

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΒΙΟΑΠΟΙΚΟΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Ε. Αθανασοπούλου^{1,α,*}, Α. Κατσιρούμπα^{1,α}, Θ. Τσιρώνη¹

¹Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, ΓΠΑ, Αθήνα, Ελλάδα

Ίσότιμη συνεισφορά στη διεξαγωγή της έρευνας

(*efiatha@aua.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατανάλωση συσκευασμένων τροφίμων σημειώνει ετήσιο ρυθμό αύξησης (CAGR) 5%, ενώ η παγκόσμια αγορά συσκευασμένων τροφίμων αποτιμήθηκε σε 1,9 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2020 και αναμένεται να φτάσει τα 3,4 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030. Η εξόρυξη πρώτων υλών για υλικά συσκευασίας εξαντλεί τους φυσικούς πόρους και εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα^[1,2]. Το Νοέμβριο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε νέους κανόνες στο τομέα της συσκευασίας για την αντικατάσταση επιβλαβών συσκευασιών για το περιβάλλον με «πράσινα υλικά», ώστε να αντιμετωπισθεί η συνεχώς αυξανόμενη πηγή απορριμμάτων, καθώς, κατά μέσο όρο, στην Ευρώπη παράγονται περίπου 180 κιλά απορριμμάτων συσκευασίας ετησίως ανά πολίτη^[3]. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη καινοτόμων υλικών συσκευασίας βασισμένων στις αρχές της κυκλικής οικονομίας είναι αναγκαία. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η απομόνωση βιοπολυμερών από απόβλητα της παραγωγικής διαδικασίας οσπρίων (φακής) και ιχθυηρών για τη σύνθεση μεμβρανών, σε συνδυασμό με βιοπολυμερή όπως η πηκτίνη και η ζελατίνη, αντίστοιχα. Οι μεμβράνες που παράχθηκαν χαρακτηρίστηκαν ως προς το χρώμα, το πάχος, τις ιδιότητες φραγμού σε υγρασία (water vapor permeability, WVP), την υδροφοβικότητα (μέσω της μέτρησης της γωνίας επαφής), το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, τη διαλυτότητα σε νερό, τη διαπερατότητα φωτός UV-Vis και τη βιοαποικοδομησιμότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι σπόροι φακής και οι πρωτεΐνες απομονωμένες από απορρίψεις ιχθυηρών μπορούν να αξιοποιηθούν για τη σύνθεση βιοαποικοδομήσιμων υλικών συσκευασίας με επαρκή εμπόδια φραγμού στην υγρασία και καλές οπτικές ιδιότητες. Η τιμή WVP ήταν $19,83 \pm 2,29 \frac{g \times mm}{m^2 \times h \times kPa}$ για τις μεμβράνες που παράχθηκαν από 100% πηκτίνη, ενώ για τις μεμβράνες που παράχθηκαν από 50% πηκτίνη:50% άλευρο φακής αυξήθηκε σε $280,91 \pm 32,89 \frac{g \times mm}{m^2 \times h \times kPa}$. Η τιμή WVP δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεμβρανών από ύλες ζωικής προέλευσης ($239,46 \pm 27,36$ και $228,52 \pm 67,94 \frac{g \times mm}{m^2 \times h \times kPa}$, για τις μεμβράνες από 100% ζελατίνη και 50% ζελατίνη:50% πρωτεΐνη ψαριού, αντίστοιχα). Οι μεμβράνες από πηκτίνη, πηκτίνη:σπόρους φακής και ζελατίνης χαρακτηρίστηκαν ως υδρόφοβες μέσω της γωνίας επαφής (γωνία επαφής >90°) ενώ με την ενσωμάτωση στη μεμβράνη πρωτεΐνης ιχθυηρών η γωνία επαφής μειώθηκε σε $57,37 \pm 4,00^\circ$ και το υλικό χαρακτηρίστηκε ως υδρόφιλο. Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν τη πιθανή αξιοποίηση των αποβλήτων της βιομηχανίας τροφίμων για την παραγωγή φιλικών στο περιβάλλον υλικών συσκευασίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Βιοαποικοδομήσιμα υλικά συσκευασίας, Πηκτίνη, Ζελατίνη, Αξιοποίηση αποβλήτων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού εκτιμάται ότι θα είναι περίπου 1.1 δισεκατομμύρια τόνοι μέχρι το 2050. Το νέο θεσμικό πλαίσιο στοχεύει στην σταθερή αύξηση της χρήσης και της παραγωγής βιοαποικοδομήσιμων συσκευασιών ώστε αυτά τα βιοπλαστικά να αντικαταστήσουν επαρκώς τα

πετροχημικά υλικά^[3]. Η εδώδιμη και βιοαποικοδομήσιμη συσκευασία αναμένεται να φτάσει τα 360.38 εκατομμύρια δολάρια έως το 2032, καταγράφοντας ετήσιο ρυθμό αύξησης (CAGR) 4.10% κατά την περίοδο 2023-2032^[4].

Η φακή ως φυτικό προϊόν και τα ιχθυηρά ως ζωικό προϊόν αποτελούν σημαντικά προϊόντα στο τομέα της βιομηχανίας τροφίμων. Η αγορά της φακής αναπτύσσεται ταχύτερα μεταξύ των οσπρίων και η παγκόσμια αγορά αναμένεται να φτάσει τους 26.7 εκατομμύρια τόνους έως το 2028, παρουσιάζοντας ετήσιο ρυθμό αύξησης (CAGR) 10.96% κατά την περίοδο 2023-2028. Παράλληλα, τα ιχθυηρά και τα αλιεύματα αποτελούν τον πρώτο εξαγωγικό κλάδο ζωικής παραγωγής της Ελλάδας. Το 2021, το 71% της εγχώριας παραγωγής αλιευμάτων προήλθε από την υδατοκαλλιέργεια και το υπόλοιπο 29% από την αλιεία^[5]. Οι πρωτεΐνες από τα παραπροϊόντα των ιχθυηρών προσελκύουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση τους ως νέα πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοπολυμερών στη συσκευασία τροφίμων μεταβάλλοντας τις λειτουργικές ιδιότητες του πολυμερούς που ενσωματώνονται.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι φακές αλέστηκαν σε λεπτή σκόνη η οποία εμποτίστηκε σε απεσταγμένο νερό σε αναλογία 1:10 (w/v) και το pH ρυθμίστηκε στο 11 με τη χρήση NaOH 0.1 N. Τα μη πρωτεϊνικά συστατικά καθιζάνανε στους 4°C μετά από 15 ώρες και απορρίφθηκαν με φυγοκέντρηση. Το FPC απομονώθηκε από τη σάρκα και το δέρμα τσιπούρας. Ο ιστός της τσιπούρας αλέστηκε και οξινίστηκε χρησιμοποιώντας υδατικό διάλυμα H₃PO₄ (pH 5.5) με σκοπό την καταβύθιση των πρωτεϊνών, στους 80°C. Για την εκχύλιση των λιπιδίων, προστέθηκε διπλός όγκος ισοπροπυλικής αλκοόλης. Το ίζημα συλλέχθηκε με φυγοκέντρηση και ξηράθηκε σε φούρνο αέρα στους 33°C για 24 ώρες^[6].

Οι μεμβράνες παρήχθησαν με χύτευση (solvent casting) και όλα τα μελετώμενα πολυμερή ήταν σε συγκέντρωση 3%. Σε όλα τα διαλύματα γλυκερόλη χρησιμοποιήθηκε ως πλαστικοποιητής σε ποσοστό 40% w/w. Το διάλυμα σχηματισμού της μεμβράνης από φακή έγινε σε αλκαλικό pH ενώ το διάλυμα σχηματισμού μεμβράνης από FPC έγινε σε όξινο pH και θέρμανση στους 74°C. Το διάλυμα LP αναμείχθηκε με το διάλυμα πηκτίνης σε αναλογία 1:1, και ομοίως τα διαλύματα FPC και ζελατίνης. 30 mL από κάθε τελικό διάλυμα τοποθετήθηκε σε πλαστικά τρυβλία Petri διαμέτρου 14 mm και ξηράθηκαν σε φούρνο αέρα στους 50°C για 48 ώρες. Μεμβράνες από 100% πηκτίνη και 100% ζελατίνη συντέθηκαν ως μάρτυρες (μεμβράνες ελέγχου).

Η αξιολόγηση των μεμβρανών ως υλικών συσκευασίας έγινε ως προς τις εξής ιδιότητες. Οι παράμετροι του χρώματος (L, a, b) προσδιορίστηκαν μέσω του συστήματος CIELab και η συνολική διακύμανση του χρώματος (ΔE) όλων των μεμβρανών υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση (1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b)^2} \quad (1)$$

Όπου το ΔL, Δa και το Δb είναι οι διαφορές των τιμών της μεμβράνης και του λευκού προτύπου (ΔE₁) ή οι τιμές της παρασκευασθείσας μεμβράνης και της αντίστοιχης μεμβράνης μάρτυρα, δηλαδή 100% πηκτίνη στην περίπτωση της μεμβράνης από πρωτεΐνη φακής ή 100% ζελατίνη στην περίπτωση της μεμβράνης από πρωτεΐνη ιχθυηρού (ΔE₂). Οι ιδιότητες φραγμού UV-Vis μετρήθηκαν με φασματοφωτόμετρο (VWR® Double Beam UV×Vis 6300 PC φασματοφωτόμετρο, Κίνα) σε εύρος μήκους κύματος 190-800 nm.

Ο ρυθμός διαπερατότητας σε υδρατμούς (WVTR) προσδιορίστηκε σταθμικά, σύμφωνα με την μέθοδο ASTM E96 (ASTM, 2001B) με μικρές τροποποιήσεις. Ο WVTR και η WVP υπολογίστηκαν σύμφωνα με τις εξισώσεις (2) και (3):

$$WVTR = \frac{\Delta W}{\Delta t \cdot A} \quad (2)$$

$$WVP = WVTR \cdot \frac{L}{\Delta P} \quad (3)$$

Όπου $\Delta W/\Delta t$ είναι η πρόσληψη βάρους των φιαλιδίων με την πάροδο του χρόνου (g/day), A είναι η επιφάνεια της μεμβράνης που είναι εκτεθειμένη (m^2), L είναι το μέσο πάχος της μεμβράνης (mm) και ΔP είναι η διαφορά τάσης ατμών στις δύο πλευρές της μεμβράνης (kPa).

Το ποσοστό υγρασίας, και η διαλυτότητα στο νερό υπολογίστηκαν βάση των εξισώσεων (4) και (5), αντίστοιχα.

$$\text{Ποσοστό Υγρασίας} = \frac{M_w - M_d}{M_w} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$\text{Διαλυτότητα} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \cdot 100\% \quad (5)$$

Όπου m είναι το βάρος της μεμβράνης (g) και V ο όγκος που καταλαμβάνει η μεμβράνη (m^3), M_w είναι το ποσοστό της υγρασίας της μεμβράνης πριν την ξήρανση σε φούρνο αέρα και M_d είναι το ποσοστό της υγρασίας της μεμβράνης μετά την ξήρανση σε φούρνο αέρα, W_i (g) είναι το αρχικό ξηρό βάρος, και W_f (g) είναι το τελικό ξηρό βάρος της μεμβράνης.

Η γωνία επαφής των μεμβρανών μετρήθηκε με χρήση γωνιόμετρου Theta Flow Optical Tensiometer (Biolin Scientific, Gothenburg, Sweden) σύμφωνα με τη μέθοδο ASTM D5946.

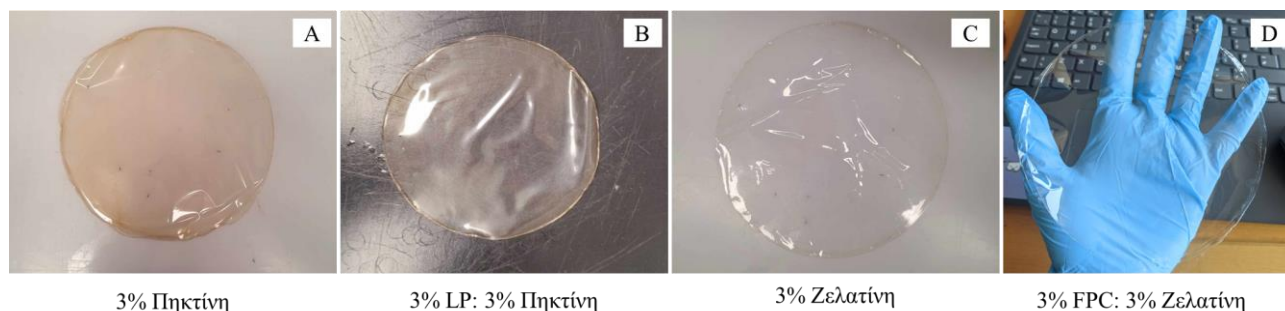
Η μελέτη της βιοαποικοδομησιμότητας των υλικών βασίστηκε στην οπτική παρατήρηση της συντήρησης των μεμβρανών σε αναερόβιες συνθήκες χρώματος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Πίνακας 1. Η αδιαφάνεια, η φωτεινότητα (L), η διαφορά χρώματος μεταξύ του λευκού προτύπου (ΔE_1) και μεταξύ των σύνθετων μεμβρανών και των αντίστοιχων μεμβρανών μάρτυρες (ΔE_2).

Είδος μεμβράνης	Αδιαφάνεια (600 nm)	L	ΔE_1	ΔE_2
Πηκτίνη	2.26±0.23 ^b	86.75±0.54 ^a	15.03±1.23 ^b	2.33±1.58
LP: πηκτίνη	3,19±0.53 ^c	85.96±1.12 ^a	16.21±2.16 ^b	
Ζελατίνη	0.63±0.17 ^a	91.10±0.20 ^b	9.68±0.23 ^a	14.43±3.86
FPC: ζελατίνη	4.51±1.34 ^d	88.46±4.75 ^b	14.12±5.28 ^c	

Η οπτική απεικόνιση των παραγόμενων μεμβρανών παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 και οι τιμές των παραμέτρων του χρώματος στον Πίνακα 1. Οι τιμές L για τις μεμβράνες φυτικής προέλευσης είναι στατιστικά σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τις μεμβράνες από πρώτες ύλες ζωικής προέλευσης ($p < 0.05$), δείχνοντας ότι οι μεμβράνες φυτικής προέλευσης είναι λιγότερο φωτεινές. Η κιτρινωπή φύση των υλικών που βασίζονται σε πολυσακχαρίτες σχετίζεται με την παρουσία επαναλαμβανόμενων μονάδων D-γλυκοπυρανόζης^[7]. Όλες οι μεμβράνες έχουν τιμή ΔE μεγαλύτερη από 3 δείχνοντας οπτική διαφορά τόσο μεταξύ των μεμβρανών και του λευκού προτύπου (ΔE_1) όσο και μεταξύ της πηκτίνης με την σύνθετη μεμβράνη LP:πηκτίνη και της ζελατίνης με τη σύνθετη μεμβράνη FPC:ζελατίνη.



Σχήμα 1. Οπτική απεικόνιση των παραγόμενων μεμβρανών (A) 3% πηκτίνη (B) 3% LP: 3% πηκτίνη (C) 3% ζελατίνη και (D) 3% FPC: 3% ζελατίνη.

Η ικανότητα των υλικών συσκευασίας να αντιστέκονται στην απορρόφηση νερού εκτιμάται μέσω της γωνίας επαφής του νερού στην επιφάνεια των υλικών. Υλικά με γωνία επαφής μικρότερη ή ίση των 90° έχουν μερική ή πλήρη διαβροχή και χαρακτηρίζονται ως υδρόφιλες επιφάνειες, ενώ υλικά με γωνία επαφής μεγαλύτερη των 90° έχουν μερική ή πλήρη μη διαβροχή και χαρακτηρίζονται ως υδρόφοβες επιφάνειες^[8]. Η στατιστική ανάλυση έδειξε μη σημαντική διαφορά ($p > 0.05$) μεταξύ των τιμών της γωνίας επαφής των μεμβρανών της πηκτίνης, της LP:πηκτίνης και της ζελατίνης ($95.01 \pm 4.80^\circ$, $98.63 \pm 3.78^\circ$, και $96.02 \pm 5.31^\circ$, αντίστοιχα), χαρακτηρίζοντας τα υλικά υδρόφοβα. Αντίθετα, η γωνία επαφής μειώθηκε σε $57.37 \pm 4.00^\circ$ για τις μεμβράνες FPC:ζελατίνης (υφρόφιλα υλικά)

Κάθε τρόφιμο απαιτεί μια συγκεκριμένη τιμή περιεκτικότητας σε νερό, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις, μια μειωμένη μεταφορά νερού μεταξύ της συσκευασίας και του περιβάλλοντος είναι απαραίτητη για την διατήρηση του τροφίμου^[9]. Στην παρούσα μελέτη το ποσοστό υγρασίας των μεμβρανών από πηκτίνη, LP:πηκτίνη και ζελατίνη ήταν χαμηλό, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών. Ωστόσο, για τη μεμβράνη FPC:ζελατίνη το ποσοστό υγρασίας αυξήθηκε σε $17.36 \pm 4.18\%$. Ως προς τη διαλυτότητα των μεμβρανών στο νερό, οι μεμβράνες που παρασκευάστηκαν από φυτικές πρώτες ύλες έδωσαν πιο χαμηλές τιμές χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ($38.20 \pm 17.30\%$ και $44.40 \pm 17.70\%$, για την πηκτίνη και την LP:πηκτίνη, αντίστοιχα) σε σχέση με τις μεμβράνες από πρώτες ύλες ζωικής προέλευσης (67.40 ± 8.00 και 86.63 ± 3.67 για τη ζελατίνη και FPC:ζελατίνη, αντίστοιχα).

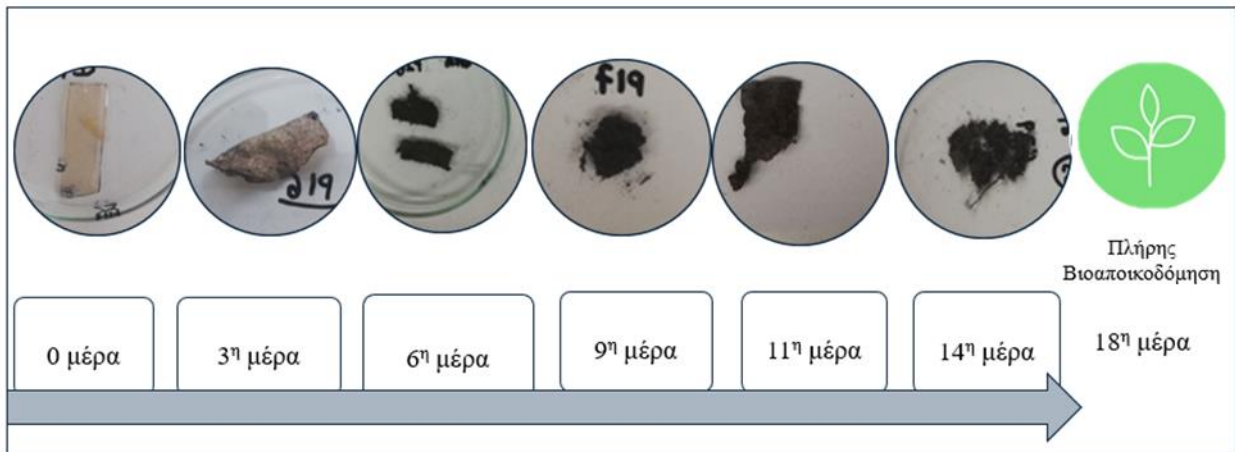
Πίνακας 2. Ο ρυθμός διαπερατότητας σε υδρατμούς (WVTR), η διαπερατότητα σε υδρατμούς (WVP), το ποσοστό υγρασία, η διαλυτότητα στο νερό, και η γωνία επαφής των μεμβρανών πηκτίνης, ζελατίνης και των μικτών μεμβρανών.

Είδος μεμβράνης	WVTR ($\frac{g}{m^2 \times s}$)	WVP ($\frac{g \times mm}{m^2 \times h \times kPa}$)	Ποσοστό υγρασίας (%)	Διαλυτότητα στο νερό (%)	Γωνία Επαφής (°)
Πηκτίνη	10.85 ± 2.09^a	19.83 ± 2.29^a	12.24 ± 3.68^a	38.20 ± 17.30^a	95.01 ± 4.80^b
LP: πηκτίνη	150.64 ± 21.13^b	280.91 ± 32.89^b	12.04 ± 2.03^a	44.40 ± 17.70^a	98.63 ± 3.78^b
Ζελατίνη	138.26 ± 21.14^b	239.46 ± 27.36^b	10.99 ± 2.11^a	67.40 ± 8.00^b	96.02 ± 5.31^b
FPC: ζελατίνη	151.36 ± 43.92^b	228.52 ± 67.94^b	17.36 ± 4.18^b	86.63 ± 3.67^c	57.37 ± 4.00^a

Ως προς τα εμπόδια υγρασίας των μεμβρανών στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάστηκε μόνο για τη μεμβράνη από πηκτίνη ενώ για τη μεμβράνη ζελατίνης και τις σύνθετες μεμβράνες, οι

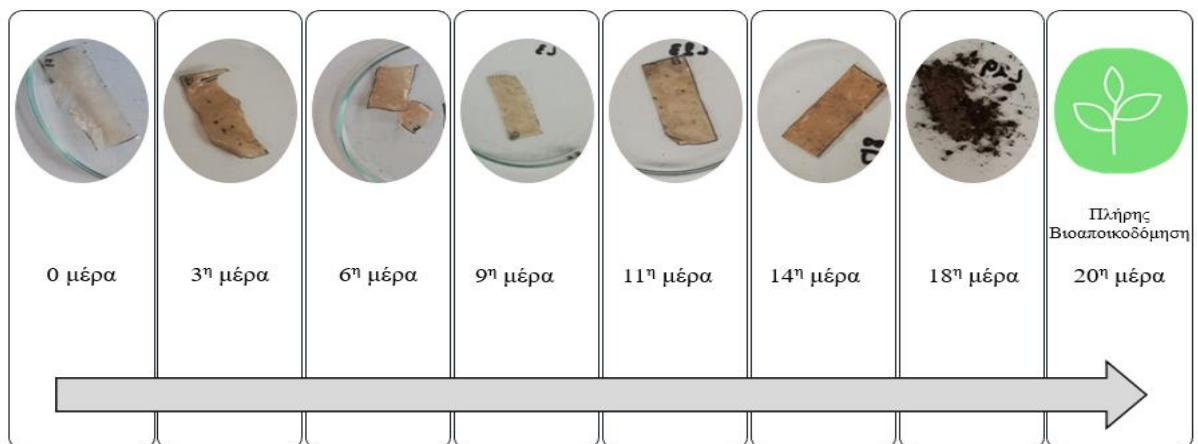
τιμές WVTR και WVP ήταν πολύ μεγαλύτερες αλλά χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η διαπερατότητα υδρατμών των μεμβρανών που παράγονται από ζελατίνη και μυοϊνιδική πρωτεΐνη ψαριού, η οποία είναι η κύρια ένωση του συμπυκνώματος πρωτεΐνης ψαριού, είναι υψηλή επειδή πρόκειται για υδρόφιλα μόρια που αποτελούνται από μεγάλο αριθμό υδροξυλομάδων^[10].

Στο Σχήμα 3, παρατηρείται πλήρης βιοαποικοδόμηση της μεμβράνης της πηκτίνης μετά από 18 ημέρες συντήρησής της σε υψηλές συνθήκες υγρασίας χώματος. Κατά τη διάρκεια της μελέτης βιοαποικοδόμησης, οι διαστάσεις της μεμβράνης άρχισαν να μικραίνουν (από 2.5×5 cm την ημέρα 0 σε 0.3×0.1 cm την ημέρα 14), και οι τιμές της γωνίας επαφής μειώθηκαν (από 95.01±4.80° την ημέρα 0 σε 82.59±0.00° την ημέρα 9).



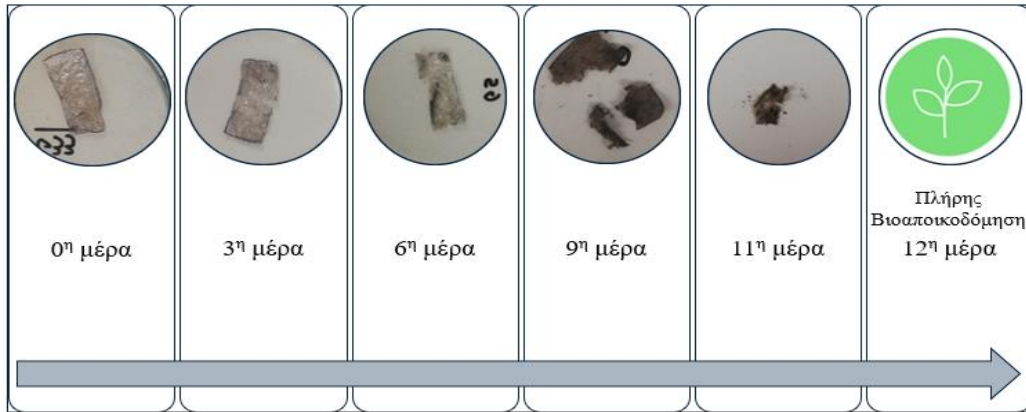
Σχήμα 3. Η εξέλιξη της βιοαποικοδόμησης της πηκτίνης

Για τη μεμβράνη της LP:πηκτίνης παρατηρείται πλήρης βιοαποικοδόμηση της μεμβράνης μετά από 20 ημέρες. Κατά τη διάρκεια της μελέτης βιοαποικοδόμησης, οι διαστάσεις της μεμβράνης άρχισαν να μικραίνουν (από 2.5×5 cm την ημέρα 0 σε 0.3×0.2 cm την ημέρα 18). Η σύνθετη μεμβράνη LP:πηκτίνης είχε μεγαλύτερο χρόνο βιοαποικοδόμησης συγκριτικά με την μεμβράνη από 100% πηκτίνη. Ομοίως με την μεμβράνη της πηκτίνης η σύνθετη μεμβράνη έδειξε μείωση στη γωνία επαφής, κατά τη διάρκεια της αποικοδόμησης της, πιθανώς λόγω της πρόσληψης νερού από το χώμα στη μήτρα των πολυμερών. Ωστόσο, η σύνθετη μεμβράνη LP:πηκτίνη, κατά τη διάρκεια της μελέτης βιοαποικοδόμησης, είχε γωνία επαφής μεγαλύτερη από 90° (95.25±4.89° την ημέρα 11).



Σχήμα 4. Η εξέλιξη της βιοαποικοδόμησης της LP: Πηκτίνη

Ο ρυθμός αποικοδόμησης της μεμβράνης της ζελατίνης εξαρτάται από το μοριακό της βάρος. Για τις μεμβράνες ζελατίνης παρατηρείται πλήρης βιοαποικοδόμηση σε 12 ημέρες. Κατά τη διάρκεια της μελέτης βιοαποικοδόμησης, οι διαστάσεις της μεμβράνης άρχισαν να μικραίνουν (από 2.5×5 cm την ημέρα 0 σε 0.1×0.1 cm την ημέρα 11).



Σχήμα 5. Η εξέλιξη της βιοαποικοδόμησης της ζελατίνης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια του ερευνητικού έργου ICHTHYS (Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Sklodowska-Curie Grant agreement 872217, <https://www.ichthys-eu.org>).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Kalali EN, Lotfian S, Shabestari ME, Khayatzadeh S, Zhao C, Nezhad HY. (2023). *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 100763.
- [2] Kan M, Miller SA. (2022). *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106156.
- [3] Eurostat, (2023). Packaging waste statistics. Διαθέσιμο https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics#Waste_generation_by_packaging_material. Τελευταία Προβολή 18.04.2024.
- [4] Inkwood Research, (2023). Europe edible packaging in food & pharmaceutical market forecast 2023-2032. Διαθέσιμο στο <https://inkwoodresearch.com/reports/europe-edible-packaging-in-food-and-pharmaceutical-market/>. Τελευταία Προβολή 18.04.2024.
- [5] Eurostat (2023). Aquaculture statistics. Διαθέσιμο https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Aquaculture_statistics#Aquaculture_species_and_specialisation Τελευταία προβολή . Τελευταία Προβολή 18.04.2024.
- [6] Govindan TK (1985). Handling, preservation and transportation of fresh fish. pp 44-76. In: *Fish Processing Technology*. Oxford and IBH Publishing Co., Oxford.
- [7] Younis HG, & Zhao G. (2019). *International journal of biological macromolecules*, 1057-1066.
- [8] Ismail MF, Islam MA, Khorshidi B, Tehrani-Bagha A. & Sadrzadeh. (2022). *M. Adv. Colloid Interface Sci.* 299, 102524.
- [9] Athanasopoulou E, Bigi F, Maurizzi E, Karellou EIE, Pappas CS, Quartieri A & Tsironi T. (2024). *Scientific Reports*, 14(1), 517.
- [10] Athanasopoulou E Michailidi A, Ladakis D, Kalliampakou KI, Flemetakis E, Koutinas A, & Tsironi T. (2023). *Sustainability*, 15(15), 12062.