



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΔΠΜΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΓΡΙΟΔΙΑΤΡΟΦΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση της ξηρασίας στα μορφολογικά και φυσιολογικά
χαρακτηριστικά του *Gossypium hirsutum* (βαμβάκι) και
Abutilon theophrasti (αγριοβαμβακιά).**

Αναστασία Ζώτου

Επιβλέπων: Νικόλαος Κορρές

Δρ. Αναπληρωτής καθηγητής

Ιωάννινα, Μάιος, 2024

Impact of drought on the morphological and physiological characteristics of *Gossypium hirsutum* (cotton) and *Abutilon theophrasti* (velvetleaf).

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Ιωάννινα, 22/10/2024

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Νικόλαος Κορρές,

Δρ., Αναπληρωτής καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Χαράλαμπος Καριπίδης

Δρ., Καθηγητής Α΄ Βαθμίδας

3. Μέλος επιτροπής

Δήμητρα Λόκα

Δρ., Ερευνήτρια Γ΄ ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ

© Ζώτου, Αναστασία, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εκ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Ζώτου, Αναστασία

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τις επιπτώσεις της ξηρασίας στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού (*Gossypium hirsutum*) και της αγριοβαμβακιάς (*Abutilon theophrasti*). Χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα σε περιβάλλον θερμοκηπίου, αξιολογήθηκε η ανταπόκρισή τους σε διαφορετικά επίπεδα υδατικής καταπόνησης. Οι διαφορετικές εντάσεις υδατικής καταπόνησης περιλάμβαναν άρδευση κάθε δύο ημέρες, με ποσότητες νερού 1000ml (μη καταπόνηση - μάρτυρας), 800ml (ήπια καταπόνηση), 600ml (μέτρια καταπόνηση) και 400ml (ισχυρή καταπόνηση). Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τις αρνητικές επιπτώσεις της ξηρασίας, οι οποίες ήταν εντονότερες σε συνθήκες μέτριας και ισχυρής καταπόνησης. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μείωση του ύψους και της ξηρής βιομάζας και στα δύο είδη, με το βαμβάκι να εμφανίζει μείωση κατά ~56% στο ύψος και ~60% στη βιομάζα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε καθυστέρηση στην ανάπτυξη του βαμβακιού στο αναπαραγωγικό στάδιο, ενώ η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη μειώθηκε και για τα δύο είδη σε ποσοστό ~55%. Τέλος, παρατηρήθηκε αύξηση στην παραγωγή των αντιοξειδωτικών προλίνης και φαινόλων, ως ανταπόκριση των φυτών στην ξηρασία. Στο βαμβάκι, η προλίνη αυξήθηκε κατά ~500% και οι φαινόλες κατά ~300%, ενώ στην αγριοβαμβακιά η αύξηση ήταν επίσης σημαντική.

Λέξεις-κλειδιά: αβιοτικό στρες, αντιοξειδωτικά, χλωροφύλλη, φαινόλες, προλίνη, βιομάζα, στάδιο ανάπτυξης.

Abstract

This study investigates the effects of drought on the morphological and physiological characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Using experimental data in a greenhouse environment, their response to different levels of water stress was evaluated. The different levels of water stress included irrigation every two days with water amounts of 1000 ml (no stress - control), 800 ml (mild stress), 600 ml (moderate stress), and 400 ml (severe stress). The results demonstrate the negative impacts of drought, with the effects being more pronounced under moderate and severe stress conditions. Specifically, there was a reduction in height and dry biomass in both species, with cotton showing a greater reduction, approximately ~56% in height and ~60% in biomass. Additionally, there was a delay in the reproductive stage development of cotton, while chlorophyll content decreased for both species by ~55%. Finally, an increase in the production of the antioxidants proline and phenols was observed as a response of the plants to drought. In cotton, proline increased by ~500% and phenols by ~300%, while in velvetleaf, the increase was also significant.

Keywords: abiotic stress, antioxidants, chlorophyll, phenols, proline, biomass, growth stage.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	6
Abstract	7
1 Εισαγωγή.....	10
1.1 Η καλλιέργεια του βαμβακιού	11
1.2 Ο ρόλος των ζιζανίων στο βαμβάκι	14
1.2.1 Αγριοβαμβακιά (<i>Abutilon theophrasti</i> Medik)	14
1.3 Κλιματική αλλαγή και ξηρασία.....	15
1.4 Επιπτώσεις ξηρασίας στο βαμβάκι	16
1.5 Επιπτώσεις ξηρασίας στην αγριοβαμβακιά.....	19
1.6 Σκοπός εργασίας.....	20
2 Μέθοδοι και Υλικά	21
2.1 Τοποθεσία και πειραματικό σχέδιο	21
2.2 Φυτικό υλικό	21
2.3 Εκτίμηση βλαστικότητας και ζωτικότητας.....	21
2.3.1 Εκτίμηση βλαστικής ικανότητας σπόρων	21
2.3.2 Προσδιορισμός της ζωτικότητας των σπόρων αγριοβαμβακιάς με δοκιμή Τετραζολίου	22
2.4 Εδαφική ανάλυση	23
2.5 Εγκατάσταση θερμοκηπιακού πειράματος.....	23
2.6 Μετρήσεις	24
2.6.1 Στάδιο ανάπτυξης	24
2.6.2 Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη	24
2.6.3 Ύψος.....	25
2.6.4 Βιομάζα.....	25
2.6.5 Αντιοξειδωτικά	25
2.7 Επεξεργασία δεδομένων	27
3 Αποτελέσματα	28
3.1 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο ύψος των φυτών βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς	28

3.2	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη ξηρή βιομάζα των φυτών βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς	29
3.3	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού	30
3.4	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης	31
3.4.1	Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης στο βαμβάκι	31
3.4.2	Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης στην αγριοβαμβακιά	32
3.5	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης	34
3.5.1	Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης στο βαμβάκι	34
3.5.2	Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης στην αγριοβαμβακιά	35
3.6	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών	36
3.6.1	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών στο βαμβάκι	36
3.6.2	Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών στην αγριοβαμβακιά	37
4	Συζήτηση.....	39
5	Συμπεράσματα – Πρακτική εφαρμογή	41
	Βιβλιογραφία	42

1 Εισαγωγή

Το βαμβάκι, μια από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες παγκοσμίως, κατέχει για πολλά χρόνια τον κεντρικό ρόλο στις παγκόσμιες βιομηχανίες της κλωστοϋφαντουργίας. Η καλλιέργεια του βαμβακιού, ειδικά του είδους *Gossypium hirsutum*, αποτελεί ζωτικό μέσο για τη διασφάλιση του εισοδήματος των βαμβακοπαραγωγών. Αυτό συμβάλλει στην ανάπτυξη και τη διατήρηση της τοπικής οικονομίας στις βαμβακοπαραγωγικές περιοχές ενισχύοντας έτσι την οικονομική τους σταθερότητα (Khan et al., 2020). Ωστόσο, οι διαφαινόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θέτουν σε κίνδυνο την βιωσιμότητα της καλλιέργειας λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, και κατ' επέκταση την διαθεσιμότητα σε νερό αλλά και την αλλαγή στη συχνότητα των βροχοπτώσεων (Khan et al., 2020; Li et al., 2019; Petersen, 2019). Τα φαινόμενα ξηρασίας γίνονται όλο και πιο συχνά και εκδηλώνονται με μεγαλύτερη σφοδρότητα, απαιτώντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των επιπτώσεων τους τόσο στις καλλιέργειες όσο και στη φυσική βλάστηση (Costinot et al., 2016; Voloudakis et al., 2018).

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρουσία ζιζανίων, συμπεριλαμβανομένης της αγριοβαμβακιάς (*Abutilon theophrasti* Medik), ένα ζιζάνιο άμεσα συνδεδεμένο με την καλλιέργεια του βαμβακιού, εντείνει περισσότερο τα προβλήματα που ήδη αναφέρθηκαν παραπάνω. Η αγριοβαμβακιά, ένα χωροκατακτητικό ζιζάνιο, μπορεί να ευδοκιμήσει σε διάφορες συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων και αυτών με εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας (UCIPM, n.d.; Xiong et al., 2018). Η συνύπαρξή του με τις καλλιέργειες βαμβακιού θέτει ερωτήματα σχετικά με τον ανταγωνισμό για τους διαθέσιμους εδαφικούς πόρους και τις πιθανές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε αυτά τα δύο φυτικά είδη (Ma et al., 2016; Tariq et al., 2020).

Επομένως, η μελέτη της επίδρασης της ξηρασίας στην μορφολογία και φυσιολογία του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς, δεδομένης της υποβόσκουσας κλιματικής αλλαγής, θα μας επιτρέψει να βελτιστοποιήσουμε την διαχείριση της καλλιέργειας του βαμβακιού. Επίσης, θα μας επιτρέψει να μελετήσουμε την συμπεριφορά της αγριοβαμβακιάς σε τέτοιες συνθήκες. Η παρούσα έρευνα, όσο γνωρίζουμε, αποτελεί το πρώτο βήμα προς μια τέτοια κατεύθυνση. Για την κατανόηση των επιπτώσεων της ξηρασίας στο βαμβάκι και στην αγριοβαμβακιά μελετήθηκαν α) τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών όπως π.χ. ύψος, έναρξη αναπαραγωγικού σταδίου, παραγωγή ξηρής βιομάζας και β) τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών σε συνθήκες ξηρασίας και συγκεκριμένα η περιεκτικότητα τους σε προλίνη και φαινόλες.

1.1 Η καλλιέργεια του βαμβακιού

Το βαμβάκι (*Gossypium* spp., φυλή *Gossypieae*, οικογένεια *Malvaceae*) είναι μια από τις αρχαιότερες καλλιέργειες και χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ίνας τουλάχιστον 7000 χρόνια. Το γένος *Gossypium* αποτελείται από 23 είδη φυτών που απαντώνται σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές με τροπικά και υποτροπικά κλίματα. Μόνο τέσσερα είδη χρησιμοποιούνται για σχεδόν όλη την παγκόσμια παραγωγή βαμβακιού και είναι τα εξής: *Gossypium hirsutum* (>90% της παγκόσμιας παραγωγής), *G. barbadense* (3%-4% της παγκόσμιας παραγωγής), *G. arboreum* και *G. herbaceum* (περίπου 2% της παγκόσμιας παραγωγής, μαζί). (Cope, 2018).

Το βαμβάκι είναι αροτραία καλλιέργεια η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ινών και ο βιολογικός κύκλος του διακρίνεται στα εξής στάδια ανάπτυξης: Βλάστηση και ανάδυση του σπορόφυτου στην επιφάνεια του εδάφους (στάδιο φυτρώματος), στάδιο πρώτης ανάπτυξης, στάδιο προάνθησης, στάδιο ανθοφορίας, και στάδιο ωρίμανσης. Κάθε στάδιο χαρακτηρίζεται από διαφορετικές φυσιολογικές διεργασίες και ανάγκες σε θρεπτικά συστατικά. Το βαμβάκι ευδοκimeί σε θερμά κλίματα, καθώς οι αυξημένες θερμοκρασίες είναι ζωτικής σημασίας για όλα τα προαναφερθέντα στάδια ανάπτυξης (Engonopoulos et al., 2021).

Το βαμβάκι θεωρείται η πιο διαδεδομένη και κερδοφόρα μη edώδιμη καλλιέργεια παγκοσμίως, αποτελώντας τη βασικότερη βιομηχανική καλλιέργεια σε πολλές εθνικές οικονομίες ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι ίνες βαμβακιού χρησιμεύουν ως πρώτη ύλη για τις κλωστοϋφαντουργικές βιομηχανίες και το ετήσιο οικονομικό τους αντίκτυπο ξεπερνά τα 600 δισεκατομμύρια δολάρια. Το 2019, η παγκόσμια έκταση βαμβακιού εκτιμήθηκε ότι ξεπέρασε τα 20 εκατομμύρια εκτάρια, ενώ η παγκόσμια παραγωγή σύσπορου βαμβακιού εκτιμήθηκε περίπου στα 25 εκατομμύρια τόνους (Εικόνα 1) (Engonopoulos et al., 2021). Σήμερα, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του USDA (Foreign Agricultural Services), οι δέκα πρώτες χώρες της παγκόσμιας παραγωγής βαμβακιού για το 2023-2024 είναι: η Κίνα (24%), η Ινδία (23%), η Βραζιλία (13%), οι Ηνωμένες Πολιτείες (11%), το Πακιστάν (6%), η Αυστραλία (4%), η Τουρκία (3%), το Ουζμπεκιστάν (3%), η Αργεντινή (1%) και το Μάλι (1%) (USDA, 2024).



Εικόνα 1. Παγκόσμια παραγωγή σύσπορου βαμβακιού από το 1961 έως το 2018 (Πηγή: Engonopoulos et al., 2021).

Στην Ευρώπη, το βαμβάκι παράγεται μόνο σε τρεις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) σε περίπου 320 χιλιάδες εκτάρια. Η Ελλάδα αποτελεί την κύρια χώρα βαμβακοκαλλιέργειας, καθώς διαθέτει το 80% των ευρωπαϊκών εκτάσεων, με την Ισπανία (κυρίως η περιφέρεια της Ανδαλουσίας) να ακολουθεί με μερίδιο 20% και τη Βουλγαρία να παράγει βαμβάκι σε εκτάσεις μικρότερες από χίλια εκτάρια. Μολονότι το βαμβάκι αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 0.2% της αξίας της ευρωπαϊκής γεωργικής παραγωγής, έχει μεγάλη σημασία για τις περιφέρειες των δύο κύριων χωρών παραγωγής της ΕΕ. Το 2018, η παραγωγή βαμβακιού στην ΕΕ εκτιμάται σε 340 χιλιάδες τόνους, που αντιστοιχούν μόνο στο 1% της παγκόσμιας παραγωγής βαμβακιού. (European Commission, 2013).

Η καλλιέργεια βαμβακιού στην Ελλάδα, άρχισε να εδραιώνεται μετά τον Α' παγκόσμιο πόλεμο με τη συστηματική του καλλιέργεια να αποκτά ισχύ μετά το 1931, όπου και δημιουργήθηκαν οι πρώτοι οργανισμοί βάμβακος. Οι οργανισμοί αυτοί είχαν ως στόχο την προώθηση της καλλιέργειας και τη εμπορίας του βαμβακιού, αλλά και τη γενικότερη ανάπτυξη της βιομηχανίας των προϊόντων του (Αυγουλάς & Κούτρου-Αυγουλά, 1997). Σταθμός, για τη μετέπειτα εξέλιξη της βαμβακοκαλλιέργειας στην Ελλάδα αποτέλεσε η ένταξη της στην ΕΕ το 1981, όπου η παραγωγή βαμβακιού παρουσίασε αλματώδη αύξηση (Εικόνα 2), κυρίως λόγω της στήριξης από την Κοινή Αγροτική Πολιτική της ΕΕ (Engonopoulos et al., 2021).



Εικόνα 2. Παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην Ελλάδα από το 1961 έως το 2018 (Πηγή Engonopoulos et al., 2021).

Σήμερα στην Ελλάδα, το βαμβάκι αποτελεί πιθανότατα τη σημαντικότερη αροτραία καλλιέργεια της χώρας, καθώς καλύπτει σχεδόν το 50% των αρδευόμενων εκτάσεων ενώ έχει υπολογιστεί ότι η καλλιέργεια του αποτελεί την κύρια πηγή εισοδήματος για περισσότερα από 100 χιλιάδες ελληνικά νοικοκυριά (Tsaliki et al., 2024). Ταυτόχρονα, η παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων με βάση το βαμβάκι περιλαμβάνεται μεταξύ των σημαντικότερων βιομηχανικών κλάδων απασχόλησης εργατικού δυναμικού (Engonopoulos et al., 2021; Tsaliki et al., 2024).

Το βαμβάκι σπέρνεται από τις αρχές Μαρτίου έως τα μέσα Απριλίου και ανάλογα με την ποικιλία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, συλλέγεται συνήθως 170-210 ημέρες μετά (Engonopoulos et al., 2021). Κυριότερες περιοχές παραγωγής βαμβακιού στον ελλαδικό χώρο αποτελούν η Θεσσαλία, Μακεδονία, Θράκη και Στερεά Ελλάδα (Darawsheh et al., 2022).

Το βαμβάκι ευδοκίμει σε θερμά κλίματα, καθώς οι αυξημένες θερμοκρασίες είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη του. Ένα βέλτιστο εύρος θερμοκρασίας για τις βιοχημικές και μεταβολικές δραστηριότητες του βαμβακιού κυμαίνεται μεταξύ 23.5 και 32°C. Η άρδευση της καλλιέργειας θεωρείται από τις σημαντικές διαδικασίες διαχείρισης της βαμβακοκαλλιέργειας, ειδικά σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές. Ανάλογα με τις βροχοπτώσεις και την δομή του εδάφους, το βαμβάκι απαιτεί 6-7 εκατομμύρια λίτρα νερού ανά εκτάριο. Η έλλειψη νερού μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη του, καθώς επηρεάζει τη λειτουργία των φύλλων, τον σχηματισμό των ανθοφόρων οφθαλμών και τον μεταβολισμό της σακχαρόζης (Engonopoulos et al., 2021). Η ποικιλία, το κλίμα, το έδαφος, το νερό και οι γεωργικές πρακτικές συγκαταλέγονται στους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και την ποιότητα της καλλιέργειας. Για την ικανοποιητική παραγωγή βαμβακιού, ακόμη και αν η

ποικιλία, η λίπανση και η άρδευση γίνονται με τον κατάλληλο τρόπο, οι απώλειες στην απόδοση θα είναι αναπόφευκτες αν δεν εφαρμοστεί αποτελεσματική διαχείριση κατά των παθογόνων και των ζιζανίων (Pala & Mennan, 2021).

1.2 Ο ρόλος των ζιζανίων στο βαμβάκι

Τα ζιζάνια θεωρούνται σημαντικός βιοτικός παράγοντας για την μείωση της τελικής παραγωγής σε μια καλλιέργεια συμπεριλαμβανομένου και του βαμβακιού. Τα ζιζάνια ανταγωνίζονται την καλλιέργεια του βαμβακιού για νερό, θρεπτικά στοιχεία, φως και χώρο, ειδικά από το στάδιο φυτρώματος του βαμβακιού μέχρι και τους πρώτους δύο μήνες της ανάπτυξης του (Pala & Mennan, 2021). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αρνητική επίδραση των ζιζανίων στο βαμβάκι, προκαλώντας μείωση της ανάπτυξης, εξάντληση των θρεπτικών συστατικών, μείωση της ποιότητας και της απόδοσης του. Σχετικά με την απόδοση έχει αναφερθεί πως η μείωση κυμαίνεται σε ποσοστό 40 έως 85 % (Nalini et al., 2015). Αν και η παρουσία ζιζανίων είναι επιβλαβής για τη δυνητική απόδοση, η έκταση των απωλειών εξαρτάται από τον τύπο των ζιζανίων, την πυκνότητα, τη διάρκεια του ανταγωνισμού ζιζανίων-βαμβακιού, και το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας (Tariq et al., 2020). Τα είδη ζιζανίων που απαντώνται σε αγρούς βαμβακιού μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Ορισμένα από τα πιο ζημιογόνα και συχνά παρατηρούμενα ζιζάνια σε καλλιέργειες βαμβακιού είναι η αγριοβαμβακιά (Manalil et al., 2017; Mausbach et al., 2022; Pala & Mennan, 2021).

1.2.1 Αγριοβαμβακιά (*Abutilon theophrasti* Medik)

Η αγριοβαμβακιά (*Abutilon theophrasti* Medik. ή Velvetleaf) είναι ένα ετήσιο θερινό πλατύφυλλο ζιζάνιο της οικογένειας Malvaceae, το οποίο προέρχεται από την Ασία. Ωστόσο, το είδος αυτό έχει εξαπλωθεί και πλέον εγκατασταθεί σε διάφορα μέρη του κόσμου. Αναπτύσσεται σε ανοιξιάτικες αροτραίες καλλιέργειες και προτιμά τα ζεστά, αμμοπηλώδη ή πηλώδη εδάφη, πλούσια σε υγρασία και θρεπτικά στοιχεία. Το κύριο στέλεχος της αγριοβαμβακιάς φέρει δευτερεύοντα στελέχη και τα έμμισχα φύλλα της αναπτύσσονται σε εναλλασσόμενη διάταξη κατά μήκος των στελεχών του φυτού. Το πλάτος των φύλλων είναι συνήθως 2 έως 5 ίντσες (5 – 12.5 εκατοστά), αλλά μπορεί να φτάσει και τις 10 έως 12 ίντσες (25 – 30 εκατοστά). Τα άνθη έχουν διάμετρο ενός έως δυόμιση εκατοστών, και αποτελούνται από πέντε κίτρινα πέταλα σε σχήμα καρδιάς που είναι στελεχωμένα και βρίσκονται μεμονωμένα ή σε συστάδες στο σημείο όπου ο μίσχος των φύλλων συναντά το στέλεχος. Τέλος, η παραγωγή σπόρων συνήθως κυμαίνεται από 700 έως 17.000 σπόρους ανά φυτό, αν

και έχει παρατηρηθεί παραγωγή έως και 28.000 σπόρους. Τα αυξανόμενα προβλήματα του ζιζανίου αυτού αποδίδονται στην υψηλή παραγωγή σπόρων και στην υψηλή βιωσιμότητα τους καθώς μπορούν να παραμείνουν βιώσιμοι στο έδαφος για πάνω από πενήντα χρόνια. (UCIPM, undated; Xiong et al., 2018)

Η αγριοβαμβακιά αποτελεί ένα κοινό και προβληματικό ζιζάνιο σε διάφορες καλλιέργειες όπως στο καλαμπόκι, στη σόγια, στο σόργο και στο βαμβάκι (Xiong et al., 2018). Ειδικότερα στο βαμβάκι, σύμφωνα με τους Ma et al. (2016), διαπιστώθηκαν δυσμενείς επιπτώσεις της αγριοβαμβακιάς στην ανάπτυξη και στη απόδοση του βαμβακιού και κρίθηκε αναγκαία η αποτελεσματική διαχείριση αυτού του είδους τόσο όταν η πυκνότητα του ζιζανίου είναι μεγαλύτερη από 0.25 έως 0.5 φυτά ανά τετραγωνικό μέτρο όσο και πριν από την ωρίμανση των σπόρων του ζιζανίου.

1.3 Κλιματική αλλαγή και ξηρασία

Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει την συχνότητα και την ένταση των περιόδων ξηρασίας παγκοσμίως, με σημαντικές επιπτώσεις στη γεωργία. Η άνοδος της θερμοκρασίας και η αλλαγή των καιρικών συνθηκών συμβάλλουν σε παρατεταμένες περιόδους λειψυδρίας που απειλούν βασικές καλλιέργειες όπως το ρύζι, η σόγια και το βαμβάκι. Η καλλιέργεια του βαμβακιού, και ειδικότερα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ίνας, επηρεάζονται από την παρατεταμένη ξηρασία (Darawsheh et al., 2022). Επίσης, η ανάπτυξη των φυτών μεταβάλλεται με αλλαγές στη δομή τους, οι οποίες μεταφράζονται εκτός των άλλων σε μείωση του ύψους και του υπέργειου βάρους τους (Eid et al., 2022; Liu et al., 2023; Silva et al., 2013).

Τα τελευταία χρόνια, η κλιματική αλλαγή απειλεί τη γεωργία σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδίως μέσω μεταβολών στη θερμοκρασία, λόγω της αύξησης στη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (Pala & Mennan, 2021). Η κλιματική αλλαγή επιφέρει αυξανόμενες πιέσεις στη γεωργία, με την ξηρασία να αναδεικνύεται σε ιδιαίτερα έντονο πρόβλημα, και η καλλιέργεια βαμβακιού δεν αποτελεί εξαίρεση σε αυτές τις προκλήσεις. Καθώς τα κλιματικά πρότυπα συνεχίζουν να μεταβάλλονται, τα φαινόμενα ξηρασίας γίνονται όλο και πιο συχνά, θέτοντας σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα και την παραγωγικότητα των βαμβακοκαλλιεργειών. Η καλλιέργεια του βαμβακιού, βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη σταθερή διαθεσιμότητα νερού καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης του φυτού.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι απόψεις για τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή βαμβακιού διίστανται (Darawsheh et al., 2022; Engonopoulos et al., 2021). Για παράδειγμα, αν και η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την ξηρασία θα

μπορούσαν να έχουν αρνητικές συνέπειες στο ρυθμό ανάπτυξης και στην απόδοση του βαμβακιού, από την άλλη, οι υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες (εντός βέλτιστου εύρους ανάπτυξης του φυτού), θα μπορούσαν να αυξήσουν την απόδοση του (Engonopoulos et al., 2021).

1.4 Επιπτώσεις ξηρασίας στο βαμβάκι

Αν και οι απόψεις για τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στο βαμβάκι διαφέρουν, είναι βέβαιο ότι η ξηρασία αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για την καλλιέργεια του βαμβακιού, καθώς επηρεάζεται σημαντικά από την έλλειψη νερού (Abdelraheem et al., 2019; Ullah et al., 2017). Γενικά, η λειψυδρία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες αβιοτικού στρες που περιορίζουν την ανάπτυξη των φυτών (Deeba et al., 2012).

Ειδικότερα στο βαμβάκι, η καταπόνηση που προέρχεται από τη ξηρασία (drought stress) προκαλεί ένα ευρύ φάσμα μορφο-φυσιολογικών και βιοχημικών αλλαγών που επηρεάζουν δυσμενώς την ανάπτυξη καθώς και την παραγωγικότητα του (Ullah et al., 2017). Σχετικά με την ανάπτυξη του βαμβακιού, υπόκειται σε σοβαρούς περιορισμούς, καθώς επηρεάζονται το ύψος των φυτών, η ανάπτυξη των βλαστών, το βάρος των φύλλων, το βάρος του στελέχους, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index), ο αριθμός των κόμβων, η ποιότητα των ινών, η ανάπτυξη της κόμης και της ρίζας (Ullah et al., 2017).

Στις μελέτες των Jayalalitha et al. (2015), Zhang et al. (2016), και Zonta et al. (2015), παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της απόδοσης σε σύσπορο βαμβάκι στα πιο ευαίσθητα στάδια ανάπτυξης, όπως π.χ. ο σχηματισμός των οφθαλμών, η ανθοφορία και σχηματισμός καρπού όταν η ποσότητα νερού δεν ήταν επαρκής. Επιπρόσθετα, σημειώθηκαν σημαντικές μειώσεις στο ύψος και το βάρος των φυτών, στους καρπούς ανά φυτό, και στους συμποδιακούς κλάδους (καρποφόροι κλάδοι) των βλαστών.

Επίσης, κατά τη διάρκεια συνθηκών ξηρασίας μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός φωτοσύνθεσης, ο ρυθμός διαπνοής, η στοματική αγωγιμότητα, και η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (Hasan et al., 2018; Ullah et al., 2017). Συγκεκριμένα, η χλωροφύλλη βρίσκεται στους χλωροπλάστες, και η περιεκτικότητά τους σε χλωροφύλλη α και χλωροφύλλη β καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού. Τα φυτά βαμβακιού χαρακτηρίζονται από μείωση της χλωροφύλλης α και β όσο και της συνολικής χλωροφύλλης σε συνθήκες ξηρασίας, αποδυναμώνοντας την φωτοσυνθετική τους ικανότητα (El Sabagh et al., 2020; Shavkiev et al., 2020; Zahid et al., 2021).

Τα ποσοστά μείωσης χλωροφύλλης διαφέρουν από φυτό σε φυτό αλλά και ανάμεσα σε διάφορες ποικιλίες του ίδιου φυτού (Hamblin et al., 2014). Σύμφωνα με τους Rehman et al. (2022) παρατηρήθηκαν διαφορετικές μειώσεις στην περιεκτικότητα χλωροφύλλης από την επίδραση της ξηρασίας σε διάφορες ποικιλίες του βαμβακιού, χωρίς ωστόσο καμία τους να είναι στατιστικά σημαντική. Επιπλέον, οι Zahid et al. (2021) κατέγραψαν μείωση στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης α, αλλά όχι στην χλωροφύλλη β, εξαιρουμένης της ποικιλίας NIAB-512, όπου παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση, όταν εξέθεσαν διάφορες ποικιλίες βαμβακιού σε συνθήκες ξηρασίας. Επιπρόσθετα, όσο αναφορά τη συνολική περιεκτικότητα χλωροφύλλης, παρατηρήθηκε γενική τάση μείωσης της σε όλους τους γονότυπους εκτός από τον NIAB-512. Τέλος, σχετικά με την επίδραση της ξηρασίας στη χλωροφύλλη του βαμβακιού έχει καταγραφεί διόγκωση των μεμβρανών των χλωροπλάστων, και συσσώρευση σταγονιδίων λιπιδίων στο εσωτερικό τους (Shavkiev et al., 2020).

Οι επιδράσεις της ξηρασίας στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης του βαμβακιού, έχει άμεσο αντίκτυπο και στη φωτοσυνθετική του ικανότητα, που οδηγεί σε μείωση της ανάπτυξης και της απόδοσης του. Η μείωση της φωτοσύνθεσης σχετίζεται με τα κύρια συστατικά του χλωροπλάστη, τα οποία περιορίζουν άμεσα το φωτοσυνθετικό δυναμικό του φυτού (Shavkiev et al., 2020). Συνήθως, οι επιδράσεις στη φωτοσυνθετική ικανότητα του βαμβακιού προκαλούνται από το κλείσιμο των στομάτων, το οποίο οδηγεί στη μειωμένη πρόσληψη CO₂ (Ullah et al., 2017).

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τόσο το βαμβάκι όσο και άλλα φυτά έχουν αποκτήσει ένα ευρύ φάσμα μορφο-φυσιολογικών, βιοχημικών και μοριακών μηχανισμών ως απάντηση σε πολλαπλές καταπονήσεις που τους επιτρέπουν να αποφεύγουν ή/και να αντέχουν αυτούς τους παράγοντες καταπόνησης εξασφαλίζοντας την επιβίωση τους σε αντίξοες συνθήκες. (Ullah et al., 2017; Zahid et al., 2021).

Στις διάφορες περιβαλλοντικές καταπονήσεις όπως οι συνθήκες ξηρασίας, οι μεταβολικές διεργασίες των φυτών ενεργοποιούν την παραγωγή ενεργών μορφών οξυγόνου (Reactive Oxygen Species - ROS) εντός των κυττάρων τους. Αν και οι ROS διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο σε διάφορα κυτταρικά οργανίδια, όπως τα μιτοχόνδρια, οι χλωροπλάστες και τα υπεροξυσώματα (Zhang et al., 2014), ωστόσο τα αυξημένα επίπεδα ROS (κατάσταση γνωστή ως οξειδωτικό στρες) είναι επιβλαβή για τα φυτά και μπορούν να μεταβάλουν τις φυσιολογικές, μορφολογικές και μεταβολικές διεργασίες των κυττάρων τους (Qamer et al., 2021). Οι ROS είναι επιβλαβείς για τον κυτταρικό μηχανισμό του φυτού μέσω της οξείδωσης

των φωτοσυνθετικών χρωστικών και της αποικοδόμησης των λιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης, των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων (Rehman et al., 2022).

Τα φυτά προάγουν την παραγωγή διαφόρων ενζυμικών και μη-ενζυμικών αντιοξειδωτικών ως αμυντικό μηχανισμό σε φαινόμενα οξειδωτικής καταπόνησης. Δύο από τα πιο κοινά μη-ενζυμικά αντιοξειδωτικά είναι η προλίνη, ένα αμινοξύ που δρα ως οσμολύτης, και οι φαινόλες (Das & Roychoudhury, 2014; Majeed et al., 2019; Qamer et al., 2021).

Η προλίνη αποτελεί την πιο κοινή οσμωρυθμιστική διαλυτή ουσία στα φυτά (Rehman et al., 2022) και ως αντιοξειδωτική ένωση, συμβάλλει στην προστασία των κυττάρων από τις επιβλαβείς επιπτώσεις του οξειδωτικού στρες που προκαλείται από την ξηρασία (Kishor et al., 2015). Συντίθεται από το L-γλουταμινικό οξύ ως υπόστρωμα, μέσω ενός ενδιάμεσου 5-καρβοξυλικής πυρρολίνης (P5C). Αυτή η οδός στα φυτά καταλύεται από δύο ένζυμα, την πυρρολίνο-5-καρβοξυλική συνθετάση (P5CS) και την πυρρολίνο-5-καρβοξυλική αναγωγή (P5CR). Κατά τη διάρκεια της καταπόνησης, η προλίνη συσσωρεύεται στα φυτά σε μεγάλες ποσότητες, γεγονός που οφείλεται είτε σε αυξημένη σύνθεση είτε σε μειωμένη αποικοδόμηση (Das & Roychoudhury, 2014). Τέλος, συμβάλλει στην απενεργοποίηση των ελευθέρων ριζών (Krishnan et al., 2008), σταθεροποιεί λειτουργικές μονάδες όπως το αναγωγικό περιβάλλον του κυτταροπλάσματος, και προστατεύει τις μεμβράνες και τις ενζυμικές δομές (Banerjee & Roychoudhury, 2021).

Οι φαινόλες είναι δευτερογενείς μεταβολίτες που συσσωρεύονται σε συνθήκες έλλειψης νερού για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες συγκεντρώσεις ROS. Η συσσώρευση αυτή αποδίδεται στη μετατροπή της περίσσειας υδατανθράκων που συσσωρεύονται από τη μείωση της μεταφοράς σακχάρων σε άλλα μέρη του φυτού. Προκειμένου να διατηρηθεί η ισορροπία μεταξύ μεταβολικής πηγής και σημείου παραγωγής σακχάρων, οι υδατάνθρακες μετατρέπονται σε φαινόλες. Η συνολική περιεκτικότητα των φυτών σε φαινόλες συσχετίζεται θετικά με την αντιοξειδωτική δραστηριότητα. Με την παρουσία μεγάλων ποσοτήτων φαινολικών η αντιοξειδωτική δραστηριότητα αυξάνεται σημαντικά. Επιπλέον, οι ελεύθερες φαινόλες χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς με τους υδατάνθρακες του κυτταρικού τοιχώματος αποτρέποντας την απώλεια νερού από το κύτταρο (Rehman et al., 2022).

Υπό το πρίσμα των πιθανών επιδράσεων που μπορεί να έχουν οι αλλαγές στον μεταβολισμό των αντιοξειδωτικών, στην ανοχή των φυτών στην ξηρασία, ένας σημαντικός όγκος ερευνών έχει στρέψει την προσοχή του στον τομέα αυτό αναφορικά με το φυτό του

βαμβακιού (Deeba et al., 2012). Παράδειγμα αποτελεί η πρόσφατη μελέτη των Rehman et al., 2022, που πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση σε επτά καλλιεργούμενες ποικιλίες του *Gossypium hirsutum* ως προς την επίδραση της καταπόνησης ξηρασίας στην ωσμωρύθμιση, την αντιοξειδωτική δράση και τη συσσώρευση δευτερογενών μεταβολιτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως όλες οι ποικιλίες επέδειξαν αυξημένη περιεκτικότητα σε προλίνη για τη διατήρηση της ακεραιότητας της μεμβράνης και της πίεσης σπαργής του κυττάρου. Επίσης, η περιεκτικότητα σε φαινόλες ήταν υψηλότερη στην ποικιλία FH-942, ενώ μειώθηκε σημαντικά στις υπόλοιπες. Τέλος, η ποικιλία VH-327 είχε την υψηλότερη υπεροξειδωση των λιπιδίων που υποδεικνύει οξειδωτικό στρες, μειωμένη δραστηριότητα των αντιοξειδωτικών και μειωμένα επίπεδα προστατευτικών δευτερογενών μεταβολιτών.

Επιπλέον, οι Eid et al. (2022) σε μετρήσεις των φαινολών και της προλίνης σε δύο ποικιλίες βαμβακιού (Giza 86 και Giza 92) στη διάρκεια δύο καλλιεργητικών περιόδων κατέγραψαν σημαντική αύξηση τόσο των φαινολικών ενώσεων όσο και της περιεκτικότητας σε προλίνη, ιδίως στην ποικιλία Giza 92.

1.5 Επιπτώσεις ξηρασίας στην αγριοβαμβακιά

Διάφορες μελέτες έχουν διερευνήσει τις επιπτώσεις της ξηρασίας στο ζιζάνιο αγριοβαμβακιά, εξετάζοντας διάφορες πτυχές της ανάπτυξης και της αναπαραγωγικής ικανότητας του σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Τα βασικά ευρήματα αυτών των ερευνών περιλαμβάνουν σημαντικές μειώσεις τόσο στην ανάπτυξη όσο και στην παραγωγή σπόρων των φυτών όταν υποβάλλονται σε στρες ξηρασίας, όπως παρατηρήθηκε στις μελέτες των (Sung & Krieg, 1979; Ward et al., 1999). Οι Sadeghlou et al. (2013), διαπίστωσαν δυσμενείς επιπτώσεις στη βλάστηση των σπόρων και την εμφάνιση των σποροφύτων, ενώ οι Hinz & Owen (1994) παρατήρησαν ότι οι συνθήκες υδατικής καταπόνησης προκαλούσαν γραμμική μείωση του υδατικού και του ωσμωτικού δυναμικού των φύλλων με την πάροδο του χρόνου στην αγριοβαμβακιά. Οι Munger et al. (1987) ανέφεραν ότι, καθώς το υδατικό δυναμικό των φύλλων μειωνόταν στα φυτά του ζιζανίου, η αγωγιμότητα των στομάτων, οι ρυθμοί διαπνοής, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και κατά συνέπεια η φωτοσύνθεση μειώνονταν. Παρόμοια αποτελέσματα ανέδειξε και η μελέτη των Schmidt et al. (2011), όπου ανέφεραν μειωμένους ρυθμούς διαπνοής και μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη της αγριοβαμβακιάς υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Μια ακόμη επίδραση της ξηρασίας στην αγριοβαμβακιά αποτελεί και η αυξημένη ανταγωνιστική ικανότητα που αποκτά το

συγκεκριμένο ζιζάνιο ανάμεσα σε άλλα είδη ζιζανίων σε περιόδους θερμικής καταπόνησης, όπως αποκάλυψαν οι Eaton et al. (1976).

Σε πρόσφατη έρευνα των Mausbach et al. (2022), διερευνήθηκε η επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ανάπτυξη και τη γονιμότητα (παραγωγή σπόρων) της αγριοβαμβακιάς με τη χρήση αισθητήρων εδαφικής καταπόνησης. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μεταχειρίσεις υδατοϊκανότητας (Field Capacity - FC) 100%, 75%, 50% και 25% για να προσομοιάσουν τους διαφορετικούς βαθμούς υδατικής καταπόνησης, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι η ξηρασία επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη και την παραγωγή σπόρων της αγριοβαμβακιάς. Συγκεκριμένα, τα φυτά που υποβλήθηκαν σε συνθήκες υψηλής υδατικής καταπόνησης (25% FC) παρουσίασαν μειωμένο αριθμό φύλλων, ύψος φυτών και δείκτη ανάπτυξης σε σύγκριση με τα φυτά που διατηρήθηκαν στο 75% και 100% υδατοϊκανότητας. Ομοίως, τα φυτά σε 100% και 75% FC πέτυχαν μέγιστο ύψος φυτών (108 έως 123 cm) σε σύγκριση με 83 cm, όπου είχαν τα φυτά με 50% FC. Τέλος, όσον αφορά την επιβίωση των φυτών αγριοβαμβακιάς που εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη, η πλειονότητα αυτών που διατηρήθηκαν στο 25% FC δεν επέζησε περισσότερο από 77 ημέρες μετά τη μεταφύτευση, υποδεικνύοντας υψηλή ευαισθησία στην ξηρασία.

1.6 Σκοπός εργασίας

Η παρούσα εργασία επιδιώκει να εξετάσει τις επιπτώσεις της ξηρασίας στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού (*Gossypium hirsutum*) και της αγριοβαμβακιάς (*Abutilon theophrasti*). Η έρευνα επικεντρώνεται σε παράγοντες όπως το στάδιο ανάπτυξης, η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, το ύψος, η βιομάζα και η παραγωγή των αντιοξειδωτικών προλίνη και φαινόλες. Με την ανάλυση αυτών των παραμέτρων, επιδιώκεται η κατανόηση των προσαρμογών που λαμβάνουν τα φυτά σε συνθήκες ξηρασίας και η αξιολόγηση της σημασίας των αντιοξειδωτικών σε αυτές τις διαδικασίες.

2 Μέθοδοι και Υλικά

2.1 Τοποθεσία και πειραματικό σχέδιο

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο θερμοκήπιο και στα εργαστήρια της Σχολής Γεωπονίας, Πανεπιστημιούπολη Άρτας (39.121105 N, 20.945015 W) μεταξύ Μαΐου και Οκτωβρίου 2023, ακολουθώντας ένα τυχαιοποιημένο σχέδιο σε πλήρη συγκροτήματα (blocks) με μία ανεξάρτητη μεταβλητή (υδατική καταπόνηση) και 4 επίπεδα αυτής (1000, 800, 600 και 400 ml νερού). Οι μεταχειρίσεις υδατικής καταπόνησης εφαρμόστηκαν σε φυτά βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς τα οποία υποβλήθηκαν σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης από το στάδιο της προάνθησης και έπειτα για διάστημα ενός μήνα. Ο συνολικός αριθμός φυτών που εκτέθηκαν στις παραπάνω μεταχειρίσεις ήταν 192 (96 για βαμβάκι και 96 για την αγριοβαμβακιά).

2.2 Φυτικό υλικό

Οι σπόροι της αγριοβαμβακιάς προήλθαν από τον Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό ΔΗΜΗΤΡΑ (ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ) με έδρα τη Θεσσαλονίκη, ενώ οι σπόροι του βαμβακιού (ποικιλία Olivia Stoneville, Stoneville, Mississippi, USA) από την εταιρεία BASF Ελλάς Α.Β.Ε.Ε., η οποία είναι ανθεκτική σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης (BASF, 2024).

Καθώς η ποιότητα του γενετικού υλικού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή εγκατάσταση και ανάπτυξη του φυτικού είδους προς εξέταση ακόμα και σε μη ιδανικές συνθήκες (Begum et al., 2022), η ποιότητα των σπόρων αγριοβαμβακιάς ελέγχθηκε λεπτομερώς αναφορικά με την υγιεινή τους (συρρίκνωση, βλαστικότητα, βιωσιμότητα). Αντίθετα, οι σπόροι του βαμβακιού δεν υποβλήθηκαν σε ανάλογη δοκιμή λόγω της προϋπάρχουσας πιστοποίησης από την εταιρεία εμπορίας τους.

2.3 Εκτίμηση βλαστικότητας και ζωτικότητας

Η αξιολόγηση των σπόρων της αγριοβαμβακιάς πραγματοποιήθηκε μέσω δοκιμών της βλαστικής ικανότητας και ζωτικότητας, χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν αξιόπιστους δείκτες για την αξιολόγηση της ικανότητας ενός σπόρου να βλαστήσει.

2.3.1 Εκτίμηση βλαστικής ικανότητας σπόρων

Ο έλεγχος της βλαστικότητας του σπόρου της αγριοβαμβακιάς βασίστηκε στο πρωτόκολλο που ορίζει η Διεθνής Ένωση Ελέγχου Σπόρων (International Seed Testing Association – ISTA). Σύμφωνα με την ISTA, ως βλαστικότητα ορίζεται η εμφάνιση και η ανάπτυξη του σπορόφυτου

σε ένα στάδιο όπου η όψη των βασικών δομών του δείχνει αν είναι σε θέση να εξελιχθεί περαιτέρω σε ένα ικανοποιητικό φυτό υπό ευνοϊκές συνθήκες στο έδαφος. Βάση του ορισμού, η βλαστική ικανότητα εκφράζει το ποσοστό (%) των ζωντανών σπόρων που υπό ευνοϊκές συνθήκες βλαστάνουν (Atieno et al., 2021; Castillo et al., 2020).

Πραγματοποιήθηκαν 10 επαναλήψεις των 20 σπόρων η κάθε μία, έτσι ώστε το δείγμα να αποτελείται συνολικά από 200 σπόρους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε διηθητικό χαρτί, και τοποθετήθηκε μέσα σε απολυμανθέντα πλαστικά σκεύη (τριβλία). Στη συνέχεια το χαρτί εμποτίστηκε με απιονισμένο νερό και τοποθετήθηκαν 20 σπόροι σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους ανά τριβλίο. Προηγουμένως κάθε σπόρος είχε ποτιστεί με 5ml διαλύματος απιονισμένου νερού και μυκητοκτόνου Captan.

Τα τριβλία στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ανάπτυξης με σταθερή θερμοκρασία 25°C, σχετική υγρασία 90% και φωτοπερίοδο 14 ωρών. Οι σπόροι παρέμειναν στο θάλαμο για 14 ημέρες και η καταγραφή της βλαστικότητας γινόταν κάθε 2 ημέρες. Ως κριτήριο για την απαρίθμηση των βλαστημένων σπόρων τέθηκε η έξοδος ριζιδίου στα 2mm. Το τελικό αποτέλεσμα της βλαστικής ικανότητας που μετρήθηκε από τον αριθμό των βλαστημένων σπόρων της τελευταίας μέτρησης κατείχε ποσοστό 90%.

2.3.2 Προσδιορισμός της ζωτικότητας των σπόρων αγριοβαμβακιάς με δοκιμή

Τετραζολίου

Η ζωτικότητα του σπόρου εκφράζει την ικανότητα του να βλαστήσει και να παράγει το σπορόφυτο. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται συνώνυμα με την ικανότητα βλάστησης. Υπό αυτή την έννοια, ένας σπόρος θεωρείται είτε βιώσιμος είτε μη βιώσιμος, ανάλογα με την ικανότητά του να βλαστήσει και να παράγει ένα κανονικό σπορόφυτο.

Ο προσδιορισμός της βιωσιμότητας των σπόρων με δοκιμή τετραζολίου αποτελεί μια αξιόπιστη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την ανάλυση της φυσιολογικής ποιότητας του σπόρου. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε από τον Lakon (1949) και βασίζεται στο χαρακτηριστικό του τετραζολίου (2,3,5-triphenyltetrazolium chloride) να αντιδρά με υδρογόνο που απελευθερώνεται κατά την ενζυματική δραστηριότητα της υδρογονάσης στους ζωντανούς ιστούς. Αυτό οδηγεί στον σχηματισμό μιας αδιάλυτης χρωστικής, γνωστής ως φορμαζάνη. Έτσι, όταν τα σπόρια βυθίζονται σε ένα διάλυμα τετραζολίου, οι ζωντανοί ιστοί χρωματίζονται με κόκκινη απόχρωση. Στους μη ζωντανούς ιστούς, το χρώμα παραμένει αμετάβλητο, διευκολύνοντας έτσι τον διαχωρισμό μεταξύ ζωντανών και μη ζωντανών σπόρων (França-Neto & Krzyzanowski, 2019).

Για την εκτίμηση της ζωτικότητας των σπόρων της αγριοβαμβακιάς ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με αυτής της βλαστικής ικανότητας με τη διαφορά ότι κάθε σπόρος, πριν την εισαγωγή του στο θάλαμο, εμβαπτίστηκε σε 2ml διαλύματος απιονισμένου νερού και τετραζολίου. Οι σπόροι παρέμειναν στο θάλαμο για 2 ημέρες με το ποσοστό των ενεργών σπόρων (έντονη κόκκινη χρώση) να ανέρχεται στο 98%.

2.4 Εδαφική ανάλυση

Οι εδαφολογικές δοκιμές αποτελούν ένα ακριβές και απαραίτητο εργαλείο για την αξιολόγηση της κατάστασης γονιμότητας των εδαφών. Αναλύοντας το έδαφος σε μια συγκεκριμένη περιοχή, μπορούμε να κατανοήσουμε τις διαφορές στην σύσταση του εδάφους και την θρεπτικότητά του, περιλαμβάνοντας στοιχεία όπως η δομή, η υφή, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, pH, κ.α. Η επιτυχία των αναλύσεων εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα των ερευνητικών δεδομένων που είναι διαθέσιμα για τη βαθμονόμηση και την ερμηνεία των δοκιμών (Peck & Soltanpour, 1990). Προκειμένου να επιβεβαιωθεί η καταλληλότητα του υποστρώματος για την καλλιέργεια του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς, στο θερμοκήπιο, πριν από τη σπορά, το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα αναλύθηκε.

Αρχικά, δείγμα υποστρώματος συλλέχθηκε από το αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Στη συνέχεια, το δείγμα υποβλήθηκε σε χημική ανάλυση από το εργαστήριο αναλύσεων "Biolab", στην Άρτα. Η ανάλυση κάλυπτε τη σύσταση του εδάφους σε άργιλο, ύλη και άμμο.

Με βάση τα ποσοστά από την ανάλυση του εδάφους το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των φυτών στο θερμοκήπιο χαρακτηρίζεται ως αργιλοπηλώδες (CL), με ποσοστό αργίλου, ιλύος και άμμου 30,7%, 32,4%, και 36,8% αντίστοιχα.

2.5 Εγκατάσταση θερμοκηπιακού πειράματος

Χρησιμοποιήθηκαν 192 πλαστικές γλάστρες, χωρητικότητας πέντε λίτρων η κάθε μια. Σε κάθε γλάστρα τοποθετήθηκε υπόστρωμα το οποίο αποτελούνταν από μείξη ψιλοχωματισμένου εδάφους από το αγρόκτημα του Τμήματος Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και καστανής τύρφης σε αναλογία 1:1. Στη συνέχεια, οι γλάστρες μεταφέρθηκαν σε χώρο θερμοκηπίου όπου και διαχωρίστηκαν σε τέσσερις ξεχωριστές ομάδες (μπλοκ). Κάθε μπλοκ απαρτιζόταν από 48 γλάστρες, 24 για τη σπορά του βαμβακιού και 24 για τη σπορά της αγριοβαμβακιάς.

Κατά τη διαδικασία της σποράς, επιλέχθηκε να φυτευτούν δύο σπόροι σε κάθε γλάστρα με σκοπό την εξασφάλιση της βλάστησης. Σε περίπτωση βλάστησης και των δύο σπόρων επιλέγονταν το πιο ζωτικό φυτό, το οποίο αρδεύονταν καθημερινά για χρονικό διάστημα 2 μηνών. Με την πάροδο του προαναφερόμενου χρονικού διαστήματος και όταν τα φυτά του βαμβακιού βρίσκονταν στο στάδιο της προάνθησης υποβλήθηκαν, μαζί με αυτά της αγριοβαμβακιάς, στις προγραμματιζόμενες πειραματικές μεταχειρίσεις. Οι διαφορετικές εντάσεις υδατικής καταπόνησης περιλάμβαναν άρδευση κάθε δύο ημέρες, με τις ακόλουθες ποσότητες νερού: 1000ml (μη καταπόνηση - μάρτυρας), 800ml (ελαφρά καταπόνηση), 600ml (μέτρια καταπόνηση) και 400ml (ισχυρή καταπόνηση).

2.6 Μετρήσεις

Κατά τη διάρκεια και το πέρας του πειράματος προσδιορίστηκαν τα ακόλουθα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς: το στάδιο ανάπτυξης, η συγκέντρωση χλωροφύλλης, το ύψος, η βιομάζα, η συγκέντρωση προλίνης, και η ολική περιεκτικότητα φαινολών.

2.6.1 Στάδιο ανάπτυξης

Το στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού καταγράφηκε κατά την περίοδο της ανθοφορίας του (10^η εβδομάδα – 70 ημέρες από τη σπορά) και κατά το στάδιο του καρυδιού (13^η εβδομάδα - 91 ημέρες από τη σπορά).

2.6.2 Περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη

Η χλωροφύλλη αποτελεί την κυριότερη χρωστική ουσία για τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των φυτών. Τα συστατικά της χλωροφύλλης αποτελούν σημαντικό στοιχείο των φύλλων, αναδεικνύοντας την ουσιαστική τους συμβολή στη γενική υγεία του φυτού (H. Zhang et al., 2022). Κατ' επέκταση, η μέτρηση της, αποτελεί χρήσιμο δείγμα για τη διερεύνηση των επιδράσεων της ξηρασίας στην υγεία και την ανάπτυξη των φυτών (Jin et al., 2021).

Στην παρούσα μελέτη, η διαδικασία της μέτρησης της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη στα φυτά του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς ξεκίνησε δύο μήνες μετά τη σπορά και διήρκεσε ένα μήνα. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν εβδομαδιαία από το τέταρτο φύλλο του κάθε φυτού και ως εργαλείο καταγραφής, χρησιμοποιήθηκε το CL-01 Chlorophyll Meter της Hansatech Instruments Ltd. Οι τιμές των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της περιεκτικότητας της συνολικής χλωροφύλλης, με βάση την εξίσωση 1 (Kalaji et al., 2017).

$$y = 2.3636x + 4.2828$$

(Εξίσωση 1)

Όπου y = περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης ($a+b$); x = τιμή CL-01

2.6.3 Ύψος

Στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκε μέτρηση του τελικού ύψους των φυτών από κάθε πειραματική μεταχείριση. Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν πριν την συγκομιδή τους και μετά το πέρας των τριών μηνών ανάπτυξης τους σε συνθήκες θερμοκηπίου. Έπειτα τα φυτά συγκομίστηκαν ομοιόμορφα από την αρχή των βλαστών τους.

2.6.4 Βιομάζα

Μετά την συγκομιδή τους, τα φυτά, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου διατηρήθηκαν σε συνθήκες δωματίου για περίπου δύο εβδομάδες μέχρι την πλήρη αποξήρανση τους, η οποία διαπιστώθηκε με συνεχείς μετρήσεις τυχαία επιλεγμένων φυτών σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στη συνέχεια, μετρήθηκε το ξηρό βάρος κάθε φυτού με ζυγό ακριβείας.

2.6.5 Αντιοξειδωτικά

Κατά το στάδιο των πειραματικών μεταχειρίσεων στο θερμοκήπιο, πραγματοποιήθηκαν εβδομαδιαίες κοπές του τέταρτου και πέμπτου φύλλου από κάθε φυτό, για το προσδιορισμό της προλίνης και των φαινολών αντίστοιχα. Τα κομμένα φύλλα, τοποθετήθηκαν σε ειδικές σακούλες, και διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία -20°C έως την διαδικασία εκχύλισης τους.

2.6.5.1 Διαδικασία εκχύλισης και προσδιορισμού προλίνης

Η διαδικασία εκχύλισης και προσδιορισμού της προλίνης που εφαρμόστηκε βασίζεται στη μέθοδο που περιγράφεται από τον Bates et al. (1973). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ζύγιση νωπού φυτικού ιστού με βάρος 0,1 γραμμαρίου, το οποίο κονιορτοποιήθηκε σε πορσελάνινο γουδί. Στη συνέχεια, προστέθηκαν 2 ml διαλύματος αιθανόλης 70% (70 ml αιθανόλης και 30 ml απιονισμένου νερού) στο δείγμα, και ακολουθήθηκε η διαδικασία λειοτρίβησης του. Έπειτα, προστέθηκαν ακόμα 2 ml διαλύματος αιθανόλης 70%, και το δείγμα τοποθετήθηκε σε κατάλληλα αριθμημένα φιαλίδια Falcon των 15 ml. Τέλος, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο ψυγείο για 24 ώρες.

Σε κάθε φιαλίδιο Falcon που περιείχε το επεξεργασμένο δείγμα όπως προαναφέρθηκε, προστέθηκαν 2 ml διαλύματος νινιδρίνης και 1 ml εκχυλίσματος φυτικού ιστού. Τα φιαλίδια πωματίστηκαν και υποβλήθηκαν σε δόνηση με τη χρήση του αναδευτήρα vortex για 10-15 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 95°C βαθμών Κελσίου, όπου διατηρήθηκαν για 25 λεπτά. Έπειτα, τοποθετήθηκαν σε δοχείο με πάγο (iced bath) και υποβλήθηκαν σε φυγόκεντρο στις 4000 στροφές για 5 λεπτά. Τέλος, το υπερκείμενο μεταφέρθηκε σε κυψελίδα και η απορρόφηση μετρήθηκε στο φωτόμετρο UV-VIS στα 520 nm.

Ως ρυθμιστικό διάλυμα (τυφλό) χρησιμοποιήθηκε διάλυμα 2 ml νινιδρίνης και 1 ml διαλύματος αιθανόλης 70%.

Ο υπολογισμός της προλίνης βασίστηκε στην καμπύλη αναφοράς και εκφράστηκε σε $\mu\text{mol leaf DW}^{-1}$ από τα mmol της προλίνης στη μάζα φύλλου που ελήφθη κατά την πειραματική διαδικασία.

2.6.5.2 Διαδικασία εκχύλισης και προσδιορισμού φαινολών

Για τη διαδικασία της εκχύλισης των φαινολικών ενώσεων ακολουθήθηκε η μέθοδος των Nashwa & Abdel-Aziz (2014). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο, τα φύλλα υποβλήθηκαν σε διαδικασία ξήρανσης σε ξηραντικό φούρνο στους 40 βαθμούς Κελσίου για 48 ώρες. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ζύγιση ξηρού φυτικού ιστού με βάρος 0,4 γραμμαρίων, το οποίο κονιορτοποιήθηκε σε πορσελάνινο γουδί. Έπειτα, προστέθηκαν 10 ml αιθανόλης 80% (80 ml αιθανόλης και 20 ml απιονισμένου νερού) στο δείγμα, και ακολουθήθηκε η διαδικασία λειοτρίβησης του. Τέλος, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κατάλληλα αριθμημένα φιαλίδια Falcon των 15 ml, και διατηρήθηκαν στο ψυγείο για 24 ώρες.

Για τον προσδιορισμό των φαινολών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Folin-Ciocalteu. Συγκεκριμένα, σε νέα, κατάλληλα αριθμημένα φιαλίδια Falcon των 15 ml, προστέθηκαν 250 μl δείγματος που προαναφέρθηκε και αναμίχθηκαν με 0,5 ml αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu. Μετά από ένα λεπτό προστέθηκαν 5,25 ml απιονισμένου νερού και 4 ml Na_2CO_3 7,5% w/v και πραγματοποιήθηκε ανάμειξη στον αναδευτήρα Vortex. Ακολουθήσε παραμονή δυο ωρών στο σκοτάδι σε θερμοκρασία δωματίου για να αναπτυχθεί και να σταθεροποιηθεί το χρώμα της αντίδρασης. Τέλος μετρήθηκε η απορρόφηση των δειγμάτων στα 765 nm στο φασματοφωτόμετρο UV-VIS, χρησιμοποιώντας ως τυφλό 0,5 ml αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu, 1,5 ml Na_2CO_3 7,5% w/v και 8 ml απιονισμένου νερού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, εκφράζονται ως ισοδύναμα mg γαλλικού οξέος /L (mg G.A.E./L).

Ο υπολογισμός της Folin βασίστηκε στην καμπύλη αναφοράς. Αρχικά, προσδιορίστηκε η συγκέντρωση σε mg/L του εκχυλίσματος όγκου 10 ml, και στη συνέχεια προσδιορίστηκε η ποσότητα σε mg των ολικών φαινολικών στα 10 ml (τα οποία προέρχονται από την εκχύλιση μάζας φύλλων). Τέλος τα ολικά φαινολικά των 10 ml εκφράστηκαν με βάση την μάζα φύλλου σε g από την οποία προέρχονται το δείγμα που λήφθηκε προς ανάλυση.

2.7 Επεξεργασία δεδομένων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ύψους, ξηρής βιομάζας, χλωροφύλλης, προλίνης και συνολικών φαινολών αναλύθηκαν με την μέθοδο ανάλυσης της παραλλακτικότητας (ANOVA) με το JMP Pro 17 για Windows (SAS) στατιστικό πακέτο και οι μέσοι όροι ανά πειραματική μεταχείριση ή αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πειραματικών μεταχειρίσεων συγκρίθηκαν με το LSD test. Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων σχετικά με τα στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση παλινδρόμησης με ονομαστικές μεταβλητές (nominal regression analysis), κατάλληλη ποιοτικές δυαδικές μεταβλητές.

3 Αποτελέσματα

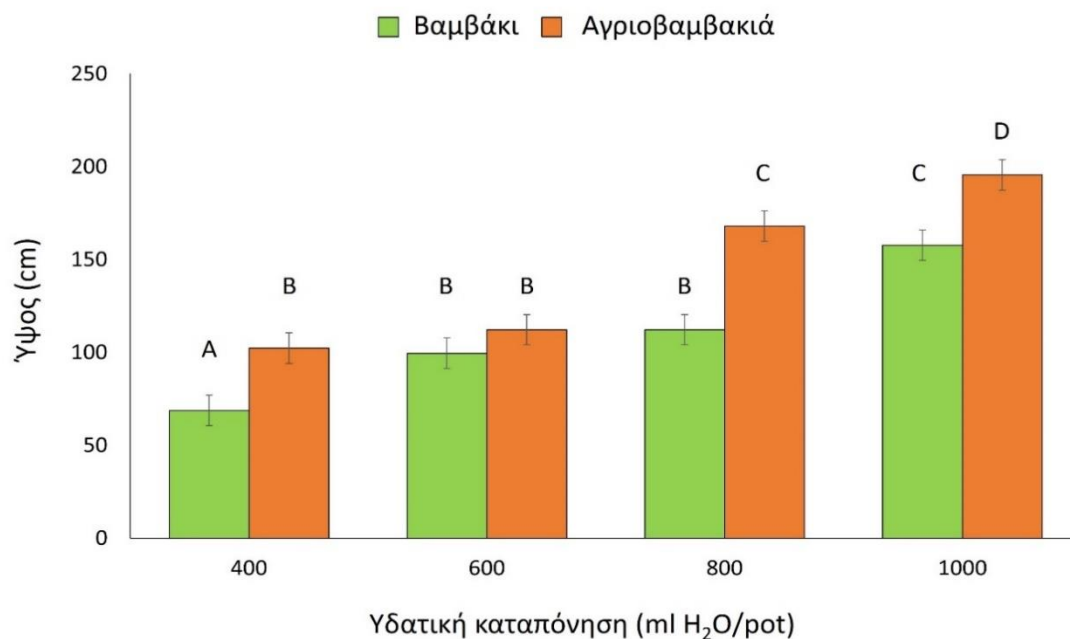
3.1 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο ύψος των φυτών βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς

Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο ύψος του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.1$ στατιστικό επίπεδο. Επιπλέον, η επίδραση του είδους είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$) όπως επίσης και αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών (YK * είδος) ($\alpha=0.1$) (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Ανάλυση παραλλακτικότητας για την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο ύψος.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Άθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	26991.29	5.5711	0.0011
Είδος	1	1	100741.69	62.3802	<.0001
YK *Είδος	3	3	22191.13	4.5803	0.0041

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ είδος όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 3 καταδεικνύει τις διαφορές στο ύψος του βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/pot). Παρατηρείται ότι η αγριοβαμβακιά είναι υψηλότερη από το βαμβάκι στις μεταχειρίσεις των 800 και 1000 ml H₂O ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των φυτών της αγριοβαμβακιάς σε συνθήκες μέτριας και ισχυρής υδατικής καταπόνησης (600 και 400 ml H₂O). Αντίθετα, στο βαμβάκι παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών μεταξύ της ισχυρής υδατικής καταπόνησης σε σύγκριση με αυτή στα 600 και 800, όπως επίσης και των τελευταίων με την πειραματική μεταχείριση στα 1000 ml H₂O/pot.



Εικόνα 3. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο ύψος του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς. Σημείωση: Στήλες με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο $\alpha=0.1$.

3.2 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη ξηρή βιομάζα των φυτών βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς

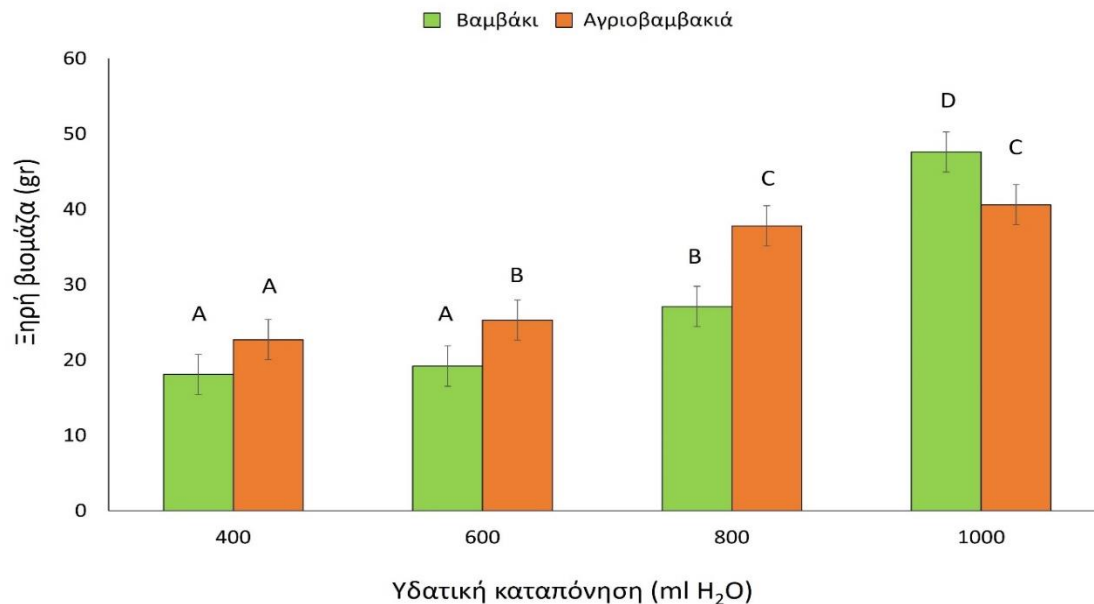
Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή ξηρής βιομάζας του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.01$ στατιστικό επίπεδο. Ωστόσο, η επίδραση του είδους δεν είναι στατιστικά σημαντική, ενώ η αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών παρατηρήθηκε ως στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.1$) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Ανάλυση παραλλακτικότητας για την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη βιομάζα.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Αθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	15774.881	30.8664	<.0001
Είδος	1	1	443.293	2.6021	0.1084
YK *Είδος	3	3	3437.312	6.7257	0.0002

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ είδος όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 4 καταδεικνύει τις διαφορές στη παραγωγή ξηρής βιομάζας του βαμβακιού και αγριοβαμβακιάς υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/pot).

Παρατηρείται ότι η παραγωγή ξηρής βιομάζας του βαμβακιού είναι μεγαλύτερη από αυτή της αγριοβαμβακιάς στις μεταχειρίσεις των 1000 ml H₂O, ενώ στις μεταχειρίσεις των 800 και 600 ml H₂O παρατηρείται το αντίθετο. Τέλος, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ειδών σε συνθήκες ισχυρής υδατικής καταπόνησης (400 ml H₂O).



Εικόνα 4. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ξηρή βιομάζα του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς. Σημείωση: Στήλες με το ίδιο γράμμα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο $\alpha=0.1$.

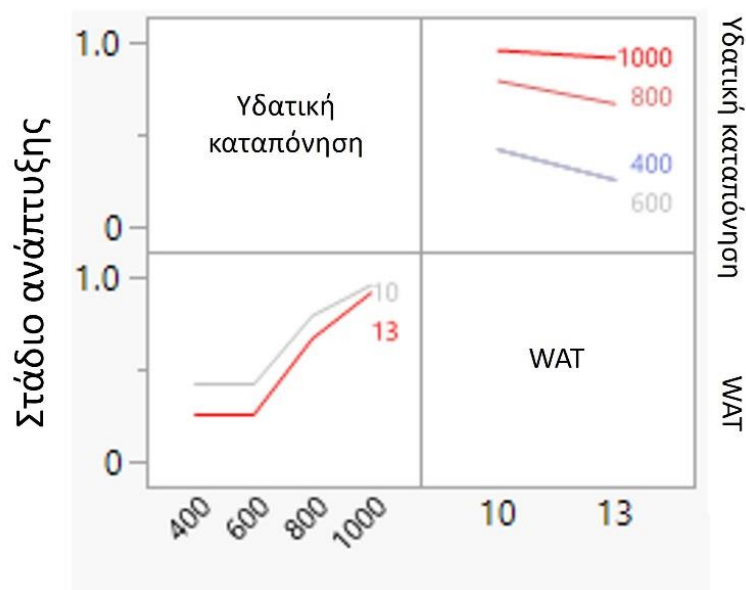
3.3 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού

Η ανάλυση παλινδρόμησης αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.01$ στατιστικό επίπεδο. Ωστόσο, η επίδραση των εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης (EMK) δεν είναι στατιστικά σημαντική, όπως και η αλληλεπίδραση των δύο αυτών μεταβλητών ($\alpha=0.1$) (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Ανάλυση παλινδρόμησης για την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο στάδιο ανάπτυξης.

Πηγή παλινδρόμησης	N παράμετροι	BE	X ² τεστ	Prob > X2 τεστ
Υδατική καταπόνηση	3	3	26.718	<.0001*
Εβδομάδες μετά την έναρξη της καταπόνησης (EMK)	1	1	1.512	0.2188
Υδατική καταπόνηση*EMK	3	3	0.023	0.9991

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ EMK όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 5 καταδεικνύει τις διαφορές στα στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/pot). Τόσο στη 10η εβδομάδα (στάδιο ανθοφορίας), όσο και στη 13η (στάδιο καρυδιού), παρατηρείται ότι το βαμβάκι παρουσίασε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα ανάπτυξης στις μεταχειρίσεις των 800 και 1000 ml H₂O, συγκριτικά με τις συνθήκες μέτριας και ισχυρής υδατικής καταπόνησης (600 και 400 ml H₂O), όπου δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Εικόνα 5. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού.

3.4 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης

3.4.1 Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης στο βαμβάκι

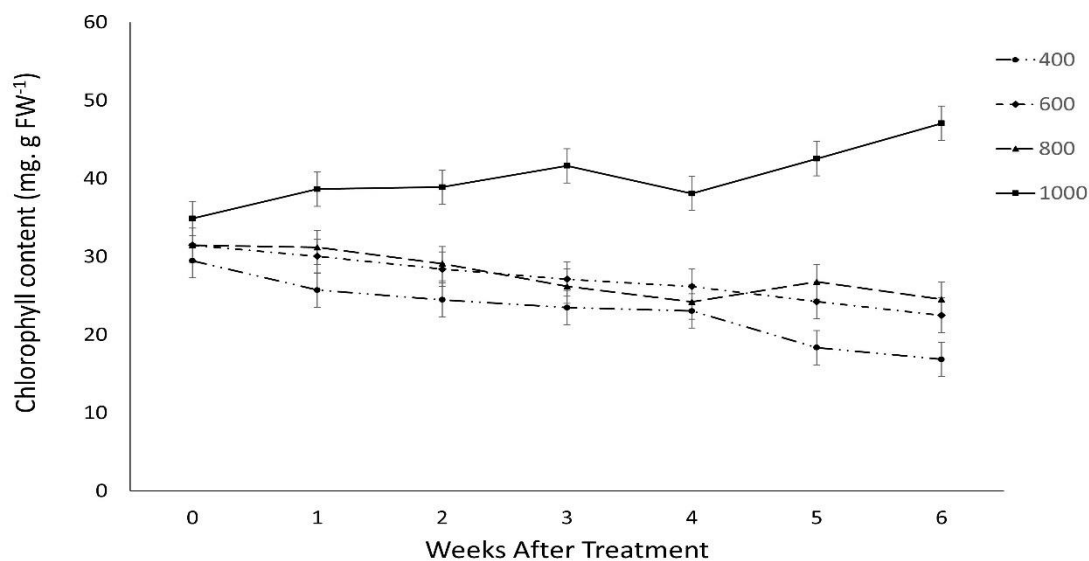
Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης του βαμβακιού έδειξε ότι υπάρχουν οριακά στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.5$ στατιστικό επίπεδο. Επιπλέον, η επίδραση των εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$) όπως επίσης και αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών ($\alpha=0.01$) (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Ανάλυση παραλλακτικότητας στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης στα φύλλα βαμβακιού.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Αθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
---------------------------	-----------------	----	------------------------	---------	----------

Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	247.345	2.6143	0.0514
Εβδομάδες μετά την έναρξη της καταπόνησης (EMK)	6	6	938.5062	4.9598	<.0001
Υδατική καταπόνηση*EMK	18	18	2744.7085	4.8351	<.0001

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ EMK όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 6 καταδεικνύει τις διακυμάνσεις της περιεκτικότητας της ολικής χλωροφύλλης στο βάμβακι υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/plot). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα στις μεταχειρίσεις των 1000 ml H₂O αυξάνονταν ανά εβδομάδα μετά την έναρξη της πειραματικής μεταχείρισης, ενώ στις μεταχειρίσεις των 400, 600 και 800 ml H₂O συνέβη το αντίθετο. Υπό συνθήκες καταπόνησης η τάση μείωσης της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη, άσχετα με τις μη στατιστικά σημαντικές αυξομειώσεις, είναι χαρακτηριστική ακόμα και όταν τα φυτά υποβληθούν σε καθεστώς ήπιας καταπόνησης.



Εικόνα 6. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ολική περιεκτικότητα χλωροφύλλης στο βαμβάκι. Οι κατακόρυφες ράβδοι αντιπροσωπεύουν το τυπικό σφάλμα των μέσων όρων.

3.4.2 Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης στην αγριοβαμβακιά

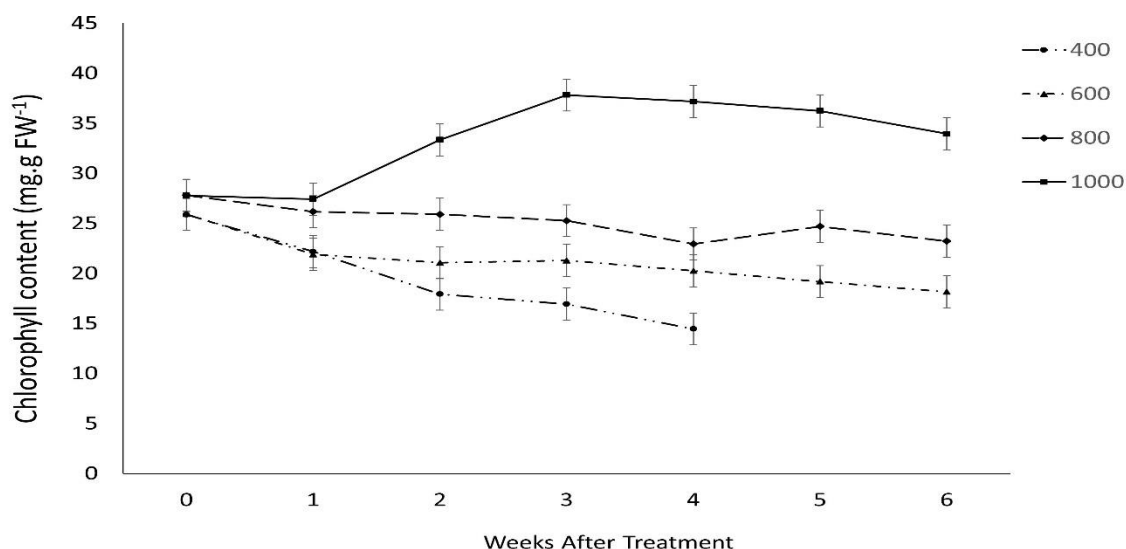
Η ανάλυση παραλλακτικότητας αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης της αγριοβαμβακιάς έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.5$ στατιστικό επίπεδο. Αντίθετα, η επίδραση των

εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$) όπως επίσης και αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών ($\alpha=0.01$) (Πίνακας 5).

Πίνακας 5. Ανάλυση παραλλακτικότητας στην περιεκτικότητα ολικής χλωροφύλλης στα φύλλα αγριοβαμβακιάς.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Άθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	55.5277	0.6806	0.5644
Εβδομάδες μετά την έναρξη της καταπόνησης (EMK)	6	4	1026.2827	9.4343	<.0001
Υδατική καταπόνηση*EMK	18	16	3094.0824	7.1108	<.0001

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ EMK όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 7 καταδεικνύει τις διακυμάνσεις της περιεκτικότητας της ολικής χλωροφύλλης στην αγριοβαμβακιά υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/plot). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η περιεκτικότητα στις μεταχειρίσεις των 1000 ml H₂O αυξάνονταν ανά εβδομάδα μετά την έναρξη της πειραματικής μεταχείρισης, ενώ στις μεταχειρίσεις των 400, 600 και 800 ml H₂O συμβαίνει το αντίθετο. Σημειώνεται ότι στις μεταχειρίσεις των 400 ml H₂O δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της χλωροφύλλης του φυτού μετά από την 4^η εβδομάδα λόγω της πτώσης των φύλλων.



Εικόνα 7. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ολική περιεκτικότητα χλωροφύλλης στην αγριοβαμβάκιά.

3.5 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης

3.5.1 Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης στο βαμβάκι

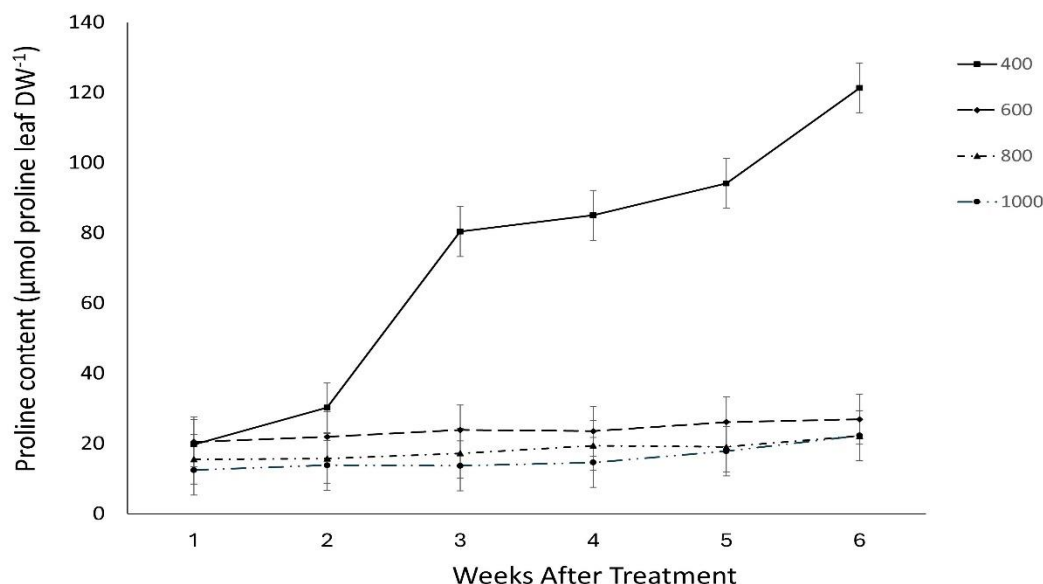
Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης του βαμβακιού έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.5$ στατιστικό επίπεδο. Αντίθετα, η επίδραση των εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$) όπως επίσης και αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών ($\alpha=0.5$) (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Ανάλυση παραλλακτικότητας στην παραγωγή προλίνης στο βαμβάκι.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Άθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	25.664	0.0107	0.9985
Εβδομάδες μετά την έναρξη της καταπόνησης (EMK)	6	5	29426.135	7.3366	<.0001
Υδατική καταπόνηση*EMK	18	15	23817.407	1.9794	0.0338

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ EMK όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 8 καταδεικνύει τις διακυμάνσεις της παραγωγής προλίνης στο βαμβάκι υπό διάφορες συνθήκες

υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/plot). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η παραγωγή προλίνης στις μεταχειρίσεις των 400 ml H₂O αυξήθηκε σημαντικά ανά εβδομάδα μετά την έναρξη της ισχυρής καταπόνησης σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.



Εικόνα 8. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης στο βαμβάκι.

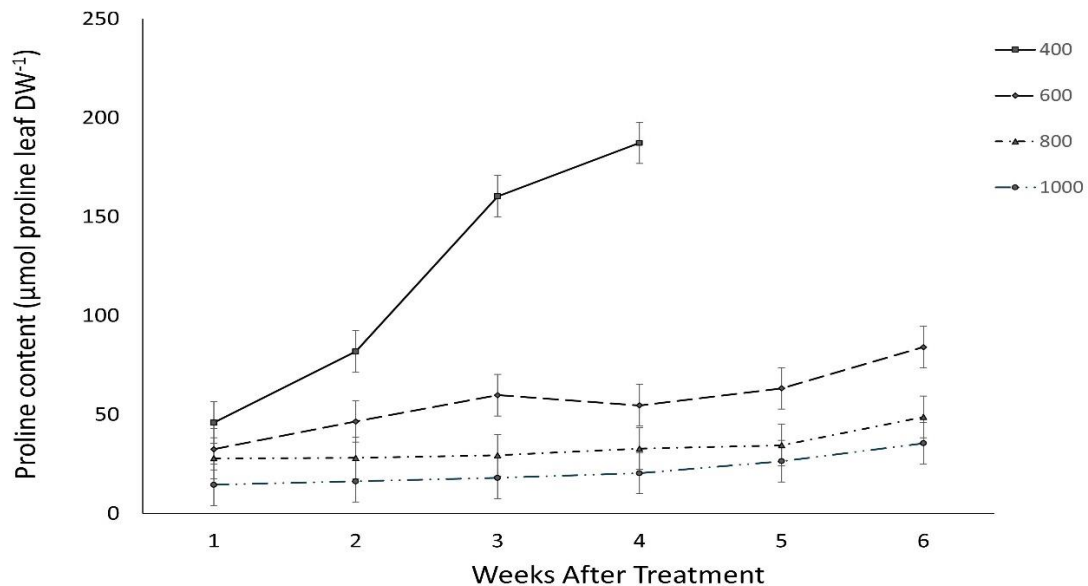
3.5.2 Επίδρασης της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης στην αγριοβαμβακιά

Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης της αγριοβαμβακιάς έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.5$ στατιστικό επίπεδο. Αντίθετα, η επίδραση των εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$) όπως επίσης και αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών ($\alpha=0.5$) (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Ανάλυση παραλλακτικότητας στην παραγωγή προλίνης στην αγριοβαμβακιά.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Άθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	477.665	0.0983	0.9607
Εβδομάδες μετά την έναρξη της καταπόνησης (EMK)	6	3	52363.2	10.774	<.0001
Υδατική καταπόνηση*EMK	18	13	41518.43	1.9794	0.0386

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ ΕΜΚ όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 9 καταδεικνύει τις διακυμάνσεις της παραγωγής προλίνης στην αγριοβαμβακιά υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/ροί). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η παραγωγή προλίνης στις μεταχειρίσεις των 400 ml H₂O αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με τις υπόλοιπες, έως την 4^η εβδομάδα όπου τα φύλλα της κατέπεσαν.



Εικόνα 9. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή προλίνης στην αγριοβαμβακιά.

3.6 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών

3.6.1 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών στο βαμβάκι

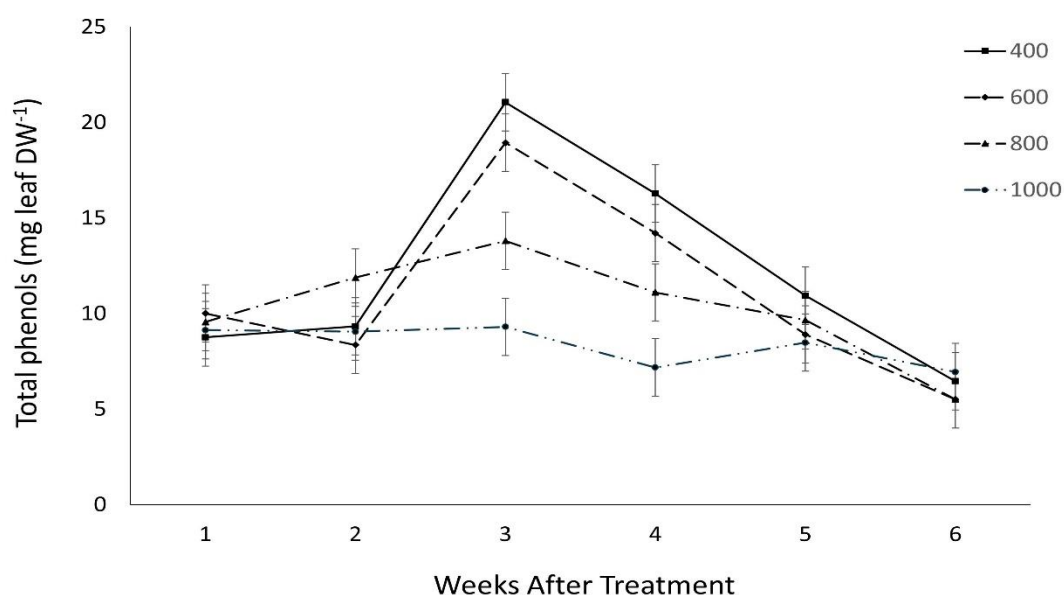
Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών του βαμβακιού έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.5$ στατιστικό επίπεδο. Αντίθετα, η επίδραση των εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$). Η αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών ήταν οριακά στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.5$) (Πίνακας 8).

Πίνακας 8. Ανάλυση παραλλακτικότητας στην παραγωγή φαινολών στο βαμβάκι.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	BE	Άθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (YK)	3	3	3.49188	0.1256	0.9446

Εβδομάδες μετά την					
έναρξη της	6	5	528.64705	11.4054	<.0001
καταπόνησης (EMK)					
Υδατική	18	15	356.21509	2.5617	0.056
καταπόνηση*EMK					

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης $\times$ EMK όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 10 καταδεικνύει τις διακυμάνσεις της παραγωγής φαινολών στο βαμβάκι υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/plot). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η παραγωγή φαινολών στις μεταχειρίσεις των 400 και 600 ml H₂O εμφάνισαν μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με τις μεταχειρίσεις των 800 και 1000 ml H₂O με αποκορύφωμα την 3^η εβδομάδα. Στην συνέχεια καταγράφηκε πτωτική τάση σε όλες τις μεταχειρίσεις καταπόνησης.



Εικόνα 10. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών στο βαμβάκι.

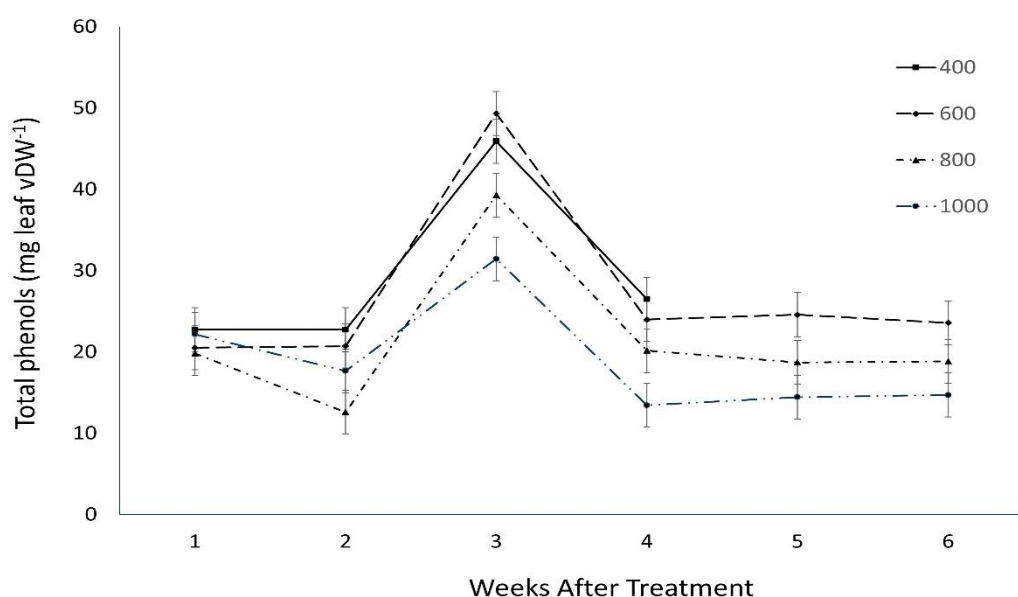
3.6.2 Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών στην αγριοβαμβακιά

Η ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) αναφορικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών της αγριοβαμβακιάς έδειξε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε $\alpha=0.5$ στατιστικό επίπεδο. Αντίθετα, η επίδραση των εβδομάδων μετά την έναρξη της καταπόνησης είναι στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.01$). Καταγράφηκε οριακά στατιστικά σημαντική διαφορά ($\alpha=0.5$) στην αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών (Πίνακας 9).

Πίνακας 9. Ανάλυση παραλλακτικότητας στην παραγωγή φαινολών στην αγριοβαμβακιά.

Πηγή παραλλακτικότητας	N παράμετροι	ΒΕ	Αθροισμα τετραγώνων	F Ratio	Prob > F
Υδατική καταπόνηση (ΥΚ)	3	3	23.0319	0.257	0.8561
Εβδομάδες μετά την έναρξη της καταπόνησης (ΕΜΚ)	6	3	1478.2725	16.4963	<.0001
Υδατική καταπόνηση*ΕΜΚ	18	13	599.4509	2.5437	0.0567

Η αλληλεπίδραση της υδατικής καταπόνησης × ΕΜΚ όπως απεικονίζεται στο Γράφημα 11 καταδεικνύει τις διακυμάνσεις της παραγωγής φαινολών στην αγριοβαμβακιά υπό διάφορες συνθήκες υδατικής μεταχείρισης (400, 600, 800, και 1000 ml H₂O/ροτ). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι μια γενική αύξηση της παραγωγής φαινολών σε όλες τις μεταχειρίσεις μέχρι και την 3^η εβδομάδα, ειδικότερα σε αυτές των 400 και 600 ml H₂O.



Εικόνα 11. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην παραγωγή φαινολών στην αγριοβαμβακιά.

4 Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι η ξηρασία επηρεάζει σημαντικά τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς, με τις επιδράσεις της ξηρασίας να είναι εντονότερες σε συνθήκες μέτριας και ισχυρής καταπόνησης.

Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μείωση του ύψους και της ξηρής βιομάζας και στα δύο φυτά. Αυτές οι μειώσεις πιθανόν αποδίδονται σε διάφορους παράγοντες. Αρχικά, η μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα λόγω κλειστότητας των στομάτων, που αποτελεί προσαρμοστική αντίδραση για την αποφυγή απώλειας νερού μέσω της διαπνοής, περιορίζει την είσοδο του CO₂ και συνεπώς μειώνει τη φωτοσύνθεση (Ghanizadeh & James, 2022; Jayalalitha et al., 2015). Επιπλέον παράγοντες αποτελούν η μείωση της χλωροφύλλης που επηρεάζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα, η υψηλή παραγωγή προλίνης ως αντίδραση στο στρες επιβάλλοντας την αναστολή συγκεκριμένων μεταβολικών διεργασιών σε βάρος της βιομάζας και κατ' επέκταση του ύψους του φυτού (Ghanizadeh & James, 2022; Jayalalitha et al., 2015; Ullah et al., 2017).

Η ξηρασία επιδρά επίσης στην ανάπτυξη των φυτών. Στο βαμβάκι, η μείωση της ανάπτυξης τόσο κατά το στάδιο της ανθοφορίας όσο και του καρυδιού μπορεί να αποδοθεί στη μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα όπου περιορίζει τη διάθεση θρεπτικών στοιχείων στα φυτά, και στην αναστολή της ανάπτυξης των ριζών και των φύλλων, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγή φυτικής μάζας, μικρότερο μέγεθος φύλλων και μειωμένη επιφάνεια φύλλων (Jayalalitha et al., 2015; D. Zhang et al., 2016; Zonta et al., 2015).

Επίσης, σημειώθηκε μείωση της συνολικής χλωροφύλλης και στα δύο φυτά τόσο σε συνθήκες μέτριας και ισχυρής καταπόνησης όσο και τη ήπιας, επηρεάζοντας αρνητικά τη φωτοσυνθετική τους ικανότητα. Η μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη συμβάλλει στη μειωμένη φωτοσύνθεση, καθώς η χλωροφύλλη είναι το βασικό μόριο που απορροφά το φως για τη φωτοσύνθεση. Πιθανοί παράγοντες αποτελούν η αυξημένη παραγωγή ROS που βλάπτουν το χλωροπλάστη, η περιορισμένη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και αλλαγές στην έκφραση γονιδίων που εμπλέκονται στη βιοσύνθεση και τη ρύθμιση της χλωροφύλλης (EL Sabagh et al., 2020; Munger et al., 1987; Schmidt et al., 2011; Shavkiev et al., 2020; Zahid et al., 2021).

Τέλος, η αύξηση στην παραγωγή των αντιοξειδωτικών προλίνης και φαινολών στις μεταχειρίσεις με μέτρια και ισχυρή καταπόνηση, καταδεικνύει ότι τα φυτά ενεργοποιούν την παραγωγή αυτών των αντιοξειδωτικών ως αμυντικό μηχανισμό εναντίον της ξηρασίας (Eid et

al., 2022; Rehman et al., 2022). Η προλίνη λειτουργεί ως οσμολύτης, βοηθώντας στη διατήρηση της κυτταρικής σπαργής και της λειτουργίας των ενζύμων, ενώ οι φαινόλες διαθέτουν ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες που προστατεύουν τα κύτταρα από τις βλάβες των ελεύθερων ριζών.

5 Συμπεράσματα – Πρακτική εφαρμογή

Η παρούσα μελέτη καταδεικνύει ότι η ξηρασία έχει σημαντικές επιπτώσεις στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά του βαμβακιού και της αγριοβαμβακιάς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι επιπτώσεις της ξηρασίας είναι πιο έντονες σε συνθήκες μέτριας και ισχυρής καταπόνησης, επιφέροντας μειώσεις στο ύψος, τη ξηρή βιομάζα, τη χλωροφύλλη των φυτών και στο στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού.

Η μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας λόγω της κλειστότητας των στομάτων, η οποία αποτελεί προσαρμοστική αντίδραση για την αποφυγή της απώλειας νερού, και η μειωμένη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη είναι βασικοί παράγοντες που συμβάλλουν στις παρατηρούμενες μειώσεις. Επιπλέον, η αυξημένη παραγωγή προλίνης και φαινολών, ως αντίδραση στο στρες, υποδεικνύει την ενεργοποίηση αμυντικών μηχανισμών από τα φυτά για την προστασία τους από την ξηρασία.

Η κατανόηση των επιπτώσεων της ξηρασίας και των μηχανισμών προσαρμογής των φυτών έχει άμεσες πρακτικές εφαρμογές στη γεωπονία και τη φυτοπροστασία. Στρατηγικές όπως η ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών, καλύτερες πρακτικές άρδευσης, η χρήση βιοδιεγερτών και τεχνολογιών ακριβείας μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των καλλιεργειών σε συνθήκες ξηρασίας.

Συγκεκριμένα, η γενετική βελτίωση των καλλιεργειών μέσω της επιλογής και διασταύρωσης ανθεκτικών ποικιλιών μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των φυτών στην ξηρασία. Επίσης, η εφαρμογή τεχνικών άρδευσης που μειώνουν την απώλεια νερού, όπως η ελεγχόμενη άρδευση, μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση του νερού και να μειώσει την καταπόνηση των φυτών από την ξηρασία. Ακόμα, η εφαρμογή βιοδιεγερτών και η προσαρμογή της θρέψης των φυτών με τη χρήση λιπασμάτων που περιέχουν απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία μπορεί να ενισχύσει τη φωτοσυνθετική ικανότητα και να βελτιώσει τη γενική υγεία των φυτών σε συνθήκες καταπόνησης. Τέλος, η χρήση τεχνολογιών ακριβείας, όπως οι αισθητήρες εδάφους, η χαρτογράφηση GPS, η τηλεπισκόπηση και η ανάλυση δεδομένων μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους και της υγείας των φυτών, επιτρέποντας την έγκαιρη λήψη μέτρων για την αποφυγή της ξηρασίας.

Η εφαρμογή των παραπάνω στρατηγικών, σε συνδυασμό με τη συνεχή έρευνα και την κατανόηση των φυσιολογικών και γενετικών μηχανισμών αντίδρασης των φυτών στην ξηρασία, μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη ανθεκτικών γεωργικών συστημάτων και στην εξασφάλιση της βιωσιμότητας των καλλιεργειών υπό ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Βιβλιογραφία

- Abdelraheem, A., Esmacili, N., O'Connell, M., & Zhang, J. (2019). Progress and perspective on drought and salt stress tolerance in cotton. *Industrial Crops and Products*, 130, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.070>
- Atieno, J., Obwoyere, G. O., Makanji, D. L., & Okeyo, M. M. (2021). Seed Borne Fungal Organisms Associated with Germination Success of *Terminalia brownii* (Fresen) in Kenya. *Open Journal of Forestry*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.4236/ojf.2021.114021>
- Banerjee, A., & Roychoudhury, A. (2021). 5—Role of sugars in mediating abiotic stress tolerance in legumes. In V. P. Singh, S. Singh, D. K. Tripathi, S. M. Prasad, R. Bhardwaj, & D. K. Chauhan (Eds.), *Abiotic Stress and Legumes* (pp. 93–103). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815355-0.00007-2>
- BASF. (2024). *Olivia—Ποικιλία βαμβάκιού Stoneville της BASF*. <https://www.agro.basf.gr/el/News-Events/BASF-Agro-News/new-stoneville-olivia-basf.html>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Begum, N., Hasanuzzaman, M., Li, Y., Akhtar, K., Zhang, C., & Zhao, T. (2022). Seed Germination Behavior, Growth, Physiology and Antioxidant Metabolism of Four Contrasting Cultivars under Combined Drought and Salinity in Soybean. *Antioxidants*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/antiox11030498>
- Castillo, N. R., Melgarejo, L. M., & Blair, M. W. (2020). Seed Structural Variability and Germination Capacity in *Passiflora edulis* Sims f. *Edulis*. *Frontiers in Plant Science*, 11, 498. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00498>
- Cope, R. B. (2018). Chapter 68—Cottonseed Toxicity. In R. C. Gupta (Ed.), *Veterinary Toxicology (Third Edition)* (pp. 967–980). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811410-0.00068-4>
- Costinot, A., Donaldson, D., & Smith, C. (2016). Evolving Comparative Advantage and the Impact of Climate Change in Agricultural Markets: Evidence from 1.7 Million Fields around the World. *Journal of Political Economy*, 124(1), 205–248. <https://doi.org/10.1086/684719>
- Darawsheh, M. K., Beslemes, D., Kouneli, V., Tigka, E., Bilalis, D., Roussis, I., Karydogianni, S., Mavroeidis, A., Triantafyllidis, V., Kosma, C., Zotos, A., & Kakabouki, I. (2022). Environmental and Regional Effects on Fiber Quality of Cotton Cultivated in Greece. *Agronomy*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040943>
- Das, K., & Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2014.00053>
- Deeba, F., Pandey, A. K., Ranjan, S., Mishra, A., Singh, R., Sharma, Y. K., Shirke, P. A., & Pandey, V. (2012). Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought

stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 53, 6–18.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.01.002>

- Eaton, B. J., Russ, O. G., & Feltner, K. C. (1976). Competition of Velvetleaf, Prickly Sida, and Venice Mallow in Soybeans. *Weed Science*, 24(2), 224–228.
- Eid, M. A. M., El-hady, M. A. A., Abdelkader, M. A., Abd-Elkrem, Y. M., El-Gabry, Y. A., El-temsah, M. E., El-Areed, S. R. M., Rady, M. M., Alamer, K. H., Alqubaie, A. I., & Ali, E. F. (2022). Response in Physiological Traits and Antioxidant Capacity of Two Cotton Cultivars under Water Limitations. *Agronomy*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040803>
- EL Sabagh, A., Hossain, A., Islam, Md. S., Barutcular, C., Ratnasekera, D., Gormus, O., Amanet, K., Mubeen, M., Nasim, W., Fahad, S., Tariq, M., Llanes, A., Meena, R. S., Ueda, A., Saneoka, H., Erman, M., & Hasanuzzaman, M. (2020). Drought and Heat Stress in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Consequences and Their Possible Mitigation Strategies. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *Agronomic Crops: Volume 3: Stress Responses and Tolerance* (pp. 613–634). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1_30
- Engonopoulos, V., Kouneli, V., Mavroeidis, A., Karydogianni, S., Beslemes, D., Kakabouki, I., Papastylianou, P., & Bilalis, D. (2021). Cotton versus climate change: The case of Greek cotton production. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49, 12547. <https://doi.org/10.15835/nbha49412547>
- European Commission. (2013). *Cotton. Agriculture and Rural Development*. https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/cotton_en
- França-Neto, J. de B., & Krzyzanowski, F. C. (2019). Tetrazolium: An important test for physiological seed quality evaluation. *Journal of Seed Science*, 41, 359–366. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3223104>
- Ghanizadeh, H., & James, T. K. (2022). Behaviour of *Abutilon theophrasti* in Different Climatic Niches: A New Zealand Case Study. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.885779>
- Hamblin, J., Stefanova, K., & Angessa, T. T. (2014). Variation in Chlorophyll Content per Unit Leaf Area in Spring Wheat and Implications for Selection in Segregating Material. *PLoS ONE*, 9(3), e92529. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092529>
- Hasan, M. M.-U., Ma, F., Prodhan, Z. H., Li, F., Shen, H., Chen, Y., & Wang, X. (2018). Molecular and Physio-Biochemical Characterization of Cotton Species for Assessing Drought Stress Tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2636. <https://doi.org/10.3390/ijms19092636>
- Hinz, J. R., & Owen, M. D. K. (1994). Effect of Drought Stress on Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and Bentazon Efficacy. *Weed Science*, 42(1), 76–81.
- Jayalalitha, K., Rani, Y. A., Kumari, S. R., & Rani, P. P. (2015). Effect of water stress on morphological, physiological parameters and seed cotton yield of Bt cotton (*Gossypium hirsutum* L.) hybrids. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences*, 5(3), 99–112.

- Jin, X., Zarco-Tejada, P. J., Schmidhalter, U., Reynolds, M. P., Hawkesford, M. J., Varshney, R. K., Yang, T., Nie, C., Li, Z., Ming, B., Xiao, Y., Xie, Y., & Li, S. (2021). High-Throughput Estimation of Crop Traits: A Review of Ground and Aerial Phenotyping Platforms. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 9(1), 200–231. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2020.2998816>
- Kalaji, H. M., Dąbrowski, P., Cetner, M. D., Samborska, I. A., Łukasik, I., Brestic, M., Zivcak, M., Tomasz, H., Mojski, J., Kociel, H., & Panchal, B. M. (2017). A comparison between different chlorophyll content meters under nutrient deficiency conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 40(7), 1024–1034. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1263323>
- Kavi Kishor, P. B., Hima Kumari, P., Sunita, M. S. L., & Sreenivasulu, N. (2015). Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00544>
- Khan, M. A., Wahid, A., Ahmad, M., Tahir, M. T., Ahmed, M., Ahmad, S., & Hasanuzzaman, M. (2020). World Cotton Production and Consumption: An Overview. In S. Ahmad & M. Hasanuzzaman (Eds.), *Cotton Production and Uses: Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies* (pp. 1–7). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_1
- Krishnan, N., Dickman, M. B., & Becker, D. F. (2008). Proline modulates the intracellular redox environment and protects mammalian cells against oxidative stress. *Free Radical Biology & Medicine*, 44(4), 671–681. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.10.054>
- Lakon, G. (1949). The Topographical Tetrazolium Method For Determining the Germinating Capacity of Seeds. *Plant Physiology*, 24(3), 389–394. <https://doi.org/10.1104/pp.24.3.389>
- Li, N., Lin, H., Wang, T., Li, Y., Liu, Y., Chen, X., & Hu, X. (2019). Impact of climate change on cotton growth and yields in Xinjiang, China. *Field Crops Research*, 247, 107590. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107590>
- Liu, J., Wang, C., Li, H., Gao, Y., Yang, Y., & Lu, Y. (2023). Bottom-Up Effects of Drought-Stressed Cotton Plants on Performance and Feeding Behavior of *Aphis gossypii*. *Plants*, 12(15), 2886. <https://doi.org/10.3390/plants12152886>
- Ma, X., Yang, J., Wu, H., Jiang, W., Ma, Y., & Ma, Y. (2016). Growth Analysis of Cotton in Competition with Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Technology*, 30(1), 123–136.
- Majeed, S., Malik, T. A., Rana, I. A., & Azhar, M. T. (2019). Antioxidant and Physiological Responses of Upland Cotton Accessions Grown Under High-Temperature Regimes. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43(6), 2759–2768. <https://doi.org/10.1007/s40995-019-00781-7>
- Manalil, S., Coast, O., Werth, J., & Chauhan, B. S. (2017). Weed management in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) through weed-crop competition: A review. *Crop Protection*, 95, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.008>
- Mausbach, J., Irmak, S., Chahal, P., Sarangi, D., & Jhala, A. J. (2022). Effect of degree of water stress on growth and fecundity of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) using soil moisture sensors. *Weed Science*, 70(6), 698–705. <https://doi.org/10.1017/wsc.2022.54>

- Munger, P. H., Chandler, J. M., & Cothren, J. T. (1987). Effect of Water Stress on Photosynthetic Parameters of Soybean (*Glycine max*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*, 35(1), 15–21. <https://doi.org/10.1017/S0043174500026722>
- Nalini, K., Murhukrishnan, P., C. C., & Vennila, C. (2015). Weeds of cotton – A Review. *Agricultural Reviews*, 36, 140. <https://doi.org/10.5958/0976-0741.2015.00016.1>
- Nashwa, M., & Abdel-Aziz, M. E. (2014). Efficiency of olive (*Olea europaea* L.) leaf extract as antioxidant and anticancer agents. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 20(1), 46–53.
- Pala, F., & Mennan, H. (2021). *Common Weeds in Cotton Fields* (pp. 257–288).
- Peck, T. R., & Soltanpour, P. N. (1990). The Principles of Soil Testing. In *Soil Testing and Plant Analysis* (pp. 1–9). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2136/sssabookser3.3ed.c1>
- Petersen, L. K. (2019). Impact of Climate Change on Twenty-First Century Crop Yields in the U.S. *Climate*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/cli7030040>
- Qamer, Z., Chaudhary, M. T., Du, X., Hinze, L., & Azhar, M. T. (2021). Review of oxidative stress and antioxidative defense mechanisms in *Gossypium hirsutum* L. in response to extreme abiotic conditions. *Journal of Cotton Research*, 4(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s42397-021-00086-4>
- Rehman, T., Tabassum, B., Yousaf, S., Sarwar, G., & Qaisar, U. (2022). Consequences of Drought Stress Encountered During Seedling Stage on Physiology and Yield of Cultivated Cotton. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.906444>
- Sadeghloo, A., Asghari, J., & Ghaderi-Far, F. (2013). Seed germination and seedling emergence of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). *Planta Daninha*, 31, 259–266. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000200003>
- Schmidt, J., Blankenship, E., & Lindquist, J. (2011). Corn and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Transpiration in Response to Drying Soil. *Weed Science*, 59, 50–54. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00078.1>
- Shavkiev, J., Nabiev, S., Azimov, A., Khamdullaev, S., Matniyazova, H., Nurmetov, K., & Amanov, B. (2020). *CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN PHYSIOLOGY, BIOCHEMISTRY, COMMON ECONOMIC TRAITS AND YIELD OF COTTON CULTIVARS UNDER FULL AND DEFICIT IRRIGATED CONDITIONS*. 2020. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.23>
- Silva, E. C. da, Albuquerque, M. B. de, Neto, A. D. de A., Junior, C. D. da S., Silva, E. C. da, Albuquerque, M. B. de, Neto, A. D. de A., & Junior, C. D. da S. (2013). Drought and Its Consequences to Plants – From Individual to Ecosystem. In *Responses of Organisms to Water Stress*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/53833>
- Sung, F. J. M., & Krieg, D. R. (1979). Relative Sensitivity of Photosynthetic Assimilation and Translocation of ¹⁴Carbon to Water Stress 1. *Plant Physiology*, 64(5), 852–856.
- Tariq, M., Abdullah, K., Ahmad, S., Abbas, G., Rahman, M. H. ur, & Khan, M. A. (2020). Weed Management in Cotton. In S. Ahmad & M. Hasanuzzaman (Eds.), *Cotton Production and Uses*:

- Agronomy, Crop Protection, and Postharvest Technologies* (pp. 145–161). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_9
- Tsaliki, E., Loison, R., Kalivas, A., Panoras, I., Grigoriadis, I., Traore, A., & Gurlot, J.-P. (2024). Cotton Cultivation in Greece under Sustainable Utilization of Inputs. *Sustainability*, 16(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su16010347>
- UCIPM. (n.d.). *Velvetleaf* [Univ]. University of California. Retrieved February 4, 2023, from <https://ipm.ucanr.edu/PMG/WEEDS/velvetleaf.html>
- Ullah, A., Sun, H., Yang, X., & Zhang, X. (2017). Drought coping strategies in cotton: Increased crop per drop. *Plant Biotechnology Journal*, 15(3), 271–284. <https://doi.org/10.1111/pbi.12688>
- USDA. (2024). *Top Cotton Producing Countries by USDA Foreign Agricultural Service*. <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2631000>
- Voloudakis, D., Karamanos, A., Economou, G., Kapsomenakis, J., & Zerefos, C. (2018). A comparative estimate of climate change impacts on cotton and maize in Greece. *Journal of Water and Climate Change*, 9(4), 643–656. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.022>
- Ward, JoY. K., Tissue, D. T., Thomas, R. B., And, ., & Strain, BoyD. R. (1999). Comparative responses of model C3 and C4 plants to drought in low and elevated CO₂. *Global Change Biology*, 5(8), 857–867. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1999.00270.x>
- Xiong, R., Ma, Y., Wu, H., Jiang, W., & Ma, X. (2018). Effects of Environmental Factors on Seed Germination and Emergence of Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Planta Daninha*, 36. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100122>
- Zahid, Z., Khan, M. K. R., Hameed, A., Akhtar, M., Ditta, A., Hassan, H. M., & Farid, G. (2021). Dissection of Drought Tolerance in Upland Cotton Through Morpho-Physiological and Biochemical Traits at Seedling Stage. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.627107>
- Zhang, D., Luo, Z., Liu, S., Li, W., WeiTang, & Dong, H. (2016). Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. *Field Crops Research*, 197, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.003>
- Zhang, H., Ge, Y., Xie, X., Atefi, A., Wijewardane, N. K., & Thapa, S. (2022). High throughput analysis of leaf chlorophyll content in sorghum using RGB, hyperspectral, and fluorescence imaging and sensor fusion. *Plant Methods*, 18(1), 60. <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00892-0>
- Zhang, L., Peng, J., Chen, T. T., Zhao, X. H., Zhang, S. P., Liu, S., Dong, H., Feng, L., & Yu, S. X. (2014). Effect of drought stress on lipid peroxidation and proline content in cotton roots. *Journal of Animal and Plant Sciences*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-drought-stress-on-lipid-peroxidation-and-Zhang-Peng/15dfd06e9abc3b9ffc845c7282f01aaa38de8f72>
- Zonta, J. H., Bezerra, J. R. C., Sofiatti, V., & Brandão, Z. N. (2015). Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia*

Agrícola e Ambiental, 19, 748–754. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p748-754>

Αυγουλάς, Χ. Ε., & Κούτρου-Αυγουλά, Α. (Eds.). (1997). Βαμβάκι. In Γ. Μέργος & Κ. Λ. Παπαγεωργίου, *Εξελίξεις και προοπτικές του αγροτικού τομέα* (p. 528). Σταμούλη.