

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ξηρός δυόσμος (*Mentha viridis*) είναι ένα δημοφιλές αρωματικό φυτό που χρησιμοποιείται ως συστατικό στη βιομηχανία τροφίμων, ως μέρος αρωματικών υλών στη μαγειρική και καταναλώνεται υπό μορφή αφεψήματος. Διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από το νωπό, καθώς η μεθοδολογία ξήρανσης και οι συνθήκες που εφαρμόζονται στη διεργασία, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητά του. Οι ποιοτικοί παράγοντες που επηρεάζονται είναι, ανάμεσα σε άλλους, το χρώμα, η μικροβιακή ασφάλεια και η περιεκτικότητά σε ευεργετικά για την υγεία συστατικά. Η μεγάλη οικονομική του αξία θα μπορούσε να αυξηθεί περαιτέρω εάν η διεργασία της ξήρανσης εφαρμοστεί με τρόπο ο οποίος διαφυλάττει την παραγωγή προϊόντος υψηλής ποιότητας και ομοιομορφίας.

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η βελτιστοποίηση της ξήρανση του δυόσμου, με κύριο γνώμονα την παραλαβή προϊόντος με την επιθυμητή ποιότητα, έχοντας πάντα υπόψη την τελική του χρήση. Παράλληλα μελετήθηκε η χρήση του δυόσμου ως πηγή φαινολικών ενώσεων και συστατικών με αντιοξειδωτική δράση. Η μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή των διεργασιών αυτών τόσο με την εφαρμογή μοντέλων από τη βιβλιογραφία, όσο και με την ανάπτυξη καινούριων.

Αρχικά μελετήθηκε η επίδραση του συνδυασμού μεθοδολογίας εκχύλισης και διαλύτη στην παραλαβή φαινολικών συστατικών, παραγώγων υδροξυκιναμωμικού οξέος και ενώσεων αντιοξειδωτικής ισχύος. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι βέλτιστη μέθοδος εκχύλισης φαινολικών συστατικών από ξηρά φύλλα δυόσμου ήταν με χρήση αιθανόλης 70%, σε λουτρό υπερήχων. Για τη μαθηματική περιγραφή της παραλαβής πρόσθετων φαινολικών συστατικών με τη χρήση πηγής υπερήχων, αναπτύχθηκε μοντέλο που περιγράφει την αύξηση της ροής μάζας κατά τη χρήση υπερήχων, ιδιαίτερα σε μικρούς χρόνους επεξεργασίας, Η αύξηση αυτή εξηγείται με την εισαγωγή της καινοτόμου έννοιας του *ηχοχημικού δυναμικού*, η κλίση του οποίου αποτελεί και τη δρώσα δύναμη για την αυξημένη ροή φαινολικών συστατικών από το φυτικό υλικό στο εκχυλιστικό μέσο.

Κατόπιν, μελετήθηκε η επίδραση της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας ξήρανσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δυόσμου. Το ξηρό προϊόν που προέκυψε μετά από λυοφιλίωση είχε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φαινολικά συστατικά και αντιοξειδωτική ικανότητα και συνιστάται για την παραλαβή προϊόντος υψηλής ποιότητας. Η βιομηχανική εφαρμογή της λυοφιλίωσης είναι εξαιρετικά δύσκολη ωστόσο, λόγω του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας. Σε βιομηχανική κλίμακα η ευκολότερη και συνηθέστερη τεχνολογία ξήρανσης είναι με τη χρήση θερμού αέρα, κυρίως λόγω δυνατότητας επεξεργασίας των απαραίτητων ποσοτήτων και ελέγχου των παραμέτρων ξήρανσης. Βάσει αυτών, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ξηραντήρας θερμού αέρα. Πραγματοποιήθηκε δι-παραγοντικό πείραμα με το συνδυασμό τεσσάρων επιπέδων θερμοκρασίας (40, 50, 60 και 70°C) και τεσσάρων επιπέδων ταχύτητας του αέρα (1.5, 2.0, 2.5 και 3.0 ms⁻¹).

Η επίδραση της θερμοκρασίας ήταν σημαντική για όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων ήταν επίσης στατιστικώς σημαντική. Το βέλτιστο χρώμα, φωτεινότητα και διατήρηση του πράσινου χρώματος, καταγράφηκε κατά την ξήρανση στους 40°C και 3.0 ms⁻¹, το οποίο πιθανότατα οφείλεται στην χαμηλή θερμοκρασία και τη μικρότερη διάρκειά της. Ο συνδυασμός αυτός προτείνεται στην περίπτωση που το ξηρό προϊόν θα εμπορευτεί ως έχει. Σε περίπτωση που προορίζεται για την παραλαβή βιοδραστικών ουσιών υψηλής αντιοξειδωτικής ικανότητας, τότε συνιστάται η ξήρανση σε θερμοκρασία 50°C και χαμηλή ταχύτητα αέρα (1.5-2.0 ms⁻¹, συνδυασμός ο οποίος επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα στα επιθυμητά χαρακτηριστικά, ήτοι στα ολικά φαινολικά συστατικά, παράγωγα υδροξυκιναμωμικού οξέος, φλαβονόλες και υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα.

Τέλος, η μαθηματική μοντελοποίηση της ξήρανσης σε κλίβανο θερμού αέρα έγινε με την εφαρμογή γνωστών εξισώσεων στα δεδομένα ξήρανσης, καθώς και με ανάπτυξη μοντέλου που χρησιμοποιεί τη δρώσα δύναμη με θερμοδυναμικούς όρους, αντί τη συνήθη έννοια του φαινομενικού συντελεστή διαχυτότητας μάζας (D_{eff}). Η ξήρανση στην πειραματική εγκατάσταση μπορούσε να περιγραφεί ικανοποιητικά από τα τρία μοντέλα που ελέγχθηκαν (εκθετικό, Lewis και δύο όρων). Ο φαινομενικός συντελεστής D_{eff} κυμάνθηκε από 1.956×10^{-12} έως 2.192×10^{-11} m²s⁻¹.

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε λαμβάνει υπόψη τη δρώσα δύναμη της ξήρανσης, δηλαδή τη διαφορά της ενεργότητας νερού στο τρόφιμο και στον αέρα, ισχύει για ενεργότητα νερού στο τρόφιμο $a_w < 0.9$ και μπορεί να εφαρμοστεί για τη μελέτη της ροής μάζας, καθώς ο συντελεστής (κλίση) είναι σταθερός.

ABSTRACT

Dried mint is a popular product that is commonly used as an ingredient in the food industry, in domestic cooking or as a decoction. The effects that drying has on the quality parameters of mint, can be limited or controlled by the study and optimization of the process parameters; this was the main aim of the present study. The quality parameters evaluated included colour, microbial safety and stability, and concentration in health-promoting compounds.

Initially, the effect of the application of different drying technologies was studied; results showed that freeze-drying leads to a product containing the highest amounts of phenolic compounds and possesses the highest antioxidant capacity. The industrial application of freeze-drying is extremely difficult though, owing to its high cost. Industrially, the use of convection (hot-air) drying is most common, due to the capability it provides to handle large quantities of fresh material in a reasonable amount of time and under controlled conditions. Therefore, a pilot scale convection oven was designed and manufactured, and a bi-factorial experiment was performed. Four levels of temperature (40, 50, 60 και 70°C) were combined with four levels of air velocity (1.5, 2.0, 2.5 και 3.0 ms⁻¹), leading to a total of 16 treatments.

Temperature had a main effect on all parameters studied, and in some cases interaction of the two factors was also statistically significant. The optimum color, based on lightness and greenness, was achieved by drying at 40°C and 3.0 ms⁻¹, probably due to the lowest temperature and the shortest duration of the process. In contrast, the maximal recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity was attributed to the material dried by 50°C at 1.5-2.0 ms⁻¹. All combinations achieved high microbial quality of the end-product. Findings indicate that the optimal drying conditions depend on the intended use.

Mathematical modeling was utilized in order to describe the changes in moisture content during drying. Effective moisture diffusivity (D_{eff}) was calculated and ranged from 1.956×10^{-12} to 2.192×10^{-11} m²s⁻¹, supporting its limited use as a constant. Therefore, a linear model was developed by exploring the relationship between water flux and the driving force of drying, which is the gradient between water

activity in the material and in the air. The model provided promising results, since the calculated constant was consistent.

Finally, the use of dried mint as a source of phenolic ingredients for the use in functional foods or the cosmetics industry was studied. Ultrasonic assisted extraction using 70% ethanol produced the highest results. The method was further studied with the use of an ultrasonic probe and was subsequently mathematically modeled. In order to describe the enhanced retrieval of phenolic compounds and hydroxycinnamic acid derivatives, and antioxidant capacity, the term *sonochemical potential* was coined. The gradient in sonochemical potential is the driving force for the heightened flux of the studied parameters.