

ΕΓΚΛΕΙΣΜΟΣ ΑΙΘΕΡΙΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΣΕ ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΕΙΣ ΜΗΤΡΕΣ. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Μ. Στραμάρκου¹, Β. Οικονομοπούλου^{1*}, Θ. Μυσιρλή¹, Ι. Θανασούλια², Μ. Κροκίδα¹

¹Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών (ΕΣΑΔ), Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

²ΑΧΑΪΚΑ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΑΕΒΕ, Αίγιο, Ελλάδα

(*vasiaoik@central.ntua.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για περιορισμό της χρήσης συνθετικών ενώσεων σε ποικίλους τομείς, όπως στα καλλυντικά, την ιατρική, την προστασία των καλλιεργειών και τη βιομηχανία τροφίμων λόγω των παρενεργειών τους στην ανθρώπινη υγεία. Σε συστήματα εντατικής καλλιέργειας, τα αγροχημικά τείνουν να αντικαθίστανται από φυσικά παρασιτοκτόνα, όπως αιθέρια έλαια που παρουσιάζουν αντιμικροβιακή δράση, που προέρχονται από φυτά ή βότανα ^[1, 2] για την καταπολέμηση ζιζανίων, παρασιτικών νηματωδών, παθογόνων και εντόμων ^[3]. Η χρήση τους στον έλεγχο μικροοργανισμών σε βιολογικές καλλιέργειες θερμοκηπίου φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενη, αλλά η δράση τους είναι πολύ γρήγορη και η αποτελεσματικότητά τους περιορίζεται λόγω της υψηλής πτητικότητας των ενώσεων. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων σε βιοπολυμερείς μήτρες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους, τον έλεγχο της απελευθέρωσής τους και την αύξηση του χρόνου δράσης τους με σκοπό την ενσωμάτωσή τους σε φιλμ που εφαρμόζονται σε καλλιέργειες θερμοκηπίου.

Έλαιο δενδρολίβανου ενθυλακώθηκε σε βιοπολυμερείς μήτρες (PLA και ζεΐνη), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ηλεκτροστατικής ινοποίησης και τη μέθοδο της εκβολής. Εξετάστηκε η επίδραση διαφόρων παραμέτρων, όπως η συγκέντρωση πολυμερούς, η παροχή, η απόσταση βελόνας-στόχου και η αναλογία ελαίου προς πολυμερές στις ιδιότητες των ινών που παρήχθησαν κατά την εφαρμογή της ηλεκτροστατικής ινοποίησης. Η διαδικασία της εκβολής, που οδήγησε στην ανάπτυξη σφαιριδίων, βελτιστοποιήθηκε ως προς την ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση ελαίου. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε διάφορες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας και μελετήθηκε η σταθερότητα και η ελεγχόμενη απελευθέρωση των ενθυλακωμένων ενώσεων. Οι εξεταζόμενες παράμετροι ενθυλάκωσης επηρέασαν τη μορφολογία και τις ιδιότητες των ενθυλακωμένων δομών, καθώς και τη σταθερότητα της εγκλεισμένης ουσίας. Η αποτελεσματικότητα εγκλεισμού (ΑΕ) εμφάνισε υψηλές τιμές και για τις δύο μεθόδους και κυμάνθηκε μεταξύ 70-90%. Η ανάλυση ATR-FTIR επιβεβαίωσε την παρουσία της εγκλεισμένης ουσίας στις δομές. Τέλος, η ενθυλάκωση οδήγησε σε επιμήκυνση της δράσης των ελαίων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αγροτικός τομέας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της ελληνικής οικονομίας. Η ποιότητα, όμως, και η αποδοτικότητα των καλλιεργειών απειλούνται από διάφορες ασθένειες και παράσιτα τα οποία μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παραγωγή κατά 25-50%. Για να προστατευτούν οι γεωργικές καλλιέργειες, χρησιμοποιούνται τεράστιες ποσότητες παρασιτοκτόνων, τα οποία είναι κυρίως συνθετικά. Ο γεωργικός τομέας, όμως, τα τελευταία χρόνια, έχει στραφεί στο βιολογικό τρόπο καλλιέργειας, μειώνοντας τη χρήση χημικών φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Τα αγροχημικά τείνουν να αντικαθίστανται από φυσικά παρασιτοκτόνα, όπως αιθέρια έλαια ^[1-3]. Ανάμεσά τους, τα αιθέρια έλαια του δενδρολίβανου αποτελούν αντιμικροβιακούς και αντιμυκητιακούς παράγοντες λόγω της ιδιαίτερης χημικής τους σύστασης και είναι αποτελεσματικά κατά ορισμένων παρασίτων εντόμων και ακάρεων ^[4].

Η χρήση των αιθέριων ελαίων στον έλεγχο παρασίτων, παθογόνων και ζιζανίων σε βιολογικές

καλλιέργειες θερμοκηπίου είναι πολλά υποσχόμενη, αλλά η δράση τους είναι πολύ γρήγορη και η αποτελεσματικότητά τους περιορίζεται λόγω της υψηλής πτητικότητάς τους. Για την προστασία τους, την ελεγχόμενη αποδέσμευσή τους και την επιμήκυνση του χρόνου δράσης τους απαιτείται ο εγκλεισμός τους σε μικρό ή/και νάνο κλίμακα. Κατά τον εγκλεισμό, οι ουσίες εγκλωβίζονται σε ένα μέσο επικάλυψης με σκοπό να προστατευθεί η βιολογική τους δράση από εξωτερικούς παράγοντες και να ενισχυθεί η φυσικοχημική σταθερότητά τους [5]. Για τον εγκλεισμό χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι (ηλεκτροστατική ινοποίηση, εκβολή, ξήρανση με ψεκασμό, κλπ.). Μεταξύ αυτών, η ηλεκτροστατική ινοποίηση αποτελεί μια καινοτόμο μέθοδο για τον εγκλεισμό βιοδραστικών ενώσεων και την παραγωγή μικρο- και νανοδομών [6]. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ηλεκτρικά πεδία υψηλής τάσης για την παραγωγή ηλεκτρικά φορτισμένων διαλυμάτων βιοδραστικών ενώσεων, διαλύτη και πολυμερούς και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή λεπτών ινών ή και σφαιριδίων μετά την εξάτμιση του διαλύτη. Επίσης, η εκβολή αποτελεί μία συμβατική μέθοδο εγκλεισμού που χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία σφαιριδίων. Είναι συνεχής, χαμηλού κόστους, χρησιμοποιεί περιορισμένες ποσότητες διαλυτών ενώ είναι ιδανική για ποικίλες μήτρες, εγκλεισμένα συστατικά και μεγάλη παραγωγικότητα [7]. Ο αριθμός των πολυμερών που χρησιμοποιούνται για εγκλεισμό βιοδραστικών ουσιών είναι μεγάλος. Τα πολυμερή αυτά μπορεί να είναι φυσικά, συνθετικά ή μίγμα των δύο [8]. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τη χρήση βιοπολυμερών, λόγω της βιοσυμβατότητας και της βιοαποικοδομησιμότητάς τους [9]. Το πολυγαλακτικό οξύ (PLA) είναι ένα μη τοξικό συνθετικό βιοπολυμερές που χρησιμοποιείται σε συστήματα που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα [10] και παρουσιάζει υδροφοβική συμπεριφορά, η οποία είναι απαραίτητη σε χώρους με υψηλή υγρασία, όπως είναι τα θερμοκήπια [11]. Επίσης, η ζεΐνη είναι μια φυσική πρωτεΐνη που χρησιμοποιείται ευρέως για την ενσωμάτωση βιοδραστικών συστατικών [12]. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων, μέσω ηλεκτροστατικής ινοποίησης και εκβολής, σε μήτρες PLA και ζεΐνης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητάς τους, τον έλεγχο της απελευθέρωσής τους και την αύξηση του χρόνου δράσης τους με σκοπό την ενσωμάτωσή τους σε θερμοκηπιακά φιλμ.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την παραγωγή ινών με ηλεκτροστατική ινοποίηση και σφαιριδίων με εκβολή, ως μήτρες χρησιμοποιήθηκαν πολυγαλακτικό οξύ (PLA) και ζεΐνη, ενώ εγκλείστηκε έλαιο δενδρολίβανου.

Παραγωγή πολυμερών

Ηλεκτροστατική Ινοποίηση: Για την παραγωγή των ινών χρησιμοποιήθηκε ακετονικό διάλυμα, συγκέντρωσης 10% w/v για το PLA και διάλυμα αιθανόλης-νερού (80:20 και 90:10), συγκέντρωσης 33% w/v για τη ζεΐνη. Τα αιθέρια έλαια αναμίχθηκαν σε ποσοστά 10 και 20% με τα διαλύματα των πολυμερών. Η παραγωγή των προϊόντων μέσω ηλεκτροστατικής ινοποίησης πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή FluidNatek L-10, Bioinicia. Η τάση ρυθμίστηκε στα 27 kV, ενώ μελετήθηκαν η παροχή των διαλυμάτων και η απόσταση μεταξύ της άκρης της βελόνας και του συλλέκτη.

Πίνακας 1. Συνθήκες λειτουργίας κατά την ηλεκτροστατική ινοποίηση.

Πολυμερές	PLA	ζεΐνη
συγκέντρωση του πολυμερούς	10%	33%
συγκέντρωση του αιθέριου ελαίου	10% και 20%	10% και 20%
παροχή των διαλυμάτων (mL/h)	1, 0,8 και 1,2	1, 0,8 και 1,2
απόσταση μεταξύ της άκρης της βελόνας και του συλλέκτη (cm)	10, 15 και 20	10, 15 και 20

Εκβολή: Η παραγωγή των προϊόντων εκβολής πραγματοποιήθηκε σε εκβολέα διπλού κοχλία συμπεριστροφής. Η θερμοκρασία της τελευταίας ζώνης επιλέγεται σε δύο επίπεδα, 180 και 200°C για το PLA και 110 και 140°C για τη ζεΐνη. Το αιθέριο έλαιο εισάγεται στην τελευταία ζώνη. Μελετήθηκε η συγκέντρωση του αιθέριου ελαίου και η ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών.

Πίνακας 2. Συνθήκες λειτουργίας και παράμετροι κατά την εκβολή.

Πολυμερές	PLA	Ζεΐνη
συγκέντρωση του αιθέριου ελαίου	10% και 20%	10% και 20%
ταχύτητα περιστροφής των κοχλιών (rpm)	50, 70, 90	40, 60, 80
θερμοκρασία εκβολής (°C)	180, 200	110, 140

Χαρακτηρισμός των παραγόμενων πολυμερών

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης: Η απεικόνιση της μικροδομής των ινών πραγματοποιήθηκε με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Quanta 200 FEI (2004), OR, USA), χρησιμοποιώντας ανιχνευτή ευρέως πεδίου (LFD) στα 15kV. Πριν την απεικόνιση, τα δείγματα επιμεταλλώθηκαν με χρυσό στον επιμεταλλωτή SC7620 Mini Sputter Coater (Quorum Technologies, West Sussex, UK) για 105 s, δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα χρυσού πάχους 15 nm.

Διαφορική Θερμιδομετρία σάρωσης (DSC): Οι θερμικές μεταπτώσεις του συμπλόκου εγκλεισμού μελετήθηκαν με διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry, DSC) στη συσκευή Perkin Elmer DSC 6, CT, USA, χρησιμοποιώντας το λογισμικό Pyris 6. Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε θερμοκρασιακό πρόγραμμα, ανάλογα με το υλικό: τα δείγματα της ζεΐνης ψύχθηκαν στους 0°C για 2 min και έπειτα θερμάνθηκαν μέχρι τους 200°C με ρυθμό 5°C/min και τα δείγματα του PLA ψύχθηκαν στους 0°C για 2 min και έπειτα θερμάνθηκαν μέχρι τους 100°C με ρυθμό 5°C/min. Από τα διαγράμματα προσδιορίστηκε η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης.

Φασματοσκοπία Υπερύθρου (ATR-FTIR): Τα χημικά χαρακτηριστικά των πολυμερών, καθώς και η αλληλεπίδραση πολυμερών και ελαίων, αξιολογήθηκαν με την τεχνική της αποσβένουσας ολικής ανάκλασης και της υπέρυθρης φασματοσκοπίας ((FT/IR-4200, JASCO International Co., Ltd. Japan), (ATR PRO-410 -S, JASCO International Co., Ltd. Japan)) σε μήκη κύματος μεταξύ 700-4000 cm⁻¹.

Μέτρηση αποτελεσματικότητας εγκλεισμού: Για τον υπολογισμό της εγκλεισμένης ποσότητας των αιθέριων ελαίων στις ίνες και τα σφαιρίδια πραγματοποιήθηκε εκχύλιση Soxhlet, ώστε να προσδιοριστεί αρχικά η ποσότητα ελαίου που δεν έχει εγκλειστεί. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε με πετρελαϊκό αιθέρα στην περίπτωση του PLA και με οξικό αιθυλεστέρα στην περίπτωση της ζεΐνης, για 1 h. Τα εκχυλίσματα φωτομετρήθηκαν στα 216 nm χρησιμοποιώντας το φωτόμετρο UV-Vis (Espectrofotometro UV-M51, Bel Photonics). Από την πρότυπη καμπύλη ελαίου, υπολογίστηκε η συγκέντρωση του ελαίου. Η απόδοση του εγκλεισμού (AE) υπολογίστηκε από τη σχέση:

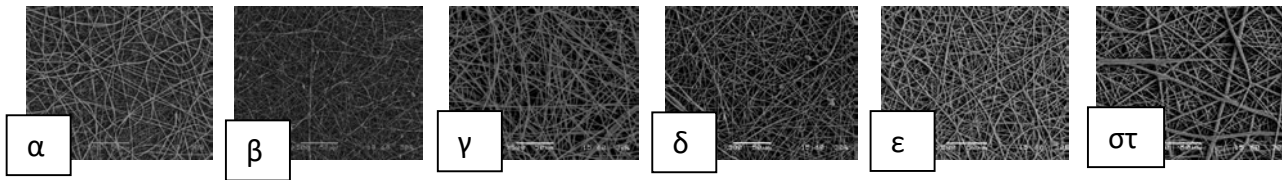
$$AE (\%) = \frac{\text{ποσότητα εγκλεισμένου ελαίου (mL)}}{\text{αρχική ποσότητα ελαίου (mL)}} \cdot 100\%$$

Αποθήκευση σε ελεγχόμενες συνθήκες: Οι ίνες και τα σφαιρίδια αποθηκεύτηκαν σε ελεγχόμενες συνθήκες υγρασίας (ενεργότητα νερού 0.11, 0.53 και 0.94) και θερμοκρασίας (25 και 45°C) και μελετήθηκε η αποδέσμευση του αιθέριου ελαίου με την πάροδο του χρόνου. Το ποσοστό αποδέσμευσης του εγκλεισμένου ελαίου (Release Rate, RR) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$RR (\%) = \frac{\text{ποσότητα μη εγκλεισμένου ελαίου (mL)}}{\text{αρχική ποσότητα ελαίου (mL)}} \cdot 100\%$$

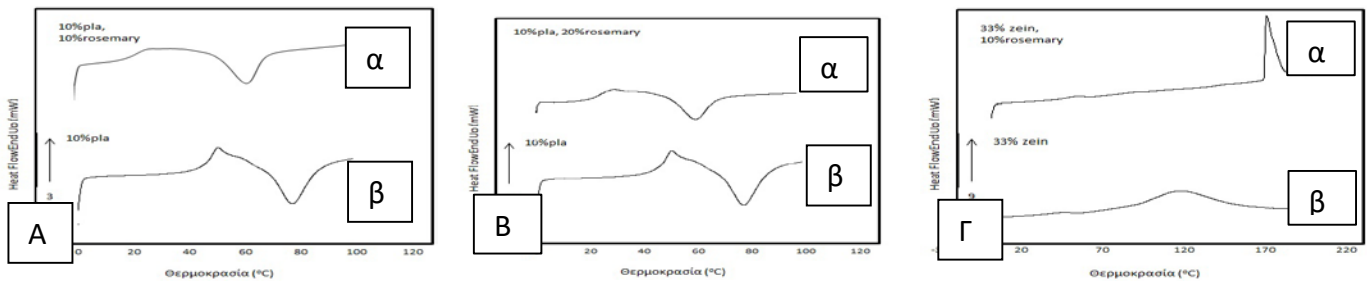
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα φιλμ που σχηματίστηκαν κατά την ηλεκτροστατική ινοποίηση αποτελούνται από τυχαία προσανατολισμένες ίνες, οι οποίες στην πλειοψηφία τους είναι απαλλαγμένες από σφαιρικούς σχηματισμούς. Παρατηρείται ότι οι ίνες με μεγαλύτερο ποσοστό ελαίου και μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλύτη εμφανίζουν ελαφρώς μεγαλύτερες διαμέτρους. Οι ίνες PLA παρουσιάζουν πιο πυκνή δομή και ελαφρώς μεγαλύτερες διαμέτρους (1200-2000 nm) από τις ίνες της ζεΐνης (860-1500 nm). Επίσης, η μορφολογία τους είναι πιο ομοιογενής και κυλινδρική και εμφανίζονται διακλαδώσεις. Οι ίνες ζεΐνης δημιουργούν πιο δαιδαλώδες πλέγμα και η μορφολογία τους είναι πιο πλατιά προσομοιάζοντας το σχήμα της κορδέλας. Τέλος, παρατηρείται ότι στις ίνες με μεγαλύτερη περιεκτικότητα ελαίου εμφανίζονται κάποιοι σφαιρικοί σχηματισμοί.



Εικόνα 1. Φωτογραφίες SEM α. ινών ζεΐνης σε 80% αιθανόλη, 10% έλαιο, β. ινών ζεΐνης σε 80% αιθανόλη, 20% έλαιο, γ. ινών ζεΐνης σε 90% αιθανόλη, 10% έλαιο και δ. ινών ζεΐνης σε 90% αιθανόλη, 20% έλαιο, ε. ινών PLA με 10% έλαιο και στ. ινών PLA με 20% έλαιο

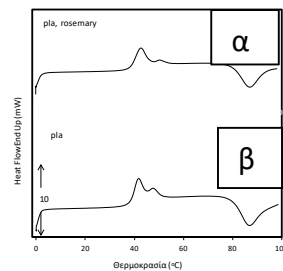
Οι θερμικές ιδιότητες των ινών της ζεΐνης και του PLA, με ή χωρίς έλαιο, προσδιορίστηκαν μέσω DSC. Προσδιορίστηκε η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g), η οποία αντιπροσωπεύει τη θερμική σταθερότητα του πολυμερούς. Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά διαγράμματα.



Διάγραμμα 1. DSC διαγράμματα ινών Α. α) 10% PLA, 10% έλαιο, β) 10% PLA, Β. α) 10% PLA, 20% έλαιο, β) 10% PLA, Γ. α) 33% ζεΐνη, 80% αιθανόλη, 10% έλαιο, β) 33% ζεΐνη, 80% αιθανόλη

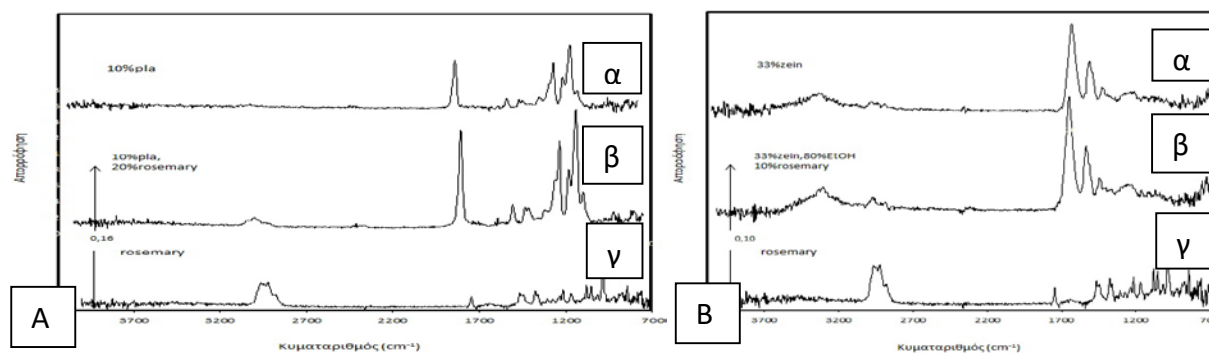
Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης για τις ίνες PLA ($T_g = 76,8^\circ\text{C}$) είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες για τις ίνες με αιθέριο έλαιο ($T_g = 64^\circ\text{C}$). Η μεταβολή του T_g εξηγείται ως συνέπεια των αλληλεπιδράσεων του πολυμερούς και του ελαίου και σχετίζεται με το φαινόμενο πλαστικοποίησης του ελαίου [14]. Το T_g δεν παρουσίασε ιδιαίτερη μεταβολή για τις δύο συγκεντρώσεις ελαίου. Το T_g για τις ίνες ζεΐνης ($T_g = 44^\circ\text{C}$) είναι μικρότερο από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες για τις ίνες ζεΐνης που περιέχουν αιθέριο έλαιο ($T_g = 46-51^\circ\text{C}$) και δεν παρουσίασε ιδιαίτερη μεταβολή για τις δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμάτων.

Όσον αφορά στα παραγόμενα σφαιρίδια PLA με τη μέθοδο της εκβολής, το T_g δεν παρουσίασε σημαντική μεταβολή με την προσθήκη του ελαίου και κυμάνθηκε στους 84°C .



Διάγραμμα 2. DSC διαγράμματα για σφαιρίδια α) PLA και β) PLA 10% έλαιο

Με τη μέθοδο ATR-FTIR έγινε διερεύνηση της επίδρασης της ηλεκτροστατικής ισοποίησης στη χημική δομή των ινών και της ενσωμάτωσης των ελαίων στο κάθε πολυμερές. Η ενσωμάτωση και συγκράτηση του ελαίου στη πολυμερική μήτρα θεωρήθηκε επιτυχής, ενώ υπάρχει φυσικός εγκλεισμός του ελαίου καθώς δεν παρατηρείται αλλαγές στη χημική δομή της κάθε μήτρας. Συγκρίνοντας τα φάσματα που προέκυψαν από κάθε διαφορετική συνθήκη που εφαρμόστηκε κατά την παραγωγή των ινών, δεν παρατηρήθηκαν ουσιαστικές αλλαγές.



Διάγραμμα 3. (Ενδεικτικά) ATR φάσμα για A. (α) ίνες με 10% PLA, (β) ίνες με 10% PLA, 20% έλαιο, (γ) έλαιο, B. (α) ίνες με 33% ζεΐνη, (β) ίνες με 33% ζεΐνη: 80% αιθανόλη: 10% έλαιο και (γ) έλαιο

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η αποτελεσματικότητα εγκλεισμού (ΑΕ) των αιθέριων ελαίων στα φιλμ PLA και ζεΐνης για τις διάφορες συνθήκες που μελετήθηκαν.

Πίνακας 3. ΑΕ για τις ίνες με 10% PLA με 10 και 20% δενδρολίβανο

% ελαίου	Ροή (mL/h)	Απόσταση (cm)	%ΑΕ	% ελαίου	Ροή (mL/h)	Απόσταση (cm)	%ΑΕ
10	1	10	87	20	1	10	92
		15	95			15	93
		20	85			20	90
	0,8	15	95		0,8	15	95
		15	93			15	88
		15	93			15	88

Πίνακας 4. ΑΕ για τις ίνες με 33% ζεΐνη με 10 και 20% δενδρολίβανο

% ελαίου	Ροή (mL/h)	Απόσταση (cm)	Συγκέντρωση αιθανόλης (%)	%ΑΕ
10	1,0	15	10	80
			20	82
20	1,0	15	10	85
			20	87

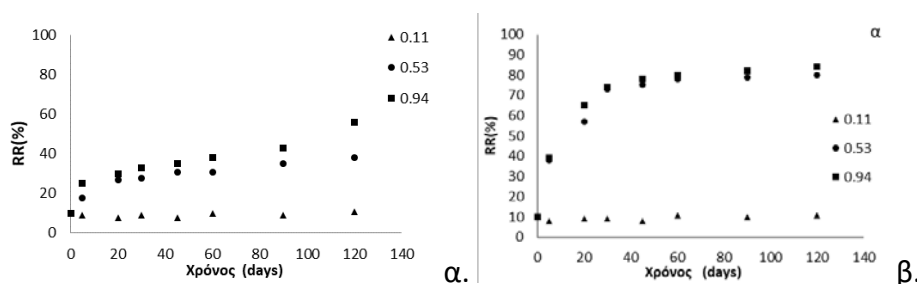
Η ΑΕ των αιθέριων ελαίων είναι πολύ υψηλή με μέσο όρο ΑΕ 91,67%. Η ΑΕ αυξάνεται όσο μεγαλώνει το ποσοστό του αιθέριου ελαίου, ενώ όσο αυξάνεται η παροχή, η ΑΕ μειώνεται σε μικρό βαθμό. Η ΑΕ μπορεί να βελτιώνεται ελάχιστα όσο μειώνεται η παροχή του διαλύματος κατά την ηλεκτροστατική ισοποίηση, ο χρόνος της διεργασίας όμως αυξάνεται κατά πολύ. Για το λόγο αυτό, η παροχή του 1 mL/h θεωρήθηκε βέλτιστη, καθώς εμφανίζει πολύ καλή αποτελεσματικότητα εγκλεισμού και μειωμένο χρόνο παραγωγής φιλμ. Συγκρίνοντας τις διάφορες αποστάσεις, παρατηρείται ότι στην απόσταση των 15 cm, εμφανίζεται η υψηλότερη ΑΕ.

Πίνακας 5. ΑΕ για τα σφαιρίδια PLA με 10 και 20% δενδρολίβανο

% ελαίου	Ροή (mL/h)	Θερμοκρασία (°C)	%ΑΕ	% ελαίου	Ροή (mL/h)	Θερμοκρασία (°C)	%ΑΕ
10	50	180	69	20	50	180	72
		200	64			200	68
	70	180	62		70	180	65
		180	63			90	180

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται η ΑΕ για τα παραγόμενα σφαιρίδια PLA και ζεΐνης που περιέχουν αιθέρια έλαια. Τα σφαιρίδια που παρήχθησαν σε χαμηλότερη θερμοκρασία και ταχύτητα περιστροφής παρουσίασαν υψηλότερη ΑΕ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες, παρατηρείται μικρή απώλεια ελαίου. Η ΑΕ της μεθόδου εκβολής παρουσίασε χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τη μέθοδο της ηλεκτροστατικής ισοποίησης.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται ενδεικτικά η αποδέσμευση (%RR) αιθέριων ελαίων σε πολυμερικά φιλμ που αποθηκεύτηκαν σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.



Διάγραμμα 4. Αποδέσμευση (%RR) συναρτήσει του χρόνου για φιλμ PLA με 10% έλαιο α. 25°C και β. 45°C

Παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας αυξήθηκε και το ποσοστό αποδέσμευσης του εγκλεισμένου ελαίου από τα πολυμερικά φιλμ. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξήθηκε ο χρόνος αποθήκευσης αυξήθηκε το ποσοστό αποδέσμευσης του εγκλεισμένου ελαίου. Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε σε μεγαλύτερο ρυθμό αποδέσμευσης του ελαίου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο εγκλεισμός αιθέριων ελαίων σε βιοπολυμερικές μήτρες (PLA και ζεΐνη) με χρήση της καινοτόμου μεθόδου ηλεκτροστατικής ινοποίησης και της συμβατικής μεθόδου εκβολής. Η ενσωμάτωση του ελαίου στις πολυμερικές μήτρες θεωρήθηκε επιτυχής. Η ΑΕ των αιθέριων ελαίων με χρήση ηλεκτροστατικής ινοποίησης είναι πολύ υψηλή με μέσο όρο ΑΕ 91,67%. Το PLA έδειξε βέλτιστα αποτελέσματα. Οι βέλτιστες συνθήκες ηλεκτροστατικής ινοποίησης ήταν 10% συγκέντρωση ελαίου, παροχή 1 mL/h και απόσταση 15 cm. Για την εκβολή επιλέχθηκε το πολυμερές PLA με ροή 50 mL/h και θερμοκρασία 180°C. Η αύξηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας οδήγησε σε αυξημένα ποσοστά αποδέσμευσης του ελαίου. Οι παραγόμενες δομές έχουν τη δυνατότητα να ενσωματωθούν σε φιλμ θερμοκηπίου για να ενισχύσουν την αντιμικροβιακή τους δραστηριότητα και να αντικαταστήσουν τα αγροχημικά προϊόντα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του έργου «BIOCOVER» και χρηματοδοτήθηκε από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανατολική Μακεδονία και Θράκη 2014-2020», Δράση «Ενίσχυση Επενδυτικών σχεδίων Καινοτομίας, Έρευνας και Ανάπτυξης Επιχειρήσεων, του κλάδου Χημικών – Πολυμερών Υλικών».

Οι συγγραφείς εκφράζουν θερμές ευχαριστίες προς το Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ και ιδιαίτερα την Επίκ. Καθ. Βουγιούκα και τον Δρ. Πορφύρη για την αρωγή τους στην παραγωγή των προϊόντων εκβολής.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
ανάπτυξης και
επιστημονικής έρευνας



ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη



Περιφέρεια
Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Copping LG, Duke SO. Pest Manag Sci, 63(6) (2007) 524-54.
- [2] Hammer KA, Carson CF, Riley TV. J Appl Microbiol 86 (1999) 985-990.
- [3] Friedman M. J Agr Food Chem 63 (2015) 3805-3822.
- [4] Rašković A, Milanović I, Pavlović N, Čebović T, Vukmirović S, Mikov M. Complement Altern Med. 14 (2014).
- [5] Mogol BA, Gökmen V, Shimoni E. Agro FOOD Industry Hi Tech 24(3) (2013) 62-65.
- [6] Bhardwaj A, Lee J, Glauner K, Ganapathi S, Bhattacharyya D, Butterfield DA. J Membr Sci 119(1996) 241-52.
- [7] Tackenberg MW, Kleinebudde P. Current Pharmaceutical Design 21(40) (2015) 5815-28.
- [8] Ohgo K, Zhao C, Kobayashi M, Asakura T. Polymer 44 (2003) 841-6.
- [9] Jiang HL, Fang DF, Hsiao BS, Chu B, Chen WL. Biomacromolecules 5 (2004) 326-33.
- [10] Casasola R, Thomas NL, Trybala A, Georgiadou C. Polymer 55 (2014) 4728-4737.
- [11] Hendrick E, Frey M. J. Eng. Fibers Fabr 9 (2014) 153-164.
- [12] Torres-Giner S, Gimenez E, Lagaron J. Food Hydrocoll 22(4) (2008) 601-14.
- [13] Oliveira JE, Madureira EH, Mattoso LHC, Assis OBG. COLAOB 2012.