

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΥ
Π.Μ.Σ. Επιστήμες και Συστήματα Φυτικής Παραγωγής
Κατεύθυνση: «Γεωργία, Βελτίωση Φυτών και Γεωργικός Πειραματισμός»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

«Συγκριτική καλλιέργεια ποικιλιών *L. mutabilis* με άλλα είδη λούπινου, κουκί και
σιτάρι»

Ευγενία Β. Καψή

Αθήνα 2019

Πηνελόπη Ι. Μπεμπέλη, Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΥ
Π.Μ.Σ. Επιστήμες και Συστήματα Φυτικής Παραγωγής
Κατεύθυνση: «Γεωργία, Βελτίωση Φυτών και Γεωργικός Πειραματισμός»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

«Συγκριτική καλλιέργεια ποικιλιών *L. mutabilis* με άλλα είδη λούπινου,
κουκί και σιτάρι»

« Comparative cultivation of *L. mutabilis* with other lupin species, faba bean
and wheat»

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Πηνελόπη Ι. Μπεμπέλη, Καθηγήτρια (Επιβλέπουσα)

Γεώργιος Παπαδόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής (Μέλος)

Ελένη Τάνη, Λέκτορας (Μέλος)

Ευγενία Β. Καψή

Αθήνα 2019

Περίληψη

Η αναγκαιότητα δημιουργίας καλλιεργητικών προγραμμάτων βασισμένα στην αειφορική γεωργία για μείωση εισροών αφενός, κι η υψηλή διατροφική αξία για τον άνθρωπο και τα ζώα αφετέρου, τονίζουν την ανάγκη στροφής προς την καλλιέργεια των Ψυχανθών. Πρόκειται για πολλαπλών χρήσεων καλλιέργειες που ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται εδώ και χιλιετίες. Γνωστά ήδη από την αρχαιότητα για την προσφορά τους στο έδαφος για τις επόμενες καλλιέργειες, μόλις τον 19^ο αιώνα εντοπίστηκε και άρχισε να διερευνάται ο μηχανισμός συμβίωσης ανάμεσα στα ψυχανθή και τα ριζόβια βακτήρια. Τα λούπινα έρχονται να κινήσουν το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, με όλο και περισσότερες μελέτες να γίνονται, καθώς η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνη είναι υψηλή.

Η παρούσα διπλωματική έχει ως αντικείμενο τη σύγκριση του λούπινου των Άνδεων *Lupinus mutabilis* με εμπορικές ποικιλίες άλλων ειδών λούπινου, κουκιού και σιταριού. Στόχος της μελέτης είναι η σύγκριση καταχωρήσεων *L. mutabilis* με εμπορικές ποικιλίες λούπινου, κουκιού και σιταριού, η αξιολόγηση των καταχωρήσεων *L. mutabilis* ως προς κάποια μορφολογικά χαρακτηριστικά και η διερεύνηση της επίδρασης του ριζόβιου βακτηρίου *Bradyrhizobium lupini* στην Βιολογική Αζωτοδέσμευση (BNF), την απόδοση σε σπόρο και την περιεκτικότητα του σπόρου και του στελέχους σε ολικές αζωτούχες ουσίες.

Για τον σκοπό αυτόν, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο στάδιο προβλάστησης, στο βλαστικό και αναπαραγωγικό στάδιο, κατά την ωρίμανση καθώς και μετά τη συγκομιδή, που αφορούσαν είτε ποσοτικά είτε ποιοτικά χαρακτηριστικά. Το φυτικό υλικό αποτέλεσαν 3 καταχωρήσεις *L. mutabilis*, μία εμπορική ποικιλία *L. albus* και μία εμπορική ποικιλία *L. angustifolius*, όπως επίσης και μία εμπορική ποικιλία κουκιού *Vicia faba* και μία εμπορική ποικιλία σιταριού *Triticum durum*. Το πείραμα διεξήχθη στις Ερυθρές Βοιωτίας, όπου οι τιμές pH και ανθρακικού ασβεστίου ήταν 7.7 και 0,02% αντίστοιχα και εφαρμόστηκαν δύο μεταχειρίσεις, μία με εμβάπτιση του σπόρου σε

ριζόβιο και μία χωρίς εμφάπτιση. Εφαρμόστηκε το σχέδιο των Υποδιαιρεμένων Τεμαχίων, με διάταξη Τυχαιοποιημένων Πλήρων Ομάδων, με 3 επαναλήψεις. Για την εξαγωγή στατιστικών αποτελεσμάτων, έγινε Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA) και χρήση Γενικών Γραμμικών Μοντέλων (GLM). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αποδόσεις των καταχωρήσεων του *L. mutabilis* σε σύγκριση με το κουκί και το σιτάρι ήταν χαμηλές. Όμως, η αλληλεπίδραση του εμβολιασμού στη βιολογική αζωτοδέσμευση είχε θετική επίδραση για όλες τις καταχωρήσεις λούπινου. Επιπλέον, οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* είχαν τα υψηλότερα ποσοστά ολικών αζωτούχων ουσιών στο σπόρο σε σχέση με τις εμπορικές ποικιλίες λούπινου.

Λέξεις κλειδιά: *L. mutabilis*, βιολογική αζωτοδέσμευση, *Bradyrhizobium lupini*, αποδόσεις, βιομάζα

Abstract

The need for cultivating systems based on sustainable agriculture in order to reduce inputs at first, and their high nutritional value for humans and animals secondly, emphasize the need to turn towards the cultivation of legumes. These are multi-purpose crops that humans have been using for thousands of years. Known since ancient times for their benefits to the soil for the next crops, it was only in the 19th century that the mechanism of the symbiosis between legumes and rhizobia was noticed and studied. In the last few years, lupins are of high interest, with more and more studies on the species, as lupin seeds are high in protein and oils.

This master thesis aims at comparing Andean Lupine *Lupinus mutabilis* with commercial varieties of other lupine, faba bean and wheat. The aim of the study is to investigate the effect of the rhizobia strain *Bradyrhizobium lupini* on qualitative and quantitative characteristics, as well as on the Biological Nitrogen Fixation (BNF).

For this purpose, measurements were made at the pre-emergence stage, at the vegetative and reproductive stage, and after harvesting, and concerned either quantitative or qualitative characteristics. The plant material consisted of 3 accessions of *L. mutabilis*, a commercial variety of *L. albus* and a commercial variety of *L. angustifolius*, as well as a commercial variety of *Vicia faba* and a commercial variety of *Triticum durum*. The experiment took place in Erythres of Viotia, where pH and calcium carbonate were 7.7 and 0.02% respectively, and two treatments were applied, one by inoculating the seed in rhizobia and one without rhizobia inoculation. The Split Plot Design was applied, with randomized complete groups in it, with three replications.

In order to extract statistical results, Analysis of Variance with Generic Linear Models (GLM) was performed. The results showed that the yields of *L. mutabilis* in comparison to faba bean and wheat were low. However, the interaction of the rhizobia inoculation with the biological nitrogen fixation was positive for all lupin accessions. In addition, the

L. mutabilis accessions had the highest crude protein in the seed compared to the commercial varieties of lupin.

Keywords: *L. mutabilis*, biological nitrogen fixation, *Bradyrhizobium lupini*, yield, biomass

Δήλωση έργου

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ευγενία Β. Καψή δηλώνω ότι το κείμενο της μελέτης αποτελεί δικό μου, μη υποβοηθούμενο πόνημα. Υποβάλλεται σε μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Γεωργία, Βελτίωση Φυτών και Γεωργικός Πειραματισμός, του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Δεν έχει υποβληθεί ποτέ πριν για οποιοδήποτε λόγο ή για εξέταση σε οποιοδήποτε άλλο πανεπιστήμιο ή εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας ή του εξωτερικού.

.....
(ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ)

.....
(ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ)
(Ημέρα, μήνας, έτος)

Πίνακας Περιεχομένων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	1
Τριμελής επιτροπή.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract.....	5
Δήλωση έργου.....	7
Πίνακας Περιεχομένων.....	8
Ευχαριστίες.....	12
Κατάλογος Πινάκων.....	14
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	17
Κατάλογος Εικόνων.....	18
Κατάλογος Παραρτημάτων.....	19
1. Εισαγωγή παρούσας μελέτης.....	20
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	23
2.1 Το λούπινο.....	23
2.1.1 Γενικά.....	23
2.1.2 Βοτανική ταξινόμηση.....	23
2.1.3 Καταγωγή και εξημέρωση.....	24
2.1.4 Βελτίωση.....	27
2.1.5 Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	30
2.1.6 Αναπαραγωγή.....	32
2.1.7 Ανάπτυξη του φυτού.....	34
2.1.8 Οικολογικές απαιτήσεις.....	34
2.1.9 Καλλιεργητική τεχνική.....	35
2.1.10 Χρήσεις.....	35

2.2 Ο κύκλος του Αζώτου.....	40
2.3 Αζωτοδέσμευση.....	41
2.3.1 Βιολογική αζωτοδέσμευση.....	41
2.3.2 Μη βιολογική αζωτοδέσμευση.....	42
2.3.3 Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση.....	42
2.3.4 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση.....	43
2.3.5 Ριζόβια βακτήρια και Συμβίωση με Ψυχανθή.....	44
2.3.6 Βιολογική Αζωτοδέσμευση στο λούπινο.....	46
2.4 Κουκί.....	46
2.5 Σιτάρι.....	47
3. Σκοπός.....	48
4. Υλικά και μέθοδοι.....	49
4.1 Φυτικό υλικό.....	49
4.2 Πειραματικό σχέδιο.....	49
4.3 Καλλιεργητική τεχνική.....	51
4.4 Προετοιμασία εδάφους.....	52
4.5 Συγκομιδή φυτών.....	52
4.6 Εδαφική ανάλυση.....	52
4.7 Μετεωρολογικά Δεδομένα.....	53
4.8 Χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν.....	56
4.8.1 Λούπινο.....	56
4.8.2 Κουκί.....	63
4.8.3 Σιτάρι.....	63
4.8.4 Καταγραφή εχθρών και ασθενειών.....	64
4.9 Ανάλυση Δεδομένων.....	64

4.9.1 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά.....	64
4.9.2 Ποσοτικά χαρακτηριστικά.....	64
4.9.3 Ανάλυση συσχετίσεων.....	64
4.9.4 Ανάλυση Cluster.....	64
4.9.5 Στατιστικά εργαλεία.....	65
5. Αποτελέσματα.....	66
5.1 Εισαγωγή.....	66
5.2 Ανάλυση Διασποράς.....	66
5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	67
5.3.1 Σύγκριση των καταχωρήσεων <i>L. mutabilis</i> με τις εμπορικές ποικιλίες λούπινου, κουκιού.....	67
5.3.1.1 Αποδόσεις σε σπόρο (kg/ha) των καταχωρήσεων <i>L. mutabilis</i> και των εμπορικών ποικιλιών λούπινου, κουκιού και σιταριού.....	67
5.3.1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά <i>L. mutabilis</i>.....	68
5.3.2 Επίδραση ριζόβιου <i>Bradyrhizobium lupini</i>.....	97
5.3.3 Κουκί.....	102
5.3.4 Σιτάρι.....	103
5.4 Ανάλυση Cluster.....	104
5.5 Συσχετίσεις χαρακτηριστικών.....	105
5.6 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	105
6. Συζήτηση.....	109
6.1 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	109
6.1.1 Απόδοση σε σπόρο-Σύγκριση λούπινου με κουκί και σιτάρι.....	109
6.1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά.....	109
6.1.3 Αζωτοδέσμευση.....	114

6.1.4	Αποδόσεις λούπινου.....	115
6.1.5	Ολικές αζωτούχες ουσίες στο σπόρο.....	115
6.1.6	Ολικές αζωτούχες ουσίες στο στέλεχος.....	116
6.2	Συμπεράσματα.....	116
7.	Βιβλιογραφία.....	118
	<i>Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....</i>	<i>118</i>
	<i>Ελληνική Βιβλιογραφία.....</i>	<i>130</i>
	<i>Ιστοσελίδες.....</i>	<i>130</i>
8.	Παράρτημα.....	131
A.	Πρωτόκολλα.....	131
A. 1.	Ανάλυση εδάφους.....	131
A.2	High Temperature Oxidation: Dry Ashing.....	134
A. 3	Μέθοδος Kjeldahl.....	140
A. 4	Βιολογική Αζωτοδέσμευση (BNF).....	142

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτριά μου κα Πηνελόπη Ι. Μπεμπέλη, η οποία ως επιβλέπουσα με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε τα κατάλληλα εφόδια για να φέρω εις πέρας το μεταπτυχιακό πρόγραμμα. Η καθοδήγησή της και η ουσιαστική υποστήριξή της ήταν καθοριστικές καθ' όλη την πορεία της συνεργασίας μας και την ευχαριστώ πολύ γι αυτό. Την ευχαριστώ για την κατανόηση και τη βοήθεια που μου παρείχε ιδιαίτερα στη συγγραφή της διπλωματικής μου.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τα μέλη της επιτροπής, για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν στην ανάγνωση και τη διόρθωση της διπλωματικής, καθώς και τις συμβουλές τους. Πιο συγκεκριμένα ευχαριστώ τον κ Γεώργιο Παπαδόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή, ο οποίος με μεγάλη θέρμη με καθοδήγησε στην στατιστική ανάλυση και την κα Ελένη Τάνη, Λέκτορα, η οποία πάντα πρόθυμη με βοηθούσε και με υποστήριζε καθ' όλη τη διάρκεια του προγράμματος.

Ευχαριστώ επίσης τον υπεύθυνο συντονιστή του προγράμματος «LIBBIO» Páll Árnason για την εμπιστοσύνη του και όλα όσα έμαθα από το πρόγραμμα αυτό.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Καθηγητή Δημήτριο Σάββα, για τη διάθεση του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του τμήματος Φυτικής Παραγωγής.

Τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον Καθηγητή Ιωάννη Χατζηγεωργίου, για τη διάθεση του Εργαστηρίου του τμήματος Ζωικής Παραγωγής και Υδατοκαλλιεργειών για τις αναλύσεις αζωτούχων ουσιών, καθώς και στην κα Μαρία Γεωργιάδου, μέλος ΕΤΕΠ για τη βοήθειά της όποτε αυτή χρειάστηκε.

Ευχαριστώ πολύ τον Καθηγητή Νικόλαο Μουστάκα για τη διάθεση του Εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων, καθώς και τον κ Στυλιανό Δάλλα, μέλος ΕΤΕΠ για την άμεση υποστήριξη και συνεργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Βελτίωσης Φυτών και Γεωργικού Πειραματισμού, καθώς και όσους εργάστηκαν στο πρόγραμμα LIBBIO. Πιο συγκεκριμένα, ευχαριστώ την υποψήφια Διδάκτορα Ευσταθία Λαζαρίδη και την Δρ. Κωνσταντίνα Αργυροπούλου για τη συνεργασία, τον υποψήφιο Διδάκτορα του εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών Διονύσιο Υφαντόπουλο για τις συμβουλές και τις υποδείξεις του και την προπτυχιακή φοιτήτρια Παναγιώτα Τερλελή για την πραγματικά πολύτιμη βοήθεια και την υπομονή της.

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους και συναδέλφους μου Νίκο Κωστούρο, Βικέντια Φραγκιαδάκη, Θεοδώρα Σμυρίλιου και Δημήτρη Αραμπατζή καθώς έκαστος συνέβαλε με τον μοναδικό του τρόπο στην περάτωση του μεταπτυχιακού προγράμματος και της διπλωματικής εργασίας.

Φυσικά, θα ήταν παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα τους γονείς μου αλλά και την ευρύτερη οικογένειά μου, η οποία με στήριζε και με τόνωνε ηθικά καθ'όλη τη διάρκεια του προγράμματος και των μεταπτυχιακών σπουδών.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε, με τις καταχωρήσεις, τις μεταχειρίσεις και τις επαναλήψεις.....	50
Πίνακας 2 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού.....	53
Πίνακας 3 Παράθεση μετεωρολογικών δεδομένων του πειραματικού αγρού Ερυθρών για τους μήνες διεξαγωγής του πειράματος.....	54
Πίνακας 4 Πίνακας έλεγχος κανονικότητας με τεστ Shapiro-Wilk W, για τις μεταβλητές "Νωπό Βάρος Υπέργειου τμήματος", "Σπόροι ανά φυτό", "Περιεκτικότητα Σπόρου σε Κάλιο" και "Περιεκτικότητα Σπόρου σε Φώσφορο".	66
Πίνακας 5 Μέσοι όροι αποδόσεων σε σπόρο για λούπινο, κουκί και σιτάρι.....	67
Πίνακας 6 Συχνότητα (ποσοστό %) των τιμών του χρώματος κοτυληδόνων των καταχωρήσεων λούπινου.....	69
Πίνακας 7 Συχνότητα (ποσοστό %) των τιμών του χρώματος βλαστού των καταχωρήσεις λούπινου.....	70
Πίνακας 8 Μέσοι όροι του ύψους φυτού (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	71
Πίνακας 9 Μέσοι όροι ύψους ταξιανθίας (cm) των λούπινων, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	72
Πίνακας 10 Μέσοι όροι μήκους ταξιανθίας (cm) των λούπινων, ανά καταχώρηση.....	72
Πίνακας 11 Μέσοι όροι των ενεργών φυματίων στις ρίζες των φυτών, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	73
Πίνακας 12 Συχνότητες ενεργών φυματίων, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	75
Πίνακας 13 Μέσοι όροι φυλλικής επιφάνειας (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	76
Πίνακας 14 Ημέρες άνθησης της κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.....	78
Πίνακας 15 Ημέρες άνθησης της πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.....	78
Πίνακας 16 Τύποι ανθέων ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	79
Πίνακας 17 Ημέρες καρπόδεσης της κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.....	80
Πίνακας 18 Ημέρες καρπόδεσης της πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.....	80

Πίνακας 19 Ημέρες πλήρους ωρίμανσης του φυτού (ξήρανση λοβού πάνω στο φυτό).	81
Πίνακας 20 Μέσος όρος ύψους φυτού (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	82
Πίνακας 21 Μέσος όρος πλάγιων διακλαδώσεων με άνθη, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	82
Πίνακας 22 Μέσος όρος ύψους φυτού (cm) μέχρι την πρώτη διακλάδωση, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	83
Πίνακας 23 Μέσος όρος ύψους φυτού (cm) μέχρι την ανθοταξία της πρώτης διακλάδωσης, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	84
Πίνακας 24 Μέσος όρος αριθμού λοβών στην κύρια ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	85
Πίνακας 25 Μέσος όρος αριθμού λοβών στην πρωτεύουσα ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	86
Πίνακας 26 Μέσος όρος αριθμού λοβών ανά φυτό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	86
Πίνακας 27 Μέσος όρος μήκους λοβών (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	87
Πίνακας 28 Μέσος όρος πλάτους λοβών (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	88
Πίνακας 29 Αριθμός σπόρων ανά λοβό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	89
Πίνακας 30 Αριθμός σπόρων στην κύρια ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	89
Πίνακας 31 Αριθμός σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	90
Πίνακας 32 Αριθμός σπόρων ανά φυτό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	91
Πίνακας 33 Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	91
Πίνακας 34 Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	92
Πίνακας 35 Νωπό βάρος ρίζας (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.	93

Πίνακας 36 Ξηρό βάρος ρίζας (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	94
Πίνακας 37 Βάρος σπόρων ανά φυτό (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	95
Πίνακας 38 Βάρος 100 σπόρων (g), ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.....	95
Πίνακας 39 Περιεκτικότητα σπόρου σε Φώσφορο (mg P/kg ιστού), ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.....	96
Πίνακας 40 Περιεκτικότητα σπόρου σε Κάλιο (ppm) , ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.....	97
Πίνακας 41 Αζωτοδέσμευση (kg N/ha), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	98
Πίνακας 42 Απόδοση (kg/ha), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.....	99
Πίνακας 43 Ολικές αζωτούχες ουσίες (%) στο σπόρο, ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.....	101
Πίνακας 44 Ολικές αζωτούχες ουσίες (%) στο στέλεχος, ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.....	102
Πίνακας 45 Μέσοι όροι βάρους εκατό σπόρων (g) για το κουκί cv Aguadulce.....	103
Πίνακας 46 Μέσος όρος απόδοσης σε σπόρο (kg/ha) για το κουκί cv Aguadulce.	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 47 Μέσοι όροι Βιολογικής Αζωτοδέσμευσης (kg N/ha) για το κουκί cv Aguadulce.....	103
Πίνακας 48 Μέσοι όροι βάρους εκατό σπόρων (g) για το σιτάρι cv Normano.....	103
Πίνακας 49 Μέσος όρος απόδοσης σε σπόρο (kg/ha) για το σιτάρι cv Normano.	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 50 Μέσος όρος βιολογικής αζωτοδέσμευσης για το σιτάρι cv Normano...	104

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Παραγωγή λούπινου σε παγκόσμια κλίμακα(FAOstat, 2018).....	38
Διάγραμμα 2 Παραγωγή των κυριότερων οσπρίων σε Αυστραλία, Καναδά και Ευρώπη, το 2013 (FAOstat, 2016).....	39
Διάγραμμα 3 Απεικόνιση του κύκλου αζώτου στη φύση. Στον κόκκινο κύκλο τονίζεται η ύπαρξη των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στις ρίζες των Ψυχανθών..	40
Διάγραμμα 4 Μετεωρολογικά δεδομένα πειραματικού αγρού Ερυθρών, Βοιωτίας (Ιανουάριος-Ιούλιος 2018).....	55
Διάγραμμα 5 Γραφική απεικόνιση κατακρημνισμάτων πειραματικού αγρού Ερυθρών, Βοιωτίας (Ιανουάριος-Ιούλιος 2018).....	55
Διάγραμμα 6 Διάγραμμα απόδοσης σε σπόρο για τις καταχωρήσεις λούπινου, κουκιού και σιταριού.....	68
Διάγραμμα 7 Γραφική συγκριτική απεικόνιση του πλήθους ενεργών φυματίων στις ρίζες των ποικιλιών λούπινου που μελετήθηκαν στις μεταχειρίσεις με και χωρίς ριζόβιο.....	74
Διάγραμμα 8 Γραφική συγκριτική απεικόνιση της φυλλικής επιφάνειας (cm ²) στις δύο μεταχειρίσεις: 1 μεταχείριση με ριζόβιο, 2 μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.....	77
Διάγραμμα 9 Διάγραμμα αζωτοδέσμευσης λούπινου, κουκιού και σιταριού, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ με πράσινο είναι η μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.....	98
Διάγραμμα 10 Διάγραμμα απόδοσης σε σπόρο (kg/ha) για το λούπινο, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ με μαύρο η μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.....	100
Διάγραμμα 11 Διάγραμμα ολικών αζωτούχων ουσιών στο σπόρο του λούπινου (%), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με μπλε χρώμα είναι η μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ με κίτρινο είναι η μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.....	101
Διάγραμμα 12 Δενδρόγραμμα που δείχνει τη σχέση μεταξύ των καταχωρήσεων-ποικιλιών.....	104

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Ο πειραματικός αγρός στις Ερυθρές Βοιωτίας, Φεβρουάριος 2018.....	51
Εικόνα 2 Οι 5 τύποι των ανθέων.....	58
Εικόνα 3 Ο τύπος άνθους 3.2.....	59
Εικόνα 4 Σχήμα σπόρου κατά IBGGR, 2016.....	61
Εικόνα 5 Μοτίβο περισπερμίου κατά IBPGR, 2016.....	61
Εικόνα 6 Φυμάτια στη ρίζα φυτού λούπινου της καταχώρησης LIB220 (L. mutabilis) από τη μεταχείριση 1 (με ριζόβιο).....	75
Εικόνα 7 Ζυγός δύο δεκαδικών ψηφίων.....	136
Εικόνα 8 Πυραντήριο στο οποίο τοποθετήθηκαν οι κάψες με τον φυτικό ιστό, στους 550 βαθμούς για 8 ώρες.....	137
Εικόνα 9 Διαδικασία εκχύλισης-διήθησης για παραλαβή διαλύματος για μέτρηση Φωσφόρου και Καλίου. Κάψες με καμένο φυτικό ιστό, κωνικές φιάλες με χωνιά και διηθητικό χαρτί και μπουκαλάκια αποθήκευσης διαλύματος.....	138
Εικόνα 10 Φλογοφωτόμετρο για προσδιορισμό Καλίου.....	139

Κατάλογος Παραρτημάτων

A. Πρωτόκολλα

A. 1. Ανάλυση εδάφους

A.2 High Temperature Oxidation: Dry Ashing

A. 3 Μέθοδος Kjeldahl

A. 4 Βιολογική Αζωτοδέσμευση (BNF)

1. Εισαγωγή παρούσας μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία, με θέμα «Συγκριτική καλλιέργεια ποικιλιών *L. mutabilis* με άλλα είδη λούπινου, κουκί και σιτάρι» εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμες Φυτικής Παραγωγής» με κατεύθυνση «Γεωργία, Βελτίωση και Γεωργικός Πειραματισμός», στο εργαστήριο «Βελτίωση Φυτών και Γεωργικός Πειραματισμός», του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Το πείραμα έλαβε χώρα στις Ερυθρές Βοιωτίας, στον αγρό του Αγροτικού Συνεταιρισμού Ερυθρών, υπό την αιγίδα του ευρωπαϊκού προγράμματος LIBBIO, Horizon 2020, κατά το έτος 2017-2018.

Στην παρούσα έρευνα, γίνεται σύγκριση τριών καταχωρήσεων λούπινου των Άνδεων *L. mutabilis* (LIB220, LIB221, LIB222) Γερμανικής προέλευσης, με μία εμπορική ποικιλία λευκού λούπινου *L. albus* (cv Multitalia), μία εμπορική ποικιλία μπλε λούπινου *L. angustifolius* (cv Polo), μία εμπορική ποικιλία κουκιού cv Aguadulce και μία εμπορική ποικιλία σκληρού σιταριού cv Normano, όσο προς την απόδοσή τους σε σπόρο και την καλλιέργειά τους στην περιοχή των Ερυθρών Βοιωτίας. Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της εμβάπτισης του σπόρου σε ριζοβιακό στέλεχος *Bradyrhizobium lupini* τόσο στην περιεκτικότητα των σπόρων και των στελεχών σε αζωτούχες ουσίες, όσο και στην απόδοση σε σπόρο και τη βιολογική αζωτοδέσμευση των ποικιλιών λούπινου. Οι εμπορικές ποικιλίες λούπινου (cv Multitalia και cv Polo), καθώς και οι εμπορικές ποικιλίες κουκιού και σιταριού επιλέχθηκαν ως μάρτυρες.

Τα Ψυχανθή σχηματίζουν συμβιωτικές σχέσεις με βακτήρια που ονομάζονται ριζόβια (Sprent and Sprent, 1990). Ήδη από την αρχαιότητα είχε παρατηρηθεί η θετική επίδραση των Ψυχανθών στις επόμενες καλλιέργειες (Wang et al., 2012). Τα ριζόβια δεσμεύουν το άζωτο της ατμόσφαιρας και το ανάγουν σε μορφές χρήσιμες για το φυτό και αυτή η διαδικασία ονομάζεται Βιολογική Αζωτοδέσμευση (Biological Nitrogen Fixation-BNF). Μετά την ανακάλυψη της διαδικασίας παραγωγής ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων από τους Haber και Bosch, η χρήση τους αυξήθηκε κατακόρυφα και η χρήση των ψυχανθών για εμπλουτισμό του εδάφους με άζωτο μειώθηκε κατά πολύ. Μία από τις επιπτώσεις της μεγάλης κατανάλωσης σόγιας αποτελεί η σταδιακή αποψίλωση του

Αμαζονίου (Nepstad et al., 2006). Επίσης, σύμφωνα με τους Vitousek et al. (1997) και Sutton et al. (2011), η αλόγιστη χρήση αζώτου οδηγεί σε φαινόμενα ευτροφισμού και αύξηση της οξύτητας του νερού και ευθύνεται για τις περισσότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη γεωργία.

Σε συνδυασμό με το παγκόσμιο ενδιαφέρον για γενετικά μη τροποποιημένες πρωτεϊνούχες τροφές και για τη δημιουργία αειφορικών συστημάτων γεωργίας, παρατηρείται στροφή προς τα ψυχανθή. Η καλλιέργειά τους, αφενός αποδίδει «φθηνή» πρωτεΐνη, αφετέρου μέσω της αζωτοδέσμευσης εμπλουτίζεται το έδαφος με άζωτο, ευνοώντας τις επόμενες καλλιέργειες (Bullock, 1992).

Το λούπινο είναι ένα Ψυχανθές γνωστό στη λεκάνη της Μεσογείου, όπως και στη Νότια Αμερική. Αποτελεί μία βιώσιμη εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών για ζωοτροφή (Abraham et al., 2019). Το *Lupinus mutabilis*, ή αλλιώς το λούπινο των Άνδεων, αποτελεί το πλέον ενδιαφέρον είδος λούπινου, καθώς η περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνη φτάνει το 46-48%, σε σχέση με τη σόγια (Jacobsen και Mujica, 2008). Το *L. mutabilis* αποτελεί σημαντική καλλιέργεια ψυχανθούς στις Άνδεις (Jacobsen και Mujica, 2008), όπου είναι και το μοναδικό καλλιεργούμενο είδος λούπινου (Mercedes, 1991), όμως στην Ευρώπη και την Αυστραλία η καλλιέργεια λούπινου περιορίζεται στα είδη *L. albus*, *L. angustifolius*, και *L. luteus* (Mercedes et al., 2015). Το λούπινο των Άνδεων είναι μία καλλιέργεια που χρησιμοποιείται στις ορεινές καλλιεργούμενες περιοχές ως συστατικό αμειψισπορών, με σκοπό τη σταθεροποίηση του αζώτου και την κινητοποίηση του φωσφόρου (Lambers et al., 2013).

Η υψηλή περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνη είναι ενδιαφέρουσα για παραγωγή πρωτεϊνούχων τροφών, εναλλακτικές των ζωικών (Wellesley et al., 2015), και αποτελεί κίνητρο για έρευνα στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τον Neves Martins et al. (2016) και τον Wink (1991) ο σπόρος μπορεί να φτάσει σε πρωτεΐνη το 50%, ενώ το ότι είναι φυσικά προσαρμοσμένο σε ένα εύρος συνθηκών, δίνει τη δυνατότητα πειραματισμού και καλλιέργειάς του σε διάφορες περιοχές.

Έρευνες σχετικά με το λούπινο *L. mutabilis* έχουν διεξαχθεί ανά τον κόσμο, σε χώρες όπως η Ολλανδία, η Πορτογαλία, η Γερμανία, η Ισπανία, η Αυστραλία, η Γαλλία και άλλες (Caligari et al., 2000, Clements et al., 2008, Wink, 1991).

Ο Iannetta et al. (2016) μελέτησαν το ισοζύγιο Αζώτου και την απόδοση, σε ψυχανθή και μη ψυχανθή φυτά και παρατήρησαν ότι η απόδοση των μη ψυχανθών φυτών αυξήθηκε κατά 30%. Η μεθοδολογία τους αφορούσε μέτρηση των εισροών και εκροών αζώτου έτσι ώστε να υπολογιστεί το πλεόνασμά του και η αποδοτικότητά του.

Η παρούσα εργασία αποτελεί το πρώτο πείραμα στην Ελλάδα που αφορά αφενός την αξιολόγηση του *L. mutabilis* στην περιοχή των Ερυθρών και τη σύγκρισή του με εμπορικές ποικιλίες λούπινου, κουκιού και σιταριού ως προς την απόδοση σε σπόρο και αφετέρου τη μελέτη επίδρασης της εμβάπτισης με ριζόβιο βακτήριο (*Bradyrhizobium lupini*) ως προς τη Βιολογική Αζωτοδέσμευση, την απόδοση σε σπόρο και την περιεκτικότητα των σπόρων και των στελεχών σε ολικές αζωτούχες ουσίες.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Το λούπινο

2.1.1 Γενικά

Η υψηλή θρεπτική αξία αλλά και η ανάγκη για αειφορική γεωργία σε παγκόσμια κλίμακα, έχει στρέψει το ενδιαφέρον προς εναλλακτικές καλλιέργειες, τονίζοντας τη σημασία της οικογένειας των οσπρίων (Stagnari, 2017). Το λούπινο είναι ένα φυτό Ψυχανθές, το οποίο αναφέρεται ήδη σε κείμενα από την αρχαιότητα. Πιο συγκεκριμένα, ο Θεόφραστος και ο Διοσκουρίδης το ονόμαζαν «θέρμος», ενώ ο Διοσκουρίδης αναφερόταν στο μπλε λούπινο ως «άγριο λούπινο» (Δαλιάνης, 1983). Τα λούπινα, ανήκουν στο γένος *Lupinus* L. και πιθανόν η ονομασία τους να έχει προέλευση από τη λατινική λέξη *lupus*, που σημαίνει λύκος και οφείλεται στο σχήμα του φύλλου που είναι παλαμοειδές και μοιάζει με ίχνη λύκου (Kurlovich, 2002). Η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη που έχει ο σπόρος του λούπινου των Άνδεων (*L. mutabilis*), φτάνοντας το 40% (Murphy-Bokern et al., 2017), φαίνεται να το καθιστά μία εναλλακτική της σόγιας καλλιέργεια, ενώ παράλληλα τονίζεται κι η σημασία της περαιτέρω έρευνας πάνω στις ποικιλίες του είδους.

2.1.2 Βοτανική ταξινόμηση

Η οικογένεια Leguminosae διανέμεται παγκοσμίως και περιλαμβάνει 750 γένη (Allen and Allen, 1981) και 20.000 είδη και αντιπροσωπεύει την τρίτη μεγαλύτερη οικογένεια ανθοφόρων φυτών. Οι ταξινομοί έχουν διαιρέσει την οικογένεια των οσπρίων σε τρεις υποοικογένειες, Mimosoideae, Papilionoideae και Caesalpinioideae, λόγω των διαφορών των φυτών (Allen and Allen, 1981). Μερικά από τα πιο σημαντικά μέλη της οικογένειας Leguminosae είναι οι φακές, τα λούπινα, η σόγια, τα ρεβίθια, τα μαυρομάτικα φασόλια, τα φασόλια, κλπ. Το γένος *Lupinus* περιλαμβάνει πληθώρα ειδών, τα οποία εκτιμώνται ότι είναι 200 (Kurlovich et al, 2002). Ωστόσο, τα καταγεγραμμένα είδη σύμφωνα με το Integrated Taxonomic Information System είναι 164 (www.itis.gov). Το γένος *Lupinus* περιέχει τόσο ετήσια όσο και πολυετή ποώδη είδη, καθώς και ορισμένους τύπους θάμνων και δέντρων (Ainouche and Bayer, 1999). Η πλούσια ποικιλία των ειδών έχει επίσης

συγκεντρωθεί σε είδη της Μεσογείου και της Βόρειας Αφρικής, «Παλαιού Κόσμου» και του Αμερικανικού είδους «Νέου Κόσμου», καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα. Ο αριθμός των ειδών του Παλαιού Κόσμου είναι περιορισμένος, αντιπροσωπεύοντας μόνο 12 ετήσια είδη. Αυτά έχουν χωριστεί σε δύο ξεχωριστές ομάδες, Malacospermae και Scabrispermae, βασιζόμενες κυρίως στην υφή της επικάλυψης των σπόρων: το είδος των ομαλών και των ακατέργαστων σπόρων, αντίστοιχα (Gladstones, 1984). Η ομάδα Malacospermae αποτελείται από πέντε είδη ομαλών σπόρων: *L. angustifolius*, *L. albus*, *L. luteus*, *L. hispanicus* και *L. micranthus* και διανέμονται γύρω από τη Μεσόγειο και εμφανίζουν μεταβλητούς αριθμούς χρωμοσωμάτων που κυμαίνονται από $2n = 40$ έως 52 (Naganowska et al., 2003). Η ομάδα Scabrispermae περιλαμβάνει επτά είδη ακατέργαστου σπόρου: *L. pilosus*, *L. cosentinii*, *L. digitatus*, *L. princei*, *L. palaestinus*, *L. atlanticus* και *L. somaliensis*. Τα είδη αυτά κατανέμονται κυρίως στη Βόρεια Αφρική και στο ανατολικό τμήμα της Μεσογείου με αριθμούς χρωμοσωμάτων που κυμαίνονται από $2n = 32$ έως 42 (Naganowska et al., 2003). Τα είδη λούπινου του Νέου Κόσμου είναι δύσκολα ως προς την ταξινόμηση. Σύμφωνα με τον Dunn (1984), έχει προταθεί ότι υπάρχουν περίπου 500 είδη στο Νέο Κόσμο με περισσότερα από 1700 ονόματα. Πρόσφατα στοιχεία υποδηλώνουν ότι τα λούπινα του Νέου Κόσμου μπορούν να αντιμετωπίζονται ως ένα ευρέως καθορισμένο πολυμορφικό είδος (Ainouche and Bayer, 1999). Ο βασικός χρωμοσωμικός αριθμός που προτείνεται για αυτήν την ομάδα είναι $x = 6$ και θεωρούνται ως παλαιοπολυποειδή που συμπεριφέρονται ως διπλοειδή (Dunn, 1984). Τα περισσότερα από τα είδη του Νέου Κόσμου που ερευνήθηκαν κυτταρολογικά, συμπεριλαμβανομένου του *L. mutabilis*, εμφανίζουν έναν κοινό αριθμό χρωμοσωμάτων $2n = 48$ με μερικά μεμονωμένα άτομα που έχουν $2n = 36$ και 96 (Ainouche and Bayer, 1999, Camillo et al., 2006).

2.1.3 Καταγωγή και εξημέρωση

Το *Lupinus* είναι γένος με μεγάλη βιοποικιλότητα και υπάρχει τόσο στο ανατολικό όσο και στο δυτικό ημισφαίριο της Γης. Το κέντρο προέλευσης για το γένος αυτό δεν έχει προσδιοριστεί, αν και έχουν προταθεί τρία διαφορετικά κέντρα προέλευσης που περιλαμβάνουν τη Μεσόγειο, τη Βόρεια Αμερική και τη Νότια Αμερική (Hondelmann, 1984, Kurlovich et al., 2002). Οι μελέτες μοριακής εξέλιξης υποδηλώνουν ότι το κέντρο

προέλευσης είναι η περιοχή της Μεσογείου και της βόρειας και ανατολικής Αφρικής για το είδος του Παλαιού Κόσμου και δύο γενεαλογίες οδηγούν στα είδη του Νέου Κόσμου στη Βόρεια Αμερική και τη Νότια Αμερική αντίστοιχα (Wink et al., 1999, Wolko et al., 2011). Το *L. mutabilis* εξημερώθηκε τον 6^ο-7^ο αιώνα π.Χ., από τον πολιτισμό των προγόνων των Ίνκας, στην περιοχή του σημερινού Περού (Munoz et al., 2017). Περίπου το 90% των αναγνωρισμένων ειδών λούπινου διανέμονται σε εύκρατες και υποτροπικές ζώνες της Βόρειας και Νότιας Αμερικής, που κυμαίνονται από το κράτος της Ουάσιγκτον των ΗΠΑ μέχρι τη νότια Αργεντινή και τη Χιλή. Τα υπόλοιπα είδη διανέμονται στην περιοχή της Μεσογείου και την Αφρική, με πληθυσμό που εκτείνεται στις πεδινές και ορεινές περιοχές της τροπικής Ανατολικής Αφρικής και στο υποαρκτικό κλίμα της Αλάσκας και της Ισλανδίας (Gladstones 1998, Wolko et al., 2011). Τα λούπινα έχουν μια αρχαία ιστορία στη γεωργία που έχει ίχνη πάνω από 4000 χρόνια (Kurlovich, 2002). Η εξημέρωση έγινε στην περιοχή της Μεσογείου και στην αμερικανική ήπειρο, αλλά η πραγματική εξέλιξη που έκανε το λούπινο μια σύγχρονη καλλιέργεια, συνέβη στην Ευρώπη και την Αυστραλία. Η ιστορία της εξημέρωσης του λούπινου μπορεί να περιγραφεί χωριζόμενη σε επτά χρονολογικές ενότητες (Clements et al., 2005, Kurlovich et al., 2002). Η πρώτη ενότητα αφορά τα χρόνια πριν από το 2000 π.Χ. Η πρωτογενής εξημέρωση του *L. albus* έγινε στην αρχαία Ελλάδα και την Αίγυπτο για την παραγωγή σιτηρεσίων για κατανάλωση από τον άνθρωπο και τα ζώα, καθώς και για τα καλλυντικά και την ιατρική. Η δεύτερη ενότητα αφορά στα 1000-800 π.Χ. Παρατηρείται αξιοποίηση του *L. albus* ως πράσινη κοπριά στην αρχαία Ρώμη και, στη συνέχεια, σε άλλες μεσογειακές χώρες. Η τρίτη ενότητα αφορά στα 700-600 π.Χ. Αυτή την περίοδο γίνεται η πρωτογενής εξημέρωση του λούπινου των Άνδεων (*L. mutabilis*) στην αμερικανική ήπειρο. Η τέταρτη ενότητα αναφέρεται στη δεκαετία 1860s, όπου γίνεται εξημέρωση του *L. luteus* και του *L. angustifolius* για την παραγωγή πράσινης κοπριάς στις χώρες της Βαλτικής και στη συνέχεια στη Γερμανία. Η πέμπτη περίοδος αφορά τα έτη 1927-1928, όπου αναπτύσσονται μέθοδοι για την επιλογή μεταλλάξεων λούπινων χαμηλών αλκαλοειδών στη Γερμανία. Τις δεκαετίες από το 1930 μέχρι το 1970, που ανήκουν στην έκτη ενότητα, οι γλυκές ποικιλίες λούπινου με διαπερατούς σπόρους αναπτύχθηκαν από τα είδη *L. luteus*, *L. albus*, *L. angustifolius* και *L. mutabilis* στη Γερμανία, τη Σουηδία και τη Ρωσία. Τέλος, η έβδομη ενότητα αφορά τη δεκαετία του '80-'90, όπου αναπτύσσονται

πλήρως εξημερωμένοι σπόροι *L. cosentinii* και γίνεται περαιτέρω εξημέρωση άλλων πιθανών ειδών λούπινου (*L. atlanticus* και *L. pilosus* και *L. polyphyllus* Lindl.) στην Αυστραλία και τη Ρωσία.

Στην άγρια κατάσταση τους, τα λούπινα έχουν «σκληρούς» (αδιάβροχους) σπόρους, διανοιγμένους λοβούς και υψηλό επίπεδο αλκαλοειδών που καθιστούν τους σπόρους λούπινου τοξικούς για κατανάλωση από τον άνθρωπο και τα ζώα. Η ανακάλυψη της επιλογής φυσικών μεταλλαγμάτων στο *L. luteus* με χαμηλά αλκαλοειδή (γλυκό είδος) από τον Von Sengbusch στη Γερμανία το 1927/1928, μετά την ανάπτυξη μιας γρήγορης μεθόδου ανίχνευσης αλκαλοειδών, άνοιξε μια νέα εποχή στη σύγχρονη αναπαραγωγή λούπινου (Hondelmann, 1984). Η σύγχρονη αναπαραγωγή λούπινου έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ειδών και ποικιλιών λούπινου που παράγουν σπόρους γλυκούς και διαπερατούς από το νερό, και μη διανοιγμένους λοβούς, έτσι ώστε να διευκολυνθεί η μηχανική συγκομιδή. Τα εξημερωμένα είδη λούπινου έχουν καλλιεργηθεί σε πολλές χώρες στις πέντε ηπείρους.

Τα περισσότερα από τα σημαντικά είδη είναι τα είδη του Παλαιού Κόσμου λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους τους και του καλά μορφοποιημένου εμβρύου. Οι μεσογειακές ποικιλίες λούπινου χαρακτηρίζονται από έναν sympodial τύπο διακλάδωσης (που τείνει να έχουν πλευρική ανάπτυξη) και είναι κυρίως αυτο-γονιμοποιημένες (Kurlovich, 2002). Μεταξύ αυτών, οι *L. angustifolius*, *L. albus* και *L. luteus* με απλή σπορά έχουν συμπεριληφθεί ευρέως στη γεωργική πρακτική σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης της Αυστραλίας. Επιπλέον, ακατέργαστος σπόρος *L. cosentinii* Guss. έχει εξημερωθεί στην Δυτική Αυστραλία (Cowling and Gladstones, 2000). Ορισμένα βελτιωτικά έργα για το *L. atlanticus* και το *L. pilosus* έχουν γίνει στην Αυστραλία για να ταιριάζουν στην παραγωγή τους σε ασβεστολιθικά εδάφη (Brand et al., 2002, Buirchell and Cowling 1992, Miao et al., 2001).

Τα λούπινα του Νέου Κόσμου είναι λιγότερο εξειδικευμένα από αυτά του Παλαιού Κόσμου. Χαρακτηρίζονται γενικά από έναν πιο πρωτόγονο ορθόκλαδο μονοστέλεχο τύπο διακλάδωσης (που τείνει να αναπτυχθεί προς τα πάνω από ένα μόνο σημείο για να σχηματίσει ένα μόνο στέλεχος) και από τη σταυρεπικονίαση (Kurlovich, 2002). Οι σπόροι τους είναι μικροί με διαφοροποιημένο έμβρυο και γενικά έχουν μικρό

ενδοσπέρμιο, καθιστώντας τους ελκυστικούς για την παραγωγή σιτηρεσίων. Μεταξύ των ειδών του Νέου Κόσμου, μόνο το *L. mutabilis* εξημερώνεται και καλλιεργείται ως σποροπαραγωγική καλλιέργεια σε όλες τις Άνδεις (Eastwood and Hughes, 2008). Ένα άλλο είδος *L. polyphyllus* (λούπινο της Ουάσιγκτον) εντοπίζεται σε πολλές χώρες ως ζιζάνιο και η προσπάθεια να μετατραπεί σε εγχώρια καλλιέργεια κτηνοτροφικών φυτών εξακολουθεί να βρίσκεται υπό εξέλιξη (Kurlovich et al., 2008).

2.1.4 Βελτίωση

Το λούπινο χρησιμεύει ως καλλιέργεια ζωοτροφών και τροφίμων, αλλά και ως ένα καλλωπιστικό φυτό. Κάποια είδη έχουν βελτιωθεί ως προς την διακοσμητική αξία τους, ενώ άλλα αποτελούσαν παραδοσιακά τρόφιμα στην περιοχή της Μεσογείου και τα υψίπεδα των Άνδεων, στη Νότια Αμερική.

Τα λούπινα μπορούν να βελτιωθούν μέσω της συμβατικής αναπαραγωγής που βασίζεται σε φυσικά αποθέματα γενετικού υλικού και η γενετική μηχανική μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη μελλοντική βελτίωση των καλλιεργειών λούπινου. Οι χώρες με σημαντικά προγράμματα αναπαραγωγής περιλαμβάνουν την Αυστραλία, την Πολωνία, τη Ρωσία, τη Γερμανία, τη Λευκορωσία και τη Χιλή. Μετά την απελευθέρωση της πρώτης ποικιλίας *L. angustifolius*, Uniwhite, η βελτίωση για αγρονομικά χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα για την απόδοση και την ανθεκτικότητα σε ασθένειες, συνεχίστηκε στην Αυστραλία. Η αναπαραγωγή *L. angustifolius* ήταν το επίκεντρο, ιδιαίτερα στην Δυτική και Νότια Αυστραλία, αλλά η αναπαραγωγή του λευκού γλυκού λούπινου προσέελκυσε μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη Νέα Νότια Ουαλία. Παρόμοιες εργασίες αναπαραγωγής πραγματοποιήθηκαν στη Χιλή, τη Γερμανία, την Πολωνία και τη Ρωσία. Η σύγχρονη αναπαραγωγή λούπινου βασίζεται σε γενετικό υλικό από άγρια λούπινα και φυσικά και επαγόμενες μεταλλάξεις (Cowling et al., 1998). Η βασική μέθοδος αναπαραγωγής λούπινου είναι ο τυπικός ενδο-ειδικός υβριδισμός βήμα-βήμα. Πολλαπλές, οπίσθιες, αμοιβαίες, διαλικές και πολυαλληλικές διασταυρώσεις χρησιμοποιούνται σε επαναλαμβανόμενα σχήματα υβριδισμού. Λόγω των αναπαραγωγικών φραγμών, η διασταύρωση μεταξύ ειδών του παλαιού και του νέου κόσμου δεν μπορεί να παράγει γόνιμα υβρίδια υπό φυσικές συνθήκες (Kurlovich and Kartuzova, 2002). Αν και οι βιώσιμοι σπόροι ή φυτά F1 ή F2 έχουν παραχθεί από

διασταυρώσεις μεταξύ των ειδών του Παλαιού Κόσμου ή του είδους Νέου Κόσμου (Clements et al., 2008, Gupta et al., 1996), κανένα τέτοιο υλικό δεν έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε οποιοδήποτε εμπορικό βελτιωτικό πρόγραμμα. Η πλειοψηφία των πρώιμων ποικιλιών λούπινου παρήχθη με τη χρήση αυθόρμητων ή επαγόμενων μεταλλάξεων. Για το *L. angustifolius*, η αναπαραγωγή ενέχει την εισαγωγή βασικών χαρακτηριστικών εξημέρωσης που ελέγχονται από μεταλλάξεις σε πέντε ή έξι τόπους και αυτά τα αλληλόμορφα είναι υπολειπόμενα (Nelson et al., 2006). Το αλληλόμορφο *Lucundus* (*Iuc*) ελέγχει την παραγωγή αλκαλοειδών και την πικρία και το υπολειπόμενο μεταλλαγμένο *iuc* εκμεταλλεύτηκε για να παράγει "γλυκές" μορφές χαμηλής περιεκτικότητας σε αλκαλοειδή (Gladstones, 1977). Το *Mollis* ελέγχει τη διαπερατότητα του νερού από τους σπόρους. Δύο γονίδια είναι γνωστό ότι είναι υπεύθυνα για τη διάνοιξη του λοβού, το *Tardus* (*Ta*) και το *Lentus* (*Le*), και το πρόσθετο αποτέλεσμα των υπολειπόμενων μεταλλαγμάτων παρεμποδίζει τη διάνοιξη του λοβού κατά τη συγκομιδή (Gladstones, 1967). Τα άγρια είδη λούπινου, εμφανίζουν όψιμη άνθηση και αντιδρούν στην εαρινοποίηση (Adhikari et al., 2012). Σύμφωνα με τον Adhikari et al. (2011) η πρώιμη άνθηση στο λευκό λούπινο εξασφαλίζει αποφυγή φαινομένων ξηρασίας. Τα γονίδια που ευθύνονται για την πρώιμη άνθηση είναι το *Ef1* και το *Ef2*. Το *Leucospermus* (*Leuc*) ελέγχει την παραγωγή χρωστικών στους σπόρους, τις κοτυληδόνες και τα άνθη, ενώ το υπολειπόμενο μεταλλαγμένο *leuc* έχει χρησιμοποιηθεί για διαφοροποίηση της εξημερωμένης καλλιέργειας από τα λευκά άνθη και τους σπόρους της από τους πικρούς, κυανόχρους, άγριους πληθυσμούς που μπορεί να υπάρχουν στην ίδια περιοχή (Gladstones, 1977). Η μεταλλαξογένεση έχει ενσωματωθεί εδώ και καιρό στην αναπαραγωγή λούπινου. Τα κοινά μεταλλαξιογόνα που χρησιμοποιούνται στην αναπαραγωγή λούπινου περιλαμβάνουν ιοντίζουσα ακτινοβολία (ακτίνες X και ακτίνες γ) και χημικούς παράγοντες όπως EI (αιθυλενο-ιμίνη), EMS (μεθανοσουλφονικό αιθύλιο), NMH (νιτροζομεθυλουρία) και DMS (διμεθυλο σουλφονικό) (<http://www.docstoc.com/docs/15258973/Mutant-Varieties-Database>). Στην Ουκρανία, διάφορες μεταλλάξεις δημιουργήθηκαν μέσω ακτινοβολίας στο *L. albus* και χρησιμοποιήθηκαν σε προγράμματα αναπαραγωγής για τη δημιουργία ποικιλιών χωρίς αλκαλοειδή, όπως το 'Κίεβο Μούταντ' (Golovchenko, 1982). Στην Αυστραλία, η μεταλλαξογένεση με ακτίνες X χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή γονιδίων για χαμηλή

περιεκτικότητα αλκαλοειδών (sw), πρώιμη άνθηση (xe) και λευκά άνθη (wfs) στο *L. cosentinii*. και το γονίδιο πρώιμης ανθοφορίας προκλήθηκε στο *L. angustifolius* από την EI (Cowling et al., 1998). Στο Κέντρο Οσπριοειδών Μεσογειακής Γεωργίας, στη Δυτική Αυστραλία, πρόσφατα δημιουργήθηκαν δύο γενετικά τροποποιημένα *L. angustifolius* με υψηλή αντοχή στη metribuzin (Tanil-AZ-33 και Tanil-AZ-55) με την επεξεργασία των σπόρων με αζίδιο του νατρίου (Si et al., 2009). Τα επιδιωκόμενα χαρακτηριστικά στα πιο πρόσφατα προγράμματα βελτίωσης περιλαμβάνουν την απόδοση, την αντοχή στις ασθένειες και τα αβιοτικά στρες, τη βιοχημική δομή που συνδέεται με την ποιότητα των σπόρων, την ικανότητα σταθεροποίησης του αζώτου, τη διάρκεια της βλάστησης, την αρχιτεκτονική των φυτών και τη μη διάνοιξη των λοβών (Cowling et al., 1998, Kurlovich and Kartuzova, 2002). Για τη μεγάλη κλίμακα αυτών των στοχευμένων χαρακτηριστικών, η μοριακή βελτίωση έχει προσελκύσει μεγαλύτερη προσοχή αλλά και χρηματοδότηση. Έχει αναπτυχθεί ένας γενετικός χάρτης βασισμένος πολυμορφισμό μήκους θραυσμάτων μικροσωληνίσκου (MFLP) (Boersma et al., 2005) και σε ένα γονιδιακό χάρτη σύνδεσης στο *L. angustifolius* (Nelson et al., 2006). Επιπλέον, έχει αναπτυχθεί ένας χάρτης σύνδεσης του *L. albus* που συνδυάζει ενισχυμένο πολυμορφισμό μήκους θραυσμάτων (AFLP) και γενετικούς δείκτες (Phan et al., 2007). Μεγάλη κλίμακα με υποβοηθούμενη επιλογή για διάφορα χαρακτηριστικά βιομηχανικής σημασίας έχει χρησιμοποιηθεί στη βελτίωση λούπινου. Για παράδειγμα, οι μοριακοί δείκτες που επισημαίνουν την ανθεκτικότητα της ανθρακίζης και η ανθεκτικότητα του φλοιού του ρhomoopsis στο *L. angustifolius* και *L. albus* έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί σε προγράμματα αναπαραγωγής στην Αυστραλία (Yang et al., 2008, Yang et al., 2010, You et al., 2005).

2.1.5 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το *Lupinus* είναι ένα γένος με ποικιλία ειδών. Μερικά από τα είδη είναι ετήσια (π.χ. εκείνα του Παλαιού Κόσμου), ενώ τα περισσότερα είδη είναι ποώδη πολυετή και λίγα είναι θάμνοι. Το ύψος των φυτών κυμαίνεται από 0,2 έως 1,5 μέτρα, με μερικούς θάμνους να φτάνουν τα 2,5 μέτρα. Μία σύντομη περιγραφή της μορφολογίας και της ανατομίας του λούπινου παρουσιάζεται παρακάτω με έμφαση στα ποώδη ετήσια είδη, όπως το *L. mutabilis*, *L. albus* και *L. angustifolius*.

2.1.5.1 Ρίζα

Η μορφολογία των ριζών στα λούπινα ποικίλει μεταξύ των ειδών, κυμαινόμενη από μια κυρίαρχη ρίζα με σχετικά λίγες πλευρικές ρίζες, σε ένα πολύ ανεπτυγμένο σύστημα πλευρικών ριζών (Clements et al., 1993). Η ποικιλία στη μορφολογία των ριζών μπορεί να οφείλεται σε διαφορές ως προς την προσαρμογή των ειδών λούπινου σε διαφορετικούς τύπους εδάφους. Το είδος *L. angustifolius* παρουσιάζει ένα κεντρικό σύστημα με πολλές πρωτεύουσες πλευρικές ρίζες αλλά λίγες δευτερεύουσες, ενώ τα είδη *L. albus* και *L. mutabilis* εμφανίζουν πιο ανεπτυγμένο πλευρικό ριζικό σύστημα (Clements et al., 1993). Επίσης, έχει βρεθεί ότι το έδαφος παίζει ρόλο στη διαμόρφωση της ρίζας, καθώς σε αλκαλικά εδάφη τα είδη *L. albus* και *L. pilosus* το ξηρό βάρος της ρίζας ήταν χαμηλότερο σε σχέση με μη αλκαλικά εδάφη (Kerley et al., 2001). Γι αυτό τα λούπινα δεν αναπτύσσονται καλά σε αλκαλικά εδάφη και προτιμούν τα ελαφρώς όξινα έως ουδέτερα (Tang et al., 1993) Για τα είδη λούπινου με κεντρικό ριζικό σύστημα, η κύρια ρίζα φθάνει στο βάθος των 1-2 μέτρων. Όταν στο έδαφος υπάρχει το κατάλληλο ριζόβιο βακτήριο, τα Ψυχανθή σχηματίζουν στις ρίζες τους φυμάτια, τα οποία αζωτοδεσμεύουν. Οι ρίζες του λούπινου, και κυρίως ο κεντρικός τους άξονας, φέρουν φυμάτια που σχηματίζονται από ριζοβακτήρια του γένους *Bradyrhizobium (lupini)*. Επιπλέον, μορφολογικές προσαρμογές συμβαίνουν σε πολλά φυτά για αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών ουσιών. Για παράδειγμα, μπορούν να σχηματιστούν πρωτεϊνικές ρίζες, επίσης γνωστές ως ρίζες συστάδων, ως απόκριση στην ανεπάρκεια φωσφόρου ή σιδήρου (Gardner et al., 1982, Gilbert et al., 2000, White and Robson, 1989).

2.1.5.2 Στέλεχος

Η μορφολογία των στελεχών λούπινου ποικίλει μεταξύ των ειδών. Παρατηρείται ότι το στέλεχος είναι κυλινδρικό για τα ποώδη είδη, ενώ για τα θαμνώδη είδη κυριαρχεί δενδρώδης διάταξη, με διακλαδώσεις (Kurlovich et al., 2002). Η διατομή του στελέχους είναι συνήθως κυκλική και τα ετήσια είδη λούπινου διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το σχήμα και το μέγεθος της διατομής των στελεχών τους (Petrova, 2002). Το στέλεχος του λούπινου ανάλογα με το είδος, μπορεί να φέρει χνόωση σε διάφορες πυκνότητες, ή να είναι κηρώδες (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012)

2.1.5.3 Φύλλο

Τα φύλλα των λούπινων έχουν ένα χαρακτηριστικό σχήμα, κι όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, σε αυτό οφείλουν την ονομασία του γένους. Το λούπινο έχει σύνθετα φύλλα, σε παλαμοειδή διάταξη, με φυλλάρια που εκφύονται κυκλικά από το ακραίο σημείο του μίσχου. Το σχήμα αλλά και το μέγεθος των φυλλαρίων ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ των διαφορετικών ειδών, συμπεριλαμβανομένων του οβάλ επίμηκες, ωοειδές επίμηκες, στενό γραμμικό, και περισσότερων (Kurlovich et al, 2002). Η επιφάνεια των φυλλαρίων καλύπτεται στις περισσότερες περιπτώσεις από ασημένιες τρικυτταρικές τρίχες σε διάφορες πυκνότητες (Petrova, 2002). Τα φύλλα είναι μαλακά πράσινα ή γκριζωπά πράσινα και συνδέονται στα στελέχη με επιμήκεις μίσχους.

2.1.5.4 Άνθη

Τα περισσότερα είδη λούπινου που έχουν μελετηθεί, φέρουν βοτρυώδεις ταξιανθίες, οι οποίες βρίσκονται στο κύριο στέλεχος και τους πλευρικούς βλαστούς (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Αυτός ο τύπος ταξιανθία έχει μια κατακόρυφη ανθοταξία και τα άνθη παράγονται πυκνά ή πιο αραιά, σε μια όρθια ακίδα. Η άνθηση ξεκινάει από τα κατώτερα άνθη και καταλήγει στα ανώτερα. Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα, ζυγόμορφα, με δύο πλευρικά συμμετρικά, ως ένα τυπικό άνθος Ψυχανθών. Το μήκος τους φτάνει τα 1-2 cm, και αποτελείται από πέντε ενωμένα σέπαλα, πέντε πέταλα, μία ωοθήκη με στύλο και δέκα στήμονες. Το ανώτατο πέταλο ονομάζεται πέτασος (που ονομάζεται επίσης vexillum ή σημαία) και τα δύο μερικώς ενωμένα πέταλα στο πλάι είναι οι πτέρυγες. Μέσα στις πτέρυγες υπάρχουν δύο μερικώς ενωμένα πέταλα που σχηματίζουν μια καρίνα (carina) σε σχήμα σκάφους. Μέσα στη τρόπιδα είναι η μακριά, στενή και λοβοειδής ωοθήκη και δέκα στήμονες διατεταγμένοι σε δύο κύκλους των πέντε κάθε ένας. Η ωοθήκη περιέχει συνήθως δύο ή περισσότερες σπερματικές βλάστες.

2.1.5.5 Λοβός

Η μορφολογία των λοβών διαφέρει μεταξύ ειδών και ποικιλιών. Συνήθως, είναι δερματώδεις και χνοώδεις, ενώ ο αριθμός των σπόρων που περικλείουν ποικίλει από 2 έως 6 (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Τα περιβλήματα των λοβών είναι παχιά και αποτελούν το 35-40% του βάρους του λοβού, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στο φασόλι είναι 20-27% και στη σόγια 26% (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

2.1.5.6 Σπέρματα

Οι σπόροι του λούπινου ποικίλουν ως προς το μέγεθος, το σχήμα αλλά και το χρώμα. Οι σπόροι του *L. albus* είναι μεγάλοι, σχεδόν τετραγωνισμένοι με στρογγυλεμένες γωνίες, πεπλατυσμένοι, με υπόλευκο χρώμα. Στο *L. angustifolius* οι σπόροι είναι μικρότεροι με σχήμα σχεδόν στρογγυλό νεφροειδές, με χρώμα γκριζωπό προς υπόλευκο, ενώ στο *L. mutabilis* οι σπόροι είναι μικροί, νεφροειδείς αλλά με πολλές διαφορές ως προς το χρώμα ανάμεσα στους διάφορους γονότυπους.

2.1.6 Αναπαραγωγή

Τα λούπινα μπορούν να αναπαραχθούν τόσο αγενώς όσο και εγγενώς. Υπό φυσικές συνθήκες, τα περισσότερα ετήσια είδη λούπινου είναι αυτοσυμβατά και κυρίως αναπαράγονται με αυτεπικονίαση. Για παράδειγμα, το *L. angustifolius* είναι σχεδόν αποκλειστικά αυτογονιμοποιούμενο (Kazimierska and Kazimierski, 2002), ενώ το λευκό και το κίτρινο μπορούν να διασταυρωθούν ελεύθερα σε ποσοστό 9-40% σύμφωνα με την Παπακώστα (2012). Αντίθετα, τα πολυετή είδη λούπινου αναπαράγονται κυρίως μέσω διασταυρωμένης επικονίασης λόγω έλλειψης αυτοσυμβατότητας (Kittelson and Maron 2000, Kurlovich 2002). Ο αγενής πολλαπλασιασμός των λούπινων είναι συνηθισμένος μόνο μέσω της βλαστικής αναγέννησης στα πολυετή είδη. Δεν υπάρχουν στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι το λούπινο μπορεί να αναπαραχθεί μέσω της απόμιξης (Richards, 1997). Για τα ετήσια είδη λούπινου που χρησιμοποιούνται συνήθως στη γεωργική πρακτική, δεν έχει αναφερθεί αγενής αναπαραγωγή. Ωστόσο, υπό φυσικές συνθήκες, μερικά πολυετή είδη λούπινου δύνανται να αναπαραχθούν αγενώς. Για παράδειγμα, το πλατύφυλλο λούπινο (*L. latifolius*) μπορεί να αναπαραχθεί από εκφυόμενα ριζίδια στη ρίζα, κομμένα τμήματα ρίζας κ.ά. Το καλλωπιστικό λούπινο (*L. polyphyllus*) μπορεί να

εξαπλωθεί μέσω ριζωμάτων κάτω από το έδαφος (Fremstad, 2006). Για πολλά καλλωπιστικά πολυετή είδη, όπως το *L. polyphyllus*, μοσχεύματα βάσης χρησιμοποιούνται για τον πολλαπλασιασμό τους. Τα πιο πολύχρωμα πολυετή υβρίδια καλλωπιστικών ειδών μπορούν να διατηρηθούν και να παραχθούν με μοσχεύματα για να εξασφαλιστεί η παραγωγή φυτών με άνθη ίδιων χρωμάτων. Όλα τα είδη λούπινου αναπαράγονται εγγενώς με την παραγωγή σπόρων. Η ανθοφορία στην κύρια ταξιανθία στα άνθη των ειδών του Παλαιού Κόσμου ξεκινά 59-136 ημέρες από τη φύτευση ανάλογα με τα είδη, τους γονότυπους και τις συνθήκες ανάπτυξης (Buirchell & Cowling, 1998). Το κατώτερο άνθος στην ταξιανθία είναι το πρώτο που εισέρχεται στο στάδιο της άνθησης. Η άνθηση των πλάγιων βλαστών, με τα *L. angustifolius* και *L. albus* ως παραδείγματα, φτάνει στην άνθηση περίπου 10-15 ημέρες μετά την αρχική άνθηση (Dracup and Kirby, 1996, French and Buirchell, 2005,). Συνήθως, στην κύρια ταξιανθία μπορούν να ανοίξουν περίπου 30 άνθη και η άνθηση διαρκεί περίπου 20 ημέρες. Στις πλευρικές ταξιανθίες, τα άνθη είναι λιγότερα και η διάρκεια της ανθοφορίας είναι μικρότερη (Dracup and Kirby, 1996). Στην Αυστραλία, το λούπινο σπέρνεται κανονικά το φθινόπωρο και αρχίζει να ανθίζει την άνοιξη (μέσα Αυγούστου έως αρχές Σεπτεμβρίου). Οι ημέρες άνθησης από τη σπορά ποικίλουν μεταξύ των ειδών και μπορεί να επηρεαστούν από την εαρινοποίηση και τη φωτοπερίοδο. Έχουν αναφερθεί μεταβολές στις απαιτήσεις για εαρινοποίηση και στην ανταπόκριση των διαφόρων ειδών λούπινου και τους γονότυπους τους (Clapham and Willcott, 1995, Landers, 1995, Putnam et al., 1993, Reader et al., 1995, Rahman and Gladstones, 1974). Διαφορετικοί γονότυποι μέσα σε ένα είδος μπορεί να έχουν ποικίλη απόκριση στην εαρινοποίηση. Για παράδειγμα, στο *L. albus*, υπάρχουν τρεις τύποι (που ονομάζονται επίσης μορφότυποι): χειμώνα, ημι-χειμώνα και άνοιξης. Οι χειμερινοί τύποι έχουν υποχρεωτικά απαιτητικά σε εαρινοποίηση για να ολοκληρώσουν τον κύκλο ζωής τους. Οι ημι-χειμερινοί τύποι ανθίζουν χωρίς εαρινοποίηση, αλλά μόνο μετά από παρατεταμένη βλαστική ανάπτυξη. Οι τύποι άνοιξης είναι παρόμοιοι με τους ημι-χειμερινούς τύπους και ανθίζουν χωρίς εαρινοποίηση, αλλά η εαρινοποίηση μπορεί να συντομεύσει τον χρόνο από τη βλαστική έως τη διαφοροποίηση των ανθέων (Clapham and Willcott, 1995).. Η ανθοφορία γενικά επιταχύνεται από μεγάλες ημέρες και η μείωση της φωτοπεριόδου μπορεί να επιβραδύνει την έναρξη άνθησης (Dracup et al., 1998, Rahman and Gladstones 1974). Ωστόσο, οι

ρυθμοί και η διάρκεια του γεμίσματος των σπόρων έχουν μεγάλη διακύμανση μεταξύ των γονότυπων και η φυσιολογική ωρίμανση δεν συσχετίζεται απαραίτητως με το χρόνο άνθησης (Dracup et al., 1998).

2.1.7 Ανάπτυξη του φυτού

Το λούπινο ως Ψυχανθές φυτρώνει επίγεια, με αύξηση υποκοτυλίου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την έκπτυξη του σπόρου είναι η θερμοκρασία εδάφους να είναι πάνω από 2°C-3°C. Είναι φυτό με συνεχή ανάπτυξη, διαμορφωμένη σε επίπεδα με καθορισμένη ανάπτυξη. Κάθε επίπεδο καταλήγει σε επάκρια ταξιανθία (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012)

2.1.8 Οικολογικές απαιτήσεις

Το λούπινο κατατάσσεται στα φυτά εύκρατων κλιμάτων, και αναπτύσσεται και στα δύο ημισφαίρια. Είναι φυτό μεγάλων ημερών και απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για επαγωγή άνθησης (Adhikari et al., 2011). Η ελάχιστη θερμοκρασία για το φύτευμα των σπόρων είναι 2-3°C, ενώ δεν είναι ανθεκτικά φυτά στον παγετό. (Kurlovich and Heinanen, 2002). Προκειμένου να προχωρήσουν τα φυτά στο στάδιο της άνθησης, απαιτείται μία χρονική περίοδος χαμηλών θερμοκρασιών για εαρινοποίηση, όμως θερμοκρασίες κάτω των -4°C, σε αρχικά στάδια ανάπτυξης ή στο αναπαραγωγικό στάδιο των φυτών, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά (Δαλιάνης, 1983). Επίσης, υψηλές ημερήσιες θερμοκρασίες κατά το στάδιο της άνθησης μπορούν να προκαλέσουν πτώση ανθέων και λοβών. Γι αυτό το λόγο, η σπορά του λούπινου προτείνεται να γίνεται το φθινόπωρο.

2.1.9 Καλλιεργητική τεχνική

Στην Αυστραλία, το λούπινο γενικά καλλιεργείται σε περιοχές που λαμβάνουν ετήσιες βροχοπτώσεις μικρότερες των 500 mm (French and Buirchell, 2005). Σπέρνονται μεταξύ τέλους Απριλίου και αρχές Ιουνίου και οι βέλτιστοι χρόνοι σποράς εξαρτώνται από τις ζώνες βροχής και τους τύπους εδάφους. Ως γενικός οδηγός, οι χρόνοι σποράς σε αμμώδη εδάφη είναι από τα μέσα Απριλίου έως τις αρχές Μαΐου, από αρχές Μαΐου έως τα μέσα Μαΐου και από τα μέσα έως τέλη Μαΐου για τις ζώνες με ετήσιες βροχοπτώσεις κάτω των 350 mm, 350 έως 450 mm και άνω των 450 mm αντίστοιχα. Ενώ όταν πρόκειται για

αργιλοπηλώδη και αργιλώδη εδάφη, ο χρόνος σποράς μπορεί να καθυστερήσει έως τα τέλη Μαΐου ή στις αρχές Ιουνίου για τις ζώνες που λαμβάνουν ετήσιες βροχοπτώσεις άνω των 450 mm (DPI Victoria, 2010). Ανάλογα με την περιοχή και τις συνθήκες που επικρατούν, τα καλλιεργούμενα λούπινα αρχίζουν να ανθίζουν από τα τέλη του χειμώνα έως τις αρχές του φθινοπώρου και συγκομίζονται αντίστοιχα. Γενικά, τα λούπινα αναπτύσσονται καλά σε εδάφη που είναι καλά στραγγισμένα, εύθρυπτα με λογικό βάθος και ελαφρώς όξινα ή ουδέτερα (Tang et al., 1995). Η ευαισθησία των διαφόρων καλλιεργούμενων ειδών λούπινου στο pH του εδάφους, στην κατακράτηση νερού (κορεσμός του εδάφους από το νερό) και στη γονιμότητα του εδάφους ποικίλλουν. Για παράδειγμα, το *L. angustifolius* προσαρμόζεται καλά σε όξινα αμμώδη εδάφη με χαμηλή γονιμότητα και αντέχει στην παροδική κατακράτηση. Αντίθετα, το *L. albus* προτιμά τα εύφορα εδάφη με υψηλό pH και είναι ευαίσθητα στην κατακράτηση νερού.

2.1.10 Χρήσεις

Τα λούπινα είναι πολύτιμα, όχι μόνο ως καλλωπιστικά φυτά, αλλά και ως γεωργική καλλιέργεια με αυξανόμενη σημασία. Πολλές ποικιλίες και υβρίδια λούπινων, όπως λούπινα Russell (*L. polyphyllus*) και λούπινο Rainbow (*L. regalis*), έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και καιρό ως λουλούδια κήπων λόγω της ποικιλίας των χρωμάτων και της επιδεικτικής φύσης των ψηλών αιχμηρών λουλουδιών.

Χάρη στην ικανότητα τους να αζωτοδεσμεύουν, περιορίζοντας τις εισροές, αλλά και στην συνεισφορά τους στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, τα όσπρια κερδίζουν συνεχώς έδαφος, έναντι των σιτηρών (Stagnari et al., 2017, Voisin et al., 2014). Τα όσπρια παίζουν, επίσης, σημαντικό ρόλο στην κυκλοφορία του αζώτου στη βιόσφαιρα, αν σκεφτούμε ότι η Βιολογική Αζωτοδέσμευση παρέχει το 65% του διαθέσιμου αζώτου της βιόσφαιρας (Lodwig et al., 2003, Poole, 2018). Από την αρχαιότητα, τα τριφύλλια, οι φακές και τα μπιζέλια ήταν γνωστό ότι βελτιώνουν το έδαφος για τις επόμενες καλλιέργειες στη Ρώμη και στην Αίγυπτο (Hirsch, 2009 Wang et al., 2012). Έτσι και τα λούπινα δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο μέσω της συμβίωσης τους με ριζόβια βακτήρια και το μετατρέπουν σε μια χρήσιμη μορφή που βελτιώνει την ποιότητα του εδάφους. Ως εκ τούτου, τα λούπινα είναι κατάλληλα για καλλιέργεια σε μη γόνιμα εδάφη

και έχουν ενσωματωθεί στη γεωργική πρακτική ως πράσινη κοπριά εδώ και πολλά χρόνια.

Επιπλέον, από τα αρχαία χρόνια εκμεταλλεύονταν τα λούπινα σε συστήματα αμειψισποράς, εναλλάσσοντάς τα με άλλες καλλιέργειες (Hirsch, 2009, Wang et al., 2012). Στη Ρουμανία έχουν διεξαχθεί έρευνες σχετικά με την επίδραση του λευκού λούπινου στη βελτίωση όξινων εδαφών (David et al., 2014). Η επίδραση της καλλιέργειας οσπρίων, όπως το λούπινο των Άνδεων (*L. mutabilis*) και το περσικό τριφύλλι (*T. resupinatum*) πριν την καλλιέργεια ρυζιού μελετήθηκε στο Νεπάλ, και διαπιστώθηκε ότι οι αποδόσεις του ρυζιού ήταν σχεδόν διπλάσιες σε σχέση με τον μάρτυρα, δηλαδή την καλλιέργεια σιταριού πριν το ρύζι (Schultz et al., 1999). Η αμειψισπορά του σιταριού με τα λούπινα χρησιμοποιήθηκε ως σύστημα καλλιέργειας στη Δυτική Αυστραλία για πάνω από 40 χρόνια και οι παρατεταμένες αποδόσεις σιταριού εξαρτώνται άμεσα από την καλλιέργεια των λούπινων (DAFWA, 2010).

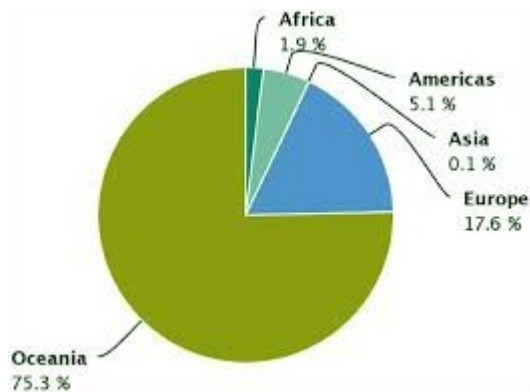
Επιπλέον, τα υπολείμματα λούπινου είναι μια πολύ θρεπτική ζωοτροφή για βοσκή. Ωστόσο, η εμπορική αξία των λούπινων προέρχεται κυρίως από τους σπόρους λούπινου. Η πλειοψηφία των λούπινων παγκοσμίως χρησιμοποιείται για την αποθεματοποίηση. Τα μηρυκαστικά (όπως τα βοοειδή και τα πρόβατα) είναι η μεγαλύτερη ομάδα καταναλωτών ζώων που ακολουθείται από χοίρους και πουλερικά. Τα λούπινα χρησιμοποιούνται συχνά ως υποκατάστατο γευμάτων σόγιας υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες σε ζωοτροφές. Τα χαμηλά επίπεδα αμύλου και τα υψηλά επίπεδα ζυμώσιμων υδατανθράκων καθιστούν τα λούπινα μια επιθυμητή τροφή για τα μηρυκαστικά. Η Αυστραλία, η Ευρώπη και η Ιαπωνία χρησιμοποιούν γλυκά λούπινα στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων. Στην Αυστραλία, η μεγαλύτερη χρήση των λούπινων είναι η σίτιση ολόκληρων σιτηρεσίων σε πρόβατα, για τη συμπλήρωση των χαμηλών διατροφικών ορίων (Lawrance, 2007). Ο φλοιός των λούπινων αποτελεί μια εύπεπτη ίνα για τα μηρυκαστικά, ενώ ο πυρήνας του λούπινου μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως τροφή για μονογαστρικά. Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για σπόρους λούπινου στην υδροπονία λόγω της ανώτερης πεπτικότητας των πρωτεϊνών λούπινου (Glencross, 2005; 2001). Η βιομηχανία υδροπονίας χρησιμοποιεί σπόρους λούπινου και σιμιγδάλι από πυρήνα λούπινου, ως ζωοτροφή για να αντικαταστήσει το υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες

ιχθυάλευρο και το γλεύκος πυρήνων λούπινου χρησιμοποιείται ευρέως στις τυποποιήσεις ζωοτροφών. Μέχρι και το 40% του λούπινου μπορεί να συμπεριληφθεί στο ιχθυάλευρο για την ιριδίζουσα πέστροφα χωρίς προβλήματα ανάπτυξης (Glencross, 2008).

Τα λούπινα έχουν επίσης μακρά ιστορία να καταναλώνονται από ανθρώπους στις περιοχές της Μεσογείου και των Άνδεων. Ωστόσο, λιγότερο από το 4% της παγκόσμιας παραγωγής λούπινου χρησιμοποιείται ως ανθρώπινο φαγητό (Lawrance, 2007). Αυτό ίσως να οφείλεται και στο γεγονός ότι οι σπόροι του λούπινου περιέχουν πολλούς αντιθρεπτικούς παράγοντες όπως αλκαλοειδή σαν τη λουπινίνη (Magalhães et al., 2017). Οι σπόροι λούπινου διαθέτουν πολλές ιδιότητες διατροφής και επεξεργασίας τροφίμων, καθιστώντας τους μια ελκυστική εναλλακτική λύση στα ξηρά φασόλια και σόγια. Τα τρόφιμα που παράγονται από λούπινα κατασκευάζονται εμπορικά στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία. Αυτά περιλαμβάνουν τα προϊόντα με βάση το άλευρο από τον πυρήνα λούπινου όπως το ψωμί, τα ζυμαρικά, το γάλα, το tofu, το tempe, το miso, η σάλτσα σόγιας και τα σνακ. Επίσης, το περίβλημα από τα λούπινα χρησιμοποιείται σε προϊόντα διαιτητικών ινών ή πρόσθετα ινών στο ψωμί.

2.2.11 Παγκόσμια παραγωγή

Με αναφορές σε διάφορες περιοχές της Γης, σήμερα οι περιοχές που παράγουν συστηματικά λούπινο είναι η Αυστραλία με τη Νέα Ζηλανδία που καταλαμβάνουν και την πρώτη θέση παραγωγής, η Ευρώπη στη δεύτερη θέση, έπεται η Αμερική, η Νότια Αφρική, και η Ασία με πολύ μικρότερα ποσοστά παραγωγής (FAO, 2018). Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την κατανομή της παραγωγής λούπινου σε παγκόσμια κλίμακα όπως ήταν το 2015 (Διάγραμμα 1).

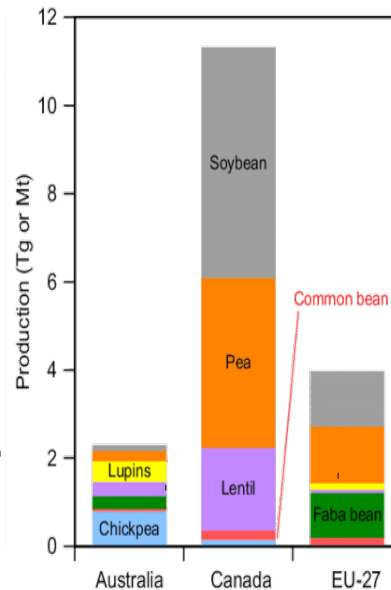


Διάγραμμα 1 Παραγωγή λούπινου σε παγκόσμια κλίμακα(FAOstat, 2018).

Όπως φαίνεται κι από το διάγραμμα η Αυστραλία κι η Νέα Ζηλανδία παράγουν επαρκείς ποσότητες λούπινου, το οποίο εκμεταλλεύονται για το υψηλό ποσοστό πρωτεϊνών του, ως εναλλακτική λύση απέναντι στη σόγια. Η Αυστραλία από το 1990 μέχρι και σήμερα είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής λούπινου στον κόσμο, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 85% της παγκόσμιας παραγωγής λούπινου για δέκα χρόνια έως το 2006 (Lawrance, 2007). Κατά μέσο όρο το 41% της ετήσιας παραγωγής αυστραλιανού λούπινου εξήχθη κατά τη διάρκεια των πέντε ετών έως το 2005-06. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι εξαγωγές ήταν κατά μέσο όρο περίπου 430.000 τόνοι, αξίας περίπου 100 εκατομμυρίων δολαρίων, ένα έτος (Lawrance, 2007). Αυτό αντιπροσωπεύει περίπου το 2% της συνολικής αξίας και του όγκου των αυστραλιανών εξαγωγών σιτηρών και ελαιούχων σπόρων. Όμως, από το 2006, η παραγωγή αυστραλιανών λούπινων μειώθηκε δραματικά λόγω της ξηρασίας. Το 2007, οι κύριοι προορισμοί για τις εξαγωγές λούπινου της Αυστραλίας ήταν η Νότια Κορέα, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ιαπωνία και η Κινεζική Ταϊπέι, με κάθε προορισμό εξαγωγής να κυμαίνεται γύρω στα 50, 27, 12 και 3% αντίστοιχα (Lawrance, 2007). Πρόσφατη εικόνα δείχνει ότι η Νότια Κορέα, η Ιαπωνία, η Ολλανδία, η Μαλαισία και η Γερμανία ήταν οι πέντε πρώτες εξαγωγικές αγορές του λούπινου της Δυτικής Αυστραλίας το 2010-11 (DAFWA, 2012).

Το 2008, η παγκόσμια παραγωγή λούπινου ήταν περίπου 774.000 τόνοι, εκ των οποίων το 63% παρήχθη στην Αυστραλία (FAO, 2008). Άλλοι σημαντικοί παραγωγοί λούπινου περιλαμβάνουν τη Λευκορωσία, την Πολωνία, τη Γερμανία, τη Χιλή και τη Ρωσία. Σύμφωνα με τα στοιχεία του 2012 από το Αυστραλιανό Γραφείο Στατιστικής, από την άποψη της καλλιέργειας, τα λούπινα είναι η Πέμπτη μεγαλύτερη καλλιέργεια στην

Αυστραλία μετά από σιτάρι, κριθάρι, κράμβη και βρώμη. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η κατανομή της παραγωγής οσπρίων στην Αυστραλία, τον Καναδά και την Ευρώπη (Διάγραμμα 2).



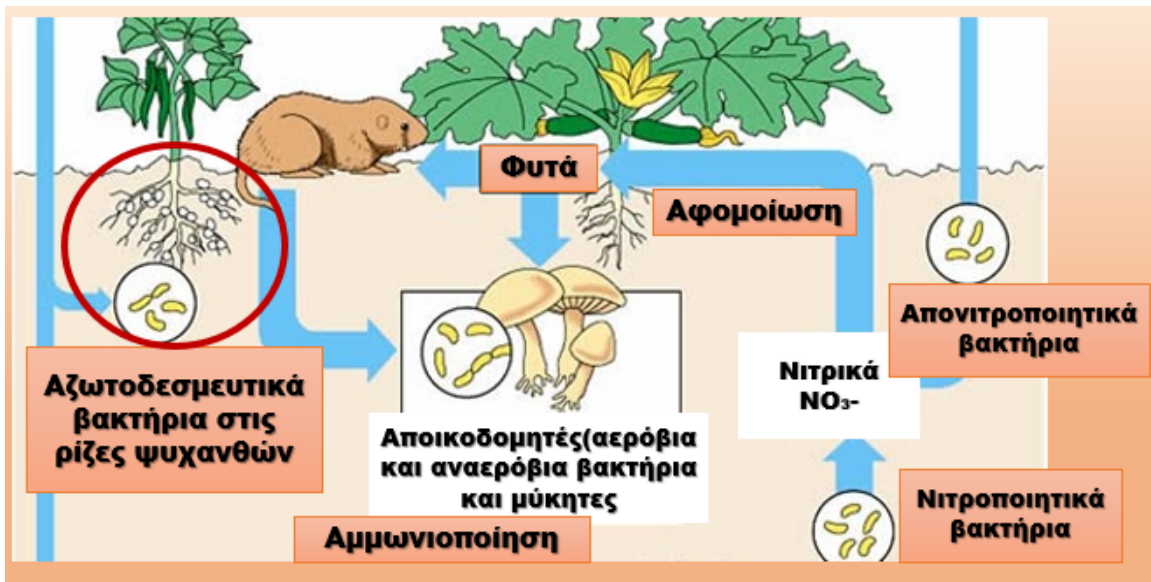
Διάγραμμα 2 Παραγωγή των κυριότερων οσπρίων σε Αυστραλία, Καναδά και Ευρώπη, το 2013 (FAOstat, 2016).

Η έκταση που καλλιεργείται σε λούπινα ανήλθε σε 1.425.000 εκτάρια το 1997 και η παραγωγή έφθασε στο μέγιστο των 1.968.000 τόνων το 1999. Ωστόσο, η συγκομιδή της έκτασης μειώθηκε σε 500.000 εκτάρια το 2006, κυρίως λόγω της ξηρασίας (FAO, 2008). Σύμφωνα με τους Mercedes et al. (2015) η Ευρώπη δεν είναι αυτάρκης ως προς την παραγωγή λούπινου κι έτσι δεν εξασφαλίζει σταθερή ποσότητα. Τα είδη λούπινου που καλλιεργούνται παγκοσμίως, αφορούν κυρίως εμπορικές ποικιλίες του λευκού (*L. albus*) και του μπλε λούπινου (*L. angustifolius*), ενώ το λούπινο των Άνδεων (*L. mutabilis*) καλλιεργείται μόνο στη Νότια Αμερική και όχι στην Ευρώπη (Mercedes et al, 2015). Σήμερα παρατηρείται στροφή στη μελέτη και την καλλιέργεια του λούπινου παγκοσμίως, καθώς η υψηλή περιεκτικότητα του σπόρου σε πρωτεΐνη έχει προκαλέσει το ενδιαφέρον παραγωγών και καταναλωτών.

2.2 Ο κύκλος του Αζώτου

Το άζωτο (N) είναι το τέταρτο στοιχείο μετά τον άνθρακα, το οξυγόνο και το υδρογόνο κατά σειρά αφθονίας, στην οργανική ύλη. Παίζει σημαντικό ρόλο ως συστατικό βιομορίων για τη διατήρηση της ζωής, όπως τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες. Το

ατμοσφαιρικό άζωτο αποτελεί το 74% της ατμόσφαιρας, όμως είναι μοριακό άζωτο και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους περισσότερους οργανισμούς, καθώς είναι αδρανές αέριο. Προκειμένου να επιτευχθεί ενσωμάτωση στην οργανική ύλη, πρέπει να προηγηθεί δέσμευση, αναγωγή και μετατροπή σε αμμωνιακή μορφή. Η δέσμευση και η αναγωγή αυτή μπορεί να γίνει από κάποια είδη βακτηρίων που συμβιώνουν στις ρίζες των ψυχανθών ή και άλλων φυτών. Η μικρή διαθεσιμότητα αζωτούχων ουσιών στο περιβάλλον οδηγεί τους οργανισμούς σε ανακύκλωση αζωτούχων προϊόντων μεταβολισμού, όπως δείχνει το Διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 3 Απεικόνιση του κύκλου αζώτου στη φύση. Στον κόκκινο κύκλο τονίζεται η ύπαρξη των αζωτοδεσμευτικών βακτηρίων στις ρίζες των Ψυχανθών([el-wikipedia.org](http://el.wikipedia.org))

Όπως προκύπτει, υπάρχει σημαντική αλληλεξάρτηση μεταξύ των οργανισμών για τις ανάγκες τους σε άζωτο. Συνδετικός κρίκος της ροής του αζώτου μεταξύ των οργανισμών αποτελούν τρεις ουσίες: το νιτρικό άζωτο (NO₃⁻), το αμμωνιακό άζωτο (NH₄⁺) και τα αμινοξέα. Τα αζωτοδεσμευτικά βακτήρια στο έδαφος, με τη βοήθεια της νιτρογενάσης που είναι ενζυμικό σύμπλοκο, δεσμεύουν και ανάγουν το ατμοσφαιρικό άζωτο σε αμμωνιακή μορφή. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται Βιολογική Αζωτοδέσμευση (Biological Nitrogen Fixation-BNF). Το αμμωνιακό άζωτο που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιείται από φυτά και άλλους οργανισμούς για σύνθεση αζωτούχων ουσιών.

2.3 Αζωτοδέσμευση

Από την αρχαιότητα, τα τριφύλλια, οι φακές και τα μπιζέλια ήταν γνωστά ότι βελτιώναν το έδαφος και το προετοίμαζαν για τις επόμενες καλλιέργειες στη Ρώμη και στην Αίγυπτο (Hirsch, 2009, Wang et al., 2012). Αυτά τα όσπρια περιγράφηκαν από τους Ρωμαίους και χρησιμοποιήθηκαν σε πρακτικές όπως η αμειμισπορά. Ωστόσο, ήταν τον 19^ο αιώνα, όταν ανακαλύφθηκαν τα ριζόβια. Ακόμη και αν τα φυμάτια στις ρίζες οσπρίων παρατηρήθηκαν τον 17^ο αιώνα μέσω ενός πίνακα ζωγραφικής του Malpighi, ο Hermann Hellriegel και ο Hermann Wilfarth αναγνώρισαν ότι αυτά τα φυμάτια στη ρίζα ήταν υπεύθυνα για τη δέσμευση του αζώτου το 1888 (Hirsch, 2009). Τα ριζόβια απομονώθηκαν και καλλιεργήθηκαν από τα φυμάτια, από τον Martinus Beijerinck το 1888 στην Ολλανδία και αργότερα αυτά τα βακτήρια ταξινομήθηκαν στο γένος *Rhizobium* (με ελληνική ετυμολογία rhiza = root, bios = life) (Hirsch, 2009). Αργότερα, υπήρξε μια διαίρεση σε περισσότερα γένη, όπως το *Bradyrhizobium*, το *Mesorhizobium* και άλλα γένη. Το 1939, ο Ιάπωνας επιστήμονας Kubo ανακάλυψε ότι τα φυμάτια της ρίζας σόγιας περιείχαν κόκκινη χρωστική ουσία που έμοιαζε περισσότερο ως μια αιμοπρωτεΐνη, η οποία ήταν η Leghaemoglobin. Η Leghaemoglobin είναι η ουσία που απαιτείται για τη δέσμευση του αζώτου (Kannan et al, 2015). Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, περισσότεροι επιστήμονες όπως οι Valdes, Koch και Döbereiner έχουν εμπλουτίσει τις γνώσεις μας σχετικά με τους μικροοργανισμούς που δεσμεύουν το άζωτο (Kirsch, 2009).

2.3.1 Βιολογική αζωτοδέσμευση

Η βιολογική δέσμευση του αζώτου πραγματοποιείται είτε με μη συμβιωτικούς μικροοργανισμούς που ζουν ελεύθερα είτε με ορισμένα βακτήρια, που συμβιώνουν με τα ανώτερα φυτά. Στη βιολογική καλλιέργεια, οι κύριες διαθέσιμες μέθοδοι διαχείρισης του N περιλαμβάνουν την προσθήκη οργανικών υλικών, την αμειμισπορά του φυτικού είδους με καλλιέργειες κάλυψης και ενσωμάτωση της βιομάζας στο έδαφος (χλωρή λίπανση), τη συγκαλλιέργεια με ψυχανθή και τον εμβολιασμό του εδάφους με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέθοδος του εμβολιασμού του εδάφους στα ψυχανθή με ελεύθερα διαβιούντα διαζωτροφικά βακτήρια, η οποία διερευνάται τα τελευταία χρόνια ως μία ακόμη εναλλακτική πρακτική περιορισμού ή και

αντικατάστασης των ανόργανων χημικών αζωτούχων λιπασμάτων (Park et al., 2005). Περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό γενών αναερόβιων και αερόβιων βακτηρίων (Acetobacter, Arthrobacter, Azocarcus, Azospirillum, Azotobacter, Bacillus, Beijerinckia, Derxia, Enterobacter, Herbaspirillum, Klebsiella, Pseudomonas, Zoogloea, Rhizobium), τα οποία έχουν απομονωθεί από τη ριζόσφαιρα πολλών φυτικών ειδών (Park et al., 2005). Οι πιθανοί μηχανισμοί που προάγουν τις αποδόσεις των φυτών δεν περιορίζονται μόνο στη δέσμευση και παροχή του αζώτου, αλλά αποδίδονται και στην παραγωγή φυτοορμονών και βιταμινών, στην πρόκληση ανθεκτικότητας σε παθογόνα σε αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και διαλυτοποίηση του φωσφόρου (Kennedy et al., 2004).

2.3.2 Μη βιολογική αζωτοδέσμευση

Εκτός από την συμβιωτική αζωτοδέσμευση, υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός οργανισμών που διαβιούν ελεύθερα στη φύση και δεσμεύει ατμοσφαιρικό άζωτο. Η συμβολή των μη συμβιωτικών βακτηρίων στην αζωτοδέσμευση σε παγκόσμια κλίμακα είναι μέτρια (Θεριός 1996).

2.3.3 Μη συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Μόλυνση της ρίζας ψυχανθούς με το κατάλληλο γένος βακτηρίων οδηγεί στο σχηματισμό ριζικών φυματίων τα οποία μπορούν να ενσωματώνουν αέριο άζωτο σε ενώσεις του αζώτου με τη διαδικασία της αζωτοδέσμευσης. Η δέσμευση αζώτου μέσω συμβίωσης των ψυχανθών με το *Rhizobium* είναι τεράστιας σημασίας για τη γεωργία, αφού αυξάνει τη διαθεσιμότητα του αζώτου στο έδαφος. Επειδή πολλά εδάφη είναι εκ φύσεως φτωχά σε άζωτο, τα ψυχανθή με ριζικά φυμάτια έχουν στις συγκεκριμένες συνθήκες συγκριτικό πλεονέκτημα και μπορούν να αναπτυχθούν καλά σε περιοχές στις οποίες άλλα φυτά αδυνατούν. Τα ψυχανθή δεν είναι τα μόνα ανώτερα φυτά που δεσμεύουν άζωτο συμβιωτικά. Υπάρχουν τουλάχιστον 190 είδη δέντρων και θάμνων που δεσμεύουν άζωτο και ανήκουν σε άλλες οικογένειες πλην των ψυχανθών (Θεριός, 1996). Βέβαια, όταν πρόκειται να καλλιεργηθούν ψυχανθή, παρότι συνίσταται ελαφρά αζωτούχος λίπανση στα πρώτα στάδια ανάπτυξης τους, έτσι ώστε να αναπτυχθεί πλούσιο και υγιές ριζικό σύστημα για επαρκή ανάπτυξη φυματίων, θα πρέπει να συνεκτιμηθεί πλήθος παραμέτρων για την αναγκαιότητα κανονικών αζωτούχων λιπάνσεων. Οι

παράμετροι αυτές είναι το είδος και η ποικιλία του ψυχανθούς, η ύπαρξη κατάλληλων και αποδοτικών αζωτοδεσμευτικών αζωτοβακτηρίων στο έδαφος, οι συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζουν την δράση των ριζοβίων), η περιεκτικότητα του εδάφους σε ασβέστιο, η μηχανική σύσταση του εδάφους έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός.

2.3.4 Συμβιωτική αζωτοδέσμευση

Η ενδοσυμβιωτική αλληλεπίδραση ριζόβιου-ξενιστή χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό εξειδικευμένων τμημάτων που περιβάλλονται από μεμβράνη από τον ξενιστή στον οποίο βρίσκεται το ριζοβακτήριο. Αυτός ο σχηματισμός διευκολύνει την ανταλλαγή θρεπτικών ουσιών και σημάτων. Στη συμβίωση του *Rhizobium* με τα Ψυχανθή, τα ριζοβακτήρια φιλοξενούνται μέσα σε ένα νέο όργανο, τα φυμάτια (Ivanova et al., 2015). Η ποσότητα του αζώτου (N) που αποκτήθηκε μέσω συμβίωσης επηρεάζεται από τρεις παράγοντες: γονότυπο του φυτού ξενιστή, γονότυπο του *Rhizobium* και το περιβάλλον (Heichel and Vance, 1979). Όσον αφορά τη συμβίωση, τα φλαβονοειδή είναι τα σημαντικότερα από τις ενώσεις, καθώς πυροδοτούν την επαγωγή του σχηματισμού φυματίων (Redmond et al., 1986). Η συμβίωση των Ψυχανθών με τα ριζόβια είναι η σημαντικότερη συμβιωτική σχέση από την άποψη του BNF (Biological Nitrogen Fixation, Βιολογική Αζωτοδέσμευση), παράγοντας περίπου 200 εκατομμύρια τόνους N ετησίως (Graham and Vance, 2003, Peoples et al., 2009). Το άζωτο που δεσμεύεται με ριζόβια στα φυμάτια των ριζών των οσπρίων διοχετεύει περίπου 40 εκατομμύρια τόνους αζώτου στα γεωργικά συστήματα κάθε χρόνο (Herridge et al., 2008). Η εξειδίκευση μεταξύ ψυχανθούς και ριζόβιου προσδιορίζεται με σήμα ακυλιωμένης γλυκοζαμίνης (Lerouge, 1994).

2.3.5 Ριζόβια βακτήρια και Συμβίωση με Ψυχανθή

2.3.5.1 Σχηματισμός και Μορφολογία φυματίων

Τα φυτά των Ψυχανθών είναι ικανά να αναπτύσσουν μια σχέση με βακτήρια που αζωτοδεσμεύουν, δημιουργώντας τα γνωστά φυμάτια στις ρίζες τους. Ο σχηματισμός φυματίων ξεκινά από τις ρίζες του φυτού ξενιστή που εκκρίνουν φαινολική ένωση φλαβονοειδούς στη ριζόσφαιρα (Redmond et al., 1986). Η έκκριση αυτή καθορίζει εν μέρει την εξειδίκευση της συμβιωτικής σχέσης καθώς κάθε είδος ριζόβιου

ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένα φλαβονοειδή. Τα περισσότερα είδη ριζοβίων αλληλεπιδρούν με μόνο μερικά όσπρια, ενώ άλλα δείχνει ότι έχουν ένα ευρύ φάσμα ξενιστών (Puerpke and Broughton, 1999). Το φυμάτιο αποτελεί μοναδικό όργανο και σε αυτό λαμβάνει χώρα η αζωτοδέσμευση. Παρέχει ένα κατάλληλο περιβάλλον στη νιτρογενάση των βακτηρίων για τη μετατροπή του ατμοσφαιρικού αζώτου σε αμμωνία, που θα αφομοιωθεί από το φυτό.

Τα ριζόβια είναι βακτήρια του εδάφους και ζουν ελεύθερα σε αυτό, ενώ μπορούν να βρεθούν σε διάφορες πυκνότητες. Πολλαπλασιάζονται και μετακινούνται εντός της ριζόσφαιρας και αποικίζουν τα ριζικά τριχίδια (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Προκειμένου να επιτευχθεί η μετακίνησή τους, απαραίτητη είναι η ύπαρξη ερεθισμάτων από διάφορες ουσίες, όπως φλαβονοειδή, σάκχαρα, οργανικά οξέα και αμινοξέα και άλλες, που παράγονται χάρη στα ειδικά pod-γονίδια των Ψυχανθών (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Τα ριζόβια έχουν δύο κύριους τρόπους εισόδου στη ρίζα του φυτού: μέσω των τριχών ρίζας ή μέσω ρωγμών στο ριζικό επιδερμικό ιστό (Oldroyd and Downie, 2008). Η προσβολή των τριχών ρίζας είναι ο πιο κοινός τρόπος και περιλαμβάνει το σχηματισμό ινών προσβολής, οι οποίες έχουν σωληνοειδή δομή που αποτελείται από συστατικά τοιχωμάτων φυτικών κυττάρων που δρουν ως δίοδος για τα ριζοβακτήρια στο φλοιό των κυττάρων του φυτού (Gage, 2004, Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Τα ριζόβια εισέρχονται μέσα από την παραμορφωμένη άκρη των τριχιδίων των ριζών, τα οποία περικλείουν ένα μικρό ποσοστό των βακτηρίων (Callaham and Torrey, 1981, Turgeon and Bauer, 1985). Η εγκλεισμένη μικροαποικία έχει πιθανώς μια εμπλουτισμένη συγκέντρωση καθώς και ένζυμα αποικοδόμησης του κυτταρικού τοιχώματος. Μετά τη διείσδυση στο κυτταρικό τοίχωμα, αλλά όχι στη μεμβράνη, ακολουθεί επανασύνθεση και εκ νέου πέψη.

2.3.5.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό φυματίων

2.3.5.2.1 Αλατότητα και οξύτητα εδάφους

Ο σχηματισμός των φυματίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οξύτητα του εδάφους, καθώς και από την περιεκτικότητά του σε άλατα (Jayasundara et al., 1998). Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος μειώνει το σχηματισμό τους αλλά και το ξηρό βάρος των φυματίων, και επηρεάζει την ποσότητα του δεσμευόμενου αζώτου. Αυτή η αρνητική

επίδραση οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μείωση των ριζικών τριχιδίων, με αποτέλεσμα τη δυσκολία δημιουργίας ινών προσβολής.

2.3.5.2.2 Άζωτο εδάφους

Η υψηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο αποτελεί παράγοντα εμπόδισης της αζωτοδέσμευσης. Όμως, ο τρόπος δράσης του αζώτου στην αναστολή της αζωτοδέσμευσης δεν είναι πλήρως γνωστός. Σύμφωνα με τον Caelano-Anolles (1997), η εφαρμογή νιτρικού αζώτου στο έδαφος μπορεί να προκαλέσει περιορισμό της συγκέντρωσης ριζοβίων στα ριζικά τριχίδια, τη μείωση των λεκτινών στην επιφάνεια των ριζικών τριχιδίων, τον περιορισμό της ανάπτυξης των ριζικών τριχιδίων και τη συστροφή των άκρων τους, καθώς και να εμποδίσει την ανάπτυξη των «ινών προσβολής» και το σχηματισμό των φυματίων και να μειώσει τη δραστηριότητα της νιτρογενάσης (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012). Σε περίπτωση που το έδαφος είναι ήδη πλούσιο σε άζωτο χωρίς εξωγενή προσθήκη αζώτου, τα φυτά προσλαμβάνουν το διαθέσιμο εδαφικό άζωτο, και δεν ενθαρρύνεται η αζωτοδεσμευτική δράση των ριζοβίων.

2.3.5.2.3 Μηχανική σύσταση εδάφους

Σε εδάφη συνεκτικά και βαριά, η δέσμευση αζώτου από τα ριζόβια εμποδίζεται έμμεσα. Αυτό συμβαίνει διότι οι ρίζες και τα ριζικά τριχίδια δεν αναπτύσσονται επαρκώς, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται ο σχηματισμός φυματίων. Σύμφωνα με τους Grath και Hakansson (1992), σε χωράφι που χρησιμοποιήθηκαν καλλιεργητικά μηχανήματα και συμπιέστηκε το έδαφος, το πλήθος των φυματίων στις ρίζες αρακά μειώθηκε κατά 60%.

2.3.5.2.4 Κατάκλιση εδάφους

Η κατάκλιση του εδάφους επηρεάζει αρνητικά το σχηματισμό φυματίων, αφού κυρίως περιορίζει το σχηματισμό των ριζικών τριχιδίων και τη συγκέντρωση του εδάφους σε οξυγόνο (O₂). Έτσι, τα ριζόβια έχουν μειωμένη ενέργεια και μειωμένη σύνθεση νιτρογενάσης (Jayasundara et al., 1998).

2.3.5.2.5 Άλλοι παράγοντες

Παράγοντες που επηρεάζουν τη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών επιδρούν σημαντικά στην αζωτοδέσμευση, λόγω της μειωμένης παροχής υδατανθράκων στα

ριζόβια βακτήρια. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, η μειωμένη ένταση φωτισμού, η αποφύλλωση αλλά και η εδαφική ξηρασία (Παπακώστα-Τασοπούλου, 2012).

2.3.6 Βιολογική Αζωτοδέσμευση στο λούπινο

Όπως και τα άλλα όσπρια, τα λούπινα μπορούν να δεσμεύσουν το ατμοσφαιρικό άζωτο μέσω του σχηματισμού των φυματίων στη ρίζα, των εξειδικευμένων οργάνων που προκύπτουν από την συμβίωση μεταξύ του φυτού ξενιστή και του εδαφικού ριζόβιου. Το γένος *Lupinus* αναγνωρίζεται από το ριζόβιο *Bradyrhizobium sp. (lupini)* (Kurlovich et al., 2002, Stepkowski et al., 2018). Το *Bradyrhizobium* προσαρμόζεται καλά στα όξινα εδάφη (pH κάτω του 6,5), αλλά η συμβίωσή του με το λούπινο μπορεί να επηρεαστεί στα αλκαλικά εδάφη (Tang and Robson 1993). Στην Αυστραλία, ως γενική πρακτική, όλα τα λούπινα που σπέρνονται για πρώτη φορά πρέπει να εμβολιάζονται με *Bradyrhizobium sp. (lupini)*. Μια καλλιέργεια λούπινου δεν χρειάζεται να εμβολιαστεί επί πέντε χρόνια σε όξινα εδάφη όταν έχει αναπτυχθεί μια καλά ανεπτυγμένη καλλιέργεια λούπινου, αλλά οι σπόροι πρέπει να εμβλατιστούν κάθε φορά που αναπτύσσεται καλλιέργεια λούπινου σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη (Thomas et al., 2008). Η ποσότητα αζώτου που δεσμεύεται από κάθε είδος λούπινου ποικίλει. Αναφέρεται ότι το λευκό λούπινο αζωτοδεσμεύει 80 kg N/ha (Pampana et al., 2015), ενώ το μπλε λούπινο δεσμεύει από 32 έως 288 kg N/ha (Peoples et al., 1995).

2.4 Κουκί

Το κουκί είναι ένα ψυχανθές που καλλιεργείται στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας από την αρχαιότητα, όπου αναφέρεται ως κύαμος. Η ποικιλομορφία του κουκιού στην περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου είναι πολύ μεγάλη (Terzopoulos and Bebeli, 2008). Στο παρόν πείραμα επιλέχθηκε ως φυτό που καλλιεργείται στην περιοχή των Ερυθρών, για κτηνοτροφικό σκοπό. Σε μεσογειακό κλίμα, τα κουκιά αζωτοδέσμευσαν 7,6-12,5 kg N/στρ, με κανονική κατανομή βροχόπτωσης, ενώ σε συνθήκες ξηρασίας αζωτοδέσμευσαν 5,5-7,2 kg N/στρ (Carranca et al., 1999). Στην περιοχή των Ερυθρών καλλιεργούνται εμπορικές ποικιλίες κουκιού, που σύμφωνα με τον Αγροτικό Συνεταιρισμό Ερυθρών, οι εκτάσεις φτάνουν τα 30 στρέμματα. Οι δε αποδόσεις φτάνουν περίπου τα 70 kg/στρέμμα. Επίσης, αναφέρεται ότι οι ασθένειες που αντιμετωπίζουν

συνήθως οι παραγωγοί της περιοχής είναι η ασκοχύτωση και ο περονόσπορος, ενώ από εχθρούς υπάρχουν ακρίδες και έντομα της οικογένειας Pentatomidae, αλλά δεν εφαρμόζονται συνήθως ψεκασμοί (επικοινωνία με Αγροτικό Συνεταιρισμό Ερυθρών).

2.5 Σιτάρι

Το σιτάρι είναι σιτηρό και επιλέχθηκε ως μάρτυρας επειδή ως μη ψυχανθές φυτό, δεν αζωτοδεσμεύει. Επιπλέον, στην περιοχή καλλιεργούνται οι εμπορικές ποικιλίες cv Simeto (70% καλλιεργούμενου σιταριού), cv Claudio, cv Quadrato και cv Iride. Σύμφωνα με τον Αγροτικό Συνεταιρισμό Ερυθρών, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις φτάνουν τα 5000 στρέμματα και οι αποδόσεις κυμαίνονται από 250 έως 450 kg/στρέμμα. Από ασθένειες, αναφέρεται το ωίδιο, η σκωρίαση και κηλίδωση στα φύλλα από σύμπλοκο μυκήτων εδάφους. Από εχθρούς αναφέρεται ό,τι και στο κουκί, όμως δε γίνεται συχνά ψεκασμός με μυκητοκτόνο ή εντομοκτόνο (επικοινωνία με Αγροτικό Συνεταιρισμό Ερυθρών).

3. Σκοπός

Η παρούσα μελέτη έχει ως σκοπό τη σύγκριση τριών καταχωρήσεων λούπινου των Άνδεων *L. mutabilis* (LIB220, LIB221, LIB222) Γερμανικής προέλευσης, με μία εμπορική ποικιλία λευκού λούπινου *L. albus* (cv Multitalia), μία εμπορική ποικιλία μπλε λούπινου *L. angustifolius* (cv Polo), μία εμπορική ποικιλία κουκιού cv Aguadulce και μία εμπορική ποικιλία σκληρού σιταριού cv Normano, όσο αφορά στην απόδοσή τους σε σπόρο και την καλλιέργειά τους στην περιοχή των Ερυθρών Βοιωτίας. Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της εμβάπτισης του σπόρου σε ριζοβιακό στέλεχος *Bradyrhizobium lupini* τόσο στην περιεκτικότητα των σπόρων και των στελεχών σε ολικές αζωτούχες ουσίες, όσο και στην απόδοση σε σπόρο και τη βιολογική αζωτοδέσμευση των ποικιλιών λούπινου.

4. Υλικά και μέθοδοι

4.1 Εισαγωγή

Το συγκεκριμένο πείραμα εγκαταστάθηκε στις Ερυθρές της Βοιωτίας (38.224294, 23.337291) κατά την περίοδο Ιανουάριο-Ιούλιο 2018, ύστερα από την ευγενική παραχώρηση τμήματος του αγρού του Αγροτικού Συνεταιρισμού Ερυθρών. Η επιλογή της περιοχής έγινε μετά από εδαφική ανάλυση, και αφού διαπιστώθηκε ότι το ανθρακικό ασβέστιο ήταν 0,2%, ιδανικό για λούπινο, ενώ το pH του εδάφους ήταν 7,4, οριακά ανεκτό. Οι καταχωρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται παρακάτω, ενώ το πείραμα είναι διπαραγοντικό, με πρώτο παράγοντα τις ποικιλίες και δεύτερο την εμφάνιση ή όχι σε εξειδικευμένο ριζοβιακό στέλεχος.

4.2 Φυτικό υλικό

Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη λούπινου, τα *L. mutabilis* (λούπινο Άνδεων), *L. albus* (λευκό) και *L. angustifolius* (μπλε). Το φυτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη αποτέλεσαν τρία καταχωρημένα δείγματα *Lupinus mutabilis*: LIB220, LIB221, LIB222, μία εμπορική ποικιλία μπλε λούπινου (*Lupinus angustifolius* cv Polo), και μία εμπορική ποικιλία λευκού λούπινου (*Lupinus albus* cv Multitalia). Εκτός από τις δύο εμπορικές ποικιλίες μπλε και λευκού λούπινου, ως μάρτυρες χρησιμοποιήθηκαν επίσης μία εμπορική ποικιλία κουκιού (*Vicia faba* cv Aguadulce) και μία εμπορική ποικιλία σκληρού σιταριού (*Triticum durum* cv Normano).

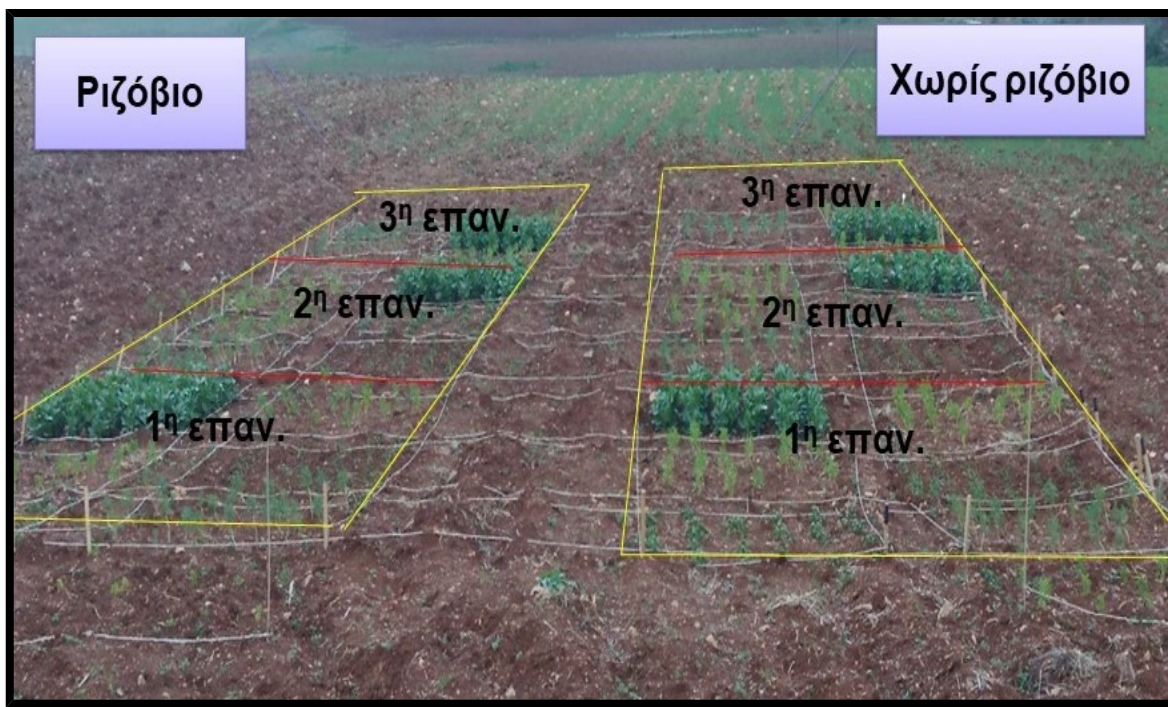
4.3 Πειραματικό σχέδιο

Στο πείραμα εφαρμόστηκε το σχέδιο των υποδιαιρεμένων τεμαχίων με δύο παράγοντες, τις ποικιλίες και την εμφάνιση ή όχι των σπόρων σε ριζόβιο. Η συγκεκριμένη εφαρμογή έγινε διότι η φύση του παράγοντα «μεταχείριση με και χωρίς ριζόβιο» επέβαλε την τοποθέτηση διαχωριστικού διαδρόμου ανάμεσα στα τεμάχια, έτσι ώστε να αποφευχθεί η διασπορά του ριζόβιου. Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε εντός των υποδιαιρεμένων τεμαχίων ήταν αυτό των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (ΤΠΟ) με τρεις επαναλήψεις (Πίνακας 1). Οι διαστάσεις του πειραματικού αγρού ήταν 9 m (πλάτος) x 18,5 m (μήκος), ενώ μεταξύ των επαναλήψεων υπήρχε απόσταση 1 m και μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων απόσταση 0,5 m. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις,

που αφορούσαν την εμβάπτιση ή μη σε ριζόβιο, διατηρήθηκε διάδρομος δύο μέτρων (2 m) για την αποφυγή διασποράς του ριζόβιου στελέχους. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 1,5 m x 1,5 m. Σε κάθε ένα από αυτά τα τεμάχια μεταφυτεύτηκαν 30 φυτά σε αποστάσεις 0,25 m x 0,30 m, με εξαίρεση την LIB222 που μεταφυτεύτηκαν μόνο 15 φυτά (3 σειρές από 5 φυτά), λόγω μειωμένης ποσότητας σπόρου και συνεχών μολύνσεων από φουζάριο. Περιμετρικά των φυτών αυτών, σε όλα τα plot, φυτεύτηκαν σπόροι λευκού λούπινου της ποικιλίας cv Multitalia ως περιθωριακά φυτά, έτσι ώστε να μειωθεί ο ανταγωνισμός και όλα τα φυτά του τεμαχίου να δέχονται τις ίδιες επιδράσεις.

Πίνακας 1 Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε, με τις καταχωρήσεις, τις μεταχειρίσεις και τις επαναλήψεις. Ο αριθμός 1 αναφέρεται στη μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ ο αριθμός 2 αναφέρεται στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.

Καταχώρηση	Μεταχείριση		Επανάληψη		
LIB220 (<i>L. mutabilis</i>)	1	2	I	II	III
LIB221 (<i>L. mutabilis</i>)	1	2	I	II	III
LIB222 (<i>L. mutabilis</i>)	1	2	I	II	III
cv Polo (<i>L. angustifolius</i>)	1	2	I	II	III
cv Multitalia (<i>L. albus</i>)	1	2	I	II	III
cv Aguadulce (<i>V. faba</i>)	1	2	I	II	III
cv Normano (<i>T. durum</i>)	1	2	I	II	III



Εικόνα 1 Ο πειραματικός αγρός στις Ερυθρές Βοιωτίας, Φεβρουάριος 2018.

4.4 Καλλιεργητική τεχνική

Λόγω περιορισμένου αρχικού σπόρου, ακολουθήθηκε κατάλληλη προεπεξεργασία των σπόρων όλων των προσθηκών, με απολύμανση και προβλάστηση. Σε διάλυμα χλωρίνης (20%), τοποθετήθηκαν οι σπόροι για 3 λεπτά, ακολούθησε ξέπλυμα 2-3 φορές με απεσταγμένο νερό και μετά τοποθετήθηκαν σε τρία φύλλα διηθητικού χαρτιού (δύο κάτω και ένα πάνω από τους σπόρους) στις 9 Δεκεμβρίου 2017. Τα διηθητικά χαρτιά με τους σπόρους τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου (25° C). Καθ'όλη τη διάρκεια αυτή διατηρήθηκε η υγρασία των χαρτιών προσθέτοντας απεσταγμένο νερό όταν ήταν αναγκαίο.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην καταχώρηση LIB222 παρατηρήθηκε έντονη προσβολή κατά την παραμονή των σπόρων στα διηθητικά χαρτιά. Δείγμα προσβεβλημένων σπόρων μεταφέρθηκε στο Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας του Γ.Π.Α., σύμφωνα με το οποίο πρόκειται για μυκητολογική προσβολή από τον μύκητα *Fusarium* sp. Γι αυτό το λόγο η συγκεκριμένη καταχώρηση είχε λιγότερα φυτά στον πειραματικό αγρό.

Σε αυτό το στάδιο μετρήθηκε και το ποσοστό βλαστικότητας των σπόρων όλων των καταχωρήσεων και εμπορικών ποικιλιών λούπινου.

Μόλις η ρίζα έφθασε σε μήκος τα 1-2 cm, ακολουθήσαμε τη διαδικασία υγρής εμφάπτισης σε παρασκεύασμα ριζόβιου στις 14 Δεκεμβρίου 2017. Το στέλεχος που χρησιμοποιήσαμε ήταν το *Bradyrhizobium lupini* (HiStick® Lupine, BASF Nederland BV). Μετά από αυτή τη διαδικασία, οι σπόροι μεταφέρθηκαν στο θερμοκήπιο σε παλέτες σπόρων 20 θέσεων (28 cm x 35 cm), με μείγμα υποστρώματος τύρφης-περλίτη 2:1. Η τύρφη ήταν ‘Kronos’ (N 50-500mg/l, P₂O₅ 80-300mg/l, K₂O 80-300mg/l, pH 5-6,5), ενώ ο περλίτης ‘Geoflor’.

Τα φυτά παρέμειναν στο θερμοκήπιο μέχρι την ανάπτυξη του δεύτερου πραγματικού φύλλου ενώ γινόταν καθημερινός έλεγχος της υγρασίας του υποστρώματος και ποτίζονταν όποτε κρινόταν αναγκαίο. Μέσα στο θερμοκήπιο η ελάχιστη θερμοκρασία ήταν 7° C, ενώ η μέγιστη τιμή ήταν 38° C. Όταν πλέον ήταν στο κατάλληλο στάδιο ανάπτυξης τα φυτά λούπινου μεταφέρθηκαν στον αγρό, όπου μεταφυτεύτηκαν χειρωνακτικά στις 11 και 12 Ιανουαρίου 2018, σύμφωνα με το πειραματικό σχέδιο.

4.5 Προετοιμασία εδάφους

Η κατεργασία που εφαρμόστηκε ήταν αυτή του φρεζαρίσματος, ενώ λίγο πριν τη μεταφύτευση έγινε ίσιωμα του πειραματικού τεμαχίου με τσουγκράνα, χειρωνακτικά. Δεν έγινε καμία προσθήκη λιπάσματος ή ζιζανιοκτόνου.

4.6 Συγκομιδή φυτών

Η συγκομιδή των φυτών του πειράματος πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικές ημερομηνίες, καθώς όλες οι καταχωρήσεις δεν ωρίμασαν ταυτόχρονα. Πιο συγκεκριμένα, στις 7 Ιουνίου συγκομίστηκαν οι καταχωρήσεις LIB221 και οι ποικιλίες cv Polo, ενώ στις 4 Ιουλίου συγκομίστηκαν οι καταχωρήσεις LIB222, LIB220 και οι ποικιλίες cv Multitalia, cv Aguadulce και cv Normano.

4.7 Εδαφική ανάλυση

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους σε βάθος 0-20 cm, συνολικά τριών δειγμάτων, που καθένα αντιστοιχούσε σε μία επανάληψη. Στα δείγματα αυτά μετρήθηκε

αρχικά το pH και το ανθρακικό ασβέστιο με τη μέθοδο προσδιορισμού ανθρακικών αλάτων κατά «Bernard», ενώ εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε πληρέστερη εδαφική ανάλυση, όπως φαίνεται παρακάτω στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Εδαφολογική ανάλυση του πειραματικού αγρού.

Εδαφική Ανάλυση	
Ολικό διαθέσιμο άζωτο (mg N/kg)	1170
Διαθέσιμο S (mg S/kg)	4,7
Ολικό S (mg S/kg)	160
Διαθέσιμος P (mg P/kg)	<0,3
Ολικός P (mg P₂O₅/100g)	4
Διαθέσιμο K (mg K/kg)	46
Διαθέσιμο Mg (mg Mg/kg)	390
Διαθέσιμο Na (mg Na/kg)	33
pH	7,4
Οργανική ουσία %	2,3
Ανόργανη ουσία %	0,29
Πηλός	54
Ιλύς	26
Άμμος	16
Ολικός P (mg P₂O₅/100g)	89
Ολικός C (g C/100g)	1,3

4.8 Μετεωρολογικά Δεδομένα

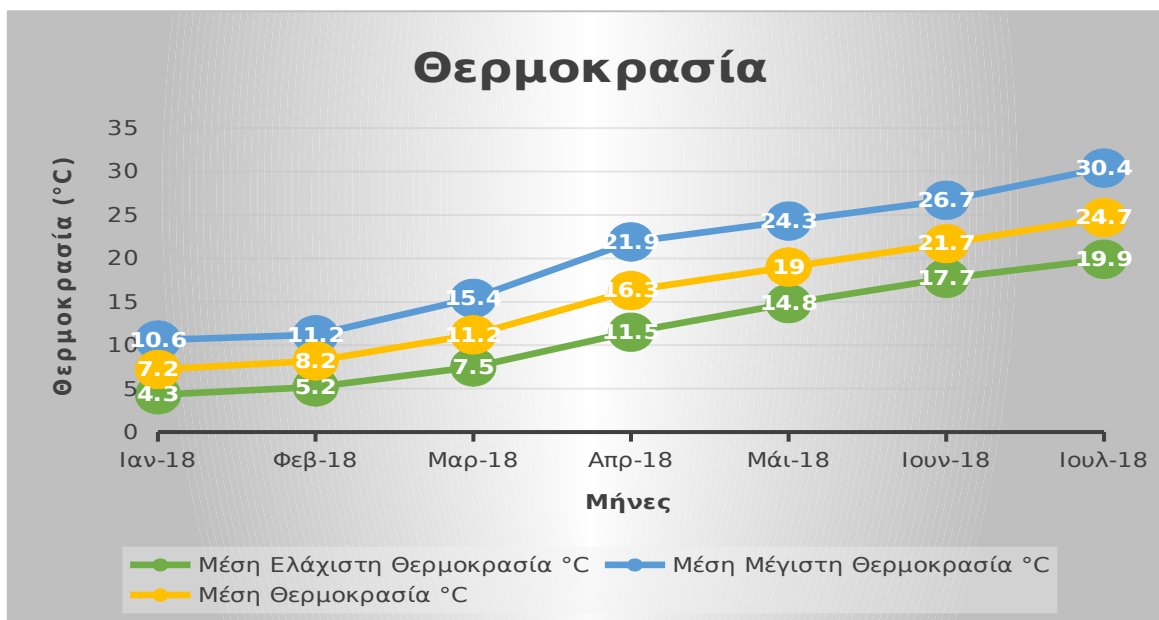
Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν τους μήνες που ήταν εγκατεστημένο το πείραμα στον πειραματικό αγρό (Ιανουάριος-Ιούλιος 2018)(Πίνακας 3).

Πίνακας 3 Παράθεση μετεωρολογικών δεδομένων του πειραματικού αγρού Ερυθρών για τους μήνες διεξαγωγής του πειράματος.

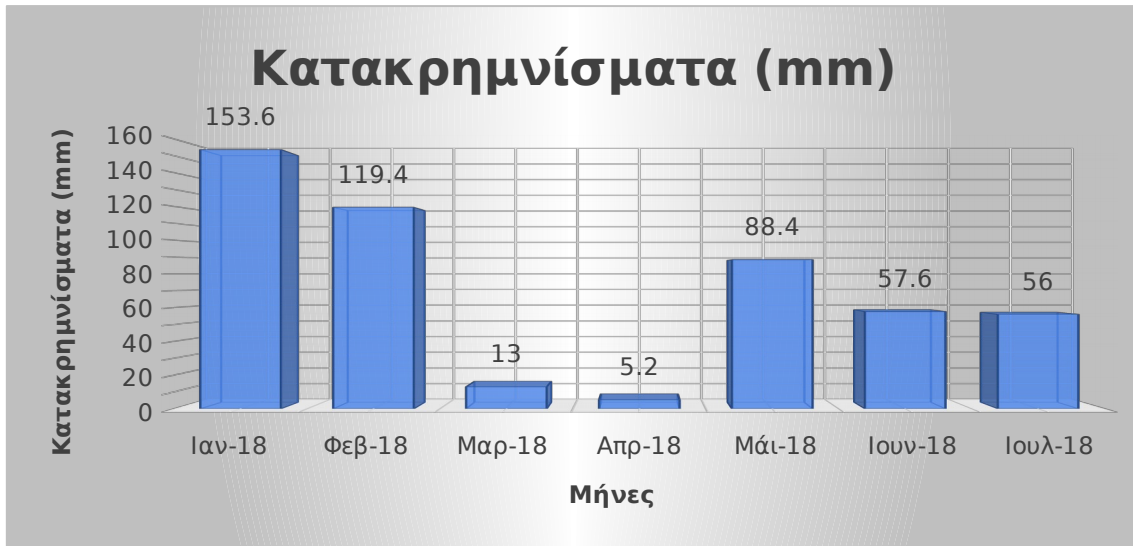
Μήνες	Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία	Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία °C	Μέση Θερμοκρασία °C	Υετός (mm)	Ταχύτητα αέρα (km/hr)
--------------	--	--	------------------------------------	-------------------	--------------------------------------

	°C				
Ιαν-18	4,3	10,6	7,2	153,6	9
Φεβ-18	5,2	11,2	8,2	119,4	8,5
Μαρ-18	7,5	15,4	11,2	13	9,5
Απρ-18	11,5	21,9	16,3	5,2	9,7
Μάι-18	14,8	24,3	19	88,4	8,5
Ιουν-18	17,7	26,7	21,7	57,6	9,3
Ιουλ-18	19,9	30,4	24,7	56	8

Στο Διάγραμμα 4 φαίνεται η θερμοκρασία για την περίοδο του πειράματος (μέση, ελάχιστη και μέγιστη). Στο Διάγραμμα 5 φαίνεται η ποσότητα των κατακρημνισμάτων (βροχόπτωση και χιονόπτωση) για την περίοδο του πειράματος.



Διάγραμμα 4 Μετεωρολογικά δεδομένα πειραματικού αγρού Ερυθρών, Βοιωτίας (Ιανουάριος-Ιούλιος 2018).



Διάγραμμα 5 Γραφική απεικόνιση κατακρημνισμάτων πειραματικού αγρού Ερυθρών, Βοιωτίας (Ιανουάριος-Ιούλιος 2018).

4.9 Χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν

Για την αξιολόγηση του *L. mutabilis* εξετάστηκαν και αναλύθηκαν 43 μορφολογικά χαρακτηριστικά του λούπινου διακεκριμένα ανά στάδιο ανάπτυξης. Επιπλέον, εξετάστηκε η απόδοση σε σπόρο, η περιεκτικότητα του σπόρου και του στελέχους σε ολικές αζωτούχες ουσίες, ενώ για το κουκί και το σιτάρι μελετήθηκε η απόδοση σε σπόρο, το βάρος 100 σπόρων και η αζωτοδέσμευση. Παρακάτω παρατίθεται πλήρης λίστα μετρήσεων ανά φυτό, βάσει της χρονολογικής σειράς λήψης τους.

4.9.1 Λούπινο

4.9.1.1 Στάδιο προβλάστησης- σπορείο

1. Βλαστικότητα σπόρων (%).
2. Χρώμα κοτυληδόνων. Εκτιμήθηκε στο στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων και παίρνει τιμές 3 για ανοιχτό πράσινο – 5 για μέτριο πράσινο – 7 για σκούρο πράσινο.
3. Χρώμα βλαστού. Το χαρακτηριστικό αυτό εκτιμήθηκε πολλαπλά, από το στάδιο των δύο πραγματικών φύλλων μέχρι και το στάδιο κατά το οποίο το 50% των φυτών είχε μεταβεί στο στάδιο της άνθησης. Οι πιθανές τιμές ήταν 3 για πράσινο – 5 για πράσινο με κόκκινο μεταχρωματισμό – 7 για κόκκινο).
4. Καταπόνηση λόγω μεταφύτευσης. Το χαρακτηριστικό αυτό αφορά στο ποσοστό (%) των φυτών που χρειάστηκαν αντικατάσταση στον αγρό, μετά τη μεταφύτευση, και εκτιμήθηκε μία εβδομάδα μετά τη μεταφύτευση).

4.9.1.2 Βλαστικό στάδιο- ανάπτυξη φυτών

5. Η ευρωστία του φυτού παρατηρήθηκε δύο εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση των φυτών στον αγρό και κάθε 15 μέρες, μέχρι την είσοδο των 50% των φυτών στην άνθηση. Οι πιθανές τιμές ήταν οι εξής: 3 που αντιστοιχούσε σε λίγο εύρωστο, 5 για μέτρια εύρωστο, 7 για καλώς εύρωστο, 9 για πολύ εύρωστο.
6. Το χρώμα φύλλων παρατηρήθηκε δύο εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση στον αγρό και όταν το 50% των φυτών είχε εισέλθει στην περίοδο της άνθησης. Οι τιμές που μπορούσε να πάρει η τιμή αυτή ήταν 3 που αντιστοιχούσε στο κίτρινο, 5 που αντιστοιχούσε στο πράσινο και 7 που αντιστοιχούσε στο κόκκινο.

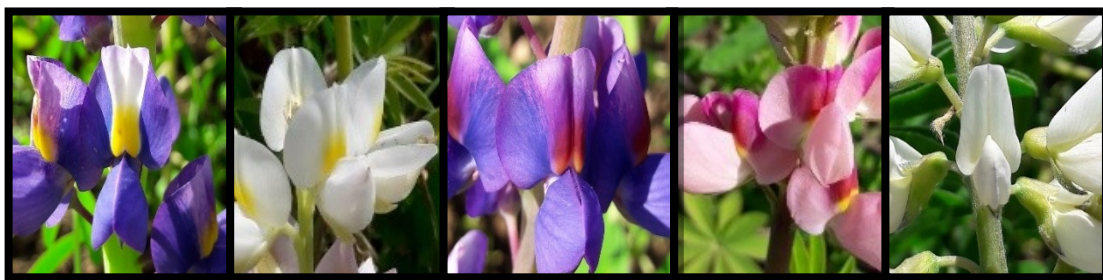
7. Ένταση χρώματος φύλλου. Αυτό το χαρακτηριστικό παρατηρήθηκε δύο εβδομάδες μετά τη μεταφύτευση των φυτών στον αγρό και όταν το 50% των φυτών εισήλθε στην άνθηση και οι πιθανές τιμές ήταν 1 για κίτρινο, 3 για ελαφρώς πράσινο, 5 για μέτρια πράσινο και 7 σκούρο πράσινο).

4.9.1.3 Αναπαραγωγικό στάδιο

8. Το ύψος του φυτού παρατηρήθηκε όταν το 50% των φυτών εισήλθαν στο στάδιο της άνθησης.
9. Οι ημέρες άνθησης κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση αφορούν τις ημέρες που μεσολάβησαν από τη μεταφύτευση των φυτών στον αγρό, μέχρι την εμφάνιση της κύριας ταξιανθίας. Οι πιθανές τιμές για αυτό το χαρακτηριστικό είναι ακέραιοι αριθμοί.
10. Οι ημέρες άνθησης πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση αφορούν τις ημέρες που μεσολάβησαν από τη μεταφύτευση των φυτών στον αγρό, μέχρι την εμφάνιση της πρωτεύουσας ταξιανθίας. Οι πιθανές τιμές για αυτό το χαρακτηριστικό είναι ακέραιοι αριθμοί.
11. Το ύψος της ταξιανθίας παρατηρήθηκε στην κεντρική ταξιανθία και αφορούσε την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την έναρξη της ταξιανθίας (cm).
12. Το μήκος της ταξιανθίας παρατηρήθηκε στην κεντρική ταξιανθία και αφορούσε την απόσταση από την έναρξη της ταξιανθίας μέχρι το τέλος αυτής (cm).
13. Ο αριθμός φυματίων ανά φυτό παρατηρήθηκε όταν το 50% των φυτών είχε εισέλθει στην άνθηση. Η μέτρηση αυτή αφορά στο πλήθος των φυματίων που υπήρχαν στο ριζικό σύστημα 5 τυχαίων φυτών δειγμάτων από κάθε plot, αφού αυτά αφαιρέθηκαν ολόκληρα από τον αγρό και η καταγραφή έγινε εντός λίγης ώρας (ακέραιοι αριθμοί).
14. Η ενεργότητα των φυματίων αφορά στο κατά πόσο τα φυμάτια αυτά είχαν τη δυνατότητα να αζωτοδεσμεύσουν. Οι πιθανές τιμές που ορίζονταν ήταν 0 για λευκό, 2 για ροζ και 4 για κόκκινο. Αντίστοιχα όταν το φυμάτιο ήταν λευκό σήμαινε ότι δεν αζωτοδέσμευε, όταν ήταν ροζ σήμαινε μικρή αζωτοδέσμευση, ενώ όταν ήταν κόκκινο σήμαινε ότι αζωτοδέσμευε κανονικά.
15. Η φυλλική επιφάνεια παρατηρήθηκε όταν το 50% των φυτών εισήλθε στην άνθηση και μετρήθηκε με τη συσκευή Li-cor Area Meter (cm²).

16. Το χρώμα του άνθους εκτιμήθηκε στα νεαρά άνθη και κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε τύπους (Τύπος 1, Τύπος 2, Τύπος 3, Τύπος 4 και Τύπος 5), όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.

- Τύπος 1: Νεαρό άνθος με κίτρινη βούλα στο κεντρικό σημείο του πετάσου, με άσπρο το μέσο του πετάσου, μπλε άκρες πετάσου και μπλε πτέρυγες.
- Τύπος 2: Νεαρό άνθος με κίτρινη βούλα στο κεντρικό σημείο του πετάσου, με άσπρο το μέσο του πετάσου, άσπρες άκρες πετάσου και άσπρες πτέρυγες.
- Τύπος 3: Νεαρό άνθος με κίτρινη βούλα στο κεντρικό σημείο του πετάσου, μπλε-μωβ το μέσο του πετάσου, μπλε άκρες του πετάσου και μπλε πτέρυγες.
- Τύπος 4: Νεαρό άνθος με κίτρινη βούλα στο κεντρικό σημείο του πετάσου, άσπρο-ροζ το μέσο του πετάσου, ροζ άκρες πετάσου και ροζ πτέρυγες.
- Τύπος 5: Νεαρό άνθος με άσπρο πέτασο και άσπρες πτέρυγες. Πιθανή ύπαρξη ιώδους αποχρωματισμού στις πτέρυγες.



Τύπος 1

Τύπος 2

Τύπος 3

Τύπος 4

Τύπος 5

Εικόνα 2 Οι 5 τύποι των ανθέων (Τύπος 1, Τύπος 2, Τύπος 3, Τύπος 4, Τύπος 5)

Επιπλέον, για τις ανάγκες του πειράματος, δημιουργήθηκε ένας νέος Τύπος άνθους, ο Τύπος 3.2, που είναι συνδυασμός των Τύπου 3 και Τύπου 2 και φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3 Ο τύπος άνθους 3.2.

17. Οι ημέρες καρπόδεσης της κύριας ταξιανθίας, αφορούν τις μέρες που μεσολάβησαν από τη μεταφύτευση των φυτών στον αγρό, μέχρι την καρπόδεση του πρώτου λοβού στην κύρια ταξιανθία.
18. Οι ημέρες καρπόδεσης πρωτεύουσας ταξιανθίας, αφορούν τις μέρες που μεσολάβησαν από τη μεταφύτευση των φυτών στον αγρό, μέχρι την καρπόδεση του πρώτου λοβού στην πρωτεύουσα ταξιανθία.

4.9.1.4 Ωρίμανση φυτού

19. Οι ημέρες πλήρους ωρίμανσης φυτού αφορά τις μέρες που μεσολάβησαν από την ημέρα της μεταφύτευσης των φυτών στον αγρό, μέχρι την ημέρα που παρατηρήθηκε ξήρανση τουλάχιστον ενός λοβού πάνω στο φυτό.
20. Το ύψος του φυτού αναφέρεται στην απόσταση που υπήρχε από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το τέλος του στελέχους (cm) και παρατηρήθηκε στο στάδιο της ωρίμανσης του φυτού.
21. Ο αριθμός των πλάγιων διακλαδώσεων με άνθη, αναφέρεται το πλήθος των διακλαδώσεων του στελέχους, που εμφάνισαν ταξιανθίες.
22. Το πλάγιασμα των φυτών κατά την ωρίμανση ορίζεται από δύο τιμές 0 και 1, όπου το 0 αναφέρεται σε φυτά που δεν πλαγιαίνουν, ενώ το 1 σε φυτά που πλαγιαίνουν.

4.9.1.5 Μετρήσεις Εργαστηρίου

23. Το ύψος του φυτού μέχρι την πρώτη διακλάδωση αφορά την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την πρώτη διακλάδωση (cm).
24. Το ύψος του φυτού μέχρι την ανθοταξία της πρώτης διακλάδωσης αφορά στην απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την έναρξη της ταξιανθίας της πρώτης διακλάδωσης (cm).
25. Ο αριθμός των λοβών στην κύρια ταξιανθία αφορά το πλήθος των λοβών της κύριας ταξιανθίας, που είχε το κάθε φυτό.
26. Ο αριθμός των λοβών στην πρωτεύουσα ταξιανθία αφορά το πλήθος των λοβών της πρωτεύουσας ταξιανθίας, που είχε το κάθε φυτό.
27. Ο αριθμός των λοβών ανά φυτό αφορά στον συνολικό αριθμό λοβών που έφερε κάθε φυτό, από όλες τις ταξιανθίες.

28. Η χνόωση των ώριμων λοβών παρατηρήθηκε μετά τη συγκομιδή των φυτών και οι πιθανές τιμές ορίζονταν ως εξής: 0 για καθόλου χνόωση, 3 για μέτρια χνόωση και 5 για πολλή χνόωση.
29. Το μήκος των λοβών καταγράφηκε μετά τη συγκομιδή, σε έναν αντιπροσωπευτικό λοβό της κύριας ταξιανθίας (cm).
30. Το πλάτος των λοβών καταγράφηκε μετά τη συγκομιδή, σε έναν αντιπροσωπευτικό λοβό της κύριας ταξιανθίας (cm).
31. Η διάνοιξη των λοβών αφορούσε στην παρουσία ή απουσία τουλάχιστον ενός λοβού που είχε ανοίξει λόγω ωρίμανσης. Οι τιμές που μπορούσε να πάρει το χαρακτηριστικό αυτό ήταν 0 για κλειστούς λοβούς και 1 για διανοιγμένους λοβούς.
32. Ο αριθμός των σπόρων ανά λοβό καταγράφηκε από έναν αντιπροσωπευτικό λοβό της κύριας ταξιανθίας.
33. Ο αριθμός των σπόρων στην κύρια ταξιανθία αφορά στο σύνολο των σπόρων που βρίσκονταν στην κύρια ταξιανθία.
34. Ο αριθμός των σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία αφορά στο σύνολο των σπόρων που βρίσκονταν στην πρωτεύουσα ταξιανθία.
35. Ο αριθμός των σπόρων ανά φυτό αφορά στο σύνολο των σπόρων που βρίσκονταν σε όλες τις ταξιανθίες.
36. Μετά τη συγκομιδή μετρήθηκε το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος του φυτού (g).
37. Έπειτα από θέρμανση στον εργαστηριακό φούρνο στους 70°C για 48 ώρες, μετρήθηκε το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος του φυτού, χωρίς τους λοβούς (g).
38. Αμέσως μετά τη συγκομιδή, μετρήθηκε το νωπό βάρος της ρίζας (g).
39. Έπειτα από θέρμανση στον εργαστηριακό φούρνο στους 70°C για 48 ώρες μετρήθηκε το ξηρό βάρος της ρίζας (g).
40. Αμέσως μετά τη συγκομιδή μετρήθηκε το βάρος των σπόρων ανά φυτό, από τους λοβούς όλων των ταξιανθιών (g).
41. Μετά τη μέτρηση του βάρους του συνόλου των σπόρων ανά φυτό, υπολογίστηκε το βάρος 1000 σπόρων για κάθε φυτό (g).
42. Υπολογίστηκε η απόδοση σε σπόρο της κάθε καταχώρησης, αφού έγινε αναγωγή της απόδοσης ανά plot, σε απόδοση ανά εκτάριο (kg/ ha).

4.9.1.6 Αναλύσεις εργαστηρίου

43. Ολικές αζωτούχες ουσίες στο σπόρο (%).

44. Ολικές αζωτούχες ουσίες στο στέλεχος (%).
45. Περιεκτικότητα σπόρου σε Φώσφορο (P)
46. Περιεκτικότητα σπόρου σε Κάλιο (K).

Για τις αναλύσεις Φωσφόρου, Καλίου και αζωτούχων ουσιών χρησιμοποιήθηκαν πενήντα σπόροι από κάθε καταχώρηση, οι οποίοι αλέστηκαν σε μύλο τύπου καφέ (Sayona-Patissier-SZJ-8500). Όσο για τα στελέχη, αυτά εκτιμήθηκαν μόνο ως προς τις αζωτούχες ουσίες. Η επιλογή στελεχών έγινε τυχαία, με 5 φυτά ανά plot, κατά την περίοδο όπου το 50% των φυτών της κάθε καταχώρησης είχε εισέλθει στο στάδιο της άνθησης. Ύστερα από ξήρανση στον εργαστηριακό φούρνο στους 70°C για 48 ώρες, τα στελέχη αλέστηκαν σε μύλο τύπου καφέ όπως και οι σπόροι. Για κάθε δείγμα δημιουργήθηκαν δύο τεχνητές επαναλήψεις και ζυγίστηκαν 0,50 g. Για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε Φώσφορο και Κάλιο, ακολουθήθηκε η διαδικασία dry ashing σε πυραντήριο στους 550°C για οχτώ ώρες. Έπειτα τα δείγματα εκχυλίστηκαν με HCl κανονικότητας 1N. Η περιεκτικότητα φωσφόρου στο σπόρο υπολογίστηκε με τη μέθοδο Murphy-Riley (Murphy and Riley, 1962) και φασματοφωτόμετρο (Anthos Zenyth 200rt, Biochrom). Για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε αζωτούχες ουσίες χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl (Kjeltec 8400 Analyzer unit, FOSS) σε αλεσμένα δείγματα φυτικού υλικού. Ύστερα το ποσοστό πρωτεΐνης που εμφάνισε ο αναλυτής Kjeltec πολλαπλασιάστηκε με τον αριθμό 6,25 (Ζέρβας, 2005)

4.9.1.7 Βιολογική Αζωτοδέσμευση

47. Βιολογική αζωτοδέσμευση *L. mutabilis* (kg N/ ha).
48. Βιολογική αζωτοδέσμευση *L. albus* (kg N/ ha).
49. Βιολογική αζωτοδέσμευση *L. angustifolius* (kg N/ ha).

Η Βιολογική Αζωτοδέσμευση μετρήθηκε βάσει της εξίσωσης που περιγράφεται στο Παράρτημα Α.4 (σελ. 130). Για την επίλυση της εξίσωσης αυτής χρησιμοποιήθηκαν οι περιεκτικότητες του σπόρου και του στελέχους σε ολικές αζωτούχες ουσίες και οι αποδόσεις.

4.9.2 Κουκί

1. Το βάρος εκατό σπόρων υπολογίστηκε με αναγωγή του βάρους των σπόρων ανά φυτό (g).

2. Η απόδοση σε σπόρο υπολογίστηκε με αναγωγή της απόδοσης ανά plot, σε απόδοση ανά εκτάριο (kg/ ha).
3. Βιολογική αζωτοδέσμευση *V. faba* (kg N/ha)

4.9.3 Σιτάρι

1. Το βάρος εκατό σπόρων υπολογίστηκε με αναγωγή του βάρους των σπόρων ανά φυτό (g).
2. Η απόδοση σε σπόρο υπολογίστηκε με αναγωγή της απόδοσης ανά plot, σε απόδοση ανά εκτάριο, kg/ha).
3. Βιολογική αζωτοδέσμευση *T. durum* (kgN/ha)

4.9.4 Καταγραφή εχθρών και ασθενειών

Κάθε δύο εβδομάδες γινόταν επιθεώρηση των φυτών για πιθανές προσβολές είτε φυτοπαθολογικής, είτε ζωικής προέλευσης.

4.10 Ανάλυση Δεδομένων

4.10.1 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά

Για τη στατιστική ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών που εξετάστηκαν, υπολογίστηκαν οι σχετικές συχνότητες (%) των τιμών των χαρακτηριστικών, με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου Microsoft Office, Excel 2016.

4.10.2 Ποσοτικά χαρακτηριστικά

Για τη στατιστική ανάλυση των ποσοτικών χαρακτηριστικών που αφορούν τον πρώτο άξονα της μελέτης, δηλαδή τη συγκριτική καλλιέργεια και τη μελέτη των μορφολογικών χαρακτηριστικών του λούπινου, πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance, ANOVA). Για τη στατιστική ανάλυση των ποσοτικών χαρακτηριστικών που αφορούν το δεύτερο άξονα της μελέτης, δηλαδή τη μελέτη επίδρασης του ριζόβιου, εφαρμόστηκε Ανάλυση Διασποράς (Analysis of Variance, ANOVA), με εφαρμογή Γενικών Γραμμικών Μοντέλων (GLM), ως προς τους δύο παράγοντες του πειράματος, τις ποικιλίες και τις μεταχειρίσεις με και χωρίς ριζόβιο. Ο έλεγχος σημαντικότητας έγινε για επίπεδο $\alpha = 0,05$. Η σύγκριση των εξεταζόμενων καταχωρήσεων έγινε με τη μέθοδο Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (Least Significant Difference, LSD) και τη μέθοδο

Tukey (HSD). Πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο μέθοδοι συμφωνούν στις διαφορές μεταξύ των καταχωρήσεων.

4.10.3 Ανάλυση συσχετίσεων

Για τα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά των φυτών, μελετήθηκε η συσχέτιση και εκτιμήθηκε μέσω των τιμών του συντελεστή Pearson και Spearman για κάθε ζεύγος μεταβλητών.

4.10.4 Ανάλυση Cluster

Για την ομαδοποίηση των ποικιλιών εφαρμόστηκε Cluster Ανάλυση για όλες τις ποικιλίες και των δύο μεταχειρίσεων, αλλά και ξεχωριστά για τις δύο μεταχειρίσεις.

4.10.5 Στατιστικά εργαλεία

Για την ανάλυση που αναφέρεται στην ενότητα 4.9.1, αλλά και την εξαγωγή των μέσων όρων των μεταβλητών που αφορούν τα ποσοτικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιήθηκε το Microsoft Office, Excel 2016. Για τις αναλύσεις που αναφέρθηκαν στις ενότητες 4.9.2, 4.9.3 και 4.9.4 χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο προγραμματισμού Statgraphics CENTURION XVI.

5. Αποτελέσματα

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν μετά από τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων διακρίνεται αντίστοιχα με τους άξονες της μελέτης. Αρχικά παρουσιάζεται η σύγκριση των καταχωρήσεων *L. mutabilis* με τις εμπορικές ποικιλίες λούπινου, κουκιού και σιταριού και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του λούπινου των Άνδεων. Έπειτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αζωτοδέσμευσης, ολικών αζωτούχων ουσιών σε σπόρο και στέλεχος και οι αποδόσεις ανά μεταχείριση. Τα κεφαλαία γράμματα στις ομοιογενείς ομάδες δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά εντός του είδους ανάμεσα στις μεταχειρίσεις, ενώ τα μικρά γράμματα δηλώνουν μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς.

5.2 Ανάλυση Διασποράς

Για τον έλεγχο της κανονικότητας των σφαλμάτων των ποσοτικών χαρακτηριστικών, πραγματοποιήθηκε έλεγχος Shapiro-Wilk, για τα αντίστοιχα υπόλοιπα των μεταβλητών. Από αυτόν προέκυψε ότι σε όλες τις περιπτώσεις τα σφάλματα ακολουθούν κανονική κατανομή εκτός από τέσσερα χαρακτηριστικά, των οποίων ο έλεγχος κανονικότητας περιγράφεται στον Πίνακα 4, παρακάτω.

Πίνακας 4 Πίνακας έλεγχος κανονικότητας με τεστ Shapiro-Wilk W, για τις μεταβλητές «Νωπό Βάρος Υπέργειου τμήματος», «Σπόροι ανά φυτό», «Περιεκτικότητα Σπόρου σε Κάλιο» και «Περιεκτικότητα Σπόρου σε Φώσφορο».

Έλεγχος κανονικότητας για «Νωπό Βάρος Υπέργειου τμήματος»		
	W	P
Shapiro-Wilk	0,934408	0,0753097

Έλεγχος κανονικότητας για «Σπόροι ανά φυτό»		
	W	P
Shapiro-Wilk	0,861453	0,000860461

Έλεγχος κανονικότητας για «Περιεκτικότητα σπόρου σε Κάλιο»		
	W	P
Shapiro-Wilk	0,847361	0,000619372

Έλεγχος κανονικότητας για «Περιεκτικότητα σπόρου σε Φώσφορο»		
	W	P
Shapiro-Wilk	0,739224	0,00000152204

Για αυτές τις μεταβλητές ακολουθήθηκε μη παραμετρικός έλεγχος Kruskal-Wallis ως προς κάθε παράγοντα του πειράματος ξεχωριστά, λόγω μη ύπαρξης αντίστοιχου μη παραμετρικού τεστ για διπαραγοντική ανάλυση.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα P values των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών που καταμετρήθηκαν.

Πίνακας 5 Παράθεση των τιμών P value, που προέκυψαν στη στατιστική ανάλυση των παρακάτω χαρακτηριστικών.

Χαρακτηριστικό-μέτρηση	P value
Ύψος φυτού	0,2661
Μήκος λοβού	0,0679
Πλάτος λοβού	0,9418
Σπόροι ανά λοβό	0,0357
Ύψος μέχρι την πρώτη διακλάδωση	0,2263
Ύψος μέχρι την ανθοταξία της πρώτης διακλάδωσης	0,6428
Αριθμός λοβών στην κύρια ταξιανθία	0,3388
Αριθμός λοβών στην πρωτεύουσα ταξιανθία	0,0001
Αριθμός σπόρων στην κύρια ταξιανθία	0,0141
Αριθμός σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία	0,0000
Αριθμός λοβών ανά φυτό	0,0367
Αριθμός σπόρων ανά φυτό	0,0025
Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος	0,0126
Νωπό βάρος ρίζας	0,0006
Βάρος σπόρων ανά φυτό	0,0012
Ολικές Αζωτούχες Ουσίες στο σπόρο	0,0000
Περιεκτικότητα του σπόρου σε Κάλιο	0,2902
Περιεκτικότητα του σπόρου σε Φώσφορο	0,0155

Ολικές Αζωτούχες Ουσίες στο στέλεχος	0,1134
Πλήθος ενεργών φυματίων	0,0047
Βιολογική Αζωτοδέσμευση	0,0000

5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

5.3.1 Σύγκριση των καταχωρήσεων *L. mutabilis* με τις εμπορικές ποικιλίες λούπινου, κουκιού

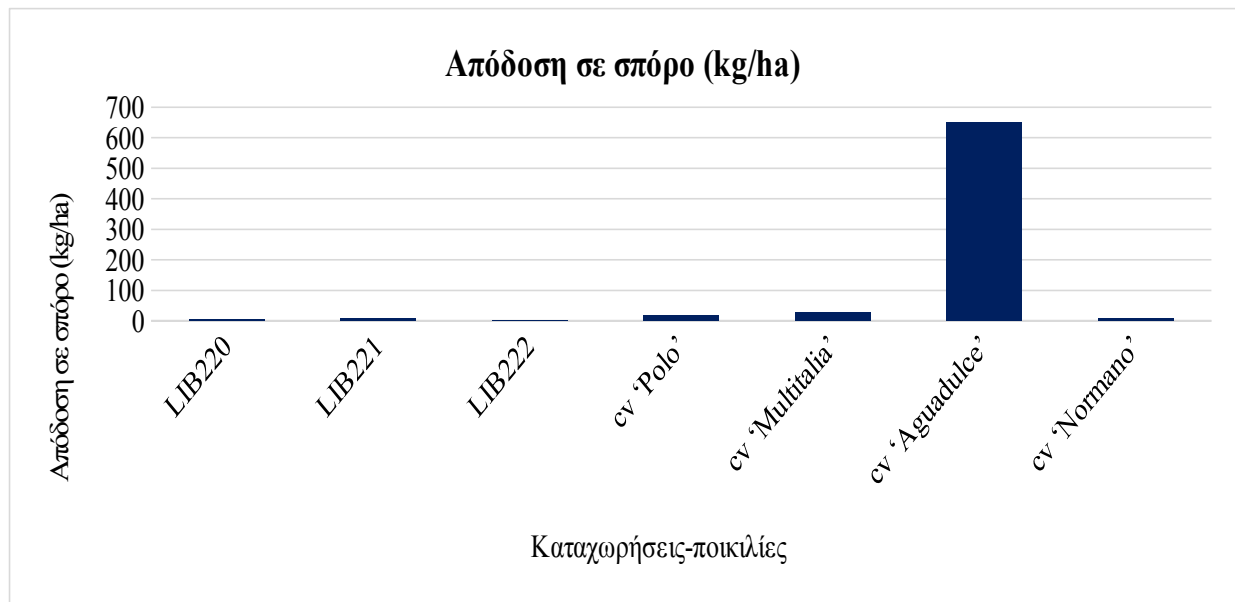
5.3.1.1 Αποδόσεις σε σπόρο (kg/ha) των καταχωρήσεων *L. mutabilis* και των εμπορικών ποικιλιών λούπινου, κουκιού και σιταριού

Στον πίνακα παρακάτω φαίνονται οι μέσο όροι αποδόσεων σε σπόρο για το λούπινο, το κουκί και το σιτάρι. Παρατηρείται ότι το κουκί έχει τη μεγαλύτερη απόδοση, ενώ δεύτερη ακολουθεί η εμπορική ποικιλία λευκού λούπινου κι έπειτα η εμπορική ποικιλία του μπλε λούπινου. Η επόμενη ομάδα περιλαμβάνει το σιτάρι, την καταχώρηση LIB221 ενώ η LIB220 σχετίζεται με την LIB222 που είναι τελευταία. Από τις καταχωρήσεις *L. mutabilis* η LIB221 έχει την υψηλότερη απόδοση.

Πίνακας 6 Μέσοι όροι αποδόσεων σε σπόρο για λούπινο, κουκί και σιτάρι.

Καταχωρήσεις-Ποικιλίες	Αποδόσεις σε σπόρο (kg/ha)	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	5,26	DE
LIB221	8,29	D
LIB222	2,65	E
cv Polo	19,14	C
cv Multitalia	29,35	B
cv Aguadulce	650,83	A
cv Normano	7,92	D

Στο διάγραμμα παρακάτω παρουσιάζεται η απόδοση των καταχωρήσεων *L. mutabilis* (LIB220, LIB221, LIB222), *L. albus*, *L. angustifolius*, του κουκιού και του σιταριού. Παρατηρούμε ότι το κουκί εμφανίζει τη μεγαλύτερη απόδοση σε σπόρο.



Διάγραμμα 6 Διάγραμμα απόδοσης σε σπόρο για τις καταχωρήσεις λούπινου, κουκιού και σιταριού.

5.3.1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά *L. mutabilis*

1. Βλαστικότητα σπόρων (%)

Η βλαστικότητα αφορά την ικανότητα βλάστησης των σπόρων των ποικιλιών που τοποθετήθηκαν στο διηθητικό χαρτί. Η μέτρηση έγινε σταδιακά, καθώς όλες οι

καταχωρήσεις δεν βλάστησαν ταυτόχρονα. Το τελικό ποσοστό βλαστικότητας καταγράφηκε την ημέρα μεταφοράς στους δίσκους σποράς στο θερμοκήπιο. Η καταχώρηση LIB220 παρουσίασε 68% βλαστικότητα, η καταχώρηση LIB221 είχε 71%, η καταχώρηση LIB222 είχε 47%, ενώ οι ποικιλίες cv Polo και cv Multitalia είχαν ποσοστό βλαστικότητας 83% και 99,2% αντίστοιχα.

2. Χρώμα κοτυληδόνων (3-5-7)

Το χρώμα κοτυληδόνων μετρήθηκε κατά την παραμονή των φυτών στο θερμοκήπιο. Στον παρακάτω Πίνακα (6) παρουσιάζονται οι συχνότητες των τιμών για το χρώμα των κοτυληδόνων για τις εξεταζόμενες καταχωρήσεις λούπινου.

Πίνακας 7 Συχνότητα (ποσοστό %) των τιμών του χρώματος κοτυληδόνων των καταχωρήσεων λούπινου.

Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Χρώμα Κοτυληδόνων		
	Ανοιχτό πράσινο (3)	Μέτριο πράσινο (5)	Σκούρο πράσινο (7)
LIB220	0%	100%	0%
LIB221	0%	100%	0%
LIB222	0%	100%	0%
cv Polo	0%	100%	0%
cv Multitalia	0%	100%	0%

3. Χρώμα βλαστού (3-5-7)

Το χρώμα βλαστού καταγράφηκε κατά τη μεταφύτευση των φυτών στο πειραματικό τεμάχιο. Ο Πίνακας 7 παρακάτω δείχνει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών του χρώματος βλαστού για τις καταχωρήσεις και ποικιλίες του λούπινου που εξετάζονται. Όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 7, η καταχώρηση LIB220 και οι εμπορικές ποικιλίες Polo και Multitalia είχαν πράσινο χρώμα βλαστού. Η καταχώρηση LIB221 είχε κυρίως κατά 81% πράσινο βλαστό με κόκκινο μεταχρωματισμό και 19% πράσινο βλαστό. Η καταχώρηση LIB222 είχε κατά 47,2% κόκκινο βλαστό, κατά 33,3% πράσινο και κατά 19,5% πράσινο βλαστό με κόκκινο μεταχρωματισμό.

Πίνακας 8 Συχνότητα (ποσοστό %) των τιμών του χρώματος βλαστού των καταχωρήσεις λούπινου.

Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Χρώμα Βλαστού		
	Πράσινο	Πράσινο με κόκκινο μεταχρωματισμό	Κόκκινο
LIB220	100%	0%	0%
LIB221	19%	81%	0%
LIB222	33,3%	19,5%	47,2%
cv Polo	100%	0%	0%
Cv Multitalia	100%	0%	0%

4. Καταπόνηση μεταφύτευσης (%)

Το stress μεταφύτευσης αφορά το ποσοστό των φυτών που χρειάστηκαν αντικατάσταση μετά τη μεταφύτευση στον αγρό. Η καταχώρηση LIB220 εμφάνισε 8,3% stress μεταφύτευσης, η LIB221 εμφάνισε 7,8% , ενώ η LIB222 5%. Για τις εμπορικές ποικιλίες, η cv Polo είχε 1,3%, ενώ η cv Multitalia 0%. Διαφορές ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις με ριζόβιο και χωρίς ριζόβιο δεν παρατηρήθηκαν.

5. Ευρωστία (3-5-7-9)

Τα ποσοστά ευρωστίας που αναφέρονται αφορούν το μέσο όρο των μετρήσεων της τιμής αυτής. Από την καταχώρηση LIB220 το 58% των φυτών ήταν μέτρια εύρωστα, ενώ το 42% ήταν καλώς εύρωστα, από την καταχώρηση LIB221 το 82% ήταν μέτρια εύρωστα, ενώ το 18% ήταν λίγο εύρωστα, από την καταχώρηση LIB222 το 58% των φυτών ήταν μέτρια εύρωστα, το 33% λίγο εύρωστα και το 9% ήταν πολύ εύρωστα. Για τις εμπορικές ποικιλίες, από την cv Polo το 11% ήταν μέτρια εύρωστα και το 89% καλώς εύρωστα, ενώ από τη cv Multitalia το 100% των φυτών ήταν πολύ εύρωστα.

6. Χρώμα (3-5-7) και ένταση χρώματος φύλλων (1-3-5-7)

Το χρώμα του φύλλου περιγράφεται από μία κλίμακα 3,5,7, ενώ για την ένταση του χρώματος υπάρχει κλίμακα 1,3,5,7. Το χρώμα του φύλλου σε όλες τα είδη λούπινου ήταν πράσινο 3. Για όλες τις καταχωρήσεις *L. mutabilis* (LIB220, LIB221, LIB222) και για την ποικιλία cv Polo η ένταση του χρώματος του φύλλου ήταν πράσινο σε κλίμακα 3 ενώ για την ποικιλία cv Multitalia ήταν πράσινο 5.

7. Ύψος φυτού (cm)

Το ύψος των φυτών μετρήθηκε στο βλαστικό στάδιο και περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα. Όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 8, στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) τα φυτά εμφάνισαν μεγαλύτερα ύψη, εκτός από την καταχώρηση LIB220 όπου παρατηρήθηκαν κατά 0,67 cm ψηλότερα φυτά στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο). Και στις δύο μεταχειρίσεις, τα χαμηλότερα φυτά εμφάνισε η εμπορική ποικιλία Multitalia (6,17 και 7,13 cm για τη μεταχείριση 1 και 2 αντίστοιχα).

Πίνακας 9 Μέσοι όροι του ύψους φυτού (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ύψος φυτού (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	14,84	c	14,17	c
LIB221	14,87	cd	15,27	cd
LIB222	9,00	b	10,40	b
cv Polo	16,77	d	15,60	d
cv Multitalia	6,17	a	7,13	a

8. Ύψος ταξιανθίας (cm)

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ύψους της ταξιανθίας ανά μεταχείριση και ανά καταχώρηση. Η πιο κοντή ταξιανθία εμφανίζεται στην εμπορική ποικιλία Multitalia με τιμές 6,17 cm και 7,13 cm για την μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) αντίστοιχα· ενώ από τις καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* η πιο κοντή ταξιανθία ανήκε στην LIB222 (9,00 και 10,4 cm για τη μεταχείριση 1 και 2 αντίστοιχα).

Πίνακας 10 Μέσοι όροι ύψους ταξιανθίας (cm) των λούπινων, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ύψος ταξιανθίας (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	14,83	b	14,33	b
LIB221	14,87	ab	15,1	ab
LIB222	9,00	c	10,4	c

cv Polo	16,77	a	15,6	a
cv Multitalia	6,17	d	7,13	d

9. Μήκος ταξιανθίας (cm)

Το μήκος της ταξιανθίας περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα για κάθε καταχώρηση, στις δύο μεταχειρίσεις. Οι εμπορικές ποικιλίες εμφάνισαν το ελάχιστο και το μέγιστο μήκος ταξιανθίας, με την Polo να εμφανίζει μήκος ταξιανθίας στα 6,40 cm και 4,50 cm για τη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) αντίστοιχα, ενώ η Multitalia είχε αντίστοιχες τιμές 17,71 cm και 17,48 cm. Από τις Γερμανικές καταχωρήσεις *L. mutabilis*, στη μεταχείριση 1, με ριζόβιο, η LIB220 είχε το μεγαλύτερο μήκος ταξιανθίας (11,68 cm και 14,67 cm αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις 1 και 2), ενώ οι LIB221 και LIB222 είχαν το μικρότερο.

Πίνακας 11 Μέσοι όροι μήκους ταξιανθίας (cm) των λούπινων, ανά καταχώρηση.

Μήκος ταξιανθίας (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	11,68	b	14,64	b
LIB221	9,77	C	6,84	c
LIB222	8,69	c	9,32	c
cv Polo	6,40	D	4,50	d
cv Multitalia	17,71	a	17,48	a

10. Αριθμός ενεργών φυματίων ανά φυτό

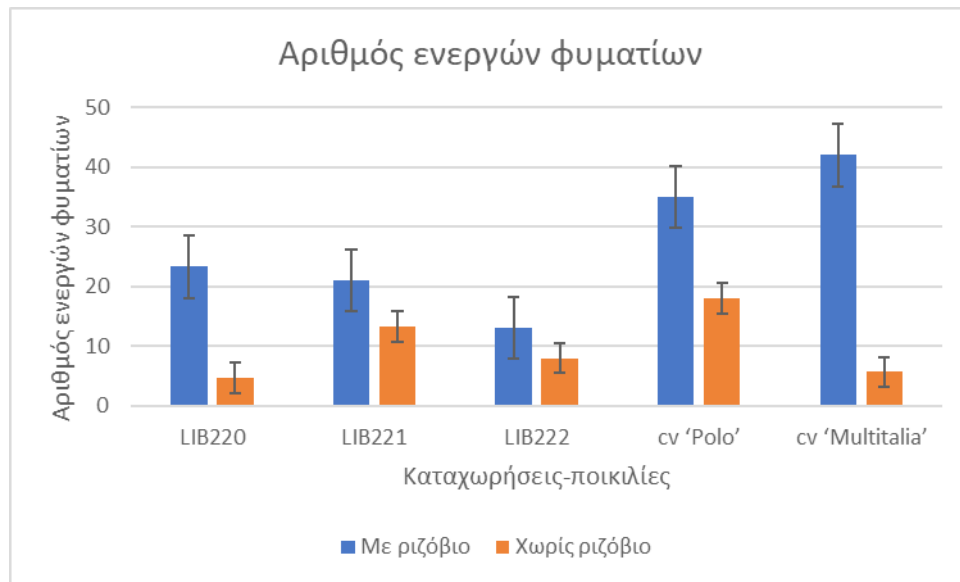
Στον Πίνακα 12 καταγράφονται οι μέσοι όροι των ενεργών φυματίων που βρέθηκαν στις ρίζες των φυτών λούπινου, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) βρέθηκαν περισσότερα φυμάτια σε σχέση με τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο). Στη μεταχείριση 1 η εμπορική ποικιλία Multitalia εμφάνισε τα περισσότερα φυμάτια (42,0), ακολούθησε η εμπορική ποικιλία μπλε λούπινου Polo, ενώ οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* είχαν τα λιγότερα. Ανάμεσα στις καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων, η LIB222 είχε τα λιγότερα (13,0), χωρίς όμως σημαντική διαφορά από τις άλλες καταχωρήσεις του είδους. Στη μεταχείριση 2, τα περισσότερα φυμάτια είχε η εμπορική ποικιλία Polo (18,0), ενώ τα λιγότερα είχε η

καταχώρηση του είδους *L. mutabilis*, LIB220 (4,7). Από τις καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων, αυτή που είχε τα περισσότερα φυμάτια ήταν η LIB221 (13,3).

Πίνακας 12 Μέσοι όροι των ενεργών φυματίων στις ρίζες των φυτών, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός ενεργών φυματίων				
Καταχωρήσεις-Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	23,3	A	4,7	a
LIB221	21,0	A	13,3	b
LIB222	13,0	A	8,0	a
cv Polo	35,0	AB	18,0	c
cv Multitalia	42,0	B	5,7	a

Στο Διάγραμμα 7 παρουσιάζεται το πλήθος των ενεργών φυματίων, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με μπλε χρώμα εμφανίζεται η μεταχείριση 1 με εμβάπτιση σε ριζόβιο, ενώ με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται η μεταχείριση 2 χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο.



Διάγραμμα 7 Γραφική συγκριτική απεικόνιση του πλήθους ενεργών φυματίων στις ρίζες των ποικιλιών λούπινου που μελετήθηκαν στις μεταχειρίσεις με και χωρίς ριζόβιο.

11. Ενεργότητα φυματίων (0 λευκό-2 ροζ-4 κόκκινο)

Παρακάτω (Πίνακας 13) φαίνονται οι συχνότητες των ενεργών φυματίων, όπου ως ενεργά φυμάτια υπολογίστηκαν όσα χαρακτηρίστηκαν ως 2 και 4. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η καταχώρηση LIB222 εμφάνισε ενεργά φυμάτια με τη μεγαλύτερη συχνότητα (0,70) χωρίς σημαντική διαφορά από την εμπορική ποικιλία Multitalia (0,67). Η καταχώρηση LIB221 εμφάνισε ενεργά φυμάτια με τη μικρότερη (0,33), χωρίς σημαντική διαφορά από τις LIB220 (0,47) και cv Polo (0,40). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η εμπορική ποικιλία Multitalia εμφάνισε ενεργά φυμάτια με τη μεγαλύτερη συχνότητα (0,60) χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά από τις LIB221 (0,53) και τη cv Polo (0,53), ενώ η LIB222 εμφάνισε τη μικρότερη συχνότητα (0,33) μαζί με την καταχώρηση LIB220 (0,42).

Πίνακας 13 Συχνότητες ενεργών φυματίων, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Συχνότητα ενεργών φυματίων				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	0,47	a	0,42	a
LIB221	0,33	a	0,53	B
LIB222	0,70	A	0,33	a
cv Polo	0,40	ab	0,53	c
cv Multitalia	0,67	b	0,60	a

Στην παρακάτω εικόνα διακρίνονται τα φυμάτια στις ρίζες φυτού της καταχώρησης LIB220 του είδους *L. mutabilis*, από τη μεταχείριση με ριζόβιο.



Εικόνα 4 Φυμάτια στη ρίζα φυτού λούπινου της καταχώρησης LIB220 (*L. mutabilis*) από τη μεταχείριση 1 (με ριζόβιο).

12. Φυλλική επιφάνεια (cm)

Στον Πίνακα 14, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της φυλλικής επιφάνειας (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η εμπορική ποικιλία Multitalia είχε τη μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια (827,79 cm), ακολουθούμενη από τις εμπορικές ποικιλίες Polo (326.67 cm) και Aguadulce (194.07 cm). Τη μικρότερη φυλλική επιφάνεια χωρίς σημαντική διαφορά μεταξύ τους είχαν οι καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων, με τη LIB220 (137,65 cm), τη LIB221 (125,94 cm), τη LIB222 (159,73 cm) και την ποικιλία σιταριού cv Normano (112,27 cm). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η ομαδοποίηση ήταν αντίστοιχη της μεταχείρισης 1. Η cv Multitalia είχε τη μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια (706,30 cm), ακολουθούμενη από τη cv Polo (682,54 cm) και τη cv Aguadulce (682,75 cm). Τη μικρότερη φυλλική επιφάνεια είχαν η cv Normano (127,68 cm) και οι καταχωρήσεις LIB220 (149,73 cm), η LIB221 (169,47 cm) και η LIB222 (170,19 cm).

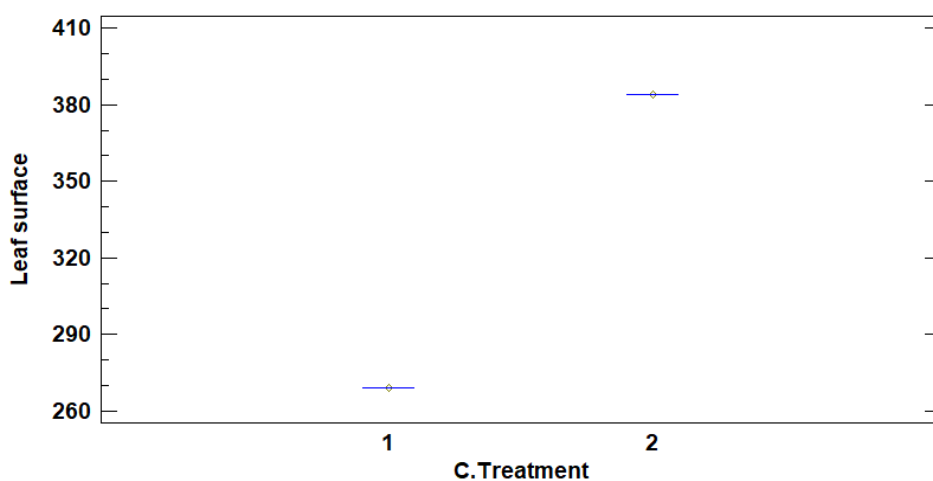
Πίνακας 14 Μέσοι όροι φυλλικής επιφάνειας (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Φυλλική επιφάνεια (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	137,65	a	149,73	a

LIB221	125,94	a	169,47	A
LIB222	159,73	a	170,19	a
cv Polo	326,67	b	682,54	B
cv Multitalia	827,79	c	706,30	c
cv Aguadulce	194,07	b	682,75	B
cv Normano	112,27	a	127,68	a

Στο Διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η διαφορά της φυλλικής επιφάνειας στα φυτά των δύο μεταχειρίσεων. Φαίνεται ότι στη μεταχείριση 2 χωρίς ριζόβιο, τα φυτά είχαν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια σε σύγκριση με τη μεταχείριση 1 με ριζόβιο.

Means and 95,0 Percent LSD Intervals



Διάγραμμα 8 Γραφική συγκριτική απεικόνιση της φυλλικής επιφάνειας (cm²) στις δύο μεταχειρίσεις: 1 μεταχείριση με ριζόβιο, 2 μεταχείριση χωρίς ριζόβιο για τις ποικιλίες λούπινου.

13. Ημέρες άνθησης κύριας ταξιανθίας από μεταφύτευση

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 15) παρουσιάζονται οι ημέρες άνθησης της κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, και διαπιστώθηκε ίδια ομαδοποίηση. Οι πιο πρώιμες καταχωρήσεις λούπινου στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) ήταν αυτές του λούπινου των Άνδεων, με τη LIB220 να ανθίζει σε 91 ημέρες, τη

LIB221 σε 93 και τη LIB222 σε 92. Οι εμπορικές ποικιλίες Polo και Multitalia άνθισαν σε 97 ημέρες. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), οι πιο πρώιμες ποικιλίες ήταν η καταχώρηση LIB221 (75) και η εμπορική Polo (77), ενώ ακολουθούσε η LIB222 με 86 ημέρες. Τέλος, οι πιο όψιμες ήταν η καταχώρηση LIB220 με 92 ημέρες και η cv Multitalia με 96 ημέρες.

Πίνακας 15 Ημέρες άνθησης της κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.

Ημέρες άνθησης κύριας ταξιανθίας				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	91	a	92	c
LIB221	93	a	75	a
LIB222	92	a	86	b
cv Polo	97	b	77	a
cv Multitalia	97	b	96	c

14. Ημέρες άνθησης πρωτεύουσας ταξιανθίας από μεταφύτευση
 Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 16) παρουσιάζονται οι ημέρες άνθησης της πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), πιο γρήγορα άνθισαν οι καταχωρήσεις LIB220 και LIB222 με 97 ημέρες. Στη συνέχεια ακολουθούσε η LIB221 με 99 ημέρες και τέλος οι cv Multitalia και cv Polo 100 και 102 ημέρες αντίστοιχα. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), οι ομάδες είναι αντίστοιχες, με τη LIB222 (99 ημέρες), τη LIB220 (99 ημέρες) και τη LIB221 (102 ημέρες), ενώ τελευταίες οι cv Polo και cv Multitalia με 103 ημέρες.

Πίνακας 16 Ημέρες άνθησης της πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.

Ημέρες άνθησης κύριας ταξιανθίας				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	97	a	99	a
LIB221	99	b	102	b
LIB222	97	a	98	a

cv Polo	102	c	103	c
cv Multitalia	100	bc	103	bc

15. Τύπος άνθους

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζεται ο τύπος του άνθους για κάθε καταχώρηση. Οι εξεταζόμενες καταχωρήσεις εμφάνισαν τον ίδιο τύπο άνθους ανεξαρτήτως μεταχείρισης. Τα είδη *L. albus* και *L. angustifolius* είχαν άνθη Τύπου 5. Οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* παρουσίασαν παραλλακτικότητα εντός του είδους. Η καταχώρηση LIB220 είχε άνθη Τύπου 2, LIB221 είχε άνθη Τύπου 3.2 και η καταχώρηση LIB222 είχε άνθη Τύπου 4.

Πίνακας 17 Τύποι ανθέων ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ημέρες άνθησης κύριας ταξιανθίας		
	Μεταχείριση 1	Μεταχείριση 2
LIB220	Τύπος 2	Τύπος 2
LIB221	Τύπος 3.2	Τύπος 3.2
LIB222	Τύπος 4	Τύπος 4
cv Polo	Τύπος 5	Τύπος 5
cv Multitalia	Τύπος 5	Τύπος 5

16. Ημέρες καρπόδεσης κύριας ταξιανθίας από μεταφύτευση

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 18) παρουσιάζονται οι ημέρες καρπόδεσης της κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η καταχώρηση LIB222 καρπόδεσε πιο γρήγορα από όλες με 107 ημέρες, ενώ αυτή που καθυστέρησε ήταν η cv Multitalia με 113 ημέρες. Οι αντίστοιχες ημέρες για τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) ήταν 98 για την καταχώρηση LIB222 και 115 για την εμπορική ποικιλία Multitalia.

Πίνακας 18 Ημέρες καρπόδεσης της κύριας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.

Ημέρες καρπόδεσης κύριας ταξιανθίας

Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	108	a	109	b
LIB221	110	b	102	a
LIB222	107	a	98	a
cv Polo	110	b	108	b
cv Multitalia	113	c	115	c

17. Ημέρες καρπόδεσης πρωτεύουσας ταξιανθίας από μεταφύτευση

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται οι ημέρες άνθησης της πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η καταχώρηση LIB220 καρπόδεσε πιο γρήγορα από όλες με 108 ημέρες, ενώ αυτή που καθυστέρησε ήταν η cv Polo με 118 ημέρες. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η LIB222 καρπόδεσε πιο γρήγορα, στις 110 ημέρες, ενώ η Polo καρπόδεσε τελευταία, στις 116 ημέρες.

Πίνακας 19 Ημέρες καρπόδεσης της πρωτεύουσας ταξιανθίας από τη μεταφύτευση.

Ημέρες καρπόδεσης πρωτεύουσας ταξιανθίας				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	108	a	113	b
LIB221	113	b	115	c
LIB222	109	a	110	a
cv Polo	118	c	116	c
cv Multitalia	115	b	112	b

18. Ημέρες πλήρους ωρίμανσης φυτού (ξήρανση λοβού πάνω στο φυτό)

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 20) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των ημερών που μεσολάβησαν από την άνθηση μέχρι την πλήρη ωρίμανση του λοβού πάνω στο φυτό. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) η ποικιλία που ωρίμασε πιο γρήγορα ήταν η LIB221 (47 ημέρες), ενώ η ποικιλία που ωρίμασε τελευταία ήταν η cv Multitalia. Στη

μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), οι αντίστοιχες τιμές ήταν 49 ημέρες για τη LIB221 και 57 ημέρες για τη cv Multitalia.

Πίνακας 20 Ημέρες πλήρους ωρίμανσης του φυτού (ξηράνση λοβού πάνω στο φυτό).

Ημέρες πλήρους ωρίμανσης				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	48	a	51	b
LIB221	47	a	49	a
LIB222	52	b	53	b
cv Polo	56	c	52	b
cv Multitalia	58	c	57	c

19. Ύψος φυτού (cm)

Στον Πίνακα 21 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ύψους φυτών (cm) ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση, μετά τη συγκομιδή των φυτών. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η εμπορική ποικιλία Multitalia είναι η πιο ψηλή ποικιλία με μέσο όρο ύψους 37,92 cm για τη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και 29,53 cm για τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες καταχωρήσεις ομαδοποιούνται και στις δύο μεταχειρίσεις. Στη μεταχείριση 1 τα πιο κοντά φυτά είχε η καταχώρηση LIB222 με 18,0 cm, ενώ στη μεταχείριση 2 τα πιο κοντά φυτά είχε η καταχώρηση LIB221 με ύψος φυτού 17,4 cm.

Πίνακας 21 Μέσος όρος ύψους φυτού (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ύψος φυτών (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	24,07	a	22,57	a
LIB221	21,43	a	17,4	a
LIB222	18,0	a	19,9	a
cv Polo	21,47	a	19,13	a
cv Multitalia	37,92	b	29,53	b

20. Αριθμός πλάγιων διακλαδώσεων με άνθη

Στον Πίνακα 22 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του αριθμού των πλάγιων διακλαδώσεων με άνθη, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπήρχε σημαντική διαφορά. Όλες οι καταχωρήσεις που μελετήθηκαν είχαν 1 πλάγια διακλάδωση με άνθη, εκτός από την εμπορική ποικιλία Polo που είχε 2 πλάγιες διακλαδώσεις με άνθη.

Πίνακας 22 Μέσος όρος πλάγιων διακλαδώσεων με άνθη, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός πλάγιων διακλαδώσεων με άνθη				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	1	a	1	a
LIB221	1	a	1	a
LIB222	1	a	1	a
cv Polo	2	b	2	b
cv Multitalia	1	a	1	a

21. Πλάγιασμα φυτών κατά την ωρίμανση (0-1)

Κατά την ωρίμανση των φυτών δε παρατηρήθηκαν πλαγιασμένα φυτά σε καμία από τις καταχωρήσεις, ανεξαρτήτως μεταχείρισης.

22. Καταγραφή εχθρών και ασθενειών

Λίγες μέρες μετά την εγκατάσταση του πειράματος, παρουσιάστηκε προσβολή από ριζοκτόνια (*Rhizoctonia solani*), στους λαιμούς των φυτών. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας παρατηρήθηκε προσβολή από σιτόνα (*Sitona* sp.) ενώ στο τέλος του σταδίου της ωρίμανσης κάποια φυτά είχαν προσβληθεί από ωίδιο (*Oidium* sp).

23. Ύψος μέχρι την πρώτη διακλάδωση (cm)

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 23) δείχνει τους μέσους όρους του ύψους μέχρι την πρώτη διακλάδωση (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), τη μέγιστη απόσταση που μεσολαβούσε από την επιφάνεια του

εδάφους μέχρι την έναρξη της πρώτης διακλάδωσης είχε η εμπορική ποικιλία Polo (13,30 cm), ενώ την ελάχιστη είχε η καταχώρηση LIB222. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), τη μέγιστη απόσταση είχε η cv Multitalia (10,40 cm), ενώ την ελάχιστη η καταχώρηση LIB222 (5,80 cm).

Πίνακας 23 Μέσος όρος ύψους φυτού (cm) μέχρι την πρώτη διακλάδωση, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ύψος μέχρι την πρώτη διακλάδωση (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	13,00	B	9,57	b
LIB221	9,97	b	7,50	ab
LIB222	4,73	a	5,80	a
cv Polo	13,30	B	8,30	ab
cv Multitalia	4,50	a	10,40	B

24. Ύψος μέχρι την ανθοταξία της πρώτης διακλάδωσης (cm)

Ο Πίνακας 24 δείχνει τους μέσους όρους του ύψους μέχρι την ανθοταξία της πρώτης διακλάδωσης (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Παρατηρείται ότι υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Η καταχώρηση LIB221 και η cv Multitalia επηρεάστηκαν θετικά από τον εμβολιασμό, δίνοντας τιμές 17,6 cm και 20,8 cm αντίστοιχα για τη μεταχείριση 1 (με εμβάπτιση σε ριζόβιο), σε σύγκριση με τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) όπου οι αντίστοιχες τιμές τους ήταν 15,1 cm και 14,4 cm. Και στις δύο μεταχειρίσεις η εμπορική ποικιλία Polo ήταν αυτή που είχε το μεγαλύτερο ύψος μέχρι την ταξιανθία της πρώτης διακλάδωσης με 21,33 cm και 25,67 cm για τη μεταχείριση 1 και 2 αντίστοιχα.

Πίνακας 24 Μέσος όρος ύψους φυτού (cm) μέχρι την ανθοταξία της πρώτης διακλάδωσης, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ύψος μέχρι την ανθοταξία πρώτης διακλάδωσης (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	13,97	bc	22,5	A
LIB221	17,6	b	15,1	b

LIB222	8,43	c	15,73	B
cv Polo	21,33	a	25,67	A
cv Multitalia	20,8	A	14,4	b

25. Αριθμός λοβών στην κύρια ταξιανθία

Στον Πίνακα 25, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι αριθμού λοβών στην κύρια ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) η cv Polo είχε τους περισσότερους λοβούς στην κύρια ταξιανθία (6,5 λοβούς), ενώ η καταχώρηση LIB222 είχε τους λιγότερους (2 λοβούς). Οι υπόλοιπες καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* (LIB220 και LIB221) καθώς και η cv Multitalia είχαν 4 λοβούς στην κύρια ταξιανθία. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), τους περισσότερους λοβούς εμφάνισαν οι LIB221 και cv Polo με 6 λοβούς, ενώ η LIB222 και η cv Multitalia είχαν τους λιγότερους (4).

Πίνακας 25 Μέσος όρος αριθμού λοβών στην κύρια ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός λοβών στην κύρια ταξιανθία				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	4	b	4.5	ab
LIB221	4	b	6	A
LIB222	2	c	4	b
cv Polo	6.5	a	6	A
cv Multitalia	4	b	4	b

26. Αριθμός λοβών στην πρωτεύουσα ταξιανθία

Ο Πίνακας 26 παραθέτει τους μέσους όρους του πλήθους των λοβών που βρέθηκαν στην πρωτεύουσα ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στην μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) στην cv Polo καταμετρήθηκαν 6,5 λοβοί κατά μέσο όρο, ενώ στις LIB220, LIB222 και cv Multitalia καταμετρήθηκε 1 λοβός και στη LIB221 1,5 λοβός. Στην μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Polo είχε 11 λοβούς, ενώ η LIB222 είχε 2 λοβούς, οι LIB220 και cv Multitalia είχαν από 1,5 λοβό, και τέλος LIB221 είχε 1 λοβό στην πρωτεύουσα ταξιανθία.

Πίνακας 26 Μέσος όρος αριθμού λοβών στην πρωτεύουσα ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός λοβών στην πρωτεύουσα ταξιανθία				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	1	b	1,5	b
LIB221	1,5	b	1	b
LIB222	1	b	2	b
cv Polo	6,5	a	11	a
cv Multitalia	1	b	1,5	b

27. Αριθμός λοβών ανά φυτό

Στον παρακάτω πίνακα (27) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του «αριθμού των λοβών ανά φυτό», ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) η cv Polo είχε τους περισσότερους λοβούς ανά φυτό (11), ακολουθούμενη από τη cv Multitalia (7,5 λοβούς), τη LIB220 (5,5 λοβούς), τη LIB221 (5 λοβούς) και τη LIB222 με τους λιγότερους λοβούς (3,5). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο) η cv Polo είχε τους περισσότερους λοβούς ανά φυτό (15). Η cv Multitalia είχε 7,5 λοβούς, η LIB221 είχε 7 και οι LIB220 LIB222 είχαν από 6 λοβούς.

Πίνακας 27 Μέσος όρος αριθμού λοβών ανά φυτό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός λοβών ανά φυτό

Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	5,5	Ab	6	a
LIB221	5	Ab	7	a
LIB222	3,5	A	6	a
cv Polo	11	C	15	b
cv Multitalia	7,5	B	7,5	a

28. Χνόωση λοβών (0-3-5)

Η χνόωση των λοβών καταγράφηκε μετά τη συγκομιδή των φυτών και ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν παρατηρήθηκαν διαφορές. Οι καταχωρήσεις LIB220, LIB221 LIB222 και η ποικιλία cv Polo είχαν λοβούς με χνόωση 3 σε συχνότητα 100%, ενώ η cv Multitalia είχε χνόωση 5 σε συχνότητα 100%.

29. Μήκος λοβών (cm)

Ο Πίνακας 28 παρουσιάζει τους μέσους όρους του μήκους των λοβών ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) τον μεγαλύτερο λοβό είχε η cv Multitalia (8,30 cm) ενώ τον μικρότερο είχε η LIB222 (2,50 cm). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), τον μεγαλύτερο λοβό είχε πάλι η cv Multitalia (7,23 cm) ενώ τον μικρότερο η LIB222 (4,23 cm).

Πίνακας 28 Μέσος όρος μήκους λοβών (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Μέσος όρος μήκους λοβών (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	5,87	C	5,57	bc
LIB221	5,50	C	5,90	c
LIB222	2,50	A	4,23	a
cv Polo	4,90	B	5,00	b
cv Multitalia	8,30	D	7,23	d

30. Πλάτος λοβών (cm)

Στον Πίνακα 29 περιγράφονται οι μέσοι όροι του πλάτους των λοβών ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η καταχώρηση LIB222 εμφάνισε το μικρότερο πλάτος λοβού (0,53 cm), ενώ οι υπόλοιπες καταχωρήσεις και εμπορικές ποικιλίες ομαδοποιήθηκαν. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η LIB222 εμφάνισε το μικρότερο πλάτος λοβού (0,83 cm), όμως σχετίζεται με τις υπόλοιπες καταχωρήσεις και εμπορικές ποικιλίες όπως φαίνεται από τον Πίνακα 26.

Πίνακας 29 Μέσος όρος πλάτους λοβών (cm), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ύψος μέχρι την ανθοταξία πρώτης διακλάδωσης (cm)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	0,87	b	0,90	ab
LIB221	0,97	b	1,07	ab
LIB222	0,53	a	0,83	a
cv Polo	1,00	b	1,06	ab
cv Multitalia	1,00	b	1,00	ab

31. Διάνοιξη λοβών (0-1)

Η καταχώρηση LIB220 εμφάνισε διάνοιξη λοβών σε ποσοστό 48,3%. Η καταχώρηση LIB221 εμφάνισε διάνοιξη λοβών σε ποσοστό 52,8%. Η καταχώρηση LIB222 εμφάνισε διάνοιξη λοβών σε ποσοστό 49,8%. Η ποικιλία cv Polo εμφάνισε διάνοιξη λοβών σε ποσοστό 86,4%, ενώ η ποικιλία cv Multitalia εμφάνισε διάνοιξη λοβών σε ποσοστό 53,1%.

32. Αριθμός σπόρων ανά λοβό (σε έναν αντιπροσωπευτικό λοβό της κύριας ταξιανθίας)

Οι μέσοι όροι του αριθμού σπόρων ανά λοβό περιγράφονται στον Πίνακα 30. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν διαφορές, όμως οι LIB220 και cv Multitalia επηρεάστηκαν θετικά από τον εμβολιασμό, με αποτέλεσμα στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) να έχουν 3 και 5 σπόρους ανά λοβό αντίστοιχα, ενώ στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), έχουν 2 και 4 σπόρους ανά λοβό αντίστοιχα.

Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) η cv Multitalia έχει τους περισσότερους σπόρους ανά λοβό (5), ενώ η LIB222 έχει τους λιγότερους (1). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), οι cv Polo και cv Multitalia έχουν τους περισσότερους σπόρους ανά λοβό (4), ενώ η καταχώρηση LIB220 έχει τους λιγότερους (2).

Πίνακας 30 Αριθμός σπόρων ανά λοβό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός σπόρων ανά λοβό				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	3	b	2	a
LIB221	3	b	3.5	bc
LIB222	1	a	3	b
cv Polo	4	c	4	c
cv Multitalia	5	d	4	c

33. Αριθμός σπόρων στην κύρια ταξιανθία

Ο Πίνακας 31 περιγράφει τους μέσους όρους του αριθμού σπόρων στην κύρια ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia έχει τους περισσότερους σπόρους στην κύρια ταξιανθία (29), ενώ η LIB222 έχει τους λιγότερους (4). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia έχει πάλι τους περισσότερους σπόρους στην κύρια ταξιανθία (23), ενώ η LIB220 έχει τους λιγότερους (6).

Πίνακας 31 Αριθμός σπόρων στην κύρια ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός σπόρων στην κύρια ταξιανθία				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	10	b	6	a
LIB221	9	b	17	c
LIB222	4	a	11	b
cv Polo	13	c	13	b
cv Multitalia	29	d	23	d

34. Αριθμός σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία

Ο Πίνακας 32 περιγράφει τους μέσους όρους του αριθμού των σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά, καθώς στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμφάπτιση σε ριζόβιο), κατά μέσο όρο οι καταχωρήσεις εμφάνισαν περισσότερους σπόρους στην πρωτεύουσα ταξιανθία. Η cv Polo είχε τους περισσότερους σπόρους στην πρωτεύουσα ταξιανθία και στη μεταχείριση 1 (εμφάπτιση σε ριζόβιο) με 23 σπόρους και στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμφάπτιση σε ριζόβιο), με 36 σπόρους. Οι υπόλοιπες καταχωρήσεις ομαδοποιούνται και στις δύο μεταχειρίσεις.

Πίνακας 32 Αριθμός σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός σπόρων στην πρωτεύουσα ταξιανθία				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	2	a	1	a
LIB221	2	a	2	a
LIB222	2.5	a	3	a
cv Polo	23	b	36	b
cv Multitalia	3	a	5	a

35. Αριθμός σπόρων ανά φυτό

Στον Πίνακα 33 περιγράφονται οι μέσοι όροι του αριθμού των σπόρων ανά φυτό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμφάπτιση σε ριζόβιο), η cv Polo είχε τους περισσότερους σπόρους ανά φυτό (37), ενώ οι καταχωρήσεις LIB220, LIB221 και LIB222 ομαδοποιούνται με 12,5 , 11 και 7 σπόρους ανά φυτό αντίστοιχα. Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμφάπτιση σε ριζόβιο), η cv Polo είχε τους περισσότερους σπόρους ανά φυτό (49), ενώ τους λιγότερους είχαν οι καταχωρήσεις LIB220 και LIB222 με 7,5 και 13 σπόρους ανά φυτό αντίστοιχα.

Πίνακας 33 Αριθμός σπόρων ανά φυτό, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αριθμός σπόρων ανά φυτό

Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	12,5	a	7,5	a
LIB221	11	a	20	b
LIB222	7	a	13	a
cv Polo	37	c	49	d
cv Multitalia	32	b	28	c

36. Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος (g)

Στον Πίνακα 34, περιγράφονται οι μέσοι όροι του νωπού βάρους τους υπέργειου τμήματος του φυτού, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) καθώς και στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), τα φυτά στη cv Multitalia είχαν το μεγαλύτερο νωπό βάρος υπέργειου τμήματος (23,83 g και 19,63 g αντίστοιχα), ενώ τα φυτά της LIB222 είχαν το μικρότερο νωπό βάρος υπέργειου τμήματος (5,33 g και 5,73 g αντίστοιχα). Και στις δύο μεταχειρίσεις οι καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* ομαδοποιούνται χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Πίνακας 34 Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος (g)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	7,16	a	6,06	a
LIB221	7,26	a	8,56	a
LIB222	5,33	a	5,73	a
cv Polo	13,83	b	14,7	b
cv Multitalia	23,83	c	19,63	c

37. Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος (g)

Στον Πίνακα 35, περιγράφονται οι μέσοι όροι για το ξηρό βάρος του υπέργειου τμήματος, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia είχε το μεγαλύτερο

ξηρό υπέργειο βάρος (21,45 g και 17,67 g αντίστοιχα). Αντίθετα, η LIB222 είχε το μικρότερο ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος (4,80 g και 5,16 g αντίστοιχα). Οι καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* ομαδοποιούνται και στις δύο μεταχειρίσεις, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 35 Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ξηρό βάρος υπέργειου τμήματος (g)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	6,44	a	5,45	a
LIB221	6,53	a	7,70	a
LIB222	4,80	a	5,16	a
cv Polo	12,45	b	13,23	b
cv Multitalia	21,45	c	17,67	c

38. Νωπό βάρος ρίζας (g)

Στον Πίνακα 36 περιγράφονται οι μέσοι όροι του νωπού βάρους ρίζας, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia είχε το μεγαλύτερο νωπό βάρος ρίζας (5,03 g και 5,46 g αντίστοιχα). Αντίθετα, η LIB220 είχε το μικρότερο νωπό βάρος ρίζας (1,13 g) στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), ενώ η LIB222 είχε το μικρότερο νωπό βάρος ρίζας (1,53 g) στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο). Οι καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* καθώς και η εμπορική ποικιλία Polo ομαδοποιούνται και στις δύο μεταχειρίσεις, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 36 Νωπό βάρος ρίζας (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Νωπό βάρος ρίζας (g)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	1,13	a	1,86	a
LIB221	1,30	a	1,70	a
LIB222	1,56	a	1,53	a
cv Polo	1,80	a	2,23	a
cv Multitalia	5,03	b	5,46	b

39. Ξηρό βάρος ρίζας (g)

Στον Πίνακα 37 περιγράφονται οι μέσοι όροι του ξηρού βάρους ρίζας, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia είχε το μεγαλύτερο ξηρό βάρος ρίζας (4,36 g και 4,62 g αντίστοιχα). Αντίθετα, η LIB220 είχε το μικρότερο ξηρό βάρος ρίζας (1,02 g) στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), ενώ η LIB222 είχε το μικρότερο ξηρό βάρος ρίζας (1,38 g) στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο). Οι καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* ομαδοποιούνται μαζί με τη cv Polo και στις δύο μεταχειρίσεις, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 37 Ξηρό βάρος ρίζας (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Ξηρό βάρος ρίζας (g)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	1,02	a	1,67	a
LIB221	1,17	a	1,48	a
LIB222	1,41	a	1,38	a
cv Polo	1,59	a	1,96	a
cv Multitalia	4,36	b	4,62	b

40. Βάρος σπόρων ανά φυτό (g)

Το βάρος των σπόρων ανά φυτό παρουσιάζεται στον Πίνακα 38, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) όπως και στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση με ριζόβιο), η cv Multitalia είχε το μεγαλύτερο βάρος σπόρων ανά φυτό (11,53 g και 8,56 g αντίστοιχα). Το μικρότερο βάρος σπόρων ανά φυτό είχε η LIB222 (6,26 g) στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) και η LIB220 (1,10 g) στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο). Οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* ομαδοποιούνται χωρίς σημαντικές διαφορές και στις δύο μεταχειρίσεις.

Πίνακας 38 Βάρος σπόρων ανά φυτό (g), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Βάρος σπόρων ανά φυτό (g)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	1,73	a	1,10	a
LIB221	1,63	a	2,73	a
LIB222	0,60	a	1,13	a
cv Polo	6,26	b	7,60	b
cv Multitalia	11,53	c	8,56	c

41. Βάρος 100 σπόρων (g)

Οι μέσοι όροι του βάρους 100 σπόρων εμφανίζονται στον Πίνακα 39, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, η μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), είχε στο σύνολό της μεγαλύτερο βάρος 100 σπόρων από τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο). Στη μεταχείριση 1 και στη μεταχείριση 2 το μεγαλύτερο βάρος 100 σπόρων είχε η cv Multitalia (360,3 g και 305,7 g αντίστοιχα), ενώ το μικρότερο είχε η LIB222 (85,7 g και 86,9 g αντίστοιχα).

Πίνακας 39 Βάρος 100 σπόρων (g), ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.

Βάρος 100 σπόρων (g)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	13,84	c	14,66	b
LIB221	14,88	c	13,65	b
LIB222	8,57	d	8,69	c
cv Polo	16,92	b	15,51	b
cv Multitalia	36,03	a	30,57	a

42. Περιεκτικότητα σπόρου σε Φώσφορο (P).

Ο Πίνακας 40 περιγράφει τους μέσους όρους της περιεκτικότητας του σπόρου σε Φώσφορο (mg P/kg ιστού). Αν και φαίνεται να υπάρχει διαφορά ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις, δεν είναι στατιστικά σημαντική. Παρατηρούμε ότι και στις δύο

μεταχειρίσεις, η εμπορική ποικιλία Polo εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές Φωσφόρου (100,65 mg P/kg ιστού και 121,69 mg P/kg ιστού στις μεταχειρίσεις 1 και 2 αντίστοιχα), ενώ η LIB220 εμφανίζει τις μικρότερες (50,83 mg P/kg ιστού και 65,13 mg P/kg ιστού αντίστοιχα στις μεταχειρίσεις 1 και 2). Μεταξύ των καταχωρήσεων *L. mutabilis*, στη μεταχείριση 1 η LIB221 εμφανίζει υψηλότερη τιμή (92,71 mg P/kg ιστού) ενώ στη μεταχείριση 2 εμφανίζει η LIB222 υψηλότερη τιμή (105,56 mg P/kg ιστού)

Πίνακας 40 Περιεκτικότητα σπόρου σε Φώσφορο (mg P/kg ιστού), ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.

Περιεκτικότητα σπόρου σε Φώσφορο (mg P/kg ιστού)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	50,83	d	65,13	d
LIB221	92,71	b	76,20	c
LIB222	61,42	c	105,56	b
cv Polo	100,65	a	121,69	a
cv Multitalia	67,34	c	69,91	cd

43. Περιεκτικότητα σπόρου σε Κάλιο (K).

Ο Πίνακας 41 περιγράφει την περιεκτικότητα του σπόρου σε Κάλιο (mg K/kg ιστού). Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), τα φυτά εμφάνισαν μικρότερες τιμές Καλίου σε σχέση με τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), εκτός από τη cv Polo. Στη μεταχείριση 1 η LIB221 είχε την υψηλότερη τιμή Καλίου (3,13 mg K/kg ιστού), ενώ η LIB222 είχε τη μικρότερη (2,10 mg K/kg ιστού). Στη μεταχείριση 2, η LIB221 είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση Καλίου (4,03 mg K/kg ιστού) μαζί με τη LIB220 (3,96 mg K/kg ιστού), ενώ η cv Polo είχε τη μικρότερη (2,63 mg K/kg ιστού).

Πίνακας 41 Περιεκτικότητα σπόρου σε Κάλιο (mg K/kg ιστού), ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.

Περιεκτικότητα σπόρου σε Κάλιο (mg K/kg ιστού)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	3,06	b	3,96	c
LIB221	3,13	b	4,03	c

LIB222	2,10	a	3,10	b
cv Polo	2,83	ab	2,63	a
cv Multitalia	3,06	b	3,37	b

5.3.2 Επίδραση ριζόβιου *Bradyrhizobium lupini*.

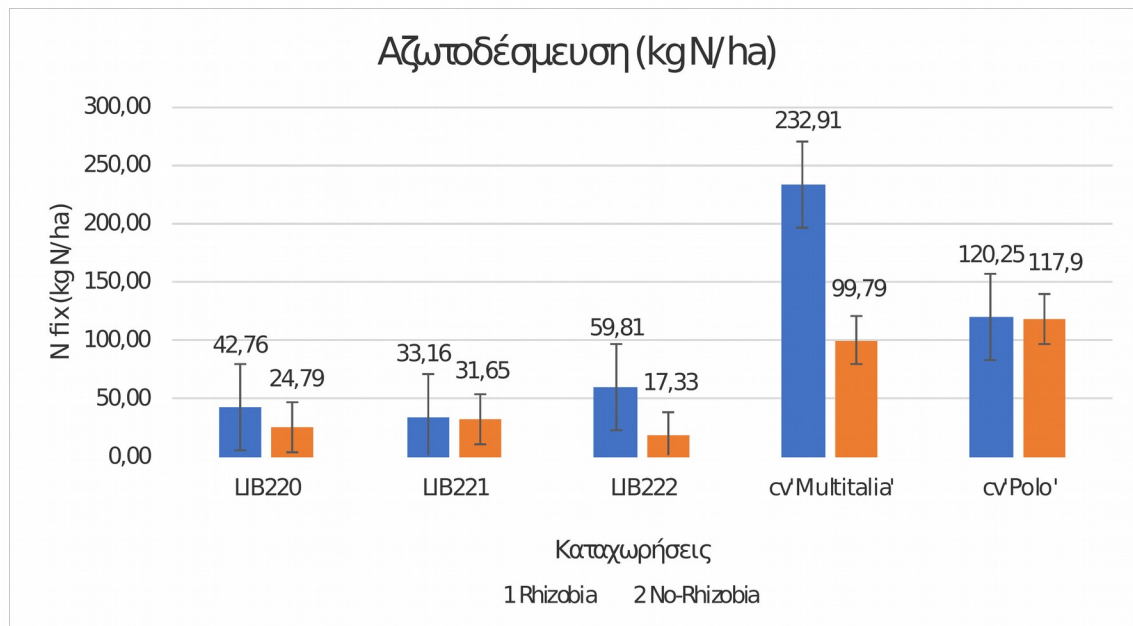
5.3.2.1 Αζωτοδέσμευση

Παρακάτω στον Πίνακα 42 περιγράφονται οι μέσοι όροι της αζωτοδέσμευσης των ειδών λούπινου ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, καθώς η μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) εμφάνισε υψηλότερες τιμές σε σχέση με τη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο). Στη μεταχείριση 1, η cv Multitalia αζωτοδέσμευσε περισσότερο (232,91 kg N/ha), ενώ η LIB221 αζωτοδέσμευσε το λιγότερο (33,16 kg N/ha). Οι καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, όμως ανάμεσά τους, η LIB222 αζωτοδέσμευσε περισσότερο (59,98 kg N/ha). Στη μεταχείριση 2, η cv Polo δέσμευσε το περισσότερο άζωτο (117,89 kg N/ha), ενώ η LIB222 δέσμευσε το λιγότερο (17,33 kg N/ha). Οι καταχωρήσεις στις δύο μεταχειρίσεις ομαδοποιήθηκαν με τον ίδιο τρόπο.

Πίνακας 42 Αζωτοδέσμευση (kg N/ha), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Αζωτοδέσμευση (kg N/ha)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	42,76	a	24,79	a
LIB221	33,16	a	31,65	a
LIB222	59,81	a	17,33	a
cv Polo	120,25	b	117,89	c
cv Multitalia	232,91	c	99,79	b

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 9) παρουσιάζεται η αζωτοδέσμευση που μετρήθηκε για κάθε μία καταχώρηση από τα λούπινα και τις εμπορικές ποικιλίες λούπινου.



Διάγραμμα 9 Διάγραμμα αζωτοδέσμευσης λούπινου, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ με πράσινο είναι η μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.

5.3.2.2 Απόδοση σε σπόρο (kg/ha)

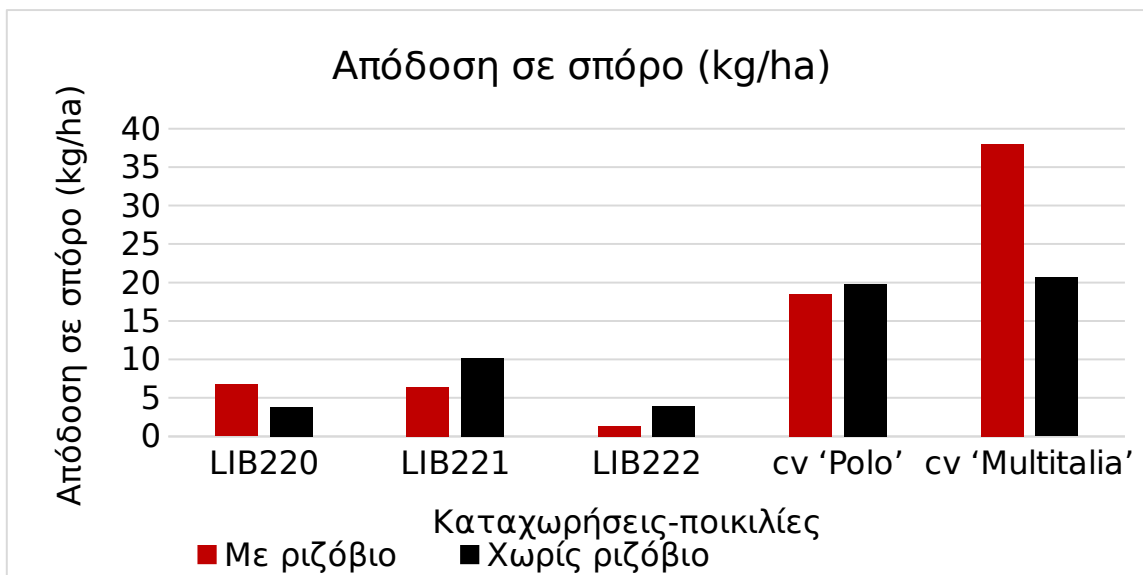
Στον παρακάτω Πίνακα (43) περιγράφονται οι μέσοι όροι των αποδόσεων ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Ανάμεσα στις δύο μεταχειρίσεις δεν υπάρχει

στατιστικά σημαντική διαφορά. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) η cv Multitalia είχε τη μεγαλύτερη απόδοση (38,06 kg/ha), ενώ η LIB222 είχε τη μικρότερη (1,32 kg/ha). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia και η cv Polo είχαν τις μεγαλύτερες αποδόσεις με 20,64 kg/ha και 19,79 kg/ha αντίστοιχα. Οι καταχωρήσεις LIB221 και LIB222 είχαν τις μικρότερες αποδόσεις στη μεταχείριση 2 με 3,77 kg/ha και 3,98 kg/ha αντίστοιχα.

Πίνακας 43 Απόδοση (kg/ha), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.

Απόδοση (kg/ha)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	6,75	C	3,77	c
LIB221	6,41	c	10,16	B
LIB222	1,32	d	3,98	c
cv Polo	18,48	b	19,79	a
cv Multitalia	38,05	A	20,64	a

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η απόδοση σε σπόρο ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.



Διάγραμμα 10 Διάγραμμα απόδοσης σε σπόρο (kg/ha) για το λούπινο, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ με μαύρο η μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.

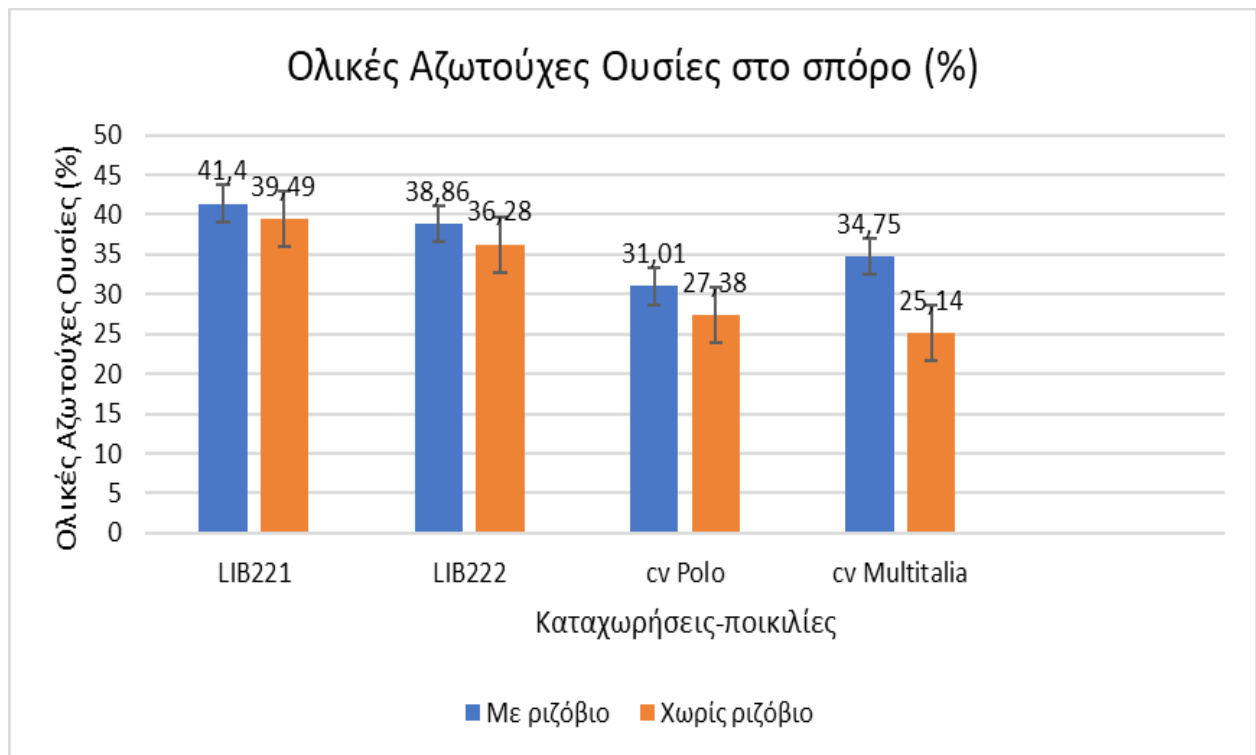
5.3.2.3 Ολικές αζωτούχες ουσίες στο σπόρο (%)

Ο Πίνακας 44 παρακάτω παρουσιάζει τους μέσους όρους της περιεκτικότητας του σπόρου σε αζωτούχες ουσίες, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά και πιο συγκεκριμένα η μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) εμφανίζει υψηλότερα ποσοστά αζωτούχων ουσιών στο σπόρο. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση με ριζόβιο), η LIB221 εμφανίζει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα αζωτούχων ουσιών στο σπόρο (41,40%), μαζί με τη LIB220 (41,04%). Ακολουθεί η LIB222 με 38,86%. Τα μικρότερα ποσοστά αζωτούχων ουσιών στο σπόρο έδωσε η cv Multitalia μαζί με τη cv Polo (34,75% και 31,01% αντίστοιχα). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η LIB221 είχε το υψηλότερο ποσοστό αζωτούχων ουσιών στο σπόρο με 39,49%. Ακολουθούν οι LIB220 και LIB222 με 36,65% και 36,28% αντίστοιχα. Οι cv Polo και cv Multitalia έχουν τα χαμηλότερα ποσοστά αζωτούχων ουσιών με 27,38% και 25,14% αντίστοιχα.

Πίνακας 44 Ολικές αζωτούχες ουσίες (%) στο σπόρο, ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.

Αζωτούχες ουσίες στο σπόρο (%)				
Καταχωρήσεις-Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	41,04	a	36,65	b
LIB221	41,40	a	39,49	a
LIB222	38,86	b	36,28	b
cv Polo	31,01	c	27,38	c
cv Multitalia	34,75	c	25,14	c

Στο παρακάτω διάγραμμα (11) παρουσιάζονται οι ολικές αζωτούχες ουσίες (%) του σπόρου, ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση.



Διάγραμμα 11 Διάγραμμα ολικών αζωτούχων ουσιών στο σπόρο του λούπινου (%), ανά καταχώρηση και ανά μεταχείριση. Με μπλε χρώμα είναι η μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ με κίτρινο είναι η μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.

5.3.2.4 Ολικές αζωτούχες ουσίες στο στέλεχος (%)

Ο Πίνακας 45 περιγράφει τους μέσους όρους της περιεκτικότητας του στελέχους σε αζωτούχες ουσίες, ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία. Μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia εμφανίζει το υψηλότερο ποσοστό (20,19%) αζωτούχων ουσιών στο στέλεχος, ενώ η LIB221 εμφανίζει το μικρότερο (10,36%). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Polo είχε το μεγαλύτερο ποσοστό αζωτούχων ουσιών στο στέλεχος (18,45%), ενώ η LIB221 είχε το μικρότερο (11,19%). Οι καταχωρήσεις LIB220 και LIB222 είχαν περισσότερες αζωτούχες ουσίες από τη LIB221, με ποσοστά 13,26% και 14,10% αντίστοιχα.

Πίνακας 45 Ολικές αζωτούχες ουσίες (%) στο στέλεχος, ανά καταχώρηση και ανά ποικιλία.

Αζωτούχες ουσίες στο στέλεχος (%)				
Καταχωρήσεις- Ποικιλίες	Μεταχείριση 1	Ομοιογενείς ομάδες	Μεταχείριση 2	Ομοιογενείς ομάδες
LIB220	12,45	ab	13,26	b
LIB221	10,36	a	11,19	a
LIB222	14,74	bc	14,10	b
cv Polo	14,23	bc	18,45	c
cv Multitalia	20,19	c	15,84	bc

5.3.3 Κουκί

1. Βάρος εκατό σπόρων (g).

Παρακάτω στον Πίνακα 45 περιγράφονται οι μέσοι όροι του βάρους εκατό σπόρων για το κουκί, ανά μεταχείριση.

Πίνακας 46 Μέσοι όροι βάρους εκατό σπόρων (g) για το κουκί cv Aguadulce.

<i>Vicia faba</i>	Βάρος εκατό σπόρων (g)
cv Aguadulce	185,95

2. Βιολογική αζωτοδέσμευση *V. faba* (kg N/ha)

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 46) περιγράφει τον μέσο όρο Βιολογικής Αζωτοδέσμευσης για το κουκί.

Πίνακας 47 Μέσοι όροι Βιολογικής Αζωτοδέσμευσης (kg N/ha) για το κουκί cv Aguadulce.

<i>Vicia faba</i>	Βιολογική αζωτοδέσμευση (kg N/ha)
cv Aguadulce	11,66

5.3.4 Σιτάρι

1. Βάρος εκατό σπόρων (g).

Παρακάτω στον Πίνακα 45 περιγράφονται οι μέσοι όροι του βάρους εκατό σπόρων για το κουκί, ανά μεταχείριση.

Πίνακας 48 Μέσοι όροι βάρους εκατό σπόρων (g) για το σιτάρι cv Normano.

<i>Triticum durum</i>	Βάρος 100 σπόρων (g)
cv Normano	5,97

2. Βιολογική αζωτοδέσμευση *T. durum* (kg N/ha).

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 48) περιγράφει τον μέσο όρο Βιολογικής Αζωτοδέσμευσης για το σιτάρι. Ενώ ως μη ψυχανθές φυτό θα έπρεπε η τιμή για το σιτάρι να είναι 0 kg N/ha, προς διευκόλυνση της του υπολογισμού της εξίσωσης αζωτοδέσμευσης θεωρήσαμε ότι οι αποστάσεις φύτευσης την προηγούμενη χρονιά ήταν ίδιες με τη χρονιά του πειράματος και γι αυτό η τιμή της βιολογικής αζωτοδέσμευσης βγήκε μη μηδενική.

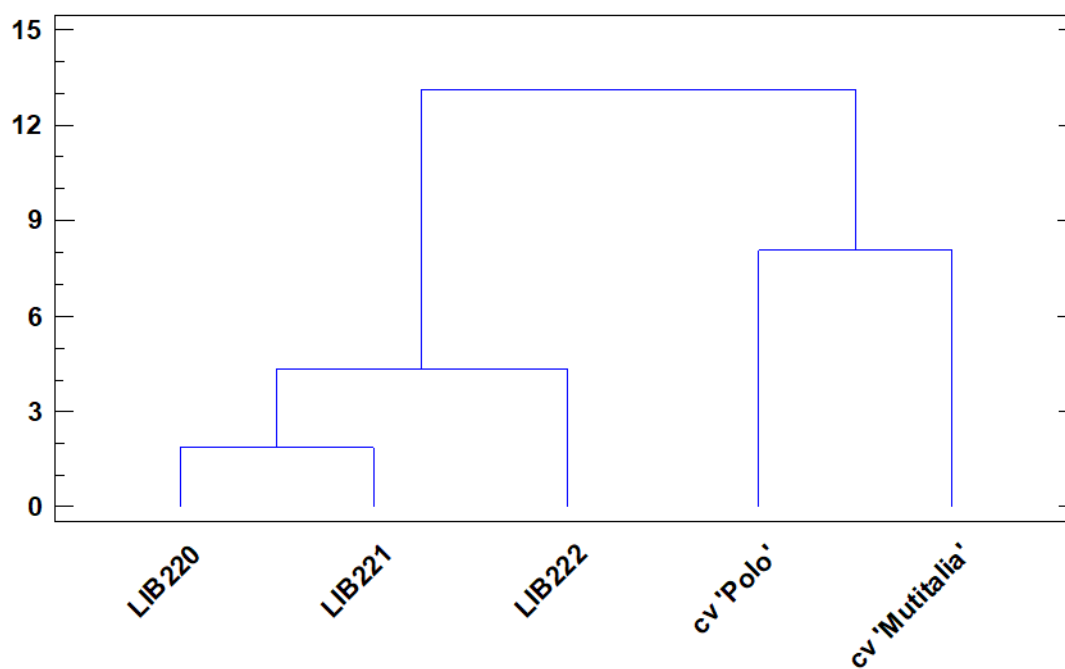
Πίνακας 49 Μέσος όρος βιολογικής αζωτοδέσμευσης για το σιτάρι cv Normano.

<i>Triticum durum</i>	Βιολογική αζωτοδέσμευση (kg N/ha)
-----------------------	-----------------------------------

cv Normano	1,27
------------	------

5.4 Ανάλυση Cluster

Στο τέλος των αναλύσεων των δεδομένων, με σκοπό τη συσχέτιση των ποικιλιών, εφαρμόστηκε ανάλυση Cluster με Ward's Method Euclidean., όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8 παρακάτω. Η ανάλυση Cluster έδειξε ότι τα είδη *L. angustifolius* και *L. albus* συνδέονται μεταξύ τους, ενώ το είδος *L. mutabilis* δε συνδέεται με αυτά. Εντός του είδους *L. mutabilis*, οι καταχωρήσεις δε συνδέονται το ίδιο μεταξύ τους. Σύνδεση υπάρχει μόνο μεταξύ των καταχωρήσεων LIB220 και LIB221.



Διάγραμμα 12 Δενδρόγραμμα που δείχνει τη σχέση μεταξύ των καταχωρήσεων-ποικιλιών.

5.5 Συσχετίσεις χαρακτηριστικών

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας συσχετίσεων των σημαντικών χαρακτηριστικών που εμφάνισαν είτε θετική είτε αρνητική συσχέτιση

Πίνακας 50 Συσχετίσεις μεταξύ σημαντικών χαρακτηριστικών.

	Ύψος φυτού	Λοβοί κύριας ταξιανθίας	Λοβοί πρωτεύουσας ταξιανθίας	Λοβοί/φυτό	Σπόροι κύριας ταξιανθίας	Σπόροι πρωτεύουσας ταξιανθίας	Σπόροι/λοβό	Σπόροι/φυτό	Βάρος σπόρων/φυτό	Ολικές Αζωτούχες Ουσίες στο σπόρο	Ολικές Αζωτούχες Ουσίες στο στέλεχος	Πλήθος ενεργών φυματίων	Αζωτοδέσμευση
Ύψος φυτού	-	0,5834	-0,3222	-0,1382	0,5992	-0,2470	0,4371	0,1337	0,6192	-0,1735	0,4661	0,4195	0,6621
Λοβοί κύριας ταξιανθίας		-	-0,2364	0,1618	0,8351	-0,1937	0,6048	0,3077	0,5806	-0,0942	0,1861	0,0381	0,3830
Λοβοί πρωτεύουσας ταξιανθίας			-	0,9126	-0,00775	0,9861	0,2022	0,7761	0,3323	-0,5445	0,3408	0,1368	0,2281
Λοβοί/φυτό				-	0,2602	0,9223	0,4345	0,9136	0,5737	-0,5920	0,4345	0,1967	0,4043
Σπόροι κύριας ταξιανθίας					-	-0,0137	0,8788	0,5539	0,8539	-0,3674	0,4334	0,3051	0,7036
Σπόροι πρωτεύουσας ταξιανθίας						-	0,2689	0,8243	0,3986	-0,5994	0,3711	0,3051	0,2956
Σπόροι/λοβό							-	0,7234	0,8611	-0,4459	0,3946	0,4164	0,7180
Σπόροι/φυτό								-	0,8148	-0,7025	0,5467	0,3453	0,6468
Βάρος σπόρων/φυτό									-	-0,6309	0,6579	0,4293	0,8593
Ολικές Αζωτούχες Ουσίες στο σπόρο										-	-0,5617	0,0821	-0,4491
Ολικές Αζωτούχες Ουσίες στο στέλεχος											-	0,3333	0,7995
Πλήθος ενεργών φυματίων												-	0,6671
Αζωτοδέσμευση													-

5.6 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Στην παρούσα έρευνα, το λευκό λούπινο (cv Multitalia) δέσμευσε 232,91 kg N/ha στη μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο δέσμευσε 99,79 kg N/ha. Οι αντίστοιχες τιμές για το μπλε λούπινο (cv Polo) ήταν 120,25 kg N/ha και 117,89 kg N/ha. Οι καταχωρήσεις του *L. mutabilis* αζωτοδέσμευσαν πολύ λιγότερο και στις δύο μεταχειρίσεις. Στη μεταχείριση με ριζόβιο, η LIB220 δέσμευσε 42,76 kg N/ha, η LIB221 33,16 kg N/ha και η LIB222 59,81 kg N/ha. Οι αντίστοιχες τιμές για τη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο ήταν 24,79 kg N/ha, 31,65 kg N/ha και 17,33 kg N/ha. Παρ'όλα αυτά, τα λούπινα δέσμευσαν πολύ περισσότερο άζωτο σε σχέση με το κουκί που καλλιεργείται στην περιοχή των Ερυθρών.

Οι προσθήκες LIB είχαν τα υψηλότερα ποσοστά ολικών αζωτούχων ουσιών στους σπόρους. Η καταχώρηση LIB221 είχε το υψηλότερο, ενώ ακολούθησαν τα LIB220 & LIB222. Ωστόσο, το *L. albus* (cv Multitalia) και *L. angustifolius* (cv Polo) είχαν τις χαμηλότερες ολικές αζωτούχες ουσίες στο σπόρο. Υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ της μεταχείρισης με ριζόβια και αυτής χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο. Τα φυτά που εμβολιάστηκαν με ριζόβιο φάνηκε να έχουν περισσότερες ολικές αζωτούχες ουσίες. Όσο για την περιεκτικότητα του στελέχους σε αζωτούχες ουσίες, οι καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων είχε τη μικρότερη, ενώ οι εμπορικές ποικιλίες λευκού και μπλε είχαν τις υψηλότερες.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μεταξύ των καταχωρήσεων, όμως οι LIB220 και LIB221 ταξινομούνται μαζί και σημειώνουν τα υψηλότερα επίπεδα σε Κάλιο στο σπόρο ανάμεσα στις καταχωρήσεις *L. mutabilis*. Ωστόσο, η LIB222 σημείωσε τα χαμηλότερα επίπεδα και σχετίζεται με την cv Polo. Η cv Multitalia, από την άλλη μεριά, βρίσκεται μεταξύ των δύο ομάδων. Επιπλέον, φάνηκε η μεταχείριση να επηρεάζει τα επίπεδα του καλίου. Βρέθηκε ότι τα φυτά χωρίς εμβολιασμό με ριζόβιο είχαν υψηλότερα επίπεδα Καλίου στους σπόρους.

Όσον αφορά το ύψος των φυτών, η εμπορική ποικιλία Multitalia ήταν η υψηλότερη (28,9-37,4cm), με όλες τις άλλες προσθήκες να ομαδοποιούνται. Οι λοβοί της cv Multitalia είναι οι μακρύτεροι (7.5-8.5cm), ενώ οι LIB222 έχουν τους μικρότερους (3-4cm) λοβούς. Οι καταχωρήσεις LIB220 και LIB221 είναι δεύτερες σε ταξινόμηση για το μήκος του λοβού, ενώ ακολουθεί η ποικιλία cv Polo. Το πλάτος των λοβών δεν διαφοροποιείται εκτός από την LIB222, η οποία έχει τους στενότερους λοβούς (0,6-0,8cm).

Οι καταχωρήσεις LIB φάνηκαν να έχουν τον μικρότερο αριθμό σπόρων ανά λοβό (1-4), στην κύρια ταξιανθία, ενώ η cv Multitalia είχε τους περισσότερους σπόρους (4-5). Ανάμεσα στις LIB καταχωρήσεις, η LIB221 είχε τους περισσότερους σπόρους, ενώ οι LIB220 και LIB222 ομαδοποιήθηκαν χαμηλότερα.

Η μόνη καταχώρηση, η οποία είχε ουσιαστικά το μεγαλύτερο μέρος της πρώτης τάξης, είναι η cv Polo. Οι προσθήκες LIB και cv Multitalia είχαν πολύ λίγους λοβούς (0-2).

Ωστόσο, όλες οι καταχωρήσεις φάνηκαν να έχουν περισσότερους λοβούς στην πρώτη τάξη, στη μεταχείριση 2, η οποία ήταν αυτή χωρίς εμβολιασμό με ριζόβιο. Τα φυτά στη μεταχείριση με εμβολιασμό με ριζόβιο είχαν στατιστικά σημαντικά λιγότερους λοβούς.

Υπάρχει ένα εύρος μεταξύ των καταχωρήσεων ως προς τον αριθμό σπόρων στην κύρια ταξιανθία. Η cv Multitalia έχει τους περισσότερους σπόρους, ενώ μεταξύ των καταχωρήσεων LIB, η LIB221 έχει τους περισσότερους σπόρους, ενώ οι LIB220 και LIB222 σχετίζονται. Η cv Polo σχετίζεται λίγο με τις LIB220 και LIB221, αλλά δεν ομαδοποιούνται.

Η cv Polo είχε τους περισσότερους σπόρους στην πρώτη ταξιανθία, ενώ όλες οι άλλες καταχωρήσεις είχαν λιγότερους. Ωστόσο, υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Είναι σαφές ότι η cv Polo έχει τους περισσότερους λοβούς ανά φυτό (μέγιστο 14), ενώ η LIB222 έχει τους λιγότερους (μέγιστο 5). Και πάλι, υπάρχει μια διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Τα φυτά χωρίς εμβολιασμό σε ριζόβιο βρέθηκαν να έχουν περισσότερους λοβούς ανά φυτό. Όλες οι προσθήκες LIB ομαδοποιήθηκαν και είχαν τους λιγότερους σπόρους ανά φυτό, ενώ η cv Polo είχε τους περισσότερους. Η cv Multitalia ήταν σχεδόν στη μέση των δύο ομάδων.

Οι καταχωρήσεις LIB είχαν λιγότερα φυμάτια από τις cv Multitalia και cv Polo, σχηματίζοντας δύο ομάδες. Ωστόσο, στη μεταχείριση 1, με την εμβάπτιση σε ριζόβιο, βρέθηκαν σημαντικά πιο πολλά ενεργά φυμάτια.

Η cv Multitalia είχε το μεγαλύτερο νωπό βάρος υπέργειου τμήματος, ακολουθούμενη από τη cv Polo και στη συνέχεια ακολούθησαν οι τρεις καταχωρήσεις LIB. Η cv Polo είχε το μεγαλύτερο ξηρό βάρος για τα στελέχη, ενώ οι καταχωρήσεις LIB το χαμηλότερο. Η cv Multitalia ήταν μεταξύ των δύο ομάδων. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα φυτά της μεταχείρισης 1 (με εμβολιασμό σε ριζόβια) είναι βαρύτερα από τα φυτά που βρίσκονται σε μεταχείριση 2 (χωρίς εμβολιασμό). Ως προς το βάρος της ρίζας, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των καταχωρήσεων, εκτός από την cv Multitalia η οποία έχει το βαρύτερο ριζικό σύστημα. Όσο για το βάρος σπόρου, οι προσθήκες LIB είχαν το χαμηλότερο βάρος σπόρου, ενώ η cv Multitalia είχε το υψηλότερο και η cv Polo ήταν μεταξύ αυτών των δύο ομάδων.

6. Συζήτηση

6.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η σύγκριση τριών καταχωρήσεων λούπινου των Άνδεων *L. mutabilis* (LIB220, LIB221, LIB222) Γερμανικής προέλευσης, με μία εμπορική ποικιλία λευκού λούπινου *L. albus* (cv Multitalia), μία εμπορική ποικιλία μπλε λούπινου *L. angustifolius* (cv Polo), μία εμπορική ποικιλία κουκιού cv Aguadulce και μία εμπορική ποικιλία σκληρού σιταριού cv Normano, όσο αφορά στην απόδοσή τους σε σπόρο και την καλλιέργειά τους στην περιοχή των Ερυθρών Βοιωτίας. Επιπλέον, μελετήθηκε η επίδραση της εμβάπτισης του σπόρου σε ριζοβιακό στέλεχος *Bradyrhizobium lupini* τόσο στην περιεκτικότητα των σπόρων και των στελεχών σε ολικές αζωτούχες ουσίες, όσο και στην απόδοση σε σπόρο και τη βιολογική αζωτοδέσμευση των ποικιλιών λούπινου.

6.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

6.2.1 Απόδοση σε σπόρο-Σύγκριση λούπινου με κουκί και σιτάρι

Σύμφωνα με τους Caligari et al. (2000) και τους Neves-Martins et al. (2016) το λούπινο των Άνδεων δίνει χαμηλές αποδόσεις στις Ευρωπαϊκές συνθήκες. Σύμφωνα με τους Hardy et al. (1997), η καταχώρηση LM34 του είδους *L. mutabilis* είχε απόδοση 1,28 t/ha, ενώ η LM268 είχε απόδοση 1,13 t/ha κατά την καλλιέργειά τους σε ευρωπαϊκές περιοχές. Οι τιμές απόδοσης για τις καταχωρήσεις *L. mutabilis* στην παρούσα μελέτη ήταν 5,26 kg/ha για τη LIB220, 8,29 kg/ha για τη LIB221 και 2,65 kg/ha για τη LIB222. Οι κατά πολύ χαμηλότερες τιμές αποδόσεων πιθανόν να οφείλονται αφενός στις εδαφοκλιματικές συνθήκες, αφού το pH είναι οριακά ανεκτό από τα λούπινα και αφετέρου στις μειωμένες βροχοπτώσεις κατά την άνθηση, καθώς σύμφωνα με την Παπακώστα-Τασοπούλου (2012), η έλλειψη νερού στα στάδια την άνθησης, της καρπόδεσης και του γεμίσματος μειώνουν τις αποδόσεις.

Η απόδοση για τις εμπορικές ποικιλίες λευκού και μπλε λούπινου είναι 29,35 kg/ha και 19,14 kg/ha αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Hammermeister et al. (2006), το *L.*

angustifolius μειονεκτεί ως προς τις αποδόσεις έναντι του *L. albus*, κάτι που δεν παρουσιάστηκε στην παρούσα μελέτη.

Το κουκί ήταν το ψυχανθές με την υψηλότερη απόδοση με 650,83 kg/ha, ενώ το σιτάρι είχε χαμηλή απόδοση (7,92 kg/ha). Σύμφωνα με τον Αγροτικό Συνεταιρισμό Ερυθρών, οι αποδόσεις του κουκιού είναι περίπου 70 kg/στρέμμα, λιγότερο συγκριτικά με την παρούσα μελέτη. Ενώ για το σιτάρι οι αποδόσεις είναι 250-450 kg/στρέμμα, πολύ περισσότερο από την απόδοση του σιταριού του παρόντος πειράματος, ίσως λόγω καθυστερημένης μεταφύτευσης στον πειραματικό αγρό κι επομένως ίσως μη συμπλήρωση απαιτούμενων θερμοκρασιών για επαρκή εαρινοποίηση.

6.2.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά

6.2.2.1 Χρώμα βλαστού

Οι ανθοκυανίνες που βρίσκονται στο βλαστό του λούπινου των Άνδεων *L. mutabilis* πιθανόν να ευθύνονται για την ανθεκτικότητά του σε κάποιες ασθένειες (Wink, 1991). Στην παρούσα εργασία, οι καταχωρήσεις LIB222 και LIB221 εμφάνισαν τα μεγαλύτερα ποσοστά κόκκινου βλαστού ή πράσινου βλαστού με κόκκινους μεταχρωματισμούς, ενώ δεν παρατηρήθηκαν εντομολογικές προσβολές. Η συγκεκριμένη παρατήρηση συμφωνεί με την πρόταση του Wink (1991).

6.2.2.2 Αριθμός ενεργών φυματίων ανά φυτό

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 11, και στις δύο μεταχειρίσεις εμφανίστηκαν ενεργά φυμάτια στις ρίζες των λούπινων, παρότι δεν είχαν εμβολιαστεί με ριζόβιο. Οι Embalomatis et al. (1994) είχαν απομονώσει στελέχη του είδους *Rhizobium meliloti* από ενδογενείς πληθυσμούς στη Βόρεια Ελλάδα, συνεπώς αντίστοιχα, πιθανόν να υπάρχουν ενδογενή στελέχη του είδους *Bradyrhizobium* στον αγρό των Ερυθρών. Στην παρούσα μελέτη, οι εμπορικές ποικιλίες λούπινου σχημάτισαν περισσότερα ενεργά φυμάτια ενώ οι καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων, λιγότερα κατά μέσο όρο. Πιθανόν ο αριθμός των φυματίων να σχετίζεται με τη χαμηλή περιεκτικότητα του σπόρου σε Φώσφορο. Σύμφωνα με τους Thomson et al. (1992), η χαμηλή περιεκτικότητα του σπόρου σε Φώσφορο συνδέεται με μη ικανοποιητική ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Η ανεπαρκής ανάπτυξη της ρίζας δεν επιτρέπει την ανάπτυξη πολλών φυματίων από το

ριζόβιο. Αυτό πιθανόν να δικαιολογείται από τη μηχανική σύσταση του εδάφους, το οποίο κάτω από τα 30cm σε βάθος, σχημάτιζε αδιαπέραστο στρώμα.

6.2.2.3 Ημέρες από μεταφύτευση μέχρι άνθηση

Σύμφωνα με τους Clements et al. (2008) οι ημέρες έως την άνθηση για το *L. mutabilis* κυμαίνονται από 65 έως 114. Στην παρούσα εργασία οι ημέρες έως την άνθηση κυμαίνονται από 75 έως 93 για το *L. mutabilis*. Για το λευκό λούπινο οι Swieckiki et al. (2015) αναφέρουν ότι η μεγάλη βλαστική περίοδός του έχει ως αποτέλεσμα την όψιμη συγκομιδή. Επίσης, αναφέρουν για το *L. mutabilis* ότι μειονεκτεί υπό ευρωπαϊκές συνθήκες ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ατμοσφαιρικής υγρασίας κατά την ωρίμανση, λόγω του γεγονότος ότι τα φυτά του είδους αργούν να ωριμάσουν. Στην περιοχή των Ερυθρών παρατηρήθηκε υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία κατά την ωρίμανση, όμως δεν παρατηρήθηκε οψίμιση της καλλιέργειας των *L. mutabilis*. Επίσης, οι Hammermeister et al. (2006) αναφέρουν ότι αφενός οι αποδόσεις του λευκού λούπινου είναι υψηλές ως προς την πρωτεΐνη, αφετέρου θεωρείται όψιμο είδος. Στην παρούσα μελέτη η cv Multitalia του είδους *L. albus* ήταν πράγματι η πιο όψιμη και στις δύο μεταχειρίσεις, με 98 ημέρες μέχρι την άνθηση στη μεταχείριση με ριζόβιο και 96 ημέρες στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο.

6.2.2.4 Αριθμός πλάγιων διακλαδώσεων με ταξιανθία πρώτης τάξης

Ο αριθμός των πλάγιων διακλαδώσεων με ταξιανθία πρώτης τάξης σύμφωνα με τους Clements et al. (2008) για το *L. mutabilis* κυμαίνεται από 1 έως 3,7. Στην παρούσα μελέτη ο συγκεκριμένος αριθμός κυμαίνεται από 1 έως 1,5. Πλάγιες διακλαδώσεις με ταξιανθίες δεύτερης τάξης δεν υπήρχαν στην παρούσα μελέτη. Σύμφωνα με τους Neves-Martins et al. (2016), το λούπινο των Άνδεων παρουσιάζει ευαισθησία στον παγετό κατά το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης, όπως και στην ξηρασία κατά το στάδιο της άνθησης. Θα μπορούσε να υποτεθεί ότι οι διακλαδώσεις διαφορετικών τάξεων που εμφανίζονται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, είναι ένας μηχανισμός του φυτού να ανταπεξέλθει στις δυσμενείς συνθήκες και να παράξει σπόρους. Στην παρούσα έρευνα, όντως κατά τη βλαστική ανάπτυξη, τα φυτά ήρθαν αντιμέτωπα με χαμηλές θερμοκρασίες και συνθήκες παγετού όπως φαίνεται και από τα μετεωρολογικά δεδομένα στο Διάγραμμα 3. Όμως, δεν εμφάνισαν πλάγιους βλαστούς με ταξιανθία δεύτερης τάξης, πιθανόν είτε επειδή δε

χρειάστηκε είτε επειδή δεν πρόλαβε λόγω υψηλών θερμοκρασιών που επικράτησαν κατά τους τελευταίους μήνες ανάπτυξης του φυτού.

6.2.2.5 Αριθμός λοβών ανά φυτό

Οι Clements et al. (2008) αναφέρουν ότι το *L. mutabilis* δίνει από 11 έως 20 λοβούς ανά φυτό, ενώ στην παρούσα μελέτη μετρήθηκαν από 3,5 έως 7 λοβούς ανά φυτό. Πιο συγκεκριμένα στη μεταχείριση με ριζόβιο οι καταχωρήσεις του λούπινου των Άνδεων έφεραν 3,5 με 5,5 λοβούς ανά φυτό, ενώ στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο έφεραν 6 έως 7 λοβούς ανά φυτό (Πίνακας 16). Αντίθετα οι εμπορικές ποικιλίες εν Multitalia (*L. albus*) και εν Polo (*L. angustifolius*) έφεραν 7,5 έως 15. Το λούπινο ανεξαρτήτως είδους δείχνει να έχει λίγους λοβούς ανά φυτό, που πιθανόν να οφείλεται στις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τους Caligari et al. (2000) και τους Neves-Martins et al. (2016) το λούπινο των Άνδεων δίνει χαμηλές αποδόσεις στις Ευρωπαϊκές συνθήκες.

6.2.2.6 Αριθμός σπόρων ανά λοβό

Κατά τους Clements et al. (2008), οι γονότυποι *L. mutabilis* που είχαν μελετήσει, είχαν 2,7 έως 6,8 σπόρους ανά λοβό. Στην παρούσα έρευνα, στη μεταχείριση με ριζόβιο, η εν Multitalia (*L. albus*) είχε 5 σπόρους ανά λοβό, η εν Polo (*L. angustifolius*) είχε 4 σπόρους ανά λοβό, ενώ οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* είχαν 3 σπόρους ανά λοβό, εκτός από την LIB222 που είχε 1. Στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο, τους περισσότερους σπόρους ανά λοβό είχαν οι ποικιλίες μπλε και λευκού λούπινου, με 4 σπόρους ανά λοβό, ενώ τα *L. mutabilis* είχαν από 2,5 έως 3,5 σπόρους ανά λοβό, που συμφωνεί εν μέρει με τους Clements et al. (2008). Αυτό που συμπεραίνουμε για το χαρακτηριστικό «σπόροι ανά λοβό» είναι ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία εντός του είδους, η οποία πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι οι υπό μελέτη καταχωρήσεις αποτελούν πληθυσμού υπό βελτίωση και όχι εγγεγραμμένες σταθερές ποικιλίες.

6.2.2.7 Αριθμός σπόρων ανά φυτό

Από τις ποικιλίες και καταχωρήσεις που μελετήθηκαν στην παρούσα έρευνα, στη μεταχείριση με ριζόβιο, η εν Polo (*L. angustifolius*) είχε τους περισσότερους σπόρους ανά φυτό, δίνοντας 37 σπόρους ανά φυτό. Ακολουθεί η εν Multitalia (*L. albus*), δίνοντας 32 σπόρους, ενώ η LIB220 έδωσε 12,5 και είχε τους περισσότερους από τα λούπινα των Άνδεων. Στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο, η εν Polo έδωσε πάλι τους περισσότερους

σπόρους ανά φυτό, με 49 και η cv Multitalia ακολούθησε με 28 σπόρους ανά φυτό. Ανάμεσα στα *L. mutabilis*, η LIB221 έδωσε τους περισσότερους σπόρους ανά φυτό, με 20 σπόρους, ενώ η LIB220 είχε τους λιγότερους, δίνοντας 7,5 σπόρους ανά φυτό. Σύμφωνα με τους Hammermeister et al. (2006), το *L. angustifolius* μειονεκτεί έναντι του *L. albus*, λόγω των χαμηλών του αποδόσεων, κάτι με το οποίο τα ευρήματα της παρούσας έρευνας δεν συμφώνησαν. Σύμφωνα με τους Caligari et al. (2000) και τους Neves- Martins et al. (2016) το λούπινο των Άνδεων δίνει χαμηλές αποδόσεις στις Ευρωπαϊκές συνθήκες. Οι μειωμένες αποδόσεις των λούπινων που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, πιθανόν να οφείλονται στις εδαφοκλιματικές συνθήκες, αφού το pH είναι οριακά ανεκτό από τα λούπινα και οι βροχοπτώσεις κατά την άνθηση ήταν σχετικά μειωμένες. Σύμφωνα με την Παπακόστα-Τασοπούλου (2012), η έλλειψη νερού στα στάδια την άνθησης, της καρπόδεσης και του γεμίσματος μειώνουν τις αποδόσεις.

6.2.2.8 Αριθμός σπόρων στην κύρια και πρωτεύουσα ταξιανθία

Σύμφωνα με τους Neves-Martins et al. (2016) υπό πορτογαλικές συνθήκες, ο κύριος βλαστός του λούπινου μαζί με τον πλάγιο βλαστό πρώτης τάξης παράγουν τους περισσότερους σπόρους και συνεισφέρουν στις αποδόσεις κατά 95%. Αυτή η αναφορά επιβεβαιώνεται από τις παρατηρήσεις της παρούσας έρευνας, σύμφωνα με τους Πίνακες 30 και 31.

6.2.2.9 Φυλλική επιφάνεια

Οι Hardy et al. (1997) αναφέρουν ότι αυξανόμενου του αριθμού των φύλλων στον κύριο βλαστό, αυξάνονται οι ημέρες έως την άνθηση. Η φυλλική επιφάνεια στην παρούσα μελέτη, μετρήθηκε στην αρχή της άνθησης, όταν υπήρχε μόνο κύριος βλαστός, χωρίς πλάγιες διακλαδώσεις. Στην παρούσα έρευνα, η εμπορική ποικιλία cv Multitalia λευκού λούπινου είχε τη μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια, ενώ οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* είχαν τη μικρότερη, ανεξαρτήτως μεταχείρισης.

6.2.2.10 Νωπό βάρος υπέργειου τμήματος

Το νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος του φυτού σύμφωνα με τους Tapia et al. (2015) αποτελεί ένα από τα χαρακτηριστικά που υπολογίζονται στα βελτιωτικά προγράμματα για το λούπινο. Στον Πίνακα 23 φαίνεται ότι υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα είδη και ανάμεσα στις μεταχειρίσεις. Συνολικά η cv Multitalia του λευκού λούπινου παρουσίασε

μεγαλύτερο νωπό βάρος υπέργειου τμήματος, με τιμές 23,83g και 19,63g για τη μεταχείριση με ριζόβιο και χωρίς ριζόβιο αντίστοιχα. Κάτω από τη cv Multitalia βρίσκεται η cv Polo του μπλε λούπινου, με τιμές 13,83g για τη μεταχείριση με ριζόβιο και 14,70g για τη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο. Ανάμεσα στα *L. mutabilis* και στις δύο μεταχειρίσεις, η καταχώρηση LIB221 είχε το μεγαλύτερο νωπό βάρος υπέργειου τμήματος με 7,26g και η LIB222 το μικρότερο νωπό βάρος με 5,33g.

6.2.2.11 Βάρος 100 σπόρων

Οι Clements et al. (2008) μελέτησαν το βάρος 100 σπόρων 12 γονοτύπων *L. mutabilis*, 2 ποικιλιών *L. angustifolius* και 1 ποικιλίας *L. albus* και βρήκαν ότι το βάρος 100 σπόρων *L. mutabilis* κυμάνθηκε από 13,2 έως 24,1 g (μ.ό. 19,35 g), και το βάρος 100 σπόρων της ποικιλίας cv Mandelap (*L. angustifolius*) είναι 16,1 g, ενώ η ποικιλία Tanjil (*L. angustifolius*) έχει βάρος 100 σπόρων 14 g. Στην παρούσα μελέτη το βάρος 100 σπόρων στις καταχωρήσεις *L. mutabilis* κυμάνθηκε από 8,6 έως 14,88g (μ.ό. 12,4 g), ενώ για το μπλε λούπινο ήταν 16,22 g και για το λευκό 33,3 g. Οι Neves-Martins et al. (2016) εξέτασαν 11 καταχωρήσεις *L. mutabilis* σε ευρωπαϊκές συνθήκες και βρήκαν ότι κατά μέσο όρο το βάρος 100 σπόρων είναι 17 g. Το βάρος 100 σπόρων στην παρούσα μελέτη συμφωνεί με τις αναφερόμενες έρευνες. Οι σχετικά καλές αποδόσεις πιθανόν να οφείλονται στο χαμηλό ανθρακικό ασβέστιο, που επιδρά στην καλύτερη ανάπτυξη του φυτού.

6.2.2.12 Περιεκτικότητα του σπόρου σε φώσφορο

Η περιεκτικότητα του σπόρου σε φώσφορο φαίνεται στον Πίνακα 39, όπου διακρίνεται ότι η cv Polo έχει την υψηλότερη συγκέντρωση φωσφόρου, ενώ οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* έχουν χαμηλότερη συγκέντρωση. Οι Thomson et al. (1992) μελέτησαν μία ποικιλία μπλε λούπινου και βρήκαν ότι η χαμηλή περιεκτικότητα του σπόρου σε φώσφορο συνδέεται με μη ικανοποιητική ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Η ανεπαρκής ανάπτυξη της ρίζας δεν επιτρέπει την ανάπτυξη πολλών φυματίων από το ριζόβιο, άρα περιορίζει και την αζωτοδέσμευση, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 41.

6.2.2.13 Περιεκτικότητα του σπόρου σε κάλιο

Οι Egamberdieva et al. (2017), μελέτησαν το μπλε λούπινο και βρήκαν ότι όταν αυτό βρίσκεται σε συνθήκες ξηρασίας, το άζωτο στο φυτό μειώνεται, ο φώσφορος αυξάνεται,

ενώ το κάλιο μειώνεται κατά 28%. Πιθανόν οι χαμηλές τιμές της περιεκτικότητας του σπόρου σε κάλιο να οφείλονται σε καταπόνηση από την έλλειψη εδαφικής υγρασίας κατά την περίοδο του γεμίσματος των καρπών.

6.2.3 Αζωτοδέσμευση

Σύμφωνα με τους Pamprana et al. (2015), το λευκό λούπινο αζωτοδεσμεύει 80 kg N/ha, ενώ σύμφωνα με τους Peoples et al. (1995) το μπλε λούπινο αζωτοδεσμεύει 32 έως 288 kg N/ha. Στην παρούσα έρευνα, το λευκό λούπινο (cv Multitalia) δέσμευσε 232,91 kg N/ha στη μεταχείριση με ριζόβιο, ενώ στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο δέσμευσε 99,79 kg N/ha. Οι αντίστοιχες τιμές για το μπλε λούπινο (cv Polo) ήταν 120,25 kg N/ha 117,89 kg N/ha. Οι καταχωρήσεις του *L. mutabilis* αζωτοδέσμευσαν πολύ λιγότερο και στις δύο μεταχειρίσεις. Στη μεταχείριση με ριζόβιο, η LIB220 δέσμευσε 42,76 kg N/ha, η LIB221 33,16 kg N/ha και η LIB222 59,81 kg N/ha. Οι αντίστοιχες τιμές για τη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο ήταν 24,79 kg N/ha, 31,65 kg N/ha και 17,33 kg N/ha.

6.2.4 Αποδόσεις λούπινου

Η μεταχείριση έδειξε να μην επηρεάζει τις αποδόσεις για τις καταχωρήσεις που μελετήθηκαν. Στην παρούσα μελέτη, στη μεταχείριση 1 (εμβάπτιση σε ριζόβιο) η cv Multitalia είχε τη μεγαλύτερη απόδοση (38,06 kg/ha), ενώ η LIB222 είχε τη μικρότερη (1,32 kg/ha). Στη μεταχείριση 2 (χωρίς εμβάπτιση σε ριζόβιο), η cv Multitalia και η cv Polo είχαν τις μεγαλύτερες αποδόσεις με 20,64 kg/ha και 19,79 kg/ha αντίστοιχα. Οι καταχωρήσεις LIB221 και LIB222 είχαν τις μικρότερες αποδόσεις στη μεταχείριση 2 με 3,77 kg/ha και 3,98 kg/ha αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Hammermeister et al. (2006), το *L. angustifolius* μειονεκτεί έναντι του *L. albus*, λόγω των χαμηλών του αποδόσεων, κάτι με το οποίο τα ευρήματα της παρούσας έρευνας δεν συμφώνησαν. Σύμφωνα με τους Caligari et al. (2000) και τους Neves-Martins et al. (2016) το λούπινο των Άνδεων δίνει χαμηλές αποδόσεις στις Ευρωπαϊκές συνθήκες. Οι μειωμένες αποδόσεις των λούπινων που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, πιθανόν να οφείλονται στις εδαφοκλιματικές συνθήκες, αφού το pH είναι οριακά ανεκτό από τα λούπινα και οι βροχοπτώσεις κατά την άνθηση ήταν σχετικά μειωμένες. Σύμφωνα με την Παπακώστα-Τασοπούλου (2012), η έλλειψη νερού στα στάδια την άνθησης, της καρπόδεσης και του γεμίσματος μειώνουν τις αποδόσεις.

6.2.5 Ολικές αζωτούχες ουσίες στο σπόρο

Σύμφωνα με τους Caligari et al. (2000) και Clements et al. (2008), το λούπινο των Άνδεων έχει υψηλότερα ποσοστά πρωτεΐνης σε σχέση με τα υπόλοιπα καλλιεργούμενα είδη λούπινου. Ο Hatzold et al. (1983) βρήκε ότι οι σπόροι του λούπινου των Άνδεων έχουν πρωτεΐνη που φτάνει το 42,6%. Η στατιστική ανάλυση που έγινε για τις ολικές αζωτούχες ουσίες στο σπόρο, έδειξε ότι η μεταχείριση (εμβάπτιση σε ριζόβιο ή όχι) αλληλεπίδρασε θετικά με τον παράγοντα ποικιλία, με την μεταχείριση με ριζόβιο να έχει υψηλότερα ποσοστά ολικών αζωτούχων ουσιών στο σπόρο. Η παρούσα έρευνα επιβεβαιώνει τα ευρήματα των παραπάνω ερευνών, καθώς οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* LIB220, LIB221 και LIB222 έδωσαν τα υψηλότερα ποσοστά με 41,04%, 41,40% και 38,86% αντίστοιχα, για τη μεταχείριση με ριζόβιο. Οι αντίστοιχες τιμές της μεταχείρισης χωρίς ριζόβιο ήταν 36,65%, 39,49% και 36,28%. Αντίθετα, η cv Polo έδωσε 34,75% στη μεταχείριση με ριζόβιο και 25,14% στη μεταχείριση χωρίς ριζόβιο, ενώ η cv Multitalia έδωσε 34,75% και 25,14% αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι οι καταχωρήσεις του είδους *L. mutabilis* είχαν το υψηλότερο ποσοστό ολικών αζωτούχων ουσιών, ανεξαρτήτως εμβάπτισης του σπόρου σε ριζόβιο.

6.2.6 Ολικές αζωτούχες ουσίες στο στέλεχος

Σύμφωνα με τους Pinheiro et al. (2005) η έλλειψη εδαφικής υγρασίας μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στην περιεκτικότητα του στελέχους σε ολικές αζωτούχες ουσίες, στο λευκό λούπινο. Πιο συγκεκριμένα, βρήκαν ότι η έλλειψη νερού αυξάνει κάποια συστατικά μέρη της πρωτεΐνης στο στέλεχος, όπως η πρωτεάση. Οι Egamberdieva et al. (2017), μελετώντας το μπλε λούπινο, βρήκαν ότι σε συνθήκες ξηρασίας η περιεκτικότητα του φυτού μειώθηκε κατά 15%. Στην παρούσα έρευνα, οι ολικές αζωτούχες ουσίες στο στέλεχος είναι περισσότερες στο λευκό και το μπλε λούπινο, ενώ οι καταχωρήσεις του *L. mutabilis* έχουν χαμηλότερα ποσοστά. Τα ποσοστά αυτά πιθανόν να οφείλονται στην ανομβρία που υπήρχε κατά την περίοδο της άνθησης.

6.3 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, τόσο ως προς τη σύγκριση του είδους *L. mutabilis* με τα άλλα καλλιεργούμενα είδη και τη μελέτη των μορφολογικών χαρακτηριστικών, όσο και ως προς την εκτίμηση της επίδρασης της εμβάπτισης σε

ριζόβιο στην απόδοση, την αζωτοδέσμευση και τις ολικές αζωτούχες ουσίες σε σπόρο και στέλεχος, απέδειξαν ότι οι καταχωρήσεις *L. mutabilis* αποτελούν γενετικό υλικό που μπορεί να αξιοποιηθεί σε βελτιωτικά προγράμματα Ψυχανθών.

Από την ανασκόπηση την βιβλιογραφίας των Clements et al. (2008), Caligari et al. (2000) και Hatzold et al. (1983) και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, ο σπόρος του λούπινου των Άνδεων *L. mutabilis* έχει σημαντικά υψηλότερο ποσοστό ολικών αζωτούχων ουσιών σε σύγκριση με τα υπόλοιπα καλλιεργούμενα είδη λούπινου και φαίνεται να μπορεί να αποτελέσει μία εναλλακτική πρόταση για τη σόγια. Αν και οι αποδόσεις του λούπινου των Άνδεων είναι χαμηλές σε σχέση με άλλα καλλιεργούμενα ψυχανθή στην περιοχή των Ερυθρών, η αζωτοδέσμευσή του είναι σημαντική και χρήζει περαιτέρω έρευνας. Επιπλέον, σε σύγκριση με το κουκί που καλλιεργείται στην περιοχή, το λούπινο δεν εμφάνισε εχθρούς, ενώ από ασθένειες παρουσιάστηκε μόνο η ριζοκτόνια. Τέλος, σε εδάφη με χαμηλό ανθρακικό ασβέστιο, προτείνεται η εμβάπτιση του σπόρου σε στέλεχος ριζόβιου, καθώς επιδρά σημαντικά σε πολλά χαρακτηριστικά του φυτού.

7. Βιβλιογραφία

Ξενογλώσση βιβλιογραφία

- Abraham, E., Ganopoulos, I., Madesis, P., Mavromatis, A., Mylona, P., Nianiou-Obeidat, I., Parissi, Z., Polidoros, A., Tani, E., Vlachostergios, D. (2019) ‘The use of lupin as a source of protein in animal feeding: genomic tool and breeding approaches’, *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (851) <https://doi.org/10.3390/ijms20040851>
- Adhikari, K. N., Buirchell, B. J., & Sweetingham, M. W. (2012) ‘Length of vernalization period affects flowering time in three lupin species’, *Plant Breeding*, 131(5), pp. 631–636. doi:10.1111/j.1439-0523.2012.01996.x
- Adhikari, K., Buirchell, B., Yan, G., & Sweetingham, M. (2011) ‘Two complementary dominant genes control flowering time in albus lupin (*Lupinus albus* L.)’, *Plant Breeding*, 130(4), pp. 496–499. doi:10.1111/j.1439-0523.2011.01858.x
- Ainouche, A.-K., Bayer, R.J., 1999 ‘Phylogenetic relationships in *Lupinus* (Fabaceae: Papilionoideae) based on internal transcribed spacer sequences (ITS) of nuclear ribosomal DNA’, *American Journal of Botany*. 86, pp. 590–607. <https://doi.org/10.2307/2656820>
- Allen, O. N., & Allen, E. K. (1981) ‘The Leguminosae, a source book of characteristics, uses, and nodulation’, *University of Wisconsin Press*.
- Boersma, J.G., Pallotta, M., Li, C., Buirchell, B.J., Sivasithamparam, K., Yang, H. (2005) ‘Construction of a genetic linkage map using MFLP and identification of molecular markers linked to domestication genes in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.)’ *Cell Mol Biol Lett* **10**: pp. 331-344
- Brand J.D., Tang C., Rathjen A.J. (2002) ‘Screening rough-seeded lupins (*Lupinus pilosus* Murr. And *Lupinus atlanticus* Glads.) for tolerance to calcareous soils’ *Plant and Soil* 245: 261-275.
- Brand, J.D., Ag, B., (2002) ‘Genotypic variation in rough-seeded a (*Lupinus pilosus* Murr. and *L. øtlønticas* Glads.) for tolerance to calcareous soils’ 251.
- Brand, J.D., Tang, C., Graham, R.D., (2002) ‘The effect of soil moisture on the tolerance of *Lupinus pilosus* genotypes to a calcareous soil’

- Bullock, D. G. (1992). Crop rotation. *Crit.Rev. PlantSci.* 11,309–326.
- Buirchell, B., Cowling, W.A. (1992) ‘Domestication of rough-seeded lupins’, *Western Australian Journal of Agriculture* **33**: pp. 131-137
- Buirchell, B.J., Cowling, W.A. (1998) ‘Genetic resources in lupins’ Chapter 2. In: JS Gladstones, CA Atkins, J Hamblin, eds. *Lupins as crop plants: biology, production and utilization.* CAB International Wallingford, UK. pp 41-66.
- Callaham, D. A., & Torrey, J. G. (1981) ‘The structural basis for infection of root hairs of *Trifolium repens* by *Rhizobium*’, *Canadian Journal of Botany*, 59(9), pp. 1647-1664.
- Caligari P.D.S., Romer P., Rahim M.A., Huyghe C., Neves-Martins J., Sawicka-Sienkiewicz E.J. (2000). ‘The potential of *Lupinus mutabilis* as a crop. Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, vol 34 *Springer*, Dordrecht, p. 568-573.
- Camillo M.F., Pozzobon, M.T., Schifino-Wittman, M.T. (2006) ‘Chromosome number in South American Andean species of Lupins (Leguminosae)’ *Bonplandia* 15: pp. 113-119.
- Carranca, C., Madeira, M., Torres, M.O., (1999) ‘N₂ fixation by two lupine species under different soil management systems. Transfer of fixed N₂ from legume to intercropped eucalyptus’ 13.
- Clapham, W.M., Willcott, J.B. (1995) ‘Thermosensitivity in Spring White Lupin’, *Annals of Botany* **76**: pp. 349-357
- Clements, J., White, P., Buirchell, B., (1993) ‘The root morphology of *Lupinus angustifolius* in relation to other *Lupinus* species’, *Australian Journal of Agricultural Research*, 44, pp. 1367. <https://doi.org/10.1071/AR9931367>
- Clements J.C., Buirchell B.J., Yang H., Smith P.M.C., Sweetingham M.W., Smith C.G. (2005) ‘*Lupin*’ Chapter 9. Singh R. and Jauhar P., eds. Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement: Volume 1. *Grain Legumes*. CRC press.
- Clements J. C.; Sweetingham M. S.; Smith, L.; Francis G.; Thomas G.; Sipsas S. (2008) ‘Crop improvement in *Lupinus mutabilis* for Australian agriculture - progress and prospects. Lupins for health and wealth’ *Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, Fremantle, Western Australia, 14-18 September 2008 pp.244-250. Palta J.A.; Berger J.D. (eds). Crawley, Australia.

- Clements, J., Prilyuk, L., Quealy, J., Francis, G., (2008) ‘Interspecific crossing among the New World lupin species for *Lupinus mutabilis* crop improvement’ in IN J.A. Palta and J.B. Berger (eds). “*Lupins for Health and Wealth*” *Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, 14-18 Sept. 2008, Available from: https://www.researchgate.net/publication/237582269_INTERSPECIFIC_CROSSING_AMONG_THE_NEW_WORLD_LUPIN_SPECIES_FOR_LUPINUS_MUTABILIS_CROP_IMPROVEMENT [accessed Jan 19 2019].
- Cowling W.A., Huyghe C., Swiecicki W. (1998). ‘Lupin breeding’ Chapter 4. In Gladstones JS., Atkins CA., Hamblin J. eds. ‘Lupins as crop plants: biology, production and utilization’ *CAB International Wallingford, UK*, pp. 93-120.
- Cycle: sources and consequences. *Ecol. Appl.* 7,737–750.doi:10.1890/1051-
- David, G., Borcean, A., Imbrea, F., Botoş, L., (2014) ‘White lupin (*Lupinus albus*): a plant fit to improve acid soils in South-Western Romania and an important source of protein’, *Research Journal of Agricultural Science*, 46(1) doi:10.1080/713608037
- Dracup M., Kirby E.J.M. (1996) ‘Lupin development guide’, *University of Western Australia Press. Netherlands, Western Australia*.
- Dracup M., Thomson B., Reader M., Kirby E.J.M., Shield I., Leach J (1998) ‘Daylength responses, flowering time and seed feeling in lupins’, *Australian Journal of Agricultural Research* 49: pp. 1047-1056.
- Dunn, D.B (1984) ‘Genetic resources: Cytotaxonomy and distribution of new world lupin species’, In “*Proceedings of the 3rd International Lupin Conference, La Rochelle, France*”, pp. 68-85.
- Eastwood R. J., Hughes C. E. (2008) ‘Origins of domestication of *Lupinus mutabilis* in the Andes’, In “*Lupins for Health and Wealth. Proceedings of the 12th International Lupin Conference*”, Palta J. A. and Barger J.B. eds, *International Lupin Association, Canterbury, New Zealand*. pp. 373-379.
- Egamberdieva, D., Reckling, M., & Wirth, S. (2017). ‘Biochar-based Bradyrhizobium inoculum improves growth of lupin (*Lupinus angustifolius* L.) under drought stress’ *European Journal of Soil Biology*, 78, pp. 38–42. doi:10.1016/j.ejsobi.2016.11.007

- Embalomatis, A., Papaxosta, D. K. and Katinakis, P. (1994), Evaluation of *Rhizobium mdiloti* Strains Isolated from Indigenous Populations in Northern Greece. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 172: 73-80. doi:[10.1111/j.1439-037X.1994.tb00532.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1994.tb00532.x)
- Fremstad, E. (2006). 'NOBANIS - Invasive Alien Species Fact Sheet - *Lupinus polyphyllus*' *Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species - NOBANIS* www.nobanis.org
- French R.J., Buirchell B.J. (2005). 'Lupin: The largest grain legume crop in Western Australia, its adaptation and improvement through plant breeding' *Australian Journal of Agricultural Research* 56:1169-1180.
- Gage, D. J. (2004) 'Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes' *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 68(2), 280-300.
- Gardner W., Parbery D., Barber D. (1982). 'The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L.' *Plant and Soil* 68:19-32.
- Gdala, J., Jansman, A. J. M., van Leeuwen, P., Huisman, J., & Verstegen, M. W. A. (1996). 'Lupins (*L. luteus*, *L. albus*, *L. angustifolius*) as a protein source for young pigs' *Animal Feed Science and Technology*, 62(2-4), pp. 239–249. doi:10.1016/s0377-8401(96)00992-3
- Gilbert G.A., Knight J.D., Vance C.P., Allan D.L. (2000) 'Proteoid Root Development of Phosphorus Deficient Lupin is Mimicked by Auxin and Phosphonate', *Annals of Botany* 85: pp. 921-928.
- Gladstones J.S (1967) 'Selection for economic characters in *Lupinus angustifolius* and *L. digitatus*. Non-shattering pods', *Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry* 7: pp. 360- 366.
- Gladstones J.S. (1977) 'The narrow-leafed lupin in Western Australia', *Bulletin 3990 Western Australian Department of Agriculture*, Perth.
- Gladstones J.S. (1998). 'Distribution, origin, taxonomy, history and importance', *Chapter 1. In: JS Gladstones, CA Atkins, J Hamblin, eds. Lupins as crop plants: biology, production and utilization. CAB International Wallingford, UK. pp 1-39.*

- Gladstones, J.S. (1984) 'Present situation and potential of Mediterranean/African *Lupinus* for crop production', *Proceedings of the Third International Lupin Conference. La Rochelle, France*, pp. 18- 37.
- Glencross, B (2008) 'Harvesting the benefits of lupin meals in the aquaculture feeds', In "*Lupinus for Health and Wealth. Proceedings of the 12th International Lupin Conference*", Palta, J. A. and Brger, J. B. eds, International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 1 pp. 496-505.
- Glencross, B. (2005) 'Proceedings of the third workshop for Seeding a Future for Grains in Aquaculture Feeds' *Department of Fisheries*, Perth, Western Australia
- Glencross, B.D. (2001) 'Feeding lupins to fish: A review of the nutritional and biological value of lupins in aquaculture feeds', *The Department of Fisheries*, Government of Western Australia (DFWA)
- Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003) 'Legumes: importance and constraints to greater use' *Plant physiology*, 131(3), pp 872-877.
- Grath, T., & Håkansson, I. (1992) 'Effects of soil compaction on development and nutrient uptake of peas', *Swedish Journal of Agricultural Research*, Sweden.
- Golovchenko, V. I. (1982) 'Mutagenesis in selection of alkaloidless varieties of white and yellow lupin', In *Proceedings of the second international lupin conference*, Publicaciones Agraris, Ministry of Agriculture, Madrid, Spain pp. 43-45.
- Gupta S., Buirchell B.J., Cowling W.A. (1996) 'Interspecific reproductive barriers and genomic similarity among the rough-seeded *Lupinus* species', *Plant Breeding* 115: pp. 123-127.
- Hammermeister A., Punnett K., Beavers R. (2006) 'Lupin as an alternative organic feed grain', *Organic agriculture center of Canada. Interim Research Report E2006-05*.
- Hardy A., Huyghe C. Papineau J. (1997) 'Dry matter accumulation and partitioning, and seed yield in indeterminate Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet)', *Australian Journal of Agricultural Research* 48, pp. 91-102.
- Hatzold, T., Elmadfa, I., Gross, R., 1983. Edible oil and protein concentrate from *Lupinus mutabilis*. *Plant Foods for Human Nutrition* 32, 125–132.
<https://doi.org/10.1007/BF01091333>

- Heichel, G. H., & Vance, C. P. (1979) 'Nitrate-N and Rhizobium Strain Roles in Alfalfa Seedling Nodulation and Growth', *Crop science*, 19(4), pp. 512-518.
- Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. (2008) 'Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems', *Plant and soil*, 311(1-2), pp. 1-18.
- Hirsch, A. M. (2009) 'Brief history of the discovery of nitrogen-fixing organisms' Available at Web site <http://www.mcdb.ucla.edu/Research/Hirsch/imagesb/HistoryDiscoveryN2fixingOrganisms.pdf> (accessed November 2018).
- Hondelmann W. (1984) 'The lupin – ancient and modern crop plant', *Theoretical and Applied Genetics* 68: pp. 1-9.
- Iannetta, P. P., Young, M., Bachinger, J., Bergkvist, G., Doltra, J., Lopez-Bellido, R. J., ... & Walker, R. L. (2016) 'A comparative nitrogen balance and productivity analysis of legume and non-legume supported cropping systems: the potential role of biological nitrogen fixation', *Frontiers in Plant Science*, 7, pp. 1700.
- IBPGR, International Board for Plant Genetic Resources Lupin descriptors (Lupin descriptors 1981). Web version, Rome, Italy.
- Ivanova, K.A., Tsyganova, A.V., Brewin, N.J. et al. *Protoplasma* (2015) 252: pp. 1505. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0780-y>
- Jacobsen S. E. and Mujica A. (2008) 'Geographical distribution of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet)', *Plant Genetic Resources Newsletter*, Rome, Italy, 155: pp.1-8.
- Jayasundara, H.P.S., B.D. Thomson and C. Tang. (1998) 'Responses of cool season grain legumes to soil abiotic stresses', *Advances in Agronomy* 63: pp. 77-151.
- Kannan, V. R., Sithara, S., & Chandru, S. (2015) 'Proportional analysis of Leghaemoglobin concentration in various nodulating plants and intuitive Rhizobium species', *European Journal of Experimental Biology*, 5(4), pp. 15-23.
- Kazimierska E.M., Kazimierski T. (2002) 'Biology of flowering, embryological and caryological peculiarities' Chapter 8. In: BS Kurlovich, ed. *Lupins (Geography, classification, genetic resources and breeding)*. *International North Express*. pp 205-239.
- Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., & Kecskés, M. L. (2004) 'Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited?', *Soil Biology and Biochemistry*, 36(8), pp. 1229-1244.

- Kerley, S. J., Shield, I. F., & Huyghe, C. (2001) 'Specific and genotypic variation in the nutrient content of lupin species in soils of neutral and alkaline pH', *Australian journal of agricultural research*, 52(1), pp. 93-102.
- Kittelson, P.M., Maron, J.L. (2000) 'Outcrossing rate and inbreeding depression in the perennial yellow bush lupine, *Lupinus arboreus* (Fabaceae)', *American Journal of Botany* **87**: pp. 652-660
- Korsaeth, A., & Eltun, R. (2000) 'Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway', *Agriculture, ecosystems & environment*, 79(2-3), pp.199-214.
- Kurlovich B. S., Stoddard F. L., Earnshaw P (2008) 'Potential and problems of *Lupinus polyphyllus* Lindl. Domestication', "Lupins for Health and Wealth. Proceedings of the 12th International Lupin Conference", Palta J. A. and Brger J. B eds, International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 304-307.
- Kurlovich B.S. (1998) 'Species and intraspecific diversity of white, blue and yellow lupins', *Plant Genetic Resources Newsletter*, Rome, 115: pp. 1-10.
- Kurlovich B.S., (2002) 'Lupins (Geography, Classification, Genetic Resources and Breeding)' Publishing House *Intan*.
- Kurlovich B.S., Heinanen J. (2002) 'Biological features', Chapter 6. In: BS Kurlovich, ed. *Lupins (Geography, classification, genetic resources and breeding)*. International North Express. St. Petersburg, Russia – Pellosniemi, Finland. pp 351-374.
- Kurlovich B.S., Kartuzova L.T. (2002) 'Lupin Breeding', Chapter13. In: BS Kurlovich, ed. *Lupins (Geography, classification, genetic resources and breeding)*. International North Express. St Petersburg, Russia – Pellosniemi, Finland. pp 351-374.
- Kurlovich, B. S. (Ed.). (2002) 'Lupins: geography, classification, genetic resources and breeding' Bogoslav Kourlovitch.
- Lambers H., Clements J. C., and Nelson M. N. (2013) 'How a phosphorus-acquisition strategy based on carboxylate exudation powers the success and agronomic potential of lupines (*Lupinus*, Fabaceae)', *American Journal of Botany* 100: pp. 263-288.
- Landers, K.F. (1995) 'Vernalization responses in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) genotypes', *Australian Journal of Agricultural Research* **46**: pp. 1011-1025

- Lawrance, L. (2007) ‘Lupins: Australia's role in world markets’, *Australian Commodities: Forecasts and Issues*, 14(2), pp. 353.
- Lerouge, P. (1994) ‘Symbiotic host specificity between leguminous plants and rhizobia is determined by substituted and acylated glucosamine oligosaccharide signals’, *Glycobiology*, 4(2), pp. 127-134.
- Lodwig, E.M., Hosie, A.H.F., Bourdès, A., Findlay, K., Allaway, D., Karunakaran, R., Downie, J.A., Poole, P.S., (2003) ‘Amino-acid cycling drives nitrogen fixation in the legume–Rhizobium symbiosis’, *Nature* 422, pp. 722–726. <https://doi.org/10.1038/nature01527>
- Magalhães, S. C. Q., Taveira, M., Cabrita, A. R. J., Fonseca, A. J. M., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2017) ‘European marketable grain legume seeds: Further insight into phenolic compounds profiles’, *Food Chemistry*, 215, pp.177–184.
doi:10.1016/j.foodchem.2016.07.152
- Mercedes M. (1991) ‘Nutritive and anti-nutritive substances in Lupins’, Agrimes research programme *Lupinus mutabilis*: its adaption and production under European pedoclimatic condition. Proceedings of a workshop held in Cascais, Portugal. 26 and 27 April 1992 Edited and sponsored by Commission of the European Communities. Directorate-General for Agriculture, Coordination of agricultural research.
- Mercedes M. L., Stoddard F. L., Annicchiarico P., Frias J., Martinez-Villaluenga C., Sussmann D., Duranti M., Seger A., Zander P. M. and Pueyo J. J. (2015) ‘The future of lupin as a protein crop in Europe’, *Frontiers in Plant Science* 6:705
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00705>
- Miao, Z.H., Fortune, J.A., Gallagher, J. (2001) ‘The potential of two rough-seeded lupin species (*Lupinus pilosus* and *L. atlanticus*) as supplementary feed for sheep’, *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 615-622
- Mikolajczyk, J. (1966). Genetics studies in *Lupinus angustifolius* L. Part II. Inheritance of some morphological character in blue lupine. *Genetica Polonica* 7: 153-180
- Muñoz, N., Liu, A., Kan, L., Li, M.-W., Lam, H.-M., (2017) ‘Potential Uses of Wild Germplasms of Grain Legumes for Crop Improvement’, *International Journal of Molecular Sciences* 18, pp. 328. <https://doi.org/10.3390/ijms18020328>

Φλογοφωτόμετρο για προσδιορισμό Καλίου.

A. 3 Μέθοδος Kjeldahl

Για τον προσδιορισμό των αζωτούχων ουσιών (N%) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kjeldahl.

Προετοιμασία φυτικού υλικού

Τα στελέχη τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες, ξηράθηκαν στους 70°C στο φούρνο και κονιορτοποιήθηκαν σε μίξερ χειρός. Ύστερα, ζυγίστηκαν δύο φορές 0,50g για την κάθε προσθήκη (δύο τεχνητές επαναλήψεις) και αναλύθηκαν για συνολική περιεκτικότητα σε ακατέργαστες πρωτεΐνες (%). Για τους σπόρους ακολουθήθηκε άλλη διαδικασία: αφού συλλέχθηκαν από τα φυτά, ξεχωριστά ανά φυτό, ανά επανάληψη, ανά προσθήκη, επιλέχθηκαν τυχαία 50 σπόροι για κάθε προσθήκη ανά επανάληψη. Ύστερα κονιορτοποιήθηκαν στο μίξερ χειρός και ζυγίστηκαν δύο φορές από 0,50g (δύο τεχνητές επαναλήψεις). Έπειτα έγινε ανάλυση για συνολική περιεκτικότητα σε ακατέργαστες πρωτεΐνες (%). Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε ακατέργαστες πρωτεΐνες (%) σε στελέχη λούπινου, χρησιμοποιήθηκε αναλυτική μέθοδος Kjeldahl, χρησιμοποιώντας καύση με μπλοκ με καταλύτη χαλκού και απόσταξη ατμού σε βορικό οξύ (H_3BO_3).

Πρωτόκολλο Kjeldahl

Η μέθοδος περιλαμβάνει την καύση του δείγματος σε θειικό οξύ (H_2SO_4) κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μετατραπεί το άζωτο (N) της πρωτεΐνης σε θειική αμμωνία $[(NH_4)_2SO_4]$. Το σημείο ζέσεως αυξάνεται με την προσθήκη θειικού καλίου (K_2SO_4). Η αυξημένη θερμοκρασία βρασμού είναι απαραίτητη για να διασπάσει τους πεπτιδικούς δεσμούς και να μετατρέψει τις αμινομάδες σε πρωτεΐνη σε ιόντα αμμωνίου. Επιπλέον, προστίθεται

έναν καταλύτη χαλκού για την αύξηση του ρυθμού αντίδρασης. Μετά την πέψη, το μίγμα αραιώνεται με νερό για να αποφευχθεί η ανάμιξη συμπυκνωμένου αλκαλίου με συμπυκνωμένο οξύ και για να αποφευχθεί η στερεοποίηση του χωνευτηρίου. Η αραιώση νερού μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή αυτόματα σε μερικές μονάδες απόσταξης. Στη συνέχεια, η αμμωνία (NH_3) απελευθερώνεται με αλκαλική απόσταξη και ποσοτικοποιείται με τιτλοδότηση με τυποποιημένο διάλυμα οξέος. Για να βελτιωθεί περαιτέρω η ασφάλεια κατά την προσθήκη αλκαλίων, αρχίζει η απόσταξη με ατμό και ακολουθεί προσθήκη αλκαλίων ταυτόχρονα με την απόσταξη. Συνεπώς, η αντοχή της χημικής αντίδρασης μεταξύ αλκαλίων και οξέος μειώνεται λόγω της επιτυγχανόμενης ανάμιξης και της βαθμιαίας αύξησης της περιεκτικότητας αλκαλίων στον σωλήνα (τεχνική SAFE). Η ελευθερωμένη αμμωνία παγιδεύεται σε ασθενές διάλυμα βορικού οξέος (H_3BO_3) και τιτλοδοτείται με τυποποιημένο υδροχλωρικό οξύ (HCl), χρησιμοποιώντας χρωματομετρική ανίχνευση τελικού σημείου. Η ποσότητα πρωτεΐνης στα περισσότερα δείγματα υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το ποσοστό αζώτου κατά 6,25.

Αντιδραστήρια

1. Θεικό οξύ - συμπυκνωμένο, 95-98% H_2SO_4 καθαρότητας.
2. Αλάτι και καταλύτης - Kjeltabs Cu (3,5g K_2SO_4 και 0,4g CuSO_4 ανά ταμπλέτα, με παραγγελία αριθ. 15270018)
3. Διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου - 40% κατά βάρος / όγκο (β / ο) NaOH απαλλαγμένο αζώτου (περίπου 800 g NaOH έως 2000 ml διοξειδίου H_2O / 200 °C)
4. Διάλυμα λήψης - που περιέχει 100 g βορικού οξέος (H_3BO_3), 70 ml διαλύματος δείκτη μεθυλο-κόκκινου δείγματος - Διαλύονται 100 mg ερυθρού του μεθυλίου σε 100 ml μεθανόλης, 100 ml δείγματος πράσινου δείγματος βρωμοκρεσόλης - Διαλύονται 100 mg βρωμοκρεσόλης σε 100 ml μεθανόλης.
 - Διάλυμα βορικού οξέος - 1%, (β / ο) Διαλύστε 100 g βορικού οξέος σε 5 - 6 L ζεστού απιονισμένου νερού. Αναμίξτε και προσθέστε ζεστό απιονισμένο νερό σε όγκο περίπου 9 L. Ψύξτε σε θερμοκρασία δωματίου και προσθέστε 100 ml διαλύματος πράσινου βρωμοκρεσόλης και 70 ml διαλύματος μεθυλερυθρίνης. Συμπληρώνεται ο τελικός όγκος των 10 L.

5. Πρότυπο διάλυμα υδροχλωρικού οξέος - 0.1000 mol / l - Προετοιμάστε όπως στο AOAC 936.15 ή χρησιμοποιήστε έτοιμο διάλυμα πιστοποιημένου εύρους προδιαγραφών 0.0995-0.1005M και χρησιμοποιήστε 0.1000M για υπολογισμό. Άλλες συγκεντρώσεις HCl ή θεικού οξέος μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν αυτό διορθωθεί στους υπολογισμούς.

A. 4 Βιολογική Αζωτοδέσμευση (BNF)

Για τον υπολογισμό της Βιολογικής Αζωτοδέσμευσης, χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο των Korsæth and Eltun (2000), που περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$N_{\text{balance}} = N_{\text{fert}} + N_{\text{slurry}} - N_{\text{harvest}}$$

Προς διευκόλυνση επεξεργασίας και εξαγωγή στοχευμένων και συγκεκριμένων αποτελεσμάτων, ο παραπάνω τύπος τροποποιήθηκε ως εξής:

$$N_{\text{fix}} = (N_{\text{fert}} + N_{\text{seed}}) - N_{\text{biomass.at.harvest}} - N_{\text{seed.at.harvest}}$$

Προσθήκη λιπάσματος δεν έγινε πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας, αλλά ούτε και κατά τη διάρκεια. Συνεπώς το $N_{\text{fert}}=0$. Ο όρος N_{seed} αναφέρεται στο άζωτο που υπήρχε στον αρχικό σπόρο (σπόρο σποράς). Οι όροι $N_{\text{biomass.at.harvest}}$ και $N_{\text{seed.at.harvest}}$ αναφέρονται στο άζωτο που περιείχε η βιομάζα και ο σπόρος αντίστοιχα κατά τη συγκομιδή. Για την εύρεση των παραπάνω όρων πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση αζωτούχων ουσιών με τη μέθοδο Kjeldahl, όπως αυτή αναφέρεται παραπάνω.