

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΦΥΤΙΚΩΝ ΕΛΑΙΩΝ ΜΕ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΕΚΧΥΛΙΖΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Ι. Θάνου, Ρ. Αλσάουα, Μ. Κατσούλη, Α. Ντζιμάνη, Π. Ταούκης, Μ. Γιαννακούρου*

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα

(*majian@chemeng.ntua.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της κυκλικής αξιοποίησης των παραπροϊόντων της βιομηχανίας τροφίμων, προτεραιότητα αποτελεί η ανάκτηση συστατικών υψηλής προστιθέμενης αξίας. Για την παραλαβή βιοδραστικών ενώσεων, με σκοπό την ανακύκλωση και εφαρμογή τους στην τροφική αλυσίδα, συνηθίζεται η χρήση οργανικών διαλυτών ως μέσων εκχύλισης, ωστόσο η τάση για εύρεση εναλλακτικών πράσινων διαλυτών συνεχώς αυξάνεται. Τα φυτικά έλαια μπορούν να αποτελέσουν μια ιδανική εναλλακτική επιλογή διαλύτη για την εκχύλιση βιοδραστικών ουσιών, επιτυγχάνοντας τον ταυτόχρονο εμπλουτισμό του ίδιου του ελαίου. Τα παραπροϊόντα που προκύπτουν από τη βιομηχανία τυποποίησης τομάτας (τσίπουρο τομάτας) είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικές ενώσεις που παρουσιάζουν σημαντικά οφέλη για τον ανθρώπινο οργανισμό, όπως το λυκοπένιο.

Για την παραλαβή του λυκοπενίου από το τσίπουρο της τομάτας χρησιμοποιήθηκαν φυτικά έλαια, όπως το ελαιόλαδο, κραμβέλαιο, πυρηνέλαιο, αραβοσιτέλαιο και ηλιέλαιο, ως εναλλακτικοί διαλύτες. Μελετήθηκε η κινητική της εκχύλισης λυκοπενίου σε σταθερή θερμοκρασία 50°C για αναλογίες υγρού: στερεού (5:1-30:1). Προσδιορίστηκε η % απόδοση της εκχύλισης και η οξειδωση των λιπαρών υλών. Στη συνέχεια, εξετάστηκαν τα εμπλουτισμένα έλαια ως προς την επίδραση του είδους του ελαίου στη βιοπροσβασιμότητα του λυκοπενίου, δηλαδή στο ποσοστό που καθίσταται διαθέσιμο για απορρόφηση από τον ανθρώπινο οργανισμό. Για τον προσδιορισμό της βιοπροσβασιμότητας εφαρμόστηκε το στατικό πρωτόκολλο *in vitro* προσομοίωσης της πέψης INFOGEST.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ελαιόλαδο, το κραμβέλαιο και το πυρηνέλαιο εμφάνισαν παρόμοια συμπεριφορά, παρουσιάζοντας τα υψηλότερα ποσοστά βιοπροσβασιμότητας (22.1%, 21.7% και 21.3% αντίστοιχα), κάτι που μπορεί να αποδοθεί στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε ελαϊκό οξύ (C18:1), το οποίο επιδρά θετικά στη βιοπροσβασιμότητα εξαιτίας του μεγάλου μήκους ανθρακικής αλυσίδας και της ακορεστότητάς του. Το αραβοσιτέλαιο και το ηλιέλαιο παρουσίασαν τα μικρότερα ποσοστά βιοπροσβασιμότητας (15.6% και 14.2% αντίστοιχα), πιθανόν λόγω της οξειδωσης των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων τους που λαμβάνει χώρα κατά την πέψη. Τα φυτικά έλαια επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικοί διαλύτες για την παραλαβή βιοδραστικών συστατικών από παραπροϊόντα της ελληνικής βιομηχανίας τροφίμων, και να οδηγήσουν σε εμπλουτισμένα τρόφιμα με υψηλή βιοπροσβασιμότητα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: INFOGEST, βιοπροσβασιμότητα, παραπροϊόντα τυποποίησης τομάτας, εναλλακτικοί διαλύτες, φυτικά έλαια

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια τομάτας είναι από τις σημαντικότερες παγκοσμίως, με ετήσια παραγωγή μεγαλύτερη των 186 εκ. τόνων (FAO, 2022)^[1]. Η βιομηχανική επεξεργασία της τομάτας οδηγεί σε έναν όγκο παραπροϊόντων, με κύριο το τσίπουρο τομάτας (10-40% του συνολικού όγκου), το οποίο περιέχει υψηλά ποσοστά καροτενοειδών, φαινολικών ενώσεων, φυτικών ινών, πρωτεϊνών και λιπαρών. Συνεπώς, το τσίπουρο της τομάτας θεωρείται μια πολύτιμη πηγή φυσικών καροτενοειδών, τα οποία αποτελούν εγκεκριμένα φυσικά αντιοξειδωτικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη λειτουργικών προϊόντων τροφίμων^[2].

Η εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων από πρώτες ύλες ή παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων επιτυγχάνεται με την παραδοσιακή συμβατική εκχύλιση στερεού/υγρού με χρήση οργανικών διαλυτών. Τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της αρνητικής επίδρασης που έχουν οι οργανικοί διαλύτες τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον, γίνεται προσπάθεια αντικατάστασής τους με «πράσινους» διαλύτες που δεν παρουσιάζουν τοξικότητα, ενώ ταυτόχρονα έχουν μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, είναι βιώσιμοι και ανακυκλώσιμοι. Τα φυτικά έλαια πληρούν τα κριτήρια που πρέπει να έχει ένας κατάλληλος πράσινος διαλύτης, είναι δηλαδή ασφαλή, μη πτητικά και έχουν καλή ικανότητα διαλυτοποίησης, ιδιότητες οι οποίες τα καθιστούν ικανά να χρησιμοποιηθούν για την εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων από παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τον εμπλουτισμό των ιδίων με τα εκχυλιζόμενα συστατικά. Διάφορα φυτικά έλαια (ελαιόλαδο, ηλιέλαιο, αραβοσιτέλαιο, κραμβέλαιο, σογιέλαιο, φοινικέλαιο, κ.ά.) έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την εκχύλιση καροτενοειδών, φαινολικών ενώσεων, κ.ά. από ποικίλες πρώτες ύλες^[3]. Τα εμπλουτισμένα έλαια που προκύπτουν μετά την εκχύλιση παρουσιάζουν υψηλότερη διατροφική αξία, καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και μεγαλύτερη σταθερότητα στην αποθήκευση.

Ένα ανερχόμενο πεδίο έρευνας της μηχανικής τροφίμων είναι η μελέτη της βιοπροσβασιμότητας μακρο- και μικρο-συστατικών τροφίμων και πρώτων υλών, η οποία ορίζεται ως το κλάσμα ενός συστατικού που απελευθερώνεται από τη μήτρα του τροφίμου στο γαστρεντερικό σύστημα και επομένως είναι διαθέσιμο για απορρόφηση μέσω των εντερικών τοιχωμάτων^[4]. Το *in vitro* στατικό πρωτόκολλο προσομοίωσης του ανώτερου γαστρεντερικού συστήματος που δημιουργήθηκε από το δίκτυο COST INFOGEST το 2014^[5] έχει δώσει συγκρίσιμα αποτελέσματα με *in vivo* μελέτες και θεωρείται αξιόπιστο για την *in vitro* μελέτη της βιοπροσβασιμότητας ενώσεων υψηλής διατροφικής αξίας. Το INFOGEST προσομοιάζει τη διαδρομή που ακολουθεί η τροφή από την είσοδό της στη στοματική κοιλότητα, την πέψη στο στομάχι και στο λεπτό έντερο, έως ότου τα συστατικά του τροφίμου να καταστούν διαθέσιμα για απορρόφηση από τον οργανισμό. Σε κάθε επιμέρους φάση του πρωτοκόλλου χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα διαλύματα αλάτων που προσομοιάζουν το περιβάλλον του γαστρεντερικού συστήματος, αλλά και τα κατάλληλα ένζυμα, ενώ διατηρείται η θερμοκρασία στην φυσιολογική τιμή του ανθρώπινου σώματος (37°C) και εφαρμόζεται ανάδευση που προσομοιάζει τις περισταλτικές κινήσεις των οργάνων του πεπτικού συστήματος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της εκχύλισης λυκοπενίου από τσίπουρο τομάτας χρησιμοποιώντας φυτικά έλαια (εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, πυρηνέλαιο, κραμβέλαιο, αραβοσιτέλαιο, ηλιέλαιο) ως μέσο εκχύλισης, επιτυγχάνοντας συγχρόνως εμπλουτισμό του ελαίου. Επιπλέον στόχος της παρούσας μελέτης ήταν και η σύγκριση της βιοπροσβασιμότητας του λυκοπενίου στα διαφορετικά φυτικά έλαια ώστε να εντοπιστεί το έλαιο που συμβάλλει στην καλύτερη αποδέσμευση του λυκοπενίου για την απορρόφηση του από τον ανθρώπινο οργανισμό.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Εκχύλιση

Το τσίπουρο τομάτας (89% w/w φλοιοί και σάρκα και 11% w/w σπόροι επί ξηρού, αρχική υγρασία 88% w/w), το οποίο αποτελεί το στερεό υπόλειμμα από τη χυμοποίηση βιομηχανικού υβριδίου τομάτας, παραλήφθηκε από βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων τομάτας που εδρεύουν στη Βοιωτία και την Πελοπόννησο. Ακολούθησε ξήρανση στους 40°C σε ξηραντήρα ρεύματος αέρα για 36 ώρες και στη συνέχεια το ξηρό προϊόν κονιορτοποιήθηκε. Η εκχύλιση πραγματοποιήθηκε σε σταθερή θερμοκρασία (50°C) με χρήση επωαστικού κλιβάνου ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας (Sanyo Incubator MIR253, Japan), ενώ εφαρμόστηκε μαγνητική ανάδευση καθ' όλη τη διάρκεια της εκχύλισης. Μελετήθηκαν διαφορετικές αναλογίες ελαίου:τσίπουρου τομάτας (5:1, 10:1, 20:1 και 30:1) με διάφορα φυτικά έλαια (εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, πυρηνέλαιο, κραμβέλαιο, αραβοσιτέλαιο και ηλιέλαιο). Μετά το πέρας της εκχύλισης ακολούθησε διήθηση υπό κενό με σκοπό το διαχωρισμό του ελαίου από το τσίπουρο τομάτας και υπολογίστηκε η απόδοση της εκχύλισης ως

$$\% \text{ απόδοση} = \frac{\text{Μάζα ελαίου μετά την εκχύλιση (g)}}{\text{Μάζα ελαίου πριν την εκχύλιση (g)}} \% \quad (1)$$

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του λυκοπενίου στα εκχυλίσματα εφαρμόστηκε η μέθοδος των Στρατή και Ωραιοπούλου (2011)^[6]. Η συγκέντρωση λυκοπενίου υπολογίστηκε από την εξής εξίσωση ως

$$C \text{ (mg/L)} = \frac{A_{\lambda_{max}} \cdot 10^4}{A_{1cm}^{1\%}} \quad (2)$$

όπου $A_{\lambda_{max}}$ η απορρόφηση του εκχυλίσματος στα 471nm για διαλύτη αραιώσης το εξάνιο και $A_{1cm}^{1\%}$ ο συντελεστής απορρόφησης του λυκοπενίου στο μέγιστο μήκος κύματος διαλύματος 1% της ουσίας σε κυψελίδα 1cm και σε διαλύτη εξάνιο ($A_{1cm}^{1\%} = 3450$ για το εξάνιο).

Η τελική έκφραση συγκέντρωσης C σε mg/kg λιπαρής ύλης έγινε λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα του εκάστοτε φυτικού ελαίου. Ο προσδιορισμός του αριθμού υπεροξειδίων (PV) και ο αριθμός οξύτητας (A.O) έγινε με βάση την επίσημη μέθοδο AOCS 965.33 και την επίσημη μέθοδο IUPAC 5^η έκδοση, 1964, αντίστοιχα.

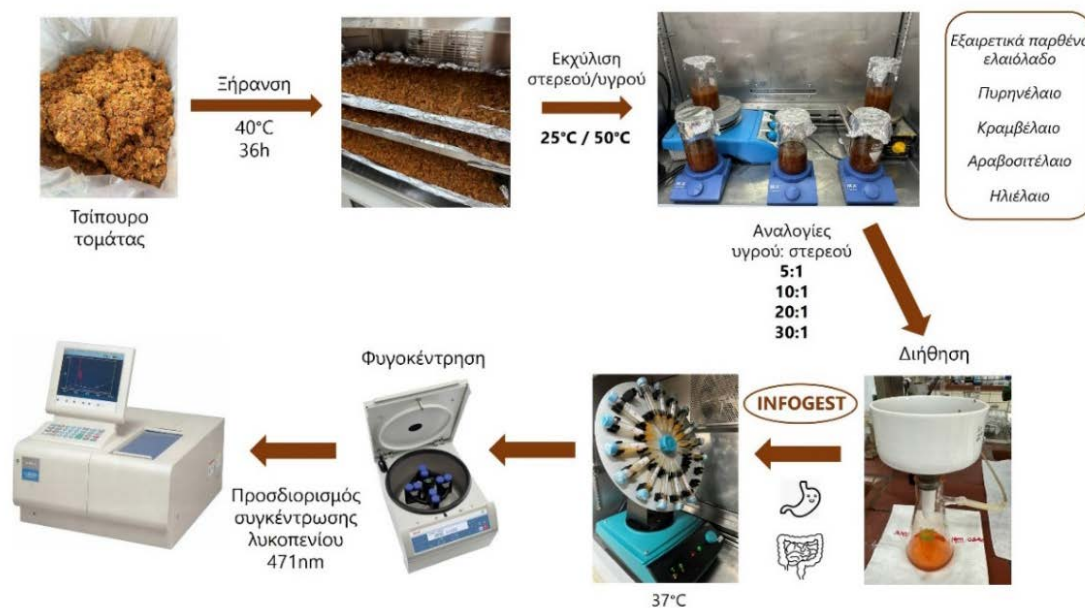
Προσομοίωση της πέψης/ προσδιορισμός βιοπροσβασιμότητας

Εφαρμόστηκε το *in vitro* στατικό πρωτόκολλο πέψης INFOGEST^[5] για προσομοίωση της γαστρικής και εντερικής φάσης. Συνοπτικά, 2g εμπλουτισμένου ελαίου αναμίχθηκαν σε αναλογία 1:1 με διάλυμα προσομοίωσης του γαστρικού περιβάλλοντος και ακολούθησε ανάδευση για 2 ώρες σε σταθερή θερμοκρασία 37°C. Στη συνέχεια προστέθηκε στο μίγμα, σε αναλογία, 1:1, διάλυμα προσομοίωσης της εντερικής φάσης και η διαδικασία συνεχίστηκε για άλλες 2 ώρες. Μετά το πέρας του πρωτοκόλλου, διαχωρίστηκε το απορροφήσιμο και μη απορροφήσιμο από τον οργανισμό κλάσμα του μίγματος μέσω φυγοκέντρησης (Heraus Megafuge 16R, Thermo Fisher Scientific, US).

Ο δείκτης βιοπροσβασιμότητας προσδιορίστηκε ως:

$$BI\% = \frac{C_b}{C_a} \quad (3)$$

όπου C_b η συγκέντρωση λυκοπενίου του απορροφήσιμου κλάσματος του μίγματος μετά την εντερική φάση και C_a η αρχική συγκέντρωση λυκοπενίου του δείγματος πριν το πρωτόκολλο INFOGEST.

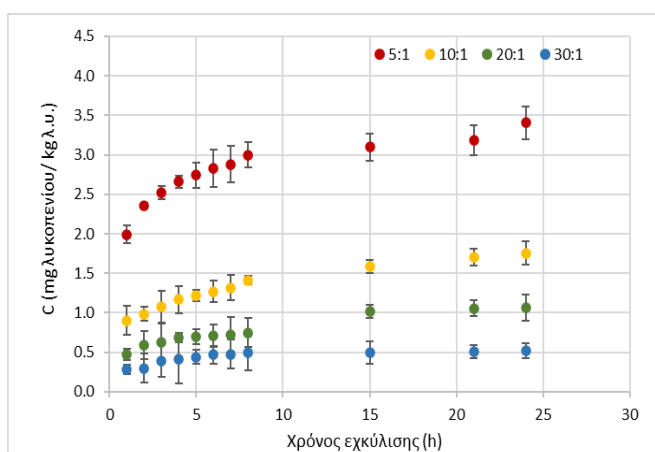


Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής μεθοδολογίας.

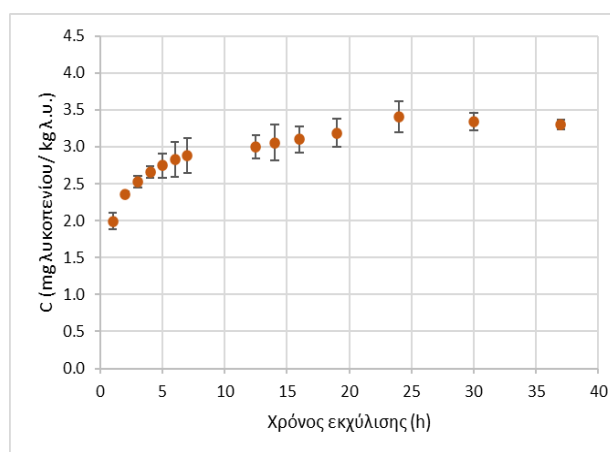
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Εκχύλιση

Η εκχύλιση των βιοδραστικών συστατικών από τσίπουρο τομάτας πραγματοποιήθηκε στους 50°C, με βάση τα αποτελέσματα προκαταρκτικών πειραμάτων. Για την εύρεση της βέλτιστης αναλογίας υγρού:στερεού πραγματοποιήθηκαν κινητικές μελέτες σε διαφορετικές αναλογίες, 5:1, 10:1, 20:1 και 30:1, και ως διαλύτης επιλέχθηκε το ηλιέλαιο. Στο **Σχήμα 2α** παρουσιάζεται η συγκέντρωση των εκχυλισμάτων (mg λυκοπενίου/kg λιπαρής ύλης) ως προς τον χρόνο εκχύλισης σε ώρες για κάθε αναλογία. Γίνεται εμφανές ότι η αναλογία υγρού:στερεού 5:1 οδήγησε σε αποτελεσματικότερη εκχύλιση λυκοπενίου από το τσίπουρο τομάτας, με τη συγκέντρωση του λυκοπενίου στο ηλιέλαιο μετά τις 24 ώρες εκχύλισης να είναι ίση με 3.40 ± 0.21 mg λυκοπενίου/kg ηλιελαίου, έναντι 1.75 ± 0.15 , 1.06 ± 0.17 και 0.52 ± 0.09 mg λυκοπενίου/kg ηλιελαίου στις αναλογίες 10:1, 20:1 και 30:1, αντίστοιχα.



Σχήμα 2α. Συγκέντρωση λυκοπενίου C (mg λυκοπενίου/kg λιπαρής ύλης) ως προς τον χρόνο εκχύλισης σε ώρες σε αναλογίες 5:1 (κόκκινο), 10:1 (κίτρινο), 20:1 (πράσινο), 30:1 (μπλε) ηλιέλαιο: τσίπουρο τομάτας.



Σχήμα 2β. Συγκέντρωση λυκοπενίου C (mg λυκοπενίου/kg λιπαρής ύλης) ως προς τον χρόνο εκχύλισης σε ώρες σε αναλογία 5:1 ηλιέλαιο: τσίπουρο τομάτας.

Στη βέλτιστη αναλογία υγρού:στερεού 5:1 πραγματοποιήθηκε εκ νέου κινητική μελέτη για μεγαλύτερη διάρκεια ώστε να επιβεβαιωθεί ο κατάλληλος χρόνος εκχύλισης για την παραλαβή της μέγιστης ποσότητας λυκοπενίου με «διαλύτη» ηλιέλαιο. Στο **Σχήμα 2β**, παρουσιάζεται η συγκέντρωση λυκοπενίου στο εκχύλισμα (mg λυκοπενίου/kg λιπαρής ύλης) ως προς τον χρόνο εκχύλισης διάρκειας 37 ωρών. Όπως προκύπτει, στις 24 ώρες εκχύλισης παραλαμβάνεται η μέγιστη ποσότητα λυκοπενίου και για τις επόμενες 13 ώρες δεν παρατηρείται περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσής του στο εκχύλισμα.

Για τον προσδιορισμό της βιοπροσβασιμότητας του λυκοπενίου μετά την προσομοίωση της πέψης πραγματοποιήθηκαν εκ νέου εκχυλίσεις με διάφορα φυτικά έλαια (ελαιόλαδο, πυρηνέλαιο, κραμβέλαιο, ηλιέλαιο και αραβοσιτέλαιο) τα οποία παρουσιάζουν διαφορές ως προς τη σύσταση τους. Χρησιμοποιήθηκε διαφορετική πρώτη ύλη, εξαιτίας της οποίας προέκυψαν πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις λυκοπενίου (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες στην εκχύλιση που προαναφέρθηκε) στο εκχύλισμα (22.1 ± 0.21 mg λυκοπενίου/kg ηλιελαίου έναντι 3.40 ± 0.21 mg λυκοπενίου/kg ηλιελαίου) σε αναλογία υγρού:στερεού 5:1, χρόνο εκχύλισης 24h και θερμοκρασία εκχύλισης 50°C (**Πίνακας 1**).

Επιπλέον, μελετήθηκε και η επίδραση των συνθηκών εκχύλισης (50°C για 24h) στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των διαφόρων φυτικών ελαίων που χρησιμοποιήθηκαν. Όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 1**, δεν παρατηρήθηκε υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φυτικών ελαίων κατά τη διάρκεια της εκχύλισης, καθώς τα έλαια εμφάνισαν χαμηλές τιμές αριθμού υπεροξειδίων (κάτω του ορίου 10-20 meqO₂^[7]), εκτός από το ελαιόλαδο το οποίο είχε υψηλή αρχική τιμή σε σύγκριση με τα υπόλοιπα έλαια. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη συγκέντρωση λυκοπενίου που εκχυλίστηκε όσο και τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φυτικών ελαίων, η προτεινόμενη διεργασία κρίνεται κατάλληλη για την παραλαβή βιοδραστικών συστατικών από τα παραπροϊόντα της μεταποίησης της βιομηχανικής τομάτας, συνεκτιμώντας την ποιοτική αναβάθμιση του ίδιου του ελαίου λόγω του εμπλουτισμού του.

Πίνακας 1. Συγκεντρώσεις λυκοπενίου (mg/kg ελαίου), αριθμός υπεροξειδίων (meqO₂/kg oil) σε 24 ώρες εκχύλισης καθώς και % απόδοση εκχύλισης σε κάθε φυτικό έλαιο.

Εμπλουτισμένα φυτικά έλαια	C (mg λυκοπενίου/ kg λιπαρής ύλης)	Απόδοση (%)	PV (meqO ₂ / kg λιπαρής ύλης)
Εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο	30.7±0.33	57.9%	17.12±0.44
Πυρηνέλαιο	19.4±0.17	59.5%	6.57±0.13
Κραμβέλαιο	23.8±0.41	65.8%	5.25±0.14
Αραβοσιτέλαιο	22.7±0.20	73.2%	3.06±0.67
Ηλιέλαιο	22.1±0.12	71.5%	1.34±0.64

Βιοπροσβασιμότητα

Στον **Πίνακα 2**, παρουσιάζονται τα ποσοστά βιοπροσβασιμότητας (BI%) λυκοπενίου σε κάθε φυτικό έλαιο μετά την προσομοίωση της πέψης. Προκύπτει ότι το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, το κραμβέλαιο και το πυρηνέλαιο παρουσιάζουν καλή βιοπροσβασιμότητα λυκοπενίου, ενώ το αραβοσιτέλαιο και το ηλιέλαιο δίνουν χαμηλότερες τιμές BI%. Οι τιμές αυτές υποδηλώνουν ότι το λυκοπένιο προστατεύεται σε σημαντικό βαθμό από τις ακραίες συνθήκες στις οποίες εκτίθεται κατά τη διαδρομή του στο γαστρεντερικό σύστημα και συνάδουν με βιβλιογραφικές πηγές^[8].

Τα υψηλά ποσοστά βιοπροσβασιμότητας που παρουσίασαν το εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, το

κραμβέλαιο και το πυρηνέλαιο αποδίδονται στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε ελαϊκό οξύ (C18:1). Τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFAs), όπως το ελαϊκό οξύ, παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα σε σύγκριση με τα πολυακόρεστα (PUFAs) τα οποία είναι δυνατό να οξειδώνονται κατά τη διάρκεια της πέψης, κάτι που δικαιολογεί την καλύτερη βιοπροσβασιμότητα των πλούσιων σε ελαϊκό οξύ λιπαρών^[8]. Τα MUFAs φέρουν ένα διπλό δεσμό στην ανθρακική τους αλυσίδα κάτι που τους επιτρέπει να συνδέονται καλύτερα μεταξύ τους ως προς το σχηματισμό μικκυλίων νερού-ελαίου στο λεπτό έντερο, σε αντίθεση με τα PUFAs που έχουν πολλαπλούς διπλούς δεσμούς. Ο αποτελεσματικός σχηματισμός μικκυλίων είναι ένας κρίσιος παράγοντας καθώς είναι απαραίτητος ώστε οι λιπαρές ουσίες να καταστούν διαθέσιμες για απορρόφηση από τον ανθρώπινο οργανισμό. Όλα τα έλαια παρουσιάζουν ικανοποιητικές τιμές βιοπροσβασιμότητας, καθώς περιλαμβάνουν λιπαρά οξέα μακράς αλύσου (C18) που έχει αποδειχθεί ότι επιδρούν θετικά στη βιοπροσβασιμότητα. Το λυκοπένιο είναι πιο υδρόφοβο από τα υπόλοιπα καροτενοειδή λόγω της γραμμικής δομής του και εξαιτίας αυτού διαλυτοποιείται ευκολότερα σε έλαια που είναι πλούσια σε λιπαρά οξέα μακράς αλύσου σε σύγκριση με έλαια με λιπαρά οξέα μεσαίας αλύσου^[9].

Πίνακας 2. Δείκτης βιοπροσβασιμότητας (BI%) του λυκοπενίου σε κάθε φυτικό έλαιο.

Εμπλουτισμένα φυτικά έλαια	BI _{λυκοπενίου} (%)
Εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο	22.1±1.45%
Πυρηνέλαιο	21.3±0.89%
Κραμβέλαιο	21.7±1.22%
Αραβοσιτέλαιο	15.6±1.08%
Ηλιέλαιο	14.2±0.74%

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης υποδεικνύουν ότι τα φυτικά έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικοί διαλύτες αντί των οργανικών διαλυτών για την ανάκτηση βιοδραστικών συστατικών από το τσίπουρο τομάτας. Επιπλέον, τα φυτικά έλαια με υψηλή περιεκτικότητά σε ελαϊκό οξύ (C18:1), ένα μονοακόρεστο λιπαρό οξύ που παρουσιάζει μεγαλύτερη σταθερότητα κατά τη διάρκεια της πέψης (εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο, κραμβέλαιο, πυρηνέλαιο) εμφάνισαν καλή βιοπροσβασιμότητα λυκοπενίου, εξαιτίας της προστασίας που του παρείχαν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] FAO.(2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- [2] Strati IF, Oreopoulou V. (2014). *Food Research International*, 65, 311-321.
- [3] Yara-Varón E, Li Y, Balcells M, Canela-Garayoa R, Fabiano-Tixier A-S, Chemat F.(2017). *Molecules*,22,1474.
- [4] Comunian T, Silva MP, Souza CJF. (2021). *Trends in Food Science & Technology*, 108, 269-280.
- [5] Minekus M, Alming M, Alvito P,... Brodtkorb A. (2014). *Food & Function*, 5, 1113-1124.
- [6] Strati IF, Oreopoulou V. (2011). *Food Chemistry*, 129(3), 747-752.
- [7] O'Connell J, Connolly W.(1975). *Journal of Agricultural Economics*, 26(2), 219-226.
- [8] Nagao A, Kotake-Nara E, Hase M.(2013). *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 77(5), 130025 1-6.
- [9] Yao Y, Tan P, Kim JE.(2022). In *Nutrition Reviews* (Vol. 80, Issue 4, pp. 741-761). Oxford University Press.