

Α.Τ.Ε.Ι. ΗΠΕΙΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Πτυχιακή εργασία με τίτλο
**«Η χρήση των φυκιών στην διατροφή των
παραγωγικών ζώων»**

ΚΟΛΙΟΠΑΝΟΣ ΦΟΙΒΟΣ, Βιολόγος ΑΕΜ 13826

Επιβλέπον καθηγητής κ. Σκούφος Ιωάννης

Δεκέμβριος 2015, Άρτα

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή αποτελεί μία βιβλιογραφική επισκόπηση της χρήσης των φυκιών στη διατροφή των παραγωγικών ζώων. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, καθηγητή κ. Σκούφο Ιωάννη, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω τη συγκεκριμένη εργασία. Οι πολύτιμες συμβουλές του, οι εύστοχες παρατηρήσεις του και οι γνώσεις που μου πρόσφερε απλόχερα κατά την προσέγγιση επιστημονικών ζητημάτων ήταν καθοριστικές για την εξέλιξη και ολοκλήρωση αυτής της δουλειάς.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Βάσσο Δημήτριο, για την συμβολή του κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής και την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστώ πολύ τη γυναίκα μου, Κατερίνα Τουλούπη, Βιολόγο, PhD, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη την διάρκεια συγγραφής της παρούσας διατριβής και τις σημαντικές συμβουλές της, που χωρίς αυτές δεν θα είχε πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη διατριβή.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	4
Εισαγωγή.....	6
Γενικά.....	12
Χημική σύσταση φυκιών.....	17
Πρωτεΐνες.....	20
Λιπίδια.....	22
Υδατάνθρακες.....	22
Ανόργανες ουσίες.....	23
Βιταμίνες.....	24
Χρωστικές ουσίες.....	24
Ανεπιθύμητα συστατικά των φυκιών.....	27
Χρήσεις των φυκιών, Γενικά.....	30
Η χρήση των φυκιών στη διατροφή του ανθρώπου.....	35
Η χρήση των φυκιών στη διατροφή των ζώων.....	38
i. Μηρυκαστικά ζώα.....	40
ii. Μονογαστρικά ζώα.....	45
iii. Πτηνά.....	47

iv. Εκτρεφόμενα ψάρια.....	49
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΥΚΙΩΝ.....	52
Μεθοδολογία καλλιέργειας.....	56
Τα φύκη ως διατροφικό προϊόν σε παραγωγικά ζώα.....	58
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	66
Βιβλιογραφία.....	69
Πηγές εικόνων.....	71

Πρόλογος

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί είναι ο πρώτος κρίκος της τροφικής αλυσίδας των οικοσυστημάτων και ο πληθυσμός τους καθορίζει πολλές φορές την φύση και την λειτουργία των οικοσυστημάτων. Τα φύκη είναι τα αρχαιότερα φωτοσυνθετικά όντα στον πλανήτη και αποτελούν σχεδόν τα 2/3 του συνολικού πληθυσμού όλων των αυτότροφων οργανισμών. Για το λόγο αυτό εκπονήθηκε και η συγκεκριμένη πτυχιακή διατριβή καθ ότι η παρουσία των φυκιών στον πλανήτη είναι καθοριστική για την διατήρηση της ζωής όλων των έμβιων όντων και συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου. Και αυτό διότι πέραν του ότι παράγουν με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης σχεδόν τα 2/3 του οξυγόνου στον πλανήτη Γη, αποτελούν την βάση της τροφικής πυραμίδας για πάρα πολλούς οργανισμούς είτε του υδάτινου είτε του χερσαίου ακόμη οικοσυστήματος. Επίσης τα φύκη θα μπορούσαν να αποτελέσουν βασική πηγή διατροφής όχι μόνο των παραγωγικών ζώων αλλά και άλλων οργανισμών, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου.



Εικόνα 1. *Spirulina spp.*

Ένας ακόμη λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θέμα πτυχιακής διατριβής είναι ότι ακόμη, τα φύκη θεωρούνται σχετικά ανεξερεύνητη και ανεκμετάλλευτη πηγή θρεπτικών ουσιών, αναλογικά με τον πληθυσμό τους και τις ιδιότητές τους, σε σχέση με όλα τα άλλα είδη διατροφικών προϊόντων, γεγονός που κινεί το ενδιαφέρον για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος.

Και τέλος, ένας ακόμη λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη πτυχιακή διατριβή είναι η ιδιαίτερη αγάπη που τρέφω για το υδάτινο οικοσύστημα.

Εισαγωγή

Είναι ήδη γνωστό ότι τα φύκια εμφανίστηκαν στη Γη πολύ πριν όχι μόνο από τον άνθρωπο, αλλά και από όλους τους οργανισμούς που γνωρίζουμε σήμερα. Η δημιουργία τους χρονολογείται περίπου 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, και μάλιστα θεωρούνται ως η πρώτη μορφή ζωής (Margulis, 1981). Τα φύκια εξασφαλίζουν την τροφή τους μέσω της φωτοσύνθεσης, δηλαδή την διαδικασία δέσμευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και μετατροπή της σε χημική ενέργεια με την μορφή γλυκόζης, η οποία πραγματοποιείται σε ειδικά οργανίδια της ομάδας των πλαστιδίων που λέγονται χλωροπλάστες, ενώ παράλληλα τα φύκια μέσω της οξειδωσης της παραγόμενης από αυτά γλυκόζης καλύπτουν τις ενεργειακές τους ανάγκες και ταυτόχρονα μπορούν να παράγουν οξυγόνο. Έτσι, ανήκουν σε μια μεγάλη ομάδα απλών αυτότροφων οργανισμών που φωτοσυνθέτουν όπως τα φυτά, στερούνται όμως φύλλων, στελεχών, ανθέων και ριζών (Harlin και Darley, 1988). Ακόμη, τα φύκια μπορεί να είναι μονοκύτταροι (μικροφύκια ή φυτοπλαγκτόν) ή πολυκύτταροι οργανισμοί (μακροφύκια) με μέγεθος 0,2-2,0 μm έως ακόμη και 60 m, αντίστοιχα (Harlin και Darley, 1988). Αναπαράγονται μονογονικά με απλή διαίρεση (διχοτόμηση) και εξαιτίας της απλής δομής τους μεγαλώνουν πιο γρήγορα από οποιοδήποτε άλλο φυτό, διαιρούμενα μάλιστα ακόμη και μία ή δύο φορές την ημέρα, γι' αυτό χαρακτηρίζονται ως τα πιο παραγωγικά φυτά του πλανήτη (Marsall, 2007).

Σύμφωνα με το National Museum of Natural History, Department of Botany (2008) των Η.Π.Α., υπάρχουν περίπου 320.500 είδη φυκιών, αριθμός ο οποίος δεν είναι πλήρως εξακριβωμένος.



Εικόνα 2. Μακροφύκια

Τα τελευταία χρόνια αναφέρεται ότι η ποσότητα καλλιεργούμενων ή αυτοφυών μακροφυκιών που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ανέρχεται σε 7,5-8 εκατομμύρια τόνους ετησίως (McHugh, 2003). Σε ό, τι αφορά τα μικροφύκια που καλλιεργούνται σε βιομηχανική κλίμακα, όπου εφαρμόζονται διάφορες προηγμένες τεχνολογίες που ασχολούνται με τη μαζική παραγωγή φωτοαυτότροφων μικροφυκιών και η ετήσια παγκόσμια παραγωγή τους εκτιμάται σε 10.000 τόνους, περίπου (Becker, 2007).

Εκτεταμένες τοξικολογικές μελέτες σε φύκια, σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. (FDA, 2004), τα κατέταξαν ως προϊόντα GRAS (generally regarded as safe – γενικά θεωρούμενα ως ασφαλή).



Εικόνα 3. Πράσινα φύκια

Τα φύκια στην πλειονότητά τους είναι υδρόβια φυτά που ζουν είτε στα γλυκά νερά, είτε στις θάλασσες. Όμως, σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορούν να βρεθούν σε πάγο ή χιόνι, ενώ άλλα μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ζουν σε θερμές πηγές (Harlin και Darley, 1988). Ο Dixon (1973) αναφέρει ότι για πρώτη φορά ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το χρωματισμό τους σε 4 κατηγορίες από τον W.H. Harvey (1811-1866). Όμως, επιστήμονες που ασχολούνται με τη Φυκολογία, όπως λέγεται η επιστήμη που μελετά τα φύκια, αναφέρουν ότι για τη σωστή τους ταξινόμηση χρειάζεται ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών, όπως χρωστικές, μαστίγια και θρεπτικές ουσίες (Bold και Wynne, 1985).

Στον πίνακα 1 αναφέρεται αυτή η ταξινόμηση των σημαντικότερων ειδών φυκιών.

Πίνακας 1. Ταξινόμηση των κυριότερων ειδών φυκιών

Διάκριση φυκιών (ομάδες)	Χρωστικές	Θρεπτικές ουσίες που σχηματίζονται (μετά από φωτοσύνθεση)	Χημική σύσταση κυτταρικού τοιχώματος	Υπαρξη ή όχι μαστιγίου
Chlorophyta (πράσινα φύκια)	Χλωροφύλλη a, b, καροτενοειδή	Άμυλο	Σελλουλόζη και άλλα πολυμερή	2, 4 ή περισσότερα
Phaeophyta (καφέ φύκια)	Χλωροφύλλη a, c, β-καροτένιο φουκοξανθίνη	Λαμιναρίνη, μαννιτόλη	Σελλουλόζη, αλγινικό οξύ	Συνήθως 2
Chrysophyta (χρυσά και κιτρινοπράσινα φύκια)	Χλωροφύλλη a, c, αρκετά καροτενοειδή και ξανθοφύλλες, συμπεριλαμβανόμενης της φουκοξανθίνης	Λαμιναρίνη	Σελλουλόζη, silica, CaCO ₃ , χυτίνη ή και απουσία αυτών	1-3 ανόμοια ή όμοια
Pyrrhophyta (δινομαστιγωτά)	Χλωροφύλλη a, c, β-καροτένιο και αρκετές ξανθοφύλλες	Άμυλο	±Σελλουλόζη	2 ανόμοια
Rhodophyta (κόκκινα φύκια)	Χλωροφύλλη a (±d), φυκοχολο-χρωστικές	Άμυλο	Σελλουλόζη, ξυλάνες, θειούχες γαλακτάνες	Λείπει
Cyanophyta (γαλαζοπράσινα φύκια)	Χλωροφύλλη a Φυκοχολο-χρωστικές καροτενοειδή	Κόκκοι που μοιάζουν με γλυκογόνο	Διάφορα αμινοξέα	Λείπει



Εικόνα 4. Φύκια του γλυκού νερού

Από τις παραπάνω ομάδες φυκιών, τα πράσινα φύκια (Chlorophyta) είναι κυρίως φύκια του γλυκού νερού (Mattox και Stewart, 1984), ενώ τα καφέ φύκια (Phaeophyta) και τα κόκκινα φύκια (Rhodophyta) βρίσκονται κυρίως στις θάλασσες (Tseng, 1981). Οι τρεις παραπάνω ομάδες φυκιών αποτελούν τα μακροφύκια (Harlin και Darley, 1988). Σε ό, τι αφορά τα Pyrrhophyta, θεωρούνται τα αρχέγονα φύκια που ζουν είτε στα γλυκά νερά, είτε στις θάλασσες και είναι μικροφύκια γνωστά κυρίως για την τοξικότητά τους, τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα, με αρνητικά συμπτώματα στο νευρικό σύστημα, όπως αναφέρουν οι Steindinger και Vargo (1988).



Εικόνα 5. Θαλάσσια πράσινα φύκια

Στα μικροφύκια ανήκουν και τα γαλαζοπράσινα φύκια ή κυανοβακτήρια, που είναι η απλούστερη μορφή φυκιών, μοιάζουν με τα βακτήρια και γι' αυτό θεωρούνται ενδιάμεσο είδος μεταξύ βακτηρίων και φυτών (Bold και Wynne, 1985).

Γενικά

Μια μικτή καλλιέργεια φυκιών από *Chlorella* και *Scenedesmus* που αναπτύσσονται σε ρηχές δεξαμενές πολυαιθυλενίου, μήκους 3,5m, πλάτους 1,8m, και βάθους 10-20 cm, παράγουν ημερησίως 95t υπερκείμενου καλλιέργειας ή 247 kg ξηρής μάζας/ εκτάριο. Το εκτιμώμενο κόστος είναι 1,25 \$/t.



Εικόνα 6. Καλλιέργεια φυκιών

Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εύρεση και η χρήση γης για την παραγωγή τροφής είναι, και θα είναι, στόχος υψίστης προτεραιότητας, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Για αυτό το λόγο, υπάρχει η ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές πηγές τροφίμων φιλικές προς το περιβάλλον, αποτελεσματικές ως προς την ανάπτυξη (ηλιακή ενέργεια, γη, νερό) και με το μικρότερο κόστος.

Η ιδέα της χρήσης φυκιών ως διατροφικό προϊόν σε παραγωγικά ζώα είναι μοναδική από την άποψη ότι για την παραγωγή των φυκιών απαιτείται κυρίως ηλιακή ενέργεια και υψηλές θερμοκρασίες. Πέραν των πολλαπλών χρήσεών τους, αποτελούν μια πηγή ενέργειας που είναι αποδεκτή οικολογικά, κοινωνικά, οικονομικά και ηθικά.

Τα φύκη που είναι αυτότροφοι οργανισμοί έχουν υψηλό δείκτη ανάπτυξης. Για μεγάλα χρονικά διαστήματα αποτελούσαν σημαντικό διατροφικό προϊόν για τον άνθρωπο. Η καλλιέργεια τους απαιτεί διαφορετικές συνθήκες από ότι άλλοι οργανισμοί. Με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης δεσμεύουν το CO₂ και αποβάλλουν O₂. Σε οργανίδια του φύλλου τους, στα θυλακοειδή των χλωροπλαστών, δεσμεύουν την ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπουν σε χημική ενέργεια, γλυκόζη, αξιοποιήσιμη από τα ίδια τα φυτά.

Μεταξύ των διαφόρων ειδών φυκιών, τα είδη *Chlorella* και *Scenedesmus*, είναι αυτά που έχουν μελετηθεί εκτενέστερα και η βιολογία τους έχει κατανοηθεί σε μεγάλο βαθμό.

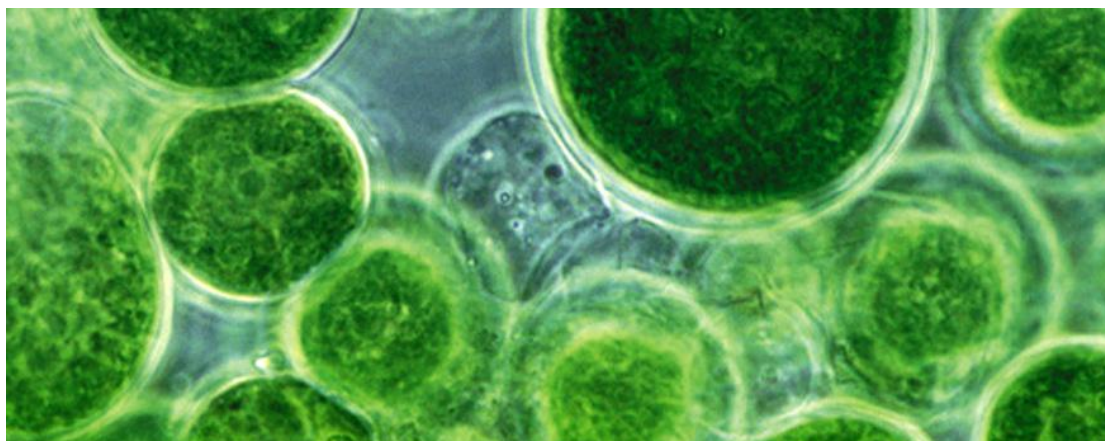


Εικόνα 7. Διάφορα είδη φυκιών

Η *Chlorella* είναι πολύ ανθεκτική στις περιβαλλοντικές αλλαγές, καθώς και στις επιθέσεις από άλλους οργανισμούς. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων, είναι κατανεμημένη σε ευρεία κλίμακα ανά τον πλανήτη γη, όπου φυσικά επιτρέπεται η ανάπτυξη των πράσινων φυτών. Παρότι τα είδη των φυκιών είναι πάρα πολλά, λίγα μόνο επιλέχθησαν για μαζικής κλίμακας καλλιέργεια, όπως τα χλωρόφυτα *Chlorella sp.*, *Scenedesmus obliquus* και τα κυανοβακτήρια *Spirulina sp.* και *Arthrospira sp.*

Η *Chlorella* είναι ένα μονοκύτταρο, σφαιρικό και ευκαρυωτικό φύκος με διάμετρο 5-10 μ m. Το πράσινο φύκος *Scenedesmus* έχει τις ίδιες διαστάσεις, αλλά δεν είναι μονοκύτταρο και αποτελείται από 4 κυτταρικές αποικίες. Η *Spirulina* και η *Arthrospira* είναι φωτοσυνθετικοί, πολυκύτταροι οργανισμοί, με νηματοειδές και ελικοειδές σχήμα, μεγέθους της τάξεως 0,5mm.

Κατατάσσονται στα πράσινα- μπλε φύκη και λόγω της προκαρυωτικής δομής ανήκουν στα κυανοβακτήρια.



Εικόνα 8. Μονοκύτταρο φύκος *Spirulina maxima*

Η θρεπτική αξία των φυκιών εξαρτάται από το μέγεθός τους, την πεπτικότητα τους, την παραγωγή τοξικών ουσιών και τη χημική τους σύσταση (Becker, 1994). Αν και μεταξύ όλων των φυκιών υπάρχουν διαφορές στη σύσταση, παρ' όλα αυτά αποτελούν αξιόλογη πηγή πρωτεϊνών, με περιεκτικότητα που κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, 10-15% στα μακροφύκια (Oliveira et al., 2009) και 28-71% στα μικροφύκια (Becker, 1994). Εξάλλου, ο Becker (2007) αναφέρει ότι η περιεκτικότητα των πρωτεϊνών των φυκιών σε ορισμένα αμινοξέα (λυσίνη, μεθειονίνη, τρυπτοφάνη, θρεονίνη, βαλίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη) είναι συγκρίσιμη με εκείνη του αυγού ή των σπερμάτων σόγιας. Η πεπτικότητα των πρωτεϊνών διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος των φυκιών, την εποχή του έτους και την παρουσία φαινολών ή και πολυσακχαριτών, καθώς και από τα πεπτικά ένζυμα που διαθέτουν οι ζωικοί

οργανισμοί για τη διάσπασή τους (Goñi et al., 2002). Επιπρόσθετα, σε θαλάσσια φύκια παρατηρήθηκε ότι η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες ήταν υψηλότερη στο τέλος των χειμερινών μηνών και χαμηλότερη κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Fleurence, 1999). Οι Spoehr και Milner (1949) ήταν από τους πρώτους που δημοσίευσαν πληροφορίες για την επίδραση του περιβάλλοντος στη χημική σύσταση των φυκιών.

Ήδη από τις αρχές του 1950, εντατικοποιήθηκαν οι προσπάθειες για την εύρεση νέων εναλλακτικών πηγών πρωτεϊνών, ως συμπλήρωμα διατροφής. Η παραγόμενη πρωτεΐνη από την βιομάζα διαφορετικών μικροβιακών πηγών, όπως βακτήρια και μικροφύκη, πήρε το όνομα SCP, πρωτεΐνη από μονοκύτταρους οργανισμούς.



Εικόνα 9. *Spirulina spp.*

Στην περίπτωση των φυκιών για τεχνικούς, αλλά και οικονομικούς λόγους, δεν επιδιώχθηκε η απομόνωση και χρήση μόνο των πρωτεϊνών αλλά

όλης της βιομάζας των φυκιών. Γι αυτό και ο όρος SCP, δεν είναι απόλυτα σωστός καθ' ότι τα μικροφύκη δεν είναι μόνο πρωτεΐνες. Τα μικροφύκη έχουν μία ασυνήθιστη θρεπτική αξία και ποιότητα συγκρινόμενα με τα συμβατικά φυτά που χρησιμοποιούνται στα σιτηρέσια, είτε σε επίπεδο πρωτεϊνών, είτε άλλων συστατικών όπως πεπτιδίων, υδατανθράκων, λιπιδίων, βιταμινών, χρωστικών και ιχνοστοιχείων. (Becker, 2007)

Χημική σύσταση φυκιών

α. Θρεπτικά συστατικά φυκιών (πρωτεΐνες, αμινοξέα, λιπαρές ουσίες, υδατάνθρακες, κυτταρίνες, ανόργανες ουσίες, βιταμίνες, χρωστικές)

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια να βρεθούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας για τις ανάγκες της ζωικής παραγωγής, που να είναι φιλικές ως προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα να είναι αποτελεσματικές στην ανάπτυξη των ζώων.

Τα φύκη είναι αυτότροφοι οργανισμοί που χρησιμοποιούνται στην διατροφή του ανθρώπου και των ζώων. Είναι πλούσια σε πρωτεΐνες (50-60%), σε λιπίδια (2-22%), σε βιταμίνες και ιχνοστοιχεία. Τα αμινοξέα τους είναι συμβατά και κοινά με αυτά που περιέχονται στα αυγά. Εκτός αυτών τα φύκη απελευθερώνουν απλά σάκχαρα, πολυσακχαρίτες, αλκοόλες, γλυκολυτικά οξέα, αρωματικές ουσίες με άγνωστη ακόμη θρεπτική και

οικολογική αξία. Η βιολογική αξία των πρωτεϊνών αυτών είναι μικρότερη από της καζεΐνης.

Από άλλες διάφορες πηγές ενέργειας, τα φύκη εμφανίζουν να έχουν ένα πολύ υψηλό δυναμικό ως εναλλακτική πηγή διατροφής, ιδιαίτερα στα ψάρια (βλ. Πίνακα 2).

Πίνακας 2. Χημική σύσταση (% της ξηρής βιομάζας) των επιλεγμένων φυκιών

Algae	Πρωτεΐνη	Λιπίδια	Υδατάνθρακες	Ιχνοστοιχεία
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	14-22	12-17	5-10
<i>Chlorella pyrenoidsa</i>	57	2	26	5-10
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	12-14	10-17	-
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	47	2	-	-
<i>Spirulina platensis</i>	46-50	4-9	8-14	-
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	6-7	13-16	-

Εκτός από το υψηλό ποσοστό πρωτεϊνών (50-60%), λιπιδίων (2-22%) και υδατανθράκων (8-26%), περιέχουν επίσης αρκετά σημαντικό ποσοστό βιταμινών και μετάλλων (βλ. Πίνακα 3).

Οι πρωτεΐνες της *Chlorella vulgaris* περιέχουν τα περισσότερα από τα απαραίτητα αμινοξέα, αυτά δηλαδή που οι οργανισμοί δεν μπορούν να συνθέσουν από μόνοι τους και θα πρέπει να τα παραλάβουν μέσω της τροφής τους (βλ. Πίνακα 4).

Πίνακας 3. Σημαντικά μέταλλα και βιταμίνες στην *Chlorella*

Ιχνοστοιχεία/Βιταμίνες	Περιεκτικότητα σε Ξ.Ο (g.kg⁻¹)
Calcium	1.7 to 2.0
Phosphorus	15.0 to 21
Iron	1.7 to 2.0
Vitamin A	0.44 to 0.65
Vitamin B ₁	0.001 to 0.018
Vitamin B ₂	0.03 to 0.05
Vitamin C	0.20 to 0.35

Πίνακας 4. Σύσταση σε αμινοξέα (g αμινοξέων ανά 100 g πρωτεΐνης) της *Chlorella vulgaris* και αυγών ορνίθων

Αμινοξέα	<i>Chlorella vulgaris</i>	Αυγό
Alanine	7.8	-
Arginine	7.9	5.7
Cystine	0.27	10.5
Aspartic acid	9.70	2.3
Glutamic acid	13.1	12.6
Isoleucine	5.1	3.0
Leucine	2.0	8.8
Lysine	5.2	7.0
Methionine	9.1	9.2
Phenylalanine	8.4	7.4
Proline	2.4	3.0
Serine	5.2	5.1
Threonine	6.0	5.0
Tryptophane	4.0	8.4
Tyrosine	3.9	4.1
Valine	2.4	1.1
Glycine	5.8	4.2
Histidine	7.8	2.4

Πρωτεΐνες

Στην βιβλιογραφία το μεγαλύτερο ποσοστό των πρωτεϊνών που προέρχονται από φύκη, ανήκουν κυρίως στα ένζυμα, και αναφέρονται ως ακατέργαστες πρωτεΐνες. Αυτό απορρέει από την υδρόλυση της βιομάζας των φυκιών και την εκτίμηση του ολικού αζώτου. Σύμφωνα με έρευνες η περιεκτικότητα σε μη πρωτεϊνικές αζωτούχες ενώσεις στα είδη φυκιών που καλλιεργούνται μαζικά για τροφή των ζώων κυμαίνονται από 6%-12%. Οι πρωτεΐνες συντίθενται από διαφορετικά αμινοξέα και η θρεπτική τους αξία καθορίζεται από την αναλογία, σύνθεση και διαθεσιμότητα των αμινοξέων. Συγκριτικά με άλλα τρόφιμα που φημίζονται παγκοσμίως για την περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες και απαραίτητα αμινοξέα, τα φύκη δεν υστερούν καθόλου και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις υπερτερούν έναντι άλλων πρωτεϊνούχων τροφών, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.

Η πιο εγκεκριμένη μέθοδος για την εκτίμηση της ποιότητας των πρωτεϊνών είναι ο καθορισμός της αναλογικής απόδοσης των πρωτεϊνών (PER), που μετριέται με το κερδισμένο βάρος προς την μονάδα πρωτεϊνών που καταναλώθηκε δοκιμαστικά, από μια ομάδα ζώων για σύντομο χρονικό διάστημα. Υπάρχουν, βέβαια, και άλλες μέθοδοι που εκτιμούν την θρεπτική αξία των πρωτεϊνών μέσω προσδιορισμού του αζώτου σε αυτές. Μια από αυτές είναι η μέτρηση της βιολογικής αξίας (BV) των πρωτεϊνών, όπου υπολογίζεται η ικανότητα απορρόφησης του αζώτου σε αναλογία με την ανάπτυξη του ζώου. Άλλη σημαντική παράμετρος που αφορά την ποιότητα των πρωτεϊνών είναι η πεπτική ικανότητα (DC). Τέλος, το καθαρό ποσοστό χρησιμοποιούμενης πρωτεΐνης, που υπολογίζεται από $BV \times DC$, είναι ακόμη

ένας δείκτης της ποιότητας των πρωτεϊνών που περιέχονται στα φύκια.
(Becker, 2007).

Πίνακας 5. Προφίλ αμινοξέων σε διαφορετικά φύκια, σε σύγκριση με συμβατικές πηγές πρωτεϊνών και το μοτίβο αναφοράς του WHO/FAO

ΠΗΓΗ	Ile	Leu	Val	Lys	Phe		Tyr	Met		Cys
WHO/FAO	4.0	7.0	5.0	5.5		6.0			3.5	
ΑΒΓΟ	6.6	8.8	7.2	5.3	5.8		4.2	3.2		2.3
ΣΟΓΙΑ	5.3	7.7	5.3	6.4	5.0		3.7	1.3		1.9
<i>Chlorella vulgaris</i>	3.8	8.8	5.5	8.4	5.0		3.4	2.2		1.4
<i>Dunaliella bardawil</i>	4.2	11.0	5.8	7.0	5.8		3.7	2.3		1.2
<i>Scenedesmus obliquus</i>	3.6	7.3	6.0	5.6	4.8		3.2	1.5		0.6
<i>Arthrospira maxima</i>	6.0	8.0	6.5	4.6	4.9		3.9	1.4		0.4
<i>Spirulina platensis</i>	6.7	9.8	7.1	4.8	5.3		5.3	2.5		0.9
<i>Aphanizomenon sp.</i>	2.9	5.2	3.2	3.5	2.5		-	0.7		0.2
ΠΗΓΗ	Try	Thr	Ala	Arg	Asp	Glu	Gly	His	Pro	Ser
WHO/FAO	1.0									
ΑΒΓΟ	1.7	5.0	-	6.2	11.0	12.6	4.2	2.4	4.2	6.9
ΣΟΓΙΑ	1.4	4.0	5.0	7.4	1.3	19.0	4.5	2.6	5.3	5.8
<i>Chlorella vulgaris</i>	2.1	4.8	7.9	6.4	9.0	11.6	5.8	2.0	4.8	4.1
<i>Dunaliella bardawil</i>	0.7	5.4	7.3	7.3	10.4	12.7	5.5	1.8	3.3	4.6
<i>Scenedesmus obliquus</i>	0.3	5.1	9.0	7.1	8.4	10.7	7.1	2.1	3.9	3.8
<i>Arthrospira maxima</i>	1.4	4.6	6.8	6.5	8.6	12.6	4.8	1.8	3.9	4.2
<i>Spirulina platensis</i>	0.3	6.2	9.5	7.3	11.8	10.3	5.7	2.2	4.2	5.1
<i>Aphanizomenon sp.</i>	0.7	3.3	4.7	3.8	4.7	7.8	2.9	0.9	2.9	2.9

Λιπίδια

Οι λιπαρές ουσίες στα φύκια κυμαίνονται από 1-40% (Borowitzka, 1988). Τα λιπαρά οξέα μπορεί να είναι κορεσμένα ή ακόρεστα και μάλιστα κάποια κυανοβακτήρια τείνουν να περιέχουν μεγάλα ποσά ακόρεστων λιπαρών οξέων (25-60%) στο σύνολο των ολικών λιπαρών ουσιών τους (Becker, 1994). Ειδικότερα, φύκια του είδους *Spirulina* περιέχουν λινολενικό οξύ σε περιεκτικότητα 20-30% (Hudson και Karis, 1974), ενώ τα κόκκινα φύκια *Porphyridium cruentum* είναι μία από τις πλουσιότερες πηγές αραχιδονικού οξέος – 36% των ολικών λιπαρών ουσιών σε θερμοκρασία 25°C, ενώ στους 16°C αυξάνεται σε ποσοστό 60% (Borowitzka, 1988). Πολλά είδη φυκιών μπορούν και παράγουν έλαια παρόμοιας δομής με εκείνα φυτικών ειδών, π.χ. σόγιας, τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε υψηλής ποιότητας εμπορικά προϊόντα, όπως και σε βιοκαύσιμα (Becker, 1994).

Υδατάνθρακες

Σε ό, τι αφορά την περιεκτικότητα των φυκιών σε υδατάνθρακες, βρέθηκε να είναι περίπου 60% (Jensen, 1993; Oliveira et al., 2009). Το κυτταρικό τοίχωμα των φυκιών που αποτελεί το 10% της ξηρής μάζας των φυκιών, αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στον βαθμό πεπτικότητας και απορροφητικότητας της βιομάζας των φυκιών, καθότι δεν μπορεί να αποικοδομηθεί από το πεπτικό σύστημα των ανθρώπων και άλλων μη μηρυκαστικών ζώων, αφού σε αυτά δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα πεπτικά

ένζυμα που θα μπορούσαν να διασπάσουν το κυτταρικό τοίχωμα των φυκιών που είναι πλούσιο σε κυτταρίνη.

Οι υδατάνθρακες αυτοί παρότι δεν πέπτονται στον πεπτικό σωλήνα του ανθρώπου, η κατανάλωσή τους σχετίζεται με ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία του ανθρώπου, π.χ. μείωση κινδύνου εμφάνισης καρκίνου του παχέος εντέρου (Gudiel-Urbano και Goñi, 2002). Εν τούτοις, τα διάφορα είδη φυκιών αποτελούν πολύ καλές πηγές κυτταρινών με περιεχόμενο να κυμαίνεται από 35-50 g/100 g ξηρής ουσίας (Lahaye, 1991). Γενικά, η περιεκτικότητα των φυκιών σε κυτταρίνες είναι υψηλότερη σε σχέση με εκείνες των περισσότερων φρούτων και λαχανικών (Oliveira et al., 2009).

Ανόργανες ουσίες

Το περιεχόμενο των φυκιών σε ανόργανη ουσία αναφέρεται από τους Oliveira et al. (2009) αρκετά υψηλό (13-25%) σε σχέση με άλλους φυτικούς οργανισμούς (5-10% - USDA, 2001). Πράγματι, ο Rupérez (2002) αναφέρει ότι τα φύκια είναι γενικά πλούσια σε ανόργανες ουσίες που χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητά τους τόσο σε μακροστοιχεία (**Na, K, Ca, Mg**), όσο και σε ιχνοστοιχεία (**Fe, Zn, Mn, Cu**) είναι υψηλή, 8,083-17,875 mg/100 g φυκιών και 5,1-15,2 mg/100g φυκιών, αντίστοιχα. Επιπλέον, τα φύκια περιέχουν αξιόλογη ποσότητα **I** (0,1-1,1%), όπως αναφέρουν οι Indegaard και Minsaas (1991).

Βιταμίνες

Επιπρόσθετα, τα διάφορα είδη φυκιών αποτελούν αξιόλογη πηγή όλων σχεδόν των σημαντικών βιταμινών, όπως τοκοφερόλες, ασκορβικό οξύ, B₁, B₂, B₆, B₁₂, νικοτινικό οξύ, προβιταμίνη Α κ.λπ., με αποτέλεσμα να βελτιώνεται ακόμη περισσότερο η θρεπτική αξία τους (Simoons, 1991). Μάλιστα, 1 g *Spirulina* βρέθηκε να περιέχει ποσότητα βιταμίνης B₁₂ ίση με 0,5-2,0 μg, γεγονός παράδοξο για φυτικής προέλευσης προϊόν, δείχνει όμως ότι υπάρχει φυλογενετική σύνδεση του φυκιού αυτού με τα βακτήρια τα οποία μπορούν και συνθέτουν τη βιταμίνη B₁₂ (Becker, 1994).

Χρωστικές ουσίες

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι τα διάφορα είδη φυκιών περιέχουν χρωστικές ουσίες και μάλιστα τα φύκια είναι από τις πλουσιότερες πηγές μεταξύ όλων των φυτικών ειδών, τόσο σε χλωροφύλλη (0,5-1,5% της ξηρής ουσίας), όσο και σε καροτενοειδή (0,1-2% της ξηρής ουσίας), όπως αναφέρεται από τον Becker (1994).

Ακόμη, στα φύκια υπάρχουν και κάποιες σκουρόχρωμες, υδατοδιαλυτές χρωστικές πρωτεϊνικής φύσης, οι φυκοχολοπρωτεΐνες, που συνεισφέρουν ιδιαίτερα στην απορρόφηση του φωτός από τα φύκια (Becker, 1994).

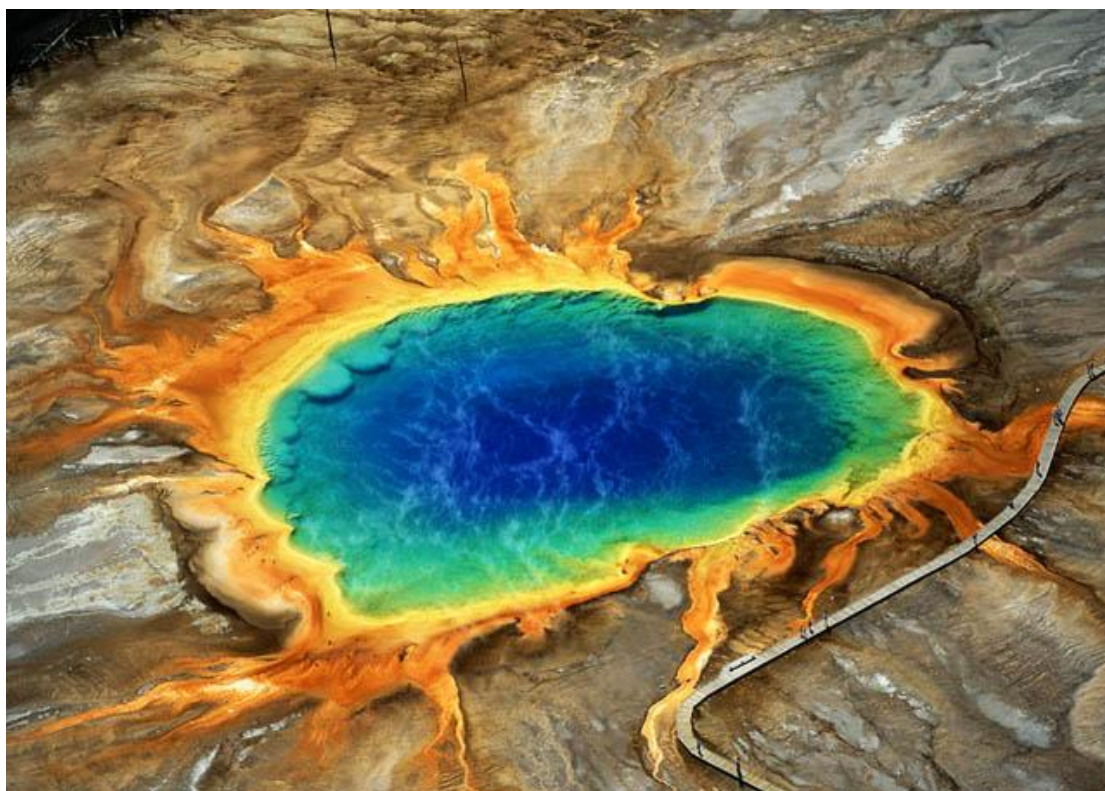


Εικόνα 10. Κόκκινα φύκια



Εικόνα 11. Λόγω διαφορετικών χρωστικών, τα φύκια εμφανίζουν ποικίλα χρώματα

Άλλες χρωστικές όπως η Ασταξανθίνη από το μικροφύκος *Haematococcus*, προσδίδει ένα ροζ-κόκκινο χρώμα στο κρέας των σολομών και των γαρίδων. Επειδή όμως οι οργανισμοί αυτοί δεν μπορούν να παράξουν *de novo*, ασταξανθίνη, θα πρέπει να χορηγούνται τέτοιου είδους χρωστικές στο διαιτολόγιό τους (R.Todd Lorenz, 2000).

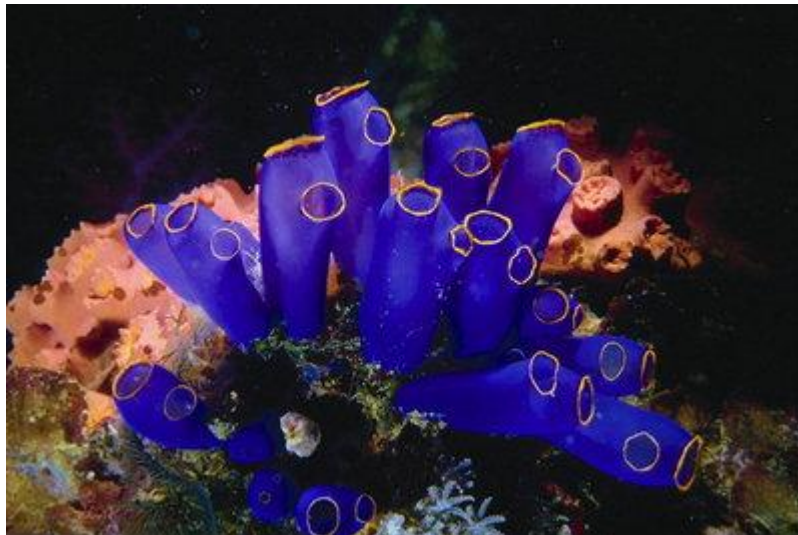


Εικόνα 12. Ο υπερπληθυσμός φυκιών σε λίμνες προσδίδει ιδιαίτερα χρώματα στο νερό

Επιπλέον, σε ορισμένα είδη φυκιών, π.χ. *Botryococcus branhii*, υπάρχουν υδρογονάνθρακες, μίγμα μονοενίων, διενίων και τριενίων, το οποίο μίγμα μπορεί να διασπαστεί σε προϊόντα απόσταξης, όπως το πετρέλαιο (Jassby, 1988; Becker, 1994).

β. Ανεπιθύμητα συστατικά των φυκιών

Στα φύκια μπορεί να βρεθούν διάφορες ουσίες με τοξική δράση ή με αντιδιατροφικές ιδιότητες. Στους τοξικούς παράγοντες για τους ζωικούς οργανισμούς συγκαταλέγονται οι λεκτίνες (Vasconcelos και Oliveira, 2004), οι οποίες συγκολλούν τα ερυθρά αιμοσφαίρια (Oliveira et al., 2009). Στους αντιδιατροφικούς παράγοντες κατατάσσονται εκείνοι που παρεμποδίζουν τη δράση των ενζύμων θρυψίνης και α-αμυλάσης, καθώς επίσης οι ταννίνες και το φυτικό οξύ (Rehman και Shah, 2004).



Εικόνα 13. Πολλά φύκη είναι ιδιαίτερα τοξικά, ακόμα και για τους υδρόβιους οργανισμούς

Ακόμη, η περιεκτικότητα των φυκιών σε νουκλεϊκά οξέα κυμαίνεται από 4-6%. Οι πουρίνες, που προέρχονται από τα νουκλεϊκά οξέα RNA και DNA, μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση του ουρικού οξέος στο πλάσμα του αίματος, με επιπτώσεις τελικά στην υγεία του ανθρώπου και λιγότερο στην υγεία των ζώων (Becker, 1994). Σε ό, τι αφορά τα βαριά μέταλλα, στα

διάφορα είδη φυκιών ανιχνεύθηκαν κάποια που θεωρούνται τοξικά, όπως κάδμιο, χρώμιο, νικέλιο και βανάδιο, σε υψηλές σχετικά τιμές (Oliveira et al., 2009).



Εικόνα 14. *Spirulina spp.*

Για να διατεθεί ένα νέο εδώδιμο προϊόν προς ανθρώπινη και όχι μόνο, κατανάλωση θα πρέπει να ελεγχθεί μέσα από μια σειρά τοξικολογικών δοκιμασιών, για να αποδειχθεί ότι είναι ασφαλές για κατανάλωση.

Έπειτα από διαφορετικά τεστ που έχουν υποβληθεί τα φύκη που προορίζονται ως διατροφικό προϊόν, για κανένα από αυτά δεν έχει βρεθεί ίχνος αρνητικών επιπτώσεων. Καμία αρνητική συνέπεια δεν παρουσιάστηκε από την χορήγηση φυκιών στο σιτηρέσιο παραγωγικών ζώων, είτε όταν αυτά χορηγήθηκαν για σύντομο, είτε για μακροχρόνιο διάστημα. Δεν βρέθηκαν αρνητικά αποτελέσματα σε έρευνες που επακολούθησαν για οξείες ή χρόνιες

τοξινώσεις. Όλες οι έρευνες που είχαν ως στόχο την επισήμανση της ασφάλειας των φυκιών ως διατροφικό προϊόν, είτε στον άνθρωπο, είτε στα ζώα, απέδειξαν την ικανότητα των φυκιών να διατίθεται με ασφάλεια όσον αφορά την υγιεινή και προστασία των καταναλωτών.

Συμπερασματικά, η βιομάζα φυκιών, ανεξαρτήτου είδους, αποτελεί μια αξιόπιστη πηγή ποιοτικών πρωτεϊνών και μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις υπερέχουν των φυτικών πρωτεϊνών από τα μέχρι τώρα συνηθισμένα φυτά που χρησιμοποιούνται στην ζωική παραγωγή (Becker, 2007).

Χρήσεις των φυκιών

α. Γενικά

Ο άνθρωπος εξαρχής δεν κατανόησε τη μεγάλη σπουδαιότητα των φυκιών στη βιόσφαιρα. Συγκεκριμένα, τα φύκια με τη φωτοσύνθεση μπορούν και συγκρατούν το CO₂ της ατμόσφαιρας, που προέρχεται κυρίως από τις βιομηχανίες και προκαλεί περιβαλλοντολογική μόλυνση, οπότε τα φύκια έτσι συμβάλλουν στη μείωση της μόλυνσης του πλανήτη. Μέχρι σήμερα, ακόμη δεν πιστεύουμε ότι τα παραγόμενα φύκια βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά καθημερινά μας προϊόντα: από την οδοντόκρεμα μέχρι το παγωτό (Harlin και Darley, 1988). Τα φύκια, και κυρίως τα μικροφύκια, φαίνεται να αποτελούν μια νέα πηγή πρωτεϊνών με ποιότητα ίδια ή και ανώτερη σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες των συμβατικών φυτών (Becker, 2007). Εξάλλου, σύμφωνα με τον Fleurence (1999), τα μακροφύκια αποτελούν σημαντική πηγή ανόργανων ουσιών και παράλληλα περιέχουν πολυσακχαρίτες με «λειτουργικές ιδιότητες», οπότε θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή νέων τροφίμων κατάλληλων για τον άνθρωπο – κυρίως σε προϊόντα υγιεινής διατροφής.

Επιπρόσθετα, ο Nonomura (1988) αναφέρει ότι οι κυτταρίνες των πράσινων φυκιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χαρτιού ως μια εναλλακτική φθηνή λύση για χώρες με μεγάλη ακτογραμμή και περιορισμένο αριθμό δασών. Επιπλέον, τα λιπαρά οξέα των μικροφυκιών και κυρίως τα πολύτιμα για τους ζωικούς οργανισμούς ω-3 λιπαρά οξέα, εκτός της χρησιμοποίησής τους στη διατροφή των ζώων, παράγουν βιοκαύσιμα φθηνά και φιλικά στο περιβάλλον. Πράγματι, το παραγόμενο από φύκια

βιοντήζελ δίνει καλύτερη καύση και παράγει λιγότερο CO₂ απ' ότι εκείνο του πετρελαίου. Ακόμη, τα φύκια, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ελαιούχα σπέρματα, παράγουν πέντε φορές περισσότερη βιομάζα ανά εκτάριο και περιέχουν 30-40% έλαιο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (Becker, 1994).



Εικόνα 15. *Spirulina spp.*

Τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται σε όλα τα στάδια ανάπτυξης των μαλακίων, των προνυμφικών μορφών των καρκινοειδών, διαφόρων ψαριών και του ζωοπλαγκτόν που χρησιμοποιείται στην τροφική θαλάσσια αλυσίδα. Στην Αυστραλία μελετήθηκαν πάνω από 40 διαφορετικά είδη μικροφυκιών από 7 διαφορετικές τάξεις, όσον αφορά στα βιοχημικά χαρακτηριστικά τους. Τα ποσοστά πρωτεϊνών κυμαίνονταν από 6-52 %, οι υδατάνθρακες από 5-23% και τα λιπίδια από 7-23%.

Όλα τα είδη είχαν την ίδια σύσταση αμινοξέων και μάλιστα ήταν και πλούσια στα λεγόμενα απαραίτητα αμινοξέα. Οι πολυσακχαρίτες των μικροφυκιών είχαν ποικιλία στην σύνθεσή τους από μονοσακχαρίτες, αλλά τα περισσότερα είχαν υψηλά ποσοστά γλυκόζης (21-87%).

Η βιοχημική σύσταση των μικροφυκιών ποικίλει αρκετά, ακόμη και όταν αναπτύσσονται κάτω από ίδιες συνθήκες. Η σύσταση των λιπαρών διαφέρει μεταξύ των ειδών, όμως αυτό δεν αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα της θρεπτικής αξίας τους. Η πρωτεϊνική ποιότητα όλων των φυκιών είναι πολύ υψηλή. Η σύσταση των υδατανθράκων διαφοροποιείται και αυτό μπορεί να επηρεάσει την θρεπτική αξία. Τα απαραίτητα PUFAs 20:5 (n-3) και 22:6 (n-3) είναι πολύ σημαντικά οξέα για την θρέψη των ζώων και στα περισσότερα φύκη περιέχονται και τα δύο και μάλιστα σε υψηλό ποσοστό. Τα *Chlorophytes*, όμως, στερούνται των δύο αυτών οξέων και αυτό επηρεάζει την χαμηλή θρεπτική τους αξία. Τα μικροφύκη είναι πλούσια σε δύο πολύ σημαντικές βιταμίνες, το ασκορβικό οξύ και τη ριβοφλαβίνη, όμως μερικά είδη στερούνται ειδικών βιταμινών. Για τον λόγο ότι τα μικροφύκη μπορεί να στερούνται ενός ή περισσότερων θρεπτικών συστατικών, ο συνδυασμός

διαφορετικών ειδών στη διατροφή, ιδιαίτερα των υδατοκαλλιεργειών επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα.

Η βιοχημική σύσταση των μικροφυκιών μπορεί εύκολα και γρήγορα να μεταβληθεί, αλλάζοντας τις συνθήκες ανάπτυξης, όμως τα αποτελέσματα ποικίλουν από είδος σε είδος. Τα μικροφύκη αποτελούν σημαντική τροφή για το ζωοπλαγκτόν, με την έννοια ότι μέσω των τροφικών αλυσίδων μεταφέρονται έτσι θρεπτικά υψηλής αξίας σε ανώτερους καταναλωτές όπως τα ψάρια, (M.R.Brown, 1997).

Από τα θαλάσσια μακροφύκια, Phaeophyta και Rhodophyta, λαμβάνονται διάφορα προϊόντα, που κατατάσσονται στις πρόσθετες ύλες διατροφής, όπως αλγινικό οξύ και τα άλατά του, άγαρ, καραγεννάνες. Τα παραπάνω προϊόντα χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των τροφών ως γαλακτοματοποιητές, σταθεροποιητές, συνδετικές ή αντισυσσωματικές ύλες με πολλές εφαρμογές σε γαλακτοκομικά προϊόντα, ζαχαρωτά, χυμούς φρούτων, μαρμελάδες, κατεψυγμένα τρόφιμα κ.λπ. (Lewis et al., 1988).

Επίσης, στην κατηγορία των πρόσθετων υλών διατροφής ανήκουν και οι χρωστικές των φυκιών, οι οποίες σύμφωνα με τον Becker (1994), είναι φυσικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά με τις συνθετικές χρωστικές. Όλα άλλωστε τα είδη φυκιών περιέχουν έναν ή περισσότερους τύπους χλωροφύλλης, η οποία είναι φωτοσυνθετική χρωστική. Μια άλλη σπουδαία κατηγορία χρωστικών που βρίσκονται φύκια είναι τα καροτενοειδή, από τα οποία εμπορική αξία έχουν: το β-καροτένιο, το λυκοπένιο, η ζεαξανθίνη, η ασταξανθίνη, και η λουτεΐνη, που χρησιμοποιούνται στα διάφορα τρόφιμα.

Η χρήση των μακροφυκιών ως λίπασμα εδάφους για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων ήταν γνωστή από τους αρχαίους χρόνους (Stephenson, 1974), ενώ τα μικροφύκια άρχισαν να χρησιμοποιούνται στη γεωργία από τον 11^ο αιώνα (Dao και Tran, 1979). Πράγματι, τα φύκια δίνουν οργανικό λίπασμα υψηλής απόδοσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα, με πολύ καλά αποτελέσματα, στις καλλιέργειες λαχανικών, φρούτων και ανθέων, ενώ ταυτόχρονα προστατεύουν το περιβάλλον (McHugh, 2003). Διάφορα είδη φυκιών εμφανίζουν και θεραπευτικές ιδιότητες, όπως π.χ. το είδος *Spirulina* στην ίαση τραυμάτων ή στον καταρράκτη (Jassby, 1988). Ακόμη, μερικά θαλάσσια φύκια παράγουν αντιβιοτικά, ενώ κάποια μακροφύκια ή και μικροφύκια περιέχουν φαινόλες, που είναι γνωστές για τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες (Becker, 1994). Τα φύκια βρίσκουν εφαρμογή και στην κοσμετολογία για την παρασκευή διάφορων κρεμών, αλάτων μπάνιου και άλλων καλλυντικών (McHugh, 2003). Τελευταία, όπως αναφέρεται από τους Wharton et al. (1998), τα φύκια θα μπορούσαν να αποτελέσουν τροφή για τους αστροναύτες στο διάστημα, ενώ χρησιμοποιούνται ως μοντέλα οργανισμών για πειραματικές και θεωρητικές μελέτες εξαιτίας της δυνατότητάς τους να υποστηρίξουν τη ζωή σε συνθήκες εκτός της γήινης ατμόσφαιρας, όπως π.χ. σε άλλους πλανήτες.

β. Η χρήση των φυκιών στη διατροφή του ανθρώπου

Από πολύ παλιά πολλοί λαοί χρησιμοποιούσαν τα θαλάσσια φύκια στη διατροφή τους. Πιο συγκεκριμένα, στην Κίνα ο Sze Tsu τον 6^ο αιώνα π.Χ. αναφέρει ότι τα «φύκια είναι έδεσμα αντάξιο των τιμώμενων προσώπων» (Tseng, 1981). Αλλά και στην Αρχαία Ελλάδα τα φύκια αποτελούσαν μέρος της τροφής του ανθρώπου. Υπάρχουν άλλωστε αναφορές του Διοσκουρίδη, σύμφωνα με τις οποίες τα φύκια βοηθούν στην ευεξία του ανθρώπου. Ακόμη, μελετητές υποστηρίζουν ότι στη Μ. Ανατολή, στα βιβλικά χρόνια, η τροφή που ονομαζόταν «μάννα» προερχόταν από είδη φυκιών της Νεκρής Θάλασσας. Αργότερα, οι Κέλτες, οι Βίκινγκς και οι Αζτέκοι συμπεριέλαβαν και αυτοί στη διατροφή τους τα φύκια. Ακόμη και σήμερα, διάφορα είδη φυκιών αποτελούν εθνικό τρόφιμο για πολλούς λαούς, ιδιαίτερα της Ασίας (Harlin και Darley, 1988).

Τα τελευταία μάλιστα χρόνια τα φύκια προσέλκυσαν το ενδιαφέρον του δυτικού κόσμου, ο οποίος θέλησε να τα εντάξει στη διατροφή του και γενικότερα στη ζωή του (Dawczynski et al., 2007). Και αυτό γιατί, σύμφωνα με τους Lahaye (1991), τα φύκια, εξαιτίας των πολυσακχαριτών που περιέχουν, δεν πέπτονται πλήρως στο πεπτικό σύστημα του ανθρώπου, όπως ήδη αναφέρθηκε, οπότε ως κυτταρινούχες τροφές θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στα προϊόντα υγιεινής διατροφής. Άλλωστε σε πειράματα των Nigam et al. (1985), αναφέρεται η προσθήκη φυκιών στο ψωμί και σε άλλα προϊόντα αρτοποιίας. Ο Becker (1994) σημειώνει ότι η χρήση αλεύρου φυκιών σε τρόφιμα, σε ποσοστό 5-15%, θεωρείται ασφαλής.

Σήμερα, καλλιεργούνται τα φύκια σε πολλές χώρες της γης, κυρίως στις Η.Π.Α., στη Γαλλία και τη Νορβηγία. Όπως αναφέρουν οι Hundley και Ing (1956), η καλλιέργεια των φυκιών ξεκίνησε εξαιτίας του γεγονότος ότι αποτελούν μια εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών και μάλιστα υψηλής ποιότητας, που θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των υποσιτιζόμενων ανθρώπων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου οι ανάγκες για τρόφιμα και πηγές πρωτεϊνών είναι αναγκαίες, προβλήματα ηθικά και κοινωνικά απέτρεψαν την χρήση νέων τροφίμων αγνώστου προέλευσης. Επίσης, το κόστος παραγωγής των μικροφυκιών αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την διάδοσή τους, σε σχέση με τις συνηθισμένες πηγές φυτικών πρωτεϊνών.



Εικόνα 16. *Spirulina spp.*

Παρά την υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικές πρωτεΐνες, τα μικροφύκη δεν αποφέρουν ιδιαίτερο και ουσιαστικό κέρδος ως τροφή ή υποκατάστατο τροφής. Τα μεγαλύτερα εμπόδια είναι το γεγονός ότι σε ξηρά μορφή βρίσκονται σε μορφή σκόνης, έχουν σκούρο πράσινο χρώμα και μια ελαφρά οσμή ψαριού. Πολλές έρευνες πραγματοποιήθηκαν για να μεταβάλλουν ή να συνδυάσουν τα φύκη με άλλες τροφές, εφαρμόζοντας μεθόδους όπως η θέρμανση ή το ψήσιμο. Επίσης, έγινε προσπάθεια να ενσωματώσουν μικρές ποσότητες φυκιών σε ψωμί ή στα λαζάνια. Στο ψωμί, μόνο ελάχιστες ποσότητες μπορούσαν να χορηγηθούν, διότι από ένα σημείο και έπειτα αλλοιωνόταν έντονα η υφή και η γεύση. Στα λαζάνια έδιναν ένα σκούρο καφέ χρώμα το οποίο δεν ήταν καθόλου ελκυστικό. Σε άλλα ζυμαρικά όπως τα ραβιόλια έδιναν διαφορετικά χρώματα αλλά ταυτόχρονα επηρέαζαν αρνητικά την γεύση. Έγινε γρήγορα κατανοητό ότι δεν θα μπορούσε με αυτές τις μεθόδους να λυθεί το πρόβλημα και γι αυτό χρησιμοποιήθηκαν άλλες μέθοδοι στην παρασκευή τροφίμων όπως ο αποχρωματισμός, γαλακτοματοποίηση, ζελατινοποίηση κ.α.



Εικόνα 17. Φύκια του γλυκού νερού με διαφορετικές χρωστικές

Οι μεγαλύτερες πωλήσεις των μικροφυκιών γίνονται μόνο σε καταστήματα υγιεινής διατροφής. Τα φύκη σε μορφή σκόνης μέσα σε κάψουλες χρησιμοποιούνται έναντι σχεδόν όλων των ασθενειών εκτός αυτών που προκαλούνται από υποσιτισμό. (Becker, 2007)

γ. Η χρήση των φυκιών στη διατροφή των ζώων

Η χρήση των μικροφυκιών στη διατροφή παραγωγικών ζώων είναι αρκετά πρόσφατη. Ένας μεγάλος αριθμός θρεπτικών και τοξικολογικών υπολογισμών απέδειξαν την αποτελεσματικότητα της βιομάζας φυκιών ως αξιόπιστη πηγή πρωτεϊνών.

Ο στόχος στα οικιακά ζώα αφορά κυρίως τα πουλερικά, καθ' ότι τα φύκη αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη πηγή ενέργειας. Επίσης, μια ανερχόμενη αγορά που χρησιμοποιεί τα φύκη είναι οι υδατοκαλλιέργειες. Εκτιμάται ότι το 30% της παγκόσμια παραγωγής φυκιών χρησιμοποιείται για την διατροφή των ζώων.



Εικόνα 18. Μακροφύκια

Από τη δεκαετία του '50, έρευνες αναφέρουν ότι τα φύκια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων (Soeder, 1986; Halama, 1990). Σήμερα εκτιμάται ότι το 30% περίπου των παραγόμενων φυκιών στον κόσμο χρησιμοποιείται κυρίως εξαιτίας της υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών που περιέχουν (Becker, 2007).

v. Μηρυκαστικά ζώα

Οι Chowdhury et al. (1995) χορήγησαν σε παχυνόμενα μοσχάρια εναιώρημα μικροφυκιών (*Chlorella* και *Scenedesmus* 5-10 ml όγκος κυττάρων/ l νερού) σε ποσότητα περίπου 10% του σωματικού βάρους και βρήκαν βελτίωση της πεπτικότητας των ολικών κυτταρινών και μείωση του κόστους διατροφής των ζώων σε σχέση με εκείνα που διατρέφονται με ελαιούχα σπέρματα σησαμιού. Άλλοι ερευνητές (Braden et al., 2007) αναφέρουν ότι η χορήγηση μακροφυκιών (*Ascophyllum nodosum*) στο σιτηρέσιο μοσχαριών ενδυναμώνει το ανοσοποιητικό τους σύστημα και βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του κρέατος. Επιπλέον, η ενσωμάτωση του παραπάνω είδους μακροφυκιών στο σιτηρέσιο μοσχαριών που μολύνθηκαν με *E. Coli*, επέφερε μείωση της συγκέντρωσης των παθογόνων αυτών μικροοργανισμών στα κόπρανα των ζώων (Bach et al., 2008).

Όταν το γάλα περιέχει μακριές αλυσίδες (n-3) λιπαρών οξέων και υψηλές συγκεντρώσεις συζευγμένου λινολεϊκού οξέος, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για την βελτίωση της υγείας των καταναλωτών. Η φυσική τροποποίηση της σύστασης του γάλακτος σε αγελάδες μπορεί να γίνει χορηγώντας στο σιτηρέσιο των γαλακτοπαραγωγών αγελάδων φύκη πλούσια σε (n-3) λιπαρά οξέα. Σε πειράματα που έγιναν σε γαλακτοπαραγωγές αγελάδες, χορηγήθηκαν τρία σιτηρέσια σε διαφορετικές ομάδες ζώων για 6 εβδομάδες. Το πρώτο ήταν ένα ελεγχόμενο σιτηρέσιο, το δεύτερο σιτηρέσιο που περιλάμβανε φύκη προστατευμένο από βιοϋδρογόνωση και το τρίτο περιλάμβανε φύκη που δεν προστατευόταν από βιοϋδρογόνωση. Η πρόσληψη τροφής και η παραγωγή γάλακτος καταγράφονταν καθημερινά.

Δείγματα γάλακτος αναλύονταν κάθε εβδομάδα, μετρώντας την σύσταση και τα λιπαρά οξέα. (Franklin et al., 1999).

Η ποσοστιαία ανάλυση του λίπους στο γάλα των ζώων που τρέφονταν με φύκη ήταν χαμηλότερη από τις αγελάδες που τρέφονταν με το ελεγχόμενο σιτηρέσιο, χωρίς όμως να υπολείπεται σε ενέργεια. Το γάλα των αγελάδων που τρέφονταν με φύκη περιείχε μεγαλύτερα ποσοστά συζευγμένου λινολεϊκού οξέος, (n-3) λιπαρών οξέων και ιδιαίτερα του δοκοσαεξαενικού οξέος, που βρέθηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό, από ότι στα ζώα που τρέφονταν με μη προστατευμένο σιτηρέσιο φυκιών. Επίσης, οι αγελάδες, που στο σιτηρέσιό τους περιέχονταν φύκη, παρήγαγαν γάλα με μικρότερα ποσοστά κορεσμένων λιπαρών οξέων σε σχέση με τις άλλες αγελάδες.

Τα λιπαρά του γάλακτος λοιπόν, μπορούν να τροποποιηθούν με κατάλληλη διατροφή των παραγωγικών ζώων και να παρέχουν έτσι περισσότερα επιθυμητά λιπαρά οξέα για τον καταναλωτή, με την χρήση φυκιών στο σιτηρέσιο των ζώων. (Franklin et al., 1999).

Σύμφωνα με τον McHugh (2003), η χορήγηση φυκιών (*Ascophyllum nodosum*) με την τροφή σε γαλακτοπαραγωγές αγελάδες μεγάλου σωματικού βάρους, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες του έτους, είχε ως αποτέλεσμα τον αυξημένο αριθμό κυήσεων των ζώων, καθώς και αύξηση της γαλακτοπαραγωγής. Με τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και άλλοι ερευνητές (Simkus et al., 2007; Kulpys et al., 2009), οι οποίοι βρήκαν και αύξηση της περιεκτικότητας του γάλατος σε λίπος, πρωτεΐνες και λακτόζη, σε σχέση με τις αγελάδες των οποίων το σιτηρέσιο δεν περιελάμβανε φύκια.

Ακόμη, σε μελέτη των Or-Rashid et al. (2008) αναφέρεται ότι η προσθήκη φυκιών (*Cryptothecodinium cohnii*) στην τροφή αγελάδων επέφερε τροποποίηση των λιπαρών οξέων του υγρού της μεγάλης κοιλίας, ιδιαίτερα του CLA και του DHA.

Επιπρόσθετα, η χορήγηση των παραπάνω φυκιών στο σιτηρέσιο γαλακτοπαραγωγών αγελάδων διαφοροποίησε τις φυσικές ιδιότητες (κρυστάλλωση) του λίπους του γάλατος, αυξάνοντας τη συνεκτικότητα αυτού σε σχέση με εκείνο αγελάδων που λάμβαναν ένα συνηθισμένο εμπορικό σιτηρέσιο (Singh et al., 2004).

Σε ό, τι αφορά τα αρνιά, η προσθήκη των μακροφυκιών *Ascophyllum nodosum* στο σιτηρέσιό τους δεν βρέθηκε να βελτιώνει τις αποδόσεις τους (Bach et al., 2008), ενώ οι Elmore et al. (2005) βρήκαν ότι εμπλουτίστηκε το κρέας των αρνιών σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα.

Ακόμη, ο McHugh (2003) αναφέρει ότι σε διατροφικά πειράματα σε αίγες, στις οποίες προστέθηκαν στην τροφή τους μακροφύκια *Ascophyllum nodosum* για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 2 ετών, διαπιστώθηκε ότι τους χειμερινούς μήνες τα ζώα είχαν μεγαλύτερο σωματικό βάρος και έδιναν περισσότερη ποσότητα μαλλιού σε σχέση με αίγες στις οποίες δεν συμπεριλαμβάνονταν φύκια στη διατροφή τους.

Επίσης, σύμφωνα με τους Papadopoulos et al. (2002), η χορήγηση φυκιών (*Schizochytrium sp.*) στην τροφή των αιγών που βρίσκονταν στο στάδιο της γαλακτοπαραγωγής, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του γάλατος σε λίπος και πρωτεΐνες, καθώς και τον

εμπλουτισμό του γάλατος σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, δηλαδή DHA, EDA και εικοσιδυαπενταενοϊκό οξύ. Ακόμη, παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας του γάλατος στο σύνολο των λιπαρών οξέων σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με αυτή στο γάλα των αγελάδων (Franklin et al., 1999).

Σε πειράματα που έγιναν σε παχυνόμενα αρνιά, η χορήγηση φυκιών του είδους *Spirulina platensis powder* (SPP), ως συμπλήρωμα διατροφής είχε θετικά αποτελέσματα στον ρυθμό ανάπτυξης, στην αντιοξειδωτική του ιδιότητα και στα συστατικά του αίματος των ζώων. Στο πείραμα που διήρκησε 35 ημέρες, 10 υγιέστατα αρνιά, βάρους 46,5 kg BW, χωρίστηκαν σε 2 ομάδες των 5 ατόμων και δοκιμάστηκαν σε 2 διαφορετικά σιτηρέσια. Το ένα περιλάμβανε ως συμπλήρωμα 1g/10kg BW/ημέρα, SPP, ενώ το άλλο δεν περιλάμβανε καθόλου SPP. Οι μετρήσεις που έγιναν την 1^η, 17^η και 35^η ημέρα, έδειξαν ότι το τελικό σωματικό βάρος, η προσλαμβανόμενη ποσότητα τροφής και η ημερήσια αύξηση βάρους των ζώων που στο σιτηρέσιό τους προστέθηκε SPP, βελτιώθηκαν αρκετά σε σχέση με την ομάδα των ζώων που στο σιτηρέσιό τους δεν υπήρχε συμπλήρωμα με SPP. Επίσης οι αιματολογικές εξετάσεις, που περιλάμβαναν αιμογλοβίνη, ολική ποσότητα λευκών αιμοσφαιρίων, βιταμίνη A και μειωμένη γλοβουλίνη ήταν σε υψηλότερα επίπεδα στην 1^η ομάδα, ενώ ασπαρτικό, αλανίνη, χοληστερόλη και γλυκόζη ήταν σε μειωμένα επίπεδα στα ζώα που τους χορηγήθηκε SPP. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών έδειξαν ότι η προσθήκη SPP, σε παχυνόμενα αρνιά μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον ρυθμό ανάπτυξης, στο ανοσοποιητικό σύστημα, και να λειτουργήσει ως αντιοξειδωτικός παράγοντας. (Mabrouk Ragab El-Sabagh, 2014).

Σε ό, τι αφορά τα γαλακτοκομικά προϊόντα των αιγών, δηλαδή γιαούρτη και τυρί, βρέθηκαν εμπλουτισμένα στα προαναφερθέντα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα σε σχέση με εκείνα που προέρχονται από γάλα αιγών που δεν διατρέφονταν με φύκια (Paradourou et al., 2002). Οι προαναφερόμενοι ερευνητές επεσήμαναν ότι η αποθήκευση του τυριού φέτα για διάστημα 5 μηνών δεν επηρέασε την περιεκτικότητά του σε λιπαρά οξέα.

Τα τελευταία, όμως, χρόνια γίνεται χρήση των φυκιών στη διατροφή των μηρυκαστικών ζώων με σκοπό την προσφορά των πολύτιμων για την υγεία του ανθρώπου πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Ερευνητές έχουν δείξει ότι η προσθήκη μικροφυκιών (*Schizochytrium sp.*) στα σιτηρέσια γαλακτοπαραγωγών αγελάδων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του εικοσιεξανοϊκού οξέος (DHA) και του συζευγμένου λινελαϊκού οξέος (CLA) στο λίπος του γάλατος, ενώ παράλληλα μείωσε την περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα σε αυτό (Franklin et al., 1999).

vi. Μονογαστρικά ζώα

Για τη χρησιμοποίηση των φυκιών στα διάφορα είδη μονογαστρικών ζώων θα μπορούσαν να αναγραφούν τα παρακάτω:

I. Κουνέλια

Σύμφωνα με έρευνες των Battaglini (1979), Raju και Sreemannarayana (1995), φύκια χρησιμοποιήθηκαν στη διατροφή κουνελιών με σκοπό τη μερική ή ολική αντικατάσταση του σογιάλευρου της τροφής τους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μελέτες αυτών ήταν αντιφατικά, και αυτό γιατί άλλοτε παρατηρήθηκε αύξηση του τελικού σωματικού βάρους των κουνελιών και άλλοτε μείωση αυτού.

Αργότερα, μελέτη των Colla et al. (2008) έδειξε ότι η χορήγηση μικροφυκιών *Spirulina platensis* σε σιτηρέσια κουνελιών με υψηλή ποσότητα χοληστερόλης μείωσε τα επίπεδά της στον ορό του αίματος των ζώων, ενώ αύξησε τα επίπεδα της λεγόμενης «καλής» χοληστερόλης (HDL).

Επιπλέον, σε έρευνα των Peiretti και Meineri (2008) σε κουνέλια απογαλακτισθέντα, ηλικίας 9-13 εβδομάδων, που η τροφή τους συμπεριελάμβανε μικροφύκια *Spirulina platensis*, δεν εμφανίστηκαν αρνητικά αποτελέσματα στις αποδόσεις τους, γιατί η μειωμένη πεπτικότητα των φυκιών ισορρόπησε με την αύξηση κατανάλωσης της τροφής. Αντίθετα, οι ίδιοι ερευνητές σε μελέτη τους το 2009, σε ενήλικα κουνέλια, βρήκαν ότι η χορήγηση της *Spirulina platensis* στο σιτηρέσιό τους με παράλληλη προσθήκη λίπους αύξησε την πεπτικότητα των ολικών πρωτεϊνών. Επιπρόσθετα, η

κατανάλωση φυκιών πλούσιων σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, εμπλούτισε το κρέας των κουνελιών σε αυτά (Tassinari et al., 2002).

II. Χοίροι

Οι Grinstead et al. (2000) πρότειναν τη χρήση μικροφυκιών (*Spirulina platensis*) ως πρωτεϊνούχο συμπλήρωμα στη διατροφή των απογαλακτισμένων χοιριδίων. Τα αποτελέσματα των μελετών έδειξαν ότι όταν οι χοίροι προσλάμβαναν με την τροφή τους μικρές ποσότητες φυκιών (έως 2%), εμφάνισαν μικρή βελτίωση στην αύξηση του σωματικού τους βάρους. Ανάλογα είναι και τα ευρήματα του McHugh (2003), με 3% ποσοστό προσθήκης φυκιών στο σιτηρέσιο των χοίρων.

Επιπλέον, οι Grinstead et al. (2000) αναφέρουν ότι η πρόσληψη τροφής από απογαλακτισμένα χοιρίδια ήταν σημαντικά μειωμένη, όταν το σιτηρέσιο που περιείχε τα φύκια ήταν σε μορφή συμπήκτων, παρά σε αλευρώδη μορφή. Εξάλλου οι Marriot et al. (2002), όταν χορήγησαν φύκια πλούσια σε DHA σε χοίρους που βρίσκονταν στο τελευταίο στάδιο πάχυνσης (σωματικό βάρος περίπου 100 kg), δεν βρήκαν ουσιώδεις διαφορές τόσο στο σωματικό βάρος τους όσο και στην απόδοση σε σφάγιο σε σχέση με χοίρους που δεν κατανάλωναν φύκια.

Παρεμφερή, επίσης, είναι τα αποτελέσματα των Sardi et al. (2006) ύστερα από χορήγηση σιτηρεσίου που περιείχε παρόμοιας φύσης φύκια, σε χοίρους σωματικού βάρους 160 kg. Όμως, και οι δύο παραπάνω ομάδες

ερευνητών βρήκαν ότι τα φύκια αυτά εμπλούτισαν σε DHA τόσο το κρέας, όσο και το υποδόριο λίπος των χοίρων.

III. Πτηνά

- **Αυγοπαραγωγές όρνιθες**

Ήδη από το 1936, οι Sumita et al. διαπίστωσαν ότι η χορήγηση αλεύρου φυκιών σε ποσότητα 4-10% στο σιτηρέσιο αυγοπαραγωγών ορνίθων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του περιεχόμενου ιωδίου τόσο στη λέκιθο, όσο και στο λεύκωμα του αυγού. Αντίθετα, ο McHugh (2003) δεν βρήκε αύξηση του περιεχόμενου ιωδίου στα αυγά ορνίθων που διατράφηκαν με μακροφύκια (*Ascophyllum*). Σύμφωνα με τους Herber και Elswyk (1996), η χορήγηση θαλάσσιων φυκιών (4,8%) στην αρχή της αυγοπαραγωγής σε όρνιθες ηλικίας 24 εβδομάδων, επέφερε μείωση του βάρους τόσο του αυγού όσο και της λεκίθου, ενώ δεν επηρεάστηκε η αυγοπαραγωγή.

Αντίθετα, όταν οι ίδιοι ερευνητές πρόσθεσαν τα φύκια στην τροφή ορνίθων ηλικίας 56 εβδομάδων, βρήκαν μείωση της αυγοπαραγωγής. Όμως, η χορήγηση αυτών των φυκιών στις όρνιθες ανεξαρτήτως ηλικίας επέφερε αύξηση του DHA στη λέκιθο των αυγών τους. Με το τελευταίο εύρημα φαίνεται να συμφωνούν και οι Grigoroza et al. (2006). Οι ερευνητές αυτοί βρήκαν ότι ενσωμάτωση μικροφυκιών, είδους *Chlorella*, σε ποσοστό 2% και 10% στο σιτηρέσιο αυγοπαραγωγών ορνίθων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του λινολενικού οξέος (ω -3) στη λέκιθο των αυγών και την παράλληλη μείωση του εικοσιτετραενοϊκού οξέος (ω -6), ειδικότερα όταν το ποσοστό

προσθήκης των φυκιών στο σιτηρέσιο ήταν 10%. Επιπλέον, εμφανίστηκε τάση μείωσης της ολικής χοληστερόλης/100 g λεκίθου, γεγονός που ανέφεραν και άλλοι ερευνητές (Ginzberg et al., 2008).

Οι Carillo et al. (2008), όταν ενσωμάτωσαν μακροφύκια (*Macrocystis pyrifera*) σε ποσοστό 10% στο σιτηρέσιο ορνίθων, βρήκαν αύξηση του ύψους του λευκώματος των αυγών και όπως οι προηγούμενοι ερευνητές, αύξηση των περιεχόμενων ω-3 λιπαρών οξέων. Ακόμη, η προσθήκη φυκιών (*Spirulina* ή *Macrocystis pyrifera*) στην τροφή των αυγοπαραγωγών ορνίθων ενδυνάμωσε το χρώμα της λεκίθου των αυγών (Carillo et al., 2008).

- **Κρεοπαραγωγά ορνίθια**

Σύμφωνα με έρευνα των Yoshida και Hoshii (1982), χρησιμοποιήθηκαν μικροφύκια (*Chlorella*) στο σιτηρέσιο κρεοπαραγωγών ορνιθίων για αντικατάσταση παραδοσιακών πρωτεϊνούχων τροφών (π.χ. σογιάλευρο). Βρέθηκε ότι σε ποσοστό προσθήκης μέχρι 10% τα αποτελέσματα σχετικά με τις αποδόσεις των πτηνών ήταν ευνοϊκά, ενώ σε ποσοστό 20% εμφανίστηκε μείωση της ανάπτυξής τους, ιδιαίτερα στην αρχή της εκτροφής. Από την άλλη μεριά, ο δείκτης μετατρεψιμότητας τροφής δεν φάνηκε να επηρεάζεται από τα διάφορα ποσοστά προσθήκης φυκιών.

Αντίθετα, οι Χρηστάκη και συν. (2006) αναφέρουν ότι η χορήγηση εκχυλίσματος μακροφυκιών *Ascophyllum nodosum* σε κρεοπαραγωγά ορνίθια σε ποσότητα 20 kg/τόνο τροφής, επέφερε σημαντική βελτίωση του δείκτη μετατρεψιμότητας τροφής σε σχέση με εκείνον της ομάδας των μαρτύρων.

Ακόμη, άλλοι ερευνητές (Lipstein και Talpaz, 1984) αναφέρουν ότι το άλευρο φυκιών (*Chlorella* ή *Micractinium*) μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή χρωστικών ουσιών στη διατροφή των κρεοπααραγωγών ορνιθίων. Σχετικά πρόσφατα, ο Becker (2007) αναφέρει γενικά ότι η εμπορική χρήση φυκιών ως ζωοτροφή είναι περισσότερο κατάλληλη στα σπηρέσια των πτηνών.

IV. Εκτρεφόμενα ψάρια

Στη διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα φύκια με ευνοϊκά αποτελέσματα σε ό, τι αφορά την αύξηση του σωματικού βάρους των ψαριών, καθώς και τη μεγαλύτερη εναπόθεση τριγλυκεριδίων ή πρωτεϊνών στους μυς τους (Mustafa et al., 1995). Σε άλλη έρευνα των Mustafa και Nakagawa (1995) αναφέρεται ότι τα φύκια στην τροφή των ψαριών αύξησαν την αντίστασή τους σε διάφορες καταστάσεις καταπόνησης (stress) και σε ασθένειες.

Σημαντικά αποτελέσματα έχει η χορήγηση μικροφυκιών στην διατροφή των ψαριών σε προνυμφικό στάδιο και στο στάδιο της ανάπτυξης. Σε εκτρεφόμενα ψάρια όπως βακαλάο, γλώσσες και διάφορα είδη τροχοζώων (*Brachionus plicatilis*) τα μικροφύκη παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στο μεταβατικό διατροφικό στάδιο από την προνυμφική στην ενήλικη μορφή του ζώου, όπου τρέφεται πλέον με άλλου είδους διατροφικά προϊόντα.

Η προσθήκη μικροφυκιών στην εκτροφή αυτών των ψαριών αύξησε σημαντικά το ποσοστό επιβίωσης και ανάπτυξης των προνυμφών. Σε διαφορετική περίπτωση όπου δεν προστέθηκαν μικροφύκη στη διατροφή των

ψαριών δεν βελτιώθηκε το ποσοστό επιβίωσης και η ανάπτυξη των προνυμφών.

Τα φύκη ως διατροφικό προϊόν στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των προνυμφών συνέβαλαν στο να μεταβάλουν θετικά και να σταθεροποιήσουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της διατροφής των ψαριών σε σχέση με την εκτροφή αυτών χωρίς την προσθήκη των μικροφυκιών.

Τα λίπη και τα λιπαρά οξέα των προνυμφών διαφοροποιήθηκαν με την προσθήκη φυκιών στο διαιτολόγιό τους και ίσως τα μικροφύκη αποτέλεσαν έναν ισχυρό παράγοντα ρύθμισης των λιπαρών στα προνυμφικά στάδια ανάπτυξης. Επίσης, μεταβλήθηκε και η βακτηριακή χλωρίδα στην εκτροφή επιδρώντας έτσι στο περιβάλλον ανάπτυξης των ψαριών, αφού μεταβλήθηκε το ποσοστό του φωτός που διαπερνά το νερό. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορεί να δρουν ανεξάρτητα ή και σε συνάρτηση μεταξύ τους

Η χορήγηση φυκιών από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των προνυμφών μπορεί να αποτελέσει ένα σημείο επιτυχίας της ανάπτυξής τους, καθότι συμβάλλει στην επιβίωση, στην ανάπτυξη και στην ποιότητα τους. Ωστόσο, απαιτείται μία βαθύτερη γνώση του μηχανισμού αλληλεπίδρασης φυκιών-προνυμφών στα πρώτα στάδια ανάπτυξης. Η σύσταση λιπαρών οξέων στα διάφορα είδη μικροφυκιών παρουσιάζει ομοιότητες και γι αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η επιλογή και χρήση του κατάλληλου είδους μικροφύκου. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια και η ανάπτυξη τροχοζώων, επηρεάζεται από την σύσταση λιπιδίων και λιπαρών οξέων στο διαιτολόγιό τους.

Επίσης, η επιβίωση και ανάπτυξη των προνυμφικών μορφών του βακαλάου αυξάνονται σημαντικά όταν μαζί με την προσθήκη μικροφυκιών του γένους *Tetraselmis sp.*, προστίθενται και τροχόζωα στην δεξαμενή ανάπτυξης των προνυμφών. Η προσθήκη φυκιών στην δεξαμενή πιθανόν μεταβάλλει ή σταθεροποιεί την θρεπτική αξία των τροχοζώων. Στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης οι προνύμφες των ψαριών είναι ικανές να πέπτουν τα μικροφύκη απευθείας, αλλά η ικανότητα αυτή αλλάζει στον βακαλάο ή στην γλώσσα. Εκτός από την ικανότητα των προνυμφικών μορφών να πέπτουν τα μικροφύκη, αυξάνεται και το ποσοστό πρόσληψης τροφής με αποτέλεσμα να βελτιώνεται και η μικροχλωρίδα στην δεξαμενή. (Kjell Inge Reitan et.al, 1997)

Εξάλλου, ο McHugh (2003) προτείνει το λεπτοαλεσμένο άλευρο μακροφυκιών (*Macrocystis pyrifera* ή *Gracilaria edulis*) είτε ως συνδετική ύλη στο σιτηρέσιο των ψαριών –εξαιτίας των αλγινικών οξέων και αλάτων που περιέχονται – είτε ως τροφή. Επιπλέον, ο Fleurence (1999) αναφέρει ότι η χρήση φυκιών στην τροφή των ψαριών θα μπορούσε μερικώς να αντικαταστήσει άλλες πρωτεϊνούχες ζωοτροφές. Οι Senthil et al. (2005) υποστηρίζουν ότι η προσθήκη 10% αλεύρου φυκιών (*Eucheuma*) στο σιτηρέσιο ψαριών δεν είχε αρνητική επίδραση στις αποδόσεις τους. Άλλωστε τα φύκια αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή τροφής για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς.

Συμπερασματικά, τα φύκια, οι απλοί αυτοί υδρόβιοι, φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή των ζωικών οργανισμών με ευνοϊκά αποτελέσματα.

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΦΥΚΙΩΝ

Η παραγωγικότητα των φυκιών εξαρτάται από 4 βασικούς παράγοντες, την διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, την ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία και το pH.

Διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών

Για την καλλιέργεια φυκιών είναι απαραίτητα διάφορα θρεπτικά συστατικά. Τα φύκη ως αυτότροφοι οργανισμοί απαιτούν για την ανάπτυξή τους μακροστοιχεία όπως άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο, φωσφόρο, ασβέστιο, μαγνήσιο, θείο και κάλιο.

Πηγή άνθρακα για τα φωτοσυνθετικά φύκη είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Στο νερό υπάρχει στη μορφή των H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , αλλά αυτό εξαρτάται από το pH. Ως πηγή αζώτου για την σύνθεση των αζωτούχων ενώσεών τους, όπως οι πρωτεΐνες, τα φύκη χρησιμοποιούν κυρίως ανόργανες ενώσεις όπως νιτρικά ιόντα, αλλά και ουρία ή αμινοξέα. Το οξυγόνο, απαραίτητο για τις μεταβολικές ανάγκες των φυκιών, όπως η οξειδωση της γλυκόζης για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών, παρέχεται από την ατμόσφαιρα, καθώς και από την φωτοσύνθεση των υδρόβιων οργανισμών.



Εικόνα 19. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί έναν από τους παράγοντες ανάπτυξης των φυκιών

Επίσης, σημαντικά είναι τα μικροστοιχεία, όπως βιταμίνες και ιχνοστοιχεία, που είναι απαραίτητα για τις βιοχημικές αντιδράσεις του μεταβολισμού τους .

Σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα φυτά, που χρειάζονται για την ανάπτυξή τους χημικά στοιχεία, τα φύκη απαιτούν βανάδιο, ιώδιο, νάτριο. Επίσης, πολλά φύκη απαιτούν για την ανάπτυξή τους εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες σε βιταμίνη B₁₂, θειαμίνη και βιοτίνη. Αυτές οι βιταμίνες είναι συνήθως διάσπαρτες στο νερό, ως προϊόν μεταβολισμού κυανοβακτηρίων, όμως σταματά η παραγωγή τους κατά την άνθηση του φυτοπλαγκτού. (S.A.Chowdhury et al., 1994)

Ηλιακή ακτινοβολία

Σε γενικές γραμμές το φως δεν είναι καθοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυκιών, καθώς τα περισσότερα αναπτύσσονται και σε συνθήκες με μειωμένη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Σε αντίθεση με την υπερβολικά υψηλή δέσμευση ηλιακής ακτινοβολίας, που μπορεί να οδηγήσει σε «φωτοοξειδωτικό θάνατο» των φυκιών. Από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, αρκεί η δέσμευση του 6-8%, για να μπορέσουν τα φύκη να φωτοσυνθέσουν, έτσι ώστε να παράξουν την απαραίτητη ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών τους. (S.A.Chowdhury et al., 1994)

Θερμοκρασία

Τα φύκη μπορούν να αναπτύσσονται σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών, που κυμαίνεται από 5 έως 42°C, με άριστες θερμοκρασίες μεταξύ των 20 και 30°C.



Εικόνα 20. Καλλιέργεια φυκιών σε γυάλινες ράβδους

pH

Είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυκιών και συνήθως τα περισσότερα αναπτύσσονται σε pH της τάξεως του 6,8 με 7, δηλαδή σχετικά ουδέτερο. Υπάρχουν είδη όμως, όπως η *Chlorella spp*, που αναπτύσσεται σε pH κάτω του 4, ενώ τιμές αρκετά βασικές όπως 11 είναι ακατάλληλες για την ανάπτυξή τους.

Παρ' ότι τα φύκη αναπτύσσονται φυσιολογικά χωρίς απαίτηση σε επιπλέον θρεπτικά εφόδια, η παρουσία θρεπτικών εξασφαλίζει την ανάπτυξη και αύξησή τους που είναι απαραίτητη για να διατηρηθούν στις επιθυμητές συγκεντρώσεις.

Το συμβούλιο επιστημών του Μπαγκλαντές και το Ινστιτούτο Ερευνών, προσπάθησαν να καλλιεργήσουν φύκη με χημικά μέσα, όμως αποδείχθηκε μια δαπανηρή και μη εφαρμόσιμη μέθοδος. Στη συνέχεια προσπάθησαν να καλλιεργήσουν φύκη με φυσικά προϊόντα, όπως μπιζελάλευρο από φλούδες μπιζελιών, αλεσμένα πίτουρα ή μίσχους σπανακιού, και αποδείχθηκε τελικά ως μια πολύ καλή μέθοδος ανάπτυξης και καλλιέργειας φυκιών. (S.A.Chowdhury et al., 1994)

Μεθοδολογία καλλιέργειας

Η μαζική καλλιέργεια απαιτεί μια διαδικασία που αναπτύχθηκε σύμφωνα με το πρόγραμμα έρευνας του Ινστιτούτου Έρευνας του Μπαγκλαντές.

Αρχικά κατασκευάστηκαν πλαστικά δοχεία, δεξαμενές, μήκους 3,5 m, πλάτους 1,8m και 10-20 cm βάθος. Τα δοχεία περιείχαν 200 λίτρα νερό, 20 λίτρα αρχικής καλλιέργειας και 1 λίτρο εκχύλισμα πίτουρου (*Vinga mungo*). Το εκχύλισμα παρασκευάστηκε από 1 λίτρο νερό με 100 g πίτουρο, από την προηγούμενη μέρα. Η προσθήκη 2-3 g φωσφορικού αμμωνίου ή ουρίας βρέθηκε ότι αυξάνει τον ρυθμό ανάπτυξης.

Είναι σημαντικό και απαραίτητο στάδιο η ανάδευση της καλλιέργειας τουλάχιστον δύο φορές ημερησίως, για να αποφευχθεί η καθίζηση των φυκιών και για να κατανέμονται εξίσου τα θρεπτικά συστατικά μέσα στη δεξαμενή. Η απευθείας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία οδηγεί στον θάνατο, που πιθανόν να είναι αποτέλεσμα κορεσμού συγκέντρωσης οξυγόνου λόγω της υπέρμετρης φωτοσύνθεσης. Γι' αυτό η δεξαμενή θα πρέπει να βρίσκεται σε σκιερό μέρος, όχι όμως στο σκοτάδι (S.A.Chowdhury et al., 1994).



Εικόνα 21. Καλλιέργεια φυκιών σε γυάλινες ράβδους, οι οποίες είναι εγκατεστημένες πάνω σε αερογέφυρα

Η υπερβολική δοσολογία θρεπτικών, ιδιαίτερα του εκχυλίσματος πίτουρου, χρωματίζει την καλλιέργεια με ένα σκούρο καφέ χρώμα σε αντίθεση με το φυσιολογικό και σύνηθες λαμπερό πράσινο. Για να διατηρείται ο όγκος

της καλλιέργειας μέσα στην δεξαμενή, είναι απαραίτητο η προσθήκη νερού αναλογικά με τον βαθμό εξάτμισης του από αυτήν.

Απομακρύνοντας το υπερκείμενο που προορίζεται για τροφή των ζώων, η καλλιέργεια μπορεί να ανακάμψει στην ίδια δεξαμενή, προσθέτοντας την σωστή αναλογία νερού και θρεπτικών συστατικών, αφού στην δεξαμενή έχει παραμείνει ένας ικανοποιητικός αριθμός κυττάρων που στις κατάλληλες συνθήκες μπορούν να πολλαπλασιαστούν και να δημιουργήσουν ξανά την απαραίτητη βιομάζα κυττάρων, που με την σειρά τους θα χρησιμοποιηθούν ως τροφή σε άλλα ζώα παραγωγής.

Η ημερήσια παραγωγή υπερκειμένου ήταν 95t ή 247kg ξηρής βιομάζας/εκτάριο, με κόστος περίπου \$1,25/t . (S.A.Chowdhury et al., 1994)

Τα φύκη ως διατροφικό προϊόν σε παραγωγικά ζώα

Η χρήση των φυκιών στη διατροφή παραγωγικών ζώων και η σημασία των πρωτεϊνών τους μελετήθηκε, όταν δοκιμαστικά για 120 ημέρες 8 δαμάλες (αγελάδες με βάρος περίπου 150 kg), ακολούθησαν ένα σιτηρέσιο που περιλάμβανε ως βάση άχυρο, μελάσα, ουρία και 2 kg πίτουρο σταριού. Τα ζώα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες των 4 ατόμων και με βάση το παραπάνω σιτηρέσιο στη μία ομάδα χορηγήθηκε 0,5kg/d ελαιόπιτα σουσαμιού, ενώ στη δεύτερη ομάδα χορηγήθηκε υπερκείμενο καλλιέργειας φυκιών κατά βούληση. Τα σιτηρέσια των 2 ομάδων φαίνονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6. Σύσταση του πειραματικού σιτηρέσιου

Συστατικά	Δίαιτα	
	Ελαιούχοι πλακούντες	Φύκια
A. Urea-molassesed-straw (UMS)		
Composition of UMS (g.kg ⁻¹ .DM)		
Straw	820	820
Molasses	150	150
Urea	30	30
B. Wheat bran (kg.d ⁻¹ /head)	2.0	2.0
C. Sesame oilcake (kg.d ⁻¹ /head)	0.5	-
D. Algal suspension	-	Κατά βούληση

Σε αντίθεση με την πρώτη ομάδα, η ομάδα των ζώων που το σιτηρέσιό τους περιελάμβανε φύκη, δεν χορηγούνταν καθόλου νερό, αφού στην θέση του χορηγήθηκε υπερκείμενο καλλιέργειας κατά βούληση.

Δεν υπήρξε δυσκολία στο να χορηγηθεί το συγκεκριμένο σιτηρέσιο στα ζώα, μάλιστα, ενώ αρχικά χορηγήθηκαν 9 lt ημερησίως, την 8^η ημέρα αυξήθηκε σε 20 lt/d . Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας περιγράφονται στους πίνακες 7 και 8.

Πίνακας 7. Σωματικό βάρος, ημερήσια αύξηση και ικανότητα μετατρεψιμότητας της τροφής σε ζώα που έλαβαν σιτηρέσιο ουρίας-μελάσας-άχυρου με την προσθήκη είτε ελαιόπιτας, είτε φυκιών, για 120 μέρες.

Διατροφικά συστήματα	Ελαιούχοι πλακούντες	φύκη	SED (with 6 df)	Σημαντικότητα
Initial Live Wt. (kg) [#]	149.9	139.8	6.61	NS
Final Live Wt. (kg) [#]	197.2	197.5	8.27	NS
Growth rate (g/d) [#]	399	458	31.15	NS
DM intake (kg.d ⁻¹):				
Urea-molassesed-straw	4.73	4.66	0.73	NS
Wheat bran	1.57	1.57	-	-
Sesame oilcake	0.44	-	-	-
Algae cell	-	0.03	-	-
Total ME intake (MJ.d ⁻¹)	64.17	61.60	1.238	NS
ME intake (MJ.kg ⁻¹ W ^{0.75} .d ⁻¹)	1.38	1.36	0.41	NS
Digestible CP intake (g.kg ⁻¹ W ^{0.75} .d ⁻¹)	14	10	0.325	p<0.01
Feed conversion efficiency (g DOM intake per g LW gain)	10.3	8.6	-	-

[#]Calculated from individual regression of live weight vs. time.

Πίνακας 8. Πεπτικότητα (%) των θρεπτικών συστατικών του σιτηρέσιου

Διατροφικοί χειρισμοί	ελαιοπλακούντες	φύκη	SED (with 6 df)	σημαντικότητα
Dry matter	68.5	69.6	0.841	NS
Organic matter	70.7	71.7	0.779	NS
Crude protein	76.1	70.7	0.694	p<0.01
Crude fibre	76.2	81.1	1.286	p<0.01

NS = Not Significant.

Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι οι δείκτες ανάπτυξης και μετατρεψιμότητας τροφής είναι υψηλότεροι στα ζώα που τους χορηγήθηκαν φύκη.

Δεν υπήρξαν διαφορές στους δείκτες πεπτικότητας, παρ' όλα αυτά η πεπτικότητα πρωτεΐνης ήταν χαμηλότερη, ενώ η πεπτικότητα φυτικών ινών υψηλότερη στα ζώα που χορηγήθηκαν φύκη.

Ένα άλλο πείραμα έγινε σε 3 ταύρους, σωματικού βάρους 353kg, στους οποίους χορηγήθηκε διαφορετικό σιτηρέσιο στον καθένα και οι οποίοι παρέμειναν σε ένα κλουβί διαστάσεων 3x3 m.

Το σιτηρέσιο περιελάμβανε κατά βούληση ουρία, μελάσα, άχυρο ως βάση και το πρώτο περιείχε επιπλέον 4kg πίτουρα σταριού, το δεύτερο 1kg ελαιόπιτα σουσαμιού, ενώ το τρίτο υπερκείμενο καλλιέργειας φυκιών κατά βούληση (βλ. Πίνακα 9).

Πίνακας 9. Σύσταση του πειραματικού σιτηρέσιου

	Diets		
	SWB	SOC	SAS
A. Urea-molassesed-straw (UMS)	ad libitum	ad libitum	ad libitum
UMS composition (g.kg ⁻¹ .DM)			
• Straw	820	820	820
• Molasses	150	150	150
• Urea	30	30	30
B. Wheat bran	4.0	4.0	4.0
C. Sesame oilcake	-	1.0	-
D. Algal suspension	-	-	ad libitum

Σε κάθε περίοδο, επωάζονται στη μεγάλη κοιλία 2 με 3 g άχυρο για 0, 8, 24, 48, 72 ώρες για να καθοριστεί ο βαθμός αποικοδόμησης (DM), σύμφωνα με την μέθοδο Ørskov et al. (1980).

Εκτός από τον βαθμό πρόσληψης τροφής, γίνονται μετρήσεις στον βαθμό πεπτικότητας, στο pH, και της συγκέντρωσης αμμωνίας, σε διαφορετικές στιγμές κατά την διάρκεια διατροφής των ζώων (βλ. Πίνακα 10).

Πίνακας 10. Πρόσληψη και πεπτικότητα (%) της ξηρής ύλης (DMD), της οργανικής ύλης (DOM), της ακατέργαστης πρωτεΐνης (DCP) και των φυτικών ινών (DADF)

	Diets			Significance	
	SWB	SOC	SAS	SED	Level
Total DMI ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{W}^{0.75}\cdot\text{d}^{-1}$)	116	125	116	6.51	NS
UMSDMI ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{W}^{0.75}\cdot\text{d}^{-1}$)	74	72	73	3.02	NS
DMD	67	70	69	2.56	NS
DOM	70	73	72	1.49	NS
DCP	70	69	69	3.73	NS
DADF	66	68	69	1.87	NS

Παράμετροι όπως, η ολική DMI ή SDMI, DM, OM, CP, δεν επηρεάζονται από την εισαγωγή συμπληρώματος ελαιόπιτας ή υπερκείμενο καλλιέργειας φυκιών στο σιτηρέσιο του SWB.

Παρ' όλα αυτά, ο ADF έδειξε ότι επηρεάζεται, καθ' ότι βρέθηκαν υψηλότερα ποσοστά πεπτικότητας ινών, που μπορεί να οφείλεται στο γεγονός της κυτταρικής αποικοδόμησης μέσα στην δεξαμενή και γι αυτό μετρήθηκε ένα υψηλό ποσοστό πεπτικότητας φυκιών μέσα σε 48 ώρες, της τάξεως του 85-90%. (Πίνακας 11).

**Πίνακας 11. Κυτταρολυτικές δραστηριότητες της μεγάλης κοιλίας
όπως παρουσιάζονται με τα χαρακτηριστικά αποδόμησης της
τροφής σε τρεις πειραματικές δίαιτες**

	Δίαιτα			Σημαντικότητα	
	SWB	SOC	SAS	SED	Level
48 h DM Digestibilities (%)	51	49	53	4.95	NS
Degradation rate constant c (%)	3.79	3.80	4.18	0.31	NS
Potential degradable fraction `B' (%)	59	62	55	12.6	NS
Extent of degradation `A + B' (%)	66	64	62	6.34	NS

Επίσης, η προσθήκη υπερκείμενου καλλιέργειας φυκιών στο σιτηρέσιο τείνει να αυξήσει την συγκέντρωση NH_3N , και αυτό βοηθάει ίσως στην αύξηση της κυτταρικής δραστηριότητας.

Σε μία επόμενη δοκιμασία, 6 ταύροι, ηλικίας 1,5 ετών και 180 κιλών, δοκιμάστηκαν σε ένα σιτηρέσιο με άχυρο, ουρία και μελάσα για 60 ημέρες. Στους 3 από αυτούς χορηγούνταν επιπλέον φύκη κατά βούληση, και στους άλλους 3 καθαρό πόσιμο νερό. Παρατηρήθηκε αλλαγή στο βάρος των ζώων, καθώς και σε άλλες παραμέτρους. Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας φαίνονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα της χορήγησης σιτηρεσίου ουρίας-μελάσας-άχυρου σε ταύρους, παράλληλα με κατά βούληση λήψη καθαρού νερού ή νερού εμπλουτισμένου με φύκια

Παράμετροι	Πειραματική ομάδα με φύκη			M.O	Ομάδα με νερό			M.O	SED (4 df)	Σημαντικότητα
	219	220	215		209	225	218			
Initial Wt. (kg)	189.5	154.0	189.0	177	180.0	190.0	176.5	182.2	12.42	NS
Wt. after 60 d (kg)	185.5	151.0	187.0	174.5	164.5	179.0	173.0	172.2	12.49	NS
Wt. Change in 60d (kg)	-4	-3	-2	-3	-15.5	-11	-3.5	-10	3.55	NS
Dig. OMI (kg/d)	2.33	2.51	2.71	2.51	2.77	3.02	2.28	2.69	0.24	NS
Dig. ADFI (kg/d)	1.37	1.56	1.58	1.50	1.50	1.76	1.05	1.44	0.218	NS
Dig. NI (g/d)	53	57	54	54.7	60	61	50	57.3	3.71	NS
Microbial N (g/d)	23.4	22.0	20.0	21.8	16.2	17.2	21.2	18.2	1.81	p<0.05
Microbial N g/kg DOMR ^a	15.2	13.5	11.4	13.4	9.0	8.7	14.3	10.7	2.13	p<0.05

Δεν υπήρξαν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε παραμέτρους όπως, DM, OM, ADF, μεταξύ των δύο ομάδων με τα διαφορετικά σιτηρέσια. Η παράμετρος που είχε διαφορά μεταξύ της ομάδας που τρέφονταν και με φύκη σε σχέση με την ομάδα που προστέθηκε μόνο νερό στο σιτηρέσιο ήταν η ικανότητα παραγωγής μικροβιακού αζώτου, όπου βρέθηκε υψηλότερη στην ομάδα με το σιτηρέσιο που περιλάμβανε φύκη. Επίσης, αρκετά μεγάλη ήταν και η διαφορά από την απώλεια βάρους των ζώων, όπου τα ζώα που τους προστέθηκαν φύκη (-3 kg) έχασαν πολύ λιγότερα κιλά από αυτά που έπιναν νερό (-10kg). Αυτό μπορεί και να οφείλεται στην αύξηση της ικανότητας παραγωγής μικροβιακού αζώτου στα ζώα που διατράφηκαν με φύκη.

Επίσης, η εικόνα που παρουσίαζε η ομάδα των ζώων που στο σιτηρέσιό τους προστέθηκαν φύκη, όσον αφορά την κατάστασή τους συνολικά, ήταν πολύ καλύτερη από την ομάδα των ζώων που το σιτηρέσιό τους περιείχε πόσιμο νερό. (S.A.Chowdhury et al., 1994)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρόλο που ακόμη δεν είναι πλήρως κατανοητό, κατά κάποιον τρόπο, η προσθήκη φυκιών στο σιτηρέσιο των ζώων παραγωγής επηρεάζει θετικά και βελτιώνει την παρουσία θρεπτικών συστατικών, ειδικά σε σιτηρέσια που προστίθεται ως συμπλήρωμα και έχουν ως βάση το άχυρο. Εξάλλου, το σιτηρέσιο με βάση το άχυρο είναι πολύ διαδεδομένο παγκοσμίως και εφαρμόζεται στο 70% των περιπτώσεων. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός τρόπος, η προσθήκη φυκιών στο σιτηρέσιο, όταν θέλουμε να αυξήσουμε γρήγορα και εύκολα σημαντικούς παράγοντες των σιτηρεσίων όπως, η ενέργεια, οι πρωτεΐνες, οι βιταμίνες, τα μακροστοιχεία και τα ιχνοστοιχεία. Όμως αυτά τα συμπληρώματα διατροφής, ιδιαίτερα των πρωτεϊνών, έχουν αρκετά υψηλό κόστος για τους περισσότερους αγρότες και παραγωγούς και γι' αυτό δεν είναι εύκολο να διατεθούν στις περισσότερες περιπτώσεις. Θα πρέπει, λοιπόν, να γίνουν προσιτές οι τιμές για την χρήση των φυκιών στην διατροφή των ζώων. (S.A.Chowdhury et al., 1994)

Για παράδειγμα, στην δοκιμασία που έγινε για 120 ημέρες, που παρουσιάστηκε πιο πάνω στον Πίνακα 7, το κόστος εισαγωγής φυκιών σε σχέση με την χρήση άλλων συμπληρωμάτων όπως η ελαιόπιτα παρουσιάζεται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 13. Ανάλυση κόστους των δύο σιτηρεσιών, στην περίπτωση που τα ζώα έλαβαν ουρία-μελάσσα-άχυρο και πίτουρο σιταριού, με την προσθήκη είτε ελαιόπιτας σησαμιού, είτε φυκιών, για 120 ημέρες (με την παραδοχή ότι \$ 1 = Tk. 40)

	Ελαιοπλακούντες	Φύκη
Daily feed cost per animal	0.54	0.45
Feed cost in 120 days per animal	64.86	54.30
Price of Wt. gain in 120 d @ \$ 1.25 per kg.	59.85	68.70
Net gain	-5.01	14.40

Το διατροφικό κόστος ήταν 64,9\$ για τα ζώα που στο σιτηρέσιό τους συμπληρώθηκε ελαιόπιτα, ενώ για αυτά που χρησιμοποιήθηκε ως συμπλήρωμα υπερκείμενο καλλιέργειας φυκιών ήταν 54,3\$. Το αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 12, ήταν κέρδος 14,4\$ για κάθε ζώο που τράφηκε με φύκη.

Πέραν αυτού, τα φύκη είναι πλούσια σε καροτίνη, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία και αυτό βοηθά στη πρόληψη σοβαρών ασθενειών, αλλά και στη βελτίωση της υπογονιμότητας, καθώς και της απώλειας νυχτερινής ή και ολικής οράσεως.

Λόγω της αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού, οι ανάγκες για αύξηση στην παραγωγή δημητριακών γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα να μειώνονται σταδιακά οι εκτάσεις καλλιέργειας σανού για την διατροφή των ζώων στις αναπτυσσόμενες χώρες. Γι' αυτό τον λόγο, η καλλιέργεια φυκιών για χρήση στη διατροφή παραγωγικών ζώων, θα μπορούσε να αποτελέσει λύση

στο πρόβλημα, μιας και η μέθοδος ανάπτυξης και παραγωγής των φυκιών δεν απαιτεί ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες και δεν χρειάζονται και μεγάλες εκτάσεις για την ανάπτυξή τους.



Εικόνα 22. Μαζική καλλιέργεια φυκιών

Παρόλα αυτά, ο τρόπος με τον οποίον τα φύκη, ως συμπλήρωμα διατροφής στα σιτηρέσια των παραγωγικών ζώων, βελτιώνουν την πρόσληψη τροφής αλλά και το μικροβιακό άζωτο, δεν έχει κατανοηθεί πλήρως και χρήζει περαιτέρω έρευνας. (S.A.Chowdhury et al., 1994)

Βιβλιογραφία

Becker E.W. (2007). **Micro-algae as a source of protein.** *Biotechnology Advances* 25, 207-210

Brown M.R. (2002). **Nutritional value and use of microalgae in aquaculture.** Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 3 al 6 de Septiembre del 2002. Cancún, Quintana Roo, México.

Bruneel C., Lemahieu C., Fraeye I., Ryckebosch E., Muylaert K., Buyse J., Foubert I. (2013). **Impact of microalgal feed supplementation on omega-3 fatty acid enrichment of hen eggs.** *Journal of Functional Foods.* 897-904

Brown M.R., Jeffrey S.W., Volkman J.K., Dunstan G.A. (1997). **Nutritional properties of microalgae for mariculture.** *Aquaculture.* 315-331

Chowdhury S.A., Huque K.S., and Khatun M. (2010).

Christaki E., Karatzia M., Florou P. (2010). **The use of algae in animal nutrition.** *Journal of the Hellenic veterinary medical society,* 61(3):267-276

Fraeye I., Bruneel C., Lemahieu C., Buyse J., Muylaert K., Foubert I. (2012). **Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review.** *Food Research International* 48, 961-969

Franklin S.T., Martin K.R., Baer R.J., Schingoethe D.J. and Hippen A.R. (2012). **Dietary marine algae (*Schizochytrium* sp.) increases concentrations of conjugated linoleic, docosahexaenoic and transvaccenic acids in milk of dairy cows.** *The Journal of Nutrition.*

Herber S.M. and Van Elswyk M.E. (1996). **Metabolism and Nutrition. Dietary Marine Algae Promotes Efficient Deposition of n-3 Fatty Acids for the Production of Enriched Shell Eggs.** *Poultry Science* 75:1501-1507

Lorenz R.T. and Cysewski G.R. (2000). **Commercial potential for *Haematococcus* microalgae as a natural source of astaxanthin.** *Tibtech*, vol.18

El-Sabagh M.R., Abd Eldaim M.A., Mahboub D.H. & Abdel-Daim M. (2014). **Effects Of *Spirulina Platensis* Algae on Growth Perfomance, Antioxidative Status and Blood Metabolites in Fattening Lambs.** *Journal of Agricultural Science* Vol. 6, No. 3

Reitan K.I., Rainuzzo J.R., Øie G., Olsen Y. (1997). **A review of the nutritional effects of algae in marine fish larvae.** *Aquaculture* 155, 207-221

Πηγές εικόνων

Εικόνα εξωφύλλου	http://www.auraexports.com/images/uploads/img/Amano%20(2)_1365938088_20485.jpg
Εικόνα 1	http://www.4us2be.com/wp-content/uploads/2012/05/Spirulina-Nutritional-Powerhouse-And-A-Meat-Free-Source-Of-Proteins-1.jpg
Εικόνα 2	http://images.forwallpaper.com/files/thumbs/preview/12/124388_algae-fish-sea_p.jpg
Εικόνα 3	http://rethemnosnews.gr/wp-content/uploads/2013/12/fykia.jpg
Εικόνα 4	http://3.bp.blogspot.com/-n17KVIOEj90/U-Uj4ScUVJI/AAAAAABf9A/wfB6hfwxrok/s1600/la-plus-coloree-des-rivieres-se-situe-en-colombie3.jpg
Εικόνα 5	http://paidis.files.wordpress.com/2012/08/seagrass.jpg
Εικόνα 6	http://1.bp.blogspot.com/_ultuZaDYJcg/SJDypCXawjI/AAAAAAAAA0s/AkpUkSuLi4Y/s1600/39_98.jpg
Εικόνα 7	http://www.holistic-relief.com/resources/Lifestem/img9966482e1553921b6.jpg?timestamp=1297889551644
Εικόνα 8	http://vip-group.biz/wp-content/uploads/ErnoLatest_Spirulina_Maxima.jpg
Εικόνα 9	http://growheirloom.com/greensprouts/growing-greens-indoors7.jpg

Εικόνα 10	http://www.newsitamea.gr/wp-content/uploads/2015/07/Fykia-Kokkina.jpg
Εικόνα 11	http://content-mcdn.ethnos.gr/filesystem/images/20090807/low/assets_LARGE_t_420_4893275.JPG
Εικόνα 12	http://www.digitallife.gr/wp-content/uploads/2012/05/Grand-Prismatic-Spring-02.jpg
Εικόνα 13	http://el.inter-pix.com/db/animals/water/underwater_world/m-634062.jpg
Εικόνα 14	http://remedies.ie/wp-content/uploads/2013/09/spirulina.jpg
Εικόνα 15	http://www.biosensepharmacy.com/product%20images/spirulina-sea-algae.jpg
Εικόνα 16	http://catweazle.rgkoelman.nl/images/hoshow/details/HO20091222012.jpg
Εικόνα 17	https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQAGsWMMUHhdxLo2TaAQmin3NgBsISY5ZXeJlIRc5JhNiazFcvjQg
Εικόνα 18	http://newlifestyle.gr/wp-content/uploads/2013/06/8979FC61507CE537CDC3BB96B881C880.jpg
Εικόνα 19	http://www.infokids.gr/wp-content/uploads/2014/08/posidonias03.jpg
Εικόνα 20	http://4.bp.blogspot.com/_ultuZaDYJcg/SJDyoWZ0NXI/AAAAAAAAA0k/E5Ljkqgb-J0/s1600/39_96.jpg

Εικόνα 21	https://snoopit24.files.wordpress.com/2014/11/fykia3.jpg?w=640
Εικόνα 22	http://www.healthyme.gr/system/assets/000/000/154/show_spirulina.jpg?1350015706