

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΧΥΜΩΝ ΜΕ ΦΙΛΙΚΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕΘΟΔΟΥΣ ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ

Μ. Στραμάρκου^{1,2*}, Μ. Χρόνης¹, Χ. Τσάμης², Μ. Κροκίδα¹

¹Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

²Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος», Αθήνα, Ελλάδα

(*m_stramarkou@hotmail.com)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βιομηχανίες παραγωγής χυμών απορρίπτουν υψηλές ποσότητες αποβλήτων φρούτων, ξεπερνώντας τους 0.5 δις τόνους παγκοσμίως. Τα απόβλητα φρούτων, τα οποία μέχρι σήμερα παραμένουν ανεκμετάλλευτα ή αξιοποιούνται ανεπαρκώς, αποτελούν πλούσια πηγή βιοδραστικών ενώσεων, που μπορούν να ανακτηθούν μέσω φιλικών προς το περιβάλλον διεργασιών εκχύλισης. Αν και οι οργανικοί διαλύτες είναι αποδοτικοί στην ανάκτηση βιοδραστικών ενώσεων, εμφανίζουν σημαντικά μειονεκτήματα, όπως τοξικότητα, χαμηλό σημείο βρασμού και συσσώρευση στην ατμόσφαιρα. Οι βαθέως ευτηκτικοί διαλύτες αποτελούν μια νέα γενιά διαλυτών με υψηλές αποδόσεις, ελαχιστοποίηση των απωλειών και ποικίλα οικολογικά οφέλη.

Στην παρούσα εργασία, φαινολικές ενώσεις ανακτήθηκαν μέσω εκχυλίσεων με μικροκύματα και υπερήχους από λυοφιλιωμένες και νωπές πούλπες ροδάκινου και βερίκοκου. Τα συγκεκριμένα φρούτα επιλέχθηκαν λόγω του υψηλού βιολογικού φορτίου και της μεγάλης παραγωγής τους στη χώρα μας. Εκτός των συμβατικών διαλυτών νερού και αιθανόλης, χρησιμοποιήθηκαν βαθέως ευτηκτικοί διαλύτες, και συγκεκριμένα χλωρίδιο χολίνης/ ουρία. Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των ανακτημένων βιοδραστικών ενώσεων πραγματοποιήθηκε μέσω χρωματογραφίας ορατού- υπεριώδους (UV-Vis) και υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης (HPLC). Η αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων μετρήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο DPPH. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων έδειξαν ότι η λυοφιλιώση διατηρεί αποτελεσματικά το περιεχόμενο σε φαινολικά, ενώ συγκρίνοντας τους διαλύτες της εκχύλισης, το υψηλότερο φορτίο σε φαινολικά παρουσιάστηκε με τη χρήση βαθέως ευτηκτικών διαλυτών/ νερό. Τέλος, τα εκχυλίσματα βερίκοκου εμφάνισαν σημαντικότερη αντιοξειδωτική δράση σε σχέση με τα αντίστοιχα του ροδάκινου.

Συμπερασματικά, η χρήση βαθέως ευτηκτικών διαλυτών σε εκχυλίσεις με υπερήχους και μικροκύματα αποδείχθηκε εξαιρετικά καινοτόμα και αποτελεσματική. Επομένως, τα πολύτιμα, αλλά μέχρι σήμερα ανεκμετάλλευτα, παραπροϊόντα της βιομηχανίας χυμών μπορούν να αξιοποιηθούν με απλές τεχνικές και να έχουν ποικίλες εφαρμογές, όπως η εισαγωγή τους σε λειτουργικά τρόφιμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά το γεγονός ότι η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού απαιτεί ορθή χρήση της γεωργικής γης, εκτιμάται ότι περισσότερο από το 40% της γεωργικής παραγωγής σπαταλάται. Ένας από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι τα απόβλητα φρούτων. Μάλιστα, η βιομηχανία επεξεργασίας φρούτων, μία από τις πλέον οικονομικά σημαντικές βιομηχανίες της Ευρώπης, παράγει περισσότερο από 0.5 δις τόνους αποβλήτων παγκοσμίως με το 30-50% του όγκου τροφοδοσίας στην αλυσίδα επεξεργασίας φρούτων να απορρίπτεται ως απόβλητο. Αυτά τα απόβλητα θεωρούνταν για πολλά χρόνια υποβαθμισμένα υποστρώματα. Ωστόσο, μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα υποπροϊόντα, καθώς είναι πλούσια σε πολύτιμα συστατικά ^[1].

Ανάμεσα στα ποικίλλα φρούτα που είναι διαθέσιμα στην χώρα μας και αποβάλλονται ως παραπροϊόν από τις βιομηχανίες χυμών, στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν πούλπες βερίκοκου και ροδάκινου. Η Ελλάδα κατέχει την 9^η θέση παγκοσμίως στην παραγωγή **βερίκοκων** με 125

τόνους ετησίως. Τα κουκούτσια βερίκοκου έχουν αποδεδειγμένα αντιοξειδωτικές (φαινολικά και φλαβονοειδή) και αντιμικροβιακές ενώσεις που δρουν ενάντια στα παθογόνα μικρόβια *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans* [2]. Όσον αφορά το **ροδάκινο**, η Ελλάδα είναι η 5^η χώρα παγκοσμίως με 807 τόνους ροδάκινων ετησίως. Η πούλπα ροδάκινου έχει καρτενοειδή, φαινολικά και ασκορβικό οξύ [3]. Σήμερα, η ζήτηση για βιωσιμότητα και η αυστηρή νομοθεσία οδηγεί στην αξιοποίηση των αποβλήτων φρούτων ως πηγή πολύτιμων ενώσεων.

Η αξιοποίηση των αποβλήτων και η ανάκτηση των βιοδραστικών τους ενώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της τεχνικής της εκχύλισης. Η εκχύλιση με υπερήχους και μικροκύματα είναι αποτελεσματική τεχνική υψηλού ενδιαφέροντος και αυτό οφείλεται στην υψηλή αποδοτικότητά τους, στις μικρές ενεργειακές απαιτήσεις, στην χαμηλή κατανάλωση διαλύτη, στον μειωμένο χρόνο εκχύλισης και στην ενίσχυση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί συστηματικά για την εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων από πρώτες ύλες φυτικής και ζωικής προέλευσης. Η βελτίωση της διαδικασίας της εκχύλισης χρησιμοποιώντας υπερήχους σχετίζεται με την καταστροφή των κυτταρικών τοιχωμάτων, την μείωση του μεγέθους των σωματιδίων και την ενίσχυση της μεταφοράς μάζας από το κυτταρικό τοίχωμα [4], [5].

Η εκχύλιση με χρήση ιοντικών υγρών και βαθέως ευτηκτικών υγρών (deep eutectic solvent, DES) ως διαλύτες αποτελεί μια «πράσινη» διεργασία ανάκτησης συστατικών από φυσικές πρώτες ύλες. Τα ιοντικά υγρά (ΙΥ) αποτελούν μια ραγδαίως αναπτυσσόμενη κατηγορία «πράσινων» διαλυτών, που αποτελούνται από ένα ασύμμετρο οργανικό κατιόν και ένα οργανικό ή ανόργανο ανιόν και βρίσκονται σε υγρή κατάσταση σε ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας δωματίου. Εξαιρετικές ιδιότητές τους αποτελούν η σχεδόν αμελητέα τάση ατμών, η υψηλή χημική και θερμική σταθερότητα, η ανακυκλωσιμότητά τους καθώς και η δυνατότητα ρύθμισης των ιδιοτήτων τους με την επιλογή κατάλληλου συνδιασμού ανιόντος/κατιόντος, οδηγώντας σε «πράσινους» διαλύτες [6], [7]. Ένα από τα πιο κοινά, οικονομικά και ασφαλή DES συντίθεται από χλωρίδιο χολίνης (ChCl) με ουρία [6].

Πριν από την εκχύλιση, η ξήρανση αποτελεί μια πολύ σημαντική προεργασία καθώς επιτυγχάνει ελαχιστοποίηση της μικροβιακής ανάπτυξης, αποφυγή της υποβάθμισης λόγω οξειδωτικών αντιδράσεων, καθώς και μείωση του βάρους και του όγκου των τροφίμων, γεγονός που οδηγεί σε μείωση του κόστους αποθήκευσης και μεταφοράς [8]. Η ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα είναι η πιο διαδεδομένη διεργασία ξήρανσης στις βιομηχανίες τροφίμων, εφόσον είναι οικονομικά αποδοτική, παρά τη σημαντική υποβάθμιση των θρεπτικών συστατικών που προκαλεί [9]. Από την άλλη πλευρά, η ξήρανση με κατάψυξη και η ξήρανση υπό κενό είναι πιο ήπιες μέθοδοι αφυδάτωσης και διατηρούν αποτελεσματικά την θρεπτική αξία των πουλπών. Ωστόσο, αυτές οι τεχνικές και ιδιαίτερα η πρώτη, απαιτούν υψηλή κατανάλωση ενέργειας και ακριβό εξοπλισμό [10].

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Υλικά και Χημικά

Οι πούλπες ροδάκινου και βερίκοκου παραλήφθηκαν από την βιομηχανία χυμών ΑΣΠΙΣ Α.Ε.-Ελληνική Βιομηχανία Χυμών, ενώ όλα τα χημικά και διαλύτες αγοράστηκαν από την Sigma Aldrich.

Ξήρανση

Για την ξήρανση των δειγμάτων πούλπας βερίκοκου και ροδάκινου, εφαρμόστηκαν οι τεχνικές της λυοφιλίωσης, της ξήρανσης υπό κενό και της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα.

Λυοφιλίωση

Τα δείγματα καταψύχθηκαν στους -30 °C για 72 ώρες και τοποθετήθηκαν στον ξηραντήρα Leybold-Heraeus Freeze-Dryer GT2 για 300 min σε υψηλό κενό 3 mbar.

Ξήρανση υπό κενό

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα κενού (Gallenkamp 220V, 1000W) για 240 min σε θερμοκρασία 50 °C.

Ξήρανση σε ρεύμα αέρα

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε διάτρητους δίσκους και στη συνέχεια σε εργαστηριακό ξηραντήρα ρεύματος αέρα (230 V, 1.6 KW) σε θερμοκρασία 50 °C για 180 min.

Εκχύλιση υποβοηθούμενη από υπερήχους και μικροκύματα

Τα δείγματα νωπής και ξηρής πούλπας βερίκοκου και ροδάκινου εκχυλίστηκαν με την βοήθεια υπερήχων και μικροκυμάτων στη διάταξη Ultrasonic Microwave Reaction System (Nanjing Xianou Instruments Manufacture Co.,Ltd, China) στις παρακάτω συνθήκες: χρόνος εκχύλισης 10 min, θερμοκρασία εκχύλισης 50°C, χρόνος εκπομπής υπερήχων/Χρόνος παύσης εκπομπής 4.0s /1.0s, ισχύς μικροκυμάτων 250 Watt, ισχύς υπερήχων 450 Watt, συχνότητα υπερήχων 25 kHz. Η αναλογία διαλύτη/ ξηρού στερεού ήταν 20 mL/ g. Οι διαλύτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν νερό, αιθανόλη, χλωρίδιο χολίνης/ ουρία (DES) και DES/ νερό (8/2) βασισμένοι στις ενώσεις-στόχους που επιθυμούνται να ανακτηθούν.

Χαρακτηρισμός δειγμάτων**Ολικό Φαινολικό φορτίο (Total Phenolic Content, TPC)**

Για τον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο Folin – Ciocalteu ^[11]. Περιληπτικά, 0,1 mL κατάλληλα αραιωμένου εκχυλίσματος προστέθηκαν σε 7.9 mL απιονισμένου νερού, στην συνέχεια σε 0.5 mL διαλύματος Folin-Ciocalteu και το διάλυμα ομογενοποιήθηκε στο vortex. 1,5 mL διαλύματος ανθρακικού νατρίου προστέθηκαν σε κάθε σωλήνα και τα δείγματα οδηγήθηκαν στο υδατόλουτρο για 30 min στους 40 °C. Τέλος, μετρήθηκε η απορρόφηση στα 765 nm σε UV-Vis φωτόμετρο Bel Photonics δύο φορές για κάθε δείγμα. Ο μέσος όρος κάθε μέτρησης μετατράπηκε σε συνολικό φαινολικό φορτίο εκφρασμένο σε mg γαλλικού οξέος (GAE)/ g ξηρής μάζας ή σε ppm GAE, χρησιμοποιώντας καμπύλη βαθμονόμησης του γαλλικού οξέος.

Περιεχόμενο σε φλαβονοειδή (Total Flavonoid Content, TFC)

Η συνολική περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας την μέθοδο της διμεθυλαμινοκιναμωμικής αλδεΐδης (DMACA) ^[12]. 0,6 mL διαλύματος προστέθηκαν σε 3 ml διαλύματος DMACA (0,1% σε 1 N HOI σε MeOH). Το μίγμα ομογενοποιήθηκε και μετά από επώαση 10 λεπτών σε θερμοκρασία δωματίου, μετρήθηκε η απορρόφηση του δείγματος στα 640 nm σε UV-Vis φωτόμετρο Bel Photonics. Η συγκέντρωση του TFC εκτιμήθηκε από μία καμπύλη βαθμονόμησης, που κατασκευάστηκε με γραφική παράσταση γνωστών διαλυμάτων κατεχίνης (1-16 mg /L) και το περιεχόμενο σε φλαβονοειδή εκφράστηκε ως ισοδύναμα mg κατεχίνης (CE)/ g ξηρής βιομάζας ή ppm κατεχίνης (CE) σε εκχύλισμα. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν εις διπλούν.

Αντιοξειδωτική Δράση (IC50)

Για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δράσης, χρησιμοποιήθηκε η δραστική ρίζα 2,2 -διφαινυλο-1-πικρυλυδραζύλιο (DPPH), όπως περιγράφηκε από τους Brand-Williams ^[13]. 0,1 mL διαλύματος προστέθηκαν σε 3.9 mL διαλύματος DPPH (0,003 g/ 100 mL μεθανόλης). Με τη βοήθεια του UV-Vis φωτομέτρου Bel Photonics καταγραφόταν η απορρόφηση στα 515 nm. Η φωτομέτρηση επαναλαμβανόταν στην ίδια κυψελίδα μετά την προσθήκη κατάλληλα αραιωμένου εκχυλίσματος για χρόνους αντίδρασης 0 min και 20 min. Το ποσοστό της εναπομείνουσας ρίζας DPPH, που εκφράζει την ικανότητα απενεργοποίησης ελεύθερων ριζών από τα περιεχόμενα αντιοξειδωτικά της πρώτης ύλης %RSA (Radical Scavenging Activity) υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση:

$$\%RSA = \left(1 - \frac{ABS_{mix}}{ABS_{DPPH}}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Όπου ABS_{mix} η απορρόφηση του μίγματος στα 20 min και ABS_{DPPH} η απορρόφηση του DPPH πριν την προσθήκη του εκχυλίσματος.

Η αντιοξειδωτική ικανότητα εκφράστηκε μέσω του δείκτη IC50 (Inhibition Concentration), ο οποίος δηλώνει τη συγκέντρωση εκείνη του δείγματος που απαιτείται για να μειωθεί η αρχική συγκέντρωση του DPPH κατά 50%. Ο δείκτης αυτός υπολογίστηκε μέσα από τη γραφική παράσταση συγκέντρωσης του εκάστοτε εκχυλίσματος (τετμημένη) – αδρανοποίησης της ρίζας (τεταγμένη). Όλες οι μετρήσεις διεξήχθησαν εις διπλούν.

Ολικά καροτενοειδή και β-καροτένιο

Για τον ποιοτικό και ποσοτικό χαρακτηρισμό των καροτενοειδών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υγρής χρωματογραφίας υψηλής πίεσης (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC). Η ανάλυση των δειγμάτων στηρίχθηκε στο πρωτόκολλο της μεθόδου βαθμωτής έκλουσης που προτείνεται από τους Lin & Chen ^[14]: ακετονιτρίλιο (διαλύτης Α), 1-βουτανόλη (διαλύτης Β) και χλωριούχο μεθυλένιο (διαλύτης Γ). Η ροή του συστήματος διαλυτών παραμένει σταθερή σε όλα τα στάδια με 2 mL/ min, ενώ ο όγκος του εισαγόμενου δείγματος που απαιτείται για την ανάλυση, είναι 20 μL. Ως βασικό μήκος κύματος, επιλέχθηκε η τιμή 458 nm που ανταποκρίνεται στο χαρακτηριστικό σημείο απορρόφησης του β-καροτενίου. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό, χρησιμοποιήθηκε η καμπύλη αναφοράς που παρασκευάστηκε με πρότυπο διάλυμα β-καροτενίου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Με στόχο την εύρεση της καταλληλότερης τεχνικής ξήρανσης για τις πούλπες βερίκοκου και ροδάκινου, η λυοφιλίωση, η ξήρανση υπό κενό και η ξήρανση με ρεύμα αέρα συγκρίθηκαν ως προς τέσσερις παραμέτρους: τη μείωση της υγρασίας, το περιεχόμενο σε φαινολικές ενώσεις, το περιεχόμενο σε φλαβονοειδή και την αντιοξειδωτική δράση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2.

Πίνακας 1. Μείωση της περιεχόμενης υγρασίας (%), ολικό φαινολικό φορτίο (TPC) σε mg γαλλικού οξέος (GAE)/g ξηρής βιομάζας, περιεχόμενο σε φλαβονοειδή (TFC) σε mg κατεχίνης (CE)/g ξηρής βιομάζας και αντιοξειδωτική δράση (IC50) αναφερόμενη σε mg ξηρής βιομάζας για τους διάφορους τύπους νωπής και ξηρής μάζας βερίκοκου

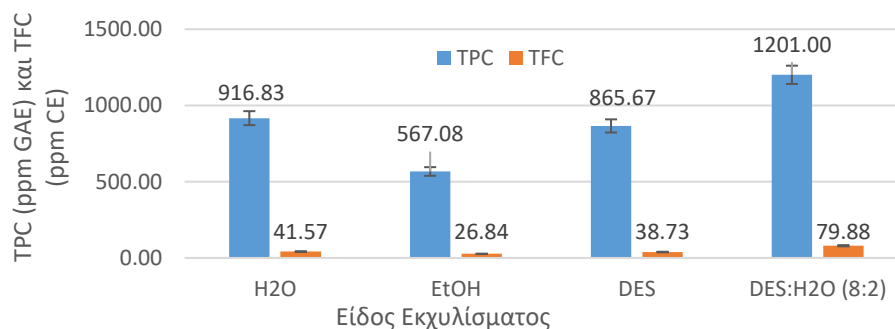
Είδος βιομάζας	Μείωση της περιεχόμενης υγρασίας (kg H ₂ O/kg material) (%)	TPC (mg GAE/gr ξηρής βιομάζας)	TFC (mg CE/gr ξηρής βιομάζας)	IC50 (mg ξηρής βιομάζας)
Νωπή	-	73.45 ($\pm 5 \cdot 10^{-3}$)	13.60 (± 0.14)	0.60 (± 0.003)
Λυοφιλωμένη	81.29 \pm 0.11	70.08 ($\pm 5 \cdot 10^{-3}$)	2.63 (± 0.13)	0.98 (± 0.003)
Ξηρή υπό κενό	80.55 \pm 0.59	63.42 ($\pm 3 \cdot 10^{-3}$)	2.29 (± 0.13)	5.538 (± 0.010)
Ξηρή με ρεύμα αέρα	80.71 \pm 0.73	64.30 ($\pm 4 \cdot 10^{-3}$)	2.18 (± 0.12)	1.996 (± 0.008)

Πίνακας 2. Μείωση της περιεχόμενης υγρασίας (%), ολικό φαινολικό φορτίο (TPC) σε mg γαλλικού οξέος (GAE)/g ξηρής βιομάζας, περιεχόμενο σε φλαβονοειδή (TFC) σε mg κατεχίνης (CE)/g ξηρής βιομάζας και αντιοξειδωτική δράση (IC50) αναφερόμενη σε mg ξηρής βιομάζας για τους διάφορους τύπους νωπής και ξηρής μάζας ροδάκινου

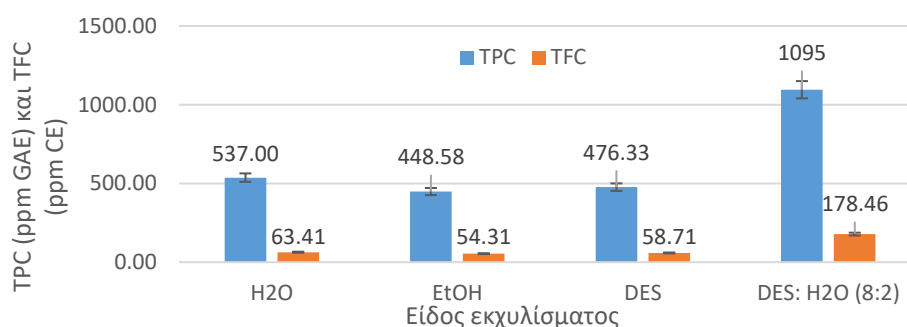
Είδος βιομάζας	Μείωση της περιεχόμενης υγρασίας (kg H ₂ O/kg material) (%)	TPC (mg GAE/g ξηρής βιομάζας)	TFC (mg CE/g ξηρής βιομάζας)	IC50 (mg ξηρής βιομάζας)
Νωπή	-	42.40 ($\pm 3 \cdot 10^{-3}$)	18.02 (± 0.14)	2.55 (± 0.05)
Λυοφιλωμένη	90.25 \pm 0.19	49.31 ($\pm 2 \cdot 10^{-3}$)	5.12 (± 0.13)	1.33 (± 0.05)
Ξηρή υπό κενό	89.02 \pm 0.43	46.19 ($\pm 2 \cdot 10^{-3}$)	4.59 (± 0.13)	15.28 (± 0.03)
Ξηρή με ρεύμα αέρα	89.54 \pm 0.81	47.64 ($\pm 3 \cdot 10^{-3}$)	4.04 (± 0.12)	17.56 (± 0.05)

Όπως παρατηρείται, η λυοφιλίωση παρουσιάζει την καλύτερη εικόνα και στα δύο είδη πούλπας, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τη μείωση της υγρασίας, η οποία δεν διαφέρει πολύ ανάμεσα στις τρεις μεθόδους ξήρανσης, αλλά κυρίως το περιεχόμενο σε φαινολικά και φλαβονοειδή και την αντιοξειδωτική δράση. Πιο συγκεκριμένα, μετά τη νωπή βιομάζα, η λυοφιλωμένη έχει το υψηλότερο φορτίο σε βιοδραστικές ενώσεις και τον χαμηλότερο δείκτη IC50, άρα την μεγαλύτερη

αντιοξειδωτική ικανότητα. Για τους παραπάνω λόγους, επιλέχθηκαν να εκχυλιστούν οι λυοφιλιωμένες πούλπες βερίκοκου και ροδάκινου με διαλύτες: νερό (H₂O), αιθανόλη (EtOH), χλωρίδιο χολίνης/ουρία (DES) και DES/νερό (8/2). Όλοι οι διαλύτες που επιλέχθηκαν είναι πολικοί, ώστε να μπορούν να ανακτήσουν τις φαινολικές ενώσεις που είναι πολικές και να απορροφήσουν περισσότερη ενέργεια από τα μικροκύματα που εκπέμπονται κατά την διάρκεια της εκχύλισης. Το φορτίο σε φαινολικές ενώσεις και φλαβονοειδή για τα διάφορα εκχυλίσματα πούλπας βερίκοκου εμφανίζεται στο Σχήμα 1, ενώ το αντίστοιχο φορτίο για τα εκχυλίσματα πούλπας ροδάκινου βρίσκεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 1. Ολικό φαινολικό φορτίο (TPC) σε ppm γαλλικού οξέος (GAE)/mL εκχυλίσματος και περιεχόμενο σε φλαβονοειδή (TFC) σε ppm κατεχίνης (CE)/ mL εκχυλίσματος λυοφιλιωμένου βερίκοκου



Σχήμα 2. Ολικό φαινολικό φορτίο (TPC) σε ppm γαλλικού οξέος (GAE)/mL εκχυλίσματος και περιεχόμενο σε φλαβονοειδή (TFC) σε ppm κατεχίνης (CE)/ mL εκχυλίσματος λυοφιλιωμένου ροδάκινου

Από τα παραπάνω Σχήματα διαπιστώνεται ότι η αραιώση του βαθέως ευτηκτικού διαλύτη με νερό σε αναλογία 8:2 και η χρήση του συστήματος ως διαλύτη στις εκχυλίσεις επιτυγχάνει την υψηλότερη ανάκτηση σε φαινολικές ενώσεις και φλαβονοειδή, σε αντίθεση με τον μη αραιωμένο DES, το υψηλό ιξώδες του οποίου δεν του επιτρέπει να εισχωρήσει στα τοιχώματα του στερεού και να παραλάβει τις βιοδραστικές ενώσεις ενδιαφέροντος. Επιπλέον, η εισαγωγή νερού στο DES έχει ως αποτέλεσμα και την αύξηση της διηλεκτρικής σταθεράς, και συνεπώς την απορρόφηση υψηλότερης ενέργειας μικροκυμάτων και την καλύτερη απόδοση στην εκχύλιση.

Συγκρίνοντας τους δύο καρπούς μεταξύ τους, τα εκχυλίσματα βερίκοκου παρουσιάζουν υψηλότερο φαινολικό περιεχόμενο από τα ροδάκινα και αυτό μπορούσε να διαπιστωθεί και από το πολύ έντονο χρώμα τους όταν χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Folin-Ciocalteu. Από την άλλη πλευρά, τα εκχυλίσματα ροδάκινων είναι πιο επιλεκτικά με τα φλαβονοειδή.

Η σημαντική διαφορά στις αποδόσεις DES και DES/νερού (8/2) παρατηρείται και στην αντιοξειδωτική ικανότητα στους Πίνακες 3α και 3β.

Πίνακας 3. Αντιοξειδωτική δράση εκφρασμένη σε IC50 για εκχυλίσματα λυοφιλιωμένου βερίκοκου (αριστερά) και εκχυλίσματα λυοφιλιωμένου ροδάκινου (δεξιά)

Είδος εκχυλίσματος βερίκοκου	IC50	Είδος εκχυλίσματος ροδάκινου	IC50
H2O	0.31 (\pm 0.06)	H2O	1.77 (\pm 0.32)
EtOH	0.50 (\pm 0.07)	EtOH	2.12 (\pm 0.10)
DES	0.69 (\pm 0.09)	DES	2.31 (\pm 0.11)
DES:H2O (8:2)	0.08 (\pm 0.01)	DES:H2O (8:2)	0.56 (\pm 0.007)

Ο δείκτης IC50, ο οποίος εκφράζει τη συγκέντρωση που εξουδετερώνει τη δραστική ρίζα DPPH κατά 50%, έχει τις χαμηλότερες τιμές στα εκχυλίσματα DES:H2O (8:2) και στις δύο περιπτώσεις πούλπας, κάτι που σημαίνει ότι συνδυασμός νερού και DES ενισχύει την απελευθέρωση αντιοξειδωτικών ενώσεων. Από την άλλη, η αιθανόλη αποδεικνύεται ο λιγότερο αποτελεσματικός διαλύτης λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους χαρακτηρισμού των εκχυλισμάτων. Τέλος, ο ποσοτικός χαρακτηρισμός του β-καροτενίου μέσω HPLC εμφανίζεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Περιεχόμενο σε β-καροτένιο (mg/ mL) για τα εκχυλίσματα λυοφιλιωμένου βερίκοκου (αριστερά) και τα εκχυλίσματα λυοφιλιωμένου ροδάκινου (δεξιά)

Είδος εκχυλίσματος βερίκοκου	C (mg/mL extract)	Είδος εκχυλίσματος ροδάκινου	C (mg/mL extract)
H2O	0.009 (\pm 1 10 ⁻⁵)	H2O	0.006 (\pm 1 10 ⁻⁵)
EtOH	0.027 (\pm 2 10 ⁻⁴)	EtOH	0.022 (\pm 1 10 ⁻⁵)
DES:H2O (8:2)	0.009 (\pm 1 10 ⁻⁵)	DES:H2O (8:2)	0.007 (\pm 1 10 ⁻⁵)

Τα εκχυλίσματα DES δεν μπορούσαν να χαρακτηριστούν λόγω υψηλού ιξώδους. Τα αιθανολικά εκχυλίσματα έχουν το υψηλότερο περιεχόμενο σε β-καροτένιο λόγω της λιπόφιλης φύσης τους.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, και οι δύο τύποι αποβλήτων (ροδάκινο και βερίκοκο) αποδείχθηκαν ότι έχουν σημαντικό περιεχόμενο πολύτιμων ενώσεων και μπορούν να αξιοποιηθούν με απλές τεχνικές. Τέλος, η χρήση DES ως διαλύτες στην εκχύλιση με υπερήχους και μικροκύματα είναι εξαιρετικά καινοτόμος και αποτελεσματική, ιδιαίτερα εάν χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με νερό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος στο πλαίσιο του προγράμματος «Βιομηχανικών Διδακτορικών» του ΕΚΕΦΕ «Δ».



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] J. Banerjee, R. Singh, R. Vijayaraghavan, D. MacFarlane, A. F. Patti, A. Arora. Food Chemistry (2017).
- [2] D. Yiğit, N. Yiğit, A. Mavi. Brazilian J. Med. Biol. Res. (2009).
- [3] B. T. Stojanovic et al. Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca (2016).
- [4] Y. Li, A. S. Fabiano-Tixier, V. Tomao, G. Cravotto, F. Chemat. Ultrason. Sonochem. 20 (2013) 12–8.
- [5] A. E. Ince, S. Şahin, S. G. Şümnü. Turkish J. Agric. For., (2013).
- [6] M. Ruesgas-Ramón, M. C. Figueroa-Espinoza, E. Durand. J. of Agricultural and Food Chemistry (2017).
- [7] F. Pena-Pereira, J. Namieśnik. ChemSusChem (2014).
- [8] M. K. Krokida, V. T. Karathanos, Z. B. Maroulis, D. Marinos-Kouris. J. Food Eng. 59 (2003) 91–403.
- [9] T. Orikasa et al. J. Food Eng. 125 (2014) 51–58.
- [10] C. Ratti. J. Food Eng. 49 (2001) 311–319.
- [11] E. A. Ainsworth, K. M. Gillespie. Nat. Protoc. (2007).
- [12] N. Vivas, Y. Glories, L. Lagune, S. Cédric, M. Augustin. OENO One (2016)..
- [13] W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, C. Berset. LWT - Food Sci. Technol. 28 (1995) 25–30.
- [14] C. H. Lin and B. H. Chen. J. Chromatogr. A (2003).