

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ



Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια του έτους.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΦΑΣΣΕΑ

ΤΖΑΓΚΑΡΑΚΗΣ Γ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2012

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΚΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑ

**Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού
της ελιάς κατά τη διάρκεια του έτους.**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΦΑΣΣΕΑ

ΤΖΑΓΚΑΡΑΚΗΣ Γ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2012

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΤΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΦΑΣΣΕΑ

*«Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς
κατά τη διάρκεια του έτους»*

Εξεταστική Επιτροπή :

Καθηγητής Κ. Φασσέας, Επιβλέπων
Καθηγητής Γ. Καραμπουρνιώτης, Μέλος
Αναπληρωτής Καθηγητής Γ. Αϊβαλάκης, Μέλος

Η ανάθεση της παρούσας μελέτης
έγινε με απόφαση της υπ. αριθ. 16
της 19/5/2010 Γενικής Συνέλευσης
του Τμήματος Γεωπονικής
Βιοτεχνολογίας

ΤΖΑΓΚΑΡΑΚΗΣ Γ. ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς τη συμβολή ορισμένων ανθρώπων, τους οποίους θα ήθελα στο σημείο αυτό να ευχαριστήσω.

Τον Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Κωνσταντίνο Φασσέα, για την ανάθεση του θέματος και την επίβλεψη της μελέτης, για τις πολύτιμες οδηγίες και συμβουλές του, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου και πάνω απ' όλα για την πολύ καλή συνεργασία μας, τόσο κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας όσο και καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τον κ. Ιωάννη Ψαροκωστόπουλο, Ε.Τ.Ε.Π. του εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας, για τις υποδείξεις, την πολύτιμη βοήθεια του για την περάτωση της εργασίας αυτής αλλά και τη γενικότερη παρουσία του στο εργαστήριο.

Τα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, Καθηγητή κ. Γεώργιο Καραμπουρνιώτη και Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Αϊβαλάκι, για την αξιολόγηση και διόρθωση της παρούσας εργασίας.

Το εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την ευγενική παραχώρηση των μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία και ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Αθανάσιο Καμούτση.

Τους συμφοιτητές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα για την δημιουργική συνεργασία μας καθόλη τη διάρκεια των σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Παναγιώτα Μπρέστα, υποψήφια διδάκτωρ του εργαστηρίου Φυσιολογίας και Μορφολογίας Φυτών, για την σημαντική βοήθεια της κατά την εκπόνηση της παρούσας μελέτης και την οικογένεια μου για όλη την στήριξη στην προσπάθεια μου.

Τζαγκαράκης Στυλιανός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 8 |
| A1. ΤΟ ΦΥΤΟ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ..... | 8 |
| 1.1 Συστηματική κατάταξη του φυτού | 8 |
| 1.2 Γενικά στοιχεία - Ιστορία - Καταγωγή της Ελιάς..... | 8 |
| 1.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά | 10 |
| A2. Ο ΒΛΑΣΤΟΣ | 12 |
| 2.1 Γενικά στοιχεία | 12 |
| 2.2 Λειτουργίες των βλαστών..... | 13 |
| 2.3 Οικονομική σημασία..... | 15 |
| A3. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΒΛΑΣΤΟΥ ΤΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ | 17 |
| 3.1 Πρωτογενής ανατομική διάπλαση βλαστού | 17 |
| 3.2 Δευτερογενής ανατομική διάπλαση βλαστού..... | 19 |
| 3.3 Προστατευτικοί ιστοί και επιφανειακές δομές της δευτερογενούς ανατομικής διάπλασης του βλαστού | 22 |
| 3.3.1 Περίδερμα | 22 |
| 3.3.2 Φακίδια | 23 |
| A4. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΒΛΑΣΤΟΥ ΤΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ..... | 25 |
| 4.1 Η φωτοσύνθεση του βλαστού..... | 25 |
| 4.1.1 Ιστορική αναδρομή για την έρευνα της φωτοσύνθεσης των βλαστών..... | 25 |
| 4.1.2 Η «φωτοσύνθεση του φλοιού» του βλαστού..... | 25 |
| 4.1.3 Σημασία της φωτοσύνθεσης του φλοιού των βλαστών | 28 |
| 4.2 Τα αέρια στο εσωτερικό των βλαστών | 29 |
| A5. ΤΑ ΔΕΝΔΡΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ | 32 |
| 5.1 Γενικά για την Δενδρομετρία..... | 32 |
| 5.2 Τύποι δενδρομέτρων..... | 33 |
| 5.3 Μέτρηση της διαμέτρου του κορμού φυτών και εφαρμογές..... | 35 |
| A6. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 37 |
| B. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 38 |
| B1. ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ..... | 38 |
| B2. ΜΕΘΟΔΟΙ | 38 |
| 2.1 Μετρήσεις διαμέτρου..... | 38 |
| 2.2 Μετρήσεις οξύγονου..... | 40 |
| 2.3 Δενδροχρονολόγηση | 42 |
| 2.4 Μετεωρολογικά δεδομένα | 43 |
| 2.5 Ανάλυση δεδομένων | 43 |
| Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 44 |
| Γ1. Η ηλικία του κορμού | 44 |
| Γ2. Η αύξηση της διαμέτρου του κορμού..... | 44 |
| Γ3. Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού | 47 |
| Γ4. Η ημερήσια διακύμανση του οξύγονου στον φλοιό του κορμού..... | 49 |
| Γ5. Φυσιολογικές και περιβαλλοντικές παράμετροι κατά τη διάρκεια του χρόνου και συσχετίσεις μεταβλητών..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 57 |
| Δ1. Η ηλικία του κορμού | 57 |
| Δ2. Η διάμετρος του κορμού κατά τη διάρκεια του έτους | 57 |
| Δ3. Η διάμετρος του κορμού κατά τη διάρκεια της ημέρας | 59 |
| Δ4. Το οξύγονο στον φλοιό του κορμού..... | 61 |
| Ε. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 66 |
| ΣΤ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 68 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς σε σχέση και με περιβαλλοντικούς και φυσιολογικούς παράγοντες για χρονικό διάστημα ενός έτους. Στο δένδρο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν εφαρμόστηκε καμία καλλιεργητική φροντίδα και άρδευση.

Η διάμετρος του κορμού, η οποία μετρήθηκε με ηλεκτρονικό αναλογικό δενδρόμετρο, βρέθηκε να μειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας από μία μέγιστη τιμή που εμφανίζει τις πρωινές ώρες μέχρι μία ελάχιστη τιμή που παίρνει τις απογευματινές και έπειτα να αυξάνει κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι το επόμενο πρωί. Η ημερήσια συρρίκνωση της διαμέτρου του κορμού βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη τις περιόδους ξηρασίας. Η συνολική αύξηση της διαμέτρου κατά τη διάρκεια του έτους, η οποία αντιπροσωπεύει τη δευτερογενή αύξηση του κορμού, βρέθηκε να σχετίζεται με την θερμοκρασία του κορμού και παρουσιάζει τους μέγιστους ρυθμούς της σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών (~ 18-26 °C).

Επίσης μετρήθηκε το περιεχόμενο στον φλοιό του ίδιου κορμού οξυγόνο χρησιμοποιώντας οξυγονόμετρο με μικροαισθητήρα οπτικής ίνας και βρέθηκε να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά τη διάρκεια των εποχών, αλλά πάντοτε να είναι χαμηλότερο από το ποσοστό του οξυγόνου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα είτε είναι εκτεθειμένος ο κορμός στο φως είτε όχι. Η συγκέντρωση του οξυγόνου στον φλοιό του κορμού βρέθηκε να σχετίζεται με την θερμοκρασία του κορμού, ενώ δεν φαίνεται να σχετίζεται με την ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού.

Στο τέλος του πειράματος, εφαρμόστηκε μέθοδος δενδροχρονολόγησης στον κορμό που είχαν τοποθετηθεί τα αισθητήρια. Η καταμέτρηση των ετήσιων αυξητικών δακτυλίων ήταν δύσκολη λόγω του μικρού τους πάχους.

ABSTRACT

In the present study the diurnal variation of the trunk diameter of olive tree in relation to both environmental and physiological factors has been investigated for one year. No cropping and irrigation care were applied to the measured tree.

Trunk diameter, which was measured by electronic analog dendrometer, was found to decrease during the day from a maximum observed in the morning to a minimum observed in the afternoon and increase during the night until the next morning. Maximum daily shrinkage of trunk diameter was found to be bigger during drought periods. The cumulative growth of the trunk during the year, which represents the secondary growth of the stem, was found to be correlated with the stem temperature. The stem growth rate seemed to be bigger at a certain range of stem temperature (~18-26 °C).

Moreover the oxygen content of the bark was measured using optical oxygen microsensors and found to vary during the day and the seasons. Although the variations during the day and the seasons, the oxygen proportion in the bark of shaded and of illuminated trunk was lower than in air. The oxygen content of the bark was found to be correlated with the stem temperature but no significant correlation was found with the diurnal variation of the trunk diameter.

In conclusion method of dendrochronology was applied to the measured trunk showing difficulties as the annual rings were too narrow.

A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

A1. ΤΟ ΦΥΤΟ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ

1.1 Συστηματική κατάταξη του φυτού

Βασίλειο: *Plantae*

Υποβασίλειο: *Tracheobionta* (Τραχειόφυτα)

Υπερδιαίρεση: *Spermatophyta*

Διαίρεση: *Magnoliophyta*

Κλάση: *Magnoliopsida* (Δικοτυλήδονα)

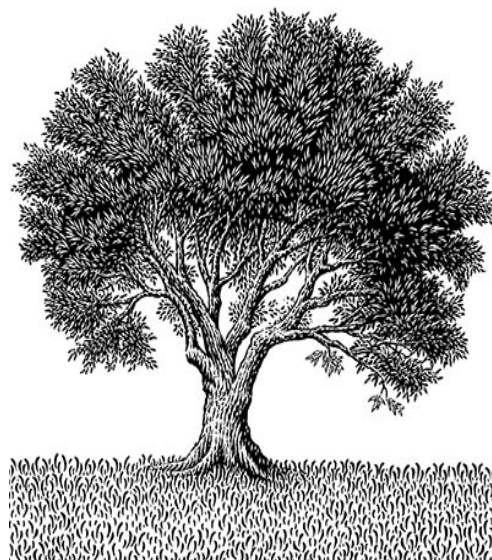
Υποκλάση: *Asteridae*

Τάξη: *Scrophulariales*

Οικογένεια: *Oleaceae*

Γένος: *Olea L.*

Είδος: *Olea europaea L.*



Εικόνα 1: Δένδρο ελιάς

<http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=OLEU>

1.2 Γενικά στοιχεία - Ιστορία - Καταγωγή της Ελιάς

Η εμφάνιση της ελιάς χάνεται στα βάθη των αιώνων. Είναι ένα από τα αρχαιότερα καλλιεργούμενα δένδρα στον κόσμο, το οποίο χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος πριν από την ανακάλυψη της γραφής. Το βασικό ερώτημα για το που ακριβώς, πότε και από ποιόν καλλιεργήθηκε αρχικά η ελιά, παραμένει αναπάντητο. Ωστόσο, ως πιθανοί τόποι καταγωγής της αναφέρονται η Συρία, η Μ. Ασία, η Αβυσηνία και η Αίγυπτος. Από κει διαδόθηκε στην Ελλάδα και στην Ιταλία και αργότερα στην Ισπανία με τους Έλληνες, τους Ρωμαίους και τους Άραβες. Στη Μεσόγειο η καλλιέργεια της χρονολογείται από το 2^ο π.Χ. αιώνα. Στην Ελλάδα η ελιά καλλιεργείται από τα μυκηναϊκά και μινωικά χρόνια, όπως μαρτυρούν τα ευρήματα των ανασκαφών (Fooks 1995). Πιο συγκεκριμένα, ο Β. Κρίμπας, κατά τις ανασκαφές που έγιναν στη

Φαιστό της Κρήτης, μεταξύ των σπερμάτων που του δόθηκαν από την Ιταλική Αρχαιολογική Σχολή προσδιόρισε και σπέρματα ελιάς, που χρονολογούνται από τη μεσομινωική εποχή (1800-2000 π.Χ.). Φύλλα ελιάς βρέθηκαν σε έρευνες που έγιναν στα ανθρακοφόρα στρώματα της Κύμης της Ευβοίας που αποδεικνύουν ότι η ελιά φύτρωνε εκεί πριν την εμφάνιση του ανθρώπου. Απολιθωμένα φύλλα ελιάς βρέθηκαν στη Σαντορίνη και τη Νίσυρο ηλικίας περίπου 50.000-60.000 ετών (Ποντίκης 2000).

Από αρχαιοτάτων χρόνων θεωρούσαν την ελιά ως ιερό δέντρο και σύμβολο ειρήνης. Οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι στεφάνωναν τους νεκρούς τους με κλαδί ελιάς. Οι Εβραίοι χρησιμοποιούσαν το λάδι για τη χρίση των προφητών τους. Με κλαδί άγριας ελιάς (κότινο) στεφάνωναν οι Αρχαίοι Έλληνες τους νικητές των ολυμπιακών αγώνων και χρησιμοποιούσαν τα κλαδιά της στις θρησκευτικές τελετές τους. Αλλά, ακόμη και σήμερα, το λάδι χρησιμοποιείται στις τελετουργίες του χριστιανισμού (Fooks 1995). Η ελληνική μυθολογία αναφέρει ότι την ελιά την έφεραν ο Κέκροπας ή η Αθηνά (Fooks 1995).



Εικόνα 2: Ερυθρόμορφος κρατήρας με παράσταση του Κέκροπα και της Αθηνάς σε μυστική τελετουργία. Ανάμεσα τους διακρίνεται η ιερή ελιά (410-400 π.Χ.).

Στην αρχαία Ελλάδα ο Διοσκουρίδης και ο Διοκλής ύμνησαν τις ιαματικές ιδιότητες της ελιάς. Ο Αριστοτέλης ανήγαγε την ελαιοκομία σε επιστήμη, ενώ ο Σόλωνας θέσπισε τον πρώτο νόμο για την προστασία του ελαιοδέντρου, ο οποίος απαγόρευε να κόβονται δύο δέντρα ελιάς σε κάθε λόφυτο κάθε χρόνο (Σαραντόπουλος 2011). Πιθανότητα, οι Φοίνικες παρήγαγαν πρώτοι το λάδι από την ελιά, χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο, με την οποία οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι έβγαζαν λάδι από τους σπόρους. Γενικά, οι αρχαίοι λαοί θεωρούσαν το λάδι ευγενές προϊόν, τόσο που στα ομηρικά

χρόνια το χρησιμοποιούσαν αποκλειστικά ως μέσο καλλωπισμού και ατομικής υγιεινής (Fooks 1995).

Στην Κρήτη και στα μυκηναϊκά κέντρα της Πελοποννήσου, της Ρούμελης και άλλων περιοχών, αρωμάτιζαν το ελαιόλαδο με ρόδα, φασκομηλιά και αρωματική κύπερη, σύμφωνα με τις πήλινες πινακίδες της αρχαιότερης γραφής της ελληνικής γλώσσας. Μ' αυτό τον τρόπο παρασκεύαζαν αρώματα, ενώ δεν αποκλείεται να το χρησιμοποιούσαν και στη διατροφή, για να βελτιώνουν τη γεύση (Ψιλάκης 2002). Μόνο τον 6^ο αιώνα π.Χ. το ελαιόλαδο έγινε είδος διατροφής και απέκτησε οικονομική σημασία, έτσι ώστε η βιομηχανία παραγωγής του να αποτελέσει ένα από τους σημαντικότερους πλουτοπαραγωγικούς πόρους.

Η ελιά μπορεί να καλλιεργηθεί μόνο στις εύκρατες περιοχές του Βορείου και Νοτίου ημισφαιρίου. Αυτό οφείλεται στις ειδικές κλιματικές απαιτήσεις της. Καλλιεργείται κυρίως στη λεκάνη της Μεσογείου, από όπου είναι και η καταγωγή της, στο Δέλτα του Νείλου, στις ακτές της Συρίας και του Λιβάνου, στην Κύπρο, στην Τουρκία, στην Ελλάδα, στην Νότια Ιταλία και Γαλλία, στην Ισπανία και στις απέναντι ακτές της Αφρικής, σε χώρες της λατινικής Αμερικής και στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Στις θερμότερες και ξηρότερες περιοχές παράγεται κυρίως λάδι ενώ στις δροσερότερες επιτραπέζια ελιά (Fooks 1995).

1.3 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Γενικά χαρακτηριστικά: Η ελιά είναι υποτροπικό είδος, αειθαλές, που αναπτύσσεται σε δένδρο ή σε θάμνο, ευδοκιμεί σε ξηροθερμικές περιοχές και ζει δεκάδες ή και εκατοντάδες χρόνια. Το κύριο χαρακτηριστικό του γένους *Olea* είναι η μακροζωία. Στην περιοχή της Μεσογείου υπάρχουν δένδρα πολλών εκατονταετηρίδων, τα οποία παράγουν ακόμα καρπό. Το ξύλο του είναι ανθεκτικό στα διάφορα παράσιτα και αν νεκρωθεί το υπέργειο μέρος το φυτό αναγεννάτε εύκολα με νέα βλάστηση από το λαιμό ή τις ρίζες του.



Εικόνα 3: Βλαστός, φύλλα, άνθη και καρπός ελιάς.

Ριζικό σύστημα: Ο τρόπος ανάπτυξης του ριζικού συστήματος καθορίζεται από τη φύση του εδάφους. Αν το έδαφος είναι βαρύ και κακοαεριζόμενο η διασπορά των λεπτών ριζών γίνεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος 50-60 cm. Ενώ στα αμμώδη εδάφη το ριζικό σύστημα απλώνεται σε έκταση και φτάνει σε αρκετό βάθος, μέχρι και 6 m, ούτως ώστε το δέντρο να μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του σε θρεπτικά στοιχεία και νερό.

Κορμός: Στα νεαρά δένδρα είναι ομαλός, λείος με τεφροπράσινο φλοιό. Στα μεγάλης ηλικίας δένδρα ο κορμός είναι ανώμαλος λόγω εμφανίσεως πάνω σ' αυτόν εξογκωμάτων διαφόρου μεγέθους (σφαιροβλάστες) και ο φλοιός αποκτά σκοτεινό χρώμα, είναι φελλοειδής και δημιουργεί ρυτίδωμα. Το ξύλο έχει χρώμα κιτρινωπό προς το εξωτερικό και σκοτεινό προς την εντεριόνη. Σε εγκάρσια τομή παρουσιάζει ακανόνιστους δακτυλίους, αντίθετα με τα φυλλοβόλα δέντρα, τα οποία έχουν ευκρινείς δακτυλίους, που διευκολύνουν την αναγνώριση της ηλικίας των.

Βλαστοί, οφθαλμοί: Η ελιά αναπτύσσει νωρίς την άνοιξη, στους βλαστούς της, οφθαλμούς που θα δώσουν νέους βλαστούς (βλαστοφόροι) και οφθαλμούς που θα δώσουν ταξιανθίες (ανθοφόροι). Αρχικά, στη νέα βλάστηση όλοι οι οφθαλμοί είναι βλαστοφόροι και από αυτούς ορισμένοι αργότερα διαφοροποιούνται σε ανθοφόρους κάτω από την αναγκαία επίδραση ψύχους. Η διάκριση μεταξύ των δύο ειδών είναι δύσκολη και εφικτή μόνο σε προχωρημένο στάδιο διαφοροποίησης (στις αρχές της επόμενης άνοιξης, όταν ξεκινάει η νέα βλάστηση). Οι βλαστοφόροι είναι μικρότεροι, στενότεροι και κωνικοί, ενώ οι ανθοφόροι πιο εξογκωμένοι και υποσφαιρικοί. Έτσι η ελιά ανθοφορεί και καρποφορεί στους βλαστούς της προηγούμενης χρονιάς, οι οποίοι ανάλογα, διακρίνονται σε:

- ξυλοφόρους (έχουν μόνο βλαστοφόρους οφθαλμούς)
- καρποφόρους (έχουν μόνο ανθοφόρους οφθαλμούς)
- μικτούς (έχουν και τα δύο είδη οφθαλμών).

Συνήθως σε καρποφόρους εξελίσσονται οι βλαστοί μέτριας ζωηρότητας, ενώ οι πολύ ζωηροί βλαστοί (λαίμαργοι) εξελίσσονται σε ξυλοφόρους. Η ύπαρξη πολλών λαίμαργων βλαστών υποδηλώνει ότι θα ακολουθήσει ακαρπία.

Φύλλα: Τα φύλλα της ελιάς είναι απλά, αντίθετα, βραχύμισχα, λογχοειδή, λειόχειλα, παχιά και διατηρούνται πάνω στο δέντρο 2-3 χρόνια. Έχουν βαθύ πράσινο χρώμα στην πάνω επιφάνεια και σταχτί ασημί στην κάτω. Η πάνω επιφάνεια είναι δερματώδης με παχιά εφυμενίδα, ενώ τα στόματα στην κάτω είναι μικρά, βυθισμένα

και καλυπτόμενα από πυκνό χνούδι. Με την κατασκευή αυτή, περιορίζεται η διαπνοή και μειώνεται η απώλεια υγρασίας, με αποτέλεσμα η ελιά να αποκτά ανθεκτικότητα σε ξηρικές συνθήκες με υψηλή θερμοκρασία και ανέμους.

Άνθη: Τα άνθη φέρονται σε βοτρυώδεις ταξιανθίες που δημιουργούνται στις μασχάλες αντιθέτων φύλλων σε βλαστούς της προηγούμενης βλαστικής περιόδου. Ανθίζει από τέλη Απριλίου - αρχές Μαΐου έως Ιούνιο. Κάθε άνθος φέρεται σε μικρό ποδίσκο και περιλαμβάνει ένα μικρό κυπελλοειδή κάλυκα από 4 κοντά οξύληκτα σέπαλα, τη στεφάνη από 4 πέταλα, δύο αντίθετα τοποθετημένους στήμονες που καταλήγουν στους νεφροειδής ανθήρες και τον ύπερο που έχει την ωοθήκη στη βάση του και το δίχωρο στίγμα στην κορυφή του.

Καρποί: Ο καρπός της ελιάς είναι δρύπη σφαιρική ή ελλειψοειδής και σχηματίζεται, όπως και στα πυρηνόκαρπα, από τους ιστούς των καρποφύλλων. Έχει χρώμα αρχικά πράσινο, το οποίο με την πάροδο της ωρίμανσης, γίνεται ερυθρωπό και τέλος μαύρο. Αποτελείται από το φλοιό ή εξωκάρπιο (εφυμενίδα και επιδερμίδα), τη σάρκα ή μεσοκάρπιο, όπου γίνεται η ελαιοποίηση και τον πυρήνα ή ενδοκάρπιο μέσα στο οποίο περιέχεται το σπέρμα (Ποντικής 2000, Σφακιωτάκης 1996).

A2. Ο ΒΛΑΣΤΟΣ

2.1 Γενικά στοιχεία

Ο βλαστός αποτελεί το φυσικό σύνδεσμο των υπέργειων και υπόγειων οργάνων του φυτού καθώς και των ιστών που παρήχθησαν κατά το παρελθόν και αυτών που παράγονται κατά το παρόν. Η διαμόρφωση του βλαστού ως οργάνου σχετίζεται στενά με τη σταδιακή μετάβαση των φυτικών οργανισμών στη διάρκεια της εξέλιξης από το υδατικό στο χερσαίο περιβάλλον. Η δομή και οι λειτουργίες του βλαστού είναι εναρμονισμένες με τον αυτότροφο τρόπο θρέψης των φυτών και την εδραίωση τους σε ένα συγκεκριμένο χώρο, αφού χαρακτηρίζονται από αδυναμία κίνησης. Ο βλαστός αποτελεί επίσης όργανο ιστογένεσης και οργανογένεσης, ενώ στα πολυετή κυρίως είδη αποτελεί ένα οικοσύστημα σε μικρογραφία, αφού φιλοξενεί στην επιφάνεια του ή μεταξύ των ρυτιδωμάτων πολυάριθμες μορφές ζωής όπως λειχήνες, βρύα, επίφυτα, έντομα, μικροοργανισμούς κ.α.. Τέλος ο βλαστός παρεμβάλλεται

μεταξύ διαφορετικών οργάνων τα οποία δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, όπως η ρίζα και το φύλλο, δύο φύλλα ή το φύλλο και ο καρπός (Αϊβαλάκης κ.α. 2005).

Η φυσική του αυτή θέση είναι ζωτικής σημασίας για την αποκατάσταση της επικοινωνίας μεταξύ απομακρυσμένων οργάνων. Για το λόγο αυτό στις αρχικές έρευνες δόθηκε έμφαση στις λειτουργίες του βλαστού που σχετίζονται με τη μεταφορά νερού, θρεπτικών στοιχείων και τη στήριξη. Συνεπώς, πολλοί μελετητές παραβλέποντας την σημαντικότητα άλλων λειτουργιών του βλαστού επικέντρωσαν την προσοχή τους στην βιολογική μελέτη περισσότερο «φαινομενικά ενεργών» φυτικών οργάνων όπως τα φύλλα και η ρίζα (Gartner 1995).

Οι βλαστοί παρουσιάζουν ποικιλομορφία δομής και εκτελούν πλήθος διαφορετικών λειτουργιών. Σχεδόν το σύνολο των βλαστών έχουν χρησιμοποιηθεί από τους ανθρώπους σε όλο τον πλανήτη ως πηγές καυσίμου, ινών και κατασκευαστικού υλικού για χιλιάδες χρόνια. Συνεπώς, ο ρόλος που διαδραμάτισαν οι βλαστοί των φυτών στον πολιτισμό και στην ιστορία του ανθρώπινου είδους είναι σημαντικός και καταγεγραμμένος. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμα πολλοί λόγοι που συντείνουν στη συνέχιση και περαιτέρω διεύρυνση της μελέτης των ρόλων των βλαστών (Hinckley and Schutle 1995).

2.2 Λειτουργίες των βλαστών

Οι βλαστοί επιτελούν πέντε κύριες λειτουργίες:

α) Μηχανική στήριξη

- Υποστηρίζουν τα φύλλα. Η διαμόρφωση της κόμης αποσκοπεί στην αποτελεσματικότερη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως στην υψηλότερη δυνατή αποδοτικότητα της φωτοσύνθεσης.
- Υποστηρίζουν τα άνθη. Η κατάλληλη διευθέτησή τους διευκολύνει την επικοινωνία και τη γονιμοποίησή τους.
- Υποστηρίζουν τους καρπούς, εξασφαλίζοντας τη διασπορά των σπερμάτων τους και κατ' επέκταση την εξάπλωση του είδους του φυτού.

β) Τροφοδοσία και ενδοεπικοινωνία

- Μεταφέρουν και διανέμουν νερό και ανόργανα στοιχεία δια μέσου των αγγείων του ξύλου από την ρίζα προς όλα τα υπέργεια όργανα. Την άνοιξη υπάρχει η δυνατότητα εκ νέου κινητοποίησης υδατανθράκων οι οποίοι είχαν

παραχθεί και αποθηκευτεί την προηγούμενη περίοδο ανάπτυξης στον κορμό και τη ρίζα.

- Μεταφέρουν οργανικά συστατικά όπως υδατάνθρακες, αμινοξέα κ.α. δια μέσου του ηθμού από τα όργανα βιοσύνθεσης (τα φύλλα) προς τα υπόλοιπα μέρη του φυτού. Η ροή του ρεύματος μπορεί να είναι ανοδική προς τα κορυφαία μεριστώματα ή καθοδική προς τη ρίζα. Ταυτόχρονα, μέσω του βλαστού μεταφέρονται φυτορμόνες οι οποίες διαμορφώνουν το σύστημα ενδοεπικοινωνίας που συντονίζει τις λειτουργίες των επιμέρους οργάνων.

γ) Παραγωγή νέων ιστών. Παράγουν φύλλα και άνθη ενώ κατά περιόδους δημιουργούν νέους ιστούς οι οποίοι είναι απαραίτητοι σε ένα πολυετές φυτό δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής των διαφόρων τύπων κυττάρων είναι περιορισμένη.

δ) Αποταμίευση. Τα παρεγχυματικά κύτταρα των βλαστών αποθηκεύουν ανόργανα θρεπτικά συστατικά, υδατάνθρακες με την μορφή αμύλου και νερό. Τα αποθέματα υδατανθράκων και ανόργανων στοιχείων χρησιμοποιούνται συνήθως κατά τη νέα βλαστική περίοδο προκειμένου να δημιουργηθούν τα νέα όργανα.

ε) Προστασία. Προστατεύουν το φυτό από εχθρούς και παθογόνα αναπτύσσοντας κατάλληλους μορφολογικούς (π.χ. άκανθες) ή φυσιολογικούς (π.χ. ρητινοφόρους αγωγούς) αμυντικούς μηχανισμούς. Στα πολυετή δενδρώδη είδη, οι βλαστοί παρέχουν μόνωση και προστασία από αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες μέσω της παρουσίας του περιδέρματος και της απουσίας ανοιγμάτων απ' αυτούς.

(Gartner 1995, Hinckley and Schutle 1995, Mohr and Schopfer 1995, Muller 1979, Taiz and Zeiger 1991, Αϊβαλάκις κ.α. 2005, Δροσόπουλος 1992).

Ο βαθμός ανάπτυξης και η θέση που αναπτύσσεται κάθε τύπος ιστού στο βλαστό είναι γενετικά καθορισμένος, παράλληλα όμως εξαρτάται και από περιβαλλοντικούς παράγοντες (Αϊβαλάκις κ.α. 2005). Πολλά είδη κυρίως ξηρόφυτων (ερημικών ή ημιερημικών περιοχών), προκειμένου να αντεπεξέλθουν στις συνθήκες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και έλλειψης νερού, παρουσιάζονται με αναβαθμισμένο το ρόλο των βλαστών ως φωτοσυνθετικών οργάνων υποκαθιστώντας πλήρως ή μερικώς τα φύλλα. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνει το χλωρόγχυμα που εντοπίζεται περιφερειακά στο βλαστό (Aschan and Pfanz 2003, Fahn 1990,). Ο φωτοσυνθετικός ρόλος των βλαστών είναι σημαντικός και στις περιπτώσεις των φυλλοβόλων δέντρων στις βόρειες, κυρίως, εύκρατες ζώνες όπου επέρχεται ολική αποφύλλωση του δέντρου κατά το φθινόπωρο (Pfanz *et al.* 2002).

Η δημιουργία αερεγχύματος σε ορισμένους βλαστούς, αποτελεί επίσης ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αντιμετώπισης αντίξοων συνθηκών και στη συγκεκριμένη περίπτωση, της υποξίας ή ανοξίας (Fahn 1990).

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρούνται μεταμορφώσεις του βλαστού, δηλ. το όργανο αυτό παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από την τυπική δομή και λειτουργία, έτσι ώστε να παίζει εξειδικευμένους ρόλους. Οι μεταμορφώσεις αυτές των βλαστών σε εξειδικευμένα όργανα τα οποία επιτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες, διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες του κάθε φυτού και ενισχύουν την ικανότητά του για επιβίωση στις εκάστοτε συνθήκες περιβάλλοντος. Χαρακτηριστικές μεταμορφώσεις των βλαστών αποτελούν οι καταβολάδες, τα ριζώματα, οι κόνδυλοι, οι βολβοί, οι βλαστοί των παχύφυτων, οι έλικες, τα βλαστικά αγκάθια και οι βλαστικοί οφθαλμοί (Αϊβαλάκης κ.α. 2005).

2.3 Οικονομική σημασία

Οι βλαστοί πολλών φυτικών ειδών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη καθώς και στη βιολογική επιβίωση του ανθρώπινου είδους. Ο άνθρωπος από πολύ νωρίς συνέλαβε την πολύπλευρη χρησιμότητα εξειδικευμένων ιστών και προϊόντων των βλαστών. Φυσικά, το μεγαλύτερο μέρος των προϊόντων που προέρχονται από τους βλαστούς (μέσω άμεσης ή έμμεσης εφαρμογής τους) καλύπτεται από την ξυλεία. Οι χρήσεις των βλαστών, των ιστών και των προϊόντων τους συνοψίζονται ως εξής:

- **Διατροφική.** Βλαστοί πολλών φυτικών ειδών αποτελούν σημαντική διατροφική πηγή. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν ο κόνδυλος της πατάτας (*Solanum tuberosum*) και ο βλαστός του ζαχαροκάλαμου (*Saccharum officinalis*) από τον οποίον εξάγεται ζάχαρη.
- **Κατασκευαστική ξυλεία.** Το μεγαλύτερο μέρος της υλοτόμησης κυρίως στην Αμερική και στον Καναδά προορίζεται για χρήση κατασκευαστικής ξυλείας (οικοδομές, σπίτια, έπιπλα κ.α.). Παράλληλα, σημαντική ποσότητα ξυλείας μετά την κοπή της σε πολύ λεπτά φύλλα, χρησιμοποιείται για επικάλυψη κατώτερης ποιότητας ξύλου (καπλαμάς) ή για την παρασκευή άλλων μορφών επεξεργασμένης ξυλείας (κόντρα πλακέ, μελαμίνες, μοριοσανίδες κ.α.).

- **Χαρτί.** Οι ανάγκες σε χαρτική ύλη απορροφούν μεγάλο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής ξυλείας. Αποτελεί τη δεύτερη κατά σειρά πιο σημαντική χρήση του ξύλου.
- **Καύσιμο.** Περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής ξύλου προορίζεται για καύσιμη ύλη. Το ποσοστό αυτό είναι αισθητά αυξημένο στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη.
- **Κάρβουνο** και συναφή προϊόντα.
- **Φαρμακευτική.** Από το βλαστό ορισμένων φυτικών ειδών προέρχονται ειδικές χημικές ουσίες όπως η κινίνη (αλκαλοειδές, το οποίο χρησιμοποιείται ως θεραπευτικό έναντι της ελονοσίας, προέρχεται από το φλοιό φυτών του γένους *Cinchona*), η ταξόλη (παρεμποδιστής ανάπτυξης καρκινικών κυττάρων από το φλοιό φυτών του γένους *Taxus*) και το σαλικυλικό οξύ (παυσίπονο από το βλαστό φυτών του γένους *Salix*).
- **Καουτσούκ.** Προέρχεται από το φλοιό του είδους *Hevea brasiliensis* και διατίθεται για πολλές και σημαντικές εφαρμογές. Μεγάλο μέρος των εφαρμογών του καλύπτονται πλέον από συνθετικό καουτσούκ. Ωστόσο, για ορισμένες χρήσεις παραμένει αναντικατάστατο (π.χ. ελαστικά αεροπλάνων).
- **Φελλός,** κυρίως από το φλοιό του είδους *Quercus suber* ο οποίος χρησιμοποιείται σε πλήθος χρήσεων.
- **Χρωστικές.** Χρησιμοποιούνται κυρίως ως βαφές υφασμάτων.
- **Μπαχαρικά** (για παράδειγμα από το φλοιό του είδους *Cinnamomum zeylanicum*).
- **Αλκοόλη** και **λικέρ** με απόσταξη τμημάτων βλαστών (για παράδειγμα της βελανιδιάς).
- **Ρητίνες.** Συλλέγονται από πολλά είδη πεύκων.
- Ορισμένα υλικά με **βάση την κυτταρίνη** (σελοφάν, τεχνητό μετάξι κ.α).
- **Λινά** και **σχοινιά.**

(Hinckley and Schulte 1995, Muller 1979)

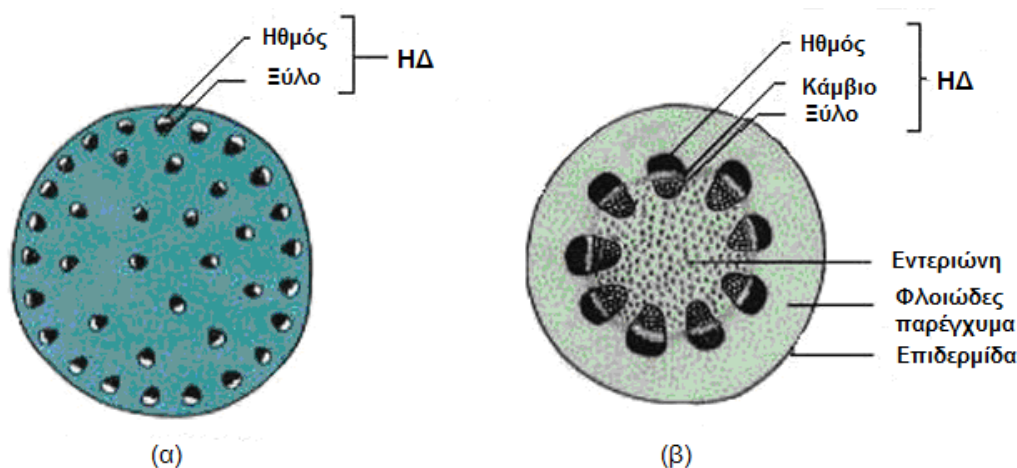
(http://www.eplantscience.com/index_files/stem.php#gg)

(<http://academic.kellogg.edu/herbrandsonc/bio111/stems.htm>)

Α3. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΒΛΑΣΤΟΥ ΤΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ

3.1 Πρωτογενής ανατομική διάπλαση βλαστού

Η πρωτογενής ανατομική διάπλαση του βλαστού διαμορφώνεται μέσω της δραστηριότητας του ακραίου ή κορυφαίου μεριστώματος. Από τον ιστό αυτό προκύπτουν τα τρία πρωτογενή μεριστώματα: το πρωτόδερμα, το προκάμβιο και το θεμελιώδες μερίστωμα. Από αυτά παράγονται οι αντίστοιχοι πρωτογενείς ιστοί της επιδερμίδας, οι πρωτογενείς αγωγοί ιστοί και το θεμελιώδες παρέγχυμα, το οποίο στα δικότυλα φυτά αποτελεί το φλοιό και την εντεριώνη (Αϊβαλάκης κ.α. 2005, Δροσόπουλος 1992).



Εικόνα 4: Πρωτογενής ανατομική διάπλαση βλαστού μονοκότυλου (α) και δικότυλου (β) φυτού στην οποία φαίνεται η χαρακτηριστική διαφορά θέσης των ηθμαγγειωδών δεσμίδων στο εσωτερικό τους. ΗΔ=ηθμαγγειώδεις δεσμίδες.

Η πρώτη ένδειξη διαφοροποίησης μέσα στο νεαρό βλαστό είναι ο σχηματισμός των αγωγών ιστών δηλαδή του ηθμού και του ξύλου. Η διάταξη των ηθμαγγειωδών δεσμίδων στο εσωτερικό του βλαστού διαφέρει μεταξύ των μονοκότυλων και δικότυλων φυτών. Στους βλαστούς πολλών δικότυλων φυτών ο ηθμός και το ξύλο τοποθετούνται σε ένα συνεχή κύκλο συνήθως κοντά στην περιφέρεια της στήλης (στα αναρριχητικά και υδροχαρή φυτά ο ηθμός και το ξύλο παρατηρούνται κοντά στο κέντρο του βλαστού). Με τον τρόπο αυτό οι ηθμαγγειώδεις δεσμίδες διαμορφώνουν μια κυκλική διάταξη, αναφερόμενη ως ευστήλη ή απλώς ως στήλη. Στα μονοκότυλα οι ηθμαγγειώδεις δεσμίδες βρίσκονται άτακτα κατανεμημένες και για το λόγο αυτό η

διάταξη αναφέρεται ως ατακτοστήλη (Εικόνα 4) (Esau 1960, Fahn 1990, Αϊβαλάκις κ.α. 2005, Δροσόπουλος 1992).

Κατά κανόνα στα δικότυλα φυτά τα στοιχεία μεταφοράς οριοθετούν δύο μεγάλες ανατομικές περιοχές του βλαστού: το φλοιό ο οποίος αποτελείται από τους ιστούς εξωτερικά των στοιχείων μεταφοράς και τον κεντρικό κύλινδρο ο οποίος περιλαμβάνει τις ηθμαγγειώδεις δεσμίδες και την εντεριώνη, έναν παρεγχυματικό ιστό εσωτερικά των στοιχείων μεταφοράς (Δροσόπουλος 1992).

Η επιδερμίδα αποτελεί την εξωτερική στρώση κυττάρων της πρωτογενούς ανατομικής διάπλασης του βλαστού. Εσωτερικά της επιδερμίδας εντοπίζεται το φλοιώδες παρέγχυμα. Τα παρεγχυματικά κύτταρα αποθηκεύουν θρεπτικά συστατικά ενώ στους πράσινους βλαστούς φωτοσυνθέτουν παράγοντας σάκχαρα. Σε πολλά δικότυλα φυτά στην περιοχή του φλοιώδους παρεγχύματος (μεταξύ επιδερμίδας και ηθμαγγειωδών δεσμίδων) είναι δυνατό να παρατηρηθεί κολλέγχυμα ή σκληρέγχυμα ή και τα δύο. Οι σκληρεγχυματικοί ιστοί ενισχύουν την αμυντική θωράκιση του φυτού, ενώ και οι δύο ιστοί συμβάλλουν στη στήριξή του. Τα κύτταρα του κολλεγχύματος διαθέτουν μη λιγνινοποιημένα κυτταρικά τοιχώματα σε αντίθεση με τα κύτταρα του σκληρεγχύματος. Τα σκληρεγχυματικά κύτταρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις σκληρεγχυματικές ίνες και τις σκληρεΐδες.

Εσωτερικά του φλοιώδους παρεγχύματος παρατηρείται είτε ο αγγειακός κύλινδρος είτε οι ηθμαγγειώδεις δεσμίδες (ανάλογα αν πρόκειται για δικότυλο ή μονοκότυλο φυτό, αντίστοιχα). Οι αγωγοί ιστοί (εξωτερικά ο ηθμός και εσωτερικά το ξύλο) διαχωρίζονται μεταξύ τους από την παρεμβολή ενός δευτερογενούς μεριστώματος, του καμβίου. Το τμήμα αυτό του καμβίου που αντιστοιχεί στο εσωτερικό της αγωγού δεσμίδας ονομάζεται δεσμικό κάμβιο.

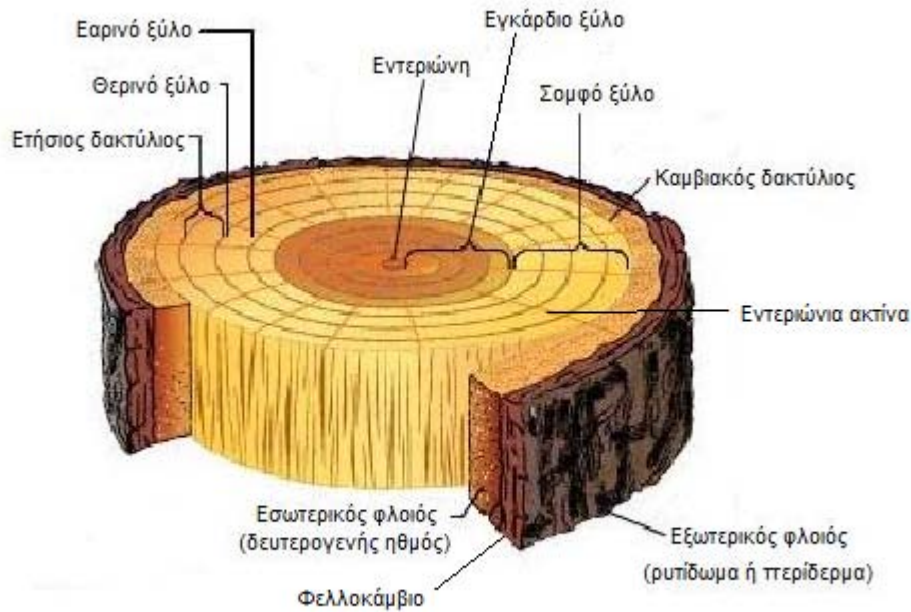
Η επί μέρους συμμετοχή παρεγχυματικών, στηρικτικών και αγωγών ιστών για την κατασκευή του οργάνου διαφέρει από είδος σε είδος. Τα δέντρα και οι θάμνοι, σε αντίθεση με τα ποώδη φυτά, έχουν ανάγκη ισχυρών βλαστών με αποτέλεσμα την έντονη παρουσία αγωγών και στηρικτικών ιστών. Η διευθέτηση των ιστών στο βλαστό, όμως, σχετίζεται και με τον τρόπο διαβίωσης του κάθε είδους. Έτσι, οι βλαστοί των αναρριχητικών και υδρόφυτων φυτών δεν έχουν ανάγκη από στηρικτικούς ιστούς αφού η στήριξη επιτυγχάνεται μέσω της αγκύρωσης σε άλλα φυτά και μέσω του νερού αντίστοιχα (Fahn 1990, Mauseth 1988, Αϊβαλάκις κ.α. 2005, Δροσόπουλος 1992, Καραμπουρνιώτης 2003).

3.2 Δευτερογενής ανατομική διάπλαση βλαστού

Η δευτερογενής δημιουργία ιστών και μάλιστα η επί μακρό χρονικό διάστημα ανάπτυξη δευτερογενών ιστών παρέχει στα φυτά, που έχουν την ιδιότητα αυτή, την δυνατότητα πολυετούς διαβίωσης. Τυπική δευτερογενή ανάπτυξη παρουσιάζουν τα Γυμνόσπερμα και τα Δικότυλα Αγγειόσπερμα φυτά, ενώ σε ορισμένα Μονοκότυλα (π.χ. φοίνικες) παρουσιάζεται ειδικού τύπου δευτερογενής πάχυνση. Τη δευτερογενή προσθήκη ιστών στα Δικότυλα φυτά αναλαμβάνουν δύο δευτερογενή μεριστώματα: το κάμβιο και το φελλοκάμβιο (Ψαράς κ.α. 2002).

Το πρώτο βήμα της δευτερογενούς ανάπτυξης είναι η επέκταση του δεσμικού καμβίου μεταξύ των γειτονικών ηθμαγγειωδών δεσμίδων (δημιουργία μεσοδέσμιου καμβίου) ούτως ώστε να σχηματιστεί ένας συνεχής δακτύλιος (καμβιακός δακτύλιος). Οι αγωγοί ιστοί, κατά τη δευτερογενή ανατομική διάπλαση του βλαστού, αυξάνονται τόσο με περικλινείς όσο και με αντικλινείς διαιρέσεις, με αποτέλεσμα την κατά πάχος αύξηση του βλαστού. Αυτό επιτυγχάνεται με την συνεχή διαίρεση των κυττάρων του καμβίου που έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό του δευτερογενούς ηθμού προς το εξωτερικό του καμβιακού δακτυλίου και δευτερογενούς ξύλου προς το εσωτερικό του. Δευτερογενή παρεγχυματικά κύτταρα σχηματίζονται μεταξύ των κυττάρων του δευτερογενούς ξύλου και ηθμού σχηματίζοντας τις εντεριόνιες ακτίνες οι οποίες επιτρέπουν την οριζόντια διακίνηση νερού και θρεπτικών συστατικών προς το εσωτερικό του ξυλώδους βλαστού (Εικόνα 5) (Αϊβαλάκις κ.α. 2005).

Εξωτερικά, τόσο ο φλοιός όσο και η επιδερμίδα συμβάλλουν, ομοίως, στην κατά πάχος αύξηση του οργάνου αρχικά με περικλινείς διαιρέσεις και ακολούθως με αντικλινείς διαιρέσεις των κυττάρων τους. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων η υψηλή εσωτερική πίεση που ασκείται στον φλοιό προκαλεί τη θραύση της εξωτερικής επιφάνειας του βλαστού. Η θραύση αυτή συνοδεύεται από τη δραστηριοποίηση ενός ιδιαίτερου δευτερογενούς μεριστωματικού ιστού, του φελλοκάμβιου το οποίο εντοπίζεται εσωτερικά της επιδερμίδας. Η δραστηριοποίηση του φελλοκάμβιου έχει ως αποτέλεσμα να παράγονται εξωτερικά αυτού, κύτταρα φελλού ή φέλλωμα και εσωτερικά του, το φελλόδερμα. Το σύνολο των κυττάρων του φελλού, του φελλοκάμβιου και του φελλοδέρματος, αποτελεί το περίδερμα (Esau 1960, Mauseth 1988, Δροσόπουλος 1992, Τσέκος και Ηλίας 2007).



Εικόνα 5: Απεικόνιση της δομής του κορμού ενός δέντρου. Φαίνεται η οριοθέτηση σημαντικών ιστών όπως του φλοιού, του καμβίου και του ξύλου.

Στα ετήσια και διετή ποώδη φυτά η καμβιακή δραστηριότητα είναι συνδεδεμένη με τη βλαστική φάση και σταματά κατά τη μετάβαση του φυτού στην αναπαραγωγική φάση (Δροσόπουλος 1992).

Η δραστηριότητα του καμβίου και μαζί μ' αυτή και ο ρυθμός παραγωγής και διαφοροποίησης κυττάρων δευτερογενούς αγωγού ιστού εξαρτάται και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Στα πολυετή φυτά των εύκρατων περιοχών η παραγωγή νέων κυττάρων ξυλώματος και φλοιώματος είναι περιοδική (Τσέκος και Ηλίας 2007, Ψαράς κ.α. 2002). Το πρώτο ξύλο που σχηματίζεται κατά την περίοδο της άνοιξης αποτελείται από μεγάλα σε διάμετρο και λεπτότοιχα αγγεία ώστε να καλύπτει τις αυξημένες ανάγκες μεταφοράς νερού μέσω του διαπνευστικού ρεύματος. Ωστόσο τα αγγεία που αναπτύσσονται κατά την θερινή ή φθινοπωρινή περίοδο είναι μικρότερης διαμέτρου και με παχύτερα τοιχώματα, ενώ μεταξύ τους αναπτύσσονται περισσότερες και με παχύτερα τοιχώματα σκληρεγυματικές ίνες. Συνεπώς το φθινοπωρινό (ή θερινό) ξύλο είναι σκληρότερο και πυκνότερο από το εαρινό ξύλο. Η εποχική αυτή διαφοροποίηση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ομόκεντρων ετήσιων δακτυλίων (Εικόνα 5). Η καταμέτρηση των ετήσιων δακτυλίων αποτελεί μια ακριβή μέθοδο υπολογισμού της ηλικίας των δέντρων (δενδροχρονολόγηση). Η μέθοδο αυτή, όμως, δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί σε φυτά όπως η ελιά λόγω του σχηματισμού κοιλώματος στον κορμό της αλλά και λόγω της ικανότητας

αναβλάστησης (Αϊβαλάκης κ.α. 2005). Σε είδη τροπικών περιοχών, όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του έτους είναι ομοιόμορφες, δεν εμφανίζονται στο ξύλωμα δακτύλιοι (Bowes B. G. 1996, Τσέκος και Ηλίας 2007, Ψαράς κ.α. 2002).

Μετά από μερικά χρόνια λειτουργίας (ένα ή περισσότερα) το ξύλο στο κέντρο του βλαστού καθίσταται ανενεργό, εμποτίζεται με άλατα ή ρητίνες και καθίσταται σκουρόχρωμο. Το ξύλο αυτό χαρακτηρίζεται ως εγκάρδιο ξύλο και είναι το ξύλο με την μεγαλύτερη αντοχή και την μεγαλύτερη εμπορική αξία, ενώ το λειτουργικό, περιφερειακά τοποθετημένο τμήμα του ξυλώματος, χαρακτηρίζεται ως σομφό ξύλο (Εικόνα 5) (Esau 1960, Ψαράς κ.α. 2002).

Συνήθως στο βλαστό κάθε έτος παράγεται περισσότερο δευτερογενές ξύλο παρότι δευτερογενής ηθμός. Με τη δευτερογενή αύξηση ο πρωτογενής ηθμός ωθείται προς τα έξω και τα λεπτότοιχα κύτταρα του καταστρέφονται. Το ίδιο όμως συμβαίνει και με τα κύτταρα του παλιού δευτερογενούς ηθμού (ηθμώδη στοιχεία και διάφορα είδη παρεγχυματικών στοιχείων) κάθε αυξητική περίοδο, οπότε συνθλίβονται και αυτά. Ενδεχομένως το παλιό δευτερογενές φλοιώμα διαχωρίζεται από το υπόλοιπο του φλοιώματος από νεοσχηματιζόμενα περιδέρματα και αμέσως αποβάλλεται από το φλοιό του κορμού (σχηματισμός ρυτιδώματος) (Τσέκος και Ηλίας 2007).

Ο όρος «φλοιός» χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο των ιστών εξωτερικά του αγγειακού καμβίου. Αναλυτικότερα, αποτελεί ένα σύνολο ιστών στους οποίους περιλαμβάνονται η επιδερμίδα και το χλωρέγχυμα ή φωτοσυνθετικό παρέγχυμα της πρωτογενούς ανάπτυξης του φυτού, εφ' όσον υφίστανται και ο ηθμός και οι εξωτερικοί προστατευτικοί ιστοί της δευτερογενούς ανάπτυξης (Esau 1960, Τσέκος και Ηλίας 2007). Ο φλοιός ξυλωδών κορμών μπορεί να περιλαμβάνει φωτοσυνθετικό παρέγχυμα της πρωτογενούς ανάπτυξης του φυτού. Αυτό διαπιστώθηκε σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο, όπου διαπιστώθηκε παρουσία χλωροφύλλης στα κύτταρα του φωτοσυνθετικού παρεγχύματος, του ηθμού, του ξυλώδους παρεγχύματος και της εντεριώνης νεαρών βλαστών ελιάς, ενώ σε μεγαλύτερης ηλικίας βλαστούς περιορίστηκε στο φωτοσυνθετικό παρέγχυμα, το οποίο ωστόσο παρουσιάστηκε σε μεγαλύτερη έκταση (Filippou *et al.* 2007). Επίσης στην περιοχή του φλοιού βλαστών ελιάς, σε μεταγενέστερη έρευνα (Kyriakis and Fasseas 2010), παρατηρήθηκε δίκτυο σωληνοειδών δομών που εκτείνεται από το φελλοκάμβιο και μέχρι τις σκληρεΐδες, το οποίο δεν φαίνεται να είχε περιγραφεί στο παρελθόν. Η θέση του ιστού αυτού σε σχέση με τη δομή του, κενοί σωλήνες με εγκάρσια

τοιχώματα με ηθμώδεις πλάκες καθώς και η επικοινωνία τους με τους μεσοκυττάρους χώρους του φωτοσυνθετικού παρεγχύματος υποδεικνύουν την λειτουργία του ως αερέγχυμα, αν και ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για συγκεκριμένο ιστό σχιστογενούς ή ρηξιγενούς προέλευσης που εντοπίζεται σε όργανα φυτών που βρίσκονται βυθισμένα συνεχώς ή περιοδικά στο νερό (Αϊβαλάκης κ.α. 2005, Καραμπουρνιώτης 2003). Η παρουσία ιστού με τέτοια λειτουργία σε αυτή τη θέση θα μπορούσε να δικαιολογήσει και τη σχετικά υψηλή φωτοσυνθετική ικανότητα του φλοιού της ελιάς, και ειδικότερα σε φυτά μεγάλης ηλικίας (>30 ετών), όπου σύμφωνα με τους Filippou *et al.* (2007) η φωτοσυνθετική ικανότητα φτάνει το 80% εκείνης των φύλλων.

Στα πολυετή δενδρώδη είδη, ο φλοιός του κορμού τους διακρίνεται στον εσωτερικό φλοιό, που περιλαμβάνει μέρος του δευτερογενούς ηθμού από το αγγειακό κάμβιο έως το περίδερμα και τον εξωτερικό φλοιό (ρυτίδωμα), ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους νεκρούς ιστούς εξωτερικά του περιδέρματος (Pfanzen and Aschan 2001).

3.3 Προστατευτικοί ιστοί και επιφανειακές δομές της δευτερογενούς ανατομικής διάπλασης του βλαστού

3.3.1 Περίδερμα

Σε πολλούς ξυλώδεις βλαστούς ο σχηματισμός περιδέρματος συνήθως ακολουθεί την καταβολή της παραγωγής του δευτερογενούς ξυλώματος και δευτερογενούς φλοιώματος. Το περίδερμα αντικαθιστά την επιδερμίδα σαν προστατευτικό κάλυμμα σε εκείνα τα μέρη του φυτού. Είναι δυνατό να εμφανιστεί αμέσως κάτω από την επιδερμίδα ή και σε βαθύτερα στρώματα μέσα στο φλοιό (Τσέκος και Ηλίας 2007). Αποτελεί το προϊόν της δραστηριότητας του φελλοκάμβιου. Το φελλοκάμβιο δημιουργείται με αποδιαφοροποίηση συγκεκριμένων κυττάρων (επιδερμικών, κυττάρων της υποδερμίδας, κυττάρων του φλοιού και του δευτερογενούς ηθμού ακόμα και κυττάρων του ξύλου) ενώ η ενεργοποίησή του επηρεάζεται από τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες (κυρίως σε ερημικές και ημερημικές περιοχές) καθώς και από την ικανότητα των βλαστών για φωτοσύνθεση. Επομένως, η ενεργοποίηση του φελλοκάμβιου μπορεί να καθυστερήσει σε φυτά που εξαρτώνται κατά πολύ από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των βλαστών τους (Gibson 1996,

Mauseth 1988). Αποτελείται συνήθως από μια μόνο στρώση κυττάρων τοποθετημένων περιφερειακά στο βλαστό. Τα χαρακτηριστικά των κυττάρων του φελλοκάμβιου (μέγεθος, σχήμα και ενεργοποίηση) είναι δυνατό να ποικίλουν ακόμα και μεταξύ περιοχών του ίδιου του βλαστού (Mauseth 1988).

Τα κύτταρα φελλού που παράγονται εξωτερικά του φελλοκάμβιου (λόγω της δραστηριότητάς του) συγκροτούν έναν κατ'εξοχή προστατευτικό ιστό χωρίς μεσοκυττάρους χώρους (Pfaniz 1999). Τα κύτταρα του φελλού διαφορετικών φυτικών ειδών διαφέρουν στο σχήμα, στο μέγεθος και στη χημική σύσταση των κυτταρικών τους τοιχωμάτων. Το κυριότερο συστατικό των κυτταρικών τους τοιχωμάτων είναι συνήθως η σουβερίνη (φελλίνη) ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται έντονη σκλήρυνσή τους με εναπόθεση λιγνίνης (Mauseth 1988). Τα κύτταρα του φελλού είναι βραχύβια ενώ οι λειτουργίες που τους αποδίδονται εστιάζονται κυρίως στην προστασία έναντι μηχανικών καταπονήσεων, έναντι παθογόνων μικροοργανισμών και εντόμων, έναντι των απωλειών νερού καθώς και θερμική μόνωση. Ο βαθμός προστασίας που προσφέρουν τα κύτταρα του φελλού, εξαρτάται τόσο από τη φύση των χημικών συστατικών που εναποτίθενται στα κυτταρικά τους τοιχώματα όσο και από το χρονικό διάστημα που παραμένουν τελικά επάνω στο βλαστό (Metcalf and Chalk 1979).

Σε ορισμένες περιπτώσεις φυτικών ειδών, το φελλοκάμβιο παράγει μικρό αριθμό κυττάρων (από μια έως τέσσερις στρώσεις) προς το εσωτερικό του βλαστού δημιουργώντας το φελλόδερμα, το οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ικανό να φωτοσυνθέτει, να αποθηκεύει άμυλο, να παράγει τανίνες ή να μετατρέπει τα κύτταρα που το αποτελούν σε σκληρεΐδες (Mauseth 1988).

Όπως όμως η παρουσία του περιδέρματος είναι σημαντική για ορισμένα φυτικά είδη, έτσι σε άλλα, η απομάκρυνσή του παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα διευκολύνοντας την ανταλλαγή αερίων μεταξύ του βλαστού και της ατμόσφαιρας ενώ ταυτόχρονα διευκολύνεται η περατότητα του φωτός προς τους υποκείμενους (του περιδέρματος) φωτοσυνθετικούς ιστούς του βλαστού (Metcalf and Chalk 1979, Mauseth 1988).

3.3.2 Φακίδια

Τα φακίδια αποτελούν συγκεκριμένες περιοχές του περιδέρματος που παρουσιάζουν

μορφή ειδικών πόρων. Οι πόροι αυτοί περιλαμβάνουν σχετικά χαλαρά τοποθετημένα κύτταρα, συνήθως μη αποφελλωμένα (Fahn 1990). Τα φακίδια παράγονται από μεριστωματικό ιστό που αποτελεί συνέχεια του φελλοκάμβιου και μπορεί να χαρακτηριστεί ως φελλοκάμβιο του φακιδίου (Δροσόπουλος 1992, Ψαράς κ.α. 2002). Ο μεριστωματικός αυτός ιστός, παράγει σφαιρικά (γεμιστικά) κύτταρα, ορισμένες φορές αποφελλωμένα, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό πολυάριθμους μεσοκυττάριους χώρους (Mauseth 1988). Φακίδια παρατηρούνται συνήθως σε βλαστούς, ρίζες και καρπούς φυτικών ειδών ενώ διαφέρουν σε μέγεθος, τοποθέτηση και συχνότητα πάνω στο φυτικό όργανο στο οποίο βρίσκονται (Esau 1960). Σύμφωνα με τον Fahn (1990), τα είδη στα οποία δεν έχει διαπιστωθεί η παρουσία φακιδίων στο περιδερμά τους είναι ελάχιστα (*Anabasis*, *Campsis radicans*, *Haloxylon*, *Philadelphus*).

Τα πρώτα φακίδια σχηματίζονται ταυτόχρονα ή λίγο πριν τη δημιουργία του περιδέρματος. Τα φακίδια που σχηματίζονται ταυτόχρονα με το περιδέρμα προέρχονται από το φελλοκάμβιο ενώ αυτά των οποίων η δημιουργία προηγείται του περιδέρματος, προέρχονται από τη μιτωτική ενεργοποίηση παρεγχυματικών κυττάρων κάτω από τα στόματα (Mauseth 1988). Σε φυτά με λείο και λεπτό φλοιό, τα φακίδια είναι εμφανή ακόμα και με γυμνό μάτι ως στίγματα πάνω στο βλαστό. Αντίθετα, σε βλαστούς με τραχύ και παχύ φλοιό, δεν μπορούν να εντοπιστούν παρά μόνον με τη βοήθεια του στερεοσκοπίου. Κατά την αύξηση του βλαστού, τα φακίδια αυξάνονται τόσο σε πλάτος όσο και σε μήκος ακολουθώντας την αύξηση του φελλοκάμβιου (Mauseth 1988, Fahn 1990).

Η εμφάνιση φακιδίων στην επιφάνεια του βλαστού φαίνεται να σχετίζεται με τη διατήρηση μιας περιορισμένης επικοινωνίας με το εξωτερικό περιβάλλον, ακόμη και μετά το σχηματισμό του περιδέρματος. Η ανατομική οργάνωση των φακιδίων επιτρέπει την ανταλλαγή αερίων μεταξύ βλαστού και ατμόσφαιρας, αποτρέποντας τη δημιουργία περιβάλλοντος υποξίας στο εσωτερικό του βλαστού (Esau 1960, Fahn 1990, Groh *et al.* 2002, Langenfeld-Heysler *et al.* 1996, Mauseth 1988, Pfanz and Aschan 2001, Αϊβαλάκης κ.α. 2005). Ωστόσο, είναι πιθανό να αποτελεί δίοδο σε παθογόνα και εχθρούς (Rosner and Fohrer 2002), ενώ επιτρέπει περιορισμένη είσοδο υδατικών διαλυμάτων (Groh *et al.* 2002, Pfanz and Aschan 2001).

A4. ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΒΛΑΣΤΟΥ ΤΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ

4.1 Η φωτοσύνθεση του βλαστού

4.1.1 Ιστορική αναδρομή για την έρευνα της φωτοσύνθεσης των βλαστών

Η παρατήρηση της ύπαρξης πράσινου ιστού στους βλαστούς ποωδών φυτών και δέντρων, η οποία υποδηλώνει την ύπαρξη χλωροφυλλών, έδωσε το έναυσμα για την έναρξη εκτεταμένης έρευνας προκειμένου να διερευνηθεί αν οι βλαστοί είναι ικανοί να φωτοσυνθέτουν και σε ποιο βαθμό.

Η έρευνα με θέμα την φωτοσύνθεση του βλαστού άρχισε στις αρχές του 19ου αιώνα με την παρατήρηση χλωροφύλλης στους βλαστούς καθώς και στομάτων στην επιφάνειά τους. Από τότε έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες σχετικά με τη φύση, το μέγεθος και τη φωτοσυνθετική ικανότητα των χλωροφυλλούχων βλαστών. Πριν το 1950 οι μελέτες επικεντρώνονταν στην αναγνώριση και περιγραφή της ανατομίας του πράσινου ιστού του βλαστού καθώς και στη μέτρηση της περιεχόμενης χλωροφύλλης. Κατά την εικοσαετία 1950-1970 ορισμένοι επιστήμονες ασχολήθηκαν με την ένταση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των βλαστών ενώ προσπάθησαν να υπολογίσουν το δυναμικό συνεισφοράς των βλαστών στην εξοικονόμηση άνθρακα για όλο το φυτό, συγκρινόμενο με το δυναμικό συνεισφοράς των φύλλων. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1970-1990 το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας εστιάστηκε στη σύγκριση της φωτοσυνθετικής ικανότητας μεταξύ φύλλων και βλαστών σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Πρόσφατα, η προσαρμογή και ο εγκλιματισμός σε περιορισμένο τοπικό επίπεδο έχουν γίνει τα κύρια αντικείμενα έρευνας όσον αφορά στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των βλαστών (Nilsen 1995).

4.1.2 Η «φωτοσύνθεση του φλοιού» του βλαστού

Σύμφωνα με τον Nilsen (1995), τα φυτικά είδη που διαθέτουν φωτοσυνθετικούς βλαστούς μπορούν να καταταγούν σε τρεις κατηγορίες με βάση τόσο τα ανατομικά τους χαρακτηριστικά όσο και τα βιοχημικά πρότυπα αφομοίωσης CO₂ από τους χλωροπλάστες τους. Ο χαρακτηρισμός της κάθε κατηγορίας βασίζεται στην

ορολογία που έχει χρησιμοποιηθεί από τους Φυσιολόγους για το διαχωρισμό των λειτουργικών ομάδων φυτών (C3, C4, CAM) με βάση το πρότυπο αφομοίωσης του CO₂. Συνεκτιμώντας τα παραπάνω, οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- «CAM (Crassulacean Acid Metabolism) φωτοσύνθεση του βλαστού»
- «φωτοσύνθεση του φλοιού» των βλαστών και
- «C3 φωτοσύνθεση του βλαστού»

Το πρότυπο αφομοίωσης CO₂ της κάθε κατηγορίας δεν απαντάται αποκλειστικά στους βλαστούς. Έτσι, σε πολλά είδη κάκτων, η φωτοσύνθεση τύπου CAM λειτουργεί τόσο στους βλαστούς όσο και στα φύλλα. Επίσης, η «φωτοσύνθεση του φλοιού» απαντάται και σε άλλα φυτικά όργανα όπως οι ρίζες, ενώ η «C3 φωτοσύνθεση του βλαστού» παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες με την C3 φωτοσύνθεση των φύλλων (Nilsen 1995).

Το λειτουργικό πρότυπο αφομοίωσης CO₂ στους βλαστούς που αφορά την παρούσα εργασία είναι αυτό της «φωτοσύνθεσης του φλοιού» των βλαστών. Το πρότυπο αυτό φαίνεται ότι λειτουργεί σε νεαρούς κυρίως βλαστούς πολλών φυτικών ειδών, σε παρεγχυματικά κύτταρα στο ξύλο πολλών θάμνων και δένδρων καθώς και στο φλοιό μικρότερου αριθμού ξυλωδών ειδών (Schaedle 1975), όπως την περίπτωση της ελιάς όπου η φωτοσύνθεση του φλοιού λειτουργεί στο φωτοσυνθετικό παρέγχυμα που εντοπίζεται στην περιοχή του φλοιού του βλαστού (Filippou *et al.* 2007). Το πρότυπο αυτό παρατηρείται και σε βλαστούς ερημικών και ημιερημικών ειδών, αλλά συχνότερα σε βλαστούς φυλλοβόλων δέντρων της εύκρατης ζώνης (Nedoff *et al.* 1985, Franco-Vizcaino *et al.* 1990). Έτσι, ιδιαίτερη έμφαση στη διεθνή βιβλιογραφία δίδεται στο ρόλο της φωτοσύνθεσης του φλοιού των φυλλοβόλων δέντρων κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο, όπου σταματά η φωτοσυνθετική διαδικασία των φύλλων (Foote and Schaedle 1976, Muthuchelian 1992). Πολυετή φυλλοβόλα δέντρα όπως και ορισμένα κωνοφόρα (π.χ. είδη του γένους *Larix*), παρουσιάζουν φυλλόπτωση αργά το φθινόπωρο αφήνοντας τους βλαστούς και τους κλάδους γυμνούς. Ανάλογα περιστατικά εκτεταμένης αποφύλλωσης μπορεί να παρατηρηθούν εξαιτίας προσβολής εντόμων, έντονης ατμοσφαιρικής ρύπανσης και εκτεταμένης ξηρασίας. Βεβαίως, πλήρης αποφύλλωση δεν σημαίνει και κατάρρευση της φωτοσυνθετικής διαδικασίας εφόσον υπάρχει ενεργό φωτοσυνθετικό παρέγχυμα σε βλαστούς και κλάδους του δέντρου που διασφαλίζει μια πιθανή τροφοδοσία σε σάκχαρα (Schaedle 1975, Larcher *et al.* 1988, Nilsen 1995, Pfanzen and Aschan 2001).

Στους ξυλώδεις βλαστούς φυτικών ειδών η φωτοσύνθεση του φλοιού εντοπίζεται στα χλωροεγγυματικά στρώματα που βρίσκονται κάτω από ένα καλά ανεπτυγμένο περίδερμα (Εικόνα 6). Το περίδερμα, ή σε ορισμένες περιπτώσεις το ρυτίδωμα, αυτών των βλαστών αποτελεί ένα περιοριστικό παράγοντα όσον αφορά τη διάχυση των αερίων από και προς το εσωτερικό του βλαστού και χαρακτηρίζεται από χαμηλή περατότητα φωτός (Pfanz και Aschan 2001). Το περίδερμα των βλαστών στους οποίους λειτουργεί η φωτοσύνθεση του φλοιού συνήθως δεν φέρει στόματα. Το ατμοσφαιρικό CO₂ διαχέεται προς το χλωρέγγυμα του φλοιού μέσω ρωγμών της επιφάνειας ή μέσω φακιδίων, ενώ το εσωτερικά εκλυόμενο CO₂ της αναπνοής διαχέεται μέσω των εσωτερικών ιστών και των μεσοκυττάρων χώρων (Pfanz *et al.* 2002).



Εικόνα 6: Κάτω από το περίδερμα, φαίνεται το χλωρέγγυμα του φλοιού (άνω τμήμα) και το ξύλωμα (κάτω τμήμα) στο είδος *Sambucus nigra* (Pfanz *et al.* 2002).

Με βάση τη βιβλιογραφία, η φωτοσύνθεση του φλοιού των βλαστών των δέντρων εξαρτάται από παράγοντες όπως: το φυτικό είδος, την ηλικία των βλαστών, τις συνθήκες ανάπτυξής τους, την εποχή, τις ανατομικές ιδιαιτερότητες των βλαστών, τον προσανατολισμό τους κ.α. (Nilsen 1995, Pfanz *et al.* 2002).

Η φωτοσύνθεση του φλοιού των βλαστών εμφανίζει παρόμοια λειτουργικά χαρακτηριστικά με αυτή των φύλλων. Προκειμένου να είναι λειτουργική και αποτελεσματική ως μηχανισμός αφομοίωσης CO₂, είναι απαραίτητο να καλύπτονται ορισμένες προϋποθέσεις. Εκτός από την αποτελεσματική δομή των χλωροπλαστών και τον υποχρεωτικό εξοπλισμό τους σε συγκεκριμένα ενζυμικά συστήματα, είναι

απαραίτητη και η επάρκεια σε θρεπτικά συστατικά, νερό, φως και CO₂ (Pfanzen *et al.* 2002).

4.1.3 Σημασία της φωτοσύνθεσης του φλοιού των βλαστών

Οι βλαστοί, όπως όλα τα ζωντανά όργανα του φυτού μέσω της αναπνευστικής δραστηριότητας παράγουν CO₂ και καταναλώνουν O₂. Στους περισσότερους βλαστούς, ιδιαίτερα σε περιόδους έντονης μετακίνησης συστατικών, η αναπνευστική δραστηριότητα είναι ιδιαίτερα έντονη. Η αδυναμία απρόσκοπτης ανταλλαγής αερίων με το περιβάλλον, λόγω κυρίως της έλλειψης στομάτων, μπορεί να προκαλέσει αύξηση των επιπέδων CO₂ στο εσωτερικό των βλαστών ακόμη και σε τοξικά επίπεδα. Φαίνεται ωστόσο ότι λειτουργούν μηχανισμοί ανακύκλωσης του CO₂ ώστε να αποφεύγονται οι παρενέργειες. Σημαντική συμβολή στον έλεγχο των επιπέδων του CO₂ θα πρέπει να έχει και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φλοιού, εφ' όσον υπάρχει φωτοσυνθετικό παρέγχυμα (Αϊβαλάκης κ.α. 2005).

Σύμφωνα με τον Nilsen (1995), το καθαρό ισοζύγιο στην ανταλλαγή CO₂ των βλαστών με «φωτοσύνθεση του φλοιού» είναι μηδενικό ή ελαφρώς αρνητικό, οπότε ο ρόλος της συγκεκριμένης διαδικασίας περιορίζεται στην επαναδέσμευση του CO₂ της αναπνοής. Με την παραπάνω υπόθεση φαίνεται να συμφωνούν και οι Cernusak and Marshall (2000), οι οποίοι μελετώντας τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των βλαστών του *Pinus monticola* κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στους βλαστούς ανακυκλώνεται το 75% του CO₂ που παράγεται μέσω της αναπνευστικής τους δραστηριότητας. Η φωτοσύνθεση του φλοιού, λοιπόν, φαίνεται ότι διαδραματίζει ζωτικής σημασίας ρόλο, κυρίως στην ανακύκλωση (αξιοποίηση – επαναφομοίωση) του εσωτερικά εκλυόμενου CO₂, ενώ παράλληλα αυξάνει την συγκέντρωση του O₂ στο εσωτερικό των βλαστών ώστε να μην επικρατούν συνθήκες υποξίας ή ανοξίας (Aschan and Pfanzen 2003).

Παρότι υπάρχουν αρκετές μελέτες σχετικές με την ύπαρξη και το μέγεθος της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του φλοιού, είναι ακόμα δύσκολο να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια η συνεισφορά της στην ενεργειακή ισορροπία του δέντρου και στο ισοζύγιο του άνθρακα σε ετήσια βάση. Μελέτες δείχνουν ότι η συνεισφορά της φωτοσύνθεσης του φλοιού σε επίπεδο δέντρου κυμαίνονται από 5-15 % για

φυλλοβόλα είδη του γένους *Populus L.* (Schaedle and Foote 1971, Schaedle 1975, Kharouk *et al.* 1995).

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Filippou *et al.* (2007) βρέθηκε ότι στους βλαστούς αντιστοιχεί το 10,7% της καθαρής φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του δένδρου της ελιάς και το 11% των ολικών χλωροφυλλών του. Η φωτοσυνθετική ικανότητα του φλοιού αυτών των βλαστών της ελιάς, η οποία ανέρχεται σε 37,7% της αντίστοιχης των φύλλων, υποδηλώνει τη δυνατότητα σημαντικής συνεισφοράς των φωτοσυνθετικών ιστών του φλοιού, αφενός στην μείωση των απωλειών άνθρακα και αφετέρου στην αφομοίωση του ατμοσφαιρικού CO₂. Η ίδια παράμετρος εκφρασμένη ανά μονάδα χλωροφυλλών, κυμάνθηκε σε ανάλογα επίπεδα με την αντίστοιχη των φύλλων αναδεικνύοντας τον σημαντικό βαθμό λειτουργικότητας των φωτοσυνθετικών μονάδων των βλαστών. Επίσης, η καθαρή φωτοσυνθετική ικανότητα βλαστών ελιάς, ηλικίας από ενός έως και τριάντα ετών, εμφανίστηκε θετική. Είναι φανερό λοιπόν ότι τόσο οι νεαροί όσο και οι βλαστοί ελιάς μεγαλύτερης ηλικίας συνεισφέρουν σημαντικά στην εξοικονόμηση άνθρακα του δένδρου (Filippou *et al.* 2007).

4.2 Τα αέρια στο εσωτερικό των βλαστών

Όπως συμβαίνει και σε άλλα φυτικά όργανα, στους βλαστούς παρατηρείται μια σταθερή αναλογία παραγωγής και κατανάλωσης O₂ και CO₂. Τα μιτοχόνδρια στα κύτταρα του φλοιού, του ξύλου και της εντεριόνης παράγουν μέσω της αναπνευστικής διαδικασίας CO₂, αυξάνοντας τη συγκέντρωσή του στο εσωτερικό των βλαστών, μειώνοντας όμως ταυτόχρονα τη συγκέντρωση του οξυγόνου (Pfanzen *et al.* 2002). Έτσι, η αναλογία των μερικών πιέσεων των αερίων στο εσωτερικό κορμών και βλαστών που σχετίζονται με τη φωτοσυνθετική διαδικασία διαφέρει σημαντικά από την αναλογία των μερικών πιέσεων των αερίων της ατμόσφαιρας (Schaedle 1975). Στο εσωτερικό των βλαστών ορισμένων φυτικών ειδών (του γένους *Populus*, *Quercus* και *Betula*) παρατηρούνται συνήθως υψηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ και χαμηλότερες O₂ από αυτές της ατμόσφαιρας (Pfanzen and Aschan 2001, Gansert *et al.* 2001). Γενικά, τα πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με την συγκέντρωση του O₂ και του CO₂ στο εσωτερικό των βλαστών παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές (Πίνακας 1). Οι διαφορές αυτές πιθανόν να οφείλονται στις διαφορετικές τεχνικές

μέτρησης που χρησιμοποιούνται δεδομένου ότι υπάρχουν αναφορές τόσο για μετρήσεις στο εργαστήριο όσο και για μετρήσεις επάνω στο δέντρο (Pfanzen and Aschan 2001).

Πίνακας 1: Τιμές της συγκέντρωσης O₂ και CO₂ στο εσωτερικό βλαστών διαφόρων ειδών όπως αναφέρεται από τους Pfanzen and Aschan (2001)

| Είδος | Συγκέντρωση O ₂ στο εσωτερικό του βλαστού (w/v) | Συγκέντρωση CO ₂ στο εσωτερικό του βλαστού (w/v) |
|------------------------------------|--|---|
| <i>Betula pendula</i> | - | ~3 |
| <i>Cargenia gigantea</i> | 18 - 31 | 0,04 - 3,8 |
| <i>Distemonanthus benthamianus</i> | - | 3,2 |
| <i>Jugladiis major</i> | 8 - 15 | 5,22 |
| <i>Musanga cecropioides</i> | - | 8,5 |
| <i>Parcinsonia microphylla</i> | 5,5 - 22,3 | 1 - 13,3 |
| <i>Picea abies</i> | - | 1 - 10 |
| <i>Pinus radiata</i> | - | 1,25 |
| <i>P. strobus</i> | 11(X) - 3(K) | 4(X) - 10(K) |
| <i>P. sylvestris</i> | | 0,3 - 2 |
| <i>Populus deltoides</i> | 5(X) - 1(K) | 9(X) - 16(K) |
| <i>P. tremuloides</i> | 0 - 21,2 | 0,04 - 18,5 |
| <i>Quercus agrifolia</i> | 11,3 - 18,5 | 1,4 - 26,3 |
| <i>Q. borealis</i> | 14(X) - 12(K) | 2(X) - 4(K) |
| <i>Salix lasiolepis</i> | 8 - 14 | 4,8 - 13,3 |
| <i>Sequoia sempervirens</i> | 8,5 - 17,5 | 2 - 9,4 |
| <i>Ulmus americana</i> | 6(X) - 3(K) | 5(X) - 13(K) |

*X=XΕΙΜΩΝΑΣ και K=ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

** 1% w/v=1000 Pa=10.000 μmol/mol=10.000 ppm

Η περιεκτικότητα των βλαστών σε O₂ και CO₂ παρουσιάζει ημερήσιες και εποχικές διακυμάνσεις (Πίνακας 1). Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι κατά την εποχή ανάπτυξης η περιεκτικότητα των βλαστών σε CO₂ κυμαίνεται μεταξύ 1 και 26 %, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες παραμένει κοντά στα ατμοσφαιρικά επίπεδα (Schaedle 1975). Μελέτες στο είδος *Picea abies* αναφέρουν ότι την άνοιξη η εσωτερική περιεκτικότητα των βλαστών σε CO₂ ήταν μόλις 1% ενώ το καλοκαίρι έφτασε στο 10%. Ωστόσο, η περιεκτικότητα των βλαστών του είδους αυτού σε O₂ παρουσιάζει εντονότερες διαφορές, με ελάχιστες τιμές το καλοκαίρι (5%) και μέγιστες το φθινόπωρο (20%) (Pfanzen and Aschan 2001, Pfanzen *et al.* 2002).

Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό ρόλο στην εξισορρόπηση της αναλογίας CO₂ / O₂ στο εσωτερικό των βλαστών φαίνεται να παίζει η φωτοσυνθετική λειτουργία τους. Ενδεικτικά στο είδος *Pinus sylvestris* αναφέρεται ότι λόγω της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των νεαρών βλαστών η συγκέντρωση του CO₂ στο εσωτερικό τους

μειώθηκε 3-5 φορές (Kairiainen *et al.* 1998). Πέρα όμως από τη φωτοσυνθετική διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, η αφομοίωση του CO₂ μπορεί να συνεχιστεί και στο σκοτάδι με τη βοήθεια του ενζύμου PEP- καρβοξυλάση (Pfanz *et al.* 2002).

Σύμφωνα με τους Pfanz and Aschan (2001) η περιεκτικότητα του CO₂ στο εσωτερικό των βλαστών είναι πολλαπλάσια της αντίστοιχης στο εσωτερικό των φύλλων (500-800 φορές), προκαλώντας υπό ορισμένες συνθήκες τοξικότητα και παρεμπόδιση της αναπνευστικής λειτουργίας των ιστών των βλαστών (Levy *et al.* 1999, Pfanz and Aschan 2001). Πέρα της φωτοσυνθετικής αφομοίωσης του CO₂, είναι επομένως πιθανό να έχουν αναπτυχθεί από το φυτό, μηχανισμοί αποτοξίνωσης, μέσω ελάττωσης του εσωτερικά παραγόμενου CO₂, αφενός με διάχυση προς την ατμόσφαιρα μέσω ανατομικών κατασκευών στην επιφάνεια των βλαστών και αφετέρου με απομάκρυνση του διαπνευστικού ρεύματος μέσω των ξυλωδών αγγείων προς τα κατεξοχήν αφομοιωτικά όργανα που είναι τα φύλλα (Kairiainen *et al.* 1998, Pfanz and Aschan 2001, Teskey and McGuire 2002)

Αντίστοιχες μεθόδους αλλά με αντίστροφη κατεύθυνση από εκείνη του CO₂ φαίνεται να ακολουθεί η τροφοδοσία του εσωτερικού των βλαστών με O₂ (Gansert *et al.* 2001). Γενικά, ο εφοδιασμός των κυττάρων στο εσωτερικό των βλαστών με O₂ είναι απαραίτητος προκειμένου να διασφαλιστεί η απαραίτητη ενέργεια μέσω της αερόβιας αναπνοής τους. Οι μεσοκυττάριοι χώροι που παρατηρούνται στην περιοχή του εσωτερικού φλοιού και του καμβίου των βλαστών ορισμένων φυτικών ειδών, προσαρμοσμένα σε συνθήκες κατάκλισης εδάφους, διευκολύνουν την διάχυση αερίων στο εσωτερικό τους. Σε είδη τα οποία στερούνται μεσοκυττάρια χώρων στην προαναφερόμενη περιοχή του βλαστού τους, η κύρια πηγή τροφοδοσίας O₂ στο εσωτερικό τους θεωρείται το διαπνευστικό ρεύμα. Γενικά, οι ζωντανοί ιστοί στο εσωτερικό των βλαστών καλύπτουν τις ανάγκες τους σε O₂ με διάχυση από την ατμόσφαιρα μέσω ανατομικών κατασκευών στην επιφάνεια των βλαστών (στόματα, φακίδια και ρωγμές) και με μεταφορά από τις ρίζες μέσω της υδατικής φάσης με το διαπνευστικό ρεύμα (Gansert *et al.* 2001, Sorz and Hietz 2006).

Αν και ο κύριος τρόπος τροφοδοσίας O₂ των παρεγχυματικών ιστών στο εσωτερικό του βλαστού θεωρείται ότι συντελείται μέσω διάχυσης από την ατμόσφαιρα δια μέσου των φακιδίων, σε έρευνά τους οι Mancuso and Marras (2003) έδειξαν ότι στην ελιά κατά τη διάρκεια της ημέρας, το σύνολο του O₂ που περιέχεται στο ξύλο προέρχεται από το διαπνευστικό ρεύμα (ακολουθώντας την οδό έδαφος – φυτό -

ατμόσφαιρα) ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας έχει προέλθει διακινούμενο κυρίως (87%) μέσω της υδατικής φάσης του ξύλου και δευτερευόντως (13%) μέσω διάχυσης από την ατμόσφαιρα δια μέσου των φακιδίων.

Κατά τη διάρκεια πειράματος από τους Filippou *et al.* (2007) σε βλαστούς ελιάς, η παρουσία των φακιδίων υπήρξε έντονη ενώ εντάθηκε με την αύξηση της ηλικίας των βλαστών, υποδηλώνοντας πιθανώς αυξημένη ανάγκη επικοινωνίας (αυξημένες ανάγκες ανταλλαγής αερίων). Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των βλαστών σε CO₂ (Pfanzen and Aschan 2001, Pfanzen *et al.* 2002), είναι πολύ πιθανόν τα φακίδια να αποτελούν απλώς μια δίοδο ανταλλαγής αερίων (O₂ και CO₂) και νερού από και προς το εσωτερικό των βλαστών. Η ικανότητά τους στην ανταλλαγή αερίων αν και μικρότερη των στομάτων, θεωρείται πολύ σημαντική (Groh *et al.* 2002).

A5. ΤΑ ΔΕΝΔΡΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

5.1 Γενικά για την Δενδρομετρία

Δενδρομετρία (Dendrometry ή Forest Mensuration) είναι ο κλάδος εκείνος της Δασολογικής επιστήμης που ασχολείται με τη μέτρηση των δασικών δέντρων, των συστάδων και των δασικών προϊόντων. Η δενδρομετρία είναι ένας κλάδος που συνδέεται στενά με πολλούς άλλους κλάδους όπως τη Βοτανική, Δενδρολογία, Δασοκομική, Δασική εδαφολογία, Υλοχρηστική, Δασική Οικονομική, Δασική Πολιτική, Δασική Διοικητική, Δασική Αεροφωτογραφία, ενώ η Δασική Διαχειριστική βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα αποτελέσματα της δενδρομετρίας.

Τα χαρακτηριστικά των δέντρων και των συστάδων που αποτελούν αντικείμενο μελέτης της δενδρομετρίας διακρίνονται σε στατικά και δυναμικά. Τα στατικά χαρακτηριστικά είναι τα γεωμετρικά ή ποιοτικά χαρακτηριστικά των δέντρων και συστάδων που ενδιαφερόμαστε να βρούμε το μέγεθός τους κατά την στιγμή της μέτρησης όπως π.χ. ο όγκος, το ύψος, η διάμετρος κλπ. Αντίθετα τα δυναμικά χαρακτηριστικά είναι το μέτρο ή η ποσότητα της μεταβολής των στατικών χαρακτηριστικών σε μία καθορισμένη περίοδο π.χ. η προσαύξηση του όγκου, του ύψους, της διαμέτρου κλπ.

Η φυσική σημασία οποιωνδήποτε αριθμητικών δεδομένων που μπορούν να προέλθουν από ένα δασικό οικοσύστημα και όχι μόνο, είναι μεγάλη, ενώ με τη βοήθεια της Δενδρομετρίας επιτυγχάνεται ο χειρισμός τους κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να εκτιμηθούν μεγέθη που είναι δύσκολο να μετρηθούν, να μπορούν να προβλεφθούν τα μεγέθη αυτά στο μέλλον καθώς και να ελέγχονται υποθέσεις και να λαμβάνονται αποφάσεις σε θέματα που εμπεριέχουν το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Η άσκηση της δενδρομετρίας στην πράξη έχει ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση ενός, τις περισσότερες φορές, μεγάλου όγκου αριθμητικών δεδομένων ο οποίος στη συνέχεια θα πρέπει να υποστεί μια σειρά επεξεργασιών, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, για να καταλήξει από δεδομένα σε πληροφορίες (Μάτης 2004).

Όπως αναφέρεται από τον Μάτη (2004), παλαιότερα αντί του όρου Δενδρομετρία είχε χρησιμοποιηθεί ο όρος Ξυλομετρική, ενώ είχε προταθεί και ο όρος Υλομετρική από την Ομηρική λέξη ύλη που σημαίνει δάσος.

5.2 Τύποι δενδρομέτρων

Για την μέτρηση της διαμέτρου του κορμού των δέντρων χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα, τα λεγόμενα δενδρόμετρα, τα οποία ποικίλουν όσον αφορά την ακρίβεια της μέτρησης, την ευκολία στο χειρισμό τους, το κόστος τους κ.α.

Τα δενδρόμετρα μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- αυτά που πραγματοποιούν τη μέτρηση ερχόμενα σε επαφή με τον κορμό (Contact Dendrometers) και
- τα οπτικά δενδρόμετρα (Noncontact/Optical Dendrometers), συσκευές οι οποίες δεν προϋποθέτουν επαφή με τον κορμό αλλά πραγματοποιούν την μέτρηση στηριζόμενα σε αρχές της Προοπτικής Γεωμετρίας.

Τα παχύμετρα (calipers) και οι παχυμετρικές ταινίες (diameter tapes) ήταν τα πρώτα δενδρόμετρα επαφής που χρησιμοποιήθηκαν στη δασολογική επιστήμη (Clark *et al.* 2000).

Το παχύμετρο αποτελείται από δύο βραχίονες, συνήθως 50 εκατοστών και ένα αριθμημένο κανόνα. Ο ένας από τους δύο βραχίονες είναι σταθερά προσαρμοσμένος στον αριθμημένο κανόνα και σχηματίζει γωνία 90^0 , ενώ ο άλλος είναι κινητός, σχηματίζει επίσης γωνία 90^0 και μπορεί να γλιστράει πάνω στον βαθμολογημένο κανόνα.

Η παχυμετρική ταινία έχει μήκος 2-5 μέτρα και στην μία πλευρά της υπάρχει διαίρεση σε εκατοστά, ενώ στην άλλη η διαίρεση είναι τέτοια που παίρνουμε απευθείας το μέγεθος της διαμέτρου (3,14 εκ. περιμέτρου αντιστοιχούν σε 1 εκ. διάμετρο). Έτσι, η παχυμετρική ταινία τοποθετείται γύρω από τον κορμό και παίρνεται είτε η ανάγνωση της περιμέτρου είτε απευθείας της διαμέτρου (Μάτης 2004).

Άλλα είδη δενδρομέτρων επαφής είναι τα ωρολογιακά παχύμετρα σκανδάλης (dial gauges), ο κανόνας του Biltmore, η οπτική ταρίφα του Bitterlich (Bitterlich's sector fork), ο κανόνας του Samoan κλπ. (Clark *et al.* 2000, Wang and Sammis 2007).

Η απλή κατασκευή των παχυμέτρων και των παχυμετρικών ταινιών, το σχέδιο, και η απλή λειτουργία τους τα καθιστούν απαραίτητα ακόμα και σήμερα. Οι μόνες σημαντικές τεχνικές προόδους έρχονται υπό μορφή συσκευών ψηφιακής καταγραφής (Clark *et al.* 2000).

Τα οπτικά δενδρόμετρα, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα επαφής, πραγματοποιούν τη μέτρηση της διαμέτρου εξ' αποστάσεως. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ύπαρξη δύο δεσμών φωτός που πρέπει να υφίστανται ανάμεσα στον παρατηρητή και στον κορμό προς μέτρηση, οι οποίες εφάπτονται στον κορμό σε αντιδιαμετρικά σημεία του. Στην συνέχεια, με τη βοήθεια της προοπτικής Γεωμετρίας, χρησιμοποιώντας τις γωνίες που σχηματίζουν οι δέσμες φωτός και διάφορες μετρήσεις απόστασης, υπολογίζεται η διάμετρος του κορμού.

Τα οπτικά δενδρόμετρα ανάλογα με την αρχή λειτουργίας στην οποία στηρίζεται η μέτρηση, διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- τα Οπτικά παχύμετρα (Optical calipers), με κύριο εκπρόσωπο το πεντάπρισμα του Wheeler,
- τα τηλεμετρικά δενδρόμετρα (Rangefinder dendrometers), με κύριο εκπρόσωπο το δενδρόμετρο Barr και Stroud και
- τα οπτικά δενδρόμετρα των οποίων η μέτρηση βασίζεται στην αρχή των ομοίων τριγώνων (Optical forks), με κύριους εκπροσώπους το κατοπτρικό ρελασκόπιο, το τηλερελασκόπιο, όργανα με ακτινοβολία laser κλπ. (Clark *et al.* 2000).

Παρότι η μέτρηση της διαμέτρου με τη χρήση οπτικών δενδρομέτρων πραγματοποιείται ταχύτερα απ' ό,τι με δενδρόμετρα επαφής, τα αποτελέσματα αυτών δεν διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά την ακρίβεια της μέτρησης (Wang and Sammis 2007).

Τα περισσότερα δενδρόμετρα, εκτός των αυτοματοποιημένων, είναι όργανα αργής απόκρισης και χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της αύξησης του κορμού σε μηνιαία ή ετήσια βάση. Για να μελετηθεί η ημερήσια ή η ωριαία διακύμανση της διαμέτρου του κορμού χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένα δενδρόμετρα είτε συστήματος διαμέτρου (point-type dendrometers), είτε συστήματος περιμέτρου (band-type dendrometers) (Drew and Downes 2009, Wang and Sammis 2007).

Όπως αναφέρουν οι Clark *et al.* (2000) και Wang and Sammis (2007), τα δενδρόμετρα συστήματος διαμέτρου θεωρούνται χαμηλότερης αξιοπιστίας λόγω ότι η μέτρησή τους αφορά την ακτίνα του κορμού σε ένα συγκεκριμένο σημείο, σε αντίθεση με τα συστήματα περιμέτρου, όπου η μέτρηση προκύπτει από το μέσο όρο των ακτινικών μεταβολών σε όλα τα σημεία του κορμού.

Ένα είδος αυτοματοποιημένου δενδρόμετρου επαφής, συστήματος περιμέτρου, αποτελεί και αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, το οποίο φέρει αισθητήρες, αποκαλούμενους ως LVDT (Linear Variable Differential Transformer) και χρησιμοποιείται για την μέτρηση της περιμέτρου του κορμού σε ημερήσια βάση. Οι μετρήσεις της περιμέτρου, τελικά, μπορούν να αναχθούν σε μετρήσεις διαμέτρου με τη χρήση απλών γεωμετρικών τύπων.

5.3 Μέτρηση της διαμέτρου του κορμού φυτών και εφαρμογές

Τα αριθμητικά δεδομένα τα οποία λαμβάνονται με τη χρήση των δενδρομέτρων έχουν μεγάλη αξία κυρίως στην εμπορική δασοκομία αλλά και σε διάφορους ερευνητικούς τομείς. Ειδικότερα, έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της υδατικής κατάστασης των βλαστών των φυτών, την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην δευτερογενή αύξηση των βλαστών και πως επηρεάζεται αυτή από τις μεταβολές διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων, την επίδραση του κλίματος και την δευτερογενή ανάπτυξη στις ιδιότητες του ξύλου κλπ. (Drew and Downes 2009). Εκτιμώντας την υδατική κατάσταση του φυτού, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι ανάγκες μιας καλλιέργειας σε νερό και να σχεδιαστεί ένα πρόγραμμα άρδευσης. Επίσης, μελετώντας την ανταπόκριση του φυτού στις μεταβολές διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων, μπορούν να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες για την εγκατάσταση μιας καλλιέργειας σε μια συγκεκριμένη περιοχή (Drew and Downes 2009).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το κυριότερο πεδίο εφαρμογής, πλην της δασοκομίας, των πειραμάτων που αφορούν τη μέτρηση της διαμέτρου των κορμών των φυτών με τη χρήση δενδρομέτρων είναι ο σχεδιασμός της άρδευσης οπωρώνων και άλλων καλλιεργειών. Έτσι, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που αφορούν την αξιοποίηση των δεδομένων που λαμβάνονται από τα δενδρόμετρα για το σχεδιασμό της άρδευσης σε οπωρώνες με αμυγδαλιές και ροδακινιές (Goldhamer and Fereres 2001, 2004), με δαμασκηνιές (Intrigliolo and Castel 2004), με λεμονιές και μανταρινιές (Ortuno *et al.* 2006, Velez *et al.* 2007), σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τομάτες και πιπεριές (Gallardo *et al.* 2006), ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί τα δενδρόμετρα και για την εκτίμηση της ανθεκτικότητας στο ψύχος σε δέντρα καρυδιάς (Ameglio *et al.* 2001). Επίσης, τα αριθμητικά δεδομένα τα οποία λαμβάνονται με τη χρήση των δενδρομέτρων έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες έρευνες και για τον σχεδιασμό της άρδευσης σε δέντρα ελιάς (Michelakis 1997, Moreno *et al.* 2006, Moriana and Fereres 2002, Perez-Lopez *et al.* 2008).

Ενδεικτικά, κατά τη διάρκεια πειραμάτων από ομάδα ερευνητών με υπεύθυνο τον Δρ. Μιχελάκη Ν. για την εφαρμογή του προγράμματος «Προσδιορισμός βιολογικών δεικτών με σκοπό την βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσεως νερού και της ποιότητας καρπών δενδρωδών καλλιεργειών» την περίοδο 1996-2000 στο Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών Χανίων (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε) στο εργαστήριο αρδεύσεων., σε κάθε κορμό δένδρου ελιάς, τα οποία είχαν φυτευτεί σε μικρολυσίμετρα, είχε τοποθετηθεί ένα δενδρόμετρο για την συνεχή καταγραφή των ακτινικών μεταβολών και σε κάθε μικρολυσίμετρο ένα τενσιόμετρο και ένα πλακίδιο Βουγιούκου για τον έλεγχο του υδατικού δυναμικού του εδάφους. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών καταγράφονταν από ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος μέσω ειδικού αλγορίθμου που στηριζόταν στις ακτινικές μεταβολές, αποφάσιζε την κατάλληλη χρονική στιγμή για την εφαρμογή του ποτίσματος (http://www.nagref-cha.gr/files/Pepragmena_2000.pdf).

Εκτός την υδατική κατάσταση των ιστών στο εσωτερικό του βλαστού η οποία προκαλεί αντιστρέψιμες μεταβολές στη διάμετρο του κορμού, οι διακυμάνσεις της διαμέτρου είναι αποτέλεσμα και των παρακάτω παραγόντων:

- μη αντιστρέψιμη δευτερογενή αύξηση του βλαστού,
- θερμική διαστολή και συστολή των ιστών στο εσωτερικό του βλαστού, οι οποίες προκαλούν αντιστρέψιμες μεταβολές και

- διαστολή των νεκρών αγωγών στοιχείων του ξυλώματος, που οφείλεται στην αυξομείωση της αρνητικής τάσης που εφαρμόζεται εσωτερικά σ' αυτά (Daudet *et al.* 2005).

A6. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των μεταβολών της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια του 24ώρου, της δευτερογενούς αύξησης του βλαστού σε σχέση με διάφορες περιβαλλοντικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια του έτους και του O₂ που περιέχεται στον φλοιό του κορμού και πως αυτό μεταβάλλεται σε ημερήσια αλλά και σε ετήσια βάση.

B. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

B1. ΦΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Αρχικά τα όργανα μέτρησης οξυγόνου και το δενδρόμετρο τοποθετήθηκαν σε ελιές στο δενδροκομείο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών τα οποία όμως υπέστησαν ζημιές λόγω βανδαλισμών και στη συνέχεια ύστερα από επισκευή τους τοποθετήθηκαν σε ασφαλέστερο χώρο πλησίον του Μουσείου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Στο δένδρο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν εφαρμόστηκε καμία καλλιεργητική φροντίδα και άρδευση. Στο σημείο των μετρήσεων κατέστη δυνατή η μεταφορά παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για την συνεχή καταγραφή των μετρήσεων από τους αυτόματους καταγραφείς των οργάνων.

B2. ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Μετρήσεις διαμέτρου

Για τη μέτρηση της διακύμανσης της διαμέτρου του κορμού του δέντρου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στον αγρό κατά τη διάρκεια ενός περίπου έτους και συγκεκριμένα από τον Ιούνιο 2010 μέχρι και τον Μάιο 2011. Αρχικά μετρήθηκαν οι διάμετροι των κλάδων του δέντρου με τη βοήθεια παχυμέτρου και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα αισθητήρια διαμέτρου.

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αισθητήρες διαμέτρου τύπου DC2 της εταιρίας UP GmbH για την ακριβή παρακολούθηση της διακύμανσης της διαμέτρου του κορμού. Οι αισθητήρες της διαμέτρου στηρίχτηκαν σε τέσσερις κλάδους του δέντρου, οι οποίοι είχαν λείο περιδερμα και ίδια περίπου ηλικία, σε ύψος 1,5 m περίπου από το έδαφος και με ειδικό συρματόσχοινο 'INVAR' το οποίο έχει μηδενική θερμική διαστολή.

Οι αισθητήρες της διαμέτρου συνδέθηκαν με αυτόματο καταχωρητή δεδομένων (data-logger) τεσσάρων εισόδων τύπου Dendro-LOG της εταιρίας UP GmbH, ο οποίος είναι αδιάβροχος, ώστε να είναι δυνατή η συνεχή καταγραφή δεδομένων στις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες του αγρού. Το data-logger έφερε λογισμικό

LoggerControl Communication Software για να είναι δυνατή η σύνδεση του με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για να πετύχουμε σε υψηλό βαθμό την ακρίβεια των δεδομένων ήταν απαραίτητο να διατηρήσουμε το αρχικό σχήμα των καλωδίων που συνέδεαν τους αισθητήρες με το data-logger, αποφεύγοντας τα λυγίσματα και τις περιττές καμπυλώσεις.

Ο αυτόματος καταχωρητής δεδομένων, ο οποίος φέρει εσωτερική κάρτα μνήμης, ρυθμίστηκε ώστε να λαμβάνει μετρήσεις σε διαστήματα 30 min και προσδέθηκε με ιμάντα πάνω στον κορμό του δέντρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3: Δενδρόμετρο με αισθητήρες τύπου DC2 και data-logger τύπου DendroLOG

Η αρχή μεθόδου της μέτρησης, σύμφωνα με τους Wei *et al.* (2007), στηρίζεται στην μεταβολή της αντίστασης που φέρουν οι αισθητήρες στον εσωτερικό τους, η οποία προκαλείται από την πίεση που ασκείται στο δρομέα του ροοστάτη τους. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αυξομείωση της ωμικής του αντίστασης και μεταφράζεται ως το αποτέλεσμα της πίεσης που ασκεί η επιφάνεια του δέντρου πάνω στο όργανο, η οποία μεταβάλλεται λόγω της αυξομείωσης της διαμέτρου του κορμού. Η μεταβολή αυτή της αντίστασης καταγράφεται ως ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία ανάγεται στο τέλος σε μήκος με τη βοήθεια εξισώσεων που συσχετίζουν στενά την τιμή της αντίστασης με την στιγμιαία τιμή της έντασης του ρεύματος που διέρχεται

απ' αυτή. Έτσι μπορούν να εκφραστούν τελικά οι διακυμάνσεις της διαμέτρου του κορμού.

2.2 Μετρήσεις οξυγόνου

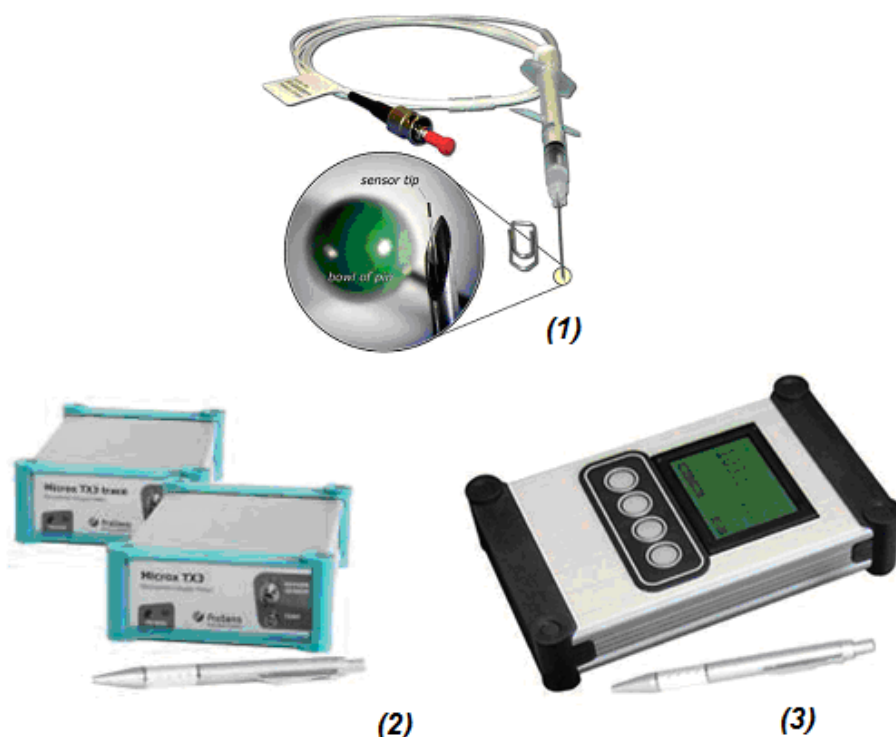
Για τη μέτρηση της περιεκτικότητας σε O_2 του κορμού του δέντρου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στον αγρό κατά τη διάρκεια ενός περίπου έτους, συγχρόνως με τις μετρήσεις της διαμέτρου του κορμού. Ο αισθητήρας οξυγόνου προσαρμόστηκε σε κλάδο του ίδιου δέντρου, με αυτό στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της διαμέτρου, στα όρια του φλοιού και του ξύλου του κορμού και σε ύψος 1,5 m περίπου από το έδαφος. Περιμετρικά του κλάδου και στο σημείο όπου είχε τοποθετηθεί ο αισθητήρας τοποθετήθηκε αλουμινόχαρτο μήκους 40 περίπου εκατοστών για την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης του φλοιού. Στον ίδιο κλάδο του δέντρου, δίπλα στον αισθητήρα του οξυγόνου και στα όρια του φλοιού και του ξύλου επίσης, τοποθετήθηκε και το αισθητήριο της θερμοκρασίας. Μετά το πέρας των παραπάνω μετρήσεων, αφαιρέθηκε το αλουμινόχαρτο και συνεχίστηκε η καταμέτρηση της περιεκτικότητας σε O_2 του κορμού για 18 ημέρες ακόμα.

Για τη μέτρηση της περιεκτικότητας σε O_2 του κορμού του δέντρου χρησιμοποιήθηκε οξυγονόμετρο τύπου Presens Microx TX3, το οποίο συνοδεύεται από λογισμικό Software Version TX3_v602. Στο οξυγονόμετρο συνδέθηκε μικροαισθητήρας οξυγόνου οπτικής ίνας, τύπου Presens Needle-Type Housing (NTH-PSt1), με την άκρη του αισθητήρα να έχει διάμετρο 140 μ m και αισθητήρας θερμοκρασίας τύπου PT 1000.

Τέλος, το σύστημα συνδέθηκε με ένα αυτόματο καταχωρητή δεδομένων με οθόνη LCD (LCD&Data-logger Unit) τύπου Presens Control panel LP-1 v3 με ενσωματωμένο λογισμικό PC Software Version LCDLP1v203 για σύνδεση του με ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να λαμβάνονται τα καταχωρημένα δεδομένα. Ο αυτόματος καταχωρητής δεδομένων ρυθμίστηκε ώστε να λαμβάνει μετρήσεις σε διαστήματα 30 min. Όλο το σύστημα των διασυνδεδεμένων συσκευών τοποθετήθηκε στη βάση του δέντρου μέσα σε αδιάβροχο δοχείο.

Ο μικροαισθητήρας οξυγόνου που συνδέθηκε στο οξυγονόμετρο βαθμονομήθηκε πρωτίστως στο εργαστήριο, χρησιμοποιώντας δύο σημεία βαθμονόμησης. Η βαθμονόμηση στο σημείο μηδέν πραγματοποιήθηκε τοποθετώντας τον αισθητήρα σε

διάλυμα νερού απαλλαγμένο από O_2 , το οποίο ονομάστηκε cal 0. Η βαθμονόμηση στο σημείο εκατό (cal 100) έγινε σε κεκορεσμένο με υδρατμούς αέρα.

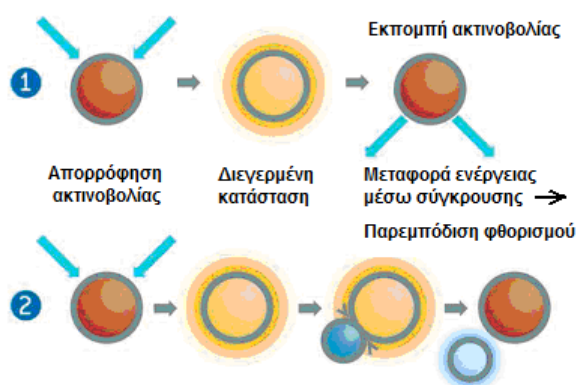


Εικόνα 4: Μικροαισθητήρας οξυγόνου τύπου βελόνας (1), Οξυγονόμετρο τύπου Microx TX3 (2) και Αυτόματος καταχωρητής δεδομένων με οθόνη LCD τύπου Presens Control panel LP-1 v3 (3)

Για την παρασκευή του διαλύματος cal 0, προστέθηκε 1 gr Na_2SO_3 σε δοχείο με 100ml αποσταγμένου νερού. Στην συνέχεια το δοχείο κλείστηκε και ανακινήθηκε καλά για περίπου ένα λεπτό, έτσι ώστε να διαλυθεί το Na_2SO_3 στο νερό. Το νερό απαλλάχθηκε από το διαλυμένο σ' αυτό O_2 λόγω της χημικής αντίδρασης του O_2 με το Na_2SO_3 , ενώ και το O_2 το οποίο διαλυτοποιήθηκε εκ νέου από τον υπερκείμενο του διαλύματος αέρα, απομακρύνθηκε από την περίσσεια Na_2SO_3 . Για την βαθμονόμηση στο σημείο εκατό (cal 100) τοποθετήθηκε υγρό βαμβάκι σε δοχείο, στο καπάκι του οποίου ανοίχτηκαν δύο τρύπες για τον αισθητήρα οξυγόνου και τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Ο αέρας που περιέχει το δοχείο έγινε κεκορεσμένος σε υδρατμούς με την πάροδο δύο λεπτών.

Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρία, η αρχή της μεθόδου μέτρησης που πραγματοποιείται με τους συγκεκριμένους μικροαισθητήρες, οι οποίοι αναφέρονται και ως οπτόδια, βασίζεται στο φαινόμενο της δυναμικής παρεμπόδισης του

φθορισμού της φθορίζουσας ουσίας, η οποία φέρεται στην άκρη του μικροαισθητήρα οξυγόνου, από την παρουσία μοριακού οξυγόνου. Η σύγκρουση μεταξύ της φθορίζουσας ουσίας στην διεγερμένη της κατάσταση και του παρεμποδιστή (οξυγόνο) έχει σαν αποτέλεσμα την αποδιέγερση της φθορίζουσας ουσίας χωρίς την εκπομπή ακτινοβολίας. Μέσω της σύγκρουσης μεταφέρεται ενέργεια από τα μόρια της διεγερμένης φθορίζουσας ουσίας στο οξυγόνο, το οποίο μεταπίπτει από την βασική του κατάσταση στην διεγερμένη. Ως αποτέλεσμα αυτού, η φθορίζουσα ουσία που βρίσκεται στην άκρη του μικροαισθητήρα οξυγόνου δεν εκπέμπει φθορισμό και το μετρούμενο από το όργανο σήμα φθορισμού μειώνεται. Το παρακάτω σχήμα εξηγεί την αρχή αυτή.



Εικόνα 5: Η αρχή της δυναμικής παρεμπόδισης φθορισμού από το μοριακό οξυγόνο. Απεικονίζεται η διαδικασία φθορισμού απουσία οξυγόνου (1) και η παρεμπόδιση φθορισμού της φθορίζουσας ουσίας από το μοριακό οξυγόνο (2).

2.3 Δενδροχρονολόγηση

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων της διαμέτρου και της περιεκτικότητας σε οξυγόνο του κορμού, εφαρμόστηκε μέθοδος δενδροχρονολόγησης σε κλάδο της ελιάς που είχαν τοποθετηθεί τα αισθητήρια. Η δειγματοληψία από το ζωντανό δέντρο έγινε με την αφαίρεση κυλινδρικού δείγματος διαμέτρου 5,15 mm με ειδικό δειγματολήπτη (Increment borer) της εταιρίας Haglof (Sweden) διπλού βήματος (8 mm ανά στροφή). Το δείγμα παρατηρήθηκε και πραγματοποιήθηκε η καταμέτρηση των ετήσιων δακτυλίων σε στερεοσκόπιο τύπου Olympus ZX12.

2.4 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σ' αυτήν την εργασία (ημέρες βροχόπτωσης και ύψος βροχόπτωσης) παραχωρήθηκαν ευγενικά από το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

2.5 Ανάλυση δεδομένων

Τα καταχωρημένα δεδομένα από το δεινδρόμετρο και το οξυγονόμετρο λαμβάνονταν, μετά από επίσκεψη μας στον αγρό, κάθε μήνα περίπου με τη βοήθεια φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή και στο τέλος επεξεργάστηκαν με το Excel Software.

Γ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Γ1. Η ηλικία του κορμού

Η μέθοδος της δένδροχρονολόγησης που εφαρμόστηκε έδειξε ότι η ηλικία του κλαδιού επάνω στο οποίο είχαν τοποθετηθεί οι αισθητήρες του οξυγόνου και της θερμοκρασίας ήταν περίπου 20 ετών.

Γ2. Η αύξηση της διαμέτρου του κορμού

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο Υλικά και Μέθοδοι, οι μετρήσεις της διαμέτρου του κλαδιού διήρκησαν 1 χρόνο, από τον Ιούνιο του 2010 μέχρι και τον Μάιο του 2011.

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η συνολική αύξηση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια του πειράματος. Η συνολική αύξηση της διαμέτρου κατά τη διάρκεια του ενός έτους μετρήθηκε να ανέρχεται σε 1376.19 μm. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1, εντοπίζονται τέσσερις φάσεις κατά την πορεία της αύξησης της διαμέτρου, οι οποίες συμπίπτουν με τις τέσσερις εποχές του χρόνου. Περίοδοι με μεγάλη αύξηση της διαμέτρου εναλλάσσονται με περιόδους κατά τις οποίες η αύξηση είναι μικρή.

Φάση 1.

Από τις αρχές του καλοκαιριού μέχρι τις αρχές του Σεπτεμβρίου η οποία χαρακτηρίζεται από αργή ή και ελαφρώς αρνητική αύξηση κυρίως κατά το μήνα Αύγουστο και με τη μεγαλύτερη αύξηση να συμβαίνει κατά το μήνα Ιούνιο η οποία ήταν 97.81 μm. Η συνολική αύξηση της διαμέτρου κατά τη Φάση 1 μετρήθηκε να είναι 140.67 μm.

Φάση 2.

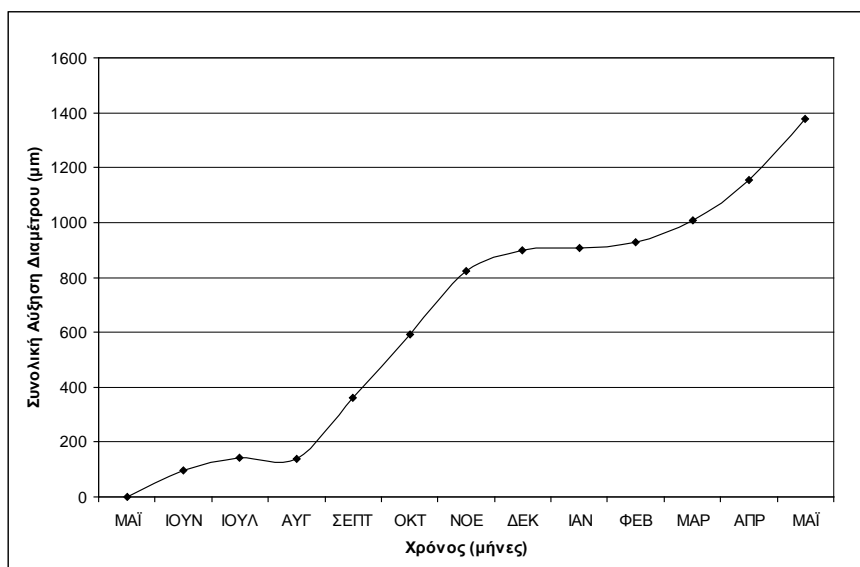
Η φάση αυτή αναφέρεται στους φθινοπωρινούς μήνες δηλαδή Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο κατά τους οποίους παρατηρήθηκε αρκετά σημαντική αύξηση της διαμέτρου η οποία συνολικά ήταν 680.53 μm.

Φάση 3.

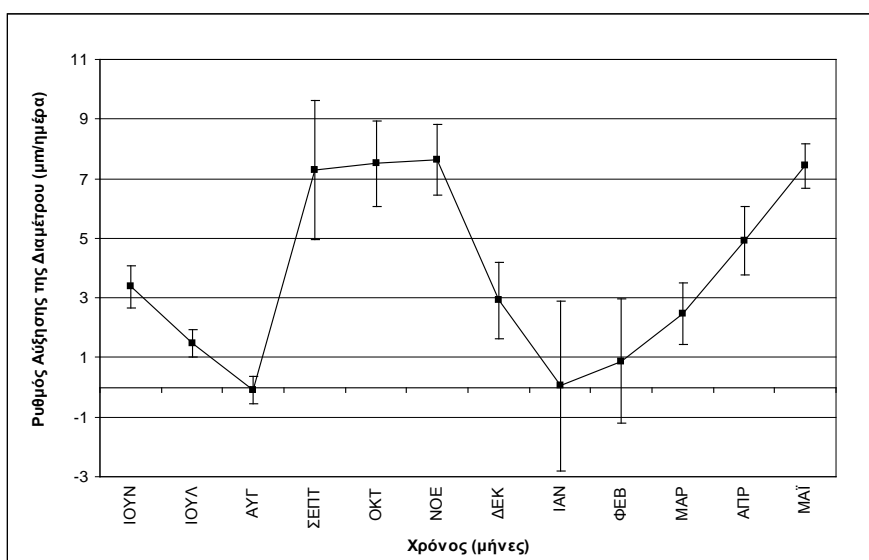
Η φάση 3 διαρκεί από τον Δεκέμβρη μέχρι και τον Φεβρουάριο και κατά την οποία η αύξηση που μετρήθηκε ήταν σχετικά μικρή (108.11 μm), με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται το μήνα Δεκέμβριο, η οποία ήταν 78.59 μm .

Φάση 4.

Αυτή συμπίπτει με τους ανοιξιάτικους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο κατά την οποία η αύξηση της διαμέτρου είναι σχετικά μεγάλη που φτάνει τα 446.88 μm .



Διάγραμμα 6 : Συνολική αύξηση της διαμέτρου του κορμού κατά τη διάρκεια του έτους.

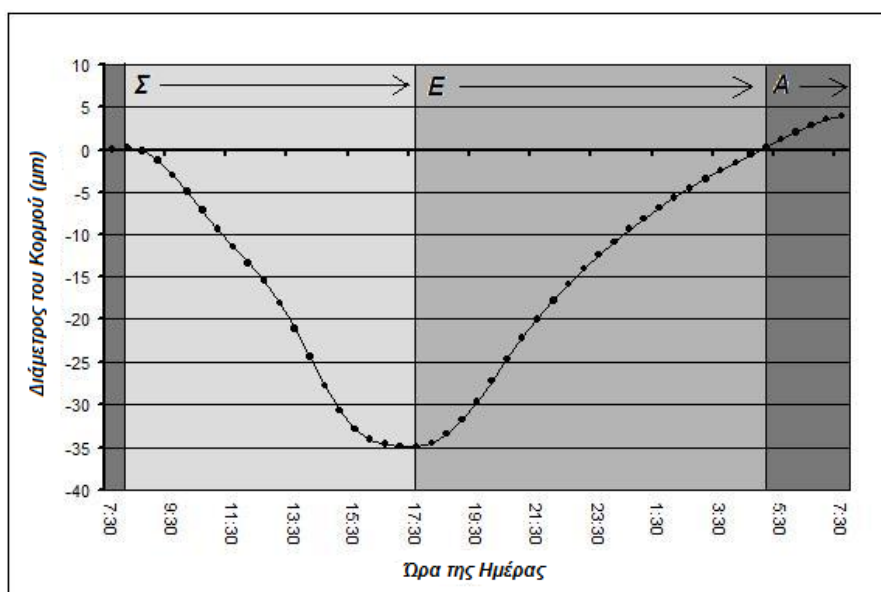


Διάγραμμα 7 : Εποχική μεταβολή του ρυθμού αύξησης της διαμέτρου. Η κάθε τιμή αφορά τον μέσο όρο 30 μετρήσεων \pm τυπικό σφάλμα.

Ο ημερήσιος ρυθμός αύξησης της διαμέτρου και πώς αυτός μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου παρουσιάζεται αναλυτικά στο Διάγραμμα 2. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο ρυθμός αύξησης της διαμέτρου μειώνεται σταδιακά ενώ παίρνει μέχρι και ελαφρώς αρνητικές τιμές κατά το μήνα Αύγουστο. Παρατηρήθηκε ότι η διάμετρος του κορμού αυξάνεται σημαντικά κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, με τον ημερήσιο ρυθμό αύξησης να παίρνει την μέγιστη τιμή του κατά το μήνα Νοέμβριο (7,45 $\mu\text{m}/\text{ημέρα}$). Κατά την άνοιξη, τον μήνα Μάιο, καταγράφηκε ο μέγιστος ρυθμός αύξησης που ήταν 7,63 $\mu\text{m}/\text{ημέρα}$. Τέλος, κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρατηρούμε πάλι μειωμένους ρυθμούς αύξησης ($\sim 1,27 \mu\text{m}/\text{ημέρα}$).

Γ3. Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού

Η ανάλυση των δεδομένων σε ημερήσια βάση έγινε με σκοπό να παρατηρήσουμε και να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά την διάρκεια της ημέρας. Όπως φάνηκε με το πέρας του πειράματος, η διάμετρος του κορμού ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο μεταβολής κατά τη διάρκεια του 24ώρου που απεικονίζεται στο Διάγραμμα 3.

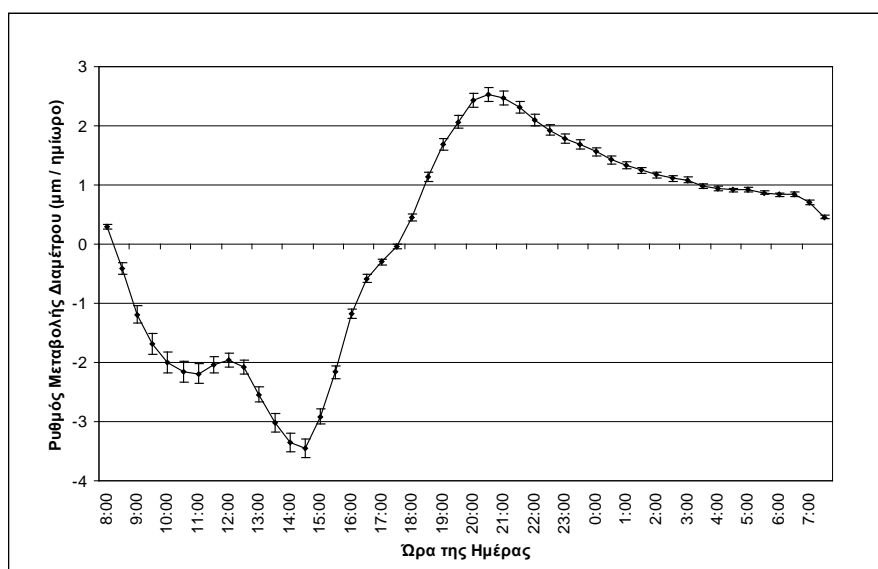


Διάγραμμα 8 : Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια του έτους. Διακρίνονται οι φάσεις της συρρίκνωσης (Σ), της επαναφοράς (Ε) και της αύξησης της διαμέτρου (Α). Οι τιμές αφορούν την μέτρηση της διαμέτρου κάθε ημίωρο μείον τη διάμετρο στις 7:30 το πρωί και αντιστοιχούν στον μέσο όρο 360 μετρήσεων.

Η διάμετρος παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή στις 08:00 το πρωί, η οποία μειώνεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της ημέρας παίρνοντας την ελάχιστη τιμή στις 17:30 το απόγευμα. Στη συνέχεια, αρχίζει και αυξάνει καθόλη τη διάρκεια της νύχτας έως ότου φτάσει σταδιακά στο μέγιστο της προηγούμενης ημέρας, το οποίο συμβαίνει στις 05:00 το πρωί, ενώ συνεχίζει και αυξάνεται μέχρι τις 08:00 το επόμενο πρωί. Η αύξηση που παρατηρείται μεταξύ 05:00 και 08:00 αποτελεί την απόλυτη ημερήσια αύξηση της διαμέτρου του βλαστού. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι διακρίνουμε τρεις φάσεις κατά την ημερήσια μεταβολή της διαμέτρου. Τη φάση της συρρίκνωσης της διαμέτρου που διαρκεί από την 08:00 το πρωί μέχρι τις 17:30 το απόγευμα, τη φάση της επαναφοράς της διαμέτρου στην αρχική τιμή που είχε το πρωί, η οποία διαρκεί

από τις 17:30 το απόγευμα μέχρι τις 05:00 το πρωί και τη φάση της αύξησης της διαμέτρου που διαρκεί από τις 05:00 μέχρι τις 08:00 το πρωί. Η μέση τιμή της συρρίκνωσης της διαμέτρου του κορμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, που προκύπτει από τις μετρήσεις όλου του χρόνου, είναι ίση με 35 μm περίπου, ενώ ο μέσος ημερήσιος ρυθμός αύξησης της διαμέτρου αντίστοιχα είναι ίσος με 4,01 $\mu\text{m}/\text{ημέρα}$ (Διάγραμμα 3).

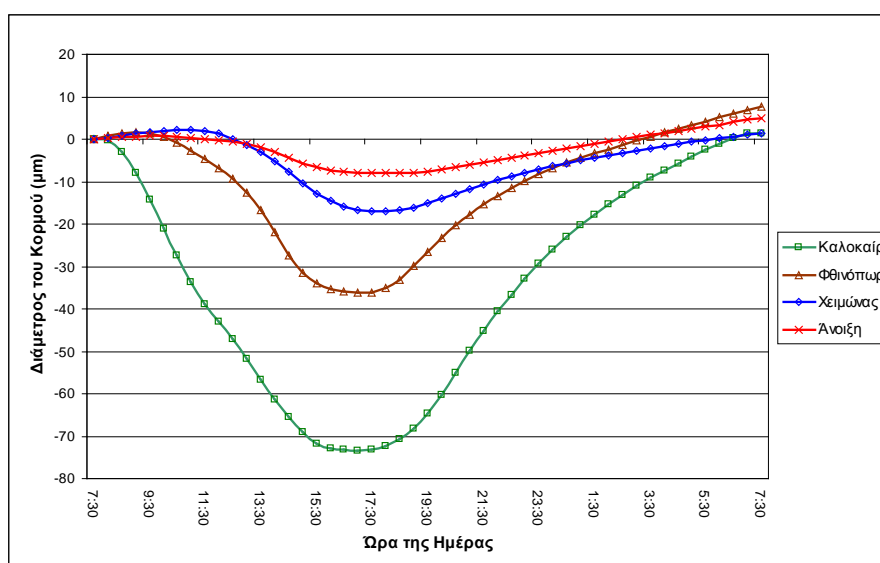
Ο ρυθμός μεταβολής της διαμέτρου κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας του έτους, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4, παίρνει τη μέγιστη αρνητική τιμή του, που είναι ίση με -3,45 $\mu\text{m}/\text{ημίωρο}$, στις 14:30 το μεσημέρι και την μέγιστη θετική τιμή (2.53 $\mu\text{m}/\text{ημίωρο}$) στις 20:30 το βράδυ.



Διάγραμμα 4 : Ρυθμός μεταβολής της Διαμέτρου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι τιμές αντιστοιχούν στο μέσο όρο 360 μετρήσεων \pm τυπικό σφάλμα.

Κατά τη διάρκεια των εποχών του έτους παρατηρούμε μία μεταβολή στο μέγεθος της συρρίκνωσης του κορμού, όπως και στις ώρες που παρατηρούμε τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές της διαμέτρου του (Διάγραμμα 5). Ο κορμός συρρικνώνεται περισσότερο το καλοκαίρι (73,38 μm , η συρρίκνωση της διαμέτρου) κατά τη διάρκεια της ημέρας, αν και το επόμενο πρωί έχει επανέλθει στο αρχικό σημείο και έχοντας υπερκαλύψει τις απώλειες της ημέρας, έχει αυξηθεί και κατά ένα ελάχιστο (1,37 μm). Η συρρίκνωση της διαμέτρου κατά τη διάρκεια της ημέρας μειώνεται σταδιακά σε 36,07 μm το φθινόπωρο, σε 17,11 μm τον χειμώνα και σε 7,98 μm την άνοιξη αντίστοιχα.

Η μετατόπιση των ακραίων τιμών της διαμέτρου (κυρίως του μεγίστου το πρωί) είναι επίσης εμφανής κατά τις διάφορες εποχές (Διάγραμμα 5). Η μέγιστη τιμή της διαμέτρου παρατηρείται στις 07:30 το πρωί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στις 09:00 το πρωί το φθινόπωρο, στις 11:00 το πρωί τον χειμώνα και στις 09:30 το πρωί την άνοιξη αντίστοιχα. Αντίστοιχα η ελάχιστη τιμή της διαμέτρου παρατηρείται στις 17:00 το απόγευμα το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, στις 17:30 το απόγευμα τον χειμώνα και στις 18:00 το απόγευμα την άνοιξη.



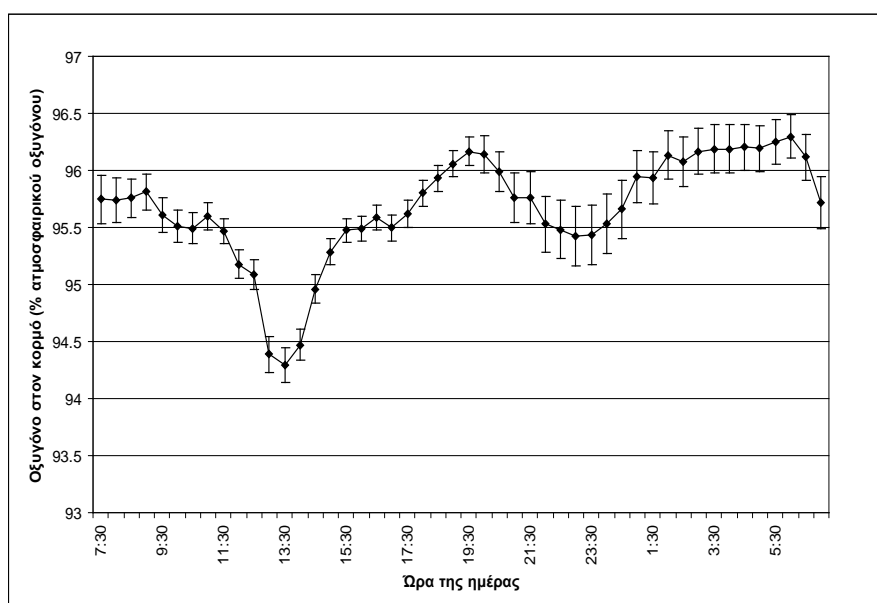
Διάγραμμα 5 : Εποχική μεταβολή της ημερήσιας διακύμανσης της διαμέτρου του κορμού της ελιάς. Οι τιμές αφορούν την μέτρηση της διαμέτρου κάθε ημίωρο μείον τη διάμετρο στις 7:30 το πρωί και αντιστοιχούν στον μέσο όρο 90 μετρήσεων.

Γ4. Η ημερήσια διακύμανση του οξυγόνου στον φλοιό του κορμού

Οι μετρήσεις της περιεκτικότητας σε οξυγόνο του κορμού πραγματοποιήθηκαν παράλληλα με τις μετρήσεις της διακύμανσης της διαμέτρου του κορμού. Το αισθητήριο του οξυγόνου προσαρμόστηκε στο όριο μεταξύ του φλοιού και του ξύλου και καταμετρούσε το οξυγόνο σε υδατική και σε αέρια φάση. Κατά την τοποθέτηση του αισθητηρίου και για 2 περίπου ώρες, όπως έδειξε ο καταγραφέας του οργάνου, παρατηρήθηκε μία ταχεία και μεγάλου βαθμού μείωση του οξυγόνου, η οποία οφείλεται πιθανότατα στην τραυματική αναπνοή των ιστών.

Η ημερήσια διακύμανση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο του κορμού κατά τη διάρκεια του έτους, όπως αυτή καταγράφηκε από το όργανο μέτρησης μας,

παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 6. Γενικά τα επίπεδα οξυγόνου στο φλοιό του κορμού, τα οποία μετρήθηκαν ως εκατοστιαίο ποσοστό του οξυγόνου που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα, κυμαίνονται από $94,3\pm 0,15\%$ μέχρι $96,3\pm 0,19\%$. Παρατηρώντας το Διάγραμμα 6 είναι εμφανές ότι το οξυγόνο έχει μία πτωτική τάση από τις 07:30 το πρωί μέχρι τις 13:30 το μεσημέρι, έπειτα αρχίζει και αυξάνεται μέχρι το επόμενο πρωί, με μία μικρή κάμψη ενδιάμεσα, από τις 19:30 το απόγευμα μέχρι τις 02:00 το βράδυ. Λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις όλου του χρόνου, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του κορμού είναι χαμηλότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας απ' ότι τη νύχτα και παίρνει την ελάχιστη τιμή στις 13:30 το μεσημέρι, η οποία είναι ίση με $94,3\pm 0,15\%$ του οξυγόνου που βρίσκεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ενώ, η μέγιστη τιμή του οξυγόνου κατά τη διάρκεια του 24ώρου, η οποία είναι ίση με $96,3\pm 0,19\%$, παρατηρείται στις 06:00 το πρωί.

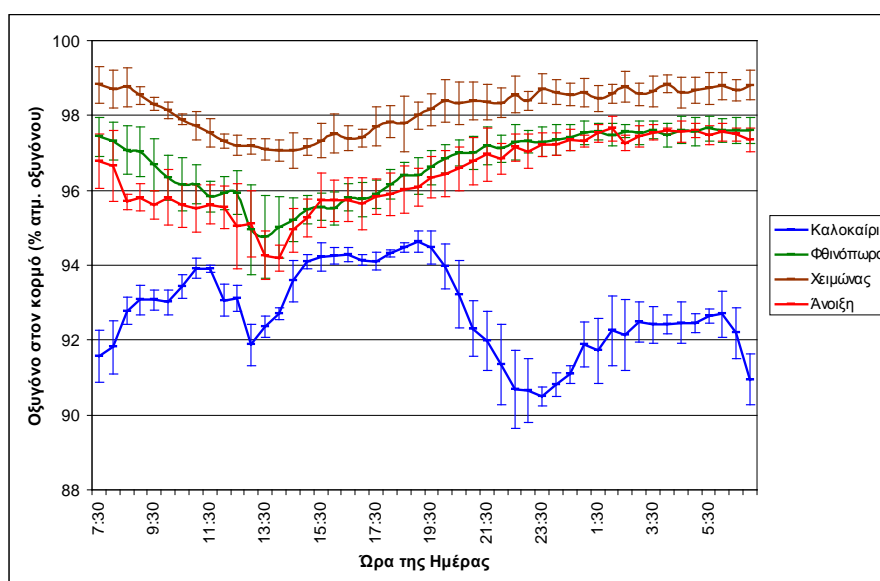


Διάγραμμα 6: Ημερήσια διακύμανση των επιπέδων οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού κατά τη διάρκεια του έτους. Η κάθε τιμή αφορά τον μέσο όρο 360 μετρήσεων \pm τυπικό σφάλμα.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7, κατά τη διάρκεια των εποχών υπάρχει μία μεταβολή στην ημερήσια διακύμανση του οξυγόνου που μετρήθηκε στον κορμό. Εκτός από την καλοκαιρινή περίοδο, κατά την οποία το πρότυπο μεταβολής του οξυγόνου στον κορμό κατά τη διάρκεια ενός τυπικού 24ώρου είναι τελείως διαφορετικό, τις υπόλοιπες εποχές του χρόνου το οξυγόνο ξεκινάει από ένα μέγιστο το πρωί και στην συνέχεια μειώνεται παίρνοντας την ελάχιστη τιμή του το μεσημέρι, γύρω στις 13:00. Μετά από το μεσημέρι και μέχρι τις 20:00 – 21:00 το βράδυ

επανέρχεται σταδιακά στην τιμή που είχε το πρωί ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας παραμένει σχεδόν αμετάβλητο.

Το καλοκαίρι η περιεκτικότητα του κορμού σε οξυγόνο έχει μεγαλύτερη διακύμανση κατά της διάρκεια του 24ώρου σε σχέση με τις άλλες εποχές. Ενώ, όπως επίσης φαίνεται στο Διάγραμμα 7, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι τους καλοκαιρινούς μήνες υπάρχει περισσότερο οξυγόνο στον κορμό κατά τη διάρκεια της ημέρας απ' ό,τι τη νύχτα. Το αντίθετο διαπιστώνεται τις υπόλοιπες εποχές του χρόνου.



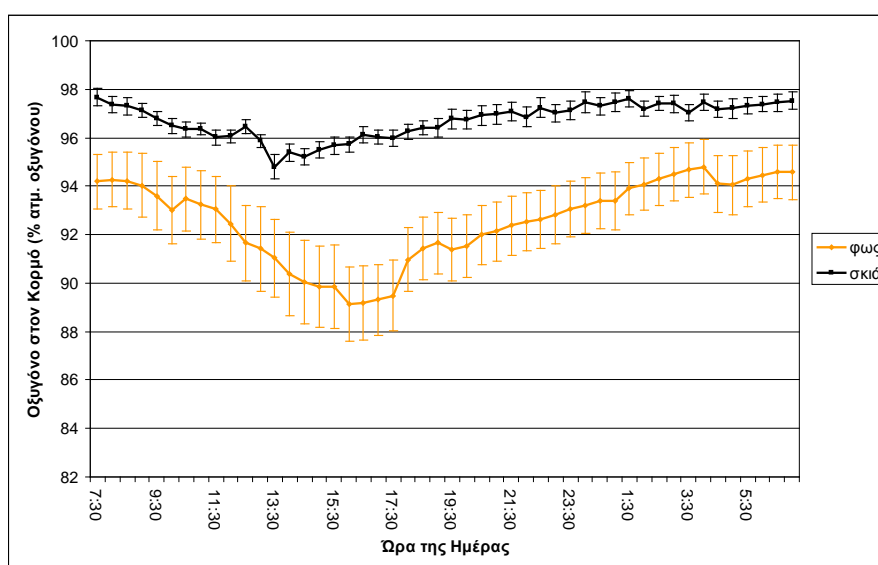
Διάγραμμα 7 : Εποχιακή μεταβολή της ημερήσιας διακύμανσης του οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού. Η κάθε μέτρηση αφορά τον μέσο όρο 90 μετρήσεων \pm τυπικό σφάλμα.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για την περιεκτικότητα σε οξυγόνο του κορμού, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο B.2.2, το τμήμα του κλαριού στο οποίο είχε τοποθετηθεί ο αισθητήρας του οξυγόνου είχε τυλιχτεί με μερικές στρώσεις αλουμινοχαρτού σε μήκος περίπου 40 cm, με σκοπό την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης του φλοιού. Το αλουμινοχαρτό αφαιρέθηκε μετά το πέρας του έτους και συνεχίστηκαν οι μετρήσεις για το οξυγόνο για 18 ακόμα ημέρες. Στην περίπτωση αυτή τα αποτελέσματα που ελήφθησαν έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του κορμού, ο οποίος ήταν καλυμμένος, ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη περιεκτικότητα του κορμού που δεχόταν απ' ευθείας την ηλιακή ακτινοβολία όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8.

Πιο συγκεκριμένα, το οξυγόνο στην περίπτωση του καλυμμένου κορμού κυμαινόταν από $94,80 \pm 0,5\%$ έως $97,68 \pm 0,34\%$, ενώ τα αντίστοιχα επίπεδα για τον γυμνό κορμό

ήταν από $89,12 \pm 1,54\%$ έως $94,80 \pm 1,12\%$. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία του υπό κάλυψη κορμού ήταν $16,51 \pm 0,78\text{ C}^\circ$, ενώ η αντίστοιχη για τον γυμνό κορμό ήταν $19,06 \pm 0,59\text{ C}^\circ$ (τα δεδομένα της θερμοκρασίας δεν παρουσιάζονται).

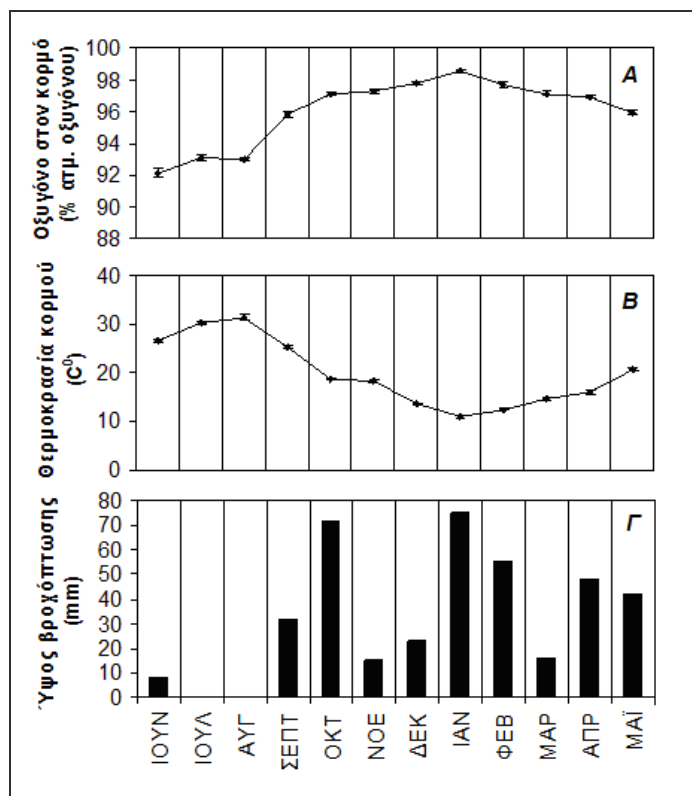
Επίσης, παρατηρώντας το παρακάτω διάγραμμα, διακρίνουμε ότι το εύρος της διακύμανσης του οξυγόνου που περιέχεται στο φλοιό του καλυμμένου κορμού είναι μικρότερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο του οξυγόνου στον γυμνό κορμό. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στην περιεκτικότητα του οξυγόνου στην περίπτωση του καλυμμένου κορμού κατά τη διάρκεια του 24ώρου και ειδικά της νύχτας.



Διάγραμμα 8 : Ημερήσια διακύμανση του οξυγόνου στον καλυμμένο με αλουμινόχαρτο κορμό του δέντρου (σκιά) και η αντίστοιχη διακύμανση χωρίς το αλουμινόχαρτο (φως). Η κάθε τιμή αντιστοιχεί στο μέσο όρο 18 μετρήσεων \pm τυπικό σφάλμα.

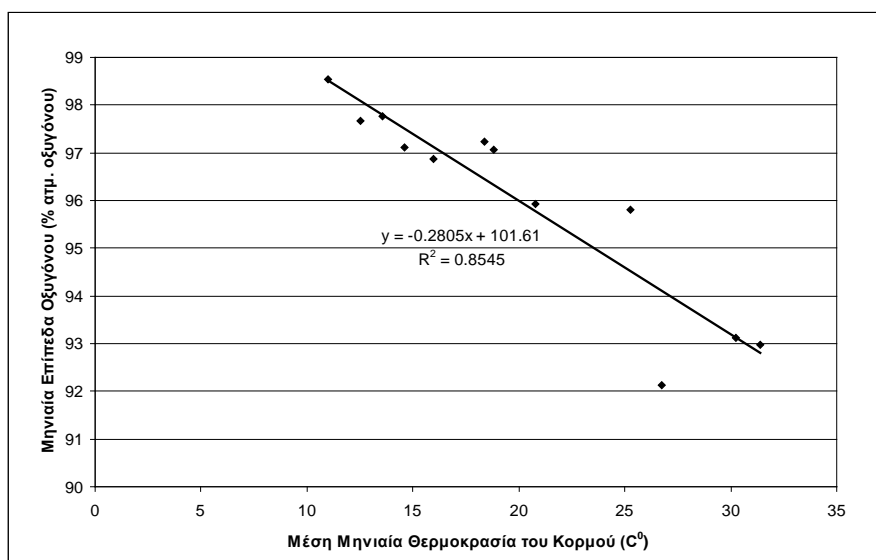
Γ5. Φυσιολογικές και περιβαλλοντικές παράμετροι κατά τη διάρκεια του χρόνου και συσχετίσεις μεταβλητών

Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγραφόταν και η θερμοκρασία του κορμού, με το αισθητήριο να είναι προσαρμοσμένο στα όρια μεταξύ φλοιού και σομού ξύλου και δίπλα στο αισθητήριο του οξυγόνου. Τα μηνιαία επίπεδα του οξυγόνου στον κορμό του δέντρου, η μέση μηνιαία θερμοκρασία, όπως και το ύψος βροχόπτωσης κάθε μήνα, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 9. Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα, το οξυγόνο που περιέχεται στο εσωτερικό του κορμού κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα τους καλοκαιρινούς μήνες ($92,12 \pm 0,12\%$ τον Ιούνιο), σε υψηλότερα τους Χειμερινούς ($98,53 \pm 0,09\%$ τον Ιανουάριο) και στα ίδια περίπου επίπεδα κατά την Άνοιξη και το Φθινόπωρο. Το αντίθετο, περίπου, πρότυπο μεταβολής ακολουθεί η μέση μηνιαία θερμοκρασία του κορμού κατά τη διάρκεια του χρόνου (Διάγραμμα 9B).

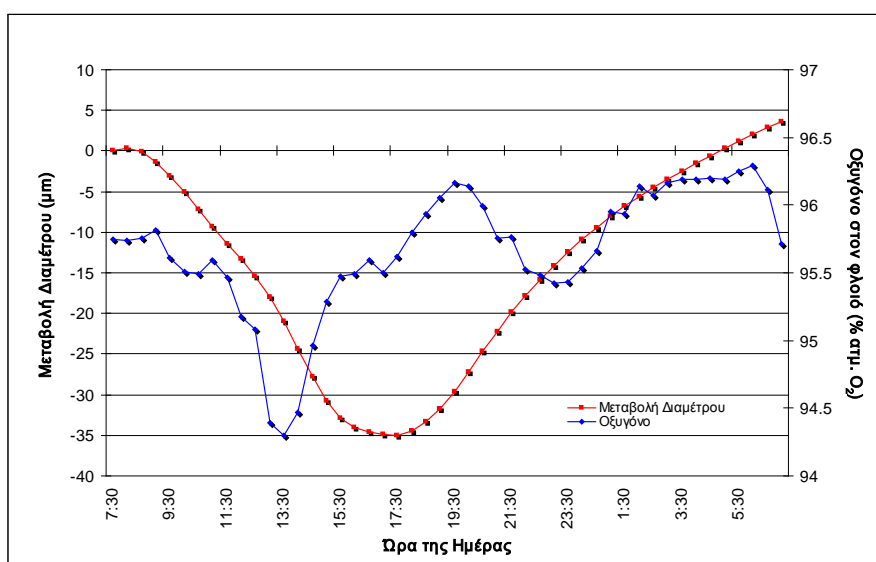


Διάγραμμα 9 : Εποχική μεταβολή φυσιολογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Α: Τα μηνιαία επίπεδα οξυγόνου στον κορμό. Β: Η μέση μηνιαία θερμοκρασία του κορμού. Γ: Το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης. Οι τιμές στα Α και Β αφορούν τον μέσο όρο 1440 περίπου μετρήσεων \pm τυπικό σφάλμα.

Πιο αναλυτικά, στο Διάγραμμα 10 απεικονίζεται η συσχέτιση που έχουν το περιεχόμενο στον κορμό οξυγόνο και η θερμοκρασία σε μηνιαία βάση, όπου παρατηρούμε ότι έχουμε ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών (συντελεστής προσδιορισμού $r^2=0,85$). Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του κορμού του δέντρου, τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητα του οξυγόνου σ' αυτόν.



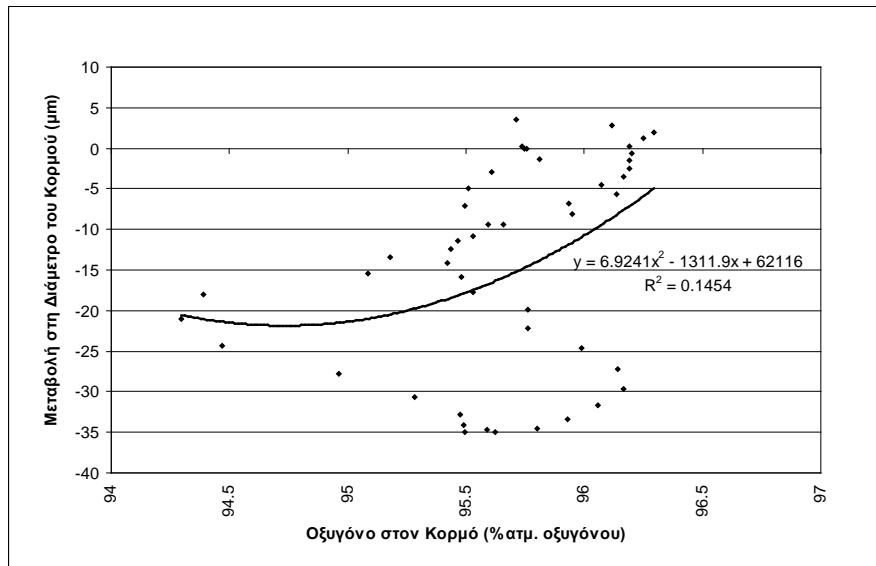
Διάγραμμα 10 : Συσχέτιση μηνιαίων επιπέδων οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κορμού .



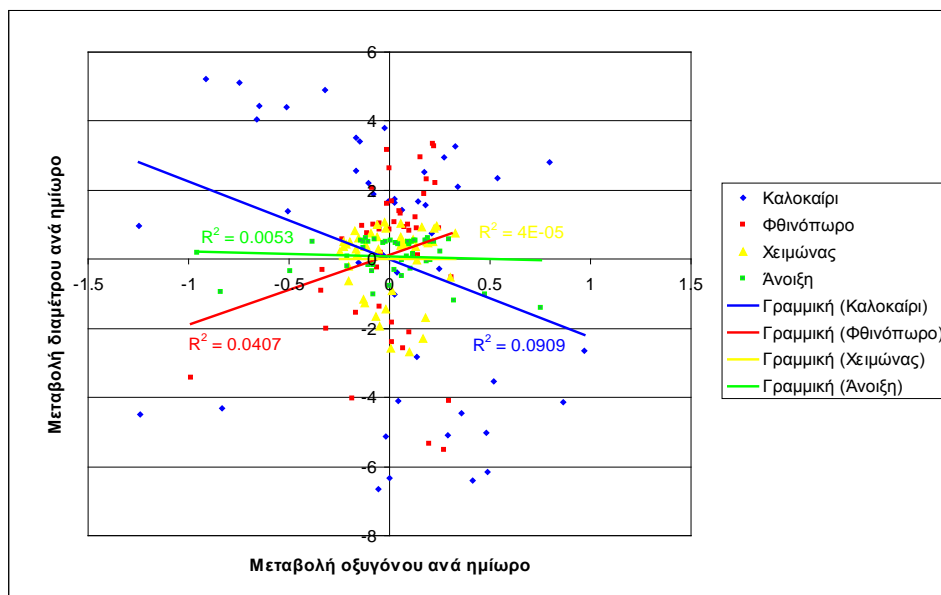
Διάγραμμα 11 : Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού και του οξυγόνου που περιέχεται στο φλοιό του κορμού αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του έτους. Οι τιμές αντιστοιχούν στον μέσο όρο 360 μετρήσεων.

Στην συνέχεια, μελετήθηκε η μεταβολή της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά τη

διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τα επίπεδα οξυγόνου σ' αυτόν (απεικονίζεται στο Διάγραμμα 11) και δεν βρέθηκε κάποιου είδους συσχέτιση σημαντικού βαθμού μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών (συντελεστής προσδιορισμού $r^2=0,15$) (Διάγραμμα 12). Αναλυτικότερα, εξετάστηκαν οι μεταβολές των δύο αυτών μεταβλητών σε ημίωρη (απεικονίζεται στο διάγραμμα 12), ωριαία και τρίωρη βάση κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας.



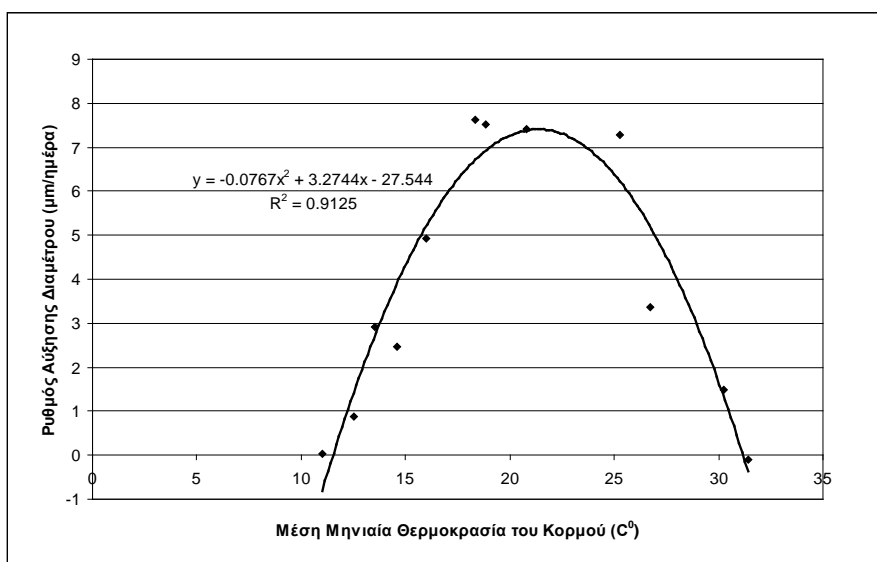
Διάγραμμα 12 : Συσχέτιση της μεταβολής της διαμέτρου του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια της ημέρας και του οξυγόνου που περιέχεται στο φλοιό του κορμού. Τα σημεία αντιστοιχούν σε 48 ζεύγη τιμών.



Διάγραμμα 13 : Συσχέτιση των ρυθμών μεταβολής της διαμέτρου και του οξυγόνου κατά τη διάρκεια του 24ώρου ανάλογα με τις εποχές.

Συσχετίστηκαν και οι ρυθμοί μεταβολής της διαμέτρου του κορμού και του οξυγόνου στο εσωτερικό αυτού κατά τη διάρκεια της ημέρας και ανάλογα με τις εποχές και οι συσχετίσεις που προέκυψαν ήταν, επίσης, χαμηλού βαθμού (συντελεστές προσδιορισμού $r^2 < 0,09$) (Διάγραμμα 13).

Τέλος, εξετάστηκε ο ημερήσιος ρυθμός αύξησης της διαμέτρου, ο οποίος προέκυψε από τον μέσο όρο 30 μετρήσεων για κάθε μήνα του χρόνου, σε σχέση με την μέση μηνιαία θερμοκρασία που καταγράφηκε στον κορμό και διαπιστώθηκε ισχυρή συσχέτιση όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 14 (συντελεστής προσδιορισμού $r^2 = 0,91$). Παρατηρώντας το διάγραμμα βλέπουμε ότι η διάμετρος του κορμού αυξάνει με μεγαλύτερο ρυθμό σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών που κυμαίνεται από 18 μέχρι 26 C° περίπου.



Διάγραμμα 14 : Συσχέτιση του μέσου ημερήσιου ρυθμού αύξησης της διαμέτρου κατά τη διάρκεια κάθε μήνα και της μέσης θερμοκρασίας του κορμού τον αντίστοιχο μήνα.

Δ. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Δ1. Η ηλικία του κορμού

Η ηλικία του κλάδου του δέντρου στον οποίο είχαν τοποθετηθεί τα αισθητήρια υπολογίστηκε ότι ήταν περίπου 20 ετών. Όπως αναφέρουν και οι Αϊβαλάκης κ.α. (2005) η μέθοδος της δενδροχρονολόγησης δεν είναι εύκολο να εφαρμοστεί σε φυτά όπως η ελιά λόγω του σχηματισμού κοιλώματος στον κορμό της, λόγω της ικανότητας αναβλάστησης αλλά και λόγω του σχηματισμού ψευδοδακτυλίων. Για την δύσκολη εφαρμογή της δενδροχρονολόγησης σε δέντρα ελιάς κάνουν λόγο και οι Terral and Arnold-Simard (1996). Ένας ακόμη λόγος ο οποίος δυσκόλεψε ακόμη περισσότερο την καταμέτρηση των ετησίων δακτυλίων ήταν ότι αυτοί ήταν πολύ στενοί λόγω του ότι το φυτό δεν αρδευόταν.

Το μέσο πάχος των ετησίων δακτυλίων του κλάδου, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις, υπολογίστηκε στα 688 μm (το ήμισυ της συνολικής αύξησης της διαμέτρου κατά τη διάρκεια του έτους), ενώ οι Terral and Arnold-Simard (1996) κατά τη διάρκεια πειραμάτων τους στις Μεσογειακές ακτές της Ισπανίας υπολόγισαν τους ετήσιους αυξητικούς δακτυλίους καλλιεργούμενων και άγριων ελιών κατά μέσο όρο σε 1150 μm και 630 μm αντίστοιχα. Η διαφορά αυτή στο πλάτος των αυξητικών δακτυλίων των άγριων και καλλιεργούμενων ελιών οφείλεται, σύμφωνα με τους Terral and Arnold-Simard (1996), πιθανότατα στο γεγονός ότι οι άγριες ελιές αναπτύσσονται συνήθως ως θάμνοι και κάτω από την επίδραση εντονότερων περιβαλλοντικών παραγόντων καταπόνησης, συνθήκες που μπορούμε να πούμε ότι επικρατούσαν εν μέρει και κατά τη διάρκεια του πειράματος μας, αφού στο δέντρο δεν εφαρμόστηκε καμία καλλιεργητική φροντίδα και άρδευση.

Δ2. Η διάμετρος του κορμού κατά τη διάρκεια του έτους

Η συνολική αύξηση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς, η οποία αντιστοιχεί στην δευτερογενή αύξηση του βλαστού κατά τη διάρκεια του έτους, συντελείται, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 1, σε τέσσερις φάσεις. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι σε γενικές γραμμές η δραστηριότητα του αγγειακού καμβίου του κορμού, το οποίο

ευθύνεται για την κατά πάχος αύξησή του, ήταν έντονη κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου και ελάχιστη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα, με το κάμβιο κάποιους μήνες (Αύγουστο και Ιανουάριο) να φαίνεται να έχει αδρανοποιηθεί τελείως. Ο Michelakis (1997) κατά τη διάρκεια πειραμάτων σε δέντρα ελιάς ηλικίας 18 ετών, έδειξε ότι η συνολική κατά πάχος αύξηση του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια του έτους ακολουθεί ανοδική πορεία και το καλοκαίρι, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, με την διαφορά όμως ότι τα δέντρα ποτίζονταν κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου πειράματος, ενώ στη δικιά μας περίπτωση δεν εφαρμόστηκε καμία άρδευση και το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων για του μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 9Γ, κατά τη χρονιά λήψης των μετρήσεων ήταν μηδέν. Σύμφωνα με τους Priya and Bhat (1999), η βροχόπτωση είναι ένα σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την περιοδικότητα της καμβιακής δραστηριότητας των δέντρων και έτσι μπορούμε να αποδώσουμε την μειωμένη καμβιακή δραστηριότητα, που καταγράψαμε κατά τη περίοδο του καλοκαιριού, στην έλλειψη διαθεσιμότητας εδαφικού νερού.

Ο ημερήσιος ρυθμός αύξησης της διαμέτρου του κορμού φάνηκε να μεταβάλλεται εποχικά (Διάγραμμα 2) και να επηρεάζεται από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία του κορμού και μάλιστα σε σημαντικό βαθμό αφού βρέθηκε να έχει μεγάλο βαθμού συσχέτιση πολυωνυμικής μορφής (συντελεστής προσδιορισμού $r^2=0,91$) με την θερμοκρασία του κορμού (Διάγραμμα 14), γεγονός που συμφωνεί με τα ευρήματα των Michelakis (1997) και Perez-Lopez *et al.* (2008), οι οποίοι βρήκαν επίσης συσχέτιση πολυωνυμικού βαθμού μεταξύ των δύο μεταβλητών. Συγκεκριμένα, ο Michelakis (1997) αναφέρει ότι ο ρυθμός ακτινικής αύξησης του κορμού αυξάνει όσο η μέση θερμοκρασία αυξάνει, αλλά από κάποια τιμή της θερμοκρασίας και μετά ο ρυθμός αυτός μειώνεται τείνοντας στο μηδέν, πρόταση που συμφωνεί με τα δικά μας ευρήματα. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η δευτερογενής αύξηση του κορμού του δέντρου της ελιάς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του κορμού και παρουσιάζει τους μέγιστους ρυθμούς της σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών (~ 18-26 °C), όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 14, εφόσον βέβαια υπάρχει διαθεσιμότητα νερού.

Δ3. Η διάμετρος του κορμού κατά τη διάρκεια της ημέρας

Οι μετρήσεις της διαμέτρου του κορμού της ελιάς με τη χρήση δενδρομέτρου έδειξαν ότι η διάμετρος μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας ακολουθώντας ένα συγκεκριμένο πρότυπο μεταβολής όλο το χρόνο (Διάγραμμα 3). Μειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας από μία μέγιστη τιμή που εμφανίζει τις πρωινές ώρες μέχρι μία ελάχιστη τιμή που παίρνει τις απογευματινές και έπειτα αυξάνει κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι το επόμενο πρωί. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τη βιβλιογραφία (Ameglio *et al.* 2001, Daudet *et al.* 2005, Drew and Downes 2009, Fernandez and Cuevas 2010, Goldhamer and Fereres 2001) η οποία αναφέρει το ίδιο πρότυπο μεταβολής για διάφορα είδη δένδρων συμπεριλαμβανομένης και της ελιάς.

Σύμφωνα με τους Drew and Downes (2009) και Fernandez and Cuevas (2010), η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού οφείλεται στην μεταβολή της υδατικής κατάστασης και κατά συνέπεια της σπαργής, των κυττάρων του φλοιού και του αγγειακού καμβίου, μιας και τα στοιχεία του ξύλου δεν χαρακτηρίζονται από ελαστικότητα. Με την αύξηση του ρυθμού διαπνοής του δέντρου κατά το ξεκίνημα της ημέρας μειώνεται σταδιακά το υδατικό δυναμικό στο ξύλωμα του βλαστού και κάποια στιγμή παίρνει χαμηλότερη τιμή από το υδατικό δυναμικό των εξωτερικά του ξύλου ιστών (κάμβιο, ηθμός και παρεγγυματικοί ιστοί του φλοιού), με αποτέλεσμα την μεταφορά νερού από τον φλοιό και το κάμβιο προς το ξύλωμα και την έξοδο του τελικά προς την ατμόσφαιρα μέσω του διαπνευστικού ρεύματος. Αυτό έχει ως συνέπεια την συρρίκνωση του κορμού που παρατηρήσαμε κατά τη διάρκεια της ημέρας, η οποία μάλιστα εμφάνισε μέγιστο ρυθμό στις 14:30 το μεσημέρι (Διάγραμμα 4). Αυτό το γεγονός οφείλεται κατά πασα πιθανότητα στην μέγιστη τιμή που λαμβάνει ο ρυθμός διαπνοής του φυτού εκείνη την ώρα της ημέρας, όπως αναφέρει και ο Granier (1987). Όταν ο ρυθμός διαπνοής του φυτού αρχίζει και μειώνεται προς το τέλος της ημέρας, κάποια στιγμή το υδατικό δυναμικό του ξυλώματος παίρνει μεγαλύτερη τιμή από το υδατικό δυναμικό του φλοιού, με αποτέλεσμα τη μεταφορά νερού από τα στοιχεία του ξύλου προς το φλοιό, όπου και αποθηκεύεται και τελικά τη διόγκωση του κορμού την οποία παρατηρήσαμε κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν ότι ο κορμός συρρικνώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, που ο ρυθμός διαπνοής είναι μεγάλος, γιατί χάνει περισσότερο νερό από το νερό που μπορεί να αντλήσει μέσω των ριζών από το έδαφος. Η αυξημένη διαπνοή δηλαδή, κατά το διάστημα αυτό, υπερνικάει την απορροφητική ικανότητα των ριζών, οπότε το ισοζύγιο του νερού μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε ως αρνητικό για το διάστημα από τις 08:00 το πρωί έως τις 17:30 το απόγευμα. Μετά τις 17:30 το απόγευμα και κατά τη διάρκεια της νύχτας, διάστημα κατά το οποίο η απορροφητική ικανότητα των ριζών είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διαπνοής όπως αναφέρει ο Καράταγλης (1994), ο κορμός του δέντρου διογκώνεται και το ισοζύγιο νερού χαρακτηρίζεται ως θετικό.

Κατά τις διάφορες εποχές του έτους παρατηρούμε μια διαφοροποίηση της ημερήσιας συρρίκνωσης του κορμού και μετατόπιση του μεγίστου της διαμέτρου του (Διάγραμμα 5). Το καλοκαίρι, περίοδο κατά την οποία το ύψος βροχόπτωσης ήταν ιδιαίτερα χαμηλό (8,2 mm τον Ιούνιο και πλήρη ξηρασία τον Ιούλιο και τον Αύγουστο) παρατηρήσαμε μεγαλύτερη συρρίκνωση του κορμού κατά τη διάρκεια της ημέρας (73,38 μm) σε σχέση με τις άλλες εποχές (το φθινόπωρο 36,07 μm , τον χειμώνα 17,11 μm και την άνοιξη 7,98 μm αντίστοιχα) γεγονός που, σύμφωνα με τους Michelakis (1997) και Moreno *et al.* (2006), οφείλεται σε παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού, η περιβαλλοντική θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα, ο Michelakis (1997) αναφέρει ότι όσο χαμηλότερο είναι το υδατικό δυναμικό του εδάφους τόσο μεγαλύτερη είναι η ημερήσια συρρίκνωση του κορμού της ελιάς.

Παρά την έλλειψη βροχοπτώσεων που είχαμε κατά την καλοκαιρινή περίοδο και τη μεγάλη συρρίκνωση του κορμού της ελιάς κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο κορμός, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5, επανακτά την διάμετρο του τις νυχτερινές ώρες και μάλιστα αυξάνει κάθε μέρα κατά ένα ελάχιστο (μέσο όρο κατά 1,37 $\mu\text{m}/\text{ημέρα}$). Γεγονός που μπορούμε να πούμε ότι δηλώνει την αντοχή και προσαρμογή του δέντρου της ελιάς σε ξηροθερμικές συνθήκες και την ικανότητα του να αναπτύσσει ικανό ριζικό σύστημα ώστε να μπορεί να ικανοποιεί τις ανάγκες του σε νερό ακόμα και σε περιόδους έντονης ξηρασίας. Για την σημαντική ικανότητα της ελιάς να υπόκειται σε υδατική καταπόνηση με μείωση του περιεχομένου της σε νερό και του υδατικού δυναμικού των ιστών της κάνει λόγο και ο Θέριος (2005), ο οποίος αναφέρει ότι ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει στο δέντρο να αναπτύσσει μία σημαντική

διαφορά υδατικού δυναμικού ανάμεσα στα φύλλα και τις ρίζες και έτσι να μπορεί να χρησιμοποιεί εδαφικό νερό μέχρι $-2,5$ MPa.

Στην βιβλιογραφία (Michelakis 1997, Moreno *et al.* 2006, Moriana and Fereres 2002) αναφέρεται επίσης ότι η συγκεκριμένη παράμετρος της ημερήσιας συρρίκνωσης του κορμού της ελιάς αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης του φυτού και τον προγραμματισμό της άρδευσης.

Δ4. Το οξυγόνο στον φλοιό του κορμού

Η τραυματική αναπνοή των παρεγχυματικών ιστών στο εσωτερικό του κορμού, οι οποίοι πληγώνονται κατά την τοποθέτηση των αισθητηρίων των οργάνων μέτρησης, όπως το αισθητήριο του οξυγόνου στο συγκεκριμένο πείραμα, μπορεί να προκαλέσει, τουλάχιστον κατά την αρχική φάση παρόμοιων πειραμάτων, μία ασυνήθιστα ταχεία και μεγάλου βαθμού μείωση του οξυγόνου που περιέχεται στον κορμό. Με την παραπάνω πρόταση φαίνεται να συμφωνούν οι Gansert *et al.* (2001) και οι Levy *et al.* (1999), οι οποίοι αναφέρουν μάλιστα ότι ο βαθμός της μείωσης του οξυγόνου, λόγω τραυματικής αναπνοής κατά την έναρξη του πειράματος, εξαρτάται από το ποσοστό των παρεγχυματικών ιστών που αποτελούν το προς μέτρηση φυτικό όργανο.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας έδειξαν ότι το περιεχόμενο στον κορμό οξυγόνο μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά τη διάρκεια των εποχών, αλλά πάντοτε είναι χαμηλότερο από το ποσοστό του οξυγόνου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα είτε είναι εκτεθειμένος ο κορμός στο φως είτε όχι (Διαγράμματα 6, 7 και 8), γεγονός που συμφωνεί με τους Carrodus and Triffett (1975), οι οποίοι αναφέρουν ότι το οξυγόνο που περιέχεται στο εσωτερικό του κορμού ποικίλει ανάμεσα στα είδη, αλλά πάντα είναι χαμηλότερο από το ατμοσφαιρικό. Για χαμηλότερα επίπεδα οξυγόνου στο εσωτερικό των βλαστών σε σχέση με τα ατμοσφαιρικά κάνουν λόγο πολλοί ερευνητές (Gansert *et al.* 2001, Mancuso and Marras 2003, Pfanzen and Aschan 2001, Pfanzen *et al.* 2002, Sorz and Hietz 2006).

Οι Pfanzen *et al.* (2002) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού των δέντρων μεταβάλλεται εποχικά και συγκεκριμένα είναι υψηλότερη τον χειμώνα και χαμηλότερη το καλοκαίρι, πρόταση που συμφωνεί με τα δικά μας ευρήματα όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 7 και 9Α, αν και οι δικές μας μετρήσεις

ελήφθησαν από την περιοχή εξωτερικά ή στα όρια του ξυλώματος ενώ των άλλων ερευνητών οι μετρήσεις οξυγόνου ήταν αποκλειστικά από το ξύλο. Όταν εντείνεται η καμβιακή δραστηριότητα από την άνοιξη και μετά, τα επίπεδα οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού αρχίζουν και πέφτουν λόγω αυξημένης αναπνοής των κυττάρων στην περιοχή του καμβίου και επανέρχονται κοντά στα ατμοσφαιρικά επίπεδα τον χειμώνα ξανά (Eklund 2000).

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων και λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις όλου του χρόνου, προκύπτει ότι τα επίπεδα οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού είναι χαμηλότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τη νύχτα (Διάγραμμα 6). Το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται στην εντονότερη αναπνοή που έχουν οι ιστοί κατά τη διάρκεια της ημέρας, κατά την οποία η θερμοκρασία του κορμού είναι μεγαλύτερη, αφού ανάμεσα στην αναπνοή των ιστών και στην θερμοκρασία υπάρχει θετική συσχέτιση εκθετικής μορφής (Pfanzer *et al.* 2002). Σύμφωνα με τους Gansert *et al.* (2001) μία άλλη πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι η χαμηλότερη διαλυτότητα που έχει το αέριο οξυγόνο των μεσοκυττάρων χώρων στο υδατικό διάλυμα που διακινείται μέσω της αποπλαστικής οδού μέσα στον φλοιό, λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Νόμος του Henry), άποψη που ενισχύεται από την ισχυρή συσχέτιση που βρήκαμε μεταξύ οξυγόνου και θερμοκρασίας κορμού (Διάγραμμα 10, συντελεστής προσδιορισμού $r^2=0,85$).

Οι μεγαλύτερες ημερήσιες διακυμάνσεις της συγκέντρωσης του οξυγόνου στον φλοιό την περίοδο του καλοκαιριού σε σχέση με τις άλλες εποχές (Διάγραμμα 7), συνηγορούν επίσης στο ότι ο εφοδιασμός με οξυγόνο στο φλοιό του κορμού πιθανότατα συντελείται μέσω της υδατικής φάσης του διαπνευστικού ρεύματος (Gansert *et al.* 2001).

Ο Eklund (2000) υποστηρίζει επίσης ότι το οξυγόνο που περιέχεται στον κορμό των δέντρων προέρχεται από το διαπνευστικό ρεύμα. Κατά τη διάρκεια ερευνών, όπως αναφέρει ο ίδιος, το οξυγόνο βρέθηκε να σχετίζεται με κάποιο τρόπο με το περιεχόμενο του κορμού σε νερό, καθώς βρέθηκαν χαμηλότερα επίπεδα οξυγόνου στον κορμό μη αρδευόμενων δέντρων σε σχέση με τα αρδευόμενα. Αναλυτικότερα, ο ίδιος υποστηρίζει ότι θα έπρεπε να εντοπίζεται περισσότερο οξυγόνο στον κορμό των μη αρδευόμενων δέντρων, μια και η ξηρασία προκαλεί ελάττωση του νερού που περιέχεται στον κορμό με συνέπεια να καταλαμβάνουν περισσότερο όγκο οι μεσοκυττάριοι χώροι στο εσωτερικό του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο κορμός να περιέχει εν τέλει μεγαλύτερη ποσότητα αέρα και με τη διαλυτότητα του οξυγόνου

στον αέρα να είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό τι στο νερό, θα έπρεπε να υπήρχε περισσότερο οξυγόνο στους κορμούς των μη αρδευόμενων δέντρων σε σχέση με τα αρδευόμενα. Όμως παρατηρήθηκε το αντίθετο, με τον ίδιο να αποδίδει λοιπόν τον εφοδιασμό με οξυγόνο του κορμού στην υδατική φάση του διαπνευστικού ρεύματος. Σ' αυτό συγκλίνουν εν μέρει και τα αποτελέσματα μας (Διάγραμμα 9) κατά τα οποία φαίνεται ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στον φλοιό είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα, κατά τον οποίο είχαμε αρκετές βροχοπτώσεις, σε σχέση με το καλοκαίρι, στην διάρκεια του οποίου το ύψος βροχόπτωσης ήταν ιδιαίτερα χαμηλό (8,2 mm).

Οι Mancuso and Marras (2003) έδειξαν ότι στην ελιά κατά τη διάρκεια της ημέρας, το σύνολο του O₂ που περιέχεται στο ξύλο προέρχεται από το διαπνευστικό ρεύμα (ακολουθώντας την οδό έδαφος – φυτό - ατμόσφαιρα) ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας έχει προέλθει διακινούμενο κυρίως (87%) μέσω της υδατικής φάσης του ξύλου και δευτερευόντως (13%) μέσω διάχυσης από την ατμόσφαιρα δια μέσου των φακιδίων.

Η διάχυση αερίων από την ατμόσφαιρα προς το εσωτερικό του βλαστού, μέσω των φακιδίων και των ρωγμών του περιδέρματος και στην συνέχεια των μεσοκυττάρων χώρων, φαίνεται να ευνοείται την νύχτα, κατά την οποία η θερμοκρασία του κορμού είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Gansert *et al.* 2001).

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν να υπάρχει περισσότερο οξυγόνο την νύχτα στον βλαστό (Διάγραμμα 6), οπότε πιθανόν και να ευνοείται η διάχυση αερίων κατά τη διάρκεια της νύχτας από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω των φακιδίων.

Κατά τη διάρκεια πειράματος από τους Filippou *et al.* (2007) σε βλαστούς ελιάς, η παρουσία των φακιδίων υπήρξε έντονη ενώ εντάθηκε με την αύξηση της ηλικίας των βλαστών, υποδηλώνοντας πιθανώς αυξημένη ανάγκη επικοινωνίας (αυξημένες ανάγκες ανταλλαγής αερίων). Σε άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο ίδιο εργαστήριο (Kyriakis and Fasseas 2010), παρατηρήθηκε δίκτυο σωληνοειδών δομών που εκτεινόταν από το φελλοκάμβιο και μέχρι τις σκληρεΐδες στην περιοχή του φλοιού βλαστών ελιάς, το οποίο δεν φαινόταν να είχε περιγραφεί στο παρελθόν και η δομή του φαίνεται να βοηθάει στη διακίνηση των αερίων της αναπνοής, φωτοσύνθεσης και τη διαπνοή. Ένας λόγος διεξαγωγής της παρούσας έρευνας λοιπόν ήταν και η πιθανή συσχέτιση της ημερήσιας διακύμανσης της διαμέτρου του κορμού της ελιάς με το περιεχόμενο στον φλοιό του κορμού οξυγόνο (Διάγραμμα 11). Η αρχική μας υπόθεση στηριζόταν στο γεγονός ότι ο όγκος των σωληνοειδών αυτών δομών θα πρέπει να αυξάνει όσο συρρικνώνεται ο κορμός του δέντρου κατά τη

διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα να αυξάνει και η ποσότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που διακινείται στις δομές αυτές, άρα και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο στο σημείο της μέτρησης να τείνει στα ατμοσφαιρικά επίπεδα (100% ατμοσφαιρικού O₂). Οι μετρήσεις όμως που ελήφθησαν αν και διαγραμματικά φαίνεται να υποστηρίζουν την αρχική υπόθεση, δεν βρέθηκε συσχέτιση σημαντικού βαθμού ανάμεσα στην μεταβολή της διαμέτρου και το οξυγόνο που περιέχεται στον κορμό (Διαγράμματα 12 και 13) και έτσι δεν κατέστη δυνατό να επιβεβαιώσουμε την αρχική μας υπόθεση.

Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι το οξυγόνο που καταμετράται στο συγκεκριμένο σημείο του κορμού μπορεί να προέρχεται από το διαπνευστικό ρεύμα σε υδατική φάση, από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω διάχυσης σε αέρια φάση, ενώ παράλληλα καταναλώνεται στην διαδικασία της αναπνοής και παράγεται με την διαδικασία της φωτοσύνθεσης του φλοιού. Γενικά όταν οι μετρήσεις πραγματοποιούνται *in situ*, όπου το εξεταζόμενο σύστημα δεν αποτελεί ένα σύστημα κλειστού τύπου, τα πειράματα αυτού του είδους είναι πολυπαραγοντικά οπότε και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι δυσχερής. Οπότε καταλήγουμε στο ότι ο εφοδιασμός των κυττάρων του φλοιού του βλαστού της ελιάς πραγματοποιείται μέσω διάχυσης από την ατμόσφαιρα δια μέσου των φακιδίων και μέσω της υδατικής φάσης του διαπνευστικού ρεύματος, όπως αναφέρει και η βιβλιογραφία (Gansert *et al.* 2001, Mancuso and Marras 2003, Sorz and Heitz 2006).

Τέλος, στην προσπάθεια μας να διερευνήσουμε την συνεισφορά της φωτοσύνθεσης του φλοιού στην συγκέντρωση του οξυγόνου στον κορμό, επαναλάβαμε τις μετρήσεις με το οξυγονόμετρο αφαιρώντας όμως το αλουμινόχαρτο, το οποίο είχαμε τοποθετήσει γύρω από τον κορμό για την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης του φλοιού. Τα αποτελέσματα που πήραμε συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις του οξυγόνου στις δύο περιπτώσεις, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8, δείχνουν ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στην περίπτωση του σκιασμένου κορμού ήταν υψηλότερη από την αντίστοιχη στον φωτιζόμενο. Έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η φωτοσύνθεση του φλοιού δεν συνεισφέρει στην συγκέντρωση οξυγόνου μέσα στο φλοιό, καθώς αυτό μάλλον μετά την παραγωγή του επαναχρησιμοποιείται στην αναπνοή. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση οξυγόνου στον καλυμμένο κορμό πιθανότατα οφείλεται στην μικρότερη μέση ημερήσια θερμοκρασία που καταγράφηκε στον συγκεκριμένο κορμό σε σχέση με τον φωτιζόμενο, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της συσχέτισης του οξυγόνου και της μέσης θερμοκρασίας που όπως δείξαμε στο Διάγραμμα 10, είναι αρνητική, γραμμικής μορφής και υψηλού

βαθμού (συντελεστής προσδιορισμού $r^2=0,85$). Το συμπέρασμα μας λοιπόν, ότι η φωτοσύνθεση του φλοιού δεν φαίνεται να συνεισφέρει στην συγκέντρωση του οξυγόνου στο εσωτερικό του κορμού, έρχεται σε συμφωνία με τους Mugnai and Mancuso (2010), οι οποίοι αναφέρουν ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου στο εσωτερικό των βλαστών είναι αποτέλεσμα της κυτταρικής αναπνοής των ιστών, της διάχυσης του από και προς την ατμόσφαιρα μέσω των φακιδίων και των μεσοκυττάρων χώρων και της ανταλλαγής με το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του διαπνευστικού ρεύματος. Ο ρόλος της φωτοσύνθεσης του φλοιού φαίνεται να περιορίζεται λοιπόν στην ανακύκλωση (αξιοποίηση – επαναφομοίωση) του εσωτερικά εκλυόμενου CO₂ της αναπνοής, μεγάλες συγκεντρώσεις του οποίου προκαλούν υπό ορισμένες συνθήκες τοξικότητα και παρεμπόδιση της αναπνευστικής λειτουργίας των ιστών των βλαστών (Levy *et al.* 1999, Nilsen 1995, Pfanz and Aschan 2001, 2003, Αϊβαλάκης κ.α. 2005). Επίσης, η φωτοσύνθεση του φλοιού των βλαστών, ως διαδικασία επαναχρησιμοποίησης του CO₂ το οποίο προέρχεται από την αναπνοή εσωτερικών ιστών τους, παρουσιάζει πλεονεκτήματα και ως προς την οικονομία νερού συγκρινόμενη με τη φωτοσύνθεση των φύλλων. Τα φύλλα είναι αναγκασμένα να ανοίξουν τα στόματά τους προκειμένου να προσλάβουν ατμοσφαιρικό CO₂ με αποτέλεσμα να έχουν αυξημένες απώλειες νερού (Pfanz *et al.* 2002). Έτσι σε δέντρα όπως η ελιά, που είναι αναγκασμένη να επιβιώνει σε συνθήκες έλλειψης νερού, ο ρόλος της φωτοσύνθεσης του φλοιού των βλαστών της φαίνεται να είναι ζωτικής σημασίας.

Ε. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η μέθοδος της δενδροχρονολόγησης δεν είναι εύκολο να εφαρμοστεί σε φυτά όπως η ελιά λόγω της ικανότητας αναβλάστησης αλλά και του σχηματισμού ψευδοδακτυλίων. Ειδικά όταν τα δέντρα δεν αρδεύονται η καταμέτρηση των ετήσιων αυξητικών δακτυλίων είναι δύσκολη λόγω του μικρού τους πάχους.
- Η δευτερογενής αύξηση του βλαστού της ελιάς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία του βλαστού και παρουσιάζει τους μέγιστους ρυθμούς της σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών (~ 18-26 °C) εφόσον βέβαια υπάρχει διαθεσιμότητα νερού.
- Η διάμετρος του κορμού του δέντρου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του 24ώρου ακολουθώντας ένα συγκεκριμένο πρότυπο μεταβολής όλο το χρόνο. Μειώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας από μία μέγιστη τιμή που εμφανίζει τις πρωινές ώρες μέχρι μία ελάχιστη τιμή που παίρνει τις απογευματινές και έπειτα αυξάνει κατά τη διάρκεια της νύχτας και μέχρι το επόμενο πρωί.
- Οι ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς φαίνεται να εξαρτάται από το διαπνευστικό ρεύμα. Ο κορμός συρρικνώνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, που ο ρυθμός διαπνοής είναι μεγάλος, γιατί χάνει περισσότερο νερό από το νερό που μπορεί να αντλήσει μέσω των ριζών από το έδαφος. Ο κορμός του δέντρου διογκώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας γιατί η απορροφητική ικανότητα των ριζών είναι μεγαλύτερη από τον ρυθμό διαπνοής του φυτού.
- Η ημερήσια συρρίκνωση της διαμέτρου του κορμού είναι μεγαλύτερη όταν η διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού είναι μικρή. Το δέντρο της ελιάς φαίνεται να έχει τη δυνατότητα να υπόκειται σε υδατική καταπόνηση με σημαντική μείωση του περιεχομένου των ιστών του σε νερό, ώστε να αξιοποιεί εδάφη με χαμηλά υδατικά δυναμικά.
- Το περιεχόμενο στον φλοιό του κορμού οξυγόνο μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και κατά τη διάρκεια των εποχών, αλλά πάντοτε είναι χαμηλότερο από το ποσοστό του οξυγόνου που περιέχεται στην ατμόσφαιρα είτε είναι εκτεθειμένος ο κορμός στο φως είτε όχι.

- Η συγκέντρωση του οξυγόνου στον φλοιό του κορμού βρέθηκε να επηρεάζεται από την θερμοκρασία του κορμού και πιθανότατα από την αναπνευστική δραστηριότητα των κυττάρων του αγγειακού καμβίου αλλά και των παρεγχυματικών κυττάρων στην περιοχή του φλοιού του κορμού.
- Η ημερήσια διακύμανση της διαμέτρου του κορμού της ελιάς δεν φαίνεται να συσχετίζεται με το περιεχόμενο στον φλοιό του κορμού οξυγόνο. Ο τρόπος εφοδιασμού του φλοιού του κορμού σε οξυγόνο πιθανότατα συντελείται και μέσω διάχυσης από την ατμόσφαιρα δια μέσου των φακιδίων και των ρωγμών του περιδέρματος αλλά και μέσω της υδατικής φάσης του διαπνευστικού ρεύματος και στην συνέχεια της αποπλαστικής οδού.
- Η φωτοσύνθεση του φλοιού του βλαστού της ελιάς δεν φαίνεται να συνεισφέρει στην συγκέντρωση του οξυγόνου στο φλοιό του κορμού, καθώς αυτό μάλλον μετά την παραγωγή του επαναχρησιμοποιείται στην διαδικασία της αναπνοής. Πιθανότατα ο ρόλος της φωτοσύνθεσης του φλοιού περιορίζεται στην ανακύκλωση (αξιοποίηση – επαναφομοίωση) του εσωτερικά εκλυόμενου CO₂ της αναπνοής.

ΣΤ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία

- **Ameglio T., Cochard H. and Ewers F. W. 2001.** Stem diameter variations and cold hardiness in walnut trees. *Journal of Experimental Botany*, 52(364): 2135-2142.
- **Ashan G. and Pfanz H. 2003.** Non-foliar photosynthesis – a strategy of additional carbon acquisition. *Flora*, 198: 81-97.
- **Bowes B. G. 1996.** *A Colour Atlas of Plant Structure.* Manson Publishing. London.
- **Carrodus B. B. and Triffett A. C. K. 1975.** Analysis of composition of respiratory gases in woody stems by mass spectrometry. *New Phytol.*, 74: 243-246.
- **Cernusak L. A. and Marshall J. D. 2000.** Photosynthetic refixation in branches of Western White Pine. *Functional Ecology*, 14: 300-311.
- **Clark N. A., Wynne R.H. and Schmoldt D. L. 2000.** A review of past research on dendrometers. *Forest Science*, 46(4): 570-576.
- **Daudet F. A., Ameglio T., Cochard H., Archilla O. and Lacoïnte A. 2005.** Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations. *Journal of Experimental Botany*, 56: 135-144.
- **Drew D. M. and Downes G. M. 2009.** The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: A review. *Dendrochronologia*, 27: 159-172.

- **Eklund L. 2000.** Internal oxygen levels decrease during the growing season and with increasing stem height. *Trees*, 14: 177–180.
- **Esau K. 1960.** *Anatomy of Seed Plants.* John Wiley and Sons Inc. New York.
- **Fahn A. 1990.** *Plant anatomy, Fourth edition.* Pergamon Press. Oxford.
- **Fernandez J. E. and Cuevas M. V. 2010.** Irrigation scheduling from stem diameter variations : A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150 : 135-151.
- **Filippou M., Fasseas C. and Karabourniotis G. 2007.** Photosynthetic characteristics of olive tree (*Olea europaea*) bark. *Tree Physiology*, 27: 977-984.
- **Foote K. and Schaedle M. 1976.** Diurnal and seasonal patterns of photosynthesis and respiration by stems of *Populus tremuloides* Michx. *Plant Physiology*, 58: 651-655.
- **Franco-Vizcaino E., Goldstein G. and Ting I. R. 1990.** Comparative gas exchange of leaves and bark in three stem succulents of Baja California. *Amer. J. Bot.* 77(10): 1272-1278.
- **Gallardo M., Thompson R. B., Valdez L. C. and Fernandez M. D. 2006.** Response of stem diameter variations to water stress in greenhouse-grown vegetable crops. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 81(3): 483-495.
- **Gansert D., Burgdorf M. and Losch R. 2001.** A novel approach to the in situ measurement of oxygen concentrations in the sapwood of woody plants. *Plant Cell and Environment*, 24: 1055-1064.

- **Gartner B. L. 1995.** Patterns of xylem variation within a tree and their hydraulic and mechanical consequences *In: Plant stems. Physiology and functional morphology*, Gartner B. (ed). Academic press Publishers. New York.
- **Gibson A. G. 1996.** Photosynthetic stems of nonsucculent plants *In: Structure – function relations of warm desert plants*, Gibson A.G. (ed). Springer-Verlag Publishers. New York.
- **Goldhamer D. A. and Fereres E. 2001.** Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20: 115-125.
- **Goldhamer D. A. and Fereres E. 2004.** Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrig. Sci.* 23: 11-19.
- **Granier A. 1987.** Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 3: 309-320.
- **Groh B., Hubner C. and Lenzian K. J. 2002.** Water and oxygen permeance of phellem isolated from trees: the role of waxes and lenticels. *Planta*, 215: 794–801.
- **Hinckley T. M. and Schulte P. J. 1995.** Stems in the biology of the tissue, organism, stand and ecosystem *In: Plant stems. Physiology and functional morphology*, Gartner B. (ed), Academic press Publishers. New York.
- **Intrigliolo D. S. and Castel G. R. 2004.** Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrigation Science*, 23: 93-102.
- **Kaipainen L.K., Sofronova G.I., Hari G.I. and Yalynskaya E.E. 1998.** The role of xylem in CO₂ exchange in *Pinus sylvestris* woody stems. *Russian Journal of Plant Physiology*, 45: 500-505.

- **Kharuk V. I., Middleton E. M., Spencer B. N. and Williams D. L. 1995.** Aspen bark photosynthesis and its significance to remote sensing and carbon budget estimates in the boreal ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution*, 82: 483-497.
- **Kyriakis G. and Fasseas C. 2010.** A novel type of tube network within the stem bark of *Olea europaea L.* *Flora*, 205 : 90–93.
- **Langenfeld-Heyser R., Schella B., Buschmann K., Speck F. 1996.** Microautoradiographic detection of CO₂ fixation in lenticel chlorenchyma of young *Fraxinus excelsior L.* stems in early spring. *Trees*, 10: 255-260.
- **Larcher W., Lutz C., Nagele M. and Bodner M. 1988.** Photosynthetic function and ultrastructure of chloroplasts in stem tissues of *Fagus sylvatica*. *J. Plant Physiol.*, 132: 731-737.
- **Levy P., Meir P., Allen S. and Jarvis P. 1999.** The effect of aqueous transport of CO₂ in xylem sap on gas exchange in woody plants. *Tree Physiology*, 19: 53-58.
- **Mancuso S. and Marras A. M. 2003.** Different pathways of the oxygen supply in the sapwood of young *Olea europae* trees. *Planta*, 216: 1028-1033.
- **Mauseth J. D. 1988.** *Plant Anatomy.* The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc. California.
- **Metcalf C.R. and Chalk L. 1979.** *Anatomy of dicotyledons.* Vol. 1, 2nd edn. Clarendon Press. Oxford.
- **Michelakis N. 1997.** Daily stem radius variations as indicators to optimize olive tree irrigation scheduling. *Acta Horticulture*, 449: 297-304.
- **Mohr H and Schopfer P. 1995.** *Plant Physiology.* Springer – Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

- **Moreno F., Conejero W., Martin-Palomo M. J., Giron I. F. and Torrecillas A. 2006.** Maximum daily trunk shrinkage reference values for irrigation scheduling in olive trees. *Agricultural Water Management*, 84: 290-294.
- **Moriana A. and Fereres E. 2002.** Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrig. Sci.*, 21: 83-90.
- **Muller W. H. 1979.** Botany: a functional approach. Macmillan Publishing Corporation, Inc. New York.
- **Mugnai S. and Mancuso S. 2010.** Oxygen Transport in the Sapwood of Trees *In: Waterlogging Signalling and Tolerance in Plants*, Mancuso S. and Shabala S. (eds). Springer-Verlag. Berlin.
- **Muthuchelian K. 1992.** Photosynthetic characteristics of bark tissues of the tropical tree of *Bombax ceiba L.* *Photosynthetica*, 26: 633-636.
- **Nedoff J.A., Ting I.P. and Lord E. M. 1985.** Structure and function of the green stem tissue in occotilo (*Fouquieria splendens*). *Amer. J. Bot.*, 72: 143-151.
- **Nilsen E.T. 1995.** Stem photosynthesis: Extent, patterns and role in plant carbon economy *In: Plant stems. Physiology and functional morphology*, Gartner B. (ed). Academic press Publishers. New York.
- **Ortuno M. F., Garcia-Orellana Y., Conejero W., Ruiz-Sanchez M. Z., Alarcon J. J. and Torrecillas A. 2006b.** Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*, 20: 1-8.
- **Perez-Lopez D., Moriana A., Rapoport H., Olmedilla N. and Ribas F. 2008.** New approach for using trunk growth rate and endocarp development

in the irrigation scheduling of young olive orchards. *Scientia Horticulturae*, 115: 244–251.

- **Pfanz H. 1999.** Photosynthetic performance of twig and stems of trees with and without stress. *Phyton*, 39: 29-33.
- **Pfanz H. and G. Aschan. 2001.** The existence of bark and stem photosynthesis in woody plants and its significance for the overall carbon gain. An ecophysiological and ecological approach *In: Progress in Botany*, 62. Springer-Verlag. Berlin.
- **Pfanz H., Aschan G., Langenfeld-Heyser R., Wittmann C. and Loose M. 2002.** Ecology and ecophysiology of tree stems: corticular and wood photosynthesis. *Naturwissenschaften*, 89: 147-162.
- **Priya P. B. and Bhat K. M. 1999.** Influence of rainfall, irrigation and age on the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). *IAWA Journal*, 20 (2) : 181-192.
- **Rosner S. and Fuhrer E. 2002.** The significance of lenticels for successful *Pityogenes chalcographus* (Coleoptera: Scolytidae) invasion of Norway spruce trees [*Picea abies* (Pinaceae)]. *Trees, Structure and Function*, 16: 497-503.
- **Schaedle M. 1975.** Tree photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 26: 101-115.
- **Schaedle M. and Foote K. 1971.** Seasonal changes in the photosynthetic capacity of *Populus tremuloides* bark. *Forest Science*, 17: 308-313.
- **Sorz J. and Hietz P. 2006.** Gas diffusion through wood: implications for oxygen supply. *Trees*, 20: 34-41.

- **Taiz L. and Zeiger E. 1991.** Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc.. Redwood City, California.
- **Terral J. F. and Arnold-Simard G. 1996.** Beginnings of Olive Cultivation in Eastern Spain in Relation to Holocene Bioclimatic Changes. Quaternary Research, 46: 176–185.
- **Teskey R.O. and McGuire M.A. 2002.** Carbon dioxide transport in xylem causes errors in estimation of rates of respiration in stems and branches of trees. Plant Cell and Environment, 25: 1571-1577.
- **Velez J. E., Intrigliolo D. S. and Castel J. R. 2007.** Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. Agricultural Water Management, 90: 197-204.
- **Wang J. and Sammis T. W. 2007.** New Automatic Band and Point Dendrometers for Measuring Stem Diameter Growth. Applied Engineering in Agriculture, 24(6): 731-742.
- **Wei X., Yanhui W., Pengtao Y., Hailong L., Zhongjie S. and Wei G. 2007.** Growth in stem diameter of *Larix principis-rupprechtii* and its response to meteorological factors in the south of Liupan Mountain, China. Acta Ecologica Sinica, 27(2): 432–441.

Ελληνική βιβλιογραφία

- **Αϊβαλάκις Γ. , Καραμπουρνιώτης Γ. και Φασσέας Κ. 2005.** Γενική Βοτανική. Εκδόσεις Έμβρυο. Αθήνα.
- **Δροσόπουλος Ι. 1992.** Η Μορφολογία και η Ανατομία των Φυτών, Τόμος Ι. Εκδόσεις Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αθήνα.
- **Θέριος Ι. 2005.** Ελαιοκομία. Εκδόσεις Γαργατάνη. Θεσσαλονίκη.
- **Καραμπουρνιώτης Γ. 2003.** Φυσιολογία Καταπονήσεων των Φυτών. Εκδόσεις Έμβρυο. Αθήνα.
- **Καράταγλης Σ. 1994.** Φυσιολογία φυτών, τρίτη έκδοση. Εκδόσεις Art of Text. Θεσσαλονίκη.
- **Μάτης Κ. 2004.** Δασική Βιομετρία II Δενδρομετρία. Εκδόσεις Πήγασος 2000. Θεσσαλονίκη.
- **Ποντίκης Κ. 2000.** Ελαιοκομία. Εκδόσεις Α. Σταμούλης. Αθήνα.
- **Σαραντόπουλος Γ. και Ν. 2011.** Εδεσματολόγιον Κρήτης. Εκδόσεις Σαββάλας. Αθήνα.
- **Σφακιωτάκης Ε. 1996.** Μαθήματα Ελαιοκομίας. Εκδόσεις τυρο ΜΑΝ - Μίμης Μανουσάκης. Θεσσαλονίκη.
- **Τσέκου Ι. και Ηλία Η. 2007.** Μορφολογία και Ανατομία Φυτών. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε.. Θεσσαλονίκη.
- **Ψαράς Γ., Τηνιακού Α. και Καμάρη Γ. 2002.** Μορφολογία Φυτών, Μέρος Ι, Βασικές Γνώσεις. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών. Πάτρα.

- **Ψιλάκης Ν. & Μ. 2002.** Τα βότανα στην κουζίνα. Εκδόσεις Καρμάνωρ. Ηράκλειο.
- **Fooks R. 1995.** Το βιβλίο της ελιάς. Εκδόσεις Ψυχαλού. Αθήνα.

Βιβλιογραφία μέσω διαδικτύου

http://www.nagref-cha.gr/files/Pepragmena_2000.pdf

<http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=OLEU>

<http://academic.kellogg.edu/herbrandsonc/bio111/stems.htm>

http://www.eplantscience.com/index_files/stem.php#gg