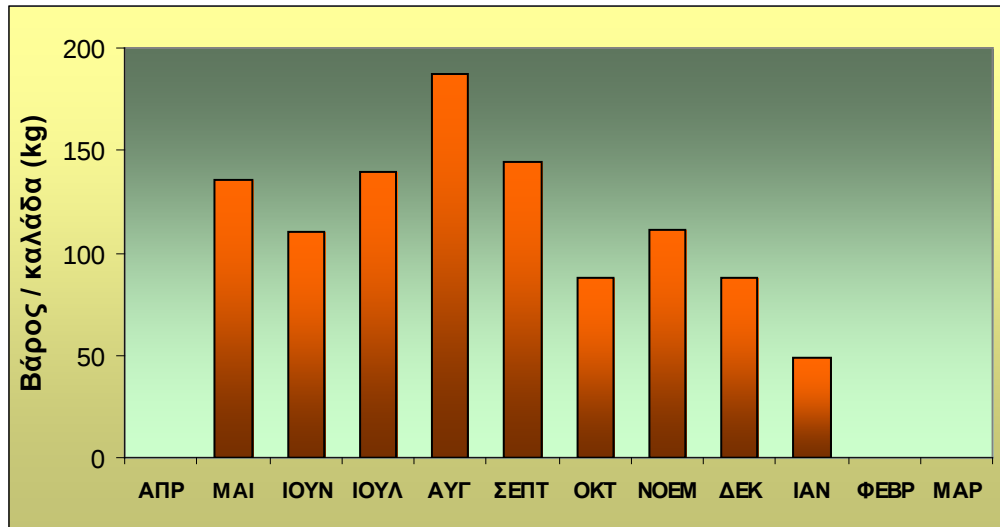
Η μηνιαία διακύμανση και η κατακόρυφη κατανομή των κωπηπόδων στη λίμνη Τριχωνίδα, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, μπορεί επίσης να αποτελέσει εξήγηση για τη θετική και αρνητική επιλογή τους από την αθερίνα. Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν σε άλλη ενότητα, η Τριχωνίδα είναι μια βαθιά μονομικτική λίμνη, όπου το εποχικό θερμοκλινές αναπτύσσεται από το Μάιο έως το Νοέμβριο (κυρίως μεταξύ των 8 και 16 m) και στο εσωτερικό του υπάρχει μικρή διαύγεια νερού, εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης οργανικής ύλης και φυτοπλαγκτού. Αντίθετα, πάνω αλλά και κάτω από το θερμοκλινές το νερό είναι διαυγές. Μάλιστα, η διαφάνεια του νερού κυμαίνεται από 5-13 m, με τις υψηλότερες τιμές το καλοκαίρι και τις μικρότερες το χειμώνα. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, η εμφάνιση επιλεκτικής θήρευσης από την αθερίνα, τουλάχιστον για τα μεγαλύτερα καρκινοειδή, σημαίνει ότι το είδος πρέπει να λειτουργεί ως οπτικός θηρευτής. Λόγω της δεδομένης διαφάνειας του νερού, αλλά και της μείωσης της φωτεινότητας στα μεγάλα βάθη κάτω από το θερμοκλινές, η ο πκή θήρευση διευκολύνεται, ή καθίσταται εφικτή, κυρίως στα στρώματα νερού πάνω από το

θερμοκλινές. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να υπάρχει κάποιος περιορισμός βάθους για τη διαδικασία της θήρευσης και, συνεπώς, η κατακόρυφη κατανομή των ζωοπλαγκτικών ειδών επηρεάζει την επιλογή τους ως τροφή για την αθερίνα στη λίμνη Τριχωνίδα. Κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, τα κωπήποδα βρίσκονται κατανεμημένα μέσα στους ορίζοντες βάθους που η αθερίνα συλλέγει την τροφή της. Αντίθετα, το χειμώνα (ιδιαίτερα τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο), παρότι τα κωπήποδα αρχίζουν να αυξάνουν την αφθονία τους, η αθερίνα έχει πιθανώς μεγαλύτερη δυσκολία στο να τα εντοπίσει, είτε λόγω της πολύ χαμηλής διαύγειας του νερού στο επιλίμνιο, είτε λόγω της διασποράς τους σε μεγαλύτερα βάθη. Αυτός ίσως είναι ένας ακόμη λόγος που αυτή την περίοδο η αθερίνα στρέφεται στις προνύμφες των διθύρων ως εναλλακτικό είδος τροφής. Ωστόσο, για την επιβεβαίωση αυτής της υπόθεσης απαιτείται διαφορετικός σχεδιασμός δειγματοληψιών της αθερίνας, με ανάλυση της διατροφής της σε όλο το 24ωρο και ταυτόχρονη διερεύνηση της κατανομής της σε σχέση με το ζωοπλαγκτό, ενώ κάτι τέτοιο θα πρέπει να επιχειρηθεί και σε διαφορετικές εποχές του έτους.

Στο Κεφάλαιο 3 και στην εργασία των Doulka & Kehayias (2008), αναφέρεται η παρουσία ενήλικων και ωοφόρων θηλυκών κωπηπόδων του είδους *E. drieschi* καθόλη τη διάρκεια του έτους και συμπεραίνεται πως το είδος στη λίμνη Τριχωνίδα έχει είτε πολλαπλές αναπαραγωγικές περιόδους, είτε συνεχή αναπαραγωγή. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την μεγάλη προτίμηση της αθερίνας για τα ενήλικα και ιδιαίτερα τα ωοφόρα θηλυκά του *E. drieschi*, θα μπορούσε να αποτελεί έναν επιπλέον οικολογικό μηχανισμό έμμεσης ρύθμισης της αφθονίας αυτού του κωπηπόδου μέσω της θήρευσης, η οποία με αυτό τον τρόπο προκαλεί μείωση στον αναπαραγωγικό ρυθμό του.

Η αθερίνα στη λίμνη Τριχωνίδα τρέφεται αποκλειστικά με ζωοπλαγκτό και δεν στρέφεται προς το ζωοβένθος, όπως αναφέρεται ότι συμβαίνει σε πληθυσμούς άλλων Μεσογειακών περιοχών (Trabelsi et al., 1994; Rosecchi & Crivelli, 1992; Bartulovic et al., 2004). Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα των Chrisafi et al. (2007) για την ίδια περιοχή, αλλά και των Mantilacci et al. (1990) στη λίμνη Trasimeno της Ιταλίας. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι η ζωοπλαγκτική αφθονία στη λίμνη Τριχωνίδα είναι ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του ψαριού στη λίμνη κατά τη διάρκεια του έτους, καθώς και ότι οι τιμές αφθονίας δεν πέφτουν ποτέ κάτω από ένα κρίσιμο όριο, το οποίο θα ενεργοποιούσε μια στροφή της διατροφής προς βενθικά είδη. Επιπλέον, το μεγάλο βάθος της λίμνης, σε αντίθεση με τις πιο ρηχές περιοχές των λιμνοθαλασσών που συνήθως

αφθονεί η αθερίνα, αποτρέπει τα ψάρια από το να στραφούν στο βένθος όταν η ζωοπλαγκτική αφθονία μειώνεται.



Εικόνα 5.17: Δεδομένα για το μέσο βάρος αλιεύματος αθερίνας ανά καλάδα στη λίμνη Τριχωνίδα την περίοδο Απρίλιος 2006 έως Μάρτιος 2007. Σημ.: τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο υπάρχει απαγόρευση της αλιείας της αθερίνας, όπως και ένα 20ήμερο τον Ιούλιο. (πηγή: Ζαρκάδας Ηλίας)

Η εξειδικευμένη/στοχευμένη θήρευση των ιχθυοπρονυμφών από την αθερίνα, ιδιαίτερα το φθινόπωρο, ίσως να υποδηλώνει την ύπαρξη μιας οικολογικής προσαρμογής αυτού του είδους ώστε να μειώσει τον ανταγωνισμό του για τροφή. Σύμφωνα με δεδομένα για τη μέση μηνιαία ποσότητα αλιεύματος αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα (Εικόνα 5.17), η μέγιστη αφθονία της συναντάται κατά το τέλος του καλοκαιριού και μειώνεται με την έλευση του χειμώνα. Τα δεδομένα ζωοπλαγκτικής αφθονίας που συλλέχθηκαν κατά την παρούσα εργασία, τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία με τα δεδομένα του Κεφαλαίου 3, δείχνουν σημαντική μείωση της αφθονίας του ζωοπλαγκτού της λίμνης μετά τον Οκτώβριο. Αυτό σημαίνει ότι στις αρχές του φθινοπώρου, η αθερίνα αρχίζει να έρχεται αντιμέτωπη με έντονο ενδο- αλλά και διαειδικό ανταγωνισμό για τροφή. Τα προνυμφικά στάδια των ψαριών έχει βρεθεί να τρέφονται με ζωοπλαγκτό (Gisbert et al., 1996). Πράγματι, προκαταρκτικά αποτελέσματα της μελέτης της διατροφής των προνυμφικών σταδίων των *E. trichonis* και *A. boyeri* στη λίμνη Τριχωνίδα, έδειξαν ότι και αυτά τα στάδια ανάπτυξης χρησιμοποιούν την ίδια πηγή ενέργειας με τα ενήλικα άτομα, δηλαδή το ζωοπλαγκτό. Μέσω λοιπόν της θήρευσης των ιχθυοπρονυμφών, η αθερίνα επιτυγχάνει δύο

στόχους: αφενός την μείωση του ανταγωνισμού, απομακρύνοντας άτομα που χρησιμοποιούν την ίδια τροφή με εκείνη, και αφετέρου την αύξηση των ενεργειακών της αποθεμάτων εν' όψη του χειμώνα, καταναλώνοντας τροφή υψηλότερης θερμιδικής αξίας και ίσως καταβάλλοντας ταυτόχρονα μικρότερη προσπάθεια. Ωστόσο, χρειάζεται περισσότερη πληροφορία για την διατροφή των ιχθυοπρονυμφών αλλά και της χωρικής και χρονικής κατανομής της αφθονίας τους στη λίμνη Τριχωνίδα, προκειμένου να τεκμηριωθεί η παραπάνω θεωρία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

Συμπεράσματα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συνέχεια παρατίθενται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας διδακτορικής διατριβής και συζητήθηκαν προηγουμένως. Η παράθεση ακολουθεί το πρότυπο των ενοτήτων στις οποίες διαρθρώνονται τα ερευνητικά αποτελέσματα της διατριβής, ενώ στην τελευταία ενότητα επιχειρείται μια σύνοψη όλων των παραπάνω ως μία οικολογική θεώρηση του οικοσυστήματος της λίμνης Τριχωνίδας.

6.1 Το αβιοτικό περιβάλλον: φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού

Με δεδομένη τη μεγάλη σημασία που έχουν τα στοιχεία του αβιοτικού περιβάλλοντος του υδάτινου οικοσυστήματος της λίμνης Τριχωνίδας για τους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού, έγινε καταγραφή των βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού της λίμνης. Επιπλέον, με βάση αυτά τα δεδομένα έγινε μια εκτίμηση της σημερινής κατάστασης της λίμνης από την άποψη της τροφικότητας και των πιθανών τάσεων μεταβολής της.

Η διετής καταγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων έδειξε ότι η Τριχωνίδα διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά της θερμής, μονομικτικής λίμνης στην οποία καταγράφεται μια σταθερή θερμική συμπεριφορά με χρονικά παρατεταμένη θερμική στρωμάτωση και μία περίοδο ανάμιξης των υδάτων, κατά την οποία αναμιγνύεται ολόκληρη η υδάτινη στήλη. Το χειμώνα η υδάτινη στήλη είναι καλά οξυγονωμένη, ενώ κατά την περίοδο της θερμοστρωμάτωσης, η κατακόρυφη κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου παρουσιάζει μια χαρακτηριστική αύξηση στο μεταλίμνιο (θερμοκλινές) λόγω της εντονότερης φωτοσυνθετικής δράσης, ενώ στο τέλος της περιόδου θερμοστρωμάτωσης (Οκτώβριος-Νοέμβριος) μετρήθηκαν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου σε βάθη λίγα μέτρα πάνω από το βυθό.

Όσον αφορά στην τροφικότητα, φαίνεται ότι η Τριχωνίδα διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά της oligομεσότροφης λίμνης που έδειξαν όλες οι προηγούμενες μελέτες. Πράγματι, η Τριχωνίδα λόγω των μορφομετρικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών της,

αλλά και ίσως εξαιτίας της σχετικά χαμηλής επιβάρυνσης από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην παραλίμνια ζώνη, μπορεί να θεωρηθεί ότι παραμένει μία από τις «καθαρότερες» λίμνες της Ελλάδας. Ωστόσο, στην παρούσα μελέτη, η οποία απέχει χρονικά τουλάχιστον μια 15ετία από τις πιο πρόσφατες καταγραφές του αβιοτικού περιβάλλοντος της Τριχωνίδας, διαφαίνεται μία τάση ενίσχυσης του βαθμού τροφικότητας άρα και επιβάρυνσης της λίμνης. Τα στοιχεία τα οποία συνηγορούν σε αυτό το συμπέρασμα συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Η διαφάνεια του νερού παρουσιάζει μικρή ελάττωση σε σχέση τουλάχιστον με τις παλαιότερες μελέτες. Αυτό μπορεί να προέρχεται αφενός από την αύξηση των διαλυμένων ουσιών στο νερό, οι οποίες προέρχονται από τις χερσαίες απορροές, αλλά και από την αύξηση του φυτοπλαγκτού, γεγονός το οποίο δείχνει μεγαλύτερη πρωτογενή παραγωγικότητα και επομένως μια δυνητική αύξηση της τροφικότητας της λίμνης.
- Τα παραπάνω μπορούν να συνδυαστούν με την αύξηση της αγωγιμότητας, αλλά και με τη μικρή αύξηση των τιμών της χλωροφύλλης-α που παρατηρήθηκαν στα δεδομένα της παρούσας διατριβής, και με αυτό τον τρόπο να ενισχύσουν την προηγούμενη υπόθεση.
- Ακόμη, σε σχέση με το παρελθόν διαπιστώθηκε μια μικρή αύξηση των τιμών του pH, ιδιαίτερα κατά τους θερμότερους μήνες και κυρίως στο επιλίμνιο και το μεταλίμνιο, πιθανότατα ως συνέπεια της εντονότερης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του φυτοπλαγκτού.
- Επιπλέον, αν δει κανείς τα δεδομένα για τα θρεπτικά στη λίμνη, θα διαπιστώσει ότι πράγματι οι τιμές είναι αυξημένες σε σχέση με το παρελθόν, με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια φόρτιση της λίμνης κυρίως σε φώσφορο, αλλά και σε άζωτο κατά τα τελευταία χρόνια.

Σύμφωνα με το «κλειστό» σύστημα κατάταξης των λιμνών, η Τριχωνίδα φαίνεται να μοιράζεται χαρακτηριστικά oligότροφου (διαφάνεια, μέση και μέγιστη τιμή χλωροφύλλης-α, μέση τιμή TN) και μεσότροφου (μέση τιμή TP) οικοσυστήματος. Στο ίδιο συμπέρασμα οδήγησε και η εφαρμογή του δείκτη τροφικής κατάστασης του Carlson. Συνεπώς, παρά την μικρή αλλά σαφή επιδείνωση που εμφανίζει η λίμνη Τριχωνίδα,

φαίνεται να διατηρείται σε ένα μεταβατικό τροφικό επίπεδο μεταξύ ολιγότροφου και μεσότροφου οικοσυστήματος.

Στο οριζόντιο επίπεδο δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των σταθμών, αν και όσον αφορά στις συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου και φωσφορικών ιόντων, οι μεγαλύτερες τιμές στο ρηχότερο σταθμό Γ, ο οποίος φαίνεται ότι δέχεται μεγαλύτερη φόρτιση από τις παρακείμενες γεωργικές καλλιέργειες μέσω αρδευτικών απορροών, ή έκπλυσης των λιπασμάτων σε αυτές.

6.2 Σύνθεση ειδών - Χωρική και χρονική κατανομή του ζωοπλαγκτού

Το ζωοπλαγκτό αποτελεί βασικό οικολογικό παράγοντα σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα αποτελώντας σημαντικό ενδιάμεσο κρίκο του τροφικού πλέγματος, συντελώντας έτσι στη μεταφορά της ενέργειας από τους πρωτογενείς παραγωγούς στους ανώτερους οργανισμούς. Με δεδομένη τη σημασία του ζωοπλαγκτού για τα λιμναία οικοσυστήματα και τη σχετική έλλειψη πληροφορίας για τη λίμνη Τριχωνίδα ειδικότερα, η παρούσα διατριβή είχε ως σκοπό τη διερεύνηση οικολογικών στοιχείων της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού όπως η σύνθεση των ειδών της, η κατανομή και διακύμανσή τους στο χώρο και στο χρόνο και η συσχέτισή τους με το αβιοτικό περιβάλλον, η καταγραφή του οποίου γινόταν παράλληλα.

Κατά την τριετή διάρκεια της παρούσας μελέτης καταγράφηκαν συνολικά 36 taxa ζωοπλαγκτικών ασπονδύλων τα οποία περιλαμβάνουν αναλυτικά τα εξής: 24 γένη και είδη τροχοζώων καθώς και αντιπρόσωποι της τάξης Bdelloidea, 1 είδος καλανοειδών και 2 είδη κυκλοποειδών κωπηπόδων, 7 είδη κλαδόκερων και 1 είδος προνύμφης δίθυρου μαλακίου. Όσον αφορά στη σύνθεση των ειδών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, αυτή παρουσίασε κάποιες διαφορές σε σύγκριση με τις προηγούμενες μελέτες στη λίμνη Τριχωνίδα:

- Όσον αφορά στη σύνθεση της βιοκοινωνίας των καρκινοειδών, παρατηρήθηκε μείωση του αριθμού των ειδών των καλανοειδών κωπηπόδων, αναφέρθηκαν ως νέες καταγραφές τα είδη *Diaphanosoma orghidani* και *Leptodora kindtii*, ενώ φαίνεται να έχει μεταβληθεί η σύνθεση των ειδών του γένους *Daphnia*.
- Όσον αφορά στη σύνθεση της βιοκοινωνίας των τροχοζώων, βρέθηκαν 9 νέες καταγραφές ενώ, σε σχέση με τις παλαιότερες εργασίες, δεν καταγράφηκαν 9 είδη.

Οι παραπάνω διαφορές μπορούν να αποδοθούν στη διαφορετική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη συλλογή των δειγμάτων σε κάθε μελέτη, όπως και σε προβλήματα κατά την αναγνώριση των οργανισμών. Ωστόσο, δε μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο της μεταβολής των συνθηκών της λίμνης και η δημιουργία άλλων οι οποίες να επιτρέπουν την αύξηση της αφθονίας κάποιων ειδών που ήταν σπάνια στο παρελθόν. Έτσι, το είδος *Daphnia cucullata* ως νέα καταγραφή στη λίμνη Τριχωνίδα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς αποτελεί τυπικό εκπρόσωπο εύροφων λιμνών της Ευρώπης. Βεβαίως στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης Τριχωνίδας συναντώνται και άλλα είδη που θεωρούνται δείκτες ευτροφισμού, όπως το κλαδόκερο *Bosmina longirostris* και τα τροχόζωα *Brachionus calyciflorus*, *Filinia longiseta*, *Keratella quadrata* και *Pompholyx sulcata*. Ωστόσο υπάρχουν και είδη oligότροφων και μεσότροφων νερών, όπως τα τροχόζωα *Kellicottia longispina* και *Ploesoma hudsoni* και το κλαδόκερο *Daphnia galeata*. Όλα τα παραπάνω ενισχύουν τα συμπεράσματα για την ενδιάμεση θέση που κατέχει η λίμνη Τριχωνίδα από άποψη τροφικότητας μεταξύ ενός oligότροφου και ενός εύτροφου οικοσυστήματος.

Η χωρική κατανομή της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας χαρακτηρίστηκε από ομοιογενή οριζόντια εξάπλωση των ζωοπλαγκτικών ομάδων και ειδών ενώ, κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση του ζωοπλαγκτού στο επιφανειακό στρώμα 0-10 m και μείωση της αφθονίας του με το βάθος. Τα περισσότερα είδη και ομάδες του ζωοπλαγκτού διατήρησαν το ίδιο μοτίβο κατακόρυφης κατανομής σε όλη τη διάρκεια της έρευνας, γεγονός που πιθανόν να σημαίνει ότι τα είδη έχουν υιοθετήσει μια κατακόρυφη θέση που έχει αποδειχθεί ευνοϊκή για την επιβίωσή τους. Επιπλέον, για τα τροχόζωα και τα κλαδόκερα παρατηρήθηκε κατακόρυφος διαχωρισμός μεταξύ των σημαντικότερων ειδών, ένα φαινόμενο που συναντάται σε βαθιές oligότροφες λίμνες και ενισχύεται από τον ανταγωνισμό, ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλής διαθεσιμότητας τροφής.

Η εποχική διακύμανση της αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού απέκλινε σε γενικές γραμμές από το μονοακμικό πρότυπο που περιγράφεται για τις oligότροφες λίμνες, καθώς εμφάνισε περισσότερες από μία κορυφές αφθονίας κατά τη διάρκεια του έτους. Οι τιμές αφθονίας που καταγράφηκαν κατά την παρούσα μελέτη είναι σχετικά μεγαλύτερες σε σύγκριση με εκείνες άλλων μεγάλων oligότροφων λιμνών της νότιας Ευρώπης, ωστόσο, είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες εύτροφων λιμνών της

Ελλάδας. Η επικράτηση των καλανοειδών κωπηπόδων στη βιοκοινωνία των καρκινοειδών αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα oligότροφων οικοσυστημάτων.

Τέλος, η συσχέτιση που έγινε μεταξύ της αφθονίας του ζωοπλαγκτού στο χώρο και το χρόνο και των αβιοτικών παραμέτρων του οικοσυστήματος, έδειξε ότι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το ζωοπλαγκτό στη λίμνη Τριχωνίδα είναι η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α.

6.3 Ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση

Επειδή μία από τις πιο χαρακτηριστικές ηθολογικές προσαρμογές του ζωοπλαγκτού σε όλα τα υδάτινα οικοσυστήματα είναι η μεταβολή του βάθους διαβίωσής του στη διάρκεια του 24ώρου (γνωστή ως ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση – ΗΚΜ), θεωρήθηκε σημαντική η μελέτη της στη λίμνη Τριχωνίδα, με δεδομένο ότι αυτή η συμπεριφορά έχει τεράστια ενεργειακή σημασία για το ζωοπλαγκτό αλλά και για τους θηρευτές του.

Από τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης σε τέσσερις εποχές στη λίμνη Τριχωνίδα, φαίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος των ζωοπλαγκτικών ομάδων κατά τη διάρκεια του 24ώρου κατανέμεται γενικά σε επιφανειακότερα βάθη κατά την περίοδο απουσίας του θερμοκλινούς, ενώ η κατανομή τους γίνεται βαθύτερη κατά την περίοδο της έντονης στρωμάτωσης.

Τα δεδομένα επιβεβαίωσαν, επίσης, την ύπαρξη του φαινομένου του κατακόρυφου διαχωρισμού (στρωμάτωση) μεταξύ ειδών, οντογενετικών σταδίων και φύλων. Για τα τροχόζωα παρατηρήθηκε το φαινόμενο της στρωμάτωσης καθόλη τη διάρκεια του 24ώρου. Αντίστοιχα φαινόμενα κατακόρυφου διαχωρισμού παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του 24ώρου μεταξύ των αναπτυξιακών σταδίων των κωπηπόδων καθώς και μεταξύ των αρσενικών και θηλυκών ατόμων. Κατακόρυφη στρωμάτωση παρατηρήθηκε και μεταξύ των ειδών των κλαδόκερων, στις εποχές που αυτά συνυπήρχαν, αλλά και μεταξύ κλαδόκερων και κωπηπόδων.

Το φαινόμενο της στρωμάτωσης λειτουργεί πιθανότατα ως μηχανισμός μείωσης του ενδο- ή/και διαειδικού ανταγωνισμού, ή είναι το αποτέλεσμα της διαφορετικής θηρευτικής πίεσης που δέχονται οι επιμέρους αυτές ομάδες από σπονδυλωτούς θηρευτές

όπως είναι η αθερίνα (*Atherina boyeri*) που αποτελεί το κύριο πλαγκτοφάγο ψάρι στη λίμνη Τριχωνίδα. Για παράδειγμα, διαπιστώνοντας ότι η αθερίνα εμφανίζει τροφικές προτιμήσεις για συγκεκριμένα είδη και ομάδες του ζωοπλαγκτού (όπως τα καρκινοειδή), και ότι η θήρευση εξασκείται κυρίως στο ανώτερο και καλύτερα φωτισμένο μέρος της υδάτινης στήλης, γίνεται αντιληπτό ότι η ένταση της θήρευσης των παραπάνω θηραμάτων μεγιστοποιείται στην περιοχή του επιλιμνίου. Έτσι, προκειμένου να μειώσουν τον κίνδυνο από το θηρευτή τους, τα καρκινοειδή αναζητούν καταφύγιο σε τμήματα της λίμνης που καθιστούν τη ανεύρεσή τους λιγότερο αποτελεσματική, όπως το μεταλίμνιο στο οποίο η διαφάνεια του νερού είναι πολύ μικρή.

Από τις τέσσερις ομάδες του ζωοπλαγκτού τα τροχόζωα δεν έδειξαν κάποιο ξεκάθαρο πρότυπο ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης σε καμία από τις τέσσερις εποχές. Αντίθετα, φαινόμενα ΗΚΜ καταγράφηκαν για το κυρίαρχο καλανοειδές κωπήποδο *Eudiaptomus drieschi*, και ήταν πιο έντονα κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Οι κωπηποδίτες και τα ενήλικα άτομα αυτού του είδους φάνηκε να πραγματοποιούν κανονική μετανάστευση και «μετανάστευση του λυκόφωτος», ενώ ανάστροφη ΗΚΜ φάνηκε για τα θηλυκά *E. drieschi* το φθινόπωρο και για τους ναύπλιους των κωπηπόδων το χειμώνα και το καλοκαίρι. Μεταξύ των κλαδόκερων, το είδος *Diaphanosoma orghidani* φάνηκε να μεταβάλλει την κατακόρυφη κατανομή του κατά το πρότυπο της κανονικής ΗΚΜ το καλοκαίρι, το *Bosmina longirostris* εμφάνισε ανάστροφη ΗΚΜ το χειμώνα, ενώ τα άτομα του γένους *Daphnia* ακολούθησαν το πρότυπο της «μετανάστευσης του λυκόφωτος» την άνοιξη. Οι προνύμφες του *Dreissena polymorpha* βρέθηκε να μεταβάλλουν την κατακόρυφη κατανομή τους κατά τη διάρκεια του 24ώρου σύμφωνα με το πρότυπο της κανονικής ΗΚΜ το φθινόπωρο.

Η θερμοκρασία φαίνεται να είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κατακόρυφη κατανομή των τροχοζώων στη διάρκεια του 24ώρου, ενώ στην αντίστοιχη κατακόρυφη κατανομή και ιδιαίτερα στην ΗΚΜ των καρκινοειδών φαίνεται να ασκούν μεγαλύτερη επιρροή άλλοι παράγοντες, όπως είναι η παρουσία της αθερίνας ως θηρευτή του ζωοπλαγκτού στη λίμνη.

6.4 Το ζωοπλαγκτό ως τροφή για την αθερίνα

Η αθερίνα (*Atherina boyeri*) αποτελεί το κυρίαρχο είδος της ιχθυοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας και έχει μεγάλη εμπορική σημασία, καθώς αντιπροσωπεύει το κυριότερο αλίευμά της και πηγή εσόδων για πολλές οικογένειες ψαράδων της περιοχής. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αθερίνα είναι το κατεξοχήν ζωοπλαγκτοφάγο ψάρι στη λίμνη Τριχωνίδα και με δεδομένη την κυριαρχία του στη λίμνη, η θηρευτική επίδραση που έχει στο ζωοπλαγκτό είναι τεράστια. Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί ο ρόλος του ζωοπλαγκτού ως τροφή για την αθερίνα, μέσα από τη μελέτη της διαίτας του ψαριού και την ταυτόχρονη διερεύνηση της αφθονίας της τροφής του στο περιβάλλον, ώστε να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τις τροφικές του προτιμήσεις.

Τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης έδειξαν ότι η διαίτα της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα αποτελείται κυρίως από κωπήποδα, κλαδόκερα, προνύμφες του δίθυρου μαλακίου *Dreissena polymorpha* και από προνύμφες ψαριών. Αντίθετα, στο στομαχικό περιεχόμενο δε βρίσκονται μικρού μεγέθους οργανισμοί όπως τροχόζωα και ναύπλιοι κωπηπόδων, ενώ σποραδικά μπορεί να βρεθούν τμήματα μεγάλων καρκινοειδών και εντόμων.

Ως ένδειξη της έντασης τροφοληψίας μπορεί να θεωρηθεί ο δείκτης κενών στομαχιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα περισσότερα άτομα αθερίνας με κενό στομάχι βρέθηκαν το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Οι υψηλότερες τιμές του δείκτη κενών στομαχιών καταγράφηκαν το Νοέμβριο και συμπίπτουν με τη μείωση της ζωοπλαγκτικής αφθονίας στα χαμηλότερα επίπεδα ετησίως εκείνο το μήνα, γεγονός που ίσως δείχνει την επίδραση της μείωσης της τροφής στην ένταση τροφοληψίας.

Τα κωπήποδα και κυρίως τα καλανοειδή *Eudiaptomus drieschi* αποτελούν το κυρίαρχο είδος τροφής, ενώ τα κυκλοποειδή κωπήποδα είχαν σημαντική συμμετοχή στη διαίτα μόνο κατά το τέλος του καλοκαιριού και το χειμώνα. Μεταξύ των οντογενετικών σταδίων παρατηρήθηκε μεταβολή των διατροφικών συνηθειών του ψαριού, με τα μεγαλύτερα σε ηλικία ψάρια να καταναλώνουν μεγαλύτερου μεγέθους τροφή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση ιχθυοπρονυμφών στο στομαχικό περιεχόμενο των μεγαλύτερων ατόμων αθερίνας κατά το φθινόπωρο. Μεταξύ των ιχθυοπρονυμφών βρέθηκαν άτομα του είδους *Economidichthys trichonis*, καθώς και άτομα του είδους *A. boyeri*, γεγονός που υποδηλώνει την ύπαρξη κανιβαλισμού από την αθερίνα.

Παρότι η αθερίνα γενικά θεωρείται ευκαιριακός θηρευτής, στη λίμνη Τριχωνίδα το είδος φάνηκε να προβαίνει και σε πιο εξειδικευμένη θήρευση κατά περιόδους ενώ εμφάνισε ξεκάθαρες προτιμήσεις στη διατροφή του, οι οποίες αφορούν στα ενήλικα και ιδιαίτερα τα ωοφόρα κωπήποδα του *E. drieschi* αλλά και τα κλαδόκερα του γένους *Daphnia*. Επιπλέον, στη λίμνη Τριχωνίδα η αθερίνα τρέφεται αποκλειστικά με ζωοπλαγκτό και δεν στρέφεται προς το ζωοβένθος, όπως αναφέρεται ότι συμβαίνει σε άλλες θαλάσσιες ή λιμνοθαλάσσιες περιοχές. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο μεγάλο βάθος της λίμνης, σε αντίθεση με τις πιο ρηχές περιοχές των λιμνοθαλασσών, ή μπορεί να σημαίνει ότι η ζωοπλαγκτική αφθονία στη λίμνη Τριχωνίδα είναι ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του ψαριού.

Η αθερίνα ως ζωοπλαγκτοφάγος θηρευτής πιθανότατα εξασκεί εκτός από τις άμεσες επιδράσεις στην αφθονία των καρκινοειδών του ζωοπλαγκτού και έμμεση ρυθμιστική δράση μέσω των τροφικών της προτιμήσεων. Έτσι, η μεγάλη προτίμηση της αθερίνας για τα ενήλικα και ιδιαίτερα τα ωοφόρα θηλυκά του *E. drieschi*, θα μπορούσε να αποτελεί έναν επιπλέον οικολογικό μηχανισμό έμμεσης ρύθμισης της αφθονίας αυτού του κωπήποδου (που φαίνεται να έχει συνεχή αναπαραγωγή στη λίμνη) μέσω της θήρευσης αυτών των ατόμων, η οποία με αυτό τον τρόπο προκαλεί μείωση στον αναπαραγωγικό ρυθμό του.

Τέλος, από τα δεδομένα της παρούσας διατριβής για τη διατροφή της αθερίνας είναι πιθανό να αναδεικνύεται και μια άλλη παράμετρος της ηθολογίας του είδους αυτού, η οποία μπορεί να έχει προέλθει ως απόρροια της συμβίωσής του με το ζωοπλαγκτό της λίμνης Τριχωνίδας, αλλά και με άλλα ζωοπλαγκτοφάγα ψάρια. Έτσι, οι ενδείξεις της έντονης θήρευσης ιχθυοπρονυμφών ιδιαίτερα το φθινόπωρο, ίσως να υποδηλώνει την ύπαρξη μιας οικολογικής προσαρμογής αυτού του είδους ώστε να μειώσει τον ανταγωνισμό του για τροφή, δεδομένης της επερχόμενης μείωσής της καθώς οδεύουμε προς το χειμώνα και δεδομένο το ότι οι ιχθυοπρονύμφες τρέφονται και αυτές με ζωοπλαγκτό. Το σενάριο αυτό υποστηρίζει ότι μέσω της θήρευσης των ιχθυοπρονυμφών, η αθερίνα επιτυγχάνει αφενός τη μείωση του ανταγωνισμού, απομακρύνοντας άτομα που χρησιμοποιούν την ίδια τροφή με εκείνη, και αφετέρου την αύξηση των ενεργειακών της αποθεμάτων εν' όψη του χειμώνα, καταναλώνοντας τροφή υψηλότερης θερμιδικής αξίας και ίσως καταβάλλοντας ταυτόχρονα μικρότερη προσπάθεια.

6.5 Σύνοψη

Συνοψίζοντας τα δεδομένα που προαναφέρθηκαν μπορούμε να πούμε ότι η παρούσα διδακτορική διατριβή θα πρέπει αρχικά να αξιολογηθεί ως μια προσπάθεια παροχής αναλυτικότερων δεδομένων για τη σύνθεση και αφθονία της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας. Πράγματι, η έναρξη και πραγματοποίηση της διατριβής υποκινήθηκε από το γεγονός ότι το ζωοπλαγκτό αποτελεί σημαντικό στοιχείο του υδάτινου οικοσυστήματος ιδιαίτερα αυτής της λίμνης, καθώς συνιστά την κύρια πηγή ενέργειας για την αθερίνα, που είναι το σημαντικότερο αλίευμα στην Τριχωνίδα. Από την άλλη, η ταυτόχρονη μελέτη των αβιοτικών παραμέτρων του οικοσυστήματος της λίμνης ήταν επιβεβλημένη, όχι μόνο γιατί αυτά επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού, αλλά και ως στοιχείο απαραίτητο σε κάθε προσπάθεια διαχειριστικής προσέγγισης του οικοσυστήματος, με δεδομένη την έλλειψη πρόσφατης πληροφόρησης για τη λίμνη.

Η λίμνη Τριχωνίδα κατά το παρελθόν έχει χαρακτηριστεί ως oligo-μεσότροφη και με βάση τα σημερινά δεδομένα δεν απέχει πολύ από το να χαρακτηριστεί ως μία από τις πλέον «καθαρές» φυσικές λίμνες της χώρας μας. Πράγματι, από τα πρόσφατα δεδομένα που αποκτήθηκαν κατά την παρούσα διδακτορική διατριβή για τις φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν στη λίμνη, φαίνεται να έχει υποστεί μια αύξηση στο συνολικό φορτίο φωσφόρου και αζώτου, όχι όμως τέτοια που να αλλάξει την τροφική της κατάσταση. Ωστόσο, τα αποτελέσματα για τη σύνθεση των οργανισμών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, για την αφθονία και τη χωρική κατανομή τους, έδειξαν ότι η λίμνη εμφανίζει από τη μία μεριά τα βασικά χαρακτηριστικά ενός oligότροφου οικοσυστήματος αλλά, παράλληλα, παρουσιάζει και στοιχεία εύτροφων λιμνών. Οι παρατηρήσεις αυτές ενισχύουν την άποψη ότι η Τριχωνίδα βρίσκεται σε μια μεταβατική φάση διέλευσης από ένα χαμηλό προς ένα ανώτερο επίπεδο τροφικότητας. Επιπλέον, η ύπαρξη σημαντικών ποιοτικών και ποσοτικών διαφορών στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία μεταξύ των ετήσιων δειγματοληπτικών περιόδων αυτής της μελέτης, αναδεικνύει την ανάγκη (ή και υποχρέωση) επισταμένης παρακολούθησης του οικοσυστήματος μέσω των βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων του, καθώς πρόκειται για τη μεγαλύτερη σε έκταση λίμνη της Ελλάδας με τεράστια οικολογική και οικονομική σημασία.

Η αθερίνα στη λίμνη Τριχωνίδα είναι ο κυρίαρχος θηρευτής του ζωοπλαγκτού και στηρίζει τη διατροφή της αποκλειστικά σε αυτό, ενώ φαίνεται ότι σε κάποιες ομάδες του ασκεί επιλεκτική θήρευση. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την παρατεταμένη θερμική στρωμάτωση της λίμνης και τη χαμηλή πρωτογενή παραγωγικότητα, διαμορφώνουν το γενικότερο πλαίσιο μέσα στο οποίο διαβιούν οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί. Η κατακόρυφη κατανομή και η ημερονύκτια μετανάστευση των κυριότερων ζωοπλαγκτικών καρκινοειδών στη λίμνη Τριχωνίδα φαίνεται να ακολουθεί τους βασικούς οικολογικούς κανόνες της αποφυγής της θήρευσης και της μείωσης του ενδο- και δια- ειδικού ανταγωνισμού. Από την άλλη, δεδομένης της περιορισμένης διαθεσιμότητας τροφής στο οικοσύστημα, καθώς και της μικρής κολυμβητικής ικανότητας των τροχοζώων, τα πιο άφθονα είδη αυτής της ζωοπλαγκτικής ομάδας φαίνεται να προτιμούν να διαχωρίζονται κάθετα, προκειμένου να μειώσουν τον ανταγωνισμό μεταξύ τους, από το να σπαταλούν ενέργεια σε μεγάλης κλίμακας ημερονύκτιες κατακόρυφες μετατοπίσεις.

Η σημασία της αθερίνας, λοιπόν, φαίνεται ότι δρα καταλυτικά για τη ρύθμιση της ροής της ενέργειας χωρικά και χρονικά μέσα στο συγκεκριμένο λιμναίο οικοσύστημα. Σύμφωνα με ό τι προαναφέρθηκε, η στροφή στην κατανάλωση ιχθυοπρονυμφών από την αθερίνα σε κάποιες περιόδους του έτους, θα μπορούσε να αποτελεί μηχανισμό μείωσης του ανταγωνισμού, απομακρύνοντας άτομα που χρησιμοποιούν την ίδια τροφή με εκείνη και ταυτόχρονα αντλώντας ενέργεια καταναλώνοντας υψηλής θερμιδικής αξίας τροφή. Αυτό είναι ένα θέμα που αξίζει να διερευνηθεί στο μέλλον με προσεκτικότερο σχεδιασμό δειγματοληψιών και ανάλυσης των δειγμάτων. Σημαντική πληροφορία πάνω σε αυτό το θέμα μπορεί να προσφέρει η μελέτη της διατροφής των ιχθυοπρονυμφών.

Η εμφάνιση κάποιων νέων ειδών (π.χ. *Daphnia cucullata*), τα οποία διαπιστώθηκε ότι αποτελούν προτιμώμενη τροφή για την αθερίνα, είναι πιθανό να οφείλεται στη συνολικά μειωμένη θήρευσή τους από την αθερίνα, κάτι που μπορεί να συνεπάγεται μείωση του ιχθυοαποθέματός της. Το ίδιο μπορεί να σημαίνει και η αύξηση στην αφθονία του *Daphnia cucullata* που παρατηρήθηκε μεταξύ των δειγματοληπτικών περιόδων στη διάρκεια της παρούσας έρευνας. Το απόθεμα της αθερίνας στη λίμνη Τριχωνίδα δεν έχει εκτιμηθεί, ωστόσο υπάρχουν ενδείξεις μείωσής του από εμπειρικά στοιχεία των ψαράδων της περιοχής. Κατά συνέπεια, η παραπάνω διαπίστωση έχει μεγάλη οικολογική σημασία, όχι μόνο γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαχειριστικό εργαλείο σε μελλοντικές μελέτες του αποθέματος της αθερίνας, αλλά και γιατί καταδεικνύει τη δυνατότητα ενός είδους-θήρευτή, όπως το ψάρι αυτό, να ρυθμίζει την «εμφάνιση» ή την «εξαφάνιση»

κάποιων ειδών σε ένα οικοσύστημα στο οποίο η αθερίνα είναι άλλωστε «ξενικό είδος» (αφού προήλθε από τη θάλασσα). Το τελευταίο αποκτά ιδιαίτερη αξία, δεδομένου ότι σε πολλά λιμναία οικοσυστήματα (π.χ. σε τεχνητές λίμνες της Τουρκίας) χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια η αθερίνα για τον εμπλουτισμό τους.

Κλείνοντας, μπορούμε να πούμε πως η παρούσα διερεύνηση της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας της λίμνης Τριχωνίδας μπορεί να συντελέσει σε μια πιο ολοκληρωμένη αντίληψη της οικολογικής κατάστασης της λίμνης, ίσως και των οικονομικών της προεκτάσεων. Στα πλαίσια της αειφορικής διαχείρισης, η επισταμένη παρακολούθηση του βιοτικού περιβάλλοντος μπορεί να αναδείξει σημάδια για αλλαγές που οι άνθρωποι θα αντιληφθούμε πολύ αργότερα· και όσο πιο κοντά στη βάση της τροφικής αλυσίδας κοιτάξουμε, τόσο περισσότερο χρόνο μπορούμε να κερδίσουμε. Σε μια εποχή που έχει αρχίσει να υφίσταται τις συνέπειες της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, η διαχείριση και διατήρηση πολύτιμων οικοσυστημάτων, όπως η λίμνη Τριχωνίδα, επιβάλλεται.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Παρά την οικολογική του σημασία, το ζωοπλαγκτό δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στα εσωτερικά ύδατα της Ελλάδας, ενώ ελάχιστη έρευνα αφορά στο ζωοπλαγκτό της λίμνης Τριχωνίδας. Στη λίμνη αυτή, που είναι η μεγαλύτερη σε έκταση φυσική λίμνη της Ελλάδας και συμπεριλαμβάνεται στο Δίκτυο NATURA 2000, το ζωοπλαγκτό παίζει ακόμα πιο σημαντικό ρόλο στη ροή της ενέργειας καθώς αποτελεί την κύρια τροφή της αθερίνας που ζει στη λίμνη και αποτελεί το κυριότερο εμπορικό αλίευμα της περιοχής. Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη των σημαντικότερων οικολογικών παραμέτρων της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας στη λίμνη Τριχονίδα.

Για τη μελέτη της σύνθεσης των ειδών της ζωοπλαγκτικής βιοκοινωνίας, την χωρική κατανομή των οργανισμών και τη χρονική διακύμανση της αφθονίας τους πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες δειγματοληψίες κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 2003 - Αύγουστος 2006. Παράλληλα, κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 2004 - Αύγουστος 2006, γινόταν *in situ* καταγραφή των βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, ενώ εκτιμήθηκε η συγκέντρωση των βασικών θρεπτικών και της χλωροφύλλης-α σε δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από διάφορα βάθη. Για τη μελέτη του φαινομένου της ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης του ζωοπλαγκτού πραγματοποιήθηκαν τέσσερις 24ωρες δειγματοληψίες κατά το 2005. Για την εκτίμηση του ρόλου του ζωοπλαγκτού ως τροφή για την αθερίνα πραγματοποιήθηκαν μηνιαίες δειγματοληψίες αθερίνας και ζωοπλαγκτού κατά την περίοδο Απρίλιος 2006 - Μάρτιος 2007 και έγινε ανάλυση του στομαχικού περιεχομένου των ατόμων της αθερίνας.

Τα αποτελέσματα της παρακολούθησης των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού έδειξαν ότι η λίμνη Τριχονίδα διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά της θερμής, μονομικτικής λίμνης στην οποία παρατηρείται μια περίοδος θερμικής στρωμάτωσης και μία περίοδος ανάμιξης των υδάτων σε ολόκληρη της υδάτινη στήλη. Το διαλυμένο οξυγόνο παρουσιάζει μια χαρακτηριστική αύξηση στο μεταλίμνιο, και μόνο στο τέλος της περιόδου θερμοστρωμάτωσης μετρήθηκαν ιδιαίτερα χαμηλές συγκεντρώσεις σε βάθη κοντά στον πυθμένα. Από τα δεδομένα της παρούσας μελέτης διαφαίνεται μία τάση ενίσχυσης του βαθμού τροφικότητας της λίμνης, με μικρή αύξηση του φορτίου της σε φώσφορο και άζωτο, ενώ ταυτόχρονα καταγράφεται και μικρή μείωση της διαφάνειας,

αύξηση της χλωροφύλλης-α, της αγωγιμότητας και του pH. Ωστόσο, οι δείκτες τροφικότητας δείχνουν ότι η λίμνη Τριχωνίδα διατηρείται σε ένα μεταβατικό τροφικό επίπεδο, μεταξύ oligότροφου και μεσότροφου οικοσυστήματος.

Στη ζωοπλαγκτική βιοκοινωνία της λίμνης καταγράφηκαν 36 είδη πλαγκτικών ασπονδύλων (25 τροχόζωα, 3 κωπήποδα, 7 κλαδόκερα, 1 προνύμφη δίθυρου μαλακίου). Η σύνθεσή της παρουσίασε κάποιες διαφορές σε σχέση με το παρελθόν, ενώ καταγράφηκαν είδη «δείκτες» oligότροφων αλλά και εύτροφων συνθηκών. Η οριζόντια εξάπλωση του ζωοπλαγκτού στη λίμνη ήταν ομοιόμορφη, ενώ στον κατακόρυφο άξονα μεγαλύτερη αφθονία βρέθηκε στο στρώμα των 0-10 m. Για τα τροχόζωα και τα κλαδόκερα παρατηρήθηκε κατακόρυφος διαχωρισμός μεταξύ των σημαντικότερων ειδών, ένα φαινόμενο που συναντάται σε βαθιές oligότροφες λίμνες και ενισχύεται από τον ανταγωνισμό, ειδικά σε περιπτώσεις χαμηλής διαθεσιμότητας τροφής. Η εποχική διακύμανση της αφθονίας του συνολικού ζωοπλαγκτού απέκλεινε από το μονοακμικό πρότυπο που περιγράφεται για τις oligότροφες λίμνες. Η συσχέτιση που έγινε μεταξύ της αφθονίας του ζωοπλαγκτού στο χώρο και το χρόνο και των αβιοτικών παραμέτρων, έδειξε ότι οι κυριότεροι παράγοντες που το επηρεάζουν είναι η θερμοκρασία, το διαλυμένο οξυγόνο και η συγκέντρωση της χλωροφύλλης-α.

Η διερεύνηση της ημερονύκτιας κατακόρυφης κατανομής του ζωοπλαγκτού στις τέσσερις εποχές επιβεβαίωσε την ύπαρξη του φαινομένου του κατακόρυφου διαχωρισμού (στρωμάτωση) μεταξύ ειδών, οντογενετικών σταδίων και φύλων. Από τις τέσσερις ομάδες του ζωοπλαγκτού τα τροχόζωα δεν έδειξαν κάποιο ξεκάθαρο πρότυπο ημερονύκτιας κατακόρυφης μετανάστευσης (HKM) σε καμία εποχή. Αντίθετα, φαινόμενα HKM καταγράφηκαν για τα καρκινοειδή και ήταν πιο εμφανή κατά την περίοδο της έντονης θερμοστρωμάτωσης. Η θερμοκρασία φαίνεται να είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την κατακόρυφη κατανομή των τροχοζώων στη διάρκεια του 24ώρου, ενώ στην HKM των καρκινοειδών φαίνεται να ασκούν μεγαλύτερη επιρροή άλλοι παράγοντες, όπως είναι η παρουσία της αθερίνας ως θηρευτή του ζωοπλαγκτού στη λίμνη.

Από την ανάλυση της διατροφής της αθερίνας διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης κενών στομαχιών εμφάνισε υψηλότερες τιμές το Νοέμβριο, όταν η ζωοπλαγκτική αφθονία έφτασε στα χαμηλότερα επίπεδα ετησίως, γεγονός που ίσως δείχνει την επίδραση της μείωσης της τροφής στην ένταση τροφοληψίας του ψαριού. Η αθερίνα βρέθηκε να τρέφεται κυρίως με το καλανοειδές κωπήποδο *Eudiatomus drieschi* και το κλαδόκερο *Diaphanosoma orghidani*, ενώ στο στομαχικό περιεχόμενο δε βρέθηκαν τροχόζωα και

ναύπλιοι, παρόλο που στο νερό ήταν πολύ άφθονα. Μεταξύ των οντογενετικών σταδίων παρατηρήθηκε μεταβολή των διατροφικών συνηθειών του ψαριού, με τα μεγαλύτερα σε ηλικία ψάρια να καταναλώνουν μεγαλύτερου μεγέθους τροφή. Η αθερίνα έδειξε ξεκάθαρες διατροφικές προτιμήσεις, οι οποίες αφορούν στα ενήλικα και ιδιαίτερα στα ωοφόρα κωπήποδα του *E. drieschi*, αλλά και στα κλαδόκερα του γένους *Daphnia*. Αυτή η μεγάλη προτίμηση της αθερίνας για τα ενήλικα και ιδιαίτερα τα ωοφόρα θηλυκά του *E. drieschi*, θα μπορούσε να αποτελεί έναν οικολογικό μηχανισμό έμμεσης ρύθμισης της αφθονίας αυτού του κωπηπόδου προκαλώντας μείωση στον αναπαραγωγικό ρυθμό του. Το φθινόπωρο παρατηρήθηκε έντονη κατανάλωση ιχθυοπρονυμφών, μεταξύ των οποίων και γόνος της αθερίνας. Δεδομένου ότι οι ιχθυοπρονύμφες τρέφονται και αυτές με ζωοπλαγκτό, είναι πιθανό ότι, μέσω της θήρευσής τους, η αθερίνα επιτυγχάνει αφενός τη μείωση του ανταγωνισμού και, αφετέρου, την αύξηση των ενεργειακών της αποθεμάτων εν' όψη του χειμώνα.

SUMMARY

Although freshwater zooplankton has great ecological importance, it has not been adequately studied in the Greek lakes. Even less research concerns Lake Trichonis, which is the largest natural lake in Greece and has been included in the NATURA 2000 ecological network. In this lake, zooplankton has even greater importance in trophic cascades, as it comprises the main energy source for sand smelt (*Atherina boyeri*), which has acclimatized in the lake and accounts for the most important commercial fishery. The aim of this PhD thesis is the study of the main ecological aspects of the zooplankton community in Lake Trichonis.

For the investigation of the zooplankton species composition and their spatial and temporal variation of abundance, zooplankton samplings were conducted on a monthly basis during the period September 2003 - August 2006. Additionally, the water's basic physicochemical parameters were recorded *in situ* from September 2004 to August 2006, while estimations of nutrients and chlorophyll-a concentration were made on water samples collected from different depths. For the investigation of the diel vertical migration of the zooplankton, four seasonal 24hour samplings were conducted during 2005. To determine the role of zooplankton as prey for *A. boyeri*, fish and zooplankton samplings were conducted monthly from April 2006 to March 2007 and the stomach content of sand smelt specimens was examined.

The results of the physicochemical monitoring suggest that Lake Trichonis holds the basic characteristics of a warm, monomictic lake, exhibiting an extended period of thermal stratification and one mixing period of the entire water column. The dissolved oxygen concentration increases within the thermocline layer and only towards the end of the stratification period oxygen depletion occurs near the bottom. The data acquired during the present study indicate a tendency of the lake's trophic state towards a higher level, having suffered a slight increase of the phosphorus and nitrogen load, while a decrease of water transparency and an increase of chlorophyll-a concentration, conductivity and pH values were also recorded. However, the use of trophic state indices shows that Lake Trichonis still remains an ecosystem transitioning from oligotrophic to mesotrophic level.

In the lake's zooplankton community 34 planktonic invertebrate species were recorded (24 rotifers, 3 copepods, 6 cladocerans and 1 mollusc larva). During the study period, total zooplankton abundance in Lake Trichonis ranged from 4 to 131,9 ind/l. The species composition showed certain differences compared to previous studies, while species indicative of oligotrophic as well as eutrophic conditions were present. The zooplankton showed uniform horizontal distribution, while along the vertical axis it was concentrated mainly in the upper 10 m. Vertical separation of the most abundant species of rotifers and cladocerans was observed. This phenomenon is common in deep, oligotrophic lakes and is enhanced by competition, especially under circumstances of limited food availability. The total zooplankton seasonal dynamics deviated from the unimodal pattern which is characteristic of oligotrophic lakes. Correlations between spatial and temporal zooplankton abundance and abiotic parameters showed that the main factors affecting zooplankton are temperature, dissolved oxygen and chlorophyll-a concentration.

The investigation of the zooplankton diel vertical distribution among the four seasons confirmed the existence of vertical separation between species, as well as ontogenetic stages and sexes. Among the four major zooplankton groups, rotifers did not show any clear diel vertical migration (DVM) pattern during the four seasons. On the contrary, DVM phenomena were recorded for crustaceans and were more evident during intense thermal stratification. Temperature seems to be the most important parameter affecting the vertical distribution of rotifers during the 24hour period while other factors, like the predation exercised by sand smelt (*A. boyeri*), seem to regulate the DVM of crustaceans.

Stomach content analysis of *A. boyeri* resulted to a vacuity index values of 12,7 %, reaching higher values in November, when zooplankton abundance reached the lower annual level. This could indicate the influence of food availability to the feeding intensity of the fish. The sand smelt was found to feed mostly on the copepod *Eudiaptomus drieschi* and the cladoceran *Diaphanosoma orghidani*, while rotifers and copepod nauplii were not found in the stomach content, although having great abundance in the lake. Considering the diet of the ontogenetic stages, a differentiation of feeding habits was observed, with older specimens consuming larger prey. *A. boyeri* showed clear feeding preferences for the adult and, especially, the egg bearing copepods of *E. drieschi* as well as for cladocerans of the genus *Daphnia*. This great preference for adults and, especially, egg bearing calanoid copepods could be an ecological mechanism for the species' indirect population control,

lowering its reproductive rate. Intense fish larvae consumption was recorded in autumn, including larvae of *A. boyeri*. Considering that fish larvae feed on zooplankton as well, it could be possible that, through their predation, the sand smelt achieves reduction of competition, while on the same time maximizes its energy reserves, as winter approaches.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής βιβλιογραφία

- Abrantes N, Antunes SC, Pereira MJ, Gonçalves F. 2006. Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal). *Acta Oecol* 29:54-64.
- Abrantes N, Gonçalves F. 2003. The dynamics of *Ceriodaphnia pulchella* (Cladocera) in laboratory. *Acta Oecol* 24:S245-S249.
- Adamczuk M. 2009. Predation follows competition in depth selection behavior of Cladocera in a deep lake (E Poland). *Biological Lett* 46:29-36.
- Adrian R, Schipolowski T. 2003. Bacterial and protozoan mass accumulation in the deep chlorophyll maximum of a mesotrophic lake. *Arch Hydrobiol* 157:27-46.
- Aguilera X, Crespo G, Declerck S, De Meester L. 2006. Diel vertical migration of zooplankton in tropical high mountain lakes (Andes, Bolivia). *Pol J Ecol* 54:453-464.
- Akçaalan R, Albay M, Gürevin C, Çevik F. 2007. The influence of environmental conditions on the morphological variability of phytoplankton in an oligo-mesotrophic Turkish lake. *Ann Limnol - Int J Lim* 43:21-28.
- Allan JD. 1976. Life history patterns in zooplankton. *Amer Natur* 110:165-180.
- Alonso M. 1996. Crustacea. Brachionopoda. Serie Fauna Ibérica, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Vol 7. Madrid.
- Amoros C. 1984. Crustacés Cladocères. *Bul menc Soc Limn Lyon*, no 3 et 4.
- Amundsen PA, Gabler HM, Staldvik FJ. 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data - modification of the Costello (1990) method. *J Fish Biol* 48:607-614.
- Andronikova IN. 1996. Zooplankton characteristics in monitoring of Lake Ladoga. *Hydrobiologia* 322:173-179.
- Antonopoulos A, Kagalou I, Michaloudi E, Leonardos I. 2008. Limnological features of a shallow eutrophic lake (Lake Pamvotis, Greece) with emphasis on zooplankton community structure. *Oceanol Hydrobiol St* 37:7-19.
- APHA 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD, eds). American Public Health Association.

- Armengol X, Miracle MR. 2000. Diel vertical movements on zooplankton in Lake La Cruz (Cruencia, Spain). *J Plankton Res* 22:1683-1703.
- Armengol-Diaz J, Esparcia A, Vicente E, Miracle MR. 1993. Vertical distribution of planktonic rotifers in a karstic meromictic lake. *Hydrobiologia* 255/256:381-388.
- Atici T, Obali O, Altindag A, Ahiska S, Aydin D. 2010. The accumulation of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) and their state in phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Beysehir Lake and Mogan Lake, Turkey. *Afr J Biotechnol* 9:475-487.
- Bailey-Watts AE. 1976 α . Planktonic diatoms and silica in Loch Leven, Scotland: a one month silica budget. *Freshwat Biol* 6:203-213.
- Bailey-Watts AE. 1976 β . Planktonic diatoms and some diatom-silica relations in a shallow eutrophic Scottish loch. *Freshwat Biol* 6:69-80.
- Bamber R, Henderson PA. 1988: Pre-adaptive plasticity in atherinids and the estuarine seat of the teleost evolution. *J Fish Biol* 33:17-23.
- Barbiero RP, Touchman ML. 2001. Results from the U.S. EPA's biological open water surveillance program of the Laurentian Great Lakes: II. Deep chlorophyll maxima. *J Great Lakes Res* 27:155-166.
- Bartulović V, Lucic D, Conides A, Glamuzina B, Dulcic J, Hafner D, Batistic M. 2004. Food of sand smelt, *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces: Atherinidae) in the estuary of the Mala Neretva River (middle – eastern Adriatic, Croatia). *Sci Mar* 68:597-603.
- Bayly IAE. 1986. Aspects of diel vertical migration in zooplankton and its enigma variations. In: *Limnology in Australia* (De Deckker P, Williams WD, eds). CSIRO, Melbourne:Junk, 349-368.
- Benzie JAH. 2005. Cladocera: the genus *Daphnia* (including *Daphniopsis*). In: *Guide to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world* (Dumont HJF, ed), Vol 21. Leiden: Backhuys Publishers.
- Berggreen U, Hansen B, Kiorboe T. 1988. Food size spectra, ingestion and growth of the copepod *Acartia tonsa* during development: implications for determination of copepod production. *Mar Biol* 99:341-352.
- Bertahas I, Dimitriou E, Karaouzas I, Laschou S, Zacharias I. 2006. Climate change and agricultural pollution effects on the trophic status of a Mediterranean lake. *Acta hydrochim hydrobiol* 34:349-359.
- Bērziņš B, Pejler B. 1989 α Rotifer occurrence in relation to temperature. *Hydrobiologia* 175:223-231.

- Bērziņš B. & Pejler B. 1989β. R otifer occurrence and trophic degree. *Hydrobiologia* 182:171-180.
- Bianchi F, Acri F, Bernardi Aubry F, Berton A, Boldrin A, Camatti E, Cassin D, Comaschi A. 2003. Can plankton communities be considered as bio-indicators of water quality in the Lagoon of Venice? *Mar Pollut Bull* 46:964-971.
- Boersma M, Vijverberg J. 1996. Food effects on life history traits and seasonal dynamics of *Ceriodaphnia pulchella*. *Freshwater Biol* 35:25-34.
- Bollens SM, Frost BW. 1991. Ovigerity, selective predation, and variable diel vertical migration in *Euchaeta elongata* (Copepoda: Calanoida). *Oecologia* 87:155-161.
- Borcherding J. 1991. The annual reproductive cycle of the freshwater mussel *Dreissena polymorpha* Pallas in lakes. *Oecologia* 87:208-218.
- Boscolo I. 1970. Osservazioni sulla biologia e sulla pesca dell, *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Osteichthyes Atherinidae) vivente nelle acque dell' alto Adriatico. *Boll Pesca Piscic Idrobiol* 25:61-79.
- Boyd CE. 2000. Water quality: an introduction. Boston:Kluwer Academic Publishers.
- Branstrator DK, Lehman JT. 1991. Invertebrate predation in lake Michigan: Regulation of *Bosmina longirostris* by *Leptodora kindtii*. *Limnol Oceanogr* 36:483-495.
- Brönmark C, Hansson LA. 1998. The biology of lakes and ponds. New York:Oxford University Press.
- Brown CD, Hoyer MV, Bachmann RW, Canfield Jr. DE. 2000. Nutrient–chlorophyll relationships: an evaluation of empirical nutrient–chlorophyll models using Florida and north-temperate lake data. *Can J Fish Aquat Sci* 57:1574-1583.
- Burns CW, Mitchell SF. 1980. Seasonal succession and vertical distribution of zooplankton in Lake Hayes and Lake Johnson. *New Zeal J Mar Fresh* 14:189-204.
- Carlson RE. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol Oceanogr* 22:361-369.
- Carlson RE. 1992. Expanding the trophic state concept to identify non-nutrient limited lakes and reservoirs. In: Proceedings of a National Conference on Enhancing the States' Lake Management Programs. Monitoring and Lake Impact Assessment. Chicago 59-71.
- Castel J, Cassifour O, Labourg PJ. 1977. Croissance et modifications du regime alimentaire d'un téléostéen mugiliforme: *Atherina boyeri* Risso, 1810 dans les étangs saumâtres du bassin d' Arcachon. *Vie Milieu* 27:385-410.

- Chalkia E, Kehayias G, Zacharias I, Thomatou AA. 2009. Zooplankton in Lake Amvrakia: Species composition and abundance variation. In: Proceedings of the 11th International Congress on the Zoogeography and Ecology of Greece and Adjacent Regions, 21-25 September 2009, Herakleion, Greece. Natural History Museum of Crete, 103.
- Chapman D, Kimstach V. 1996. Selection of water quality variables. In: Water quality assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring (Chapman D, ed). 2nd ed. UNESCO/WHO/UNEP.
- Chrisafi E, Kaspiris P, Katselis G. 2007. Feeding habits of sand smelt (*Atherina boyeri*, Risso 1810) in Trichonis Lake (Western Greece). J Appl Ichthyol 23:209-214.
- Ciros-Perez J, Carmona MJ, Serra M. 2001. Resource competition between sympatric sibling rotifer species. Limnol Oceanogr 46:1511-1523
- Cole PC, Luecke C, Wurtsbaugh WA, Burkart G. 2002. Growth and survival of *Daphnia* in epilimnetic and metalimnetic water from oligotrophic lakes: the effects of food and temperature. Freshwater Biol 47:2113-2122.
- Connell AD. 1978. Reversed vertical migration of planktonic crustaceans in a eutrophic lake of high pH. J Limnol Soc S Afr 4:101-104.
- Costello MJ. 1990. Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis. J Fish Biol 36: 261-263.
- Coward K, Bromage NR, Hibbitt O, Parrington J. 2002. Gamete physiology, fertilization and egg activation in teleost fish. Rev Fish Biol Fisher 12:33-58.
- Creech S. 1992. A study of the population biology of *Atherina boyeri* Risso, 1810 in Aberthaw Lagoon, on the Bristol Channel, in South Wales. J Fish Biol 41:277-286.
- Culver DA, Vaga RM, Munch CS. 1984. Effects of size-selective fish predation on the reproductive output of Cladocera in hatchery ponds. Verh Internat Verein Limnol 22:1636-1639.
- Cushing DH. 1951. The vertical migration of planktonic Crustacea. Biol Rev 26:158-192.
- Danilova MM. 1991. Diet of juvenile silversides, *Atherina boyeri*, from the Black Sea. Journal of Ichthyology 31:137-145.
- Dawidowicz P, Loose CJ. 1992. Cost of swimming by *Daphnia* during diel vertical migration. Limnol Oceanogr 37:665-669.
- De Bernardi R, Giussani G, Manca M. 1987. Cladocera: Predators and prey. Hydrobiologia 145:225-243.

- De Meester L, Dawidowicz P, Van Gool E, Loose CJ. 1999. Ecology and evolution of predator-induced behavior of zooplankton: depth selection behavior and diel vertical migration. In: The ecology and evolution of inducible defences (Tollrian R, Harvell CD, eds). Princeton (NJ):Princeton University Press, 160-176.
- De Meester L, Weider LJ. 1999. Depth selection behavior, fish kairomones, and the life histories of *Daphnia hyalina* x *galeata* hybrid clones. Limnol Oceanogr 44:1248-1258.
- De Meester LD, Weider LJ, Tollrian R. 1995. Alternative antipredator defences and genetic polymorphism in a pelagic predator-prey system. Nature 378:483-485.
- DeMott WR, Kerfoot WC. 1982. Competition among Cladocerans: nature of the interaction between *Bosmina* and *Daphnia*. Ecology 63:1949-1966.
- Devetter M. 1998. Influence of environmental factors on the rotifer assemblage in an artificial lake. Hydrobiologia 387/388:171-178.
- Dodson S, Hanazato T. 1995. Commentary on effects of anthropogenic and natural organic chemicals on development, swimming behavior, and reproduction of *Daphnia*, a key member of aquatic ecosystems. Environ Health Persp 103:7-11.
- Dodson S. 1974. Zooplankton competition and predation: an experimental test of the size-efficiency hypothesis. Ecology 55:605-613.
- Dodson S. 1988. The ecological role of chemical stimuli for the zooplankton predator-avoidance behaviour in *Daphnia*. Limnol Oceanogr 33:1431-1439.
- Dodson S. 1990. Predicting diel vertical migration of zooplankton. Limnol Oceanogr 35:1195-1200.
- Dodson S. 1991. Species richness of crustacean zooplankton in European lakes of different sizes. Vehr Internat Verein Limnol 24:1223-1229.
- Dodson S. 1992. Predicting crustacean zooplankton species richness. Limnol Oceanogr 37:848-856.
- Doulka E, Kehayias G. 2008. Spatial and temporal distribution of zooplankton in Lake Trichonis (Greece). J Nat Hist 42:575-595.
- Dumont H. 1972. A competition-based approach of the reverse vertical migration in zooplankton and its implications, chiefly based on a study of the interactions of the rotifer *Asplanchna priodonta* (Gosse) with several Crustacea Entomostraca. Int Revue ges Hydrobiol 57:1-38.

- Dussart BH, Defaye D. 2001. Introduction to the Copepoda. In: Guide to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world (Dumont HJF, ed), Vol 16. Leiden:Backhuys Publishers.
- Easton J, Gophen M. 2003. Diel variation in the vertical distribution of fish and plankton in Lake Kinneret: a 24-h study of ecological overlap. *Hydrobiologia* 491:91-100.
- Einsle U, Walz N. 1972. Die täglichen Vertikalwanderungen der Larven von *Dreissena polymorpha* Pallas im Bodensee-Obersee. *GWF Wasser/Abwasser* 113:428-430.
- Elliott J. 1977. Seasonal changes in the abundance and distribution of planktonic rotifers in Grasmere (English Lake District). *Freshwater Biol* 7:147-166.
- Elser JJ, Goldman CR. 1991. Zooplankton effects on phytoplankton in lakes of contrasting trophic status. *Limnol Oceanogr* 36:64-90.
- Enright JT. 1977. Diurnal vertical migration: adaptive significance and timing. Part 1. Selective advantage: a metabolic model. *Limnol Oceanogr* 22:856-872.
- Ferrara O, Vagaggini D, Margaritora FG. 2002. Zooplankton abundance and diversity in Lake Bracciano, Latium, Italy. *J Limnol* 61:169-175.
- Ferrari I, Rossi R. 1983-84. Feeding habits of *Atherina boyeri* Risso in a lagoon of the Po river delta. *Nova Thallasia* 6:275-280.
- Fischer JM, Nicolai JL, Williamson CE, Persaud AD, Lockwood RS. 2006. Effects of ultraviolet radiation on diel vertical migration of crustacean zooplankton: an in situ mesocosm experiment. *Hydrobiologia* 563:217-224.
- Focant B, Rosecchi E, Crivelli AJ. 1999. Attempt at biochemical characterization of sand smelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces, Atherinidae) populations from the Camargue (Rhône delta, France). *Comp Biochem Physiol B* 122:261-267.
- Forsyth DJ, James MR, Cryer M. 1990. Alteration of seasonal and diel patterns in vertical migration of zooplankton by *Anabaena* and planktivorous fish. *Arch Hydrobiol* 117:385-404.
- Fragopulu N, Lykakis JJ. 1990. Vertical distribution and nocturnal migration of zooplankton in relation to the development of the seasonal thermocline in Patraikos Gulf. *Mar Biol* 104:381-387.
- Frogliola C, Orel G. 1979. Considerazioni sulla pesca a strascico nella fascia costiera delle tre miglia in Adriatico. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali – Memorie serie B* 86:17-25.

- Gaevsky NA, Zotina TA, Gorbaneva TB. 2002. Vertical structure and photosynthetic activity of Shira Lake phytoplankton. *Aquat Ecol* 36:165-178.
- Gannon JE, Stemberger RS. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *Trans Am Microsc Soc* 97:16-35.
- Gannon JE, Stemberger RS. 1981. Impact of influent rivers on the distribution of zooplankton in lake Skadar. In: *The Biota and Limnology of Lake Skadar* (Karaman GS, Beeton AM, eds). Titograd, 199-217.
- Garnier J, Mourelatos S. 1991. Contribution of grazing in phytoplankton overall losses in a shallow French lake. *Freshwater Biol* 25:515-523.
- Geller W, Müller H. 1981. The filtration apparatus of Cladocera: filter mesh-sizes and their implications on food selectivity. *Oecologia* 49:316-321.
- Geller W. 1986. Diurnal vertical migration of zooplankton in a temperate great lake (L. Constance): a starvation avoidance mechanism? *Arch Hydrobiol* 74:1-60.
- Geraldes AM, Boavida MJ. 2004. What factors affect the pelagic cladocerans of the meso-eutrophic Azibo Reservoir? *Ann Limnol* 40:101-111.
- Gisbert E, Cardona L, Castelló F. 1996. Resource partitioning among planktivorous fish larvae and fry in a mediterranean coastal lagoon. *Estuar Coast Shelf S* 43:723-735.
- Gliwicz ZM, Pijanowska J. 1988. Effect of predation and resource depth distribution on vertical migration of zooplankton. *B Mar Sci* 43:695-709.
- Gliwicz ZM, Lampert W. 1990. Food thresholds in *Daphnia* species in the absence and presence of blue-green filaments. *Ecology* 71:691-702.
- Gliwicz ZM, Ghilarov A, Pijanowska J. 1981. Food and predation as major factors limiting two natural populations of *Daphnia cucullata* Sars. *Hydrobiologia* 80:205-218.
- Gliwicz ZM, Rykowska A. 1992. "Shore avoidance" in zooplankton: a predator-induced behavior or predator-induced mortality? *J Plankton Res* 14:1331-1342.
- Gliwicz ZM. 1969. Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophy. *Ekol Pol* 17:663-708.
- Gliwicz ZM. 1999. Predictability of seasonal and diel events in tropical and temperate lakes and reservoirs. In: *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications* (Tundisi JG, Straškraba M, eds). Leiden:Backhuys Publishers, 99-124.
- Gołdyn R, Kowalczevska-Madura K. 2008. Interactions between phytoplankton and zooplankton in the hypertrophic Swarzędzkie Lake in western Poland. *J Plankton Res* 30:33-42.

- Gon O, Ben-Tuvia A. 1983. The biology of Boyer's sand smelt, *Atherina boyeri* Risso in the Bardawil Lagoon on the Mediterranean coasts of Sinai. J Fish Biol 22:537-547.
- Gophen M. 1978. Zooplankton. In: Lake Kinneret (Serruya C, ed). Junk, 297-311.
- Grossman GD. 1980. Ecological Aspects of Ontogenetic Shifts in Prey Size Utilization in the Bay Goby (Pisces: Gobiidae). Oecologia 47:233-238.
- Grzegorz G, Klimaszyk P, Kuczyńska-Kippen N. 2006. Diel vertical distribution of zooplankton in Piaseczno Lake (Wdecki Landscape Park) - II. Rotifera. Oceanol Hydrobiol St 35:29-37.
- Grzegorz G, Kuczyńska-Kippen N, Klimaszyk P. 2005. Diel vertical distribution of zooplankton in Piaseczno lake (WDA Landscape Park) – I. Crustacea. Oceanol Hydrobiol St 34:97-108.
- Guevara J, Sautier-Casaseca GA. 1977. Datos sobre las condiciones ambientales y fauna ictiológica del Mar Menor. CRIS 155:18-20.
- Gulati RD. 1983. Zooplankton and its grazing as indicators of trophic status in dutch lakes. Environ Monit Assess 3:343-354.
- Gündüz E. 1998. *Eudiaptomus anatolicus* n.sp. (Copepoda: Calanoida) from Turkey. Hydrobiologia 368:193-199.
- Haberman J. 1976. An ecological characterization of the rotifers dominating in the pelagic region of lakes Peipsi-Pihkva and Vortsjärvi. In: Productivity of Estonian Fresh Waters (Haberman H, Haberman J, eds). Estonian contributions to the IBP progress report X, 35-59.
- Hairton Jr NG, Walton WE, Li KT. 1983. The causes and consequences of sex-specific mortality in a freshwater copepod. Limnol Oceanogr 28:935-947.
- Halvorsen G, Dervo BK, Papinska K. 2004. Zooplankton in Lake Atnsjøen 1985-1997. Hydrobiologia 521:149-175.
- Han BP, Straškraba M. 2001. Control mechanisms of diel vertical migration: theoretical assumptions. J Theor Biol 210:305-318.
- Hanazato T, Yasuno M. 1987. Experimental studies on competition between *Bosmina longirostris* and *Bosmina fatalis*. Hydrobiologia 154:189-199.
- Hanazato T. 1992. Direct and indirect effects of low-oxygen layers on lake zooplankton communities. Arch Hydrobiol 35:87-98.
- Hanazato T. 2001. Pesticide effects on freshwater zooplankton: an ecological perspective. Environ Pollut 112:1-10.

- Hardy AC. 1936. Plankton ecology and the hypothesis of animal exclusion. P Linn Soc 148:64-70.
- Hart RC, Allanson BR. 1976. The distribution and diel vertical migration of *Pseudodiaptomus hessei* (Mrazek) (Calanoida: Copepoda) in a subtropical lake in southern Africa. Freshwater Biol 6:183-198.
- Haupt F, Stockenreiter M, Reichwaldt ES, Baumgartner M, Lampert W, Boersma M, Stibor H. 2010. Upward phosphorus transport by *Daphnia* diel vertical migration. Limnol Oceanogr 55:529-534.
- Helland IP, Freyhof J, Kasprzak P, Mehner T. 2007. Temperature sensitivity of vertical distributions of zooplankton and planktivorous fish in a stratified lake. Oecologia 151: 22-330.
- Henderson PA, Bamber RN. 1987. On the reproductive biology of the sand smelt *Atherina boyeri* Risso (Pisces: Atherinidae) and its evolutionary potential. Biol J Linn Soc 32:395-415.
- Herzig A. 1984. Temperature and life cycle strategies of *Diaphanosoma brachyurum*: an experimental study on development, growth and survival. Arch Hydrobiol 101:143-178.
- Herzig A. 1995. *Leptodora kindti*: efficient predator and preferred prey item in Neusiedler See, Austria. Hydrobiologia 307:273-282.
- Hessen D, Andersen T, Faafeng B. 1992. Zooplankton contribution to particulate phosphorus and nitrogen in lakes. J Plankton Res 14:937-947.
- Hofmann W. 1975. The influence of spring circulation on zooplankton dynamics in the Plubsee. Vehr Internat Verein Limnol 19:1241-1250.
- Holdren C, Jones W, Taggart J. 2001. Managing Lakes and Reservoirs. North American Lake Management Society and Terrene Institute in cooperation with Office of Water, Assessment and Watershed Protection Division U.S. Environ. Prot. Agency. Madison.
- Holmes RHA, Henderson PA. 1990. High fish recruitment in the Severn estuary: the effect of a warm year. J Fish Biol 36:961-963.
- Holst H, Zimmermann H, Kauscha H, Koste W. 1998. Temporal and spatial dynamics of planktonic rotifers in the Elbe Estuary during spring. Estuar Coast Shelf S 47:261-273.

- Horppila J, Malinen T, Nurminen L, Tallberg P, Vinni M. 2000. A metalimnetic oxygen minimum indirectly contributing to the low biomass of cladocerans in Lake Hiidenvesi – a diurnal study on the refuge effect. *Hydrobiologia* 436:81-90.
- Hrbacek J, Korinek V, Frey DG, 1978. Cladocera. In: Illies 'Limnofauna Europaea' 2nd ed, 189-195.
- Hyslop EJ. 1980. Stomach content analysis – a review of methods and their application. *J Fish Biol* 17:411-429.
- Iglesias C, Goyenola G, Mazzeo N, Meerhoff M, Rodó E, Jeppesen E. 2007. Horizontal dynamics of zooplankton in subtropical Lake Blanca (Uruguay) hosting multiple zooplankton predators and aquatic plant refuges. *Hydrobiologia* 584:179-189.
- Ivlev VS. 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. New Haven: Yale University Press.
- Jakobsen PJ, Johnsen GH. 1988. The influence of food limitation on swarming behaviour in the waterflea *Bosmina longispina*. *Anim Behav* 36:991-995.
- Jamieson CD. 2005. Coexistence of two similar copepod species, *Eudiaptomus gracilis* and *E. graciloides*: the role of differential predator avoidance. *Hydrobiologia* 542:191-202
- Johnsen GH, Jakobsen PJ. 1987. The effect of food limitation on vertical migration in *Daphnia longispina*. *Limnol Oceanogr* 32:873-88.
- Kane DD, Gordon SI, Munawar M, Charlton MN, Culver DA. 2009. The Planktonic Index of Biotic Integrity (P-IBI): An approach for assessing lake ecosystem health. *Ecol Indic* 9:1234-1247.
- Karabin A, Ejsmont-Karabin J. 2005. An evidence for vertical migrations of small rotifers – a case of rotifer community in a dystrophic lake. *Hydrobiologia* 546:381-386.
- Karabin A. 1974. Studies on the predatory role of the cladoceran *Leptodora kindtii* (Focke) in secondary production of two lakes with different trophy. *Ekol Pol* 22:295-310.
- Karabin A. 1983. Ecological characteristics of lakes in northeastern Poland *versus* their trophic gradient. VII. Variations in the quantitative and qualitative structure of the pelagic zooplankton (Rotatoria and Crustacea) in 42 lakes. *Ekol Pol* 31:303-409.
- Karentz D, Bothwell ML, Coffin RB, Hanson A, Herndl GJ, Kilham SS, Lesser MP, Lindell M, Moeller RE, Morris DP, Neale PJ, Sanders RW, Weiler CS, Wetzel RG. 1994. Impact of UV-B radiation on pelagic freshwater ecosystems: report of working

- group on bacteria and phytoplankton. *Archiv Hydrobiol Beih Ergeb Limnol* 43:31-69.
- Kasprzak P, Gervais F, Adrian R, Weiler W, Radke R, Jäger I, Riest S, Siedel U, Schneider B, M Böhme, Eckmann R, Walz N. 2000. Trophic characterization, pelagic food web structure and comparison of two mesotrophic lakes in Brandenburg (Germany). *Internat Rev Hydrobiol* 85:167-189.
- Kehayias G, Chalkia E, Chalkia S, Nistikakis G, Zacharias I, Zotos A. 2008. Zooplankton dynamics in the upstream part of Stratos reservoir (Greece). *Biologia* 63:699-710.
- Kehayias G, Michaloudi E, Bexi A. 2004. Aspects on the seasonal dynamics and the vertical distribution of the crustacean zooplankton community and the *Dreissena polymorpha* larvae in Lake Trichonis. *Medit Mar Sci* 5:5-17.
- Kerfoot WC, DeMott WR, DeAngelis DL. 1985. Interactions among cladocerans: food limitation and exploitative competition. *Arch Hydrobiol Beih* 21:431-451.
- Kerfoot WC. 1970. Bioenergetics of vertical migration. *Am Nat* 104:529-546.
- Kerfoot WC. 1985. Adaptive value of vertical migration: comments on the predation hypothesis and some alternatives. In: *Migration: Mechanisms and Adaptive Significance* (Rankin MA, ed). Contributions in Marine Science Vol 27. Port Aransas:University of Texas, 91-113.
- Kessler K, Lampert W. 2004. Fitness optimization of *Daphnia* in a trade-off between food and temperature. *Oecologia* 140:381-387.
- Kiener A, Spillman CJ. 1969. Contribution a l'étude systematique et ecologique des atherines des cotes francaises. *Mem Mus nain Hist nat Paris Ser A Zool* 60:33-74.
- Kikuchi K. 1930. Diurnal migration of plankton crustacea. *Quart Rev Biol* 5:189-206.
- Kilham P, Kilham SS, Hecky RE. 1986. Hypothesized resource relationships among Afrikan planktonic diatoms. *Limnol Oceanogr* 31:1169-1181.
- Klossa-Kilia E, Papasotiropoulos V, Tryphonopoulos G, Alahiotis S, Kiliass G. 2007. Phylogenetic relationships of *Atherina hepsetus* and *Atherina boyeri* (Pisces: Atherinidae) populations from Greece, based on mtDNA sequences. *Biol J Linn Soc* 92:151-161.
- Klossa-Kilia E, Prassa M, Papasotiropoulos V, Alahiotis S, Kiliass G. 2002. Mitochondrial DNA diversity in *Atherina boyeri* populations as determined by RFLP analysis of three mtDNA segments. *Heredity* 89:363-370.

- Korovchinsky NM. 1992. Sididae and Holopediidae: (Crustacea: Daphniophormes). In: Guide to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world (Dumont HJF, ed), Vol 3. The Hague:SPB Academic Publishing.
- Koulouri P, Dounas C, Radin F, Eleftheriou A. 2009. Near-bottom zooplankton in the continental shelf and upper slope of Heraklion Bay (Crete, Greece, Eastern Mediterranean): Observations on vertical distribution patterns. *J Plankton Res* 31:753-762.
- Koussouris T. 1978. Plankton observations in three lakes of Western Greece. *Thalassographica* 2:115-123.
- Koussouris T. 1979. Dominating planktonic rotatoria in some lakes of western Greece. *Biologia Gallo-hellenica* 12:135-140.
- Koutrakis ET, Kamidis NI, Leonardos ID. 2004. Age, growth and mortality of a semi-isolated lagoon population of sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso, 1810) (Pisces: Atherinidae) in an estuarine system of northern Greece. *J Appl Ichthyol* 20:382-388
- Kvam OV, Kleiven OT. 1995. Diel horizontal migration and swarm formation in *Daphnia* in response to *Chaoborus*. *Hydrobiologia* 307:177-184.
- Lampert W, McCauley E, Manly BFJ. 2003. Trade-offs in the vertical distribution of zooplankton: ideal free distribution with costs? *P Roy Soc Lond B Bio* 270:765-773.
- Lampert W. 1987. Vertical migration in freshwater zooplankton: indirect effects of vertebrate predators on algal communities. In: *Predation: Direct and Indirect Impacts on Aquatic Communities* (Kerfoot WC, Sih A, eds). New Hampshire:University;Press of New England, 291-299.
- Lampert W. 1989. The adaptive significance of diel vertical migration of zooplankton. *Funct Ecol* 3:21-27.
- Lampert W. 1993. Ultimate causes of diel vertical migration of zooplankton: new evidence for the predator-avoidance hypothesis. *Arch Hydrobiol* 39:79-88.
- Lankford TE, Targett TE. 1994. Suitability of estuarine nursery zones for juvenile weakfish (*Cynoscion regalis*): effect of temperature and salinity on feeding, growth and survival. *Mar Biol* 119:611-620.
- Larson GL. 1973. A limnology study of a high mountain lake in Mount Rainier National Park, Washington State;USA. *Arch Hydrobiol* 72:10-48.
- Laxhuber R. 1987. Abundance and distribution of pelagic rotifers in a cold, deep oligotrophic alpine lake (Konigssee). *Hydrobiologia* 147:189-196.

- Lazzaro X. 1987. A review of planktivorous fishes: Their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia* 146:97-167.
- Lee HW, Ban S, Ikeda T, Matsuishi T. 2003. Effect of temperature on development, growth and reproduction in the marine copepod *Pseudocalanus newmani* at satiating food condition. *J Plankton Res* 25:261-271.
- Leech DM, Williamson CE, Moeller RE, Hargreaves BR, 2005. Effects of ultraviolet radiation on the seasonal vertical distribution of zooplankton: A database analysis. *Arch Hydrobiol* 162:445-464.
- Leech DM, Williamson CE. 2000. Is tolerance to UV radiation in zooplankton related to body size, taxon, or lake transparency? *Ecol Appl* 10:1530-1540.
- Leech DM, Williamson CE. 2001. In situ exposure to UV radiation alters the depth distribution of *Daphnia*. *Limnol Oceanogr* 46:416-420.
- Leibold MA. 1991. Trophic interactions and habitat segregation between competing *Daphnia* species. *Oecologia* 86:510-520.
- Leonardos I, Sinis A. 2000. Age, growth and mortality of *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces: Atherinidae) in the Mesolongi and Etolikon lagoons (W. Greece). *Fish Res* 45:81-91.
- Leonardos ID. 2001. Ecology and exploitation pattern of a landlocked population of sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso 1810), in Trichonis Lake (western Greece). *J Appl Ichthyol* 17:262-266.
- Levy DA. 1990. Reciprocal diel vertical migration behavior in planktivores and zooplankton in British Columbia Lakes. *Can J Fish Aquat Sci* 47:1755-1764.
- Lewandowski K, Eijsmont-Karabin J. 1983. Ecology of planktonic larvae of *Dreissena polymorpha* (Pall.) in lakes with different degree of heating. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 30:89-101.
- Lewandowski K. 1982. The role of early developmental stages in the dynamics of *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia) populations in lakes. I. Occurrence of larvae in the plankton. *Ekol Pol* 30:81-109.
- Link JS, Burnett J. 2001. The relationship between stomach contents and maturity state for major northwest Atlantic fishes: new paradigms? *J Fish Biol* 59:783-794.
- Longhurst A, Williams R. 1992. Carbon flux by seasonal vertical migrant copepods is a small number. *J Plankton Res* 14:1495-1509.

- Loose CJ. 1993a. *Daphnia* diel vertical migration behaviour: response to vertebrate predator abundance. Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol 39:29-36.
- Loose CJ. 1993b. Lack of endogenous rhythmicity in *Daphnia* diel vertical migration. Limnol Oceanogr 38:1837-1841.
- Lorenzo JM, Pajuelo JG. 1999. Age and growth of the sand smelt *Atherina* (*Hepsetia*) *presbyter* Cuvier, 1829 in the Canary Islands (central-east Atlantic). Fish Res 41:177-182.
- Lunte CC, Luecke C. 1990. Trophic interactions of *Leptodora* in Lake Mendota. Limnol Oceanogr 35:1091-1100.
- MacIsaac HJ, Gilbert JJ. 1989. Competition between rotifers and cladocerans of different body sizes. Oecologia 81:295-301.
- Mäemets A. 1983. Rotifers as indicators of lake types in Estonia. Hydrobiologia 104:357-361.
- Maier G, Buchholz R. 1996. Zooplankton communities of gravel pits in relation to trophy, dredging activity and macrophyte growth. Limnologica 26:353-360.
- Maier G. 1996. Copepods communities in lakes of varying trophy degree. Arch Hydrobiol 136:455-465.
- Mantilacci L, Mearelli M, Giovinazzo G, Lorenzoni M. 1990. Accrescimento e alimentazione del latterino (*Atherina boyeri* Risso) del lago Trasimeno. Rivista di Idrobiologia 29:309-327.
- Marfin JP. 1981. Biologie de l'Atherine: *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Poisson Téléostéen) dans trois milieux saumâtres du Roussillon. [3ème Cycle Thesis]. Perpignan:Universite de Perpignan.
- Mason CF, Abdul-Hussein MM. 1991. Population dynamics and production of *Daphnia hyalina* and *Bosmina longirostris* in a shallow eutrophic reservoir. Freshwater Biol 25:234-260.
- Matveev VF. 1987 Effect of competition on the demography of planktonic cladocerans – *Daphnia* and *Diaphanosoma*. Oecologia 74:468-477.
- May L, Bailey-Watts AE, Kirika A. 2001. The relationship between *Trichocerca pusilla* (Jennings), *Aulacoseira* spp. and water temperature in Loch Leven, Scotland, U.K. Hydrobiologia 446/447:29-34.
- McAllister CD. 1969. Aspects of estimating zooplankton production from phytoplankton production. J Fish Res Board Can 26:199-220.

- McLaren IA. 1963. Effect of temperature on growth of zooplankton and the adaptive value of vertical migration. *J Fish Res Board Can* 20:685-727.
- McLaren IA. 1974. Demographic strategy of vertical migration by a marine copepod. *Am Nat* 108:91-102.
- Michaloudi E, Kostecka M. 2004. Zooplankton of lake Koroneia (Macedonia, Greece). *Biologia* 59:165-172.
- Michaloudi E, Zarfdjian M, Economidis PS. 1997. The zooplankton of Lake Mikri Prespa. *Hydrobiologia* 351:77-94.
- Michaloudi E. 2005. Dry weights of the zooplankton of lake Mikri Prespa (Macedonia, Greece). *Belg J Zool* 135:223-227.
- Mikschi E. 1989. Rotifer distribution in relation to temperature and oxygen content. *Hydrobiologia* 186/187:209-214.
- Miracle MR, Alfonso MT. 1993. Rotifer vertical distributions in a meromictic basin of Lake Banyoles (Spain). *Hydrobiologia* 255/256:371-380.
- Molinero A, Flos R. 1992. Influence of season on the feeding habits of the common sole *Solea solea*. *Mar Biol* 113:499-507.
- Moore MV, Folt CF, Stemberger RS. 1996. Consequences of elevated temperatures for zooplankton assemblages in temperate lakes. *Arch Hydrobiol* 135:289-319.
- Moretti G, Gianotti FS, Giganti A. 1959. Il “latterino” (*Atherina mochon* Cuv.) nel Trasimeno (biometria, regime dietetic, pesca e parassitismo). *Riv Biol* 51:3-38.
- Muck P, Lampert W. 1984. An experimental study on the importance of food conditions for the relative abundance of calanoid copepods and cladocerans. 1. Comparative feeding studies with *Eudiaptomus gracilis* and *Daphnia longispina*. *Arch Hydrobiol* 66:157-179.
- Neill WE. 1990. Induced vertical migration in copepods as a defence against invertebrate predation. *Nature* 345:524-526.
- Nogrady T, Segers H. 1990. Rotifera: Asplanchnidae, Gastropodidae, Lindidae, Microcodidae, Synchetidae, Trochosphaeridae and *Filinia*. In: Guide to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world (Dumont HJF, ed), Vol 6. Leiden: Backhuys Publishers.
- OECD. 1982. Eutrophication of waters, monitoring, assessment and control: OECD cooperative programme of inland waters (eutrophication control). Environmental Directorate. Paris.

- Ohman MD, Frost BW, Cohen EB. 1983. Reverse diel vertical migration: an escape from invertebrate predators. *Science* 220:1404-1407.
- Overbeck J, Anagnostidis K, Economou-Amilli A. 1982. A limnological survey of three Greek lakes: Trichonis, Lyssimachia and Amvrakia. *Arch Hydrobiol* 95:365-394.
- Padisák J, Krienitz L, Koschel R, Nedoma J. 1997. Deep-layer autotrophic picoplankton maximum in the oligotrophic Lake Stechlin, Germany: origin, activity, development and erosion. *Eur J Phycol* 32:403-416.
- Paffenhöfer GA. 1984a. Food ingestion by the marine planktonic copepod *Paracalanus* in relation to abundance and size distribution of food. *Mar Biol* 80:323-333.
- Paffenhöfer GA. 1984b. Does *Paracalanus* feed with a leaky sieve? *Limnol Oceanogr* 29:155-160.
- Pais C. 2002. Diet of a deep-sea fish, *Hoplostethus mediterraneus*, from the south coast of Portugal. *J Mar Biol Ass UK* 82:351-352.
- Pallaoro A, Franic . 2002. Age, growth and mortality of big-scale sand smelt, *Atherina (Hepsetia) boyeri* Risso, 1810 in the Pantana lagoon, Croatia. *Period Biol* 104:175-183.
- Palmer CJ, Culley MB. 1983. Aspects of the biology of the sandsmelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Teleostei : Atherinidae) at Oldbury-upon-Severn, Gloucestershire, England. *Estuar Coast Shelf S* 16:163-172.
- Pasternak AF, Mikheev VN, Wanzenböck J. 2006. How plankton copepods avoid fish predation: From individual responses to variations of the life cycle. *Journal of Ichthyology* 46:S220-S226.
- Patalas K. 1972. Crustacean plankton and the eutrophication of St. Lawrence Great Lakes. *J Fish Res Board Can* 29:1451-1462.
- Pauly D, Froese R, Sa-a PS, Palomares ML, Christensen V, Rius J. 2000. *TrophLab Manual*. Manila:ICLARM.
- Pauly D, Palomares ML. 2000. Approaches for dealing with three sources of bias when studying the fishing down marine food web phenomenon. In: *Fishing Down the Mediterranean Food Webs?* (Briand F, ed). CIESM Workshop Series, Vol 12, 61-66.
- Pauly D, Trites A, Capuli E, Christensen V. 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES J Mar Sci* 55:467-481.
- Pejler B. 1983. Zooplanktonic indicators of trophy and their food. *Hydrobiologia* 101:111-114.

- Persaud AD, Williamson CE. 2005. Ultraviolet and temperature effects on planktonic rotifers and crustaceans in northern temperate lakes. *Freshwater Biol* 50:467-476.
- Petipa TS, Makarova NP. 1969. Dependence of phytoplankton production on rhythm and rate of elimination. *Mar Biol* 3:191-195.
- Pijanowska J, Dawidowicz P. 1987. The lack of vertical migration in *Daphnia*: the effect of homogeneously distributed food. *Hydrobiologia* 148:175-181.
- Pinel-Alloul B, Methot G, Malinsky-Rushansky NZ. 2004. A short-term study of vertical and horizontal distribution of zooplankton during thermal stratification in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiologia* 526:85-98.
- Pinto-Coelho R, Pinel-Alloul B, Méthot G, Havens KE. 2005. Crustacean zooplankton in lakes and reservoirs of temperate and tropical regions: variation with trophic status. *Can J Fish Aquat Sci* 62:348-361.
- Polunin NVC, Pinnegar JK. 2000. Trophic-level dynamics inferred from stable isotopes of carbon and nitrogen. In: *Fishing down the Mediterranean Food Webs?* (Briand F, ed). CIESM Workshop Series, Vol 12, 69-72.
- Popovska-Stancovic O. 1954. Die plankton-production des Dojransees, vom Aug. 1951 bis Aug. 1952. *Zavod za ribarstvo na N.R. Makedonija. Izdanija (Skopje)* 1:1-20.
- Pourriot R, Capblancq J, Champ P, Meyer JA. 1982. *Ecologie du plankton des eaux continentales*. Ed. Masson.
- Primicerio R. 2000. Seasonal changes in vertical distribution of zooplankton in an oligotrophic, Subarctic Lake (Lake Takvatn, Norway). *Limnologica* 30:301-310.
- Primicerio R. 2003. Size-dependent habitat choice in *Daphnia galeata* Sars and size-structured interactions among zooplankton in a subarctic lake (lake Lombola, Norway). *Aquat Ecol* 37:107-122.
- Quingard JP, Pras A. 1986. Atherinidae. In: *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean* (Whitehead PJP, Bauchot ML, Hureau JC, Nielsen J, Tortonese E, eds). Vol III, UNESCO, Paris, 1207-1210.
- Rainey JD, Sobczak WV, Fradkin SC. 2007. Zooplankton diel vertical distributions in Lake Crescent a deep oligotrophic lake in Washington (USA). *J Freshwater Ecol* 22:469-476.
- Reichwaldt ES, Wolf ID, Stibor H. 2005. Effects of a fluctuating temperature regime experienced by *Daphnia* during diel vertical migration on *Daphnia* life history parameters. *Hydrobiologia* 543:199-205.

- Rejas D, DeMeester L, Ferrufino L, Maldonado M, Ollevier F. 2007. Diel vertical migration of zooplankton in an Amazonian várzea lake (Laguna Bufeos, Bolivia). *Stud Neotrop Fauna E* 42:71-81.
- Rhode SC, Pawlowski M, Tollrian R. 2001. The impact of ultraviolet radiation on the vertical distribution of zooplankton of the genus *Daphnia*. *Nature* 412:69-72.
- Rhyne AL, Ohs CL, Stenn E. 2009. Effects of temperature on reproduction and survival of the calanoid copepod *Pseudodiaptomus pelagicus*. *Aquaculture* 292:53-59.
- Ricci C, Melone G. 2000. Key to the identification of the genera of bdelloid rotifers. *Hydrobiologia* 418:73-80.
- Richards SA, Possingham HP, Noye J. 1996. Diel vertical migration: modelling light-mediated mechanisms. *J Plankton Res* 18:2199-2222.
- Ringelberg J, Flik BJG, Lindenaar D, Royackers K. 1991. Diel vertical migration of *Daphnia hyalina* (sensu latiori) in Lake Maarsseveen Part 1. Aspects of seasonal and daily timing. *Archiv Hydrobiol* 121:129-145.
- Ringelberg J, Van Gool E, Brehm M. 2004. Density and depth variations of *Daphnia* multilocus genotypes during a summer period in Lake Maarsseveen. *Aquat Ecol* 38:525-535.
- Ringelberg J, Van Gool E. 2003. On the combined analysis of proximate and ultimate aspects in diel vertical migration (DVM) research. *Hydrobiologia* 491:85-90.
- Ringelberg J. 1991. Diel vertical migration of *Eudiaptomus gracilis* during a short summer period. *Hydrobiol Bull* 25:77-84.
- Ringelberg J. 1999. The photobehaviour of *Daphnia* spp. as a model to explain diel vertical migration in zooplankton. *Biol Rev* 74:397-423.
- Romero JR, Kagalou I, Imberger J, Hela D, Kotti M, Bartzokas A, Albanis T, Evmirides N, Karkabounas S, Papagiannis J, Bithava A. 2002 Seasonal water quality of shallow and eutrophic Lake Pamvotis, Greece: implications for restoration. *Hydrobiologia* 474:91-105.
- Rosecchi E, Crivelli AJ. 1992. Study of a sand smelt (*Atherina boyeri* Risso 1810) population reproducing in freshwater. *Ecol Freshw Fish* 1:77-85.
- Ruttner-Kolisko A. 1974. Plankton Rotifers. Biology Taxonomy. (English translation of Die Binnengewässer Vol. XXVI, Part I: Rotatoria), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.

- Rylov VM. 1963. Fauna of U.S.S.R. Crustacea. Freshwater Cyclopoida. Zoological Institute. Academy of Sciences of the U.S.S.R. 3:1–314. Israel Program for Scientific Translations, Smithsonian Institution and National Science Foundation, Washington DC.
- Sager PE, Richman S. 1991. Functional interaction of phytoplankton and zooplankton along the trophic gradient in Green Bay, Lake Michigan. *Can J Fish Aquat Sci* 48:116-122.
- Santer B. 1998. Life cycle strategies of free-living copepods in fresh waters. *J Marine Syst* 15:327-336.
- Schabetsberger R, Jersabek CD. 2004. Shallow males, deep females: sex-biased differences in habitat distribution of the freshwater calanoid copepod *Arctodiaptomus alpinus*. *Ecography* 27:506-520.
- Schelske CL, Conley DJ, Stoermer EF, Newberry TL, Campbell CD. 1986. Biogenic silica and phosphorus accumulation in sediments as indices of eutrophication in the Laurentian Great Lakes. *Hydrobiologia* 143:79-86.
- Schelske CL, Stoermer EF. 1972. Phosphorus, silica, and eutrophication of Lake Michigan. In: Likens, G.E. (Ed.), *Nutrients and Eutrophication: The Limiting-Nutrient Controversy*. *Limnol Oceanogr Spec Symp* 1:157-171.
- Schindler DW. 1987. Detecting ecosystem response to anthropogenic stress. *Can J Fish Aquat S* 44:6-25.
- Scilipoti D. 1998. Fish community in the Stagione di Marsala: distribution and resource partitioning as a function of different habitat complexity degrees. [PhD thesis]. Italy:University of Messina.
- Serafimova-Hadzisce J. 1959. Particularités du zooplancton du lac de Prespa et aperçu de la composition du zooplancton des grands lacs de la peninsule des Balcons. *Rec Trav Stat Hydrobiol Ohrid* 6:1-18.
- Smith C, Reay P. 1991. Cannibalism in teleost fish. *Rev Fish Biol Fisher* 1:41-64.
- Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W, Duncan A. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch Hydrobiol* 106:433-471.
- Spaak P, Ringelberg J. 1997. Differential behaviour and shifts in genotype composition during the beginning of a seasonal period of diel vertical migration. *Hydrobiologia* 360:177-185.

- Sprung M. 1987. Ecological requirements of developing *Dreissena polymorpha* eggs. Arch Hydrobiol Suppl 79:69-86.
- Sprung M. 1989. Field and laboratory observations of *Dreissena polymorpha* larvae: abundance, growth, mortality and food demands. Arch Hydrobiol 115:537-561.
- Sprung M. 1993. The other life: An account of present knowledge of the larval phase of *Dreissena polymorpha*. In: Zebra Mussels: Biology, Impacts & Control (Nalepa TF, Schloesser DW, eds). Florida :CRC Press Inc, 39-54.
- Stankovic S. 1960. The Balcan lake of Ohrid and its living world. Uitgeverijdr. W. Junk-Den Haag.
- Stergiou KI, Karpouzi VS. 2002. Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. Rev Fish Biol Fisher 11:217-254.
- Stich HB, Lampert W. 1981. Predator evasion as an explanation of diurnal vertical migration by zooplankton. Nature 293:396-398.
- Stich HB, Lampert W. 1984. Growth and reproduction of migrating and non-migrating *Daphnia* species under simulated food and temperature conditions of diurnal vertical migration. Oecologia 61:192-196.
- Stirling G, Roff DA. 2000. Behaviour plasticity without learning: phenotypic and genetic variation of naïve *Daphnia* in an ecological trade-off. Anim Behav 59:929-941.
- Stoermer EF, Ladewski BG, Schelske CL. 1978. Population responses of Lake Michigan phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. Hydrobiologia 57:241-265.
- Stottrup JG. 2000. The elusive copepods: their production and suitability in marine aquaculture. Aquac Res 31:703-711.
- Svensson JE. 1997. Sex differences in habitat distribution of a planktonic copepod, *Eudiaptomus gracilis*. Ecography 20:407-416.
- Tafas T, Danielidis D, Overbeck J, Economou-Amilli A. 1997. Limnological survey of the warm monomictic lake Trichonis (central western Greece). I. The physical and chemical environment. Hydrobiologia 344:129-139.
- Tafas T, Economou-Amilli A. 1997. Limnological survey of the warm monomictic lake Trichonis (central western Greece). II. Seasonal phytoplankton periodicity – a community approach. Hydrobiologia 344:141-153.
- ter Braak CJF, Šmilauer P. 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, NY, USA (www.canoco.com):Microcomputer Power.

- Thackeray SJ, George DG, Jones RI, Winfield IJ. 2005. Vertical heterogeneity in zooplankton community structure: A variance partitioning approach. *Arch Hydrobiol* 164:257-275.
- Thackeray SJ, George DG, Jones RI, Winfield IJ. 2006. Statistical quantification of the effect of thermal stratification on patterns of dispersion in a freshwater zooplankton community. *Aquat Ecol* 40:23-32.
- Trabelsi M, Kartas F, Quignard JP. 1994. Comparison of diet between a marine and a lagoonal population of *Atherina boyeri* from Tunisian coasts. *Vie Milieu* 44:117-123.
- Tsekos I, Economidis PS, Charitonidis S, Sinis A, Nikolaides G, Petridis D, Moustaka M, Zarfdjian M, Kokkinakis A. 1992. Hydrobiological study of the man-made Lake Tavropou, Karditsa. Final report. Athens:Ministry of Agriculture.
- Turnpenny AWH, Bamber RN, Henderson PA. 1981. Biology of the sand-smelt (*Atherina presbyter* Valenciennes) around Fawley power station. *J Fish Biol* 18: 417-427.
- Urabe J. 1991. Effect of food concentration on growth, reproduction and survivorship of *Bosmina longirostris* (Cladocera): an experimental study. *Freshwater Biol* 25:1-8.
- Uye SI, Kasahara S. 1983. Grazing of various developmental stages of *Pseudodiaptomus marinus* (Copepoda: Calanoida) on naturally occurring particles. *Bull Plankt Soc Japan* 30:147-158.
- Vanderploeg HA, Ludsin SA, Cavaletto JF, Höök TO, Pothoven SA, Brandt SB, Liebig JR, Lang GA. 2009. Hypoxic zones as habitat for zooplankton in Lake Erie: Refuges from predation or exclusion zones? *J Exp Mar Biol Ecol* 381:S108-S120.
- Vizzini S, Mazzola A. 2002. Stable carbon and nitrogen ratios in the sand smelt from a Mediterranean coastal area: feeding habits and effect of season and size. *J Fish Biol* 60:1498-1510.
- Vizzini S, Mazzola A. 2003. Seasonal variations in the stable carbon and nitrogen isotope ratios ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) of primary producers and consumers in a western Mediterranean coastal lagoon. *Mar Biol* 142:1009-1018.
- Vizzini S, Mazzola A. 2005. Feeding ecology of the sand smelt *Atherina boyeri* (Risso 1810) (Osteichthyes, Atherinidae) in the western Mediterranean: evidence for spatial variability based on stable carbon and nitrogen isotopes. *Environ Biol Fish* 72:259-266.
- Wetzel RG. 2001. Limnology. Lake and river ecosystems. Third Edition. San Diego:Academic Press.

- Williamson CE, Grad G, De Lange HJ, Gilroy S, Karapelou DM. 2002. Temperature-dependent ultraviolet responses in zooplankton: Implications of climate change. *Limnol Oceanogr* 47:1844-1848
- Williamson CE, Rose KC. 2009. Ultraviolet insights: attempting to resolve enigmatic patterns in pelagic freshwaters – the historical context and a view to the future. *Int Rev Hydrobiol* 94:129-142.
- Williamson CE, Sanders RW, Moeller RE, Stutzman PL. 1996. Utilization of subsurface food resources for zooplankton reproduction: Implications for diel vertical migration theory. *Limnol Oceanogr* 41:224-233.
- Williamson, CE, Olson OG, Lott SE, Walker ND, Engstrom DR, Hargreaves BR. 2001. Ultraviolet radiation and zooplankton community structure following deglaciation in Glacier Bay, Alaska. *Ecology* 82:1748-1760.
- Wilson EO, Bossert WH. 1971. A primer of population biology. Mass:Sinauer.
- Windell JT, Bowen SH. 1978. Methods for study of fish diet based on analysis of stomach contents. In: *Methods for the assessment of fish production in fresh waters* (Bagnel T, ed). 3rd ed. Oxford:Blackwell Scientific Publications, 219-226.
- Winder M, Buergi HR, Spaak P. 2003. Seasonal vertical distribution of phytoplankton and copepod species in a highmountain lake. *Arch Hydrobiol* 158:197-213.
- Winder M, Hunter DA. 2008. Temporal organization of phytoplankton communities linked to physical forcing. *Oecologia* 156:179-192.
- Yacobi YZ, Zohary T. 2010. Carbon:chlorophyll *a* ratio, assimilation numbers and turnover times of Lake Kinneret phytoplankton. *Hydrobiologia* 639:185-196.
- Young S, Watt PJ. 1996. Daily and seasonal vertical migration rhythms in *Daphnia*. *Freshwater Biol* 36:17-22.
- Zacharias I, Bertachas I, Skoulidakis N, Koussouris T. 2002. Greek Lakes: Limnological overview. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 7:55-62.
- Zacharias I, Dimitriou E, Koussouris T. 2003. Estimating groundwater discharge into a lake through underwater springs by using GIS technologies. *Environ Geol* 44:843-851.
- Zacharias I, Dimitriou E, Koussouris T. 2005. Integrated water management scenarios for wetland protection: application in Trichonis Lake. *Environ Modell Softw* 20:177-185.

- Zacharias I, Ferentinos G. 1997. A numerical model for the winter circulation in Lake Trichonis, Greece. *Environ Modell Softw* 12:311–321.
- Zadereev YS, Tolomeyev AP. 2007. The vertical distribution of zooplankton in brackish meromictic lake with deep-water chlorophyll maximum. *Hydrobiologia* 576:69-82.
- Zagarese HE, Cravero W, Gonzalez P, Pedrozo F. 1998. Copepod mortality induced by fluctuating levels of natural ultraviolet radiation simulating vertical water mixing. *Limnol Oceanogr* 43:169-174.
- Zaret TM, Suffern JS. 1976. Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnol Oceanogr* 21:804-813.
- Zaret TM. 1980. *Predation and Freshwater Communities*. New Haven:Yale University Press.
- Zarfdjian MH, Economidis PS. 1989. Listes provisoires des rotifers, cladocères et copepods des eaux continentales Grecques. *Biologia Gallo-hellenica*, 15:129-146.
- Zarfdjian MH, Vranovsky M, Economidis PS. 1990. Les invertebres planctoniques du Lac Volvi (Macedoine, Grece). *Int Revue ges Hydrobiol* 75:403-412.
- Zhou S, Huang X, Cai Q. 2007. Vertical distribution and migration of planktonic rotifers in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir, China. *J Freshwater Ecol* 22:441-449.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Δημητρίου Η, Ζαχαρίας Ι, Κουσουρήs Θ. 2001. Μελέτη για το υδατικό ισοζύγιο της υδρολογικής λεκάνης της λίμνης Τριχωνίδας, τελική έκθεση. Στο: Δράσεις για την προστασία των ασβεστούχων βάλτων της λίμνης Τριχωνίδας (Ζαχαρίας Ι, Κουσουρήs Θ, συντονιστές έκδοσης). Τεχνική Έκθεση, ΕΚΘΕ/ΙΕΥ.
- Ζαρφοντζιάν ΜΕ. 1989. Εποχικές διακυμάνσεις και χωρική κατανομή πλαγκτικών ασπονδύλων λίμνης Βόλβης. [Διδακτορική διατριβή]. Θεσσαλονίκη:Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κεχαγιάs Γ. 2006. Υδάτινα οικοσυστήματα. Αγρίνιο: Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.
- Κουσουρήs Θ. 1998. Το νερό στη φύση, στην ανάπτυξη, στην προστασία του περιβάλλοντος. Μονογραφίες Θαλάσσιων Επιστημών. Τόμος 1. Αθήνα:Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών.

- Κουσουρής ΘΣ, Μπερταχάς ΗΘ, Διαπούλης ΑΧ, Πάκος ΒΔ, Γκρίτζαλης ΚΧ. 1993. Λιμνολογικά και υδροβιολογικά χαρακτηριστικά της λίμνης Τριχωνίδας. Στο: Λιμνολογική, ιχθυολογική και αλιευτική διερεύνηση της λίμνης Τριχωνίδας (Νταουλάς Χ, συντονιστής έκδοσης). Τελική Έκθεση (ΤΕΕ/144), Αθήνα: ΕΚΘΕ/ΙΕΥ, 1-37.
- Μιχαλούδη Ε. 1997. Σύνθεση των ειδών, αφθονία και βιομάζα των ζωοπλαγκτικών οργανισμών της Μικρής Πρέσπας [Διδακτορική διατριβή]. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Μπερταχάς Η, Φώτης Γ, Κουσουρής Θ. 1997. Τάσεις ευτροφισμού, πηγές ρύπανσης και ρυπαντικά φορτία στη λίμνη Τριχωνίδα, Δυτική Ελλάδα. Πρακτικά του 5^{ου} Πανελλήνιου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας & Αλιείας 2:329-332.
- Νταουλάς Χ, Οικονόμου Α, Ψαρρά Θ, Μπαρμπιέρι-Τσελίκη Ρ, Αναστασοπούλου Α. 1993. Οικολογική, βιολογική και αλιευτική διερεύνηση των ψαριών του συστήματος της Τριχωνίδας. Στο: Λιμνολογική, ιχθυολογική και αλιευτική διερεύνηση της λίμνης Τριχωνίδας (Νταουλάς Χ, συντονιστής έκδοσης). Τελική Έκθεση (ΤΕΕ/144). Αθήνα:ΕΚΘΕ/ΙΕΥ, 38-157.
- Ντούλκα Ε, Κεχαγιάς Γ, Λεονάρδος Ι. 2007. Πρόσφατα δεδομένα για την διατροφή της αθερίνας, *Atherina boyeri* (Risso, 1810), σε τέσσερις εποχές στη λίμνη Τριχωνίδα. Στο: Πρακτικά από το 13^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιχθυολόγων, 27-30 Σεπτεμβρίου 2007, Μυτιλήνη, Λέσβος. Πανελλήνιος Σύλλογος Ιχθυολόγων Δημοσίου, 181-184.
- Στουμπούδη ΜΘ, Ψαρράς Θ, Μπαρμπιέρη-Τσελίκη Ρ. 1997. Αναπαραγωγικοί κύκλοι της αθερίνας (*Atherina boyeri* Risso, 1810) στη λίμνη Τριχωνίδα. Πρακτικά του 5^{ου} Πανελλήνιου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας & Αλιείας 2:257-260.
- Τίγκιλης Γ. 2007. Μελέτη οικοσυστήματος λίμνης Κουρνά Χανίων με έμφαση στο πλαγκτόν και την ιχθυοπανίδα. [Διδακτορική διατριβή]. Ηράκλειο: Πανεπιστήμιο Κρήτης.

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ Χ. ΝΤΟΥΛΚΑ

edoulka@gmail.com

ΑΝΩΤΑΤΕΣ ΣΠΟΥΔΕΣ

- 1998 - 2003 : Φοίτηση στο τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- 2004 - 2010: Υποψήφια διδάκτορας του τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

ΛΟΙΠΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Αγγλικά: Άριστη γνώση
- Γερμανικά: Μέτρια γνώση
- Άριστη γνώση χειρισμού Η/Υ σε περιβάλλον Windows

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- Kehayias G. & **Doulka E.** (2007). A light trap for sampling *Atherina boyeri* larvae in Lake Trichonis, Greece. *Journal of Freshwater Ecology*, 22 (3), pp. 533-534.
- **Doulka E.** & Kehayias G. (2008). Spatial and temporal distribution of zooplankton in Lake Trichonis (Greece). *Journal of Natural History*, 42 (5–8), pp. 575–595.
- **Doulka E.** & Kehayias G. Seasonal vertical distribution and diel migration of zooplankton in lake Trichonis. *Biologia* (υπό έκδοση).
- **Doulka E.**, Kehayias G., Chalkia E. & Leonardos ID. Feeding ecology of *Atherina boyeri* (Risso 1810) in Lake Trichonis (Greece) (υπό συγγραφή).

ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

- **Ευαγγελία Ντούλκα**, Γεώργιος Κεχαγιάς & Ευαγγελία Μιχαλούδη. «Η ζωοπλαγκτική κοινωνία της λίμνης Τριχωνίδας» 12ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιχθυολόγων, Δράμα, 13-16 Οκτωβρίου 2005.
- **Ευαγγελία Ντούλκα** & Γεώργιος Κεχαγιάς. «Μεταβολή της τροφικής κατάστασης της λίμνης Τριχωνίδας: πρόσφατα φυσικοχημικά δεδομένα». 12ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιχθυολόγων, Δράμα, 13-16 Οκτωβρίου 2005.
- **Ευαγγελία Ντούλκα** & Γεώργιος Κεχαγιάς. «Ημερονύκτια κατακόρυφη μετανάστευση του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα». 28ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών, Ιωάννινα, 18-20 Μαΐου 2006.
- **Evangelia Doulka** & George Kehayias. «Spatial and temporal distribution of zooplankton in Lake Trichonis». 10th International Congress on the Zoogeography and Ecology of Greece and Adjacent Regions, Πάτρα, 20-26 Ιουνίου 2006.
- Γεώργιος Κεχαγιάς & **Ευαγγελία Ντούλκα**. «Η χρήση παγίδων φωτός ως μεθόδου συλλογής ιχθυοπρονυμφών: η περίπτωση της αθερίνας (*Atherina boyeri* Risso, 1880) στη λίμνη Τριχωνίδα». Συνέδριο ΕΟΕ-ΕΖΕ “Οικολογία και Διατήρηση της Βιοποικιλότητας”, Ιωάννινα, 16 - 19 Νοεμβρίου 2006.
- **Ευαγγελία Ντούλκα**, Γεώργιος Κεχαγιάς & Ιωάννης Λεονάρδος. «Πρόσφατα δεδομένα για την διατροφή της αθερίνας, *Atherina boyeri* (Risso 1810), σε τέσσερις εποχές στη λίμνη Τριχωνίδα». 13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιχθυολόγων, Μυτιλήνη, 27-30 Σεπτεμβρίου 2007.
- **Ευαγγελία Ντούλκα** & Γεώργιος Κεχαγιάς. «Εκτίμηση της σημερινής τροφικής κατάστασης της λίμνης Τριχωνίδας - Σύγκριση με παλαιότερα δεδομένα». 9ο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Πάτρα, 13-16 Μαΐου 2009.

ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΕ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

- 1-4-2005 - 31-10-2007: Συμμετοχή σε ερευνητικό πρόγραμμα «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ II» με τίτλο «Μελέτη της οικολογικής σπουδαιότητας της βιοκοινωνίας του ζωοπλαγκτού στη λίμνη Τριχωνίδα». Επιστημονικός υπεύθυνος: Κεχαγιάς Γεώργιος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- 2004 - 2006: Συμμετοχή σε ερευνητικό πρόγραμμα «ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ» με τίτλο «Ανάπτυξη εκπαιδευτικού πακέτου ποιότητας εσωτερικού περιβάλλοντος». Επιστημονικός υπεύθυνος: Σανταμούρης Μάνθος, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.