



Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Αξιοποίηση παραπροϊόντων μανιταριών ως εναλλακτική πηγή
πρωτεϊνών και άλλων βιοδραστικών ουσιών»**

MSc Thesis

**" Utilization of mushroom by-products as an alternative source of protein
and other bioactive substances"**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Ειρήνη Μπιρμπίλη

Eirini Birbili

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Μαρία Γιαννακούρου

Maria C. Giannakourou

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

**" Utilization of mushroom by-products as an alternative source of protein
and other bioactive substances "**

Eirini Birbili

20017

Irene121003@gmail.com

SUPERVISOR

Maria C. Giannakourou

AIGALEO 2022

Έγινε δεκτή

Ο Διευθυντής του ΠΜΣ:

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο 'Αξιοποίηση παραπροϊόντων μανιταριών ως εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών και άλλων βιοδραστικών ουσιών' που παρουσιάσθηκε από την **ΕΙΡΗΝΗ ΜΠΙΡΜΠΙΛΗ**, υποψηφία για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην **ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Όνομα επιβλέποντος

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην διπλωματική μου εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Ειρήνη Μπιρμπίλη

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κυρία Γιαννακούρου Μαρία για την ανάθεση της εν λόγω διπλωματικής εργασίας και για την καθοδήγηση και τη βοήθεια της στη διεξαγωγή των πειραμάτων, την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την συγγραφή της εργασίας. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την υποψήφια Διδάκτορα Σταυροπούλου Ναταλία για τη βοήθεια της και για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγμα τεμαχισμένων παραπροϊόντων (κοτσάνια) μανιταριού (*Pleurotus ostreatus*) και ο συνδυασμός της με ξήρανση σε ρεύμα αέρα για τη δημιουργία αφυδατωμένων τσιπς ως τελικό προϊόν. Τα μανιτάρια αποτελούν μια πλούσια πηγή πρωτεϊνών και ενέργειας ενώ εκτιμάται ότι ενισχύουν την ανθρώπινη υγεία και μακροζωία. Θεωρούνται υγιεινή τροφή καθώς έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θερμίδες, υδατάνθρακες, κορεσμένα λιπαρά και νάτριο, δεν περιέχουν χοληστερόλη ενώ είναι πλούσια σε βιταμίνες του συμπλέγματος β, μέταλλα και διαιτητικές ίνες. Λόγω της ιδιαίτερης γεύσης και θρεπτικής αξίας η παραγωγή και κατανάλωση μανιταριών ακολουθεί ακμάζουσα πορεία. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία παραγωγής μανιταριών απορρίπτεται ένα μεγάλο ποσοστό παραπροϊόντων με αποτέλεσμα υψηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο για την κοινωνία και κόστος διαχείρισης για τους παραγωγούς. Τα παραπροϊόντα μανιταριών περιλαμβάνουν πίλους, κοτσάνια, μανιτάρια που δεν συμμορφώνονται με τα εμπορικά πρότυπα όσον αφορά στο διαμέτρημα, το σχήμα ή το μέγεθος καθώς και εξαντλημένα υποστρώματα της καλλιέργειας. Επιπλέον, τα μανιτάρια αποτελούν ένα ιδιαίτερα ευαλλοίωτο προϊόν με σύντομη διάρκεια ζωής που περιορίζει την οικονομική και εμπορική τους αξία. Είναι επομένως αναγκαία η εύρεση μεθόδων αξιοποίησης των παραπροϊόντων και αύξησης της διάρκειας ζωής τους. Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει προταθεί ως ένας αποτελεσματικός τρόπος για την παραγωγή τελικών προϊόντων υψηλής ποιότητας. Αποτελεί μια ήπια θερμική επεξεργασία, που εφαρμόζεται συνήθως ως στάδιο προ-επεξεργασίας συμβατικών μεθόδων συντήρησης (όπως ξήρανση ή κατάψυξη), και περιλαμβάνει την εμβάπτιση ενός τροφίμου σε ένα υπερτονικό διάλυμα (συνήθως σακχάρων ή αλάτων). Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε συνδυασμός ωσμωτικής αφυδάτωσης και ξήρανσης. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό εργαλείο της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM) για τη διερεύνηση της επίδρασης της συγκέντρωσης των επιλεγμένων ωσμωτικών μέσων, μαλτοδεξτρίνης (10-30%), ολιγοφρουκτόζης (20-40%), της θερμοκρασίας (30-50 °C) και της διάρκειας της ώσμωσης (10-120 λεπτά), για την εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων της ωσμωτικής διαδικασίας για την επεξεργασία των παραπροϊόντων μανιταριών. Στη

συνέχεια, με τη βοήθεια του πειραματικού σχεδιασμού Box Behnken διεξήχθησαν τα απαιτούμενα πειράματα. Για κάθε απόκριση, αναπτύχθηκε ένα πολυώνυμο μοντέλο δεύτερης τάξης, και η κατάλληλη στατιστική ανάλυση έδειξε ότι όλοι οι παράγοντες διεργασίας επηρέασαν σημαντικά την απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών, την ενεργότητα νερο, αλλαγές στο χρώμα. Με βάση την προσέγγιση των συναρτήσεων επιθυμητότητας (Desirability Functions) και συγκεκριμένα προκαθορισμένα κριτήρια της διεργασίας (ελαχιστοποίηση αλλαγής χρώματος και ενεργότητας ύδατος/μεγιστοποίηση διατήρησης της φωτεινότητας) εκτιμήθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας και πραγματοποιήθηκαν επιτυχώς τα αντίστοιχα, ανεξάρτητα πειράματα επαλήθευσης. Οι βέλτιστες συνθήκες που υπολογίστηκαν ήταν: θερμοκρασία στους 38 °C, συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης 40%, συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 19,3% και διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης 80 λεπτά. Η αξιοπιστία της μεθοδολογίας RSM στην πρόβλεψη των αποκρίσεων του πειράματος τεκμηριώνεται από την ικανοποιητική απόκλιση μεταξύ θεωρητικών (προβλεπομένων) και πειραματικών τιμών. Το εύρος των αποκλίσεων κυμαίνεται μεταξύ -5,75 με 104,71% με τη μέγιστη απόκλιση να εμφανίζεται στο δείκτη σκληρότητας, λόγω ίσως της μη ικανοποιητικής απόδοσης της πολυωνυμικής εξίσωσης. Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ακολουθήθηκε από ξήρανση με θερμό αέρα ώστε να δημιουργηθεί ένα βελτιωμένο τελικό προϊόν με μικρότερο χρόνο ξήρανσης. Η ξήρανση πραγματοποιήθηκε σε 3 διαφορετικές θερμοκρασίες 50, 60 και 70°C για 4 ώρες με συνεχείς μετρήσεις για τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους και μείωσης της ενεργότητας ύδατος (a_w). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την προκατεργασία της ώσμωσης ελαττώθηκε σημαντικά ο απαιτούμενος χρόνος ξήρανσης (ειδικά στις ηπιότερες θερμοκρασίες ξήρανσης), άρα και η αναγκαία ενέργεια, (κατά τουλάχιστον 40% για τους 50°C, με το ποσοστό αυτό να μειώνεται στο 20% για τους 60°C και να τείνει να μηδενιστεί στην εντονότερη θερμοκρασία των 70°C), ενώ το τελικό προϊόν έφτασε σε επίπεδα ενεργότητας νερού, $a_w=0,8404$ (50°C), $a_w=0,7903$ (60°C) και $a_w=0,6999$ (70°C).

Abstract

The purpose of this study was to study osmotic dehydration in a sample of chopped mushroom by-products (stalks) (*Pleurotus ostreatus*) and its combination with air drying to create dehydrated chips as a final product. Mushrooms are rich protein and energy sources and are beneficial to human health and they can extend longevity. They are considered a healthy diet rich in B complex vitamins, minerals and dietary fiber with no cholesterol and low in calories and carbohydrates. Due to their special taste and nutritional value, the production and consumption of mushrooms follows a prosperous course. However, in the mushroom production process, a large amount of by-products is generated, with a high environmental impact and management costs for the industry. By-products include caps, stipes, mushrooms that do not comply with commercial standards in terms of caliber, shape or size and spent mushroom substrate. In addition, mushrooms are a highly perishable product with a short life that limits their economic and commercial value. It is therefore necessary to find methods of utilizing by-products and increasing their shelf life. The osmotic dehydration process has been proposed as an effective and mild procedure to produce high quality products. It is a gentle heat treatment, usually applied as a pre-treatment step of conventional preservation methods (such as drying or freezing), and involves soaking food in a hypertonic concentrated solution (usually containing sugars or salts). A combination of osmotic dehydration and drying was applied in the present study. Initially, the statistical tool of the Response Surface Methodology (RSM) was used to investigate the effect of the concentration of selected osmotic agents, maltodextrin (10-30%), oligofructose (20-40%), temperature (30- 50 °C) and the duration of osmosis (10-120 minutes), for the calculation of the optimal parameters of the osmotic process of by-products mushrooms. As a next step, using the experimental design Box Behnken, the required experiments were performed. For each response, a second-order polynomial model was developed, and appropriate statistical analysis showed that all process factors significantly affected water loss, solids uptake, water activity, and color changes. Based on the desirability functions approach and specific process criteria (minimizing color change and water activity / maximizing brightness retention) the optimal operating conditions were estimated and the corresponding independent experiments were

successfully performed. The optimal conditions calculated were: temperature at 38 ° C, oligofructose concentration 40%, maltodextrin concentration 19.3% and osmotic dehydration duration 80 minutes. The reliability of the RSM methodology in predicting the responses of the experiment is documented by the satisfactory discrepancy between theoretical (predicted) and experimental values. The range of deviations ranges between -5.75 to 104.71% with the maximum deviation appearing in the hardness index, perhaps due to the unsatisfactory performance of the polynomial equation. The osmotic dehydration process was followed by hot air drying to create an improved final product with a shorter drying time. Drying was performed at 3 different temperatures of 50, 60 and 70 °C for 4 h with continuous measurements to determine weight loss and reduction of water activity (a_w). The results showed that pre-treatment of osmosis significantly reduced the required drying time (especially at milder drying temperatures), and therefore the necessary energy (by at least 40% for 50°C, with this percentage being reduced to 20% for 60°C and tend to zero at the strongest temperature of 70°C), while the final product reached water activity levels, $a_w=0,8404$ (50°C), $a_w=0,7903$ (60°C) and $a_w=0,6999$ (70°C).

Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright	4
Περίληψη	6
Abstract	8
Περιεχόμενα.....	10
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 2: Μανιτάρια.....	14
2.1 Γενικά στοιχεία	14
2.2 Διάρκεια ζωής.....	15
2.3 Παράγοντες αλλοίωσης	16
2.4 Χρήση μανιταριών ως υποκατάστατα κρέατος.....	18
2.5 Παραπροϊόντα στερεού υποστρώματος	20
2.6 Παραπροϊόντα υγρής καλλιέργειας	25
2.7 Βιοδραστικές Ενώσεις και Μέθοδοι Εκχύλισης	27
Κεφάλαιο 3: Ωσμωτική Αφυδάτωση	29
3.1 Εισαγωγή.....	29
3.2 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	31
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση.....	35
3.3.1 Γενικά	35
3.3.2 Χαρακτηριστικά προϊόντος.....	35
3.3.3 Τύπος και συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος.....	37
3.3.4 Θερμοκρασία	41
3.3.5 Αναλογία δείγματος προς διάλυμα	41
3.3.6 Χρόνος διεργασίας.....	42
3.3.7 Ανάδευση ωσμωτικού διαλύματος	43
3.3.8 Μέθοδοι προκατεργασίας	44
3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	49
3.5 Εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια.....	55
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (Response Surface Methodology - RSM)	60
4.1 Εισαγωγή.....	61
4.2 Μεθοδολογία	62
4.3 Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση της μεθοδολογίας RSM.....	69
Κεφάλαιο 5: Υλικά και μέθοδοι.....	74
5.1 Υλικά	74

5.2 Πειραματική διαδικασία.....	77
5.2.1 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (water activity, aw).....	79
5.2.2 Προσδιορισμός περιεκτικότητας σακχάρων (°Brix).....	80
5.2.3 Προσδιορισμός χρώματος.....	81
5.2.4 Μέθοδος ανάλυσης υφής.....	83
5.2.5 Μέθοδος προσδιορισμού αλατότητας (μέθοδος Mohr).....	85
5.2.6 Μέτρηση ολικών στερεών.....	86
5.3 Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM).....	88
5.4 Εφαρμογή της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα.....	90
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	92
6.1 Κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε παραπροϊόντα του μανιταριού <i>Pleurotus ostreatus</i> ..	92
6.1.1 Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	92
6.1.2 Ποσοστό υγρασίας στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	95
6.1.3 Μεταβολή της % περιεκτικότητας σε NaCl στα δείγματα παραπροϊόντων παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	97
6.1.4. Απώλεια νερού (WL) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	98
6.1.5 Πρόσληψη στερεών (SG) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	99
6.1.6 Μεταβολή της φωτεινότητας (L/L0) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	101
6.1.7 Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i> ..	103
6.1.8 Μεταβολή της σκληρότητας (f/f0) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	105
6.2 Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης παραπροϊόντων μανιταριού <i>Pleurotus ostreatus</i> με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken	106
6.3 Τελικό στάδιο ξήρανσης σε ρεύμα αέρα	109
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα.....	112
Βιβλιογραφία	114
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	114
Ελληνική Βιβλιογραφία	127
Πηγές Εικόνων.....	127

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους Chang και Miles (1992) ταμανιτάρια μπορούν να περιγραφούν ως «μακρομύκητες με χαρακτηριστικό καρποφόρο σώμα, αρκετά μεγάλο ώστε να φαίνονται με γυμνό μάτι και να συλλέγονται με το χέρι». Αυτές οι ορατές δομές αναφέρονται γενικά ως «καρποφόρα σώματα». Από ταξινομική άποψη, σταμανιτάρια ανήκουν κυρίως οι βασιδιομύκητες αλλά και ορισμένα είδη ασκομυκήτων. Πρόσφατες μελέτες υποδεικνύουν ότι έχουν αναγνωριστεί περίπου 2.000 είδημανιταριών, από τα οποία μόνο τα 25 έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς ως τρόφιμα και καλλιεργούνται για εμπορικούς σκοπούς (Valverde et al., 2015). Τα βρώσιμαμανιτάρια συλλέγονται και καταναλώνονται από τους ανθρώπους εδώ και χιλιάδες χρόνια με τη ζήτησή τους να αυξάνεται συνεχώς εξαιτίας όχι μόνο των διατροφικών τους χαρακτηριστικών αλλά και για τις μοναδικές αισθητηριακές τους ιδιότητες (Sun et al., 2020) και τα πολυάριθμα οφέλη για την υγεία (Kumar, 2020). Σύμφωνα με έρευνες, ταμανιτάρια διαθέτουν υποχοληστερολαιμικές, αντιβακτηριακές, αντιδιαβητικές, αντιοξειδωτικές, αντιαρθριτικές, αντικαρκινογόνες, ηπατοπροστατευτικές, αντι-ιικές δράσεις και δρουν ως φυσικοί πόροι δραστηριοτήτων ανοσοθεραπείας (Kumar, 2020). Η συνολική εμπορική παραγωγήμανιταριών παγκοσμίως αυξήθηκε περισσότερο από 21 φορές σε 35 χρόνια, από περίπου 350.000 τόνους το 1965 σε περίπου 7,5 εκατομμύρια τόνους το 2000 (Ares et al., 2007). Καθώς η ραγδαία αυτή αύξηση συνεχίζεται έως σήμερα, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή εξίσου μεγάλων ποσοτήτων παραπροϊόντων. Ως παραπροϊόντα ορίζονται πύλοι, κοτσάνια,μανιτάρια που δεν συμμορφώνονται με τα εμπορικά πρότυπα όσον αφορά στο διαμέτρημα, το σχήμα ή το μέγεθος καθώς και εξαντλημένα υποστρώματα της καλλιέργειας.

Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι στη σύγχρονη εποχή, οι καταναλωτές ζητούν προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας με ελάχιστη δυνατή επεξεργασία. Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα για τη μερική αφυδάτωση φυτικών ιστών, κρέατος και προϊόντων αλιείας, αλλά και ως προ-κατεργασία σε άλλες συμβατικές μεθόδους συντήρησης (ξήρανση με αέρα, κατάψυξη). Συνίσταται στην απομάκρυνση του νερού με την εμβάπτιση των τροφίμων σε υπερτονικά διαλύματα συμβάλλοντας στη διατήρηση των θρεπτικών και οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών (γεύση, χρώμα και υφή) αλλά

και την αύξηση της διάρκειας ζωής τους.

Η ξήρανση με αέρα αποτελεί μια μέθοδο συντήρησης που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία τροφίμων. Περιλαμβάνει την απομάκρυνση της υγρασίας από τα τρόφιμα με στόχο τον περιορισμό του κινδύνου μικροβιακής αλλοίωσης και την παράταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος. Παράλληλα μειώνεται ο όγκος άρα και τα κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης.

Η εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν τη ξήρανση επιφέρει μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία άρα και του χρόνου έκθεσης του προϊόντος σε υψηλή θερμοκρασία. Με αυτό τον τρόπο ευνοείται η διατήρηση των θρεπτικών συστατικών και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του (Katsoufi et al., 2020).

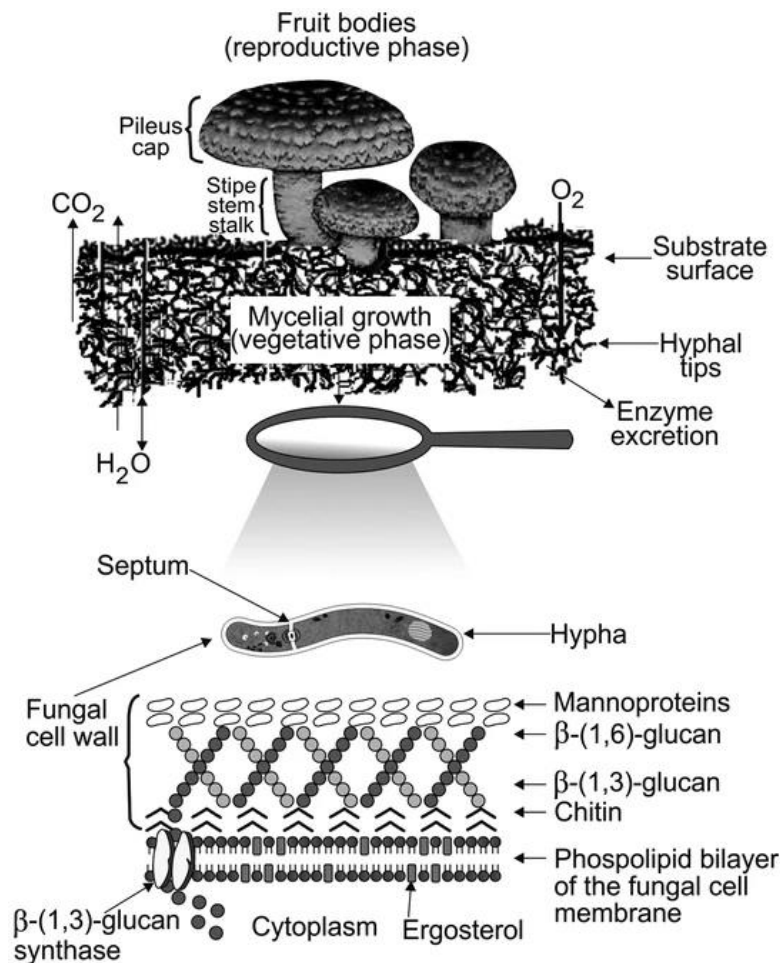
Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η κινητική μελέτη και η στατιστική αξιολόγηση της επεξεργασίας των παραπροϊόντων μανιταριών μέσω ωσμωτικής αφυδάτωσης και ξήρανσης για την παρασκευή αφυδατωμένων τσιπς. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πειραματικός σχεδιασμός (Box Behnken) με ανεξάρτητες μεταβλητές τη συγκέντρωση των δύο βασικών συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος (μαλτοδεξτρίνη και ολιγοφρουκτόζη), τη θερμοκρασία και το χρόνο της διεργασίας. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της μεθοδολογίας RSM και συγκεκριμένα κριτήρια, έγινε βελτιστοποίηση της διεργασίας, ενώ για την επαλήθευση της προσέγγισης πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητα πειράματα στις βέλτιστες συνθήκες. Τέλος, ωσμωμένα στις βέλτιστες συνθήκες δείγματα αφυδατώθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες σε ρεύμα αέρα, όπου και επιβεβαιώθηκαν τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής της ωσμωτικής προκατεργασίας, όσον αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας και χρόνου στη διαδικασία της ξήρανσης.

Κεφάλαιο 2: Μανιτάρια

2.1 Γενικά στοιχεία

Τα μανιτάρια καταναλώνονται εδώ και χιλιάδες χρόνια λόγω της θρεπτικής τους αξίας και της εξαιρετικής τους γεύσης. Αποτελούν πολύτιμη πηγή πρωτεϊνών και ενέργειας ενώ εκτιμάται ότι ενισχύουν την ανθρώπινη υγεία και μακροζωία. Θεωρούνται υγιεινή τροφή καθώς έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε θερμίδες, υδατάνθρακες, κορεσμένα λιπαρά και νάτριο, δεν περιέχουν χοληστερόλη ενώ είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, μέταλλα και φυτικές ίνες (Antunes et al., 2020).

Αποτελούν μια πολύ μεγάλη και διαφοροποιημένη ομάδα μακρομυκήτων που ανήκουν σε βασιδιομύκητες και ασκομύκητες, οι οποίοι έχουν δύο φάσεις ανάπτυξης: την αναπαραγωγική φάση (καρποφόρα σώματα) και τη βλαστική φάση (μυκήλια). Αυτοί οι οργανισμοί είναι επίγειοι (αναπτύσσονται πάνω από τη γη) αναπτύσσοντας καρποφόρο σώμα σχήματος ομπρέλας, όπου παράγονται σπόρια (σε ελάσματα, δομές στην κάτω πλευρά). Τα σπόρια μυκήτων για αυτές τις δύο ομάδες βρίσκονται σε μια ειδική δομή που ονομάζεται βασίδιο (για βασιδιομύκητες) ή ασκός (για ασκομύκητες). Στην ανάπτυξη του μύκητα, μετά τη βλάστηση των σπορίων (ή τον ενοφθαλμισμό μυκηλίων που αναπτύσσονται *in vitro*), το υπόστρωμα εισβάλλει από μικροσκοπικά νήματα που ονομάζονται υφές. Τα κύτταρα σε μια υφή διαχωρίζονται από ένα εγκάρσιο τοίχωμα που ονομάζεται διάφραγμα. Οι υφές συνεχώς αναπτύσσονται και διακλαδίζονται για να σχηματίσουν ένα δίκτυο υφών ή μυκηλίων (μυκηλιακή ανάπτυξη). Η ανάπτυξη των μυκηλίων γενικά συνδυάζεται με αυξημένη παραγωγή ενζύμων και αναπνοή. Οι υφές απορροφούν τα πεπτικά προϊόντα, διεισδύοντας στο υπόστρωμα σε κάποιο βαθμό. Από οικολογική άποψη, οι μύκητες των μανιταριών μπορεί να είναι σαπρότροφοι, παράσιτα και μυκόρριζες. Υπάρχουν μόνο λίγα παρασιτικά μανιτάρια. Τα περισσότερα από τα καλλιεργούμενα μανιτάρια είναι σαπρότροφα. Τα μυκόρριζα μανιτάρια έχουν συμβιωτική σχέση με κάποια βλάστηση, κυρίως δέντρα, έχοντας σχέση αμοιβαίου οφέλους. Τα σαπρότροφα είναι σε θέση να λαμβάνουν θρεπτικά συστατικά από νεκρό οργανικό υλικό και τα παράσιτα λαμβάνουν την τροφή τους από ζωντανά ζώα και φυτά, προκαλώντας βλάβη στον ξενιστή (Sánchez, 2017).



Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση φάσεων ανάπτυξης μανιταριού και σύνθεση μυκητιακού κυτταρικού τοιχώματος (Sánchez, 2017).

2.2 Διάρκεια ζωής

Τα μανιτάρια είναι ιδιαίτερα ευπαθή τρόφιμα που αλλοιώνονται σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά τη συγκομιδή, γεγονός που επηρεάζει την αποθήκευση και διανομή τους ως φρέσκο προϊόν. Μόλις το 45% περίπου των παραγόμενων μανιταριών καταναλώνεται σε φρέσκια μορφή ενώ το υπόλοιπο 55% είναι επεξεργασμένο, 5% σε αφυδατωμένη μορφή και 50% σε κονσέρβα. Ως εκ τούτου τα μανιτάρια διακινούνται στην παγκόσμια αγορά κυρίως σε επεξεργασμένη μορφή.

Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 1-3 ημερών σε θερμοκρασία περιβάλλοντος υπό συνήθεις συνθήκες αποθήκευσης και μεταφοράς καθώς δεν έχουν επιδερμίδα ώστε να τα προστατέψει από φυσική ή μικροβιακή αλλοίωση και απώλεια νερού, 8 ημέρες σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (2–5% O₂ και 3–8% CO₂) στους 3 °C και το πολύ 14 ημέρες στους 2 °C σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (5% O₂ και 10% CO₂). Είναι

ευάλωτα στα επίπεδα υγρασίας καθώς τα υψηλά επίπεδα νερού ευνοούν την ανάπτυξη μικροβίων και τον αποχρωματισμό ενώ αντίθετα τα χαμηλά επίπεδα νερού οδηγούν σε απώλεια βάρους (και συνεπώς οικονομική αξία) και ανεπιθύμητες αλλαγές υφής. Επιπλέον, τα φρέσκαμανιτάρια αναπνέουν εκπέμποντας μεγάλες ποσότητες υδρατμών. Ο ατμός αυτός μπορεί να συσσωρευτεί στη συσκευασία, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη βακτηρίων που προκαλούν αλλοιώσεις σταμανιτάρια. Λόγω της λεπτής και πορώδους επιδερμικής δομής τους, ο ρυθμός αναπνοής τωνμανιταριών εκτιμάται ότι είναι σχετικά υψηλός ($200\text{--}500\text{ mg kg}^{-1}\text{ h}^{-1}$ στους $20 \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$) σε σύγκριση με άλλα λαχανικά και φρούτα. Επιπλέον, τα φρέσκα προϊόντα συνεχίζουν να χάνουν νερό μετά τη συγκομιδή, αλλά σε αντίθεση με το αναπτυσσόμενο φυτό δεν μπορούν πλέον να αντικαταστήσουν το χαμένο νερό από το έδαφος και έτσι πρέπει να εξαντλήσουν την περιεκτικότητά τους σε νερό που απομένει μετά τη συγκομιδή. Αυτή η απώλεια νερού από ταμανιτάρια μετά τη συγκομιδή είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, που προκαλεί συρρίκνωση και απώλεια βάρους (Singh et al., 2010).

2.3 Παράγοντες αλλοίωσης

Η θερμοκρασία αποθήκευσης και η σχετική υγρασία (Relative Humidity) αποτελούν από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τη μετα-ωρίμανση όπως και την αναπνοή, διαπνοή, γήρανση και άλλες φυσιολογικές δράσεις. Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση είναι ένας άλλος βασικός παράγοντας καθώς μπορεί να ενισχύσει τις φυσιολογικές δραστηριότητες, επιταχύνοντας την μετα-ωρίμανση των αποθηκευμένωνμανιταριών. Στην πράξη, είναι γνωστό ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας προκαλεί μεγάλη ζημιά σταμανιτάρια κατά την αποθήκευση. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να διατηρείται η θερμοκρασία όσο το δυνατόν πιο σταθερή. Επομένως κατά την αποθήκευση, μεταφορά και πώληση τωνμανιταριών θα πρέπει να αποφεύγεται η συχνή έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες και να χρησιμοποιούνται συσκευές διατήρησής της σε φυσιολογικά επίπεδα.

Αντίστοιχο ρόλο παίζει η σχετική υγρασία. Η χαμηλή RH οδηγεί σε υπερβολική απώλεια νερού που όχι μόνο μπορεί να υποβαθμίσει την υφή αλλά μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μείωση της κυτταρικής πίεσης, κλείσιμο πόρων, βλάβη στην αναπνοή και αυξημένη ενζυμική δραστηριότητα, επιταχύνοντας έτσι τη διάσπαση των

κυττάρων. Αντίθετα, πολύ υψηλή RH (100%) είναι ικανή να οδηγήσει σε ανάπτυξη μικροοργανισμών προκαλώντας αλλοίωση.

Ο ρυθμός αναπνοής αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα αλλοίωσης των φρέσκωνμανιταριών. Ταμανιτάρια όπως και άλλα λαχανικά και φρούτα είναι μεταβολικά ενεργά για μεγάλες περιόδους μετά τη συγκομιδή. Η αναπνοή είναι μια μεταβολική διαδικασία που παρέχει την ενέργεια για βιοχημικές διεργασίες. Η αερόβια αναπνοή συνίσταται στην οξειδωτική διάσπαση των οργανικών αποθεμάτων (κυρίως υδατανθράκων, λιπιδίων και οργανικών οξέων) σε απλούστερα μόρια, συμπεριλαμβανομένου του CO₂ και του νερού, με απελευθέρωση ενέργειας και την κατανάλωση O₂ σε μια σειρά ενζυμικών αντιδράσεων (Fonseca et al. 2002). Επιπλέον, ο ρυθμός αναπνοής μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος με το ρυθμό αλλοίωσης του προϊόντος και αντιστρόφως ανάλογος με τη διάρκεια ζωής του (Farber et al., 2003).

Τέλος, η αμαύρωση τωνμανιταριών είναι μια σημαντική αιτία υποβάθμισης ποιότητας κατά την αποθήκευση μετά τη συγκομιδή ενώ αποτελεί βασικό κριτήριο για την εμπορευσιμότητα αλλά και την αποδοχή τωνμανιταριών από τους καταναλωτές, ιδιαίτερα στην περίπτωση των λευκών στελεχών. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν το ρυθμό της ενζυμικής αμαύρωσης είναι οι συγκεντρώσεις της ενεργής πολυφαινολοξειδάσης (PPO) και των φαινολικών ενώσεων που υπάρχουν, το pH, η θερμοκρασία, η ενεργότητα του νερού και η διαθεσιμότητα οξυγόνου του ιστού. Επίσης, ο ακατάλληλος χειρισμός, η γήρανση του καρποφόρου σώματος και η βακτηριακή μόλυνση, ειδικά με *Pseudomonas tolaasii*, προκαλούν αντιδράσεις αποχρωματισμού (Singh et al., 2010). Συγκεκριμένα στομανιτάρι *Agaricus bisporus* έχει μελετηθεί ότι το καφέ χρώμα εμφανίζεται ως αποτέλεσμα δύο διακριτών μηχανισμών οξείδωσης της φαινόλης: ενεργοποίηση της τυροσινάσης, ενός ενζύμου που ανήκει στην οικογένεια των πολυφαινολοξειδασών, και αυθόρμητη οξείδωση. Η τυροσινάση οξειδώνει ορισμένες μονοφαινόλες σε ο-διφαινόλες και στη συνέχεια οι πρώτες οξειδώνονται σε κινίνες, οι οποίες πολυμερίζονται αυθόρμητα για να σχηματίσουν καφέ, μαύρες ή κόκκινες χρωστικές. Ως αποτέλεσμα της γήρανσης, οι κυτταρικές μεμβράνες διαταράσσονται και η διαμερισματοποίηση χάνεται, επιτρέποντας στα ένζυμα και τα υποστρώματα να αναμειχθούν, επιταχύνοντας το μαύρισμα (Jolivet et al., 1998).

Ο περιορισμός του ενζυμικού μαυρίσματος είναι μια σημαντική πρόκληση στη

βιομηχανία μανιταριών. Μία από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους για την παράταση της διάρκειας ζωής των φρέσκων μανιταριών είναι το πλύσιμο τους με υδατικά διαλύματα κιτρικού οξέος ή κιτρικών αλάτων. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία καθορίζει τα συντηρητικά που μπορούν να προστεθούν στα φρέσκα μανιτάρια, συμπεριλαμβανομένων κιτρικού και ασκορβικού οξέος. Η προσθήκη κιτρικού ή ασκορβικού οξέος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του pH και την επακόλουθη αναστολή της ενζυμικής δραστηριότητας, η οποία είναι ευαίσθητη στο pH. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι διατήρησης των μανιταριών που αποσκοπούν στην αποφυγή της ενζυμικής αμαύρωσης και βασίζονται στην προστασία του υποστρώματος με την αφαίρεση βασικών συστατικών από την αντίδραση (συχνότερα το οξυγόνο) ή την απενεργοποίηση του ενζύμου. Οι κατεργασίες που προτείνονται ευρέως συνδυάζουν ψύξη, χρήση υγροσκοπικών, πλύσιμο με χημικά, εφαρμογή αναστολέων τυροσινάσης, επικάλυψη ή/και συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) (Wrona et al., 2015).

2.4 Χρήση μανιταριών ως υποκατάστατα κρέατος

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλεί, η χρήση μανιταριών ως υποκατάστατα κρέατος. Παραδοσιακά, τα εναλλακτικά προϊόντα κρέατος χρησιμοποιούνταν από χορτοφάγους. Σήμερα, ωστόσο, τα συγκεκριμένα προϊόντα απευθύνονται σε ένα ευρύτερο φάσμα καταναλωτών. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες σχετικά με την παραγωγή κρέατος (εκπομπές CO₂), καθώς οι αυξανόμενες ανησυχίες για την υγεία και τη διατροφή, όπως η πρόληψη χρόνιων ασθενειών, γίνονται όλο και πιο κοινές στρέφοντας το ενδιαφέρον των καταναλωτών στην αναζήτηση υγιεινών και γευστικών τροφών με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Αποτέλεσμα της αυξανόμενης ζήτησης αποτελεί η ολοένα και μεγαλύτερη διάθεση εναλλακτικών προϊόντων κρέατος, τα οποία καλούνται “meat analogues” (Sadler, M. J., 2004; Kim et al., 2011). Αυτά τα προϊόντα που προσομοιάζουν με κρέας όσον αφορά την υφή, τη γεύση, το άρωμα και τη θρεπτική αξία αντιπροσώπευαν μόλις το 1-2% της αγοράς κρέατος την προηγούμενη δεκαετία. Η χρήση τους αναμένεται να χει αυξηθεί τόσο για διατροφικούς όσο και για οικονομικούς λόγους καθώς αποτελούν φθηνά υποκατάστατα των πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης (Kumar et al., 2015).

Υποκατάστατα κρέατος μπορεί να ληφθούν από διάφορες πηγές πρωτεΐνης όπως είναι η πρωτεΐνη σόγιας, τα όσπρια, οι ξηροί καρποί, οι πρωτεΐνες δημητριακών και λαχανικά. Ωστόσο, οι παραπάνω πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης συχνά φέρουν μια δυσάρεστη γεύση προερχόμενη από τα φυτά ενώ δύναται να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις λόγω της γλουτένης σίτου που προστίθεται για τη βελτιστοποίηση της υφής. Για το λόγο αυτό, αναζητούνται συνεχώς νέες πηγές φυτικής πρωτεΐνης. Τα μανιτάρια αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική, λόγω του εύκολου πολλαπλασιασμού τους και της ανταπόκρισης στις γευστικές απαιτήσεις των καταναλωτών (Kim et al., 2011; Kumar et al., 2015).

Συγκεκριμένα, τα μανιτάρια είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες (κυτταρικά τοιχώματα των υφών μανιταριού) και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (κυτταρικές μεμβράνες) ενώ το κυτταρόπλασμα είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας. Η μυκοπρωτεΐνη εκτιμάται ότι μπορεί να μειώσει τις επιβλαβείς LDL (χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεΐνες) και να ενισχύσει τις ευεργετικές HDL (λιποπρωτεΐνες υψηλής πυκνότητας). Τα μανιτάρια θα μπορούσαν, έτσι, να συμβάλουν στην κάλυψη των καθημερινών μας αναγκών σε πρωτεΐνες, μέταλλα και βιταμίνες. Η προτίμηση της μυκητιακής πρωτεΐνης έναντι των βακτηριακών και φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- έχει ινώδη υφή και η ενσωμάτωσή της σε προϊόντα διατροφής συμβάλλει στην καλύτερη αίσθηση στο στόμα
- το άρωμά της απολαμβάνει μεγαλύτερη αποδοχή σε σύγκριση με την πρωτεΐνη σόγιας.
- οι περισσότερες μυκοπρωτεΐνες είναι άγευστες και άχρωμες με υφή όπως που παρομοιάζει με τις ίνες του κρέατος, με αποτέλεσμα με την προσθήκη αρώματος και χρώματος να μπορούν να υποκαταστήσουν άριστα το κρέας ψαριού, κοτόπουλου, μοσχαριού ή το ζαμπόν.
- παρέχει οφέλη για την υγεία λόγω της αντικαρκινικής δράσης του μανιταριού (Kumar et al., 2015)

Οι Kumar et al. (2015) αναφέρουν ότι τα πρώτα ανάλογα κρέατος του εμπορίου ήταν μπιφτέκια και λουκάνικα που παρασκευάστηκαν από τους νηματώδεις μύκητες *Fusarium graminearum*. Η γεύση τους που προσομοίαζε στη γεύση κρέατος αποδόθηκε

στην παρουσία αμινοξέων υψηλής περιεκτικότητας σε θείο και γλουταμινικού οξέος. Τα υποκατάστατα κρέατος παρασκευάζονται από μυκοπρωτεΐνη με ανάμιξη του ζυμωμένου μανιταριού με αυγό και άλλα καρυκεύματα/αρωματικά και χρησιμοποιούνται ευρέως στις Ευρωπαϊκές χώρες ως εναλλακτική λύση στο βόειο κρέας και το κοτόπουλο.

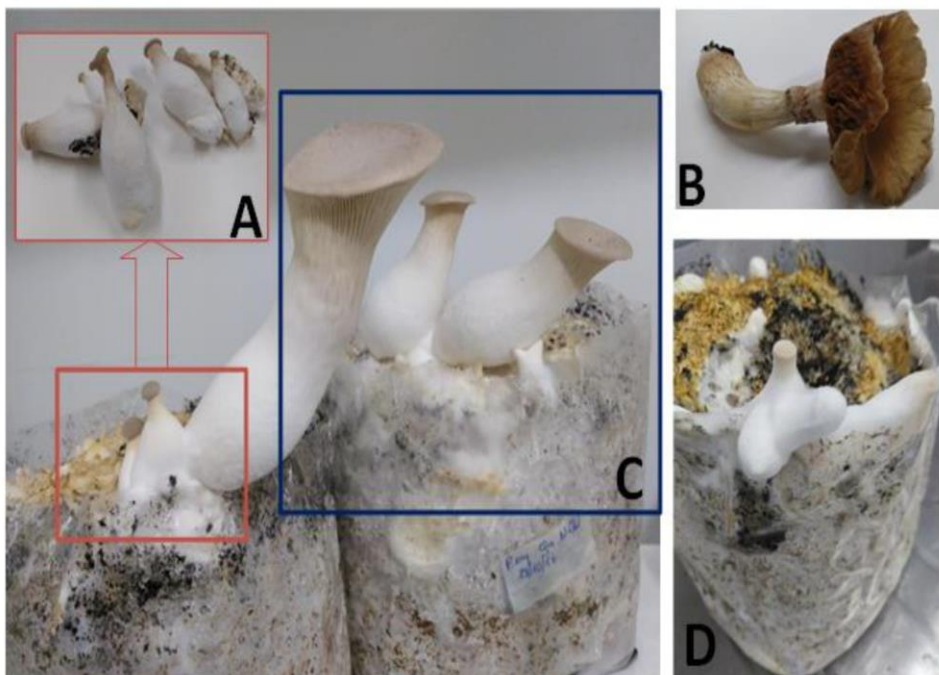
2.5 Παραπροϊόντα στερεού υποστρώματος

Χάρη στην υψηλή διατροφική τους αξία και γεύση, η παραγωγή και κατανάλωση μανιταριών αυξάνεται κάθε χρόνο καθώς προσελκύει καταναλωτές σε παγκόσμιο επίπεδο. Κατά τη διαδικασία παραγωγής μανιταριών, ωστόσο, απορρίπτεται ένα μεγάλο ποσοστό παραπροϊόντων με αποτέλεσμα υψηλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο και κόστος διαχείρισης για τους παραγωγούς. Ανάλογα με την κλίμακα παραγωγής, το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 5 έως 20% του συνολικού όγκου παραγωγής (Antunes et al., 2020). Στα παραπροϊόντα μανιταριών περιλαμβάνονται καπάκια, κοτσάνια, μανιτάρια που δεν συμμορφώνονται με τα εμπορικά πρότυπα όσον αφορά στο διαμέτρημα, το σχήμα ή το μέγεθος και εξαντλημένα υποστρώματα της καλλιέργειας (spent mushroom substrate – SMS). Τα υποστρώματα περιέχουν μυκήλια, εξωκυτταρικά ένζυμα, που εκκρίνονται από τα μανιτάρια συμβάλλοντας στην αποικοδόμηση υποστρωμάτων και αχρησιμοποίητα λιγνοκυτταρινούχα (lignocellulosic) υποστρώματα (Lim et al., 2013). Για κάθε κιλό μανιταριών που παράγεται εκτιμάται ότι απορρίπτονται 5 με 6 κιλά χρησιμοποιημένου υποστρώματος (Paredes et al., 2009). Παραδοσιακά, για τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων υποστρωμάτων έχει χρησιμοποιηθεί η αποτέφρωση, μια τεχνική που δυνητικά μπορεί να προκαλέσει μια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία η αναζήτηση νέων μεθόδων για τη διάθεσή τους (Lou et al., 2017). Καθώς τα παραπροϊόντα έχουν υψηλή θρεπτική αξία, μπορούν να βρουν πολλές εφαρμογές αξιοποίησης.

Τις τελευταίες δεκαετίες καταβάλλεται προσπάθεια επαναχρησιμοποίησης αποβλήτων ως πρώτη ύλη για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων ενισχύοντας την κυκλική οικονομία. Η μεγάλη ποσότητα απορριμμάτων που δημιουργείται από την παραγωγή μανιταριών επιφέρει τεράστια απώλεια πολύτιμων οργανικών υλικών

εγείροντας επίσης σοβαρά προβλήματα διαχείρισης, τόσο από οικονομική όσο και από περιβαλλοντική άποψη. Το γεγονός αυτό, έχει οδηγήσει στην εκπόνηση μελετών σχετικά με τις πιθανές εφαρμογές των παραπροϊόντων σε διάφορους τομείς.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα είδη παραπροϊόντων που προκύπτουν από την παραγωγήμανιταριών όπως καρποφόρα σώματα (στύποι, πίλοι), χρησιμοποιημένα υποστρώματα από στερεή ζύμωση και μυκήλιο στερεού υποστρώματος και υγρής καλλιέργειας καθώς και οι δυνατότητες εφαρμογής τους σύμφωνα με τους Antunes et al., 2020.



Εικόνα 2. Παραπροϊόντα μανιταριών που λαμβάνονται μόνο με ζύμωση σε στερεό υπόστρωμα (Antunes et al., 2020).

Πηγή: Τα (A) και (B) είναι απόβλητα παραγωγής μανιταριών (μπαστούνια και μανιτάρια που δεν συμμορφώνονται με τα εμπορικά πρότυπα όσον αφορά στο διαμέτρημα, το σχήμα ή το μέγεθος: 5–20% του βάρους παραγωγής). (C) υποπροϊόντα (πλεονασματική παραγωγή: $\leq 5\%$). (D) χρησιμοποιημένο υπόστρωμα μανιταριού ($>20\%$ του βάρους παραγωγής).

Καρποφόρο σώμα

Από την παραγωγή μανιταριών τα καρποφόρα τμήματα είναι εκείνα που βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων. Αρκετές μελέτες έχουν

επικεντρωθεί στην εκχύλιση βιοδραστικών ενώσεων από ποικίλα είδη μανιταριών, όπως τα *Flammulina velutipes* (Bao et al., 2010), *Ganoderma lucidum* (Cheng et al., 2013), *Laetiporus sulphureus* (Alquini et al., 2004), *Pholiota nameko* (Rodrigues et al., 2017), *Poria cocos* (Khan et al., 2018), *Pleurotus ostreatus* (Taofic et al., 2015) και *Schizophyllum commune* (Klaus et al., 2011).

Αντίστοιχα, οι στύποι, τα μανιτάρια που δεν συμμορφώνονται με τα εμπορικά πρότυπα καθώς και η πλεονάζουσα παραγωγή έχει βρεθεί ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την απομόνωση ενώσεων προστιθέμενης αξίας αν και η έρευνα στον συγκεκριμένο τομέα είναι σχετικά περιορισμένη.

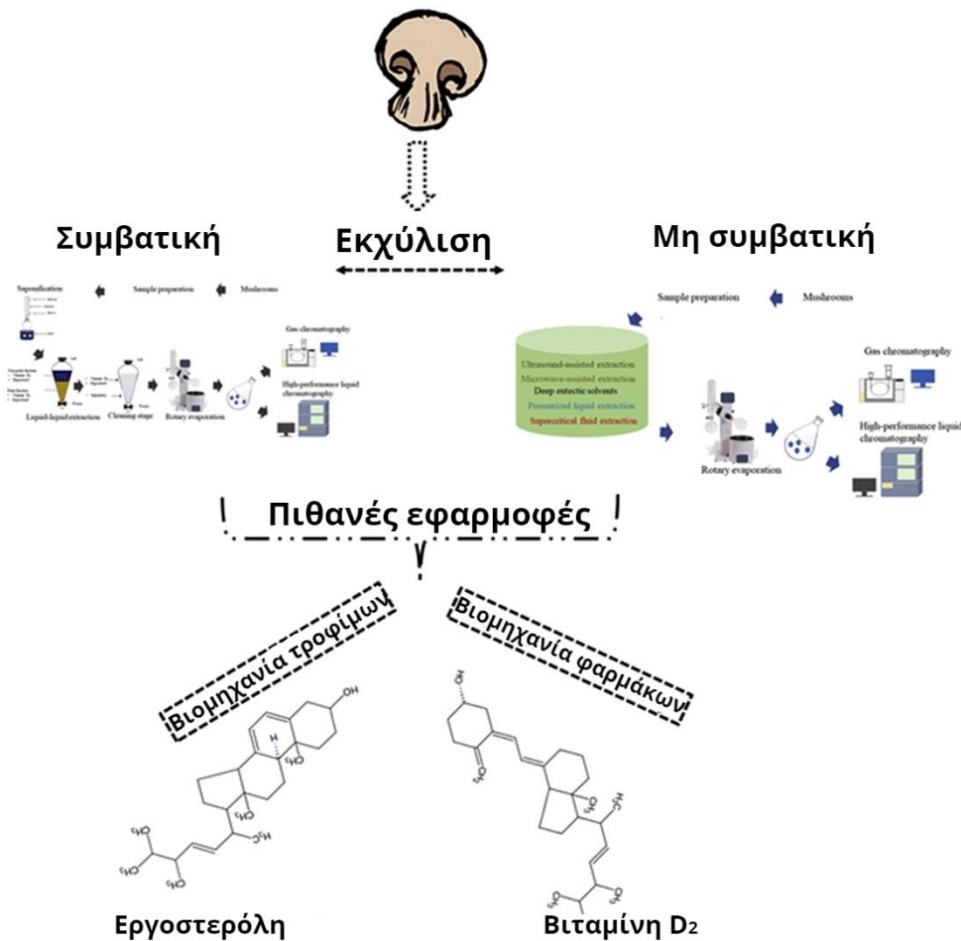
Το μανιτάρι Shiitake [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegle], που ονομάζεται επίσης δασικό μανιτάρι και shiang-ku (αρωματικό μανιτάρι), είναι ένα σημαντικό καλλιεργούμενο είδος στην Ταϊβάν με παραγωγή που ανέρχεται στους πέντε χιλιάδες τόνους ετησίως. Ο πύλος του shiitake προτιμάται ιδιαίτερα από τους καταναλωτές, ενώ οι στύποι, τα παλαιότερα χρόνια, συνηθιζόταν να τεμαχίζονται, να ξηραίνονται και να πωλούνται ως φθηνά υποπροϊόντα ή να απορρίπτονται εξαιτίας της σκληρής υφής του. Ως εκ τούτου, η αξιοποίηση των στυπών θα μπορούσε να συμβάλει στην αύξηση των κερδών του αγρότη και στη μείωση του χειρισμού των απορριμμάτων και του προβλήματος της ρύπανσης. Μια εναλλακτική χρήση των στυπών shiitake αποτέλεσε η χρήση τους για την εξαγωγή χιτίνης, μιας ουσίας που συναντάται κυρίως στο κέλυφος μαλακόστρακων και σε έντομα καθιστώντας την ακατάλληλη για χορτοφάγους (Lin et al., 2010; Yen et al., 2007). Από τη χιτίνη προέρχεται, μέσω αποακετυλίωσης, η δραστική ουσία χιτοζάνη που έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η χιτοζάνη χρησιμοποιείται σε πληθώρα φαρμακευτικώνσκευασμάτων, ιατρικού υλικού, καλλυντικών, συμβάλει στην απομάκρυνση μετάλλων από λύματα, αφαίρεση χρώματος από λύματα κλωστοϋφαντουργίας κ.α. (Kumar et al., 2000). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση των στυπών του ίδιου μανιταριού και ως εναλλακτική πηγή αζώτου στην αλκοολική ζύμωση. Οι Lin et al. (2010) βρήκαν ότι το εκχύλισμα μανιταριών, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε πρωτεΐνη, μπορεί να αντικαταστήσει τη συμβατική πηγή αζώτου όπως εκχύλισμα ζύμης ή άλλα παρόμοια υποστρώματα και να αναπτύξει ένα νέο αλκοολούχο ποτό με πιο μοναδική αρωματική γεύση και λειτουργικές ιδιότητες. Σε οργανοληπτικό έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στην Ταϊβάν βρέθηκε ότι είχε

συγκρίσιμη αποδοχή από τους καταναλωτές με ένα εμπορικό λευκό κρασί της χώρας.

Οι Umaña et al. (2020) μελέτησαν την εκχύλιση εργοστερόλης, φαινολικών ενώσεων και άλλων αντιοξειδωτικών συστατικών με τη χρήση υπερήχων από υποπροϊόντα μανιταριών *Agaricus bisporus* L. Το τμήμα του μανιταριού που χρησιμοποιήθηκε ήταν το κοτσάνι, το οποίο βρέθηκε ότι έχει ανάλογη περιεκτικότητα σε εργοστερόλη και φαινολικές ενώσεις με το πύλο του μανιταριού. Κατά συνέπεια, τα κοτσάνια μανιταριών μπορούν να θεωρηθούν ένα πολύ ενδιαφέρον παραπροϊόν ως πηγή εργοστερόλης, TPC και άλλων αντιοξειδωτικών ενώσεων. Επιπλέον, είναι επίσης πλούσια σε υδατάνθρακες, με το ενδιαφέρον να συγκεντρώνεται στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε γλυκάνες. Η περιεκτικότητά τους σε γλυκάνες ερευνήθηκε λίγο νωρίτερα (2017) από τους Aguiló-Aguayo et al. Χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο εκχύλισης (υπερήχους) απομόνωσαν β-γλυκάνες από παραπροϊόντα μανιταριών *Agaricus bisporus* L. όπως κοτσάνια που δεν ανταποκρίνονταν στα εμπορικά πρότυπα.

Επίσης, οι Gil-Ramírez et al. (2013) ερεύνησαν την απομόνωση στερόλης από μανιτάρια και παραπροϊόντα μανιταριών *Agaricus bisporus* με τεχνολογίες συμπιεσμένου υγρού (PLE και SFE). Οι εκχυλίσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το πλήρες καρποφόρο σώμα ή το κάτω μέρος του στελέχους που συνήθως απορρίπτεται ως παραπροϊόν κατά τη συγκομιδή. Στόχος της έρευνας ήταν η διερεύνηση της πιθανής επαναξιοποίησης αυτού του παραπροϊόντος ως πρώτη ύλη για τη δημιουργία κλασμάτων εμπλουτισμένων με εργοστερόλη για νέα λειτουργικά συστατικά με υποχοληστερολαιμικές ιδιότητες.

Αντίστοιχα, οι Heleno et al. (2016) στην έρευνά τους επικεντρώθηκαν στην εξαγωγή εργοστερόλης από τα παραπροϊόντα της βιομηχανικής επεξεργασίας μανιταριών (*Agaricus bisporus*) με τη χρήση μικροκυμάτων (MAE). Η διαδικασία εξαγωγής βελτιστοποιήθηκε με επιτυχία με την εφαρμογή της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης (Response Surface Methodology) προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή απόδοση εργοστερόλης χρησιμοποιώντας αιθανόλη ως διαλύτη εκχύλισης.



Εικόνα 3. Ανάκτηση εργοστερόλης και βιταμίνης D₂ από τα απόβλητα μανιταριών - Πιθανή αξιοποίηση από τις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων (Paroutsis et al., 2020).

Χρησιμοποιημένο υπόστρωμα

Το υπόστρωμα χρησιμοποιημένου μανιταριού (Spent Mushroom Substrate, SMS) αποτελεί το κύριο παραπροϊόν της βιομηχανίας μανιταριών. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή είναι δύο ειδών ανάλογα με το καλλιεργούμενο είδος, κομποστοποιημένο και παστεριωμένο (Jasinska et al., 2018) και παράγονται συνήθως από ανανεώσιμα γεωργικά υπολείμματα όπως πριονίδι, ζαχαροκάλαμο, τσαμπί χωρίς φρούτα φοίνικα, κοπριά αλόγων με άχυρο σιταριού, σανό, κοπριά πουλερικών, αλεσμένα καλαμποκάλευρα, βαμβακόσπορο, κελύφη κακάο, γύψο μεταξύ άλλων ουσιών (Jordan et al., 2008).

Τόνοι SMS παράγονται παγκοσμίως κάθε χρόνο, τα οποία είναι πλούσια σε φυσικά πολυμερή, όπως χιτοζάνη, χιτίνη, πρωτεΐνες, κυτταρίνη και ημικυτταρίνες. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι τα προαναφερθέντα πολυμερή αποτελούν άριστες

πηγές λειτουργικών ομάδων καρβονυλίου, υδροξυλίου και αμιδίου, οι οποίες θα μπορούσαν να παρέχουν ενεργές θέσεις δέσμευσης για ρύπους στη διαδικασία επεξεργασίας λυμάτων. Σε μια πρόσφατη έρευνα χρησιμοποιημένα απόβλητα μανιταριών τροποποιήθηκαν από μια κατιονική επιφανειοδραστική ουσία (βρωμιούχο cetyltrimethylammonium, CTAB) για την εξάλειψη των τοξικών βαφών από λύματα (Alhujaily et al., 2018). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Lin et al. (2016) τα χρησιμοποιημένα υποστρώματα περιέχουν μυκήλιο με υψηλή περιεκτικότητα σε ενώσεις όπως ιχνοστοιχεία (Fe, Ca, Zn και Mg), κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη, υδατάνθρακες, ακατέργαστες πρωτεΐνες και λίπος.

Σύμφωνα με έρευνα, ο πολυσακχαρίτης En-RPS που εξήχθη από το υπόλειμμα των *Flammulina velutipes* κατείχε ισχυρές αντιοξειδωτικές δραστηριότητες και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ελπιδοφόρος θεραπευτικός παράγοντας για την αναστολή της εξέλιξης της διαβητικής νεφροπάθειας.

Αντίστοιχα, οι He et al. (2018) εξέτασαν τη δράση του ακατέργαστου πολυσακχαρίτη CPS που εκχυλίστηκε από το χρησιμοποιημένο υπόστρωμα της καλλιέργειας *Pleurotus eryngii*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο υψηλής απόδοσης πολυσακχαρίτης έχει δυνατότητες εφαρμογής ως ισχυρό αντιοξειδωτικό στη βιομηχανία τροφίμων. Αντίστοιχες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για την εξαγωγή μονοσακχαρίτη GPS από χρησιμοποιημένο υπόστρωμα *Ganoderma lucidum* (Zhang et al., 2016) και πολυσακχαρίτη PL από χρησιμοποιημένο υπόστρωμα *Lentinula edodes* (Zhu et al, 2012).

2.6 Παραπροϊόντα υγρής καλλιέργειας

Μυκήλιο

Η παραγωγή μανιταριών σε υγρή καλλιέργεια είναι μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την αποτελεσματική παραγωγή μυκηλίου και μεταβολιτών και έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή σε όλο τον κόσμο (Tang et al., 2007). Τα συστατικά του μέσου καλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της συγκέντρωσης και του τύπου των πηγών άνθρακα και αζώτου, το αρχικό pH, ο όγκος του εμβολίου(σπόρου) και η ταχύτητα ανάδευσης είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγή βιομάζας. Τα παραπάνω ευρήματα προέκυψαν κατά την παραγωγή μυκηλιακής βιομάζας *Pleurotus albidus* με βυθισμένη ζύμωση (Kirsch et al., 2016). Αντί να

χρησιμοποιούνται καρποφόρα σώματα ως πηγή βιοδραστικών ενώσεων, η χρήση μυκηλίων που αναπτύσσονται σε υγρή καλλιέργεια, εγγυάται ένα πιο αξιόπιστο προϊόν με υψηλότερο επίπεδο ελέγχου της σύνθεσής του (Guo et al., 2011).

Ωστόσο, η επιλογή της βυθισμένης υγρής ζύμωσης ή της ζύμωσης στερεού υποστρώματος ως μεθόδου καλλιέργειας καθορίζεται από την παραγωγικότητα και τη βιολογική τους αποτελεσματικότητα. Για παράδειγμα, οι χημικές και βιολογικές ιδιότητες του πολυσακχαρίτη που παράγεται σε βυθισμένη υγρή καλλιέργεια είναι αρκετά διαφορετικές από εκείνες που συντίθενται από το καρποφόρο σώμα και σε ορισμένες περιπτώσεις, δεν παράγεται πολυσακχαρίτης ή στερούνται βιολογικής δραστηριότητας λόγω δομικών διαφορών (Osińska-Jaroszuk et al., 2015).

Ζωμός ζύμωσης (Fermentation Broth)

Ο ζωμός ζύμωσης της υγρής καλλιέργειας μανιταριών είναι πλούσια πηγή εξωκυτταρικών πολυσακχαριτών με βιοδραστικότητα (Sánchez et al., 2016). Σε αντίστοιχο συμπέρασμα κατέληξε και ο Elisashvili (2012) μελετώντας φαρμακευτικά μανιτάρια που ανήκουν σε υψηλότερες τάξεις Βασιδιομυκήτων. Τα διάφορα κυτταρικά συστατικά και οι δευτερογενείς μεταβολίτες (πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και τα σύμπλοκά τους, φαινολικές ενώσεις, πολυκετίδια, τριτερπενοειδή, στεροειδή, αλκαλοειδή, νουκλεοτίδια κ.λπ.) με πληθώρα φαρμακευτικών ιδιοτήτων βρέθηκε ότι μπορούν να απομονωθούν όχι μόνο από τα καρποφόρα τμήματα αλλά και το μυκήλιο και τον ζωμό καλλιέργειας μανιταριών σε υγρό υπόστρωμα.

Οι βιοδραστικές ενώσεις που απελευθερώνονται στο ζωμό ζύμωσης έχουν βρει διάφορες εφαρμογές όπως οι ζωοτροφές και τα λειτουργικά τρόφιμα. Τα συμπληρώματα διατροφής με πολυσακχαρίτη HFCP που εξήχθη από ζωμό υγρής καλλιέργειας του μανιταριού *Hericium caput-medusae* (Bull.:Fr.) Pers. βρέθηκε ότι είχαν αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη κοιλιακού λίπους κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής, συμφωνώντας με τις απαιτήσεις της αγοράς (Shang et al., 2015). Η χορήγηση πολυσακχαρίτη RPS, που εκχυλίστηκε από υπολείμματα τεχνητής καλλιέργειας *Cordyceps militaris* SU-12, φάνηκε να παρουσιάζει αντιυπερλιπιδαιμικές, ηπατοπροστατευτικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως νέο λειτουργικό υλικό τροφίμων για υπερλιπιδαιμία

(Wang et al., 2015). Τέλος, τα συστατικά του ζυμού ζύμωσης φαίνεται να επιδρούν στη σύνθεση, τη δομή και την παραγωγικότητα των εξωκυτταρικών πολυσακχαριτών (Hsieh et al., 2005).

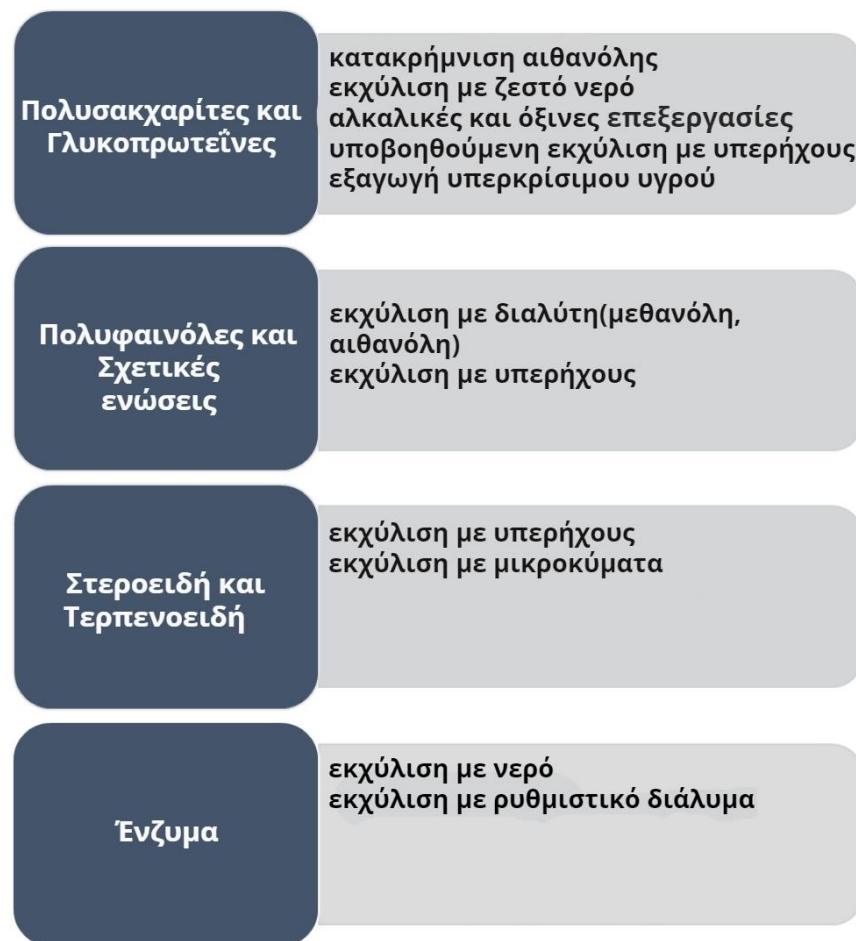
2.7 Βιοδραστικές Ενώσεις και Μέθοδοι Εκχύλισης

Οι βιοδραστικές ενώσεις είναι συστατικά που απαντώνται στα τρόφιμα και μπορούν να ρυθμίζουν τις μεταβολικές διεργασίες του οργανισμού με αποτέλεσμα την προαγωγή της καλύτερης υγείας (Galanakis, 2021). Στις βιοδραστικές ενώσεις που απαντώνται στα μανιτάρια περιλαμβάνονται πολυσακχαρίτες (π.χ. β-γλυκάνες), πρωτεΐνες, λίπη, μέταλλα, γλυκοσίδες, αλκαλοειδή, πτητικά έλαια, τοκοφερόλες, φαινολικά, φλαβονοειδή, καροτενοειδή, φολικά, ασκορβικό οξύ, ένζυμα και οργανικά οξέα (Patel & Goyal, 2012). Τα κυτταρικά τοιχώματα των μανιταριών περιέχουν χιτίνη, ημικυτταρίνες, γλυκάνες, μαννάνες και ιδιαίτερα διακλαδισμένες μη κυτταρινικές β-γλυκάνες, οι οποίες θεωρείται ότι έχουν ευεργετικές ιδιότητες για την υγεία (Fazenda et al., 2008). Μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν αντιφλεγμονώδεις, αντιοξειδωτικές, ανοσοτροποποιητικές, αντικαρκινογόνες, αντικές, αντιβακτηριακές, αντιμυκητιακές, ηπατοπροστατευτικές, αντινευροεκφυλιστικές, αντιδιαβητικές, αντιαγγειογενετικές και υπογλυκαιμικές ιδιότητες.

Η συγκέντρωση και η αποτελεσματικότητα των βιοδραστικών ενώσεων ποικίλλουν και εξαρτώνται από το είδος μανιταριού, τον τύπο του υποστρώματος, τις συνθήκες καρποφορίας, το στάδιο ανάπτυξης, τις συνθήκες αποθήκευσης και τις διαδικασίες μαγειρέματος (Sánchez, 2017). Μέχρι στιγμής εκτιμάται ότι το 80-85% όλων των φαρμακευτικών προϊόντων μανιταριών προέρχεται από καρποφόρα σώματα, τα οποία είτε έχουν καλλιεργηθεί στο εμπόριο είτε έχουν συλλεχθεί από τη φύση ενώ το 15% βασίζεται σε εκχυλίσματα από μυκήλια. Εντούτοις, παρά την ανακάλυψη πολλών φαρμακευτικών μανιταριών και την ταυτοποίηση των βιοδραστικών πολυσακχαριτών τους, αυτοί χρησιμοποιούνται σε λίγα μόνο λειτουργικά προϊόντα διατροφής. Αυτό οφείλεται πιθανώς σε θέματα που σχετίζονται με πιθανές ανησυχίες σχετικά με την εφαρμογή αυτών των σημαντικών μορίων στα τελικά προϊόντα διατροφής, όπως η ποικιλομορφία των βιοπολυμερών, η ασταθής ποσότητα, ποιότητα και διαθεσιμότητα αυτών των πολυσακχαριτών μανιταριών, ο αντίκτυπος της διαδικασίας καθαρισμού και

της επεξεργασίας τροφίμων στα τη βιοδραστικότητα των βιοπολυμερών και το κόστος παραγωγής τους. Επιπλέον, τα θέματα ασφάλειας και οι κανονισμοί είναι απαραίτητα για την εξέταση της εμπορίας λειτουργικών προϊόντων διατροφής .

Η πλειονότητα των μελετών σχετικά με τη δυνητική βιοδραστικότητα των μανιταριών διεξάγεται με δείγματα καρποφόρων σωμάτων. Ωστόσο, τα παραπροϊόντα που παράγονται από την παραγωγή μανιταριών αντιπροσωπεύουν επίσης μια καλή πηγή πολύτιμων ενώσεων. Αυτές οι βιοδραστικές ενώσεις θα μπορούσαν να προέρχονται από ζύμωση στερεού υποστρώματος (πίλοι και στύποι από καρποφόρα σώματα, μυκήλιο από SMS) ή από βυθισμένη υγρή ζύμωση (ζωμός ζύμωσης και πλεόνασμα μυκηλίου) (Antunes et al., 2020).

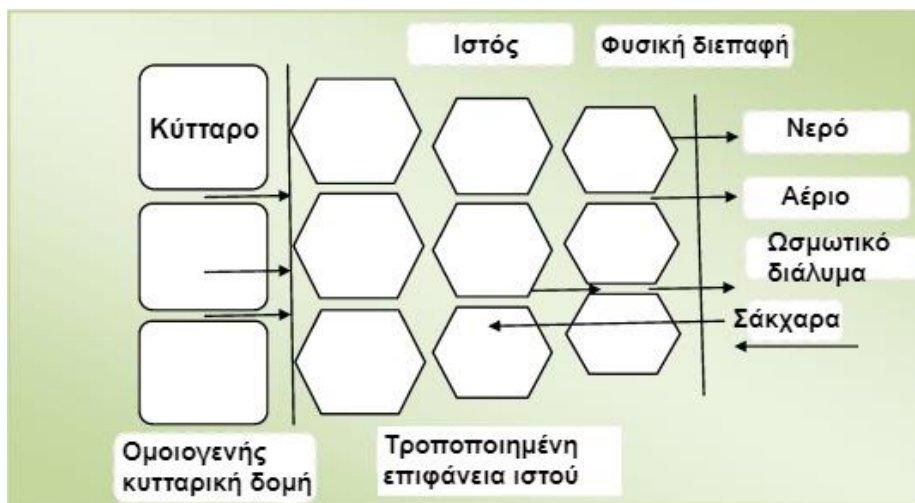


Εικόνα 4. Κύριες βιοδραστικές ενώσεις σε παραπροϊόντα μανιταριών και μέθοδοι εκχύλισης (Antunes et al., 2020).

Κεφάλαιο 3: Ωσμωτική Αφυδάτωση

3.1 Εισαγωγή

Ο όρος «ωσμωτική αφυδάτωση» αναφέρεται στη μερική αφυδάτωση νωπών προϊόντων (κυρίως φρούτων και λαχανικών και δευτερευόντως προϊόντων αλιείας και κρέατος) μέσω της εμβάπτισής τους σε υπερτονικά υδατικά διαλύματα. Η ωσμωτική αφυδάτωση στοχεύει κυρίως στη μεταβολή οργανοληπτικών ή/και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών αλλά και στην αύξηση της διατηρησιμότητάς τους. Η απομάκρυνση του νερού οφείλεται στο φυσικό και μη καταστροφικό φαινόμενο της ώσμωσης στις κυτταρικές μεμβράνες (Rastogi et al., 2005). Η κινητήρια δύναμη του φαινομένου της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ προϊόντος και υπερτονικού διαλύματος (διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης σακχάρου ή άλατος).



Εικόνα 5. Φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε κυτταρικό επίπεδο (Shi & Xue, 2008).

Λόγω της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης του τροφίμου λαμβάνουν χώρα δύο κύριες ροές αντίθετης κατεύθυνσης, νερό διαχέεται από το τρόφιμο στο διάλυμα ενώ ταυτόχρονα ωσμωτικό διάλυμα διεισδύει στο προϊόν εμπλουτίζοντας επιλεκτικά τη σύστασή του (Lazarides et al., 1995; Torreggiani, 1993). Κατά συνέπεια, η ωσμωτική αφυδάτωση επιφέρει διπλή τροποποίηση στο τρόφιμο μειώνοντας τη σχετική υγρασία του και εμπλουτίζοντάς το παράλληλα με επιλεγμένα επιθυμητά συστατικά (από το ωσμωτικό μέσο) που ενδέχεται να οδηγήσουν σε

μεταβολή της θρεπτικής αξίας, των αισθητηριακών και λειτουργικών ιδιοτήτων του (Torreggiani, 1995). Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ολοκληρώνεται με την επίτευξη δυναμικής ισορροπίας μεταξύ της ενεργότητας ύδατος του διαλύματος και του εμβαπτιζομένου τροφίμου (σημειώσεις εργαστηρίου Επεξεργασίας Τροφίμων II, ΠΑΔΑ).

Η ωσμωτική αφυδάτωση μπορεί να εφαρμοστεί είτε ως αυτόνομη διαδικασία είτε ως στάδιο προ-επεξεργασίας συμβατικών μεθόδων συντήρησης όπως παστερίωση, κονσερβοποίηση, κατάψυξη, ξήρανση (με αέρα, κενό) (Chandra & Kumari, 2015). Ο συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων με την ωσμωτική αφυδάτωση έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας (Torreggiani, 1995) και διατηρησιμότητας του επεξεργαζόμενου τροφίμου (Torreggiani & Bertolo, 2001).

Η έρευνα για την ωσμωτική αφυδάτωση έχει την αφετηρία της το 1966 με πρωτοστάτη το James D. Ronting ενώ κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν πραγματοποιηθεί πληθώρα δημοσιεύσεων. Το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί σε αρκετές διαφορετικές πτυχές της ωσμωτικής διεργασίας. Η πλειονότητα των ερευνών αφορά στην ταχύτερη και αποτελεσματικότερη απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο με τροποποιήσεις επί των παραγόντων που επηρεάζουν την διεργασία όπως η υψηλή συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος και ανάδευση. Άλλες έρευνες έχουν εστιάσει στην ελαχιστοποίηση πρόσληψης στερεών υλικών από το προϊόν καθώς ενδέχεται να μεταβάλει αισθητά τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά, προκαλώντας για παράδειγμα απώλεια βιταμινών και ανόργανων αλάτων. Για τον περιορισμό της πρόσληψης διαλυμένης ουσίας από το προϊόν έχουν γίνει προσπάθειες μέσω της χρήσης βρώσιμου υλικού επικάλυψης (Phisut, 2012).

Η επεξεργασία προϊόντων μέσω ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει εφαρμοστεί σε διάφορα προϊόντα φυτικής προέλευσης όπως μήλο, βερίκοκο, μπανάνα, καρότο, κεράσι, εσπεριδοειδή, σταφύλια, γκουάβα, παπάγια, μάνγκο, πατάτα, μανιτάρια και σε μικρότερο βαθμό σε προϊόντα αλιείας και κρέας. Το είδος του ωσμωτικού μέσου διαφέρει ανάλογα με το είδος του επεξεργαζόμενου τροφίμου. Για την ωσμωτική αφυδάτωση των φρούτων έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κύριο λόγο πυκνά διαλύματα σακχάρων χαμηλού μοριακού βάρους (σουκρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτόζη, λακτόζη ή μίγματα αυτών) ή αμυλώδη διαλύματα. Αντίστοιχα για τα λαχανικά έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως το χλωριούχο νάτριο (NaCl), ενώ υπάρχουν αναφορές που

αποδεικνύουν ότι ο συνδυασμός αλάτων και σακχάρων (tertiary solutions) συνίσταται για την ωσμωτική αφυδάτωση λαχανικών. Σε άλλες περιπτώσεις έχει επιλεγεί ποσότητα άλατος (NaCl, CaCl₂) όπως και η προσθήκη ασκορβικού, γαλακτικού και κιτρικού οξέος, πηκτινομεθυλεστεράσης κ.α. (Δερμεσονλούογλου, 2008).

Εν κατακλείδι, η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ήπια θερμική μέθοδος επεξεργασίας με χαμηλό ενεργειακό κόστος καθώς δεν περιλαμβάνει αλλαγή φάσης και απαιτείται θερμοκρασία μικρότερη των 50 °C. Είναι απλή και οικονομική καθώς δεν απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό ενώ το γεγονός ότι το τρόφιμο βυθίζεται στο διάλυμα, με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα απουσία οξυγόνου, προφυλάσσει από ενζυμικούς και οξειδωτικούς αποχρωματισμούς (δεν απαιτείται η χρήση μέσων για τη διατήρηση του χρώματος). Επιπροσθέτως, η ελάττωση του βάρους του προϊόντος επιφέρει σημαντική μείωση του κόστους συσκευασίας, μεταφοράς και αποθήκευσης των αφυδατωμένων τροφίμων. Όλα οι παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με την διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, τον επιλεκτικό εμπλουτισμό με επιθυμητά συστατικά και τη μείωση του κινδύνου μικροβιακής αλλοίωσης λόγω της ελαττωμένης ενεργότητας ύδατος καθιστούν την ωσμωτική αφυδάτωση ως μια ιδιαίτερα ελκυστική μέθοδο επεξεργασίας εν συγκρίσει με τις συμβατικές μεθόδους (Petrotos & Lazarides, 2001).

3.2 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης

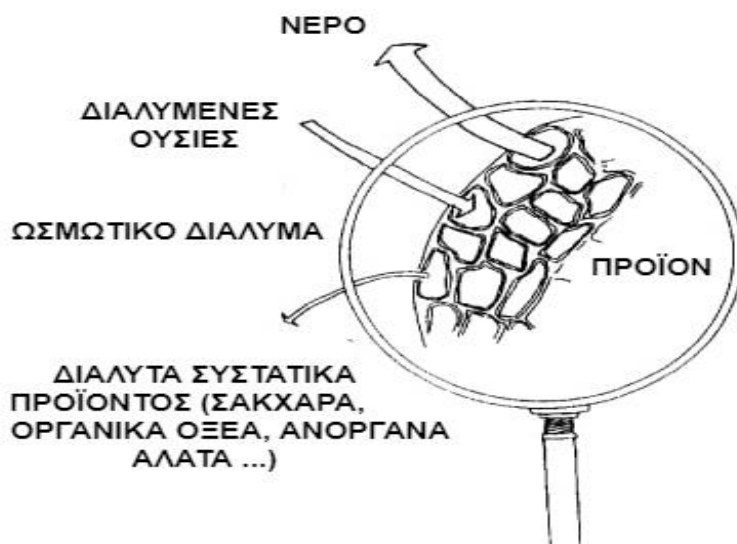
Όπως έχει ήδη αναφερθεί το φαινόμενο της ωσμωτικής αφυδάτωσης αφορά στην μερική απομάκρυνση της περιεχόμενης υγρασίας ενός τροφίμου μέσω της εμβάπτισής του σε ένα διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης άλατος ή/και σακχάρων λόγω της διαφοράς του δυναμικού συγκέντρωσης μεταξύ του ενδοκυτταρικού υγρού και του ωσμωτικού διαλύματος. Γενικά, είναι μια αργή διαδικασία, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης και την δομή των κυττάρων (Tourin et al., 1989). Η ημιπερατή φύση των φυτικών ιστών και το χαμηλό μοριακό βάρος των μορίων του νερού επιτρέπουν την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο και τη μεταφορά στερεών προς αυτό που σημαίνει ότι η ωσμωτική αφυδάτωση είναι στην πραγματικότητα ένας συνδυασμός ταυτόχρονης διάχυσης νερού και διαλυμένης ουσίας. Η διεργασία ολοκληρώνεται με τη μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία των επεξεργαζόμενων προϊόντων έως και 50% κατά βάρος με το πέρασμα του χρόνου μέχρι

να επιτευχθεί η κατάσταση ισορροπίας (η συγκέντρωση των μορίων του νερού να είναι η ίδια και στις δύο πλευρές).

Συγκεντρωτικά, κατά τη διάρκεια του φαινομένου παρατηρούνται τρεις διαφορετικοί τύποι μεταφοράς μάζας:

- σημαντική εκροή νερού από το προϊόν στο διάλυμα, αραιώνοντας το
- εισροή ωσμωτικού διαλύματος και κατά συνέπεια διαλυμένων ουσιών στα κύτταρα του προϊόντος. Είναι επομένως δυνατή η εισαγωγή μιας επιθυμητής ποσότητας δραστικού συστατικού, συντηρητικού παράγοντα, οποιασδήποτε διαλυμένης ουσίας θρεπτικού ενδιαφέροντος ή βελτιωτικού της αισθητικής ποιότητας στο προϊόν (Raoult-Wack, 1994)
- διαρροή διαλυτών συστατικών του τροφίμου όπως σάκχαρα, οργανικά οξέα και ανόργανα άλατα προς το υδατικό διάλυμα

Η ροή των διαλυτών στερεών θεωρείται ποσοτικά αμελητέα σε σχέση με τις δύο πρώτες μεταφορές μάζας, ωστόσο, δύναται να επιφέρει αισθητές μεταβολές στα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου (Phisut, 2012; Tortoe, 2010).



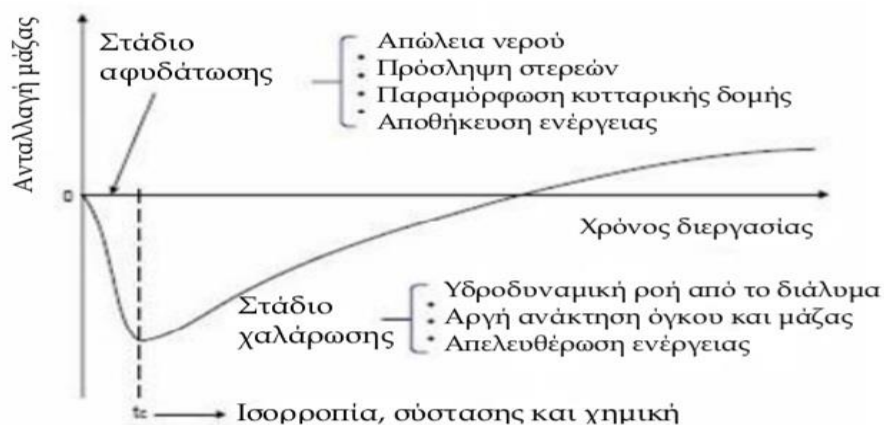
Εικόνα 6: Φαινόμενα μαζικής μεταφοράς κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Torreggiani, 1993).

Συγκεκριμένα, κατά την εμβάπτιση ενός τροφίμου σε ένα υπερτονικό διάλυμα τα πρώτα κύτταρα που έρχονται σε επαφή με το ωσμωτικό μέσο είναι εκείνα της εξωτερικής (πρώτης) στοιβάδας. Λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ του ωσμωτικού

μέσου και του ενδοκυτταρικού υγρού τα εξωτερικά κύτταρα χάνουν την περιεχόμενη υγρασία τους και συρρικνώνονται ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται διαφορά πίεσης μεταξύ των κυττάρων της πρώτης και της δεύτερης στοιβάδας. Τα κύτταρα της πρώτης στοιβάδας αντλούν νερό από τα κύτταρα της δεύτερης οδηγώντας τα σε συρρίκνωση. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο διάχυσης του νερού από το εσωτερικό του κυττάρου προς τα έξω καθώς το φαινόμενο μετατοπίζεται προς το κέντρο του κυττάρου σε συνάρτηση με το χρόνο έως ότου επιτευχθεί ισορροπία (Phisut, 2012). Η απομάκρυνση του νερού από το προϊόν στο ωσμωτικό διάλυμα λαμβάνει χώρα μέσω τριχοειδούς ροής και διάχυσης ενώ η πρόσληψη διαλυμένων ουσιών από το προϊόν και η διαρροή των διαλυτών στερεών του προϊόντος μόνο μέσω διάχυσης.

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διεργασία που διαρκεί αρκετές ώρες με μεγαλύτερους ρυθμούς απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών συστατικών να καταγράφονται κατά την αρχή της διαδικασίας. Η απομάκρυνση του νερού μπορεί να χωριστεί σε δύο διακριτές χρονικές περιόδους, στην αρχική περίοδο που διαρκεί περίπου 2 ώρες (για συνήθη τρόφιμα) και παρατηρείται ο μέγιστος βαθμός απώλειας νερού και σε μια επόμενη περίοδο που κυμαίνεται από 2 έως 6 ώρες και χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο βαθμό απομάκρυνσης νερού και σταθερά αυξανόμενη πρόσληψη στερεών (Δερμεσονλούογλου, 2008).

Εκτεταμένη ώσμωση (>6ώρες) έχει ως αποτέλεσμα το προϊόν να προσλαμβάνει μεγάλες ποσότητες στερεών συστατικών και να ανακτά βάρος (Raoult-Wack, 1994). Ο χρόνος πρόσληψης διαλυμένων ουσιών είναι σκόπιμο να περιορίζεται καθώς από ένα χρονικό σημείο και έπειτα ενδέχεται να επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Fathi et al., 2011)



Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενός τροφίμου (Δερμεσονλούογλου, 2008).

Ως πρώτο βήμα σε όλες τις μαθηματικές προσεγγίσεις της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί η ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων της μέσω της απώλειας νερού (WL, Water Loss) και της πρόσληψης στερεών (SG, Solid Gain) με τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o}$$

$$SG = \frac{m - m_o}{m_o}$$

όπου WL: απώλεια υγρασίας

SG: πρόσληψη στερεών συστατικών

M_o: αρχικό βάρος τροφίμου πριν την ώσμωση

m_o: αρχικό ξηρό βάρος τροφίμου

M: βάρος τροφίμου μετά τη διεργασία ώσμωσης

m: τελικό ξηρό βάρος τροφίμου

Για την περιγραφή της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχουν χρησιμοποιηθεί μαθηματικά μοντέλα που βασίζονται σε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, τη μικροσκοπική και τη μακροσκοπική θεώρηση. Κατά τη μακροσκοπική θεώρηση γίνεται η παραδοχή ότι ο ιστός του τροφίμου είναι ομοιογενής και το φαινόμενο προσδιορίζεται μέσα από μακροσκοπικές-φαινομενολογικές σχέσεις που εκφράζουν μακροσκοπικά μεγέθη όπως η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών. Αντίθετα κατά την μικροσκοπική θεώρηση λαμβάνονται υπόψη οι μηχανισμοί που παρατηρούνται σε κυτταρικό επίπεδο (Δερμεσονλούογλου, 2008). Είναι μια προσέγγιση αρκετά περίπλοκη αλλά προσδιορίζει το φαινόμενο με μεγαλύτερη ακρίβεια (Yao & Le Maguer, 1996). Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας της δεύτερης προσέγγισης, πιο διαδεδομένη μέθοδος προσέγγισης αποτελεί η μακροσκοπική που βασίζεται στον 2^ο νόμο διάχυσης του Fick που περιγράφει τη διάχυση σε μη μόνιμη κατάσταση.

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση

3.3.1 Γενικά

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια αργή διεργασία που στοχεύει στην ενίσχυση της μεταφοράς μάζας χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η ποιότητα των προϊόντων. Τεχνικές προ-επεξεργασίας όπως το ζεμάτισμα, η υψηλή πίεση, η ψύξη, το υψηλής έντασης παλμικό ηλεκτρικό πεδίο (pulsed electric fields), και η λειτουργία υπερήχων έχουν αναφερθεί ότι ενισχύουν τη μεταφορά μάζας (Bchir et al., 2011). Αντίθετα, ανασταλτικός παράγοντας φαίνεται να αποτελεί η πρόσληψη διαλυμένων ουσιών. Οι στερεές ουσίες έχουν την τάση να συσσωρεύονται στα επιφανειακά στρώματα του προϊόντος εμποδίζοντας την περαιτέρω μεταφορά μορίων νερού και επιφέροντας κατά συνέπεια μειωμένο ρυθμό αφυδάτωσης (Lazarides et al., 1995; Matuska et al., 2006).

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες υπεύθυνοι για το αποτέλεσμα της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τους κυριότερους να παρουσιάζονται ακολούθως :

- χαρακτηριστικά προϊόντος (σχήμα, μέγεθος, ποικιλία, δομή, επίπεδο ωριμότητας)
- χαρακτηριστικά ωσμωτικού μέσου (σύνθεση και συγκέντρωση)
- παράμετροι διεργασίας (αναλογία προϊόντος προς διάλυμα, πίεση, επιφάνεια επαφής, χρόνος, θερμοκρασία, ανάδευση)
- άλλες παράμετροι (προ-επεξεργασία ή εφαρμογή άλλων τεχνολογιών ταυτόχρονα με την ωσμωτική αφυδάτωση όπως υπέρηχοι, υψηλής έντασης παλμικό ηλεκτρικό πεδίο)

3.3.2 Χαρακτηριστικά προϊόντος

- **Είδος**

Οι διαφορετικές ποικιλίες, το επίπεδο ωριμότητας, ακόμη και η διακύμανση μεταξύ των ίδιων ειδών έχουν βρεθεί ότι προκαλούν ουσιαστικά διαφορετική απόκριση στην ωσμωτική αφυδάτωση καθώς επηρεάζουν τη δομή της κυτταρικής μεμβράνης, την περιεκτικότητα σε διαλυτά συστατικά, τη συνεκτικότητα των ιστών και τον παγιδευμένο αέρα, επιδρώντας στη ροή του νερού και της διαλυμένης ουσίας (Tortoe, 2010). Οι διαφορές επίσης στη χημική σύνθεση (πρωτεΐνες, λίπος, υδατάνθρακες, μέταλλα κ.λπ.) και οι φυσικές ιδιότητες (προσανατολισμός των ινών και πορώδες) επηρεάζουν την

κινητική της μεταφοράς μάζας στα τρόφιμα. Οι Mavroudis et al., (1998) εξετάζοντας διαφορετικούς ιστούς ίδιας ποικιλίας μήλων παρατήρησαν διαφορετικό ποσοστό πρόσληψης ουσιών και απώλειας υγρασίας σε ίδιες συνθήκες ώσμωσης. Ο εσωτερικός παρεγχυματικός ιστός βρέθηκε ότι εμφανίζει υψηλότερο ποσοστό πρόσληψης στερεών και μικρότερη απώλεια υγρασίας συγκριτικά με τον εξωτερικό παρεγχυματικό ιστό μήλου (ποικιλία Granny Smith). Επιπλέον, τα πορώδη τμήματα και η διασύνδεση δύο ειδών ιστού παρουσίασαν διακύμανση στη μεταφορά μάζας, κυρίως λόγω των διαφορετικών μηχανισμών μεταφοράς. Γενικότερα, η διακύμανση στην πρόσληψη διαλυμένων ουσιών και στην απομάκρυνση της υγρασίας σχετίζεται με την αρχική περιεκτικότητα σε διαλυτά και αδιάλυτα στερεά, το πορώδες, την ενζυμική δραστηριότητα, τους διακυτταρικούς χώρους, το λόγο πρωτοπηκτινών προς διαλυτές πηκτικές ουσίες και τη δομή της κυτταρικής μεμβράνης (Mavroudis et al., 1998; Lenart & Flink, 1984; Giangiacomo et al., 1987).

- **Μορφολογία**

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας επηρεάζεται επίσης από το μέγεθος και το σχήμα του προϊόντος (Tortoe, 2010). Οι Lerici et al. (1985) μελετώντας κομμάτια μήλου και συγκρίνοντας 4 διαφορετικά σχήματα (φέτα, ραβδί, δακτύλιος, κύβος αντίστοιχα) οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η πρόσληψη των στερεών και η απώλεια νερού αυξάνονται με την αύξηση της ειδικής επιφάνειας (σχήμα δακτυλίου) δηλαδή της αναλογίας επιφάνειας (A) προς το ήμισυ του πάχους (L). Ωστόσο, η υπέρβαση αυτού του ορίου A/L όπως σε δείγματα υψηλότερης ειδικής επιφάνειας (όπως οι κύβοι) συνέβαλαν στην αύξηση της πρόσληψης του σακχάρου δυσχεραίνοντας την απώλεια νερού με αποτέλεσμα χαμηλότερη μείωση βάρους. Σε αντίστοιχο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Panagiotou, Karathanos και Maroulis (1998) καθώς βρήκαν ότι το μέγεθος των φρούτων (μελέτη μήλου, μπανάνας, ακτινιδίου) είχε αρνητική επίδραση στην απώλεια υγρασίας. Επίσης βρέθηκε ότι ο συντελεστής κατανομής της υγρασίας μειώνεται με την αύξηση της επιφάνειας ενώ παρουσιάζει αυξητική τάση με την αύξηση του πάχους της ελάχιστης γεωμετρικής διάστασης του δείγματος (Sablani & Rahman, 2003). Ένα μέγεθος δείγματος 3-10mm σχήματος ορθογωνίου, κύβου ή δακτυλίου θεωρήθηκε ιδανικό για χρήση στη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οι Islam και Flink (1982) ανέφεραν ότι το μέγεθος και το σχήμα του προϊόντος τροφίμου καθορίζει την τελική συγκέντρωση του σε

στερεά, όταν πρόκειται για μικρούς χρόνους ώσμωσης, όπου και η αφυδάτωση οφείλεται κατά κύριο λόγο στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια. Συμπερασματικά, δείγματα με μεγάλη ειδική επιφάνεια παρουσιάζουν μεγαλύτερη απώλεια νερού και προσλαμβάνουν μεγαλύτερα ποσοστά σακχάρων συγκρινόμενα με δείγματα μικρότερης ειδικής επιφάνειας.

3.3.3 Τύπος και συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος

Ο τύπος του ωσμωτικού διαλύματος αποτελεί παράμετρο μείζονος σημασίας για τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης καθώς δρα ως κινητήριος δύναμη για τις ταυτόχρονες αντίθετες ροές διαλυμένης ουσίας και νερού (λόγω της διαφοράς δυναμικού του με το υπό επεξεργασία τρόφιμο). Επιπλέον επηρεάζει σημαντικά τις φυσικές και αισθητηριακές ιδιότητες του τελικού προϊόντος και για αυτό το λόγο πρέπει να εξετάζεται η συμβατότητα του με τα συστατικά του τροφίμου (Tortoe, 2010). Ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος συνίσταται η επιλογή του κατάλληλου ωσμωτικού μέσου. Εάν το υπό επεξεργασία προϊόν είναι φρούτο επιλέγεται συνήθως ωσμωτικό διάλυμα με κάποιο σάκχαρο ενώ αν είναι λαχανικό και δεν επιθυμούμε να του προσδώσουμε γλυκιά γεύση προτιμάται το χλωριούχο νάτριο. Επιπλέον, ένας ωσμωτικός παράγοντας με χαμηλό μοριακό βάρος μπορεί να διεισδύσει στα κύτταρα φρούτων και λαχανικών ευκολότερα εν συγκρίσει με ένα ωσμωτικό παράγοντα υψηλού μοριακού βάρους (Phisut, 2012). Επομένως, ο εμπλουτισμός των τροφίμων συνίσταται να γίνεται με ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους ενώ για να πετύχουμε μεγαλύτερη εκροή νερού απαιτούνται ουσίες υψηλού μοριακού βάρους. Για το λόγο αυτό προτιμάται μίγμα δύο ή περισσότερων διαλυμένων ουσιών (Raoult-Wack, 1994). Εκτός από το μοριακό βάρος, η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζεται από το pH του διαλύματος με τις ενδιάμεσες τιμές (3-6) να ενισχύουν τη διατήρηση της υφής του τροφίμου (Tortoe, 2010). Τα ωσμωτικά διαλύματα μπορεί να είναι ιοντικά και μη ιοντικά. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες ιοντικές ενώσεις είναι το χλωριούχο νάτριο (NaCl) και τα άλατα ασβεστίου (π.χ. CaCl₂), που χρησιμοποιούνται κυρίως σε λαχανικά και κονδύλους. Οι μη ιοντικές πολικές ουσίες, όπως η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η φρουκτόζη και οι γλυκαντικές ουσίες όπως οι γλυκοζίτες στεβιόλης, έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στα φρούτα και σε ορισμένα λαχανικά (Muniz-Becera et al., 2017). Οι Yadav and Singh (2014) και Ahmed et al. (2016) αναφέρουν

συγκεντρωτικά για τους κυριότερους ωσμωτικούς παράγοντες τα παρακάτω:

- **Σακχαρόζη**

Το διάλυμα σακχαρόζης μειώνει την ανεπιθύμητη αμαύρωση εμποδίζοντας την είσοδο οξυγόνου, παρέχει σταθερότητα στις χρωστικές και συμβάλει στη διατήρηση των πτητικών ενώσεων κατά τη ξήρανση ωσμωτικά επεξεργασμένων υλικών. Αποδείχτηκε το καλύτερο ωσμωτικό μέσο όσον αφορά στην ευκολία, ταχύτητα, αποτελεσματικότητα και γεύση. Έχει την τάση να κρυσταλλώνεται κατά την ξήρανση ενώ η γλυκιά γεύση που προσδίδει στο προϊόν αποκλείει τη χρήση της στην επεξεργασία λαχανικών.

- **Σιρόπι καλαμποκιού**

Το δείγμα που εμβαπτίστηκε σε διάλυμα με σιρόπι καλαμποκιού παρουσίασε χαμηλότερες τιμές πρόσληψης ουσιών και απώλειας νερού σε σχέση με εκείνες που ελήφθησαν από δείγμα σε διάλυμα σακχαρόζης. Αυτό οφείλεται στο υψηλότερο ιξώδες και μοριακό βάρος του σιροπιού καλαμποκιού από τη σακχαρόζη που δεν του επιτρέπει να εισέλθει το ίδιο εύκολα στα κύτταρα του δείγματος.

- **Άλας**

Η εφαρμογή του στο ωσμωτικό διάλυμα αφορά κυρίως στην επεξεργασία λαχανικών καθώς εμποδίζει το οξειδωτικό και μη ενζυμικό μαύρισμα. Ως ωσμωτικός παράγοντας, παρέχει την κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά μάζας και εμποδίζει τη συρρίκνωση της επιφάνειας. Η χρήση του είναι περιορισμένη στην αφυδάτωση φρούτων λόγω της αλμυρής του γεύσης.

- **Φρουκτο-ολισακχαρίτες**

Η ωσμωτική συμπεριφορά του φρουκτο-ολισακχαρίτη διαφέρει από εκείνη της σακχαρόζης. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο υψηλότερο μοριακό του βάρος που κατ' επέκταση οδηγεί σε χαμηλότερο ρυθμό διάχυσης.

- **Μαλτόζη**

Τα διαλύματα μαλτόζης οδήγησαν σε υψηλότερη απώλεια νερού αλλά χαμηλότερη πρόσληψη σακχάρου κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε σχέση με τη σακχαρόζη.

- **Μέλι**

Το μέλι χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα για την ενίσχυση της διαδικασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τα σάκχαρα του μελιού αποτελούνται από φρουκτόζη, γλυκόζη, μαλτόζη,

σακχαρόζη και άλλους υδατάνθρακες. Σε σχέση με τα διαλύματα απλών σακχάρων, το διάλυμα μελιού έχει υψηλή ωσμωτική πίεση, επιτρέποντας την ταχεία διάχυση του νερού. Παρέχει επίσης ένα καλύτερο πλαστικοποιητικό αποτέλεσμα έτσι ώστε το επεξεργασμένο φυτικό υλικό να έχει μια μη εύθραστη υφή και καλύτερες ιδιότητες επανενυδάτωσης.

- **Μαλτοδεξτρίνη**

Είναι λιγότερο αποτελεσματική από την σακχαρόζη στην ίδια συγκέντρωση. Αν και η μαλτοδεξτρίνη έχει υψηλότερο μοριακό βάρος, μπορεί να απορροφηθεί εξίσου καλά με τη γλυκόζη. Η υψηλή πρόσληψη διαλυμένης ουσίας αποδίδεται στο χαρακτηριστικό της υψηλής απορρόφησής της.

- **Αιθανόλη**

Η εφαρμογή αιθανόλης ως ωσμωτικού παράγοντα ελαττώνει το ιξώδες και το σημείο πήξης του ωσμωτικού διαλύματος στις διεργασίες ψύξης και κατάψυξης. Επιπλέον, βρέθηκε ότι μειώνει την ενεργότητα ύδατος και ενισχύει τη σταθερότητα αποθήκευσης του τροφίμου.

- **Σιρόπι καλαμποκιού υψηλής φρουκτόζης (HFCS)**

Η ωσμωτική αφυδάτωση των cranberries με τη χρήση HFCS επέφερε μέγιστη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών σε σχέση με τη σακχαρόζη. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη κινητικότητα των διαλυμάτων HFCS που έχουν υψηλό ιξώδες. Η γλυκύτητά της είναι σχεδόν ανάλογη της ζάχαρης, γεγονός που καθιστά δυνατή τη χρήση της ως υποκατάστατο της ζάχαρης κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

- **Σιρόπι από σφενδάμο**

Διάλυμα με περιεκτικότητα σε 30%-40% σιροπιού σφενδάμου οδηγεί σε καλύτερη διατήρηση του χρώματος, χαρακτηριστικά υφής και μειωμένη ενεργότητα νερού σε αποξηραμένες φέτες μήλου σε σχέση με άλλα ωσμωτικά μέσα.

- **Χλωριούχο ασβέστιο**

Η χρήση χλωριούχου ασβεστίου αυξάνει τη σταθερότητα και τη συνεκτικότητα κομματιών μήλου ενώ διατηρεί την υφή τους κατά την αποθήκευση. Λειτουργεί συνεργιστικά με ασκορβικό οξύ ή διοξείδιο του θείου καθώς αποτρέπει την αμαύρωση.

- **Ιμβερτοποιημένη ζάχαρη**

Θεωρείται πιο αποτελεσματική από τη σακχαρόζη στην ίδια συγκέντρωση γιατί όταν

μυβερτοποιηθεί πλήρως έχει διπλάσια μόρια ανά μονάδα όγκου. Πρακτικά εμφανίζει μικρή διαφορά στο ρυθμό ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η χρήση άλατος ως συμπληρωματικό ωσμωτικό μέσο. Ενώ τα σάκχαρα έχουν την τάση να συσσωρεύονται στα επιφανειακά στρώματα του δείγματος παρεμποδίζοντας παράλληλα την μεταφορά μάζας, τα άλατα έχει αποδειχθεί ότι διεισδύουν σε μεγαλύτερο βάθος. Επομένως η χρήση αλάτων στο υπερτονικό διάλυμα σακχάρων αποτρέπει τη δημιουργία συμπαγούς επιφανειακού στρώματος επιτρέποντας μεγαλύτερους ρυθμούς απώλειας νερού και πρόσληψης ουσιών (Lenart & Flink, 1984).

Συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος

Η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου επηρεάζει επίσης την μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Phisut, 2012). Αναφέρεται ότι μια αύξηση στη συγκέντρωση ενός ωσμωτικού διαλύματος οδηγεί σε μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας νερού μέχρι να επιτευχθεί το επίπεδο ισορροπίας (Tortoe, 2010). Η διαφορά στο ωσμωτικό δυναμικό μεταξύ του διαλύματος και του προϊόντος οδήγησε σε υψηλότερο ρυθμό εκροής νερού και εισροής διαλυμένων ουσιών. Λιγότερο συμπυκνωμένο διάλυμα σακχαρόζης επιφέρει ελάχιστη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών. Αντίστοιχες έρευνες με δείγματα φέτες καρπουζιού (Falade et al., 2007) και βερίκοκα (Ispir & Togrul, 2009) δείχνουν επίσης μεγαλύτερους ρυθμούς διάχυσης νερού και πρόσληψης ουσιών σε υψηλότερες συγκεντρώσεις σακχαρόζης σε σχέση με χαμηλότερες.

Ωστόσο, ορισμένες μελέτες αναφέρουν ότι η υψηλή συγκέντρωση ωσμωτικού παράγοντα μπορεί να μην ενισχύει πάντα την πρόσληψη στερεών. Οι Giraldo et al. (2003) μελέτησαν τη μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μάνγκο χρησιμοποιώντας σακχαρόζη στους 35° Brix, 45° Brix, 55° Brix και 65° Brix. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ρυθμός μεταφοράς μάζας νερού αυξήθηκε μέχρι τους 45° Brix ενώ δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη επίδραση μεταξύ 55° Brix και 65° Brix. Η μειωμένη μεταφορά μάζας αποδόθηκε στην σκληρότερη υφή του δείγματος. Όταν το ωσμωτικό διάλυμα είναι πιο συμπυκνωμένο, η εξωτερική διείσδυση υγρού περιορίζεται από το υψηλότερο ιξώδες. Επιπλέον, η ακαμψία των εξωτερικών στρωμάτων του δείγματος αυξάνεται πιο γρήγορα λόγω της ταχύτερης αφυδάτωσής τους.

Όσον αφορά στην οικονομική πτυχή, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του διαλύματος, τόσο υψηλότερο είναι το ιξώδες του, μια ιδιότητα που επηρεάζει τις απαιτήσεις σε ισχύ ανάδευσης. Αντίστοιχα, από πρακτικής απόψεως, τα συμπυκνωμένα διαλύματα ζάχαρης μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα όπως η επίπλευση των δειγμάτων στην επιφάνεια του διαλύματος. Αυτό παρεμποδίζει την επαφή του δείγματος με το διάλυμα μειώνοντας εντέλει τον ρυθμό μεταφοράς μάζας (Phisut, 2012). Επομένως είναι αναγκαία η εύρεση της ιδανικής συγκέντρωσης για κάθε διάλυμα και δείγμα ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη μαζική μεταφορά.

3.3.4 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί σημαντική παράμετρο στη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης καθώς το φαινόμενο της διάχυσης επηρεάζεται από αυτή. Κατά τη βύθιση δειγμάτων σε διάλυμα υψηλής θερμοκρασίας παρατηρείται ταχύτερη διάχυση νερού μέσω διόγκωσης και πλαστικοποίησης των κυτταρικών μεμβρανών, ταχύτερη διάχυση του νερού στο εσωτερικό του προϊόντος και υψηλότερος βαθμός μεταφοράς νερού στην επιφάνεια λόγω του χαμηλότερου ιξώδους του ωσμωτικού μέσου. Ωστόσο, η επίδραση φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στην απώλεια νερού από ότι στην πρόσληψη στερεών (Tortoe, 2010). Επιπλέον, σε πορώδη δείγματα η υψηλή θερμοκρασία απελευθερώνει τον παγιδευμένο αέρα από τον ιστό με αποτέλεσμα την πιο αποτελεσματική απομάκρυνση του νερού λόγω ωσμωτικής πίεσης (Phisut, 2012). Θερμοκρασίες διεργασίας φρούτων και λαχανικών μεταξύ 30 °C και 60 °C βρέθηκε ότι συμβάλουν σε μέγιστη απώλεια νερού, χωρίς εμφανή επίδραση στην πρόσληψη στερεών ενώ θερμοκρασίες άνω των 60 °C ενδέχεται να ναι καταστροφικές για τους φυτικούς ιστούς (Ahmed, 2016). Οι Ponting et al. (1966) κάνουν αναφορά για ενζυμική αμαύρωση και αλλοίωση της γεύσης σε θερμοκρασίες άνω των 49 °C. Εντούτοις, άλλες έρευνες αναφέρουν σημαντική αύξηση της πρόσληψης στερεών σε θερμοκρασίες άνω των 60 °C, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στην τροποποίηση του ιστού ευνοώντας τα φαινόμενα εμπλουτισμού.

3.3.5 Αναλογία δείγματος προς διάλυμα

Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα αποτελεί μια σημαντική παράμετρο κατά την ωσμωτική επεξεργασία φρούτων και λαχανικών καθώς επηρεάζει την κινητική μεταφοράς μάζας. Πολλοί ερευνητές εξέτασαν την επίδραση διαφορετικών αναλογιών δείγματος προς διάλυμα (1:1 έως 1:5) στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Επίσης χρησιμοποίησαν αναλογίες δείγματος προς διαλύματος 1:10 - 1:60 ώστε να αποτρέψουν την αραίωση του ωσμωτικού μέσου που μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα της εκτεταμένης εισροής νερού προς το διάλυμα και της εκροής στερεών ουσιών από το διάλυμα στο δείγμα. Η αραίωση είναι ανεπιθύμητη καθώς οδηγεί σε μείωση της ωσμωτικής πίεσης που αποτελεί την κινητήριο δύναμη της ωσμωτικής διεργασίας (Tortoe, 2010). Ωστόσο, οι μεγαλύτερες αναλογίες παρουσιάζουν πρακτικές δυσκολίες στο χειρισμό του μείγματος ωσμωτικού διαλύματος-φρούτου για επεξεργασία καθώς αναφέρεται δυσκολία στην αποστράγγιση του σιροπιού από τα φρούτα επειδή υπήρχε κάποια ποσότητα ζάχαρης που παρέμενε αδιάλυτη. Επομένως, για πρακτικούς σκοπούς, η αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:2 ή 1:3 θεωρείται συνήθως η καλύτερη.

3.3.6 Χρόνος διεργασίας

Η αύξηση του χρόνου εμβάπτισης οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια νερού κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Ispir & Togruil, 2009). Μελέτες σχετικά με την επίδραση του χρόνου στην ωσμωτική διεργασία έδειξαν ότι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας συνέβησαν με ταχύτερο ρυθμό κατά την 1 πρώτη ώρα ενώ ακολούθησε μείωση του ρυθμού αφυδάτωσης κατά τις επόμενες ώρες επεξεργασίας. Κατά μέσο όρο, η απώλεια υγρασίας μειώνεται στο 20% του αρχικού ρυθμού μέσα σε 1 ώρα και σε 10% το ρυθμού μέσα σε 3 ώρες. Ανάλογη πτωτική τάση παρουσιάζει και ο ρυθμός πρόσληψης διαλυμένων ουσιών με τα ποσοστά να κυμαίνονται σε πτώση 25%-15% του αρχικού ρυθμού κατά την 1η και μέχρι την 3η ώρα αντίστοιχα (Ramaswamy, 2005). Αυτό αποδίδεται στη σταδιακή μείωση της διαφοράς της ωσμωτικής πίεσης έως ότου το σύστημα φτάσει σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Παρατεταμένη ωσμωτική αφυδάτωση (>3h) φαίνεται να προκαλεί λύση κυττάρων ή σχηματισμό νέων μεσοκυττάρων διαστημάτων (Ade-Omowaye et al., 2003) ενώ >6h το δείγμα ανακτά

βάρος και προσλαμβάνει μεγάλες ποσότητες στερεών συστατικών από το ωσμωτικό μέσο (Raoult-Wack, 1994) επηρεάζοντας αρνητικά τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά (Fathi et al., 2011). Ωστόσο, πιο κρίσιμη θεωρείται η αρχική χρονική περίοδος καθώς τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας είναι ταχύτατα και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην περαιτέρω εξέλιξη της ωσμωτικής διαδικασίας (Tortue, 2010).

3.3.7 Ανάδευση ωσμωτικού διαλύματος

Η ανάδευση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης ενισχύει το ρυθμό μεταφοράς μάζας εξαιτίας της μειωμένης αντίστασης στην επιφάνεια. Η χρήση διαλυμάτων ζάχαρης με υψηλή συγκέντρωση προκαλεί μεγάλα προβλήματα όπως η επίπλευση των τεμαχίων του τροφίμου, παρεμπόδιση της επαφής μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος, ελαττώνοντας το ρυθμό μεταφοράς μάζας (El Aouar et al., 2006). Η ανάδευση του διαλύματος κατά τη διάρκεια της διεργασίας βρέθηκε ότι περιορίζει το παραπάνω φαινόμενο ενισχύοντας το ρυθμό μεταφοράς μάζας (Phisut, 2012). Οι Moreira et al. (2007) εξέτασαν το ρυθμό μεταφοράς μάζας αναδευόμενων και μη αναδευόμενων δειγμάτων. Τα αναδευόμενα δείγματα παρουσίασαν μεγαλύτερη απώλεια βάρους σε σχέση με τα αντίστοιχα, μη αναδευόμενα. Η διαδικασία ανάδευσης προάγει την τυρβώδη ροή, η οποία οδηγεί σε υψηλότερο ρυθμό διάχυσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Μεγαλύτερη απώλεια νερού παρατηρήθηκε στην περιοχή της τυρβώδους ροής από τη στρωτή ροή (Moreira et al., 2007; Shi & Xue, 2009). Ως εκ τούτου, η ανάδευση θεωρείται μια καλή συμπληρωματική διαδικασία για τη μεγιστοποίηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο επαφής μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος (Phisut, 2012; Tortoe, 2010).

Από την άλλη πλευρά, η προκαλούμενη από την ανάδευση μείωση του ρυθμού πρόσληψης στερεών για μεγαλύτερες περιόδους ώσμωσης θα μπορούσε να είναι μια έμμεση επίδραση της υψηλότερης απώλειας νερού (λόγω ανάδευσης) που μεταβάλλει τη βαθμίδα συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας εντός του τροφίμου. Δεδομένου ότι η εισροή των διαλυμένων ουσιών στα κύτταρα του τροφίμου είναι αργή, το μεγαλύτερο μέρος της διαλυμένης ουσίας συσσωρεύεται σε ένα λεπτό στρώμα κάτω από την επιφάνεια του τροφίμου (Tortoe, 2010). Οι Lenart και Lewicki (1987) μελετώντας την

κινητική μεταφοράς μάζας λόγω ώσμωσης σε φυτικό ιστό βρήκαν ότι η διείσδυση διαλυμένης ουσίας στο διάλυμα σακχαρόζης έφτανε μόλις σε βάθος περίπου 2-3 mm. Ωστόσο, οι Ponting et al. (1966) αναφέρουν ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ίσως να είναι πιο ωφέλιμο να μην χρησιμοποιείται ανάδευση λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες εξοπλισμού και την καταπόνηση των φυτικών ιστών. Οι Raoult-Wack et al. (1989) παρατήρησαν ότι η ανάδευση ευνοεί την απώλεια νερού, ειδικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (<30°C) κατά τα πρώτα στάδια της ώσμωσης όπου το ιξώδες είναι υψηλό. Ενώ η ανάδευση συντέλεσε σε αύξηση της απώλειας νερού δεν έφερε το ίδιο αποτέλεσμα στην πρόσληψη στερεών, καθώς παρατηρήθηκε μείωση. Ωστόσο, για μικρές περιόδους διεργασίας, η ανάδευση φαίνεται να μην έχει καμία επίδραση στην εισροή διαλυμένων ουσιών στο τρόφιμο σε αντίθεση με μεγαλύτερες περιόδους διεργασίας όπου η ανάδευση φαίνεται να προκαλεί αισθητή μείωση.

3.3.8 Μέθοδοι προκατεργασίας

Η κυτταρική μεμβράνη ασκεί ισχυρή αντίσταση στη μεταφορά μάζας δυσχεραίνοντας την ωσμωτική αφυδάτωση. Για το λόγο αυτό, έχει εξεταστεί ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών με σκοπό τη βελτίωση του ρυθμού μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν ζεμάτισμα, κατάψυξη, υψηλή πίεση, ωμική θέρμανση, παλμικό ηλεκτρικό πεδίο και υπερήχους (Phisut, 2012).

- **Ζεμάτισμα**

Οι Del Valle et al. (1998) μελέτησαν την επίδραση του ζεματίσματος στη μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση του μήλου. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγαλύτερη απώλεια νερού στα επεξεργασμένα δείγματα από τα μη επεξεργασμένα αποδίδοντάς το σε απώλειες υλικού που σχετίζονται με εκτεταμένες βλάβες του κυτταρικού ιστού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ζεματίσματος. Οι Kowalska et al. (2008) μελέτησαν την επίδραση του ζεματίσματος στη μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση της κολοκύθας. Η απώλεια νερού φάνηκε να κυμαίνεται στα ίδια περίπου επίπεδα με τη διαφορά να είναι αισθητή σε αυτή την περίπτωση στην πρόσληψη διαλυμένων ουσιών. Τα δείγματα που είχαν υποστεί ζεμάτισμα εμφάνισαν υψηλότερο ρυθμό εισροής στερεών που σημαίνει ότι το ζεμάτισμα κατέστρεψε τη δομή του ιστού της κολοκύθας, με αποτέλεσμα την προώθηση της πρόσληψης στερεών κατά

την ωσμωτική αφυδάτωση (Phisut, 2012).

- **Ωμική θέρμανση**

Η ωμική θέρμανση φαίνεται να είναι μια ακόμα αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση των διεργασιών μεταφοράς μάζας, καθώς μεταβάλλει την ακεραιότητα του βιολογικού ιστού διαλυτοποιώντας τις πηκτικές ουσίες που αποτελούν το κυτταρικό τοίχωμα και προκαλώντας ηλεκτροδιάτρηση των κυτταρικών μεμβρανών. Επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική μέθοδος για το ζεμάτισμα φρούτων και λαχανικών.

Μελετήθηκε επίσης η επίδραση της ωμικής θέρμανσης ως προ-επεξεργασίας πριν από την ωσμωτική αφυδάτωση στη μεταφορά μάζας φράουλας και μήλου. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλότερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών λόγω της ικανότητας της ωμικής θέρμανσης να τροποποιεί αποτελεσματικά τις κυτταρικές μεμβράνες. Έτσι, ο συνδυασμός της ωμικής θέρμανσης με την ωσμωτική αφυδάτωση καθιστά δυνατή τη λήψη υψηλότερων ρυθμών διάχυσης νερού και ωσμωτικού διαλύματος (Phisut, 2012).

- **Κατάψυξη**

Η κατάψυξη είναι μια άλλη τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος προ-επεξεργασίας πριν από την ωσμωτική αφυδάτωση καθώς έχει αναφερθεί ότι ενισχύει τη μεταφορά μάζας. Οι Lazarides and Mavroudis (1995) ανέφεραν ότι η κατάψυξη δεν ενίσχυσε την απώλεια νερού αλλά είχε ισχυρή θετική επίδραση στην πρόσληψη στερεών. Οι Kowalska et al. (2008) ερεύνησαν την επίδραση της κατάψυξης στην ωσμωτική αφυδάτωση του μήλου και της κολοκύθας αντίστοιχα καταλήγοντας στα ίδια συμπεράσματα.

Από την άλλη, οι Bchir et al. (2011) μελετώντας την επίδραση της μεθόδου στην ωσμωτική αφυδάτωση των σπόρων του ροδιού κατέληξαν ότι παρείχε 1,4 και 3,5 φορές μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, αντίστοιχα, σε σύγκριση με ένα μη επεξεργασμένο δείγμα στην αρχή της διαδικασίας. Κατά συνέπεια, η διαδικασία θα μπορούσε να σταματήσει μετά από 20 λεπτά, επιφέροντας σημαντική εξοικονόμηση χρόνου και θερμικής ενέργειας.

- **Υπερυψηλή πίεση (High Pressure)**

Η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση τροποποιεί τη

δομή του κυτταρικού τοιχώματος όπως και την αρχιτεκτονική των ιστών, καθιστώντας τα κύτταρα πιο διαπερατά. Κατά τη μελέτη τεμαχίων ανανά βρέθηκε ότι συμπίεση και η αποσυμπίεση που λαμβάνουν χώρα κατά την εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (100-700 MPa) προκαλούν σημαντική απώλεια νερού (τετραπλασιάστηκε) και πρόσληψη στερεών (διπλασιάστηκε) λόγω θραύσης του κυτταρικού τοιχώματος. Αντίστοιχα, σε δείγμα πατάτας η αύξηση της πίεσης στα 400 MPa οδήγησε σε μείωση της υγρασίας και αύξηση της πρόσληψης στερεών. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή διάχυσης που παρατηρήθηκε ήταν οκταπλάσια σε σχέση με την τιμή του συντελεστή σε πίεση περιβάλλοντος. Συμπερασματικά, η εφαρμογή κατάλληλων υψηλών επιπέδων πίεσης (100–400 MPa) μπορεί να ενισχύσει τη μεταφοράς μάζας κατά την ενσωμάτωση συστατικών στα τρόφιμα. (Rastogi et al., 2005).

- **Παλμικά ηλεκτρικά πεδία υψηλής έντασης**

Η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων υψηλής έντασης είναι μια άλλη μη θερμική μέθοδος προ-επεξεργασίας που αναφέρθηκε ότι ενισχύει τη μεταφορά μάζας κατά την αφυδάτωση. Η χρήση τους προάγει το σχηματισμό πόρων και το σπάσιμο των κυτταρικών μεμβρανών αυξάνοντας τη διαπερατότητα των τελευταίων (Phisut, 2012). Οι Ade-Omowaye et al. (2002) κατά τη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης πιπεριάς βρήκαν ότι η εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ενισχύει τη μεταφορά μάζας ενώ ο συνδυασμός τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στάδιο προ-επεξεργασίας για την αφυδάτωση σε ρεύμα αέρα, παρέχοντας αποξηραμένα προϊόντα καλύτερης ποιότητας. Η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην κινητική μεταφοράς μάζας έχει μελετηθεί σε δείγματα φράουλας, καρότου αλλά και σε δείγματα μήλου όπου παρατηρήθηκε πιο έντονη επίδραση στην απώλεια νερού συγκριτικά με την πρόσληψη της διαλυμένης ουσίας.

- **Υπέρηχοι**

Η εφαρμογή υπερήχων σε δείγματα τροφίμων εμβαπτισμένων σε ωσμωτικό διάλυμα προκαλεί φαινόμενα σπηλαίωσης. Η σπηλαίωση συνίσταται στο σχηματισμό φυσαλίδων στο υγρό οι οποίες μπορούν να καταρρεύσουν απότομα και να δημιουργήσουν τοπική πίεση. Αυτό το φαινόμενο αυξάνει τη διάχυση και τις ωσμωτικές διεργασίες. Η εφαρμογή υπερήχων μπορεί να προκαλέσει μια σειρά συμπίεσεων και διαστολών, όπως ένα σφουγγάρι συμπιέζεται και αποσυμπιέζεται (φαινόμενο

σφουγγαριού, spongerphenomenon). Επιπλέον, η σπηλαίωση που προκαλείται προωθεί την απομάκρυνση του ισχυρά δεσμευμένου νερού. Η παραμόρφωση πορωδών στερεών υλικών, όπως τα φρούτα, που προκαλείται από τους υπερήχους είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία μικροσκοπικών καναλιών που αυξάνουν τη μεταφορά μάζας στα κύτταρα (De la Fuente-Blanco et al., 2006). Έτσι, η τεχνική των υπερήχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της αρχικής περιεκτικότητας σε νερό ή για την τροποποίηση της δομής του ιστού με τέτοιο τρόπο ώστε να μειωθεί αισθητά ο χρόνος αφυδάτωσης. Το φάσμα εφαρμογής υπερήχων περιλαμβάνει δείγματα ακτινιδίου, λωτού, μήλου, κινέζικου γιαμ κ.α. Η ένταση και η συχνότητα του υπερήχου είναι κρίσιμοι παράγοντες για την ωσμωτική αφυδάτωση. Βασικό πλεονέκτημα της χρήσης υπερήχων είναι ότι η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και δεν απαιτείται θέρμανση, μειώνοντας την πιθανότητα υποβάθμισης των τροφίμων. Έτσι, η ωσμωτική αφυδάτωση με τη χρήση υπερήχων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία διαλύματος για να επιτευχθούν υψηλότεροι ρυθμοί απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών, διατηρώντας παράλληλα τη φυσική γεύση, το χρώμα και τα θερμοευαίσθητα θρεπτικά συστατικά του τροφίμου (Rastogi et al., 2002).

- **Υλικό επικάλυψης**

Η μεγάλη πρόσληψη διαλυμένης ουσίας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης θεωρείται ανεπιθύμητη καθώς ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά τα χαρακτηριστικά του φυσικού προϊόντος (γεύση και θρεπτική αξία) (Matuska et al., 2006). Μία από τις τεχνικές που έχουν εξεταστεί με στόχο τον έλεγχο της μεγάλης πρόσληψης στερεών είναι η επικάλυψη πριν από την ωσμωτική αφυδάτωση με χρήση βρώσιμων υλικών επικάλυψης. Αναφέρεται ότι τα κατάλληλα υλικά επικάλυψης θα μπορούσαν να αναστείλουν αποτελεσματικά την εκτεταμένη πρόσληψη στερεών χωρίς να επηρεάζουν κατά πολύ την απομάκρυνση του νερού. Οι βρώσιμες επικαλύψεις αποτελούνται από ένα έως τέσσερα κύρια υλικά, όπως: λιπίδια, πολυσακχαρίτες, ρητίνες και πρωτεΐνες ενώ ένα μείγμα των παραπάνω σχηματίζει τις νέες σύνθετες βρώσιμες επικαλύψεις, που μπορούν να περιορίσουν τη μετανάστευση λιπιδίων, οξυγόνου, υδρατμών και γεύσης μεταξύ των τροφίμων και του περιβάλλοντος. (Baldwin, 1995; Jalaei et al., 2010). Υδατικά διαλύματα αμύλου πατάτας, αμύλου καλαμποκιού, αλγινικού νατρίου, HM (high-methoxy) και LM (low-methoxy) πηκτίνης, χιτοζάνης, αιθυλοκυτταρίνης,

καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης και μαλτοδεξτρίνης έχουν χρησιμοποιηθεί για την επικάλυψη φρούτων και λαχανικών για τον έλεγχο της πρόσληψης διαλυμένων ουσιών.

Τα υλικά επικάλυψης ενεργώντας ως ένα επιπλέον εμπόδιο μπορούν να επιδράσουν:

- μειώνοντας την εκτεταμένη πρόσληψη διαλυμένης ουσίας
- μειώνοντας τις πιθανές απώλειες επιθυμητών χαρακτηριστικών του τροφίμου (χρώμα, γεύση, θρεπτικά συστατικά)
- συμβάλλοντας στη διατήρηση της ακεραιότητας του τροφίμου κατά την ανάμειξη
- και τους μετέπειτα χειρισμούς (χειρισμός, αποθήκευση, μεταφορά) (Phisut, 2012)

Η εφαρμογή βρώσιμων επικαλύψεων πριν την ωσμωτική αφυδάτωση έχει εφαρμοστεί σε διάφορα δείγματα όπως:

- φράουλες με επικάλυψη πηκτίνης με χαμηλό βαθμό μεθυλίωσης (DE), άμυλου πατάτας και ένα μείγμα αυτών των δύο ουσιών (Ogonek & Lenart, 2001)
- μήλα με διαφορετικά υλικά επικάλυψης όπως χαμηλής περιεκτικότητας σε μεθοξυλοπηκτικό (LMP), καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνη (CMC) και άμυλο αλλά και
- με επικάλυψη μαλτοδεξτρίνης (Jalaei et al., 2011)
- παπάγια με υλικό επικάλυψης χιτοζάνη (Garcia et al., 2010)
- ανανά με επικάλυψη αλγινικού νατρίου (Singh et al., 2010)

Το αποτέλεσμα της επικάλυψης ήταν η μείωση της πρόσληψης διαλυμένων ουσιών με αναπόφευκτη αν και περιορισμένη μείωση απώλειας νερού σε σχέση με τα μη επικαλυμμένα δείγματα. Η συσσώρευση στερεών ουσιών στην επιφάνεια των δειγμάτων σε συνδυασμό με τη χρήση επικαλύψεων δημιουργεί μια «κρούστα» που αποτελεί εμπόδιο στη μεταφορά μάζας, περιορίζοντας το φαινόμενο της ωσμωτικής αφυδάτωσης και κατά συνέπεια τη διείδυση στερεών εντός των κυττάρων των δειγμάτων (Phisut, 2012).

- **Εφαρμογή φυγόκεντρης δύναμης**

Η επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μελετήθηκε από τους Azuara et al. (1996) σε δείγματα μήλου και πατάτας. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε σωλήνες από ανοξείδωτο χάλυβα, τοποθετημένους σε φυγόκεντρο, που περιείχαν ένα μικτό ωσμωτικό διάλυμα σακχαρόζης και αλατιού. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η φυγοκέντρωση ενίσχυσε τη μεταφορά μάζας (απώλεια νερού) κατά 15% ενώ επιβράδυνε σημαντικά την πρόσληψη του στερεού (κατά περίπου 80%).

Ωστόσο, θεωρήθηκε απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης μεταβλητών όπως η ταχύτητα περιστροφής αλλά και άλλων παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης όπως η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος, ο τύπος της διαλυμένης ουσίας ή το μείγμα τους και το μέγεθος καθώς και το σχήμα του τροφίμου (Rastogi et al., 2005).

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση τα τελευταία χρόνια συγκεντρώνει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον ως μέθοδος προ-επεξεργασίας για τις συμβατικές μεθόδους ξήρανσης και κατάψυξης όσον αφορά στη βελτίωση της ποιότητας και την αύξηση του χρόνου ζωής νωπών προϊόντων. Αυτό οφείλεται στα πολλαπλά οφέλη της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία τροφίμων, τα κυριότερα εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

- 1) Αποτελεί μια ήπια θερμική μέθοδο επεξεργασίας (30-50°C) προστατεύοντας έτσι τις ευαίσθητες στη θέρμανση ενώσεις όπως γεύση, χρωστικές, βιταμίνες κ.α.
- 2) Καθώς το δείγμα βρίσκεται καθ' όλη τη διάρκεια της ωσμωτικής διεργασίας εμβαπτισμένο σε διάλυμα αποφεύγεται η επαφή του με το οξυγόνο. Ως εκ τούτου, δεν είναι πάντα αναγκαία η χρήση αντιοξειδωτικών (διοξειδίου του θείου) για την προστασία από την οξειδωτική και ενζυμική αμαύρωση.
- 3) Είναι μια οικονομική διεργασία καθώς δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός.
- 4) Είναι μια διεργασία χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων καθώς δεν λαμβάνει χώρα αλλαγή φάσης.
- 5) Η διαδικασία μειώνει τον όγκο των επεξεργαζόμενων προϊόντων εξοικονομώντας έτσι το κόστος επεξεργασίας, αποθήκευσης και μεταφοράς.
- 6) Ενισχύεται σημαντικά η διάρκεια αποθήκευσης του προϊόντος.
- 7) Βελτιώνονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος μέσω του στοχευμένου εμπλουτισμού του με επιθυμητά συστατικά διαλυμένα στο ωσμωτικό διάλυμα.
- 8) Κατά την μετέπειτα επεξεργασία (πχ κατάψυξη) οι ενεργειακές απαιτήσεις και ο απαιτούμενος χρόνος κατεργασίας μειώνονται λόγω της χαμηλότερης περιεκτικότητας νερού στο προϊόν.
- 9) Η αφυδάτωση πριν την κατάψυξη μειώνει τους κινδύνους καταστροφής της δομής κατά την απόψυξη, διατηρώντας την υφή σε ικανοποιητικό βαθμό.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα ωστόσο, η διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει επίσης ορισμένα μειονεκτήματα. Το κύριο μειονέκτημα της ωσμωτικής διαδικασίας είναι ότι μπορεί να αυξήσει την αλμυρή γεύση ή τη γλυκύτητα ενός τροφίμου ανάλογα με τον τύπο ωσμωτικού παράγοντα που χρησιμοποιείται ή να μειώσει την οξύτητα του, διαφοροποιώντας έτσι τη χαρακτηριστική του γεύση. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τον έλεγχο της διάχυσης της διαλυμένης ουσίας και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας από την αισθητηριακή αξιολόγηση του προϊόντος. Ένα άλλο μειονέκτημα που έχει αναφερθεί είναι η πιθανή παραμόρφωση (δηλαδή αλλαγή σχήματος, συνήθως συρρίκνωση) κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τόσο την οπτική ελκυστικότητα όσο και τις ιδιότητες συσκευασίας του προϊόντος (Chandra & Kumari, 2014).

Το κυριότερο, ωστόσο, μειονέκτημα της ωσμωτικής αφυδάτωσης που αποτελεί ταυτόχρονα και ανασταλτικό παράγοντα για τη χρήση της μεθόδου σε βιομηχανική κλίμακα, θεωρείται η δυσκολία διαχείρισης των χρησιμοποιούμενων ωσμωτικών διαλυμάτων (Raoult & Wack, 1994).

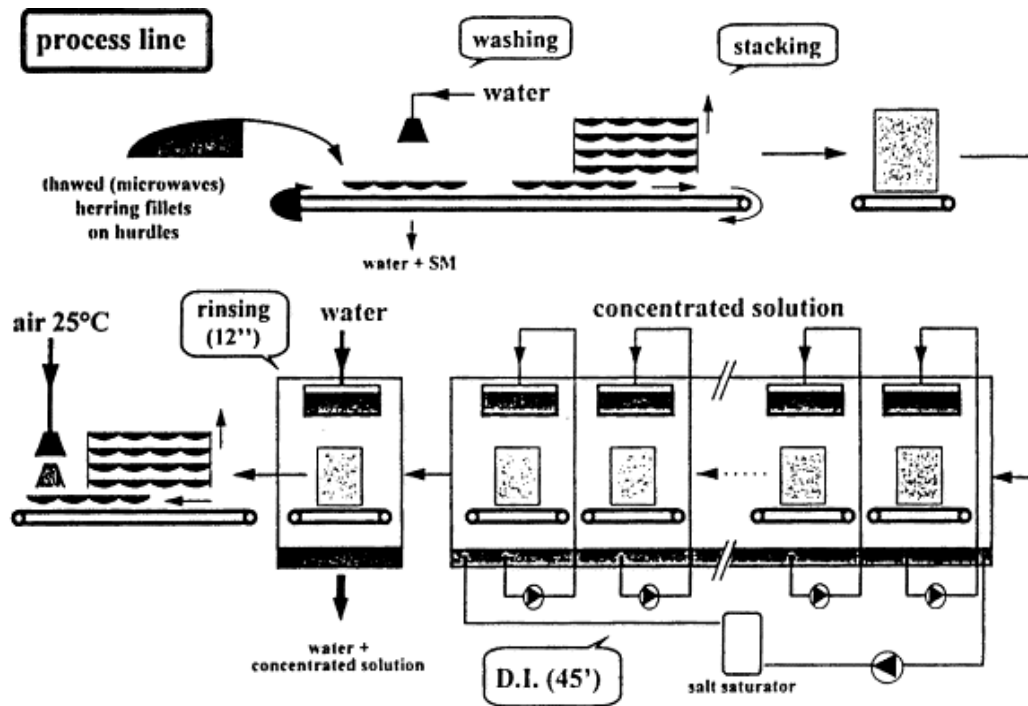
Σύμφωνα με τους Dallas & Giroux (2001) τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που παρατηρούνται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δύνανται να τροποποιήσουν τη σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Συγκεκριμένα, η εκροή νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα οδηγεί στην αραίωσή του ενώ η πιθανή μεταφορά χρωστικών ουσιών, οξέων, πρωτεϊνών, σπόρων αλλά και τμημάτων του ιστού φρούτων και λαχανικών κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των τελευταίων αλλά και λιπιδίων και αλάτων κατά την ωσμωτική αφυδάτωση προϊόντων ζωικής προέλευσης οδηγούν σε φυσικοχημικές και οργανοληπτικές αλλαγές του διαλύματος. Οι αλλαγές αυτές έχουν αρνητικό αντίκτυπο και σχετίζονται με διαφορετικές πτυχές όπως:

- μεταβολή των ιδιοτήτων του διαλύματος (pH, ενεργότητα ύδατος, ιξώδες) λόγω των διαλυμένων ουσιών που ενδέχεται να επηρεάσουν τη μεταφορά μάζας σε έναν επόμενο κύκλο διεργασίας
- αλλαγές στις οργανοληπτικές ιδιότητες κυρίως στο χρώμα και τη γεύση αποκλείοντας τη χρήση του διαλύματος για την επεξεργασία διαφορετικών τύπων τροφίμων
- αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανικές ενώσεις γεγονός που καθιστά το

ωσμωτικό διάλυμα ευνοϊκό υπόστρωμα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών

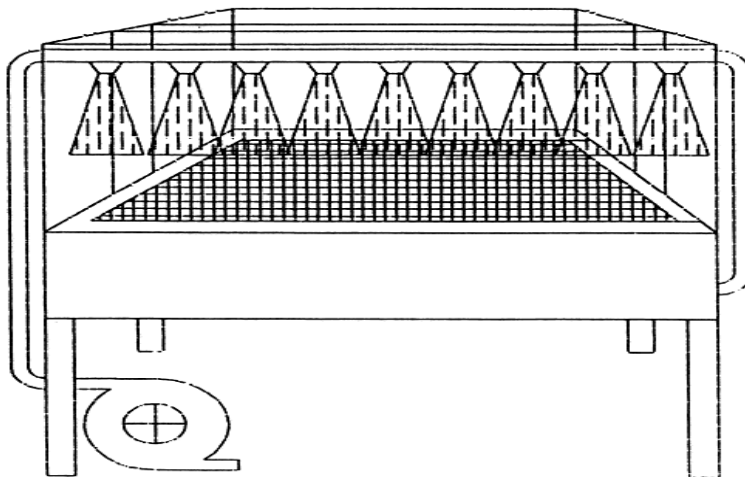
Από την άλλη πλευρά, για τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ωσμωτικού διαλύματος και η χρησιμοποίησή τους για έναν μόνο κύκλο διεργασίας καθιστά απαγορευτική τη χρήση της μεθόδου σε μεγάλη κλίμακα, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους. Η απόρριψη των ωσμωτικών διαλυμάτων μετά τη χρήση ενδέχεται να προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικών ενώσεων (Ruiz et al., 2013). Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η αναζήτηση τεχνικών επαναχρησιμοποίησης των ωσμωτικών διαλυμάτων και σε επόμενους κύκλους διεργασίας. Οι βιομηχανίες καλούνται να αντιμετωπίσουν την πρόκληση της διαχείρισης των ωσμωτικών διαλυμάτων μέσω της κατάλληλης σύνθεσης και συγκέντρωσης τους (με στόχο τον περιορισμό της αραίωσής τους), της επαναχρησιμοποίησης αλλά και διάθεσής τους ως αποβλήτων. Ο έλεγχος της αραίωσης του ωσμωτικού διαλύματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης χαμηλής αναλογίας τροφίμου/διαλύματος και κατάλληλου ωσμωτικού μέσου ενώ ο ρυθμός αραίωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από το είδος του επεξεργαζόμενου τροφίμου.

Επιπλέον, έχουν προταθεί τεχνολογίες που θα μπορούσαν να περιορίσουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις απαιτούμενες ποσότητες σε ωσμωτικό διάλυμα. Το τρόφιμο τοποθετείται σε κυματοειδείς διάτρητες θήκες που στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη χωρίς να παρεμποδίζεται η συνεχής επαφή του τροφίμου με το ωσμωτικό διάλυμα. Το διάλυμα ψεκάζεται στους υποδοχείς και καθώς υπερχειλίζει, συλλέγεται και ανακυκλώνεται. Με τη συγκεκριμένη τεχνολογία που έχει κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τους Marouze, Mens, Rivier και Collignan (1997) η αναλογία δείγματος τροφίμου/ διαλύματος μπορεί να αυξηθεί έως και 1:2. (Dalla & Giroux, 2001).



Εικόνα 8. Γραμμή διαδικασίας συνεχούς ψεκασμού με ωσμωτικό διάλυμα που προτείνεται από τους Marouze et al. (1997) για φιλέτα ρέγγας (Dalla & Giroux, 2001).

Αντίστοιχα, οι Dalla Rosa, Bressa, Giavedoni, and Pinnavaia (1992) και οι Dalla Rosa, Bressa, Mastrocola and Pittia (1995) πρότειναν μια μικρής κλίμακας εγκατάσταση συνεχούς ψεκασμού για την ωσμωτική αφυδάτωση δείγματος σε φέτες (ακτινίδια).



Εικόνα 9. Εγκατάσταση που προτάθηκε για την ωσμωτική αφυδάτωση φετών φρούτων μέσω συνεχούς ψεκασμού με πυκνό διάλυμα ζάχαρης. (Dalla & Giroux, 2001).

Όσον αφορά στις τεχνικές επαναρησιμοποίησης των ωσμωτικών διαλυμάτων αυτές περιλαμβάνουν, αρχικά διήθηση του διαλύματος ώστε να απομακρυνθούν κομμάτια ιστού του επεξεργαζόμενου τροφίμου που ενδεχομένως να έχουν αποκολληθεί

από αυτό και στη συνέχεια επαναφορά της αρχικής σύστασης του διαλύματος. Η διαδικασία της ανακύκλωσης διαλυμάτων με ωσμωτικό μέσο ενός μόνο συστατικού γίνεται εύκολα με αντίστροφη ώσμωση ή εξάτμιση σε σχέση με διαλύματα με μικτά ωσμωτικά μέσα που εμφανίζουν μεγαλύτερη δυσκολία (Tortoe, 2010). Στις κυριότερες τεχνικές για την αποκατάσταση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος περιλαμβάνονται η εξάτμιση (σε ατμοσφαιρική πίεση και υψηλή θερμοκρασία ή υπό κενό σε μέτρια θερμοκρασία) που αποτελεί και τη πιο διαδεδομένη τεχνική, η προσθήκη ξηρής διαλυμένης ουσίας ή ανάμειξη με συμπυκνωμένο διάλυμα και η αντίστροφη ώσμωση.

Εξάτμιση

Η επαναφορά της αρχικής σύστασης των ωσμωτικών διαλυμάτων μέσω εξάτμισης αποτελεί τη πιο διαδεδομένη τεχνική στη βιομηχανία τροφίμων. Χρησιμοποιούνται εξατμιστήρες ατμοσφαιρικής πίεσης ή κενού ενώ το κόστος για μια μεσαία/μεγάλη βιομηχανία είναι σχετικά χαμηλό. Η διαδικασία, ωστόσο, περιλαμβάνει αλλαγή φάσης υγρού-ατμού του νερού και το ενεργειακό κόστος πρέπει να υπολογιστεί στο ενεργειακό ισοζύγιο της συνολικής διαδικασίας. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η μελέτη των μηχανισμών και του ενεργειακού κόστους της μεθόδου και σύγκριση με άλλες μεθόδους απομάκρυνσης νερού που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων.

Προσθήκη ξηρής ουσίας

Η αποκατάσταση της συγκέντρωσης του διαλύματος με προσθήκη ξηρής διαλυμένης ουσίας ή ανάμειξη με συμπυκνωμένο διάλυμα μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις σε εξοπλισμό και ενέργεια. Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει εφαρμοστεί για την προσθήκη ξηρής ζάχαρης στην αφυδάτωση φρούτων και αλάτι στα ψάρια. Ο κύριος περιορισμός στη χρήση της οφείλεται στην αύξηση της μάζας του διαλύματος. Θα μπορούσε, ωστόσο, να εφαρμοστεί σε παραγωγή μικρής κλίμακας, όπου η αρχική μάζα διαλύματος είναι μικρή.

Εφαρμογή τεχνολογίας μεμβρανών

Οι διεργασίες μεμβράνης, συμπεριλαμβανομένης της αντίστροφης ώσμωσης και της μικρο-, νανο- και υπερδιήθησης χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανακύκλωση των λυμάτων της βιομηχανίας τροφίμων. Η εφαρμογή τους έχει μελετηθεί ειδικότερα στην επεξεργασία γαλακτοκομικών λυμάτων και υγρών αποβλήτων ελαιουργικών

βιομηχανιών (Garrido et al., 1992).

Τέλος, πρωταρχικής σημασίας ζήτημα για την επαναχρησιμοποίηση των ωσμωτικών διαλυμάτων αποτελεί η μικροβιακή τους σταθερότητα (Raoult-Wack, 1994). Διαφορετικές πηγές μόλυνσης μπορούν να επηρεάσουν τη μικροβιακή σταθερότητα των χρησιμοποιούμενων διαλυμάτων αν και οι τιμές δραστηριότητας του νερού, που κυμαίνονται γύρω από το $a_w = 0,9 - 0,95$ θα πρέπει να είναι σε θέση να περιορίσουν την ανάπτυξη μη ωσμο-άντοχων βακτηρίων και ζυμομυκήτων (Valdez-Fragoso, 1998). Όπως είναι λογικό, σε όσους περισσότερους κύκλους διεργασίας χρησιμοποιηθεί το ωσμωτικό διάλυμα τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος μικροβιακής ανάπτυξης. Για το λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η μικροβιακή εξυγίανση του διαλύματος με χρήση συνδυαστικών επεξεργασιών, όπως φιλτράρισμα και παστερίωση. Οι μέθοδοι ανάκτησης και εξυγίανσης, ωστόσο, δεν είναι πάντα εφαρμόσιμες. Στην περίπτωση αυτή, το διάλυμα πρέπει να απομακρύνεται από τη γραμμή διεργασιών είτε για να χρησιμοποιηθεί για άλλα παρασκευάσματα τροφίμων όπως:

- σιρόπι για κονσερβοποίηση φρούτων
- παρασκευή μαρμελάδων
- ανάμειξη με χυμούς φρούτων
- αραίωση με νερό και προσθήκη διοξειδίου του θείου για την παρασκευή αναψυκτικών
- παραγωγή φυσικών ενισχυτικών γεύσης
- τροφή μελισσών ή ζωοτροφή

είτε να απομακρυνθεί ως υγρό απόβλητο. Ωστόσο, οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν ακόμα ένα πρόβλημα που εντοπίζεται αυτή τη φορά στην υψηλή τιμή του BOD_5 (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο) του συμπυκνωμένου διαλύματος. Το διάλυμα εκτός από υδατάνθρακες, περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικών συστατικών όπως πρωτεΐνες, πηκτίνη και οξέα. Καθώς η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν επιτρέπει την απευθείας διάθεσή του ως υγρού αποβλήτου σε υδάτινο αποδέκτη, είναι απαραίτητη η κατάλληλη επεξεργασία του, ώστε τόσο η τιμή BOD_5 όσο και ο αριθμός των βακτηρίων να βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων. Η επεξεργασία των λυμάτων είναι ένα πολύ κοινό πρόβλημα στη βιομηχανία τροφίμων που μελετούν την εύρεση και το σχεδιασμό νέων μεθόδων επεξεργασίας (Dalla & Giroux, 2001; Δερμεσονλούογλου, 2008).

3.5 Εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια

Τα μανιτάρια είναι εδώδιμοι μύκητες με αξιοσημείωτη εμπορική σημασία και η καλλιέργειά τους έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη εμπορική επιχείρηση. Τις τελευταίες δεκαετίες, η κατανάλωσή τους έχει αυξηθεί σημαντικά λόγω της θρεπτικής τους αξίας, της εξαιρετικής γεύσης τους και της δυνατότητας χρήσης τους ως υποκατάστατα του κρέατος (Rezagah et al., 2010). Ωστόσο, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας τους σε υγρασία, τα μανιτάρια αποτελούν ευπαθή προϊόντα καθώς ξεκινούν να αλλοιώνονται αμέσως μετά τη συγκομιδή, έχοντας μόλις 1-2 ημέρες διάρκειας ζωής σε θερμοκρασία δωματίου. Ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία η επεξεργασία των φρέσκων μανιταριών ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους. Μεταξύ των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση, η ξήρανση είναι μια διαδικασία κατά την οποία η ενεργότητα νερού του τροφίμου μειώνεται με την απομάκρυνση του νερού με εξάτμιση ή εξάχνωση, ελαχιστοποιώντας τις ενζυμικές και μικροβιολογικές αντιδράσεις. Εντούτοις, αν και η ξήρανση στον αέρα μπορεί να παράγει αφυδατωμένα προϊόντα με παρατεταμένη διάρκεια ζωής, η ποιότητα ενός συμβατικά αποξηραμένου προϊόντος συνήθως είναι υποδεέστερη από εκείνη του αρχικού τροφίμου. Πολλές προ-επεξεργασίες έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι δυσμενείς αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη ξήρανση. Η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται για τη μερική απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα με εμβάπτιση σε υπερτονικό διάλυμα, χωρίς αλλαγή φάσης που μειώνει τις φυσικές, χημικές και βιολογικές αλλαγές κατά την ξήρανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες (Kurozawa et al., 2012; Kowalska & Lenart 2001).

Έχουν δημοσιευτεί διάφορες έρευνες για την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών κυρίως ως μέθοδο προ-επεξεργασίας πριν από συμβατικές μεθόδους ξήρανσης. Οι έρευνες αφορούν σε διάφορα είδη μανιταριών με την πλειονότητα ωστόσο να επικεντρώνεται στην ωσμωτική αφυδάτωση λευκών μανιταριών (*Agaricus bisporus*) και Πλευρώτους (*Pleurotus*).

Οι Gupta et al. (2015) μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση κομματιών μανιταριών (*Agaricus bisporus*) ως προ-επεξεργασία ξήρανσης σε αέρα. Χρησιμοποίησαν διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις άλατος NaCl (10%, 20% και 30%), αναλογίες

μάζας (1/10 και 1/25 w/w) σε θερμοκρασία 60°C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του αλατιού οδήγησε σε αύξηση της απώλειας νερού και μείωση της πρόσληψης στερεών. Επιπλέον βρέθηκε μικρότερη μεταβολή χρώματος.

Οι Kaur et al. (2014) μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση των μανιταριών Oyster Mushrooms ως προ-επεξεργασία πριν τη ξήρανση σε σήραγγα ξήρανσης με δίσκους (60°C). Για το πείραμα χρησιμοποίησαν τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις άλατος (NaCl) (10,15 και 20g/100g), σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες (30°C και 45°C) κρατώντας σταθερό το λόγο διαλύματος προς μανιτάρι 10 (w/v) ενώ οι μετρήσεις λήφθηκαν σε διάστημα μεταξύ 30 έως 300 λεπτών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο η απώλεια νερού όσο και η πρόσληψη στερεών αυξήθηκαν μη γραμμικά κατά τη διεργασία της ώσμωσης αποκτώντας μέγιστη τιμή κατά τα πρώτα στάδια της ώσμωσης. Επιπλέον και τα δύο αυξήθηκαν γραμμικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης αλατιού ενώ σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) μεταξύ των παραγόντων προ-επεξεργασίας η συγκέντρωση φαίνεται να είχε τη μεγαλύτερη επίδραση. Τέλος, η αλληλεπίδραση θερμοκρασίας - διαλύματος και συγκέντρωσης άλατος παρουσίασε μέγιστη επίδραση στο χρώμα και την αναλογία επανενυδάτωσης.

Οι Harshavardhini et al (2021) μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση λευκών μανιταριών σε θερμοκρασίες διαλύματος 45, 50, 55, 60 και 65°C ,περιεκτικότητας άλατος (NaCl) 10, 15, 20, 25, 30% και χρόνο εμβάπτισης 60, 120, 180, 240 και 300 λεπτών. Με τη βοήθεια της ανάλυσης διακύμανσης και πολυωνυμικών εξισώσεων δεύτερης τάξης εξέτασαν την επίδραση όλων των μεταβλητών της διαδικασίας σε εξαρτώμενες μεταβλητές όπως η απώλεια νερού (WL), η αύξηση πρόσληψης στερεών ουσιών (SG) και η μείωση βάρους (WP). Στη συνέχεια με τη χρήση της μεθοδολογίας επιφάνειας απόκρισης (Response Surface Methodology, RSM) προσδιόρισαν τις βέλτιστες συνθήκες που μπορούν να αποφέρουν μέγιστη απώλεια νερού, ελάχιστη πρόσληψη στερεού και μέγιστη μείωση βάρους. Έτσι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ωσμωτική αφυδάτωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε βελτιστοποιημένες συνθήκες θερμοκρασιών διαλύματος 50°C σε συγκέντρωση άλατος 10,21% για 120 λεπτά χρόνο εμβάπτισης, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη απώλεια νερού - 52,585%, ελάχιστη αύξηση αλατιού - 5,946% και μέγιστη μείωση βάρους του ωσμο-αφυδατωμένου δείγματος- 47,023%.

Οι Yang & Le Maguer (1992) εξέτασαν την ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών (*Agarius bisporus*). Τα μανιτάρια υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με δύο τρόπους: (1) Τα μανιτάρια σε φέτες ζεματίστηκαν και επεξεργάστηκαν ωσμωτικά σε διαλύματα άλατος (NaCl) περιεκτικότητας 5, 10 και 15% για 5, 10, 20 και 30 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου (που ονομάζονται μανιτάρια τύπου 1). (2) Τα κομμένα μανιτάρια που υποβλήθηκαν αρχικά σε ζεμάτισμα αφυδατώθηκαν ωσμωτικά σε διάλυμα σακχαρόζης 60% για 10 λεπτά στους 50°C και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στις ίδιες συνθήκες επεξεργασίας όπως αναφέρονται στο (1) (ονομάζονται μανιτάρια τύπου 2). Η περιεκτικότητα σε υγρασία, οι συγκεντρώσεις χλωριούχου νατρίου και σακχαρόζης και για τους δύο τύπους μανιταριών μελετήθηκαν με το χρόνο ενώ χρησιμοποιήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο για την περιγραφή της κινητικής μεταφοράς μάζας για τους δύο τύπους μανιταριών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επεξεργασία σε διάλυμα άλατος 15% είναι η βέλτιστη συνθήκη για απομάκρυνση της υγρασίας και πρόσληψη άλατος. Η μέθοδος επεξεργασίας για τα μανιτάρια τύπου 2 βρέθηκε ότι είναι η καλύτερη στον έλεγχο της διεύθυνσης χλωριούχου νατρίου.

Οι Ebrahim et al. (2009) μελέτησαν την κινητική μάζας σε ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών *Agaricus bisporus* σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (10, 20, 30 και 40% w/w) διαλυμάτων σακχαρόζης, θερμοκρασίες (30, 40, 50 και 60°C) και διαφορετική αναλογία μανιταριού-διαλύματος (1:10, 1:15 και 1:25). Μελετήθηκαν οι ιδιότητες των φετών μανιταριών για 5 ώρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία των δειγμάτων μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης σακχαρόζης και η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία μετά την ωσμωτική διεργασία κυμαινόταν από 47,6-87,9%.

3.6 Ωσμωτική αφυδάτωση ως προ-επεξεργασία ξήρανσης με αέρα

Η ξήρανση αποτελεί μια μέθοδο επεξεργασίας τροφίμων που χρησιμοποιείται ευρύτατα στην παγκόσμια βιομηχανία. Με την απομάκρυνση της υγρασίας από τα τρόφιμα μειώνεται η ενεργότητα ύδατος όπως και ο κίνδυνος μικροβιακής αλλοίωσης, παρατείνεται η διάρκεια ζωής του προϊόντος ενώ παράλληλα μειώνονται ο όγκος των προϊόντων άρα και τα κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης. Στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι ξήρανσης όπως η ξήρανση στον ήλιο, η ξήρανση με

ζεστό αέρα, η ξήρανση με κατάψυξη, η ξήρανση με μικροκύματα, η ξήρανση υπό κενό, η ξήρανση σε υγρή κλίση και η ξήρανση με ψεκασμό. Καινοτόμες τεχνολογίες ξήρανσης εξακολουθούν να εμφανίζονται μέρα με τη μέρα, αν και δεν είναι ευρέως διαδεδομένες στη βιομηχανία, όπως για παράδειγμα, υπέρυθρες ακτίνες, υπερήχοι, υψηλό ηλεκτρικό πεδίο (high electric field), αντλία θερμότητας, αφυδάτωση παραθύρου διάθλασης (refractance window dehydration) και ξήρανση με υπέρθερμο ατμό (Li et al., 2020).

Η ξήρανση που επιλέξαμε για το πείραμά μας είναι η ξήρανση με ρεύμα αέρα. Η ξήρανση στον αέρα θεωρείται μια διαδικασία ταυτόχρονης μεταφοράς θερμότητας και μάζας όπου το νερό μεταφέρεται με διάχυση από το εσωτερικό του τροφίμου στη διεπαφή αέρα-τροφίμου και από τη διεπαφή στο ρεύμα αέρα μέσω μεταφοράς. Η θερμότητα μεταφέρεται με μεταφορά από τον αέρα στη διεπιφάνεια αέρα-τροφής και μέσω αγωγιμότητας στο εσωτερικό του τροφίμου (Hernandez et al., 2000).

Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται σε φούρνους όπου ο αέρας ρέει με συγκεκριμένα προφίλ ταχύτητας μέσω του τροφίμου που είναι τοποθετημένο σε κατάλληλα στηρίγματα. Η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ 40 °C και 80 °C, ενώ η ταχύτητα από 0,5 έως 5 m/s, φτάνοντας, σε ορισμένες περιπτώσεις, την τιμή των 10 m/s. Ο χρόνος στεγνώματος εξαρτάται από τις παραπάνω αλλά και άλλες παραμέτρους και μπορεί να διαρκέσει μέχρι σχεδόν 20 ώρες. Έχουν προταθεί διαφορετικές φυσικές, μαθηματικές και αριθμητικές μέθοδοι για την περιγραφή των διαδικασιών ξήρανσης (Aversa et al., 2007).

Ωστόσο, ένα πρόβλημα που προκύπτει με την απομάκρυνση νερού σε υψηλές θερμοκρασίες και παρατεταμένους χρόνους αφυδάτωσης είναι η αλλοίωση των διατροφικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των υπό επεξεργασία τροφίμων καθώς μπορεί να επιφέρουν αλλοίωση της γεύσης, του χρώματος και των θρεπτικών συστατικών τους. Οι συνέπειες που επιφέρει η ξήρανση είναι ανάλογες της θερμοκρασίας και του χρόνου που απαιτούνται (Lenart, 1996 ; Lin et al., 1998).

Ένας τρόπος περιορισμού των παραπάνω δυσμενών επιπτώσεων είναι η χρήση μιας επεξεργασίας πριν την ξήρανση, όπως η ωσμωτική αφυδάτωση, ικανή να μειώσει το χρόνο της επακόλουθης αφυδάτωσης (μέχρι μια τελική τιμή-στόχο της περιεχόμενης υγρασίας), την κατανάλωση ενέργειας και να διατηρήσει καλύτερα την ποιότητα των τροφίμων. Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια μέθοδο με χαμηλό

ενεργειακό κόστος καθώς είναι αποτελεσματική σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, φέρει ελάχιστες επιβλαβείς επιπτώσεις στην ποιότητα των τροφίμων, επιτυγχάνοντας παράλληλα σταθερότητα του προϊόντος, διατήρηση των θρεπτικών συστατικών και βελτίωση της γεύσης και της υφής των τροφίμων. Η εμβάπτιση των τροφίμων σε ωσμωτικό διάλυμα αποτρέπει την οξείδωση, αναστέλλει την ενζυματική δραστηριότητα και μειώνει τη δομική κατάρρευση κατά τη διαδικασία της ξήρανσης. Επίσης, ικανοποιεί τις ανάγκες των καταναλωτών για ελάχιστα επεξεργασμένα προϊόντα ενώ επιπλέον διευκολύνει τις βιομηχανικές διαδικασίες που απαιτούν μειωμένους χρόνους ξήρανσης (Mandala et al., 2005, Torreggiani, 1993). Η χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης πριν τη διεργασία ξήρανσης έχει προταθεί από πολλούς συγγραφείς για την επεξεργασία φρούτων και λαχανικών.

Οι Lenart & Lewicki (1988) μελετώντας την κατανάλωση ενέργειας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και ξήρανση τεμαχίων μήλων και καρότων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αρχική ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει το χρόνο ξήρανσης κατά 10-65% ανάλογα με το είδος του ωσμωτικού μέσου και του χρόνου ώσμωσης. Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση σε διάλυμα σακχαρόζης βρέθηκε ότι επέφερε 4-5 φορές αύξηση της απόδοσης ξήρανσης με παράλληλη έως και 30% ελάττωση της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά μονάδα.

Οι Lerici et al. (1988) στη μελέτη τους για τη χρήση ώσμωσης στην αφυδάτωση φρούτων και λαχανικών αναφέρουν ότι η άμεση ώσμωση ως προεπεξεργασία πριν από τη ξήρανση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται δεν μπορεί να εξασφαλίσει ξήρανση στον αέρα σε υψηλή θερμοκρασία. Κατά τη μελέτη της συμπεριφοράς φρούτων (μήλο, φράουλα, ροδάκινο, βερίκοκο, κεράσι, σκληρό μαύρο κεράσι, βατόμουρο) και λαχανικών (καρότο, κολοκύθα) τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ωσμωμένα δείγματα εμφάνιζαν καλύτερη ποιότητα του τελικού, αφυδατωμένου προϊόντος και χαμηλότερη οξύτητα σε σχέση με τα φρέσκα δείγματα. Επιπλέον, η διεργασία της ώσμωσης μπορεί να συνδυαστεί με ενζυμική αδρανοποίηση (ζεμάτισμα), αποφεύγοντας έτσι τη χρήση διοξειδίου του θείου σε αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά για τη διατήρηση του χρώματος.

Οι Zhao et al. (2013) μελέτησαν της επίδρασης της προεπεξεργασίας ώσμωσης στα χαρακτηριστικά ξήρανσης με ζεστό αέρα και ξήρανσης με χρήση μικροκυμάτων της

σάρκας τσίλι (*Capsicum annuum* L.). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ώσμωντικά επεξεργασμένα δείγματα χρειάζονταν μειωμένο χρόνο αφυδάτωσης, συμβάλλοντας στην καλύτερη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος.

Γενικότερα, η διαδικασία της ώσμωσης ως προεπεξεργασίας της ξήρανσης έχει εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο αριθμό φρούτων όπως ο ανανάς, το ακτινίδιο, το μήλο και το πιπέρι. Η ώσμωση φαίνεται να βελτιώνει τη διαδικασία ξήρανσης και να οδηγεί στην παραγωγή πιο γλυκιάς γεύσης, χρώματος και υφής. Τα αποξηραμένα με ώσμωση προϊόντα τρώγονται πιο ευχάριστα ως σνακ, έχοντας σχετικά υψηλή σταθερότητα στο ράφι και χαμηλές απαιτήσεις συσκευασίας (Falade et al., 2012).

Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (Response Surface Methodology - RSM)

4.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM) περιλαμβάνει ένα σύνολο μαθηματικών και στατιστικών τεχνικών εξαιρετικά χρήσιμων για την ανάπτυξη, τη βελτιστοποίηση και τη βελτίωση προϊόντων και βιομηχανικών διαδικασιών (Danmaliki et al., 2017). Έχει σημαντική εφαρμογή στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την παραγωγή νέων προϊόντων, καθώς και στη βελτίωση του σχεδιασμού υφιστάμενων προϊόντων. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς πέραν από την ανάλυση των επιδράσεων των ανεξάρτητων μεταβλητών, η συγκεκριμένη πειραματική μεθοδολογία δημιουργεί ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τις χημικές ή βιοχημικές διεργασίες (Anjum et al., 1997; Myers and Montgomery, 1995). Επιπλέον, η RSM μειώνει τον αριθμό των πειραματικών δοκιμών που απαιτούνται για την αξιολόγηση των πολλαπλών παραμέτρων και τις αλληλεπιδράσεις τους (Lee et al., 2006). Η RSM χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων μιας διεργασίας όταν η συνάρτηση που την περιγράφει είναι άγνωστη. Μέσω της RSM η συνάρτηση μπορεί να προσδιοριστεί μέσω μιας χαμηλού βαθμού πολυωνυμικής σχέση της μορφής

$$n = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (1)$$

όπου n είναι η απόκριση (π.χ. ένα μέγεθος που μετρείται πειραματικά), f είναι η άγνωστη συνάρτηση της απόκρισης, x_1, x_2, \dots, x_n δηλώνουν τις ανεξάρτητες μεταβλητές, που ονομάζονται επίσης φυσικές μεταβλητές, n είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών και τέλος ε είναι το στατιστικό σφάλμα που αντιπροσωπεύει άλλους αστάθμητους παράγοντες που δεν λαμβάνονται υπόψη από το f , όπως η επίδραση του μετρήσιμου σφάλματος, εάν υπάρχει, στην απόκριση ενδιαφέροντος (Box, D. & Boyaci, İ. H., 2007).

Η μεθοδολογία επιφανείας απόκρισης (RSM) εισήχθη από τους Box, G.E.P. and Wilson, K.B. το 1951. Οι Box και Wilson πρότειναν τη χρήση του πολυωνυμικού μοντέλου πρώτου βαθμού με σκοπό να προσεγγίσουν την μεταβλητή απόκρισης. Ωστόσο, η εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου δεν οδηγούσε σε αποδεκτή ακρίβεια. Η χρήση του ήταν διαδεδομένη λόγω της ευκολίας εκτίμησης και εφαρμογής, ακόμα και δίχως

την ύπαρξη πληροφοριών για την όλη διαδικασία. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι η μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών αποτελεί εξέλιξη της εφαρμογής των αποκριτικών καμπυλών η οποία έχει τις ρίζες της στο 1930. Στην περίπτωση του μοντέλου πρώτου βαθμού, χρησιμοποιήθηκε από τους Box και Wilson ο ορθογώνιος σχεδιασμός. Για το μοντέλο δευτέρου βαθμού, αρκετοί επιστήμονες και μηχανικοί επέλεξαν και επιλέγουν το Central Composite Design (CCD) καθώς και τους πειραματικούς σχεδιασμούς Box - Behnken. Αρκετά σημαντική ήταν η συμβολή του Hartley, ο οποίος κατάφερε να δημιουργήσει έναν οικονομικότερο σχεδιασμό, τον Small Composite Design. Η εργασία των Connor and Zelen Fractional Factorial Experiment Design for Factor at 3 Levels αποτελεί σημείο αναφοράς για τη μελέτη και την εφαρμογή των κλασματικών σχεδιασμών σε πειράματα. Μείζονος σημασίας ζήτημα είναι πως είτε το σύστημα εμφανίζει μέγιστο ή ελάχιστο, είτε έχουμε εμφάνιση σημείου σέλας (saddle node), η εμφάνιση οποιασδήποτε εκ των ανωτέρω καταστάσεων παρέχει ζωτικές πληροφορίες στον βιομηχανικό σχεδιασμό. Εξίσου σημαντικό στοιχείο της RSM είναι ότι με τον τρόπο που γίνεται η σχεδίαση απαιτείται μικρός όγκος πειραματικών δεδομένων για την δημιουργία μιας μαθηματικής εξίσωσης. Για όλους τους προαναφερθέντες λόγους η μεθοδολογία RSM βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην βιομηχανία, αλλά και για ερευνητικούς σκοπούς (Στέκας, 2013).

4.2 Μεθοδολογία

Μια μελέτη βελτιστοποίησης με τη χρήση μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών μπορεί να διαχωριστεί στα εξής στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο επιλέγονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές σημαντικών επιπτώσεων στο σύστημα μέσω μελετών διαλογής και οριοθέτησης της πειραματικής περιοχής, σύμφωνα με τον στόχο της μελέτης και την εμπειρία του ερευνητή. Κατά το δεύτερο στάδιο ακολουθεί η επιλογή του πειραματικού σχεδιασμού και η διεξαγωγή των πειραμάτων σύμφωνα με το επιλεγμένο πειραματικό πρωτόκολλο. Κατά το τρίτο στάδιο διεξάγεται η μαθηματική-στατιστική επεξεργασία των ληφθέντων πειραματικών δεδομένων μέσω της προσαρμογής μιας πολυωνυμικής συνάρτησης. Στη συνέχεια ακολουθεί η στατιστική αξιολόγηση της καταλληλότητας του μοντέλου (goodness of fit), η διερεύνηση της δυνατότητας εκτέλεσης πειραμάτων προς την κατεύθυνση της βέλτιστης περιοχής και τέλος η λήψη των βέλτιστων τιμών για κάθε

μεταβλητή που μελετήθηκε.

Έλεγχος μεταβλητών

Η απόκριση ενός συστήματος μπορεί να επηρεαστεί από ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών καθιστώντας αδύνατη τη μελέτη όλων των επιδράσεων. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η επιλογή των σημαντικότερων επιπτώσεων. Σχέδια διαλογής συμβάλουν στον προσδιορισμό των πειραματικών μεταβλητών που παρουσιάζουν τα σημαντικότερα αποτελέσματα. Χρησιμοποιούνται πλήρεις ή κλασματικά παραγοντικά σχέδια δύο επιπέδων για αυτόν τον στόχο κυρίως επειδή είναι αποτελεσματικά και οικονομικά.

Επιλογή του πειραματικού σχεδίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το απλούστερο μοντέλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο RSM βασίζεται σε μια απλή γραμμική συνάρτηση της μορφής:

$$y = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon, (2)$$

όπου k είναι ο αριθμός των μεταβλητών, β_0 είναι ο σταθερός όρος, β_i αντιπροσωπεύει τους συντελεστές των γραμμικών παραμέτρων, x_i αντιπροσωπεύει τις μεταβλητές και ε είναι το σφάλμα που σχετίζεται με τα πειράματα.

Επομένως, οι αποκρίσεις δεν πρέπει να παρουσιάζουν καμία καμπυλότητα. Για την αξιολόγηση της καμπυλότητας, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο δεύτερης τάξης, που περιέχει πρόσθετους όρους, οι οποίοι περιγράφουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών πειραματικών μεταβλητών. Με αυτόν τον τρόπο, ένα μοντέλο για μια αλληλεπίδραση δεύτερης τάξης παρουσιάζει την εξής μορφή:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon (3)$$

όπου το β_{ij} αντιπροσωπεύει τους συντελεστές των παραμέτρων αλληλεπίδρασης.

Για να προσδιοριστεί ένα κρίσιμο σημείο (μέγιστο, ελάχιστο ή σέλα), είναι απαραίτητο η πολυωνυμική συνάρτηση να περιέχει τετραγωνικούς όρους σύμφωνα με την εξίσωση που παρουσιάζεται παρακάτω:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon (4)$$

όπου το β_{ii} αντιπροσωπεύει τους συντελεστές της τετραγωνικής παραμέτρου.

Για την εκτίμηση των παραμέτρων, ο πειραματικός σχεδιασμός πρέπει να διασφαλίζει ότι όλες οι μεταβλητές που μελετήθηκαν πραγματοποιούνται σε τουλάχιστον τρία επίπεδα παραγόντων. Έτσι, είναι διαθέσιμα δύο σχέδια μοντελοποίησης, συμμετρικής απόκρισης επιφανειών. Μεταξύ των πιο γνωστών

συμμετρικών σχεδίων δεύτερης τάξης είναι ο παραγοντικός σχεδιασμός τριών επιπέδων, ο σχεδιασμός Box–Behnken και ο κεντρικός σύνθετος σχεδιασμός και ο σχεδιασμός Doehlert. Αυτά τα συμμετρικά σχέδια διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την επιλογή πειραματικών σημείων, τον αριθμό των επιπέδων για τις μεταβλητές και τον αριθμό των σειρών και των μπλοκ.

Κωδικοποίηση των επιπέδων της μεταβλητής

Η κωδικοποίηση των επιπέδων της μεταβλητής συνίσταται στη μετατροπή κάθε μελετημένης πραγματικής τιμής σε συντεταγμένες μέσα σε μια κλίμακα με αδιάστατες τιμές για τον εντοπισμό της στον πειραματικό χώρο.

Η ακόλουθη εξίσωση μπορεί να εφαρμοστεί για να μετατρέψει μια πραγματική τιμή (z_i) σε μια κωδικοποιημένη τιμή (x_i) σύμφωνα με έναν προσδιορισμένο πειραματικό σχεδιασμό:

$$x_i = \left(\frac{z_i - z_i^0}{\Delta z_i} \right) \beta_d \quad (5)$$

όπου Δz_i είναι η απόσταση μεταξύ της πραγματικής τιμής στο κεντρικό σημείο και της πραγματικής τιμής στο ανώτερο ή κατώτερο επίπεδο μιας μεταβλητής, β_d είναι η κύρια κωδικοποιημένη οριακή τιμή στον πίνακα για κάθε μεταβλητή και z_i^0 είναι η πραγματική τιμή στο κεντρικό σημείο.

Μαθηματική-στατιστική επεξεργασία δεδομένων

Μετά τη λήψη δεδομένων που σχετίζονται με κάθε πειραματικό σημείο ενός επιλεγμένου σχεδίου, είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί μια μαθηματική εξίσωση για να περιγράψει τη συμπεριφορά της απόκρισης σύμφωνα με τα επίπεδα των τιμών που μελετήθηκαν. Ουσιαστικά, πρέπει να υπάρχουν εκτιμήσεις των παραμέτρων β των εξισώσεων (2),(3) και (4). Επομένως, στη σημειογραφία μήτρας, οι παραπάνω εξισώσεις μπορούν να παρασταθούν ως:

$$y_m x_i = X_m x_n \beta_n x_1 + e_m x_1 \quad (6)$$

όπου y είναι το διάνυσμα απόκρισης, X είναι ο πίνακας του επιλεγμένου πειραματικού σχεδίου, β είναι το διάνυσμα που αποτελείται από τις παραμέτρους του μοντέλου, e είναι το υπόλοιπο και m και n αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των γραμμών και στηλών από τους πίνακες, αντίστοιχα .

Για την επίλυση της εξίσωσης (6) χρησιμοποιείται μια στατιστική προσέγγιση που ονομάζεται μέθοδος του ελάχιστου τετραγώνου (MLS). Το MLS είναι μια τεχνική

πολλαπλής παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή ενός μαθηματικού μοντέλου σε ένα σύνολο πειραματικών δεδομένων. Μετά από μαθηματικούς μετασχηματισμούς της παραπάνω εξίσωσης, ένα διάνυσμα b που περιέχει τις παραμέτρους μπορεί να ληφθεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\beta_{n*1} = (X_{n*m}^T X_{m*n})^{-1} (X_{n*m}^T y_{m*i}) \quad (7)$$

Η εξίσωση (7) χρησιμοποιείται για την δημιουργία της επιφάνειας απόκρισης που περιγράφει τη συμπεριφορά της απόκρισης στον πειραματικό τομέα.

Αξιολόγηση του προσαρμοσμένου μοντέλου

Το μαθηματικό μοντέλο που βρέθηκε μετά την προσαρμογή της συνάρτησης στα δεδομένα μπορεί μερικές φορές να μην περιγράφει ικανοποιητικά τον πειραματικό τομέα που μελετήθηκε. Ο πιο αξιόπιστος τρόπος αξιολόγησης της ποιότητας του προσαρμοσμένου μοντέλου είναι η εφαρμογή της ανάλυσης διακύμανσης (Analysis of Variance, ANOVA).

Προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών

Οι επιφάνειες που δημιουργούνται από γραμμικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποδείξουν την κατεύθυνση στην οποία πρέπει να μετατοπιστεί το αρχικό σχέδιο προκειμένου να επιτευχθούν οι βέλτιστες συνθήκες. Ωστόσο, εάν η πειραματική περιοχή δεν μπορεί να μετατοπιστεί για φυσικούς ή άλλους λόγους, η έρευνα πρέπει να βρει την καλύτερη λειτουργική κατάσταση εντός της υπό μελέτη πειραματικής συνθήκης με οπτική επιθεώρηση.

Για τα τετραγωνικά μοντέλα, το κρίσιμο σημείο μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέγιστο, ελάχιστο ή σέλα. Είναι δυνατός ο υπολογισμός των συντεταγμένων του κρίσιμου σημείου μέσω της πρώτης παραγώγου της μαθηματικής συνάρτησης, η οποία περιγράφει την επιφάνεια απόκρισης και την εξισώνει με το μηδέν. Η τετραγωνική συνάρτηση που λαμβάνεται για δύο μεταβλητές όπως περιγράφεται παρακάτω χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του παραδείγματος:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (8)$$

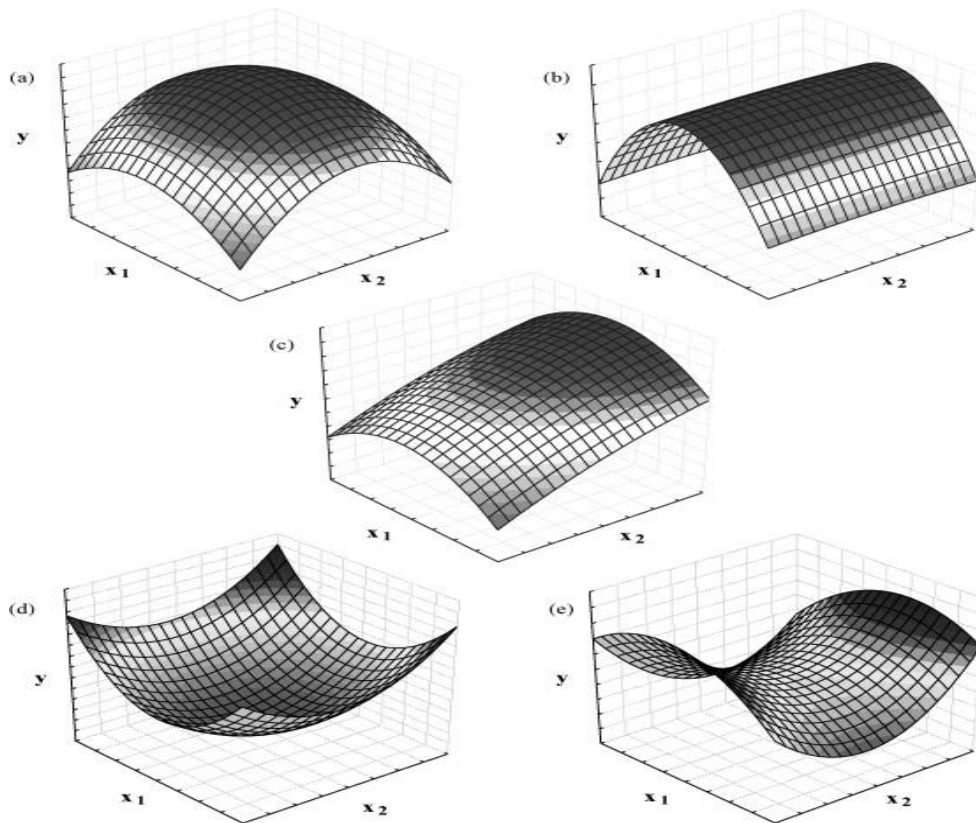
$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \beta_1 + 2\beta_{11} x_1 + \beta_{12} x_2 = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = \beta_2 + 2\beta_{22} x_2 + \beta_{12} x_1 = 0 \quad (10)$$

Για τον υπολογισμό της συντεταγμένης του κρίσιμου σημείου είναι απαραίτητη η επίλυση του συστήματος πρώτης τάξης που σχηματίζεται από τις εξισώσεις (9) & (10) και

να βρούμε τις τιμές x_1 και x_2 .

Η οπτικοποίηση της εξίσωσης λαμβάνεται από το διάγραμμα απόκρισης επιφανειών. Αυτή η γραφική αναπαράσταση αποτελεί μια n -διάστατη επιφάνεια στον $(n + 1)$ -διάστατο χώρο. Συνήθως, μπορεί να σχεδιαστεί μια δισδιάστατη αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου σχεδίου. Έτσι, εάν υπάρχουν τρεις ή περισσότερες μεταβλητές, η απεικόνιση της γραφικής παράστασης είναι δυνατή μόνο εάν μία ή περισσότερες μεταβλητές έχουν οριστεί σε μια σταθερή τιμή. Στην Εικ. 10 παρουσιάζεται κάποιο προφίλ για την τετραγωνική γραφική παράσταση απόκρισης επιφανειών στη βελτιστοποίηση δύο μεταβλητών. Η Εικ. 10 (a και b) αντιπροσωπεύει επιφάνειες όπου το μέγιστο σημείο βρίσκεται εντός της πειραματικής περιοχής. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι, στην επιφάνεια που φαίνεται στην Εικ. 10 (b), υπάρχει ένα οροπέδιο σε σχέση με τη μεταβλητή x_2 , που δείχνει ότι η διακύμανση των επιπέδων της δεν επηρεάζει το υπό μελέτη σύστημα. Η επιφάνεια που φαίνεται στην Εικ. 10 (c) δείχνει ότι το μέγιστο σημείο βρίσκεται εκτός της πειραματικής περιοχής και ότι είναι απαραίτητο να μετατοπιστεί, εάν είναι δυνατόν, η αρχική σχεδίαση για να επιτευχθεί. Η επιφάνεια που φαίνεται στην Εικ. 10 (d) παρουσιάζει ένα ελάχιστο σημείο και αυτό που φαίνεται στην Εικ. 10 (e) παρουσιάζει ένα σημείο σέλας ως κρίσιμο σημείο. Το σημείο σέλας είναι ένα σημείο καμπής μεταξύ ενός σχετικού μέγιστου και ενός σχετικού ελάχιστου. Εάν ο σκοπός είναι να ληφθεί μια μέγιστη ή ελάχιστη απόκριση σε ένα μελετημένο σύστημα, οι συντεταγμένες του σημείου σέλας δεν χρησιμεύουν ως βέλτιστες τιμές. Και πάλι, είναι δυνατό να βρεθεί η βέλτιστη περιοχή μέσω οπτικής επιθεώρησης των επιφανειών (Bezerra et al., 2008).



Εικόνα 10. Ορισμένα προφίλ επιφανειακής απόκρισης που δημιουργούνται από ένα τετραγωνικό μοντέλο στη βελτιστοποίηση δύο μεταβλητών. (a) μέγιστο, (b) οροπέδιο, (c) μέγιστο εκτός της πειραματικής περιοχής, (d) ελάχιστη και (e) επιφάνειες σέλας. (Bezerra et al., 2008).

Οι Box και Behnken πρότειναν έναν πειραματικό σχεδιασμό για την περίπτωση διεργασιών που επηρεάζονται από τρεις βασικούς παράγοντες, ο οποίος επιτρέπει την αποτελεσματική εκτίμηση των συντελεστών πρώτης και δεύτερης τάξης του μαθηματικού μοντέλου.

Στα σχέδια Box–Behnken, τα πειραματικά σημεία βρίσκονται σε σφαιρικό σχεδιασμό (ίση απόσταση από το κεντρικό σημείο), όπως φαίνεται για ένα σχέδιο τριών παραγόντων στην Εικ. 11 (c). Τα κύρια χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου σχεδιασμού είναι:

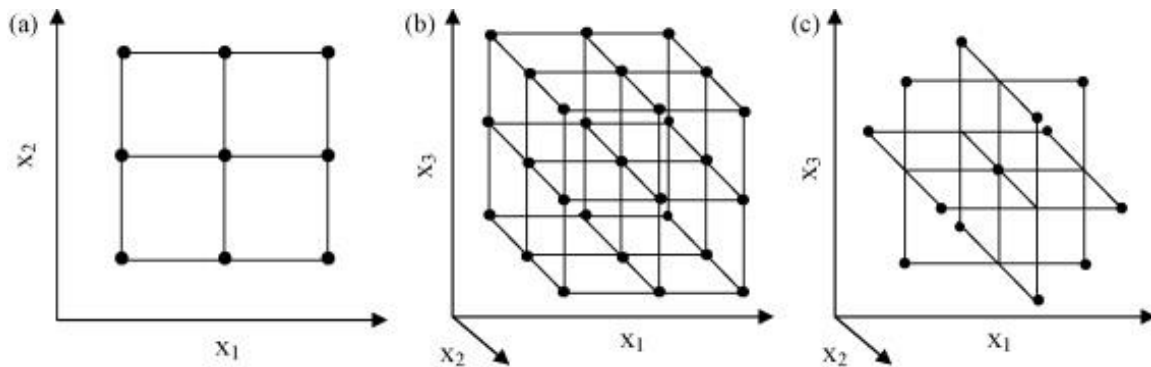
απαιτεί έναν αριθμό επαναλήψεων σύμφωνα με $N = 2k(k - 1) + c_p$, όπου k είναι ο αριθμός των παραγόντων και (c_p) είναι ο αριθμός των κεντρικών σημείων.

όλα τα επίπεδα παραγόντων πρέπει να προσαρμόζονται μόνο σε τρία επίπεδα (-1, 0, +1) με ίσα διαστήματα μεταξύ αυτών των επιπέδων.

Η Εικ. 11 (c) παρουσιάζει το σχέδιο Box–Behnken για βελτιστοποίηση τριών μεταβλητών όπου απεικονίζονται 13 πειραματικά σημεία. Παρατηρείται ότι συγκριτικά με τον παραγοντικό σχεδιασμό τριών επιπέδων (αριθμός πειραμάτων που απαιτούνται $N=$

3^3 δηλαδή, 27 πειράματα) αυτός ο σχεδιασμός είναι πιο οικονομικός και αποδοτικός. Ο παρακάτω πίνακας (Πίν. 1. (b)) παρουσιάζει τις κωδικοποιημένες τιμές για την εφαρμογή αυτού του σχεδιασμού για τρεις μεταβλητές.

Αυτός ο πειραματικός σχεδιασμός έχει εφαρμοστεί για τη βελτιστοποίηση πολλών χημικών και φυσικών διεργασιών με την εφαρμογή του, ωστόσο, στην αναλυτική χημεία είναι ακόμη πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τον κεντρικό σύνθετο σχεδιασμό (Bezerra et al., 2008).



Εικόνα 11. Πειραματικά σχέδια βασισμένα στη μελέτη όλων των μεταβλητών σε τρία επίπεδα: παραγοντικός σχεδιασμός τριών επιπέδων για τη βελτιστοποίηση (a) δύο μεταβλητών και (b) τριών μεταβλητών και (c) σχεδιασμός Box-Behnken για τη βελτιστοποίηση τριών μεταβλητών (Bezerra et al., 2008).

Πίνακας 4.1. Ορισμένοι πειραματικοί πίνακες για σχέδια που βασίζονται σε μεταβλητές μελετώνται σε τρία επίπεδα: (a) παραγοντικός σχεδιασμός τριών επιπέδων για δύο μεταβλητές και (b) σχεδιασμός Box–Behnken για πίνακες τριών μεταβλητών (Bezerra et al., 2008).

(a)		(b)		
x_1	x_2	x_1	x_2	x_3
-1	-1	-1	-1	0
-1	0	1	-1	0
-1	1	-1	1	0
0	-1	1	1	0
0	0	-1	0	-1
0	1	1	0	-1
1	-1	-1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	0	-1	-1
		0	1	-1
		0	-1	1
		0	1	1
		0	0	0

4.3 Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση της μεθοδολογίας RSM

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια ήπια θερμική επεξεργασία, η οποία χρησιμοποιείται ως αποτελεσματική εναλλακτική τεχνική συντήρησης για πληθώρα τροφίμων. Ωστόσο, οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τη βοήθεια της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM) για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας είναι

περιορισμένες. Η πλειονότητα των μελετών αφορά σε φυτικούς ιστούς και κυρίως φρούτα. Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Στόχος τους είναι η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών για τη διεργασία λαμβάνοντας υπόψη κάποια επιθυμητά ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Οι περισσότερες έρευνες επιδιώκουν μέγιστη απώλεια νερού (Water Loss, WL) μειώνοντας την ενεργότητα ύδατος (a_w) με σκοπό την αύξηση της μικροβιακής σταθερότητας του τελικού προϊόντος ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μελετάται και η πρόσληψη στερεών (Solid Gain, SG). Σε λιγότερο βαθμό έχει μελετηθεί η αλλαγή χρώματος (ΔE) και ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως η γεύση και η υφή. Μέσω της μεθοδολογίας (RSM) για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης, οι ερευνητές επιδιώκουν τον προσδιορισμό συνθηκών που αφορούν συνήθως στη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση και τη χρονική διάρκεια της ώσμωσης και λιγότερο συχνά στο πάχος του δείγματος και την αναλογία δείγματος-διαλύματος.

Οι Ramya et al. (2014) κατά την μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης τωνμανιταριών *Oyster (Pleurotus sajor-caju)* διερεύνησαν την απαιτούμενη ποσότητα χλωριούχου νατρίου (NaCl) και τη μεταφορά νερού χρησιμοποιώντας μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών. Για το πείραμα εφαρμόστηκαν οι συνθήκες: συγκέντρωση NaCl (10–20%, w/v), θερμοκρασία διαλύματος (30–60°C), χρόνος βύθισης (15–240 λεπτά) και αναλογία διαλύματος προς καρπό (4:1 έως 8:1) οι οποίες ελήφθησαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές διεργασίας. Για κάθε απόκριση, αναπτύχθηκαν πολυωνμικά μοντέλα δεύτερης τάξης χρησιμοποιώντας ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ενώ ακολούθησε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να ελεγχθεί η επάρκεια και η ακρίβεια των προσαρμοσμένων μοντέλων. Κατασκευάστηκαν οι επιφάνειες απόκρισης και τα διαγράμματα τους που δείχνουν την αλληλεπίδραση των μεταβλητών της διαδικασίας. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο της συνάρτησης επιθυμητότητας (desirability functions) με κριτήρια τη μεγιστοποίηση της απώλειας νερού, μείωσης βάρους και ελαχιστοποίησης της πρόσληψης στερεών, οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας βρέθηκαν να είναι: θερμοκρασία διαλύματος – 45°C, χρόνος εμβάπτισης – 53,54 λεπτά, συγκέντρωση αλατιού – 14,09% και αναλογία διαλύματος προς καρπό 6,08:1. Με βάση τις βέλτιστες αυτές συνθήκες, η απώλεια νερού, η αύξηση της διαλυμένης ουσίας και η μείωση βάρους ήταν 38,13, 2,1 και 36,02 (g/100 g αρχικής μάζας) αντίστοιχα.

Οι An et al. (2013) χρησιμοποίησαν μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών (RSM) με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό Box–Behnken με 27 πειραματικές δοκιμές στη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης του κινέζικου τζίντζερ (*Zingiber officinale Roscoe*) σε φέτες σε διάλυμα νερού, σακχαρόζης και χλωριούχου νατρίου για μεγιστοποίηση της απώλειας νερού (WL), του λόγου επανενυδάτωσης (RR) και της συνολικής περιεκτικότητας σε φαινολικές ουσίες (TPC), συνδυαζόμενα με ελαχιστοποίηση της πρόσληψης στερεών (SG) και της αλλαγής χρώματος στην κλίμακα μέτρησης χρώματος (HCC) του αφυδατωμένου προϊόντος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας είναι η διάρκεια της διαδικασίας 102 λεπτά, η θερμοκρασία διαλύματος 30 °C, η συγκέντρωση διαλύματος 50 Brix σακχαρόζη + 7,31% χλωριούχο νάτριο και η αναλογία διαλύματος προς τρόφιμο 8:1, ενώ ο χρόνος εμφάνισης βρέθηκε να είναι η πιο σημαντική μεταβλητή για τα WL, HCC, SG και RR, και για το TPC ήταν η θερμοκρασία ($P < 0,05$).

Οι Madamba & Lopez (2002) μελέτησαν την ωσμωτική αφυδάτωση φετών μάνγκο (*Mangifera indica*). Οι ανεξάρτητες μεταβλητές επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: χρόνος επεξεργασίας, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση σακχάρου και το πάχος της φέτας ενώ οι μεταβλητές αποκρίσεων που δοκιμάστηκαν ήταν η μείωση βάρους (WR), το κέρδος σακχάρου (SG), η τελική περιεκτικότητα σε υγρασία (M_f) και συνολική αποδοχή προϊόντος (OA). Ως πειραματικός σχεδιασμός χρησιμοποιήθηκε ένας κλασματικός παραγοντικός σχεδιασμός (4 παραμέτρων) με 27 πειράματα ενώ χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία RSM για την ανάλυση και την πρόβλεψη των βέλτιστων συνθηκών. Όλες οι μεταβλητές της ωσμωτικής επεξεργασίας επηρέασαν σημαντικά το WR, ενώ το SG και το M_f επηρέαστηκαν σημαντικά μόνο από το πάχος. Από την άλλη πλευρά, καμία από τις μεταβλητές δεν έδειξε σημαντική επίδραση στην OA.

Οι Mehta et al. (2012) εφάρμοσαν τη μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών για τη διερεύνηση της επίδρασης της συγκέντρωσης άλμης, θερμοκρασίας διαλύματος και της διάρκειας ώσμωσης σε σχέση με την απώλεια νερού (WL) και την πρόσληψη άλατος (SG). Για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο σχεδιασμός Box–Behnken τριών μεταβλητών και πραγματοποιήθηκαν δεκαεπτά πειράματα. Για κάθε απόκριση, αναπτύχθηκαν πολυωνμικά μοντέλα δεύτερης τάξης χρησιμοποιώντας

ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να ελεγχθεί η επάρκεια και η ακρίβεια των μοντέλων ενώ κατασκευάστηκαν οι επιφάνειες απόκρισης και τα διαγράμματά τους που δείχνουν την αλληλεπίδραση των μεταβλητών της διαδικασίας. Οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας ήταν: θερμοκρασία διαλύματος 44,89 °C, συγκέντρωση άλμης 16,53% και διάρκεια ώσμωσης 47,59 λεπτά. Σε αυτό το βέλτιστο σημείο, η απώλεια νερού και η πρόσληψη άλατος προβλεπόταν να είναι 44,55% και 2,98% αντίστοιχα.

Επίσης, στη βιβλιογραφία υπάρχουν μελέτες σύγκρισης μεταξύ μοντέλων βελτιστοποίησης συνθηκών επεξεργασίας με τη μέθοδο επιφανειών απόκρισης.

Οι Maran et al. (2013) συνέκριναν την απόδοση των μεθοδολογιών RSM και ANN (νευρωνικά δίκτυα -artificial neural network) με τις δυνατότητες επιτυχούς μοντελοποίησης, πρόβλεψης και γενικευμένης χρήσης χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα που βασίζονται στο σχέδιο Box-Behnken στη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης της παπάγιας. Τα μοντέλα ANN βρέθηκε ότι παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση των τιμών των εξαρτημένων μεταβλητών σε σύγκριση με τα μοντέλα RSM απαιτώντας όμως πολύ περισσότερο χρόνο και επαναλήψεις πειραμάτων από τα τελευταία (Ramya et al., 2014). Χρησιμοποιώντας τα ίδια μοντέλα πρόβλεψης, οι Mokhtarian et al. (2014) ερεύνησαν τη βελτιστοποίηση της ωσμο-αφυδάτωσης κύβων κολοκύθας. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τεχνητό νευρωνικό δίκτυο και μοντελοποίηση RSM έδειξε ότι η τεχνητή νευρική προσέγγιση είχε μεγαλύτερη ικανότητα σε σύγκριση με τη μοντελοποίηση RSM στην πρόβλεψη τελικής περιεκτικότητας σε υγρασία ($R^2 = 0,998$ και $0,992$, αντίστοιχα).

Αντίστοιχα, οι Singh et al. (2021) στη μελέτη τους για την επίδραση της επεξεργασίας με υπερήχους στην ωσμωτική αφυδάτωση των φετών αονία (*Phyllanthus emblica* L.), χρησιμοποίησαν τρία διαφορετικά μοντέλα πρόβλεψης για τον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN), παλινδρόμηση διαδικασίας Gauss (GPR) και μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών (RSM) (από την άποψη ενός πολυωνύμου δεύτερης τάξης). Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η απώλεια νερού, η πρόσληψη στερεών και η μείωση βάρους ενώ οι ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν ο χρόνος υπερήχων (10–30 λεπτά), η θερμοκρασία υπερήχων (30–50 °C) και η συγκέντρωση σακχάρου (40–60 °Brix)

ενώ για το σχεδιασμό του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ο πειραματικός σχεδιασμός Box–Behnken (BBD). Οι προγνωστικές δυνατότητες του ANN, του GPR και του RSM συγκρίθηκαν μέσω του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE), του μέσου απόλυτου σφάλματος (MAE), του μέσου όρου απόλυτης απόκλισης (AAD), του τυπικού σφάλματος πρόβλεψης (SEP), R^2). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μοντέλο ANN προβλέπει με μεγαλύτερη ακρίβεια από τα άλλα μοντέλα όλες τις αποκρίσεις εκτός από τον λόγο συρρίκνωσης όπου το μοντέλο GPR βρέθηκε να είναι καλύτερο. Η RSM πρότεινε επίσης τις βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας που οδηγούν στη μεγιστοποίηση της απώλειας νερού και της μείωσης βάρους και στην ελαχιστοποίηση της πρόσληψης στερεού να είναι σε χρόνο υπερήχων 10 λεπτών, θερμοκρασία υπερήχων 30°C και συγκέντρωση σακχάρου 60° Brix.

Κεφάλαιο 5: Υλικά και μέθοδοι

5.1 Υλικά

Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν παραπροϊόντα μανιταριών (το κομμάτι του μανιταριού που απορρίπτεται μετά τη συγκομιδή του βρώσιμου μέρους, αποτελούμενο κυρίως από κοτσάνια) ποικιλίας *Pleurotus*, τα οποία εμβαπτίστηκαν σε υπερτονικά ωσμωτικά διαλύματα. Τα ωσμωτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μαλτοδεξτρίνη (Maltodekstrin, DE 12-20, A.D. industrija skroba "JABUKA", Pančevo) και ολιγοφρουκτόζη (chicory oligofructose, COSUCRA Groupe Warcoing), ενώ στα διαλύματα προστέθηκαν 5% αλάτι NaCl και 1,5% ασκορβικό οξύ (ascorbic acid a.g. ,Penta).



Εικόνα 12. Ρίζες μανιταριών.

Μαλτοδεξτρίνη

Η μαλτοδεξτρίνη είναι ένας πολυσακχαρίτης που παράγεται από άμυλο με μερική ενζυμική ή/και όξινη υδρόλυση. Αποτελείται από μόρια d-γλυκόζης που συνδέονται κυρίως με α 1-4 δεσμούς. Οι κοινές μαλτοδεξτρίνες περιέχουν από 3 έως 20 μόρια γλυκόζης και χαρακτηρίζονται από ισοδύναμο δεξτρόζης (D.E.) < 20. Ως ισοδύναμο δεξτρόζης ορίζεται η περιεκτικότητα σε ανάγοντα σάκχαρα και υπολογίζεται ως η επί % άνυδρη δεξτρόζη επί του συνόλου της ξηρής ουσίας. Οι μαλτοδεξτρίνες διατίθενται στο εμπόριο με τη μορφή υγροσκοπικής σκόνης που έχει ξηρανθεί με ψεκασμό ή

συμπυκνωμένου διαλύματος. Χαρακτηριστικά, οι μαλτοδεξτρίνες έχουν σχετικά υψηλό μοριακό βάρος, χαμηλή αναγωγική ισχύ και υψηλό γλυκαιμικό δείκτη. Το υψηλό μοριακό βάρος των μαλτοδεξτρινών οδηγεί στο σχηματισμό διαλυμάτων με χαμηλή οσμωτική πίεση, υψηλό ιξώδες και μικρή ή καθόλου γλυκύτητα. Λόγω της χαμηλής αναγωγικής τους ισχύος οι μαλτοδεξτρίνες συμμετέχουν ελάχιστα στις αντιδράσεις αμαύρωσης. Γενικότερα, η μαλτοδεξτρίνη έχει πολλές λειτουργίες που περιλαμβάνουν τη χρήση της ως πληρωτικά μέσα, την παράταση της διάρκειας ζωής, την βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων, τον περιορισμό της γλυκιάς γεύσης και της κοκκοποίησης (Ogrodowska et al., 2022). Επιπλέον οι μαλτοδεξτρίνες χρησιμεύουν ως μέσα μεταφοράς ουσιών στον οργανισμό, υποκατάστατα λιπών, μεταβάλλουν την περιεκτικότητα σε υγρασία, δρουν ως ενισχυτικά γεύσης και ως φορείς ενθυλάκωσης (Δερμεσονλούογλου, 2008; Featherstone, 2015). Η μαλτοδεξτρίνη έχει χρησιμοποιηθεί ως οσμωτικό μέσο σε πληθώρα μελετών ώσμωσης. Οι περισσότερες από αυτές αφορούν σε τρόφιμα όπως: μάνγκο (Shinde & Ramaswamy, 2020; Nunes & Moreira, 2009), τομάτα (Corrêa et al., 2016), πατάτες ποικιλίας White Spunta (Goula et al., 2017), βερίκοκο (İspir & Toğrul, 2009), φιλέτα τσιπούρας (Tsironi & Taoukis, 2014), φράουλα (Jiang et al., 2021), καρπούζι (Dermesonlouoglou et al., 2017) και αγγούρι (Δερμεσονλούογλου, 2008).

Ολιγοφρουκτόζη

Η ολιγοφρουκτόζη είναι μια υποομάδα ινουλίνης και περιλαμβάνει ένα μείγμα ολιγοσακχαριτών που αποτελούνται από γραμμικές αλυσίδες μορίων φρουκτόζης που συνδέονται μεταξύ τους με β(2→1) δεσμούς. Κάποιες εκ των αλυσίδων ενδέχεται να τερματίζονται από μια γλυκόζη. Ο συνολικός αριθμός των μονάδων φρουκτόζης ή γλυκόζης σε ένα μόριο ολιγοφρουκτόζης κυμαίνεται γενικά μεταξύ 2 και 8. Η ολιγοφρουκτόζη αποτελεί φυσικό συστατικό φυτικής προέλευσης και υπάρχει σε πληθώρα διαιτητικών τροφίμων. Η μέση ημερήσια κατανάλωση κυμαίνεται μεταξύ 1–4 g στις Ηνωμένες Πολιτείες και 3–11 g στην Ευρώπη. Έχει ανακαλυφθεί σε περισσότερα από 36.000 είδη φυτών, όπως τα σπαράγγια, το κρεμμύδι, το πράσο, το σκόρδο, την κοινή αγκινάρα, την αγκινάρα της Ιερουσαλήμ και τη ρίζα κιχωρίου, στα οποία λειτουργεί κυρίως ως υδατάνθρακας αποθήκευσης. Το μεγαλύτερο, ωστόσο, ποσοστό της ολιγοφρουκτόζης που διατίθεται στο εμπόριο είτε συντίθεται από σακχαρόζη είτε εξάγεται από ρίζες κιχωρίου. Η ρίζα του φυτού *Cichorium intybus* περιέχει 15-20%

ινουλίνη και 5-10% ολιγοφρουκτόζη. Από τις ρίζες κικωρίου εξάγεται ινουλίνη η οποία εν συνεχεία υδρολύεται με τη χρήση ινουλάσης σε ολιγοφρουκτόζη. Επιπλέον είναι δυνατή η σύνθεση ολιγοφρουκτόζης από σακχαρόζη χρησιμοποιώντας τη δραστικότητα trans-φρουκτοζυλίωσης του ενζύμου β-φρουκτοφουρανοσιδάσης από το μύκητα *Aspergillus niger*. Αυτή η τελευταία διαδικασία περιλαμβάνει τη χημική σύνθεση μιας νέας ένωσης (που ονομάζεται Neosugar ή Actilight,) από δύο άλλες φυσικές ενώσεις (φρουκτόζη και γλυκόζη). Η τελική ένωση είναι ένας ολιγοσακχαρίτης παρόμοιος με το φυσικό με αλυσίδες μικρότερου μεγέθους (Hawrelak, J. A., 2020).

Η ολιγοφρουκτόζη παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όσον αφορά στον μεταβολισμό της από τον ανθρώπινο οργανισμό και την επίδραση στο πεπτικό σύστημα καθώς δεν απορροφάται από το λεπτό έντερο αλλά από το κατώτερο τμήμα του γαστρεντερικού σωλήνα. Είναι μια διαιτητική ίνα χαμηλής θερμιδικής αξίας (1,5kcal/g) που συμβάλει στη διατήρηση μιας ισορροπημένης διατροφής. Δεν αυξάνει το επίπεδο ινουλίνης στο αίμα, καθιστώντας κατάλληλη τη χρήση της και από διαβητικά άτομα ενώ διευκολύνει τη λειτουργία του πεπτικού συστήματος. Χρησιμοποιείται επίσης ως τεχνητό γλυκαντικό, το οποίο θεωρείται μη καρκινογόνο και για τη μείωση του επιπέδου των τριγλυκεριδίων, των φωσφολιπιδίων και της χοληστερόλης στο αίμα (Kumar, 2019). Στη βιομηχανία τροφίμων έχει χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο σακχάρου σε επιδόρπια με βάση το γάλα (παγωτά, σοκολατούχα γάλατα κ.α) συνδυαστικά με άλλες γλυκαντικές ουσίες αλλά και σε προϊόντα αρτοποιίας (κέικ, μπισκότα, δημητριακά) χωρίς ζάχαρη παρέχοντας ευχάριστη γεύση. Στα δημητριακά η ολιγοφρουκτόζη επιτρέπει τη μείωση της ποσότητας υδατανθράκων και θερμίδων αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες. Παράλληλα συμβάλει στη καλύτερη δομή, γεύση και διατήρηση των δημητριακών (Δερμεσονλούογλου, 2008). Η ολιγοφρουκτόζη έχει χρησιμοποιηθεί ως ωσμωτικό μέσο σε πληθώρα μελετών ώσμωσης. Οι περισσότερες από αυτές αφορούν σε τρόφιμα όπως: κολοκύθα (Katsoufi et al., 2021), πράσινα μπιζέλια (Giannakourou & Taoukis, 2003), μήλα (Cichowska et al., 2018), καρπούζι (Dermesonlouoglou et al., 2017), φράουλα (Dermesonlouoglou et al., 2016), φέτες λεμονιού (Rubio-Arreaez et al., 2015), τομάτα (Dermesonlouoglou et al., 2007), βύσσινα, φραγκοστάφυλα και μήλα (Konojacka et al., 2009) και φέτες πορτοκαλιού (Rubio-Arreaez et al., 2015).

5.2 Πειραματική διαδικασία

Τα παραπροϊόντα μανιταριών προμηθεύονταν συστηματικά από συγκεκριμένη εταιρεία (MANITARIA DIRFIS - DIRFIS MUSHROOMS, με έδρα την Κύμη Ευβοίας) σε καφάσια και συντηρούνταν σε ψύξη μέχρι τη χρήση τους. Ιδιαίτερη έμφαση δινόταν στην επιλογή όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφων τμημάτων μανιταριών (διαλογή), όσον αφορά στο χρώμα και την υφή τους. Αρχικά τα δείγματα τεμαχίζονταν με τη βοήθεια μαχαιριού σε κομμάτια σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου διαστάσεων περίπου 5εκ. * 0,5 εκ.* 0,5 εκ. και βάρους 6 ± 1 g όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 13. Τεμαχισμένο κοτσάνι μανιταριού που χρησιμοποιήθηκε για την ωσμωτική επεξεργασία.

Μια σειρά δειγμάτων χρησιμοποιούνταν ως μάρτυρες, ενώ τα υπόλοιπα ζυγίζονταν για τον προσδιορισμό των κατάλληλων ποσοτήτων για την προετοιμασία του ωσμωτικού διαλύματος. Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα που επιλέχθηκε ήταν 1:15, ώστε να μην πραγματοποιηθεί σημαντική αραίωση του διαλύματος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Για την παρασκευή των υπερτονικών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκαν σάκχαρα όπως μαλτοδεξτρίνη, σε αναλογίες 10, 20, 30% κ.β. και ολιγοφρουκτόζη, 20, 30, 40 % κ.β., ασκορβικό οξύ 1,5 % κ.β. και 5% κ.β. NaCl. Μετά τη ζύγιση όλων των συστατικών όπως και του νερού σε ζυγαριά ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων (Precision balance PCB, Kern) (Εικ. 14), τοποθετούνταν σε γυάλινα δοχεία, αναδεύονταν επαρκώς ώστε να ομογενοποιηθούν τα υλικά και μεταφέρονταν σε υδατόλουτρο (Εικ. 15) (PolyScience water bath, WB10A11B).



Εικόνα 14. Ζυγός εργαστηρίου (Precision balance PCB, Kern).



Εικόνα 15. Υδατόλουτρο εργαστηρίου (PolyScience water bath, WB10A11B).

Με θερμόμετρο γινόταν συνεχώς η μέτρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των δοχείων και όταν έφτανε στην επιθυμητή θερμοκρασία γινόταν η εμφύσηση των δειγμάτων, 9 τεμάχια σε καθένα από τα 7 δοχεία για χρόνους ώσμωσης από 10 λεπτά έως 2 ώρες. Πάνω από τα δείγματα γινόταν η προσθήκη οριζόντιων συρμάτων πλεγμάτων ώστε να αποφευχθεί η επίπλευση των μανιταριών και να εξασφαλιστεί η καλύτερη επαφή εμφυσιζόμενου δείγματος και διαλύματος, σε όλη τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Η διεργασία της ώσμωσης πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές

θερμοκρασίες, 30, 40 και 50 °C σε υδατόλουτρο. Τα δείγματα απομακρύνονταν από το διάλυμα στα επιλεγμένα χρονικά διαστήματα (10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 λεπτών), καθαρίζονταν σχολαστικά με απορροφητικό χαρτί προκειμένου να αφαιρεθεί το ωσμωτικό διάλυμα που είχε παραμείνει στην επιφάνειά τους και ακολουθούσαν οι παρακάτω μετρήσεις: μετρήσεις για τον προσδιορισμό της μεταβολής βάρους, της ενεργότητας ύδατος (a_w), του περιεχόμενου άλατος, της μεταβολής των βαθμών Brix του διαλύματος και των δειγμάτων, του χρώματος και της υφής. Αρχικά γίνονταν ο προσδιορισμός της απώλειας βάρους ζυγίζοντας τα δείγματα (9 τεμάχια/ δείγμα) σε ζυγαριά ακριβείας. Στη συνέχεια τα 3 τεμάχια φυλάσσονταν σε ψύξη για λίγα λεπτά για τον προσδιορισμό της μεταβολής της υφής και του χρώματος και τα υπόλοιπα 6 τεμαχίζονταν σε πολύ μικρά κομμάτια για τον προσδιορισμό των υπόλοιπων παραμέτρων (ενεργότητα ύδατος, άλατος, μεταβολή ξηρών στερεών).

5.2.1 Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (water activity, a_w)

Σκοπός της μέτρησης ενεργότητας ύδατος είναι η μέτρηση της ποσότητας του διαθέσιμου νερού που έχει το δείγμα κατά τη διάρκεια της διεργασίας της ώσμωσης. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με το όργανο Aqualab 4TE Dew Point Water Activity Meter (Εικ. 16). Πριν τοποθετηθούν τα δείγματα, ενεργοποιείται η διάταξη και ο θάλαμος αφήνεται κενός για περίπου 15 λεπτά, για να επιτευχθεί η απαραίτητη εξισορρόπηση. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στη μέτρηση του σημείου δρόσου. Το ψιλοτεμαχισμένο δείγμα τοποθετείται σε πλαστικό περιέκτη μέχρι το σημείο της χαραγής και εισέρχεται στη θήκη του οργάνου. Το αποτέλεσμα λαμβάνεται μόλις επιτευχθεί ισορροπία ατμών. Μια υπέρυθρη ακτίνα που εστιάζει σε έναν καθρέπτη καθορίζει την ακριβή τιμή της θερμοκρασίας δρόσου του δείγματος, που στη συνέχεια μεταφράζεται σε ενεργότητα ύδατος.



Εικόνα 16. AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE.

5.2.2 Προσδιορισμός περιεκτικότητας σακχάρων (°Brix)

Σκοπός της μέτρησης διαλυτών στερεών συστατικών σε βαθμούς Brix είναι ο προσδιορισμός του ποσοστού πρόσληψης σακχάρων κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των μανιταριών, αλλά και η σταδιακή αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε το διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO) (Εικ. 17). Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται καθαρισμός της επιφανείας του πρίσματος του οργάνου και βαθμονόμησή του με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια τοποθετείται μία σταγόνα από το διάλυμα στο πρίσμα, κλείνει το καπάκι και παρατηρείται μέσα από την κλίμακα η τιμή των βαθμών Brix. Η ίδια διαδικασία προηγείται της εμβάπτισης των δειγμάτων στο διάλυμα ώστε να υπάρχει μέτρο σύγκρισης της αύξησης σακχάρων στη συνέχεια.



Εικόνα 17. Διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO).

5.2.3 Προσδιορισμός χρώματος

Σκοπός της χρωματομετρίας είναι ο προσδιορισμός της διαφοράς του χρώματος μεταξύ του φρέσκου (ή νέπου) μανιταριού (μάρτυρας) και του ωσμημένου, καθώς και ο προσδιορισμός της αλλαγής του χρώματος σε σχέση με το χρόνο, την θερμοκρασία και τη μέθοδο επεξεργασίας που ακολουθήσαμε κάθε φορά.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο Handy Colour Tester, Model H-CT, SUGA Test Instruments (Εικ. 18). Για τη μέτρηση, το χρωματόμετρο τοποθετείται πάνω από το δείγμα, με τέτοιο τρόπο ώστε να εφάπτεται και καταγράφονται οι χρωματικές παράμετροι L^* , a^* , b^* . Πραγματοποιούνται τρεις μετρήσεις για κάθε δείγμα και στη συνέχεια από τον μέσο όρο αυτών εξάγεται το τελικό αποτέλεσμα.

Τα αποτελέσματα αναλύονται με το σύστημα C.I.E. Lab. Το σύστημα C.I.E. Lab χρησιμοποιεί τις παραμέτρους L^* , a^* και b^* για τον χρωματικό προσδιορισμό κάθε δείγματος, οι οποίες απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Το L^* συσχετίζεται με την τιμή της φωτεινότητας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) και μεταβάλλεται σε κατακόρυφο άξονα. Σε οριζόντιο επίπεδο, το a^* και το b^* καθορίζουν τα χρώματα κόκκινο, πράσινο, κίτρινο και μπλε χωρίς να υπάρχουν αριθμητικά όρια για τις παραπάνω τιμές. Συγκεκριμένα, οι θετικές τιμές του a^* αντιστοιχούν σε αποχρώσεις του κόκκινου ενώ οι αρνητικές τιμές σε αποχρώσεις του πράσινου. Αντίστοιχα, οι θετικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του

κίτρινου ενώ οι αρνητικές τιμές του, αποχρώσεις του μπλε (Χατζής, 2015).

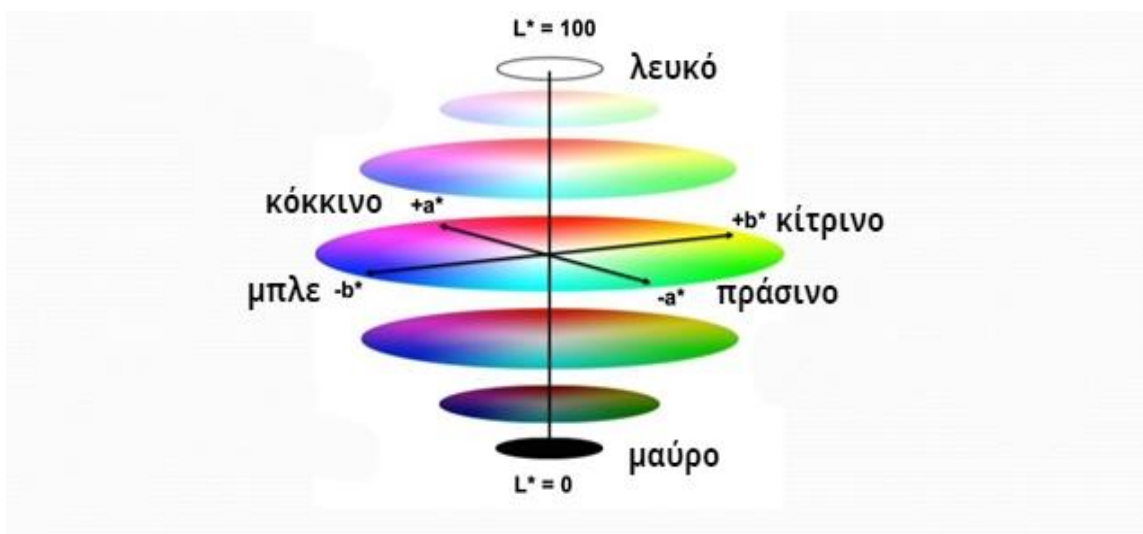
Για τον προσδιορισμό της συνολικής μεταβολής χρώματος, μετρήθηκε ο δείκτης ΔE , ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_2)^2 + (b - b_0)^2}$$

Όπου ο δείκτης '0' αντιστοιχεί σε μετρήσεις στο χρόνο μηδέν (προ ώσμωσης).



Εικόνα 18. χρωματόμετρο Suga Test Instruments Co, Ltd.



Εικόνα 19. Συντεταγμένες χρώματος σύμφωνα με το σύστημα Cieblab.

5.2.4 Μέθοδος ανάλυσης υφής

Για την ανάλυση της υφής του μανιταριού χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus της εταιρείας Stable MicroSystems Ltd. (Εικ. 21) σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και ένα παχύμετρο για τη μέτρηση του πάχους του δείγματος. Με τη βοήθεια του παραπάνω οργάνου προσδιορίζεται η μεταβολή της μηχανικής παραμόρφωσης που προκαλείται στο δείγμα ως προς τη μεταβολή της τιμής μιας δύναμης που ασκείται μέσω ενός κατάλληλου εξαρτήματος. Αρχικά μετράται το πάχος του δείγματος, τοποθετείται σε ειδικό έδρανο πάνω στη βάση του οργάνου και εισάγονται στο λογισμικό οι παρακάτω παράμετροι:

- Είδος μέτρησης (Test mode): TPA
- Ταχύτητα προσέγγισης του εμβόλου (Pre-Test Speed)
- Ταχύτητα κατά τη διάρκεια διείσδυσης (Test Speed)
- Βάθος διείσδυσης (Distance): 50% του πάχους του δείγματος (για κάθε δείγμα ξεχωριστά)

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος Texture Profile Analysis (TPA) κατά την οποία το δείγμα υποβάλλεται σε δύο διαδοχικές συμπίεσεις, μέσω ενός εμβόλου (κύλινδρος διαμέτρου 6mm), οι οποίες προσομοιάζουν τη διαδικασία της μάσησης. Τα αποτελέσματα της συμπίεσης εμφανίζονται σε ένα διάγραμμα δύναμης-χρόνου με την μορφή του παρακάτω γραφήματος:



Εικόνα 21. Αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus.

5.2.5 Μέθοδος προσδιορισμού αλατότητας (μέθοδος Mohr)

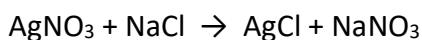
Εξοπλισμός-Αντιδραστήρια:

- Χρωμικό κάλιο K_2CrO_4 (δείκτης)
- Νιτρικός άργυρος $AgNO_3$ 0.1N
- NaOH 0.1M
- Κωνικές και ογκομετρικές φιάλες των 250 ml
- Προχοΐδα
- Σιφώνια του 1 ml και των 50 ml
- Ποτήρια των 200 ml
- Διηθητικά χωνιά και διηθητικό χαρτί

Πειραματική διαδικασία

Αρχικά ζυγίζονται 2 g δείγματος μανιταριού, τα οποία τεμαχίζονται σε πολύ μικρά κομμάτια και αραιώνονται σε ποτήρι ζέσεως στα 200 ml. Το παραπάνω διάλυμα διηθείται σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml και συμπληρώνεται με απιονισμένο νερό έως την χαραγή. Από το διήθημα που προκύπτει, μεταφέρονται 50 ml σε κωνική των 250

ml και προστίθεται 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου (δείκτης). Ακολουθεί τιτλοδότηση με διάλυμα AgNO₃ 0.1N. Το τελικό σημείο είναι η εμφάνιση μόνιμου κόκκινου χρώματος. Ακολουθούν υπολογισμοί με βάση την αντίδραση:



5.2.6 Μέτρηση ολικών στερεών

Η μέτρηση των ολικών στερεών πραγματοποιείται με την παραμονή των δειγμάτων μανιταριού στους 70 °C σε φούρνο κενού τύπου Heraeus Instruments VT 602 (Εικ. 23). Το δείγμα θερμαίνεται σε ελεγχόμενη σταθερή θερμοκρασία (70 °C) και η περιεχόμενη υγρασία προσδιορίζεται με την απώλεια βάρους που υφίσταται. Ο προσδιορισμός γίνεται με τη μέτρηση της μάζας του τροφίμου πριν και μετά την απομάκρυνση του νερού με τη μέθοδο της εξάτμισης υπό κενό. Η μέθοδος βασίζεται στο ότι το νερό έχει χαμηλότερο σημείο ζέσεως από τα άλλα κύρια συστατικά του τροφίμου (λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και ανόργανα άλατα). Οι υψηλές θερμοκρασίες και ο χρόνος που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, μπορεί να προκαλέσει την απομάκρυνση άλλων πτητικών ουσιών του τροφίμου. Ζυγίζεται μικρή ποσότητα δείγματος μανιταριού (2±0.2 g), σε προζυγισμένο φιαλίδιο ζυγίσεως σε αναλυτικό ζυγό 4 δεκαδικών ψηφίων (Tabletop scale PCE-BSK 310) (Εικ. 22) και τοποθετείται στο φούρνο κενού μέχρι σταθερού βάρους (παραμονή περίπου 24 ώρες). Για το κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν δύο επαναλήψεις για να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια το δείγμα τοποθετείται σε ξηραντήρα ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίζεται εκ νέου. Η ελάττωση του βάρους αποτελεί την απώλεια σε νερό και έτσι υπολογίζεται η % περιεκτικότητα του εκάστοτε δείγματος σε νερό. Από την υπολογισθείσα υγρασία και το βάρος του δείγματος πριν και μετά την επεξεργασία, προσδιορίζονται οι βασικές παράμετροι της ωσμωτικής αφυδάτωσης:

$$\text{απώλεια ύδατος, } WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \frac{\text{g νερού}}{\text{g αρχικής ξηράς ουσίας}}$$

$$\text{πρόσληψη στερεών, } SG = \frac{m - m_0}{m_0} \frac{\text{g ολικών στερεών}}{\text{g αρχικής ξηράς ουσίας}}$$

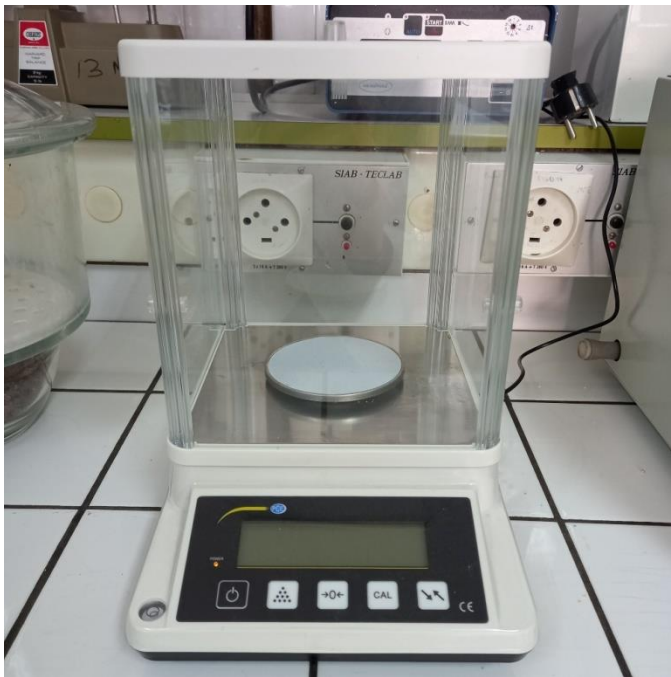
Όπου:

M_0 : αρχική μάζα φρέσκου τροφίμου

m_0 : ξηρό βάρος φρέσκου τροφίμου

M : μάζα τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας

m : ξηρή μάζα τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας.



Εικόνα 22. Αναλυτικός ζυγός 4 δεκαδικών ψηφίων (Tabletop scale PCE-BSK 310).



Εικόνα 23. Φούρνος κενού (Heraeus Instruments VT 602).

5.3 Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM)

Η μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών (RSM) εφαρμόστηκε στα πειραματικά δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα εμπορικό στατιστικό πακέτο, STATISTICA 7.0 Το RSM είναι μια τεχνική εμπειρικής στατιστικής μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται για ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας ποσοτικά δεδομένα που λαμβάνονται από σωστά σχεδιασμένα πειράματα για την επίλυση εξισώσεων πολλαπλών μεταβλητών ταυτόχρονα (Prakash Maran et al., 2013).

Στη συνέχεια, ο πειραματικός σχεδιασμός Box Behnken Design χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό των πειραμάτων. Οι παράμετροι της διαδικασίας (ανεξάρτητες μεταβλητές) που επιλέχθηκαν για τη βελτιστοποίηση είναι η συγκέντρωση της μαλτοδεξτρίνης (X_1), η συγκέντρωση της ολιγοφρουκτόζης (X_2), η θερμοκρασία (X_3) και ο χρόνος ώσμωσης (X_4) ως βασικότερες παράμετροι της διαδικασίας. Οι τιμές κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής είναι X_1 :10-20-30%, X_2 : 20-30-40%, X_3 : 30-40-50° C και X_4 : 40-60-80λεπτά (το τελευταίο με βάση τα αναλυτικά κινητικά πειράματα κατά τη διάρκεια της ώσμωσης, συνολικής διάρκειας 120 λεπτών).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία RSM, για κάθε μετρούμενη απόκριση της ωσμωτικής διαδικασίας (% υγρασία, WL, SG, μεταβολή φωτεινότητας, μεταβολή συνολικού χρώματος, σκληρότητα δειγμάτων και °Brix του ωσμωτικού διαλύματος) χρησιμοποιήθηκε μια πολυωνυμική εξίσωση δεύτερου βαθμού για να προσδιορισθούν οι αλληλεπιδράσεις των παραμέτρων κατά την διάρκεια της ώσμωσης. Η εξίσωση αυτή περιγράφει τις αποκρίσεις Y ως συνάρτηση των παραμέτρων της διεργασίας (X_1 - X_2 - X_3 - X_4).

$$Y = a_0 + \sum a_i X_i + \sum a_{ii} X_i^2 + \sum a_{ij} X_i X_j$$

Όπου:

a_0 : είναι η σταθερά, a_i οι γραμμικές (α' βαθμού) και a_{ii} οι β' βαθμού και a_{ij} οι συντελεστές αλληλεπίδρασης των παραγόντων. Η εξίσωση περιλαμβάνει $p = [(4+1)(4+2)]/2 = 15$ παραμέτρους προς προσδιορισμό που αντιστοιχούν στις κύριες επιδράσεις (a_1, a_2, a_3), στους συντελεστές για την επίδραση στο β' βαθμό (a_{11}, a_{22}, a_{33}) και τους συντελεστές για την αλληλεπίδραση μεταξύ δύο παραγόντων (a_{ij}). Εφόσον

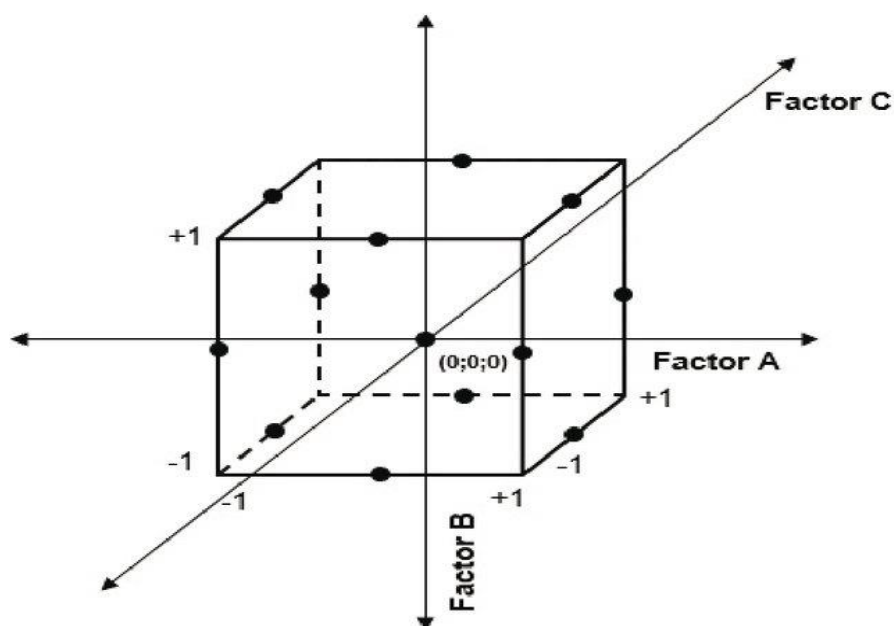
για τη στατιστική αυτή μελέτη απαιτούνται τρία επίπεδα τιμών που να ισαπέχουν, ως πειραματικός σχεδιασμός επιλέχθηκε ο κεντρικός σχεδιασμός, ο οποίος απαιτεί τη διεξαγωγή 27 σειρών πειραμάτων, όπως φαίνεται από τον ακόλουθο σχήμα και το σχήμα του σχεδιασμού Box–Behnken.

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πειραματικός σχεδιασμός Box–Behnken.

Πίνακας 5.1. Κωδικοποιημένες τιμές των παραμέτρων της διεργασίας και ο πειραματικός σχεδιασμός, σύμφωνα με το πρότυπο Box Behnken design.

Παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης	Συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης(%)	Συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης(%)	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος ώσμωσης (min)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
High	30	40	50	80	1	1	1	1
Center	20	30	40	60	0	0	0	0
Low	10	20	30	40	-1	-1	-1	-1
Standard order	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄				
1	-1	1	0	0				
2	-1	0	0	-1				
3	0	-1	-1	0				
4	0	0	0	0				
5	-1	0	0	1				
6	1	0	1	0				
7	1	0	-1	0				
8	-1	0	-1	0				
9	0	1	0	1				
10	0	1	-1	0				
11	0	1	0	-1				
12	-1	-1	0	0				
13	0	0	1	1				
14	1	1	0	0				
15	1	-1	0	0				
16	0	0	-1	1				
17	0	-1	0	1				
18	0	0	0	0				
19	0	0	1	-1				
20	0	-1	0	-1				
21	0	1	1	0				
22	0	-1	1	0				

23	-1	0	1	0
24	1	0	0	-1
25	0	0	0	0
26	0	0	-1	-1
27	1	0	0	1



Εικόνα 24. Σχήμα πειραματικού σχεδιασμού Box–Behnken.

Ο πειραματικός σχεδιασμός Box–Behnken, η κατασκευή των πολυωνυμικών εξισώσεων β' βαθμού και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας βάσει των επιλεγμένων κριτηρίων έγινε με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου Minitab® (DOE-Response Surface application/ Desirability Functions).

5.4 Εφαρμογή της Ξήρανσης με Θερμό Αέρα

Στη συνέχεια τα δείγματά μας, τα οποία είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση για 80 λεπτά (με βάση τις βέλτιστες συνθήκες ώσμωσης, όπως υπολογίστηκαν με βάση την εφαρμογή της μεθοδολογίας RSM, σε συνδυασμό με τα κριτήρια που επιλέχθηκαν στις συναρτήσεις επιθυμητότητας (desirability functions) ξηράνθηκαν με ρεύμα θερμού αέρα σε ξηραντήρα (Tray Drier, armfield) (Εικ. 25) σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 50, 60

και 70 °C για 4 ώρες με ροή αέρα 1m/s. Παράλληλα, σε ξήρανση υποβλήθηκαν και νωπά δείγματα (control) ώστε να μπορεί να γίνει η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων όσον αφορά τη μείωση του βάρους και τη μεταβολή της ενεργότητας ύδατος a_w .



Εικόνα 25. Ξηραντήρας εργαστηρίου.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε γυάλινα τρυβλία, ζυγίστηκαν και μεταφέρθηκαν στο εσωτερικό του ξηραντήρα. Προκειμένου να προσδιορίζεται κάθε φορά η απώλεια υγρασίας κατά την ξήρανση, τα τρυβλία ζυγίζονταν πριν την έναρξη της διαδικασίας και κατά τη διάρκεια αυτής. Έτσι, από το μικτό βάρος και γνωρίζοντας το αρχικό βάρος του δείγματος, αλλά και την αρχική υγρασία του, ήταν δυνατός ο προσδιορισμός της υγρασίας και της a_w των δειγμάτων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Το βάρος καταγραφόταν σε ζυγό (Εικ. 22) κάθε 10 λεπτά για την πρώτη ώρα, κάθε 15 λεπτά για τις επόμενες 2 ώρες και στη συνέχεια κάθε 30 λεπτά μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Αντίστοιχα, ο προσδιορισμός της ενεργότητας ύδατος γινόταν με τη βοήθεια του αντίστοιχου οργάνου (Εικ. 16) σε 30, 60, 120, 180 και 240 λεπτά.

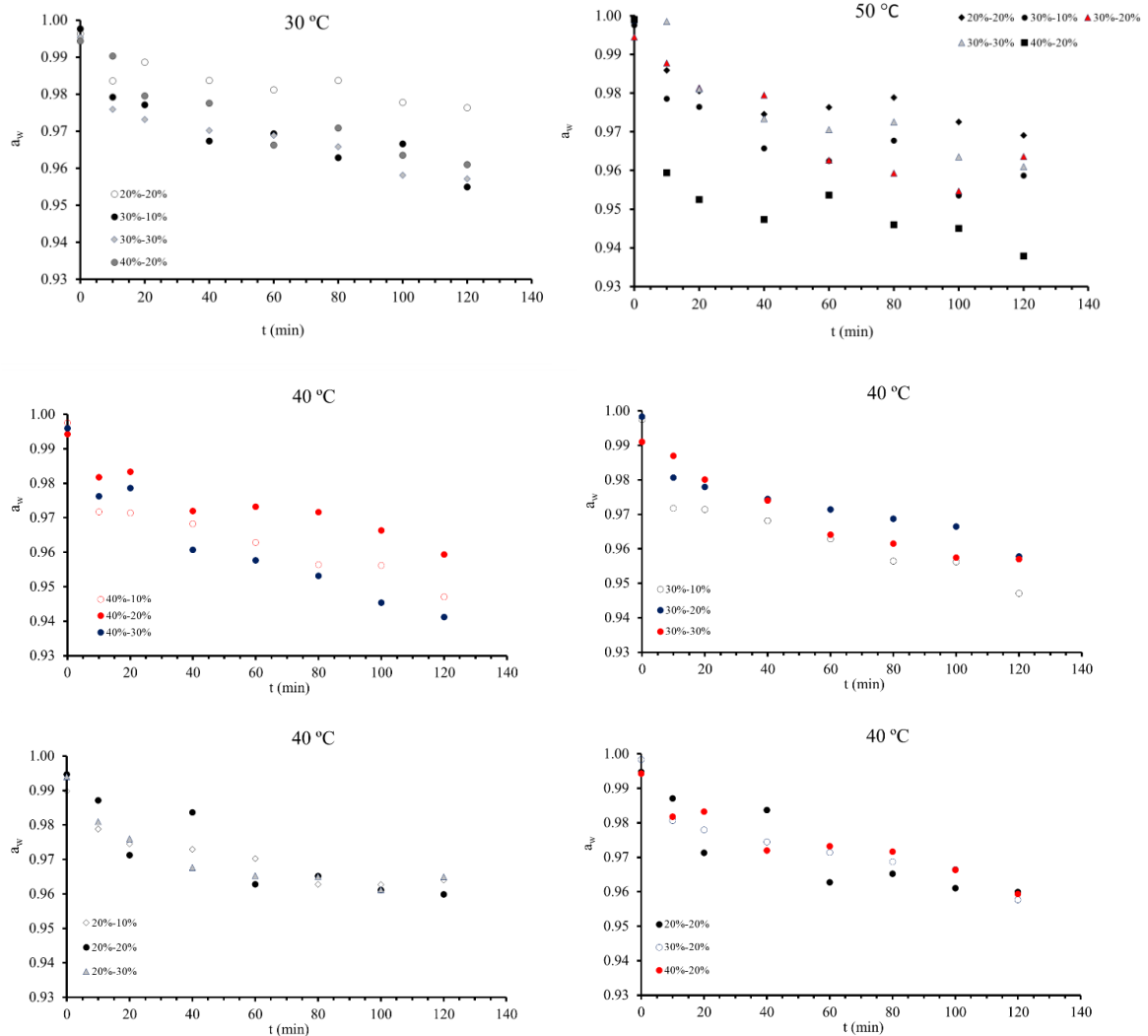
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.1 Κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε παραπροϊόντα του μανιταριού *Pleurotus ostreatus*

Η πρώτη φάση των πειραμάτων περιλαμβάνει την κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε παραπροϊόντα μανιταριών του είδους *Pleurotus ostreatus*. Κατά την πειραματική διαδικασία επιλέχθηκαν δύο εναλλακτικά ωσμωτικά υλικά και χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές συγκεντρώσεις ολιγοφρουκτόζης (20%, 30%, 40% κ.β.) και μαλτοδεξτρίνης (10%, 20%, 30% κ.β.), ενώ η ώσμωση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες 30-40-50 °C για συνολική διάρκεια 120 λεπτών. Κατά τη διάρκεια του χρόνου αυτού, προσδιορίστηκαν στα δείγματα των μανιταριών οι τιμές της ενεργότητας ύδατος (a_w), της απώλειας ύδατος (WL), της πρόσληψης διαλυτών στερεών (SG), αλλά και οι μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του χρώματος και της υφής. Επιπλέον, προσδιορίστηκε στο ωσμωτικό διάλυμα η μεταβολή των διαλυτών στερεών (°Brix), προκειμένου να επιβεβαιωθεί ότι δεν γινόταν σημαντική αραιώση κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Σκοπός του α' μέρους της μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών της διεργασίας, δηλαδή τα επιλεγμένα ωσμωτικά μέσα (ολιγοφρουκτόζη και μαλτοδεξτρίνη), η θερμοκρασία και ο χρόνος στις παραμέτρους μεταφοράς μάζας και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων. Επειδή οι ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν τέσσερις, σε τρία τουλάχιστον επίπεδα τιμών, γεγονός που συνεπάγεται μεγάλο αριθμό πειραμάτων για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, χρησιμοποιήθηκε ο πειραματικός σχεδιασμός Box Behnken και τελικά πραγματοποιήθηκαν 27 πειράματα για το συνολικό χρόνο των 120 λεπτών.

Σκοπός ήταν στη συνέχεια να βρεθούν, με τη βοήθεια της μεθοδολογίας RSM και της προσέγγισης των συναρτήσεων επιθυμητότητας (desirability functions), οι βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας των παραπροϊόντων προς παραγωγή προϊόντος ενδιάμεσης υγρασίας (με χαμηλή a_w , και υψηλή διατήρηση του αρχικού χρώματος που θα ακολουθήσει ξήρανση σε ρεύμα αέρα), ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα τσιπς, ως τελικό προϊόν.

6.1.1 Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



Γράφημα 6.1. Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C. Στις λεζάντες, η πρώτη συκέντρωση αφορά στην ολιγοφρουκτόζη και η δεύτερη στη μαλτοδεξτρίνη.

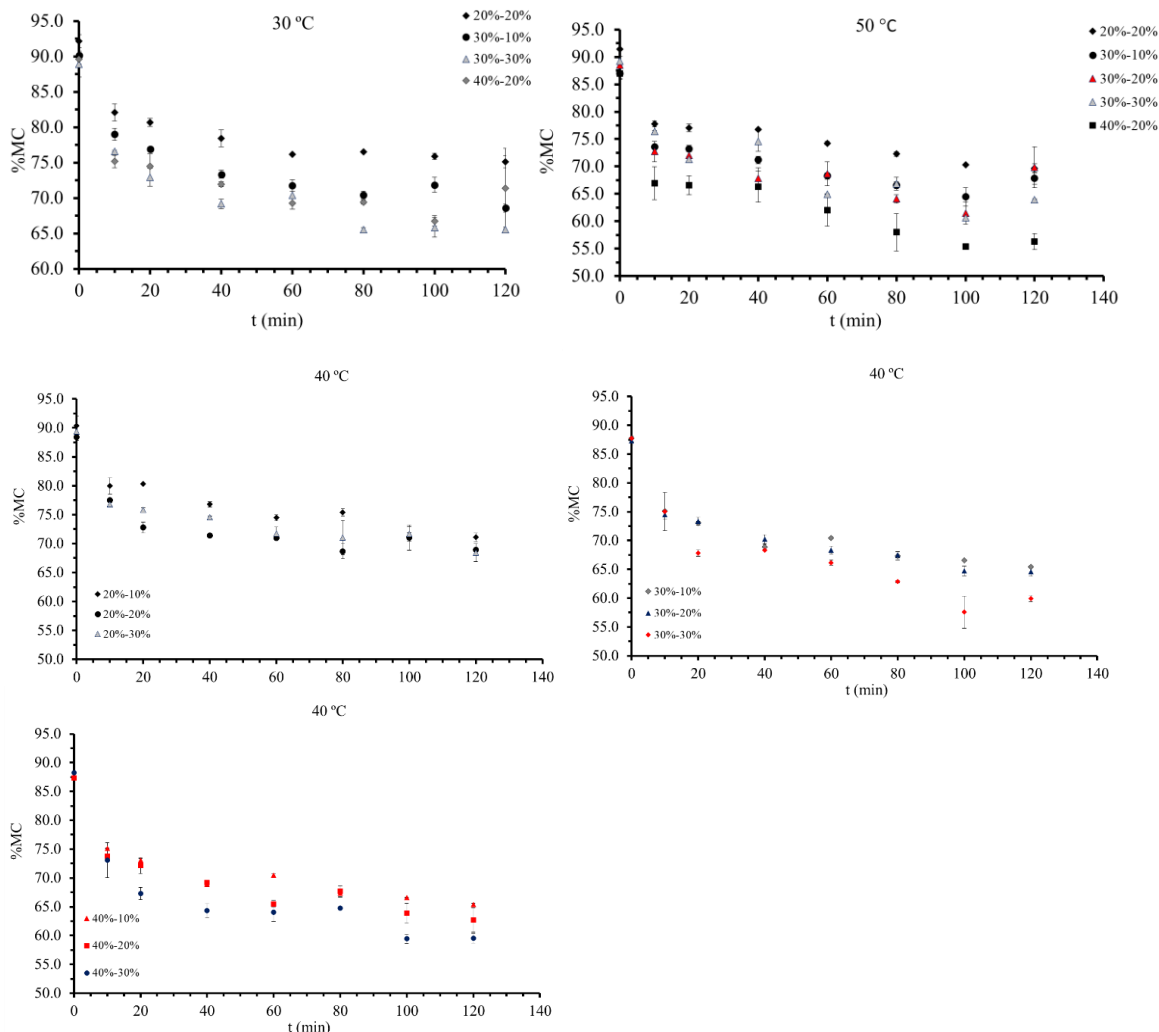
Στα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρούμε σημαντική ελάττωση της ενεργότητας ύδατος μέχρι τα πρώτα 20 λεπτά, ενώ στην συνέχεια ο ρυθμός μείωσης είναι ηπιότερος. Στις περισσότερες συνθήκες του πειράματος, παρατηρείται μια τάση για εξισορρόπηση της ενεργότητας στα 80-100 λεπτά, καθώς επέρχεται η ισορροπία των συγκεντρώσεων των ωσμωτικών μέσων στο εξωτερικό του τροφίμου. Επομένως, ενδέχεται να μην υπάρχει πια η κινητήρια δύναμη (διαφορά συκέντρωσης εντός και εκτός τροφίμου), με αποτέλεσμα η ώσμωση να επιβραδύνεται πολύ. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν

και οι Falade et al. (2007), Singh et al. (2007) και Bchir et al. (2011) κατά τη μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης καρπουζιού, καρότου και σπόρων ροδιού αντίστοιχα.

Τα δείγματα που ωσμώθηκαν στις πιο έντονες συνθήκες (40%-20% στους 50°C και 40%-30% στους 40°C), εμφανίζουν και εντονότερο ρυθμό μείωσης της ενεργότητας ύδατος. Επίσης, εξετάζοντας την επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων των ωσμωτικών υλικών (στα εύρη που μελετήθηκαν), φαίνεται η σημαντικότερη επίδραση της ολιγοφρουκτόζης, ειδικά στις υψηλότερες θερμοκρασίες της ώσμωσης, ενώ η διαφορετική συγκέντρωση της μαλτοδεξτρίνης φαίνεται να επηρεάζει πολύ λιγότερο. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και από σχετικές πειραματικές μελέτες (Phisut, 2012; Matusek et al., 2008) που παρατηρήθηκε ότι ωσμωτικά μέσα με υψηλό μοριακό βάρος επιφέρουν μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας νερού, άρα και μείωση της a_w .

Παρατηρώντας τα διαγράμματα σε ισοθερμοκρασιακές συνθήκες, συμπεραίνουμε ότι σε σταθερή θερμοκρασία οι συγκεντρώσεις των ωσμωτικών μέσων επηρεάζουν σημαντικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και μείωσης ενεργότητας ύδατος.

6.1.2 Ποσοστό υγρασίας στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



Γράφημα 6.2. Μεταβολή του ποσοστού υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C. Στις λεζάντες, η πρώτη συκέντρωση αφορά στην ολιγοφρουκτόζη και η δεύτερη στη μαλτοδεξτρίνη.

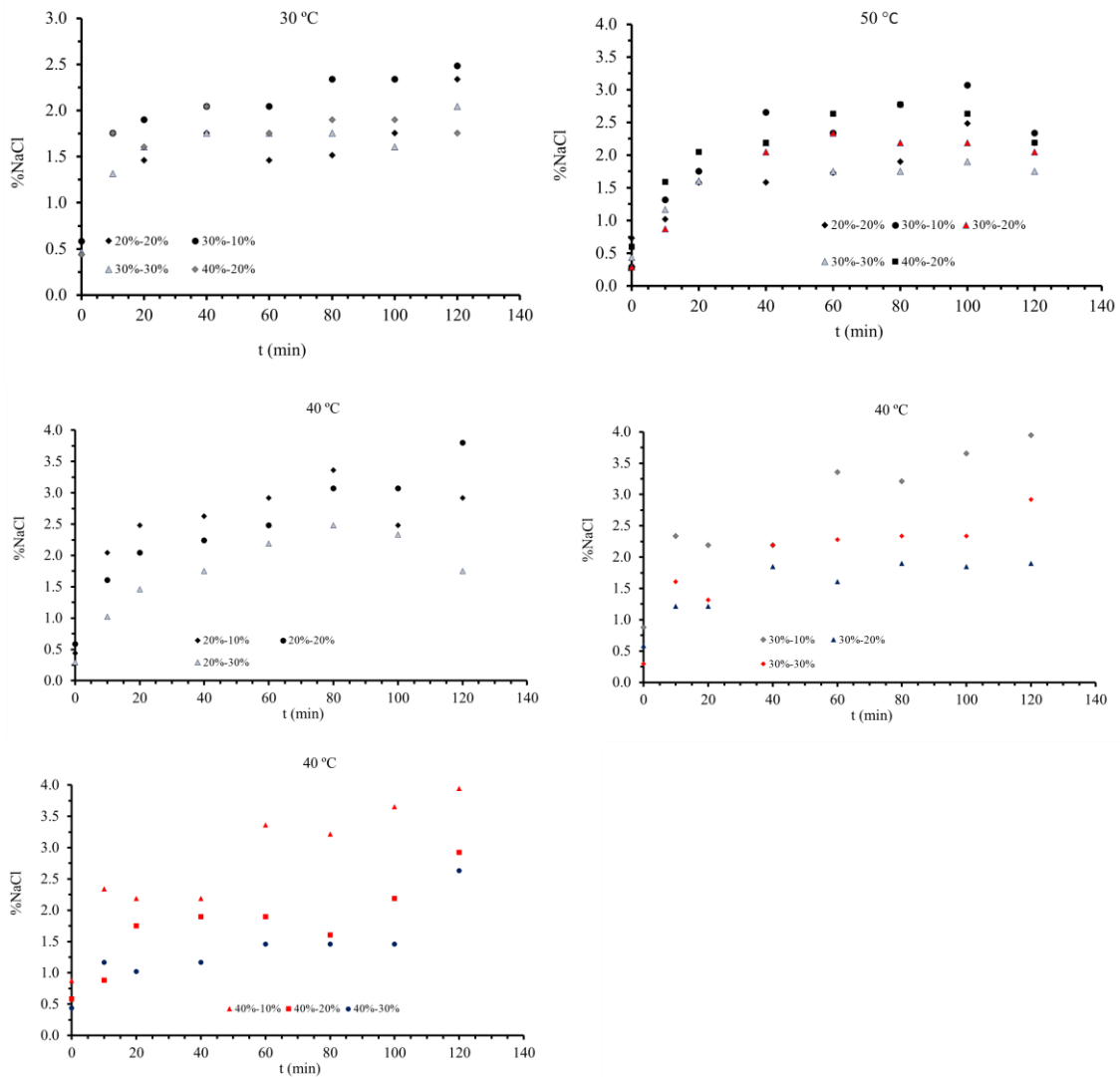
Στα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται ραγδαία μείωση του ποσοστού υγρασίας στα δείγματα μέχρι τα πρώτα 20 λεπτά ενώ στη συνέχεια, και έως τα 80-100 λεπτά υπάρχει ηπιότερη μείωση, μέχρι να επέλθει σταθεροποίηση των τιμών. Το γεγονός αυτό οφείλεται, στην εξισορρόπηση της συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων εκατέρωθεν της μεμβράνης, και έρχεται σε συμφωνία με το ανάλογο εύρημα για την ενεργότητα ύδατος.

Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξε και η Δερμεσονλούογλου (2008) κατά τη

μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης τομάτας, αγγουριού, καρπουζιού και φράουλας. Συγκεκριμένα αναφέρει ότι οι ρυθμοί απώλειας νερού αλλά και πρόσληψης στερεών λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές του στην αρχή της διαδικασίας της ώσμωσης, μειώνονται σταδιακά με την εξέλιξη της διεργασίας και ουσιαστικά προσεγγίζεται μια κατάσταση ισορροπίας όπου τα στερεά υλικά και η περιεχόμενη υγρασία αποκτούν σταθερή τιμή.

Όσον αφορά τα παραπροϊόντα μανιταριού αξίζει να παρατηρηθεί επίσης, ότι στους 50°C, τα δείγματα εμφάνισαν την μεγαλύτερη μείωση στο ποσοστό υγρασίας, φτάνοντας σε ποσοστά κοντά στο 55% (σε υγρή βάση) για τις πιο ακραίες συγκεντρώσεις ωσμωτικών υλικών. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από αντίστοιχες μελέτες (Contreras & Smyral, 1981; Phisut, 2012). Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι οι υψηλές θερμοκρασίες φαίνεται να προάγουν ταχύτερη απώλεια νερού μέσω διόγκωσης και πλαστικοποίησης των κυτταρικών μεμβρανών ενώ το ιξώδες του ωσμωτικού μέσου ελαττώνεται ασκώντας λιγότερη εξωτερική αντίσταση στο ρυθμό μεταφοράς μάζας στην επιφάνεια του προϊόντος. Παράλληλα, η υψηλή θερμοκρασία απελευθερώνει παγιδευμένο αέρα από τον ιστό (σε πορώδη φυτικούς ιστούς) με αποτέλεσμα την πιο αποτελεσματική απομάκρυνση του νερού με την οσμωτική πίεση.

6.1.3 Μεταβολή της % περιεκτικότητας σε NaCl στα δείγματα παραπροϊόντων παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



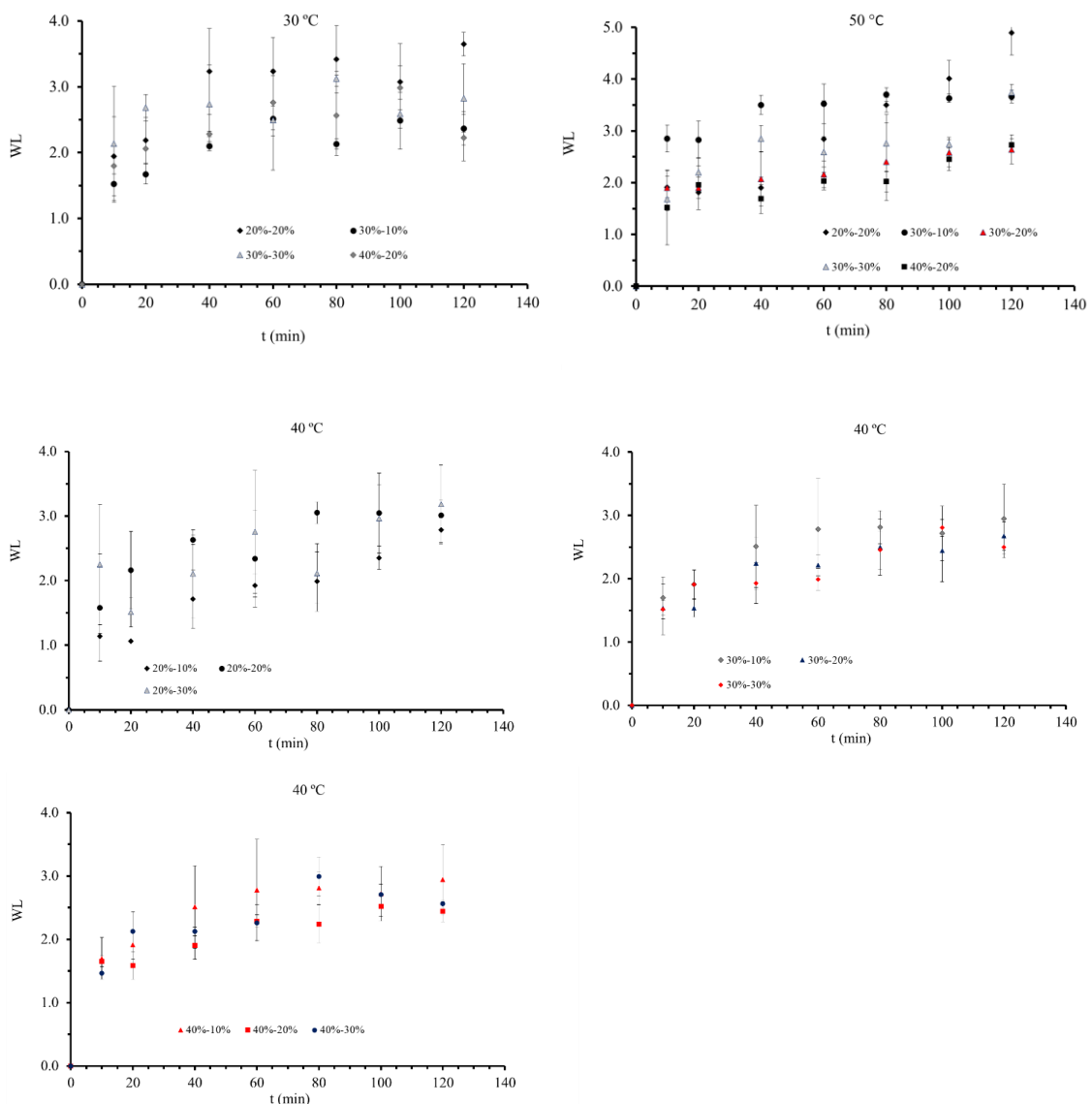
Γράφημα 6.3. Μεταβολή της (%) συγκέντρωσης NaCl κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Η περιεκτικότητα των μανιταριών σε αλάτι σημειώνει μια γρήγορη ανοδική πορεία στα πρώτα 20 λεπτά του πειράματος, ενώ στη συνέχεια η περιεκτικότητα σε αλάτι τείνει να αποκτήσει μια σταθερή τιμή. Η αύξηση της συγκέντρωσης τόσο της μαλτοδεξτρίνης όσο και της ολιγοφρουκτόζης, αλλά και η συνολική αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την απορρόφηση αλατιού, καθώς οι τιμές που καταγράφηκαν δεν εμφανίζουν σημαντική διαφορά. Αντίστοιχο συμπέρασμα αναφέρεται και στην μελέτη των Telis et al. (2004) για τους συντελεστές διάχυσης κατά

την ωσμωτική αφυδάτωση τομάτας σε τριμερή διαλύματα (σακχαρόζη-NaCl-νερό) καθώς η συγκέντρωση σακχαρόζης δεν φάνηκε να επιδρά στο κέρδος NaCl.

Ακόμη, παρατηρείται ότι τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στους 30°C εμφάνισαν μια ελαφρώς μικρότερη πρόσληψη αλατιού σε σύγκριση με εκείνα που ωσμώθηκαν στους 50 °C, με εκείνα που ωσμώθηκαν στους 40°C να εμφανίζουν τις μέγιστες τελικές τιμές άλατος (έως και 3,9%).

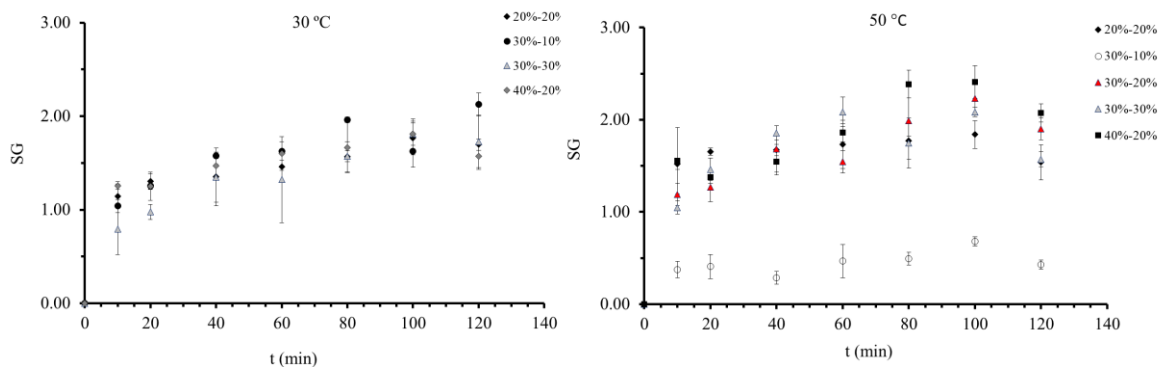
6.1.4. Απώλεια νερού (WL) στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*

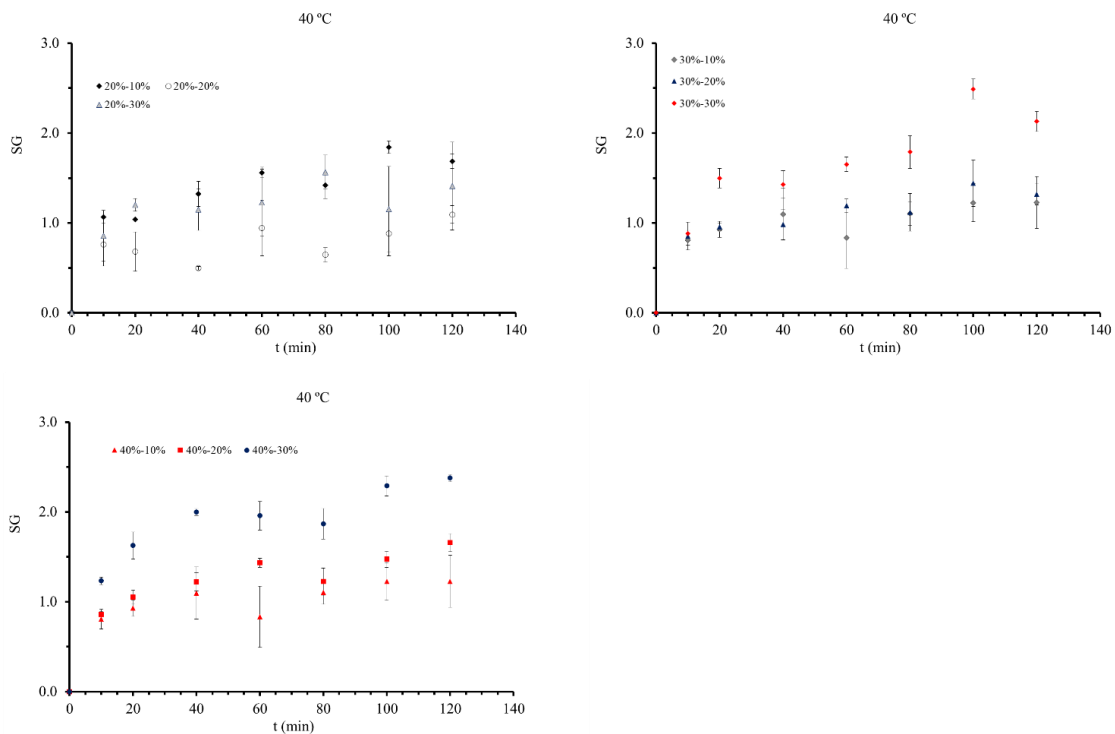


Γράφημα 6.4. Μεταβολή της απώλειας νερού (WL) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C. Τα error bars δείχνουν την τυπική απόκλιση μεταξύ των επαναλήψεων.

Στα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν στην απώλεια νερού στα δείγματα παραπροϊόντων, διακρίνουμε όπως και στις προηγούμενες παραμέτρους, την ραγδαία αύξηση των τιμών μέχρι τα πρώτα 20 λεπτά, ενώ κοντά στα 80-100 λεπτά, στις περισσότερες περιπτώσεις αποκαθίσταται ισορροπία. Όσον αφορά στις τιμές της ισορροπίας, η μέγιστη απώλεια νερού παρουσιάζεται στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στους 50°C, καθώς με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο ρυθμός απώλειας νερού λόγω της μείωσης του ιξώδους του ωσμωτικού μέσου (Khan, 2012; Tortoe, 2010). Αντίθετα, στα πειράματα όπου το ωσμωτικό διάλυμα είχε τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (συνολικά, συμπεριλαμβανομένης τόσο της ολιγοφρουκτόζης όσο και της μαλτοδεξτρίνης), παρατηρούνται σχετικά χαμηλές τιμές απώλειας νερού. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στο ότι η χρήση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, όπως συμβαίνει και στην παρούσα πειραματική διαδικασία, παρεμποδίζει την επαφή μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος προκαλώντας αντίστοιχα μείωση του ρυθμού μεταφοράς μάζας (Manroudīs et al., 1998; Phisut, 2012).

6.1.5 Πρόσληψη στερεών (SG) στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*

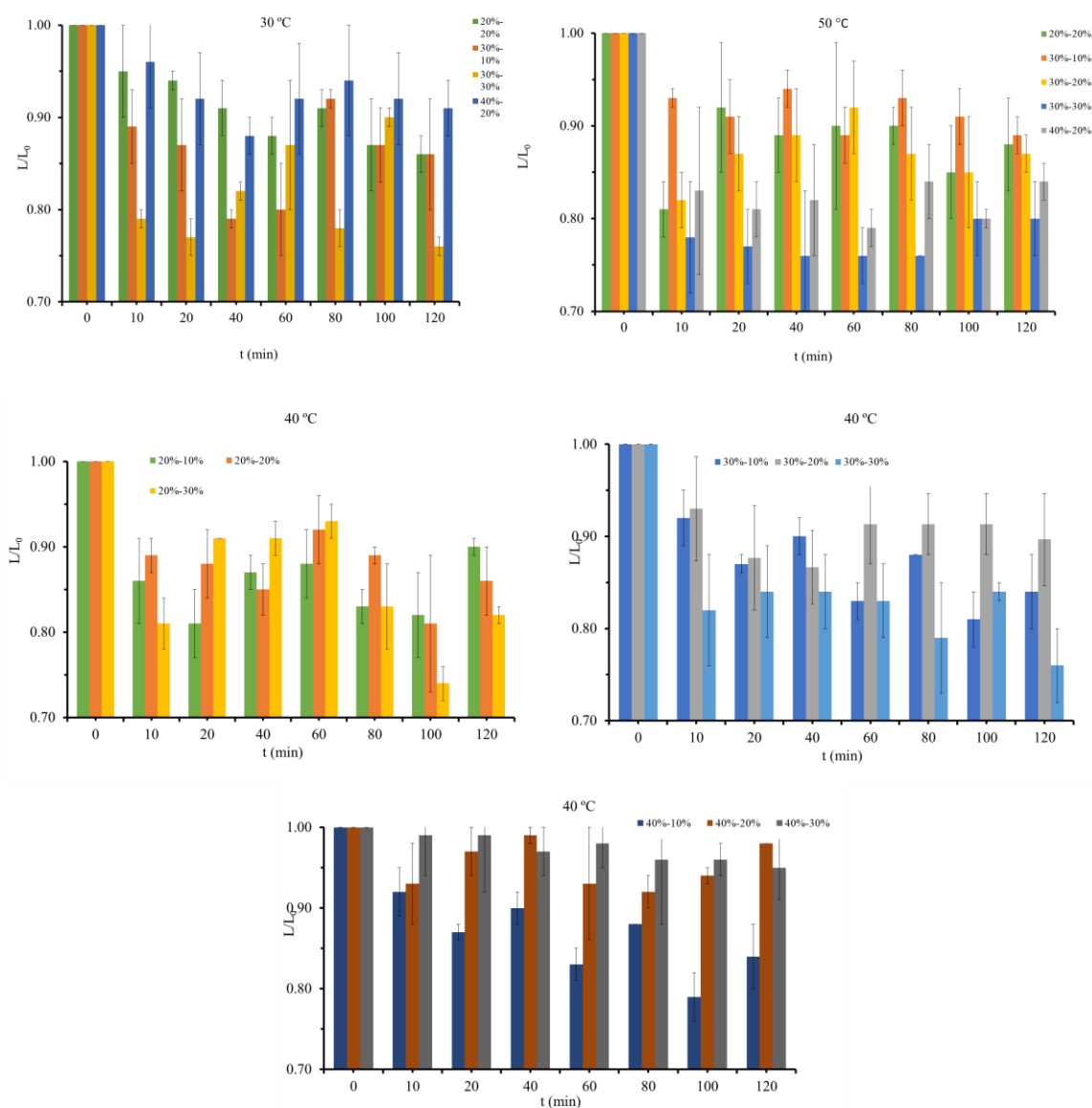




Γράφημα 6.5. Μεταβολή της πρόσληψης στερεών (SG) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C. Τα error bars δείχνουν την τυπική απόκλιση μεταξύ των επαναλήψεων.

Και στην περίπτωση της πρόσληψης στερεών (SG) παρατηρείται απότομη άνοδος στα πρώτα 15-20 λεπτά. Αυτό επιβεβαιώνεται από πολλές σχετικές μελέτες (Kowalska & Lenart, 2001; Singh et al., 2007; Tortoe, 2010). Εν αντιθέσει, μετά τα 80-100 λεπτά το σύστημα (στις περισσότερες περιπτώσεις) φτάνει σε μια ισορροπία και έχει προσλάβει τη μέγιστη ποσότητα στερεών, που ποικίλει όμως ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και τη συγκέντρωση των ωσμωτικών υλικών. Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι η αύξηση της συνολικής συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων, προκαλεί σημαντική αύξηση της τιμής ισορροπίας της πρόσληψης στερεών, πιθανότατα λόγω αυξημένης ωσμωτικής πίεσης.

6.1.6 Μεταβολή της φωτεινότητας (L/L₀) στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



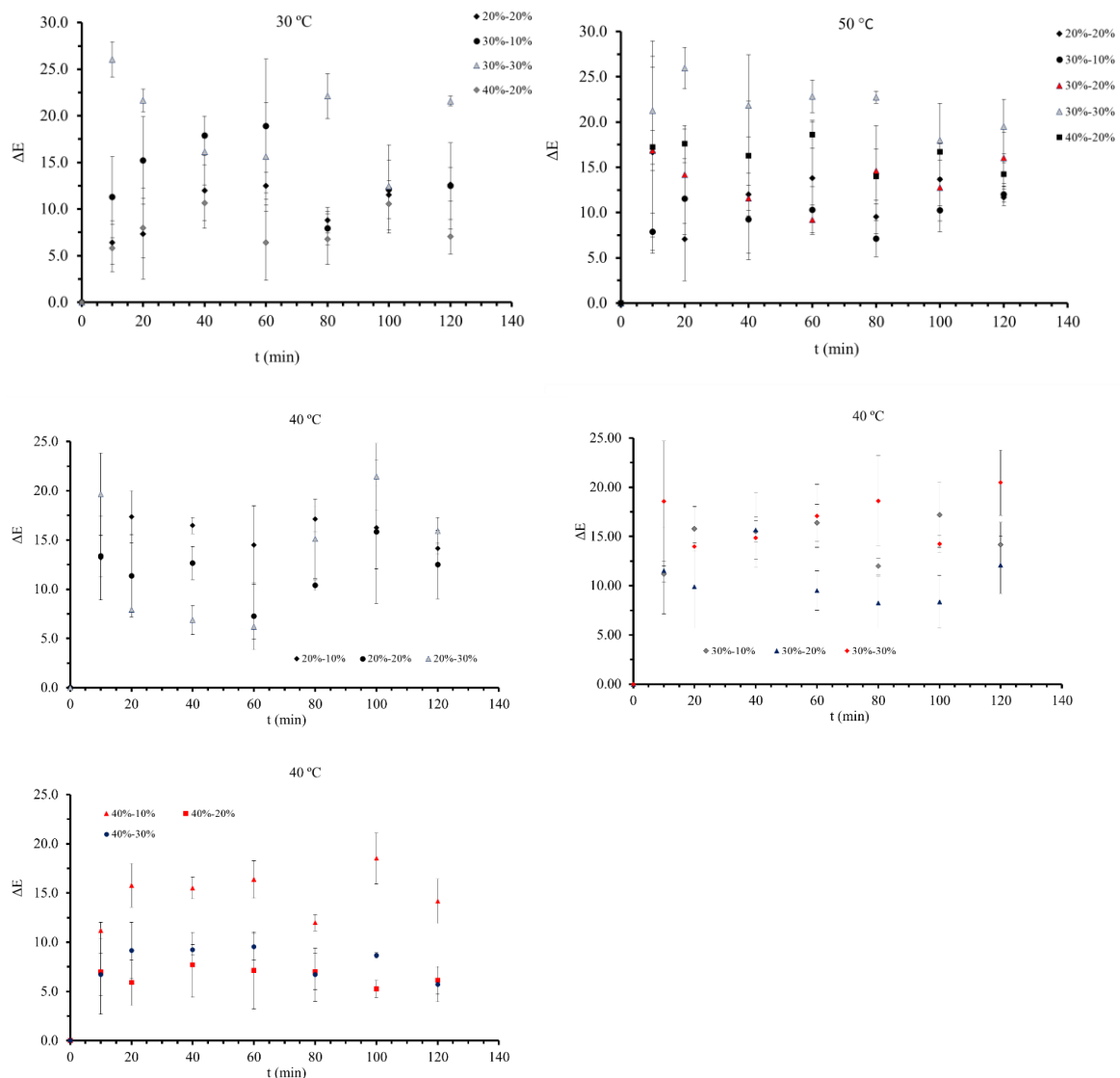
Γράφημα 6.6. Μεταβολή της φωτεινότητας (L/L₀) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C. Τα error bars δείχνουν την τυπική απόκλιση μεταξύ των επαναλήψεων.

Παρά τις σημαντικές αυξομειώσεις που παρατηρούνται στις περισσότερες συνθήκες, πρέπει να σημειωθεί ότι σε καμία περίπτωση, ακόμα και μετά από 120 λεπτά διεργασίας, δεν μετρήθηκε μείωση της φωτεινότητας, πάνω από 25% (η παραμένουσα φωτεινότητα κυμάνθηκε σε ποσοστά πάνω από 75%). Αυτό αποδεικνύει τον ήπιο χαρακτήρα της διεργασίας που επιλέχθηκε. Οι σημαντικές αυξομειώσεις (όπως

αποτυπώνονται και από το μεγάλο σφάλμα των error bars) οφείλονται στην σημαντική ανομοιομορφία που παρουσίαζε η πρώτη ύλη, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη λήψης μετρήσεων σε περισσότερα σημεία του δείγματος, και σε μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων. Μελετώντας τα διαγράμματα των στηλών που παρατίθενται, φαίνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας (στα εύρη που μελετήθηκαν) έπαιξε μικρότερο ρόλο, σε σχέση με τη συνολική συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι τα πιο συμπυκνωμένα διαλύματα «προστάτευσαν» πιο αποτελεσματικά τη φωτεινότητα των δειγμάτων, ειδικά στις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Σύμφωνα και με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, η ωσμωτική αφυδάτωση επιδρά ως ένα βαθμό στην ελάττωση της φωτεινότητας των δειγμάτων. Αναφέρεται, ωστόσο, ότι «προστατεύει» τα δείγματα από περαιτέρω μείωση της φωτεινότητας κατά την ακολουθούμενη διεργασία της ξήρανσης. Ωσμωμένα δείγματα μήλου και μπανάνας που υποβλήθηκαν σε ξήρανση με αέρα φαίνεται ότι διατήρησαν το χρώμα τους ανέπαφο εν αντιθέσει με νωπά δείγματα (μη ωσμωμένα) που μαύρισαν αισθητά (Krokida et al., 2000).

6.1.7 Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



Γράφημα 6.7. Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C. Τα error bars δείχνουν την τυπική απόκλιση μεταξύ των επαναλήψεων.

Και εδώ, παρατηρούνται αρκετές αυξομειώσεις, που οφείλονται στην σημαντική ανομοιομορφία που παρουσίαζε η πρώτη ύλη. Ωστόσο, η αύξηση της θερμοκρασίας, και ιδιαίτερα η ώσμωση στην υψηλότερη θερμοκρασία των 50 °C φάνηκε να επηρεάζει περισσότερο τη συνολική μεταβολή χρώματος, με αλλαγή της απόχρωσης του δείγματος (μεταβολή προς το κίτρινο) και όχι της φωτεινότητας του. Επιπλέον, η υψηλή συνολική συγκέντρωση (κοντά στο 60%) του ωσμωτικού διαλύματος φαίνεται να δρα προστατευτικά στη μεταβολή του χρώματος.

Τα αποτελέσματα αυτά της μέτρησης όλων των παραμέτρων (L,a,b) των δειγμάτων συνάδουν και με την οπτική εικόνα των δειγμάτων, όπως αυτή απεικονίστηκε κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διαδικασίας (βλ. παρακάτω ενδεικτικές φωτογραφίες). Ακολουθούν φωτογραφίες από διάφορες συνθήκες ώσμωσης.



Εικόνα 26. Ενδεικτικές φωτογραφίες δειγμάτων τεμαχισμένων παραπροϊόντων μανιταριού κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε διαφορετικές θερμοκρασίες και με διαφορετικές συγκεντρώσεις ολιγοφρουκτόζης και μαλτοδεξτρίνης, ως ωσμωτικού μέσου.

6.1.8 Μεταβολή της σκληρότητας (f/f_0) στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*

Πίνακας 6.1. Μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων, μετά από 120 λεπτά ωσμωτικής αφυδάτωσης, σε διαφορετικές θερμοκρασίες, και διαφορετικές συγκεντρώσεις ωσμωτικών υλικών

Θερμοκρασία (°C)	% ολιγοφρουκτόζη	% μαλτοδεξτρίνη	f/f_0
30	20	20	1.00
30	30	10	0.32
30	30	30	0.84
30	40	20	0.55
40	20	10	0.77
40	20	20	0.28
40	20	30	1.00
40	30	10	0.80
40	30	20	0.73
40	30	30	0.10
40	40	10	0.80
40	40	20	0.30
40	40	30	0.43
50	20	20	0.60
50	30	10	0.73
50	30	20	1.00
50	30	30	0.15
50	40	20	0.11

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, τα παραπάνω αποτελέσματα που αφορούν την μεταβολή της σκληρότητας εμφανίζουν προφανή δυσκολία εξαγωγής κάποιου ασφαλούς συμπεράσματος, λόγω των σημαντικών αυξομειώσεων. Οι αυξομειώσεις αυτές, οφείλονται στην ανομοιομορφία της πρώτης ύλης και στην δυσκολία κοπής ομοιόμορφων και κατάλληλων προς επεξεργασία δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση, η υψηλή θερμοκρασία φαίνεται να οδηγεί σε μείωση της σκληρότητας των δειγμάτων.

6.2 Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης παραπροϊόντων μανιταριού *Pleurotus ostreatus* με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken

Με βάση την μεθοδολογία Box – Behnken, η οποία αναλύθηκε προηγουμένως, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με διαφορετικές συνθήκες κάθε φορά και τα αποτελέσματά τους επεξεργάστηκαν με την βοήθεια του Minitab® (DOE-Response Surface application). Με αυτό τον τρόπο, προέκυψαν οι οι πολυωνυμικές εξισώσεις για την περιγραφή των αποκρίσεων, ως συναρτήσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών, των οποίων οι συντελεστές καταγράφονται στον πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2. Κωδικοποιημένες τιμές των παραμέτρων της διεργασίας και ο πειραματικός σχεδιασμός, σύμφωνα με το πρότυπο Box Behnken design.

Παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης	Συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης(%)	Συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης(%)	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος ώσμωσης (min)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
High	30	40	50	80	1	1	1	1
Center	20	30	40	60	0	0	0	0
Low	10	20	30	40	-1	-1	-1	-1
Standard order	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄				
1	-1	1	0	0				
2	-1	0	0	-1				
3	0	-1	-1	0				
4	0	0	0	0				
5	-1	0	0	1				
6	1	0	1	0				
7	1	0	-1	0				
8	-1	0	-1	0				
9	0	1	0	1				
10	0	1	-1	0				
11	0	1	0	-1				
12	-1	-1	0	0				
13	0	0	1	1				
14	1	1	0	0				
15	1	-1	0	0				
16	0	0	-1	1				

17	0	-1	0	1
18	0	0	0	0
19	0	0	1	-1
20	0	-1	0	-1
21	0	1	1	0
22	0	-1	1	0
23	-1	0	1	0
24	1	0	0	-1
25	0	0	0	0
26	0	0	-1	-1
27	1	0	0	1

Στον Πίνακα αυτό σημειώνονται και οι συντελεστές των όρων (με κόκκινο χρώμα) που είναι στατιστικά σημαντικοί (σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), όπως υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος STATISTICA 12.0. Οι πολυωνυμικές αυτές εξισώσεις μας βοηθούν να προβλέψουμε την τιμή των διαφόρων αποκρίσεων, για οποιαδήποτε τιμή των ανεξάρτητων μεταβλητών (θερμοκρασία, συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης και μαλτοδεξτρίνης και χρόνου ώσμωσης), μέσα στα όρια των παραμέτρων που έχουν χρησιμοποιηθεί στον πειραματικό σχεδιασμό.

Πίνακας 6.3. Τιμές των συντελεστών των πολυωνυμικών εξισώσεων των αποκρίσεων με βάση την εξίσωση που μελετήθηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία RSM (χρήση λογισμικού/στατιστικού προγράμματος Minitab και STATISTICA 12.0).

Συντελεστής	% υγρασία	a _w	°Brix	WL	SG	L/Lo	ΔΕ
Σταθερά	141,4016	0,954655	21,69130	10,71614	11,00236	-0,433879	128,4514
α ₁	-1,5887	- 0,000298	-0,16949	-0,37818	-0,31675	0,048490	-3,4957
α ₂	-1,4143	0,002402	0,60528	-0,10403	-0,15937	0,002334	-0,8376
α ₃	-0,9682	0,001916	0,24852	0,0433	-0,20219	0,0270882	-3,3808
α ₄	0,0033	- 0,000467	-0,03526	0,00807	0,01449	0,003544	-0,2228
α ₁₁	0,0237	0,000027	-0,00065	0,00491	0,00264	-0,000400	0,0272
α ₂₂	0,0252	- 0,000008	0,00252	0,00133	0,00217	-0,000001	0,0055
α ₃₃	0,0098	- 0,000064	0,01225	0,00127	0,00031	-0,000551	0,0615
α ₄₄	0,0010	0,000002	0,00021	-0,00002	-0,00018	-0,000009	-0,0000
α ₁₂	-0,0138	- 0,000071	0,00458	0,00038	0,00021	-0,000252	0,0221

α_{13}	0,0091	0,00013	0,00333	-0,00264	0,00389	-0,000366	0,0278
α_{23}	0,0053	0,00000	0,00250	0,00021	0,00166	0,000415	-0,0174
α_{14}	-0,004	-0,000004	0,00064	0,00029	0,00030	-0,000040	0,0030
α_{24}	-0,0009	0,00004	-0,00075	-0,00034	-0,00001	-0,000005	-0,0004
α_{34}	-0,0009	0,00003	-0,0000	0,00015	0,00007	-0,000007	0,0056
R^2	0,836	0,762	0,969	0,782	0,712	0,702	0,814

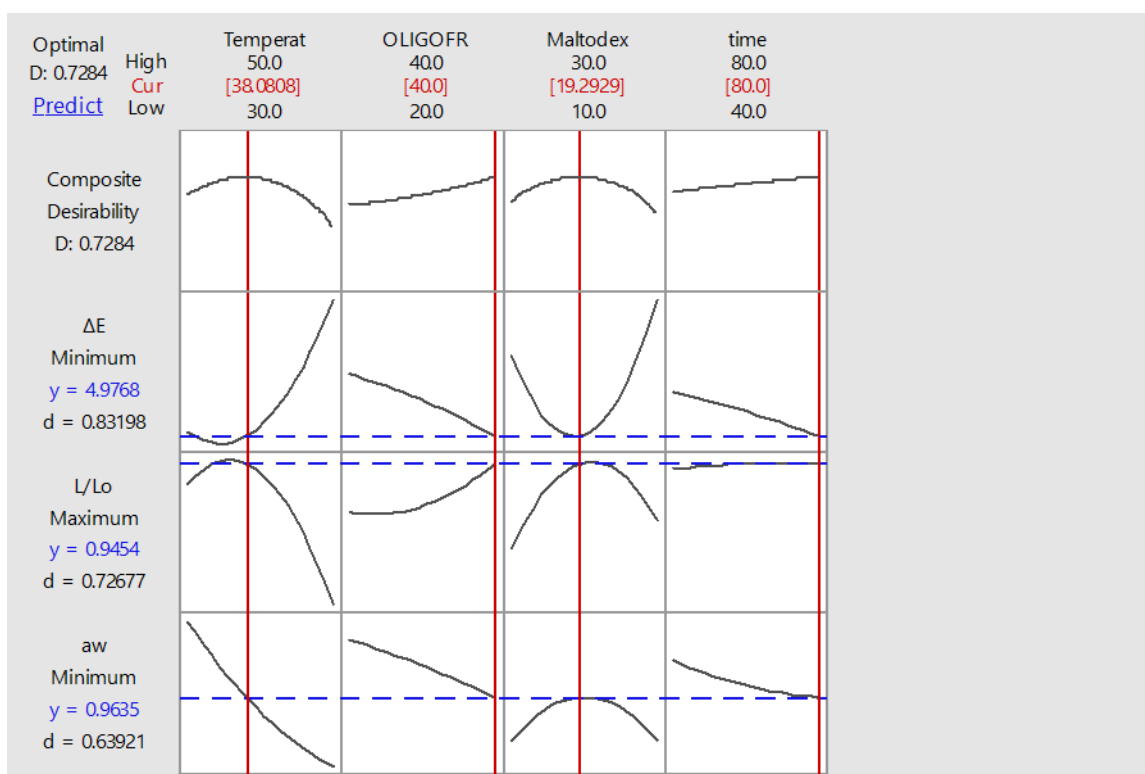
*: με κόκκινο οι συντελεστές με $p < 0.05$, είναι στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

X_1 : Θερμοκρασία, X_2 : Συγκέντρωση ολιγοφρουτόζης (%), X_3 : Συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης (%), X_4 : χρόνος

Με βάση τις εξισώσεις που προέκυψαν, άλλα και τα κριτήρια που επιλέξαμε ώστε να βελτιωθεί η διεργασία (ελάχιστη a_w , μέγιστη διατήρηση συνολικού χρώματος και φωτεινότητας), προβλέφθηκαν οι ιδανικές βέλτιστες συνθήκες εκτέλεσης του πειράματος επαλήθευσης. Οι παράμετροι (θερμοκρασία, συγκέντρωση σακχάρων, χρόνος) ορίστηκαν ως εξής: θερμοκρασία στους 38 °C, συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης 40%, συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 19,3% και διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης 80 λεπτά. Λαμβάνοντας υπόψιν τις προβλεπόμενες τιμές βάση των παραπάνω παραμέτρων και καταγράφοντας τις τιμές που προέκυψαν με το πείραμα επαλήθευσης, δημιουργήσαμε τον συγκεντρωτικό πίνακα σύγκρισης 6.4 των δύο που φαίνεται παρακάτω, ενώ το αντίστοιχο γράφημα βελτιστοποίησης (όπως προέκυψε από το Minitab/Desirability functions) απεικονίζεται στο γράφημα 6.8.

Πίνακας 2.4. Σύγκριση πειραματικών τιμών του πειράματος επαλήθευσης σε συνθήκες που προέκυψαν από τη μεθοδολογία RSM, με τις θεωρητικές – αναμενόμενες τιμές από τις εξισώσεις.

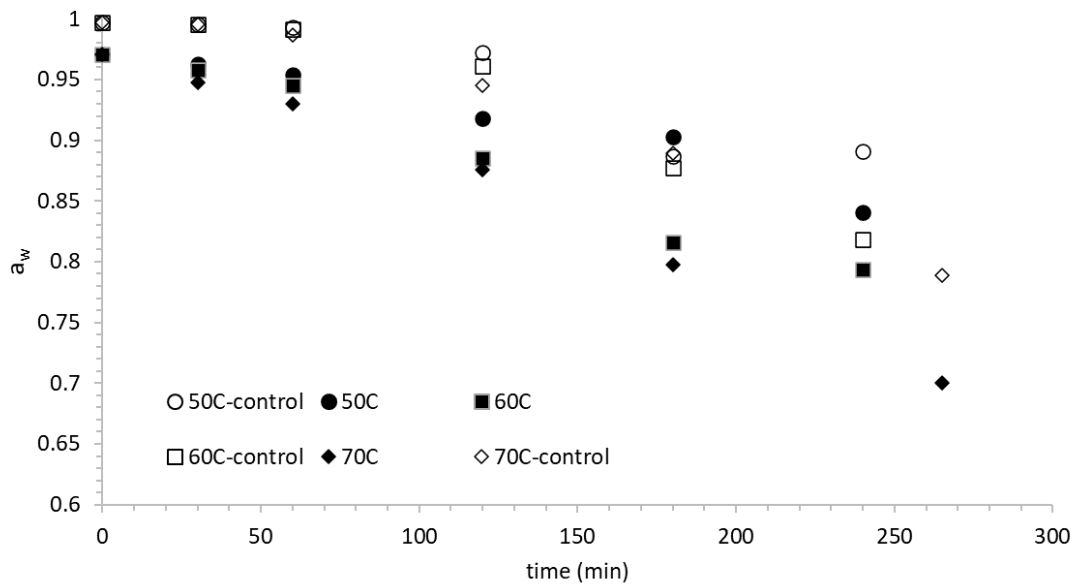
	Αναμενόμενες τιμές	Πειραματικές τιμές	Σφάλμα (%)
a_w	0,9599	0,9705	1,09
WL	2,25	3,29	31,51
SG	1,44	1,68	14,18
ΔE	6,19	9,52	35,00
L/Lo	0,95	0,90	-5,75
NaCl	2,03	2,01	-1,05
Brix	59	61,88	4,65
humidity	64,66	65,24	0,89
f/fo	-0,03	0,58	104,71



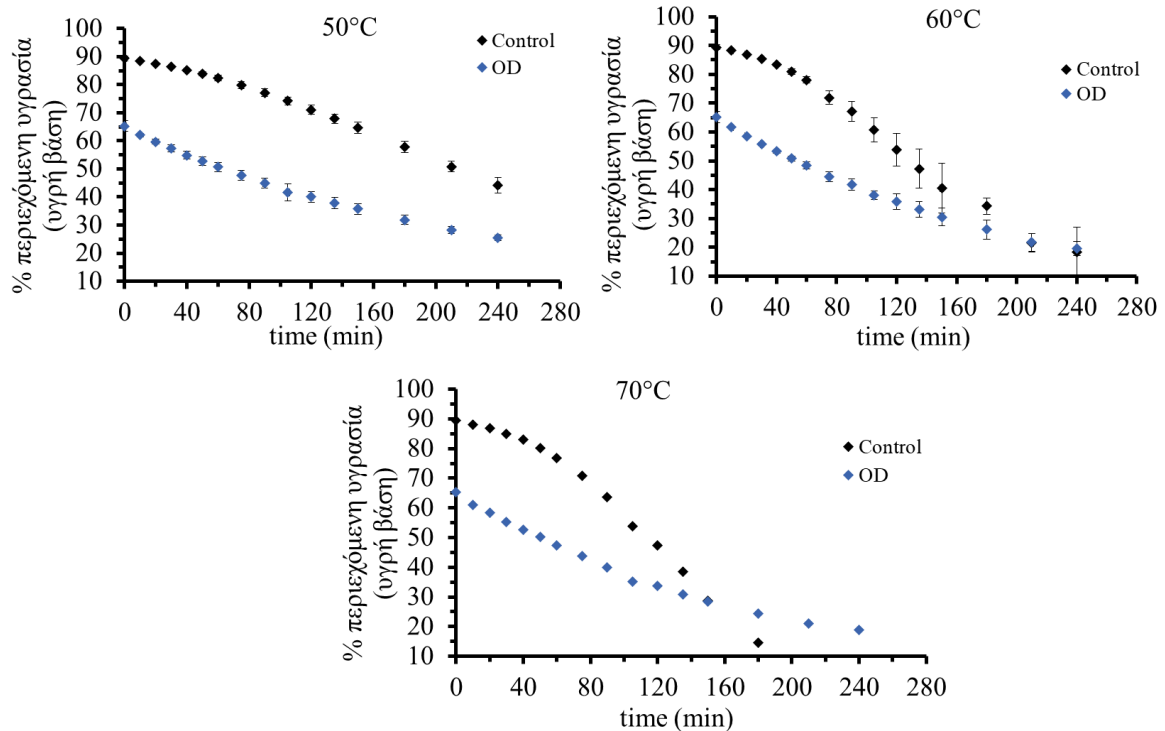
Γράφημα 6.8. Διάγραμμα βελτιστοποίησης παραμέτρων ωσμωτικής αφυδάτωσης, με βάση τα κριτήρια ελαχιστοποίησης ενεργότητας ύδατος και μέγιστης διατήρησης χρώματος.

Παρατηρούμε ότι το (%) σφάλματος των πειραματικών τιμών σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές δεν εμφανίζει κάποια ανησυχητική απόκλιση, πέρα από τον παράγοντα σκληρότητας f/f_0 . Στην απόκλιση του, ο κύριος παράγοντας που ευθύνεται για την μεγάλη διαφορά μεταξύ της προβλεπόμενης και πειραματικής τιμής φαίνεται να είναι η ανομοιομορφία της πρώτης ύλης, αλλά και η μάλλον 'κακή' προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων μας στο πολυώνυμο β' βαθμού. Παρόλα αυτά, οι τιμές κρίνονται σε μεγάλο βαθμό αξιόπιστες, καθώς οι πειραματικές μετρήσεις του πειράματος επαλήθευσης προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις προβλεπόμενες τιμές της μεθοδολογίας RSM.

6.3 Τελικό στάδιο ξήρανσης σε ρεύμα αέρα



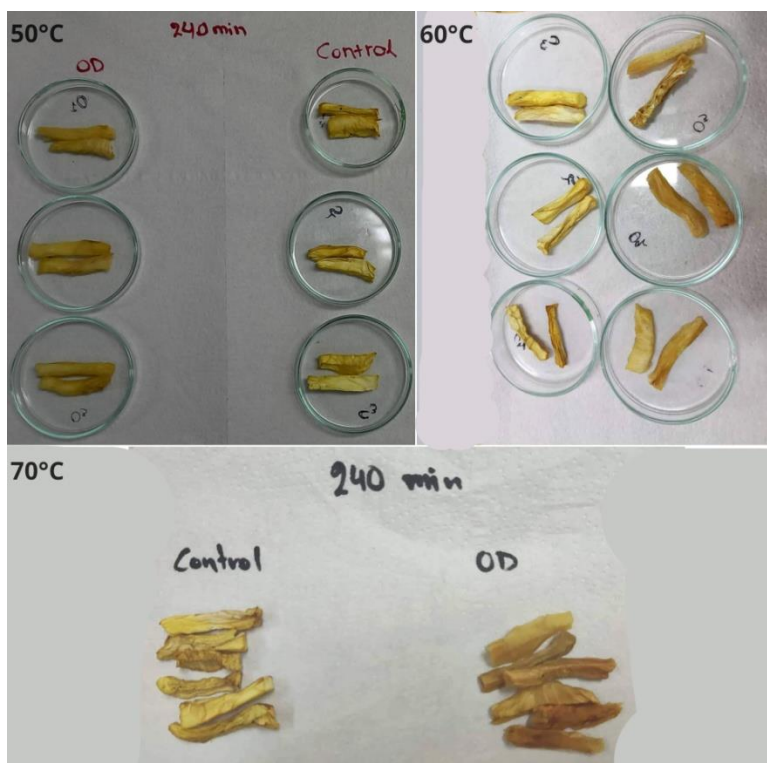
Γράφημα 6.9: Ελάττωση της ενεργότητας ύδατος για τα δείγματα-μάρτυρες (χωρίς την προκατεργασία της ώσμωσης) και για τα ωσμομένα στις βέλτιστες συνθήκες δείγματα στις 3 θερμοκρασίες ξήρανσης.



Γράφημα 6.10. Ελάττωση της % υγρασίας για τα δείγματα-μάρτυρες (χωρίς την προκατεργασία της ώσμωσης) και για τα ωσμομένα στις βέλτιστες συνθήκες δείγματα στις 3 θερμοκρασίες ξήρανσης.

Από τα παραπάνω γραφήματα, διαπιστώνεται η μεγαλύτερη ταχύτητα αφυδάτωσης για

τα ωσσωμένα δείγματα, ειδικά στις ηπιότερες συνθήκες ξήρανσης, που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, λόγω των ήπιων οργανοληπτικών μεταβολών που επιφέρουν στα δείγματα. Αν θεωρηθεί ότι ένα ποσοστό 30% (σε υγρή βάση) είναι χαρακτηριστικό αφυδατωμένων σνακ (Katsoufi et al., 2020), τότε φαίνεται ότι ο απαιτούμενος χρόνος ξήρανσης είναι μειωμένος κατά τουλάχιστον 40% για τους 50°C, με το ποσοστό αυτό να μειώνεται στο 20% για τους 60°C και να τείνει να μηδενιστεί στην εντονότερη θερμοκρασία των 70°C. Αυτό αποδεικνύει το σημαντικό όφελος στο χρόνο αφυδάτωσης, στην ανάλογη απαιτούμενη ενέργεια, αλλά και στη σημαντικά μειωμένη απώλεια στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, όταν αυτά έχουν αρχικά υποστεί την επεξεργασία της ώσμωσης. Στη συνέχεια ακολουθούν φωτογραφίες (Εικ. 27) από ωσσωμένα και δείγματα μάρτυρες στις διαφορετικές συνθήκες ξήρανσης (50°C, 60°C και 70°C). Επόμενο βήμα είναι και η μέτρηση της κινητικής αλλοίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ωσσωμένων vs control δειγμάτων, στις διαφορετικές θερμοκρασίες ξήρανσης, προκειμένου να προκύψει μια ολοκληρωμένη πρόταση για βελτιστοποίηση της συνολικής διεργασίας (ώσμωσης, ακολουθούμενη από ξήρανση σε ρεύμα αέρα).



Εικόνα 27. Δείγματα ωσσωμένων και control δειγμάτων στις διαφορετικές συνθήκες ξήρανσης (50°C, 60°C και 70°C).

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Συμπερασματικά, ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγμα τεμαχισμένων παραπροϊόντων (κοτσάνια) μανιταριού (*Pleurotus ostreatus*) και ο συνδυασμός της με ξήρανση σε ρεύμα αέρα για τη δημιουργία αφυδατωμένων προϊόντων τσιπς ως τελικό προϊόν.

Κατά την πρώτη φάση διεξήχθη η κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Με τη βοήθεια του πειραματικού σχεδιασμού Box Behnken καταλήξαμε στην εκτέλεση 27 πειραμάτων, κατά τη διάρκεια των οποίων αξιολογήθηκε η επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών όπως, τα επιλεγμένα ωσμωτικά μέσα (ολιγοφρουκτόζη και μαλτοδεξτρίνη), η θερμοκρασία και ο χρόνος σε παραμέτρους μεταφοράς μάζας, αλλά και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας ήταν πιο έντονα κατά τα πρώτα 20 λεπτά της ωσμωτικής διεργασίας. Συγκεκριμένα, η ενεργότητα ύδατος (a_w) παρουσίασε ραγδαία μείωση στο παραπάνω χρονικό διάστημα ενώ στη συνέχεια ο ρυθμός μείωσης ήταν ηπιότερος. Το ίδιο συνέβη με την απώλεια ύδατος (WL) αλλά και το ποσοστό υγρασίας. Αντίστοιχα, η περιεκτικότητα σε αλάτι (NaCl) και η πρόσληψη διαλυτών στερεών (SG) εμφάνισαν ραγδαία αύξηση κατά το ίδιο περίπου χρονικό διάστημα ενώ στην πορεία έτειναν να αποκτήσουν μια τιμή ισορροπίας. Όσον αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του χρώματος, μεταβολή φωτεινότητας (L/L_0) και συνολική μεταβολή χρώματος, παρατηρήθηκαν σημαντικές αυξομειώσεις κυρίως λόγω της ανομοιομορφίας που παρουσίαζε η πρώτη ύλη. Σε υψηλή θερμοκρασία (50 °C) τα δείγματα εμφάνισαν συνολική μεταβολή του χρώματος προς το κίτρινο και όχι τόσο της φωτεινότητας ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις φάνηκαν να δρουν «προστατευτικά» στη μεταβολή του χρώματος. Αντίστοιχες αυξομειώσεις παρουσίασε και η μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων (f/f_0), με την αύξηση της θερμοκρασίας να οδηγεί σε μείωσή της.

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της μεθοδολογίας RSM και της προσέγγισης των συναρτήσεων επιθυμητότητας (desirability functions), με βάση τα κριτήρια που

επιλέχθηκαν (ελάχιστη a_w , μέγιστη διατήρηση συνολικού χρώματος και φωτεινότητας) προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας των παραπροϊόντων, οι οποίες ήταν θερμοκρασία στους 38 °C, συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης 40%, συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 19,3% και διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης 80 λεπτά. Η σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων και οι προβλεπόμενες τιμές της μεθοδολογίας RSM δεν εμφανίζουν ανησυχητικές αποκλίσεις πέρα από τον παράγοντα σκληρότητας f/f_0 , με τις τιμές, ωστόσο, σε γενικές γραμμές να κρίνονται αξιόπιστες.

Τέλος, ακολούθησε η ξήρανση σε ρεύμα αέρα και οι μετρήσεις βάρους και ενεργότητας ύδατος ωσμομένων δειγμάτων και νωπών (control). Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε μεγαλύτερη ταχύτητα αφυδάτωσης για τα ωσμομένα δείγματα, ειδικά στις ηπιότερες συνθήκες ξήρανσης, που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, λόγω των ήπιων οργανοληπτικών μεταβολών που επιφέρουν στα δείγματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σημαντικό όφελος στο χρόνο αφυδάτωσης, στην απαιτούμενη ενέργεια, αλλά και στη σημαντικά μειωμένη απώλεια στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία ακολουθούν κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

- Μέτρηση της κινητικής αλλοίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ωσμομένων vs control δειγμάτων, για βελτιστοποίηση της συνολικής διεργασίας (ώσμωσης, ακολουθούμενη από ξήρανση σε ρεύμα αέρα).
- Μέτρηση οργανοληπτικής υποβάθμισης με πραγματοποίηση οργανοληπτικού ελέγχου.
- Επιλογή διαφορετικών κριτηρίων βελτιστοποίησης της διεργασίας με σκοπό την δημιουργία ενός διαφορετικού τελικού προϊόντος.
- Μελέτη διαφορετικών συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης.
- Ενίσχυση χρώματος/αρώματος/γεύσης με σκοπό την παραγωγή πιθανότατα αφυδατωμένων τσιπς μεγαλύτερης αποδοχής από το καταναλωτικό κοινό.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Ade-Omowaye, B. I. O., Rastogi, N. K., Angersbach, A., & Knorr, D. (2002). Osmotic dehydration of bell peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. *Journal of Food Engineering*, 54(1), 35-43.

Aguiló-Aguayo, I., Walton, J., Viñas, I., & Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound assisted extraction of polysaccharides from mushroom by-products. *Lwt*, 77, 92-99.

Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 29-43.

Alhujaily, A.; Yu, H.; Zhang, X.; Ma, F. Highly Efficient and Sustainable Spent Mushroom Waste Adsorbent Based on Surfactant Modification for the Removal of Toxic Dyes. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2018, 15, 1421.

Alquini, G., Carbonero, E. R., Rosado, F. R., Cosentino, C., & Iacomini, M. (2004). Polysaccharides from the fruit bodies of the basidiomycete *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Murr. *FEMS Microbiology Letters*, 230(1), 47–52.

An, K., Ding, S., Zhao, D., Wang, X., Wang, Z., & Hu, X. (2013). Response surface optimisation of osmotic dehydration of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices. *International journal of food science & technology*, 48(1), 28-34.

Anjum, M. F., Tasadduq, I., & Al-Sultan, K. (1997). Response surface methodology: A neural network approach. *European Journal of Operational Research*, 101(1), 65-73.

Antunes, F., Marçal, S., Taofiq, O., MMB Morais, A., Freitas, A. C., CFR Ferreira, I., & Pintado, M. (2020). Valorization of mushroom by-products as a source of value-added compounds and potential applications. *Molecules*, 25(11), 2672.

Ares, G., Lareo, C., & Lema, P. (2007). Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms. A review. *Fresh Produce*, 1(1), 32-40.

Aversa, M., Curcio, S., Calabro, V., & Iorio, G. (2007). An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 922-932.

Bao, H. N., Osako, K., & Ohshima, T. (2010). Value-added use of mushroom ergothioneine

as a colour stabilizer in processed fish meats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(10), 1634–1641.

Baş, D., & Boyacı, İ. H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 836–845.

Bekele, Y., & Ramaswamy, H. (2010). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 1(1), 1-15.

Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965–977.

Bchir, B., Besbes, S., Attia, H., Paquot, M., Blecker, C. (2011). Osmotic Dehydration of Pomegranate Seeds (*Punica Granatum L.*): Effect of Freezing Pre-Treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 1745-4530.

Chandra, S., & Kumari, D. (2015). Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(4), 552–561.

Chang, S., & Miles, P. (1992). Mushroom biology — A new discipline. *Mycologist*, 6(2), 64–65.

Corrêa, J. L. G., Ernesto, D. B., & de Mendonça, K. S. (2016). Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 17–24.

Cichowska, J., Żubernik, J., Czyżewski, J., Kowalska, H., & Witrowa-Rajchert, D. (2018). Efficiency of osmotic dehydration of apples in polyols solutions. *Molecules*, 23(2), 446.

Dalla Rosa, M., & Giroux, F. (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 223-236.

Danmaliki, G. I., Saleh, T. A., & Shamsuddeen, A. A. (2017). Response surface methodology optimization of adsorptive desulfurization on nickel/activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 313, 993–1003.

De la Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523–e527.

Del Valle, J. M., Aránguiz, V., & León, H. (1998). Effects of blanching and calcium

infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Research International*, 31(8), 557–569.

Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M., & Taoukis, P. (2007). Kinetic modelling of the quality degradation of frozen watermelon tissue: effect of the osmotic dehydration as a pre-treatment. *International journal of food science & technology*, 42(7), 790-798.

Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M., & Taoukis, P. S. (2016). Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 212-221.

Dermesonlouoglou, E. K., Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. (2007). Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 272-280.

El-Aouar, Â. A., Azoubel, P. M., Barbosa, J. L., & Xidieh Murr, F. E. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, 75(2), 267–274.

Elisashvili, V. (2012). Submerged Cultivation of Medicinal Mushrooms: Bioprocesses and Products (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 14(3), 211–239.

Ebrahim, R. M., Kashaninezhad, M., Mirzaei, H. E., & Khomeiri, M. (2009). Effect of temperature, osmotic solution concentration and mass ratio on kinetics of osmotic dehydration of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(1-A).

Falade, K.O., Igbeka, J.C., Ayanwuyi, F.A. (2007). Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80. 979-985.

Falade, K. O., & Ogunwolu, O. S. (2012). Modeling of Drying Patterns of Fresh and Osmotically Pretreated Cooking Banana and Plantain Slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 373–388.

Farber, J. N., Harris, L. J., Parish, M. E., Beuchat, L. R., Suslow, T. V., Gorney, J. R., ... Busta, F. F. (2003). Microbiological Safety of Controlled and Modified Atmosphere Packaging of Fresh and Fresh-Cut Produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(s1), 142–160.

Fathi, M., Mohebbi, M., & Razavi, S. M. A. (2011). Application of image analysis and

artificial neural network to predict mass transfer kinetics and color changes of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food and Bioprocess Technology*, 4(8), 1357-1366.

Fazenda, ML; Seviour, R.; McNeil, B.; Harvey, LM Submerged Culture Fermentation of “Higher Fungi”: The Macrofungi. *Adv. Appl. Microbiol.* 2008 , 63 , 33–103.

Featherstone, S. (2015). *Ingredients used in the preparation of canned foods. A Complete Course in Canning and Related Processes*, 147–211.

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of food engineering*, 52(2), 99-119.

Galanakis, C. M. (Ed.). (2021). *Nutraceutical and functional food components: Effects of innovative processing techniques*. Academic Press.

Garcia, M., Diaz, R., Martinez, Y. and Casariego, A. 2010. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International* 43: 1656-1660.

Garrido, A., Garcia, P., & Brenes, M. (1992). The recycling of table olive brine using ultrafiltration and activated carbon adsorption. *Journal of food engineering*, 17(4), 291-305.

Giangiaco, R., Torreggiani, D., & Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration of fruit: Sugar exchange between fruit and extracting syrup. *Journal of Food Processing and Preservation*, 11(3), 183-195.

Giannakourou, M. C., & Taoukis, P. S. (2003). Stability of dehydrofrozen green peas pretreated with nonconventional osmotic agents. *Journal of food science*, 68(6), 2002-2010.

Giavasis, I. Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals. *Curr. Opin. Biotechnol.* 2014, 26, 162–173.

Gil-Ramírez, A., Aldars-García, L., Palanisamy, M., Jiverdeanu, R. M., Ruiz-Rodríguez, A., Marín, F. R., ... Soler-Rivas, C. (2013). Sterol enriched fractions obtained from *Agaricus bisporus* fruiting bodies and by-products by compressed fluid technologies (PLE and SFE). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18, 101–107.

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food*

Engineering. 58(1), 33-43.

Goula, A. M., Kokolaki, M., & Daftsiou, E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and bioproducts processing*, 105, 157-170.

Guo, J., & Liu, X. (2011). Comparison between liquid culture and solid culture technologies for edible mushroom spawn production and analysis on their economic benefits. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(4), 835-841.

Gupta, P., Bhat, A., Chauhan, H., Ahmed, N., & Malik, A. (2015). Osmotic dehydration of button mushroom. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(2), 177-182.

Harshavardhini, B., & Sharma, P. D. (2021). Osmotic dehydration of mushroom. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(3), 421-427.

Hawrelak, J. A. (2020). Prebiotics, Synbiotics, and Colonic Foods. *Textbook of Natural Medicine*, 797–808.

He, P., Li, F., Huang, L., Xue, D., Liu, W., & Xu, C. (2016). Chemical characterization and antioxidant activity of polysaccharide extract from spent mushroom substrate of *Pleurotus eryngii*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 69, 48–53.

Heleno, S. A., Prieto, M. A., Barros, L., Rodrigues, A., Barreiro, M. F., & Ferreira, I. C. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of ergosterol from *Agaricus bisporus* L. by-products using response surface methodology. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 25-35.

Hernandez, J. A., Pavon, G., & Garcia, M. A. (2000). Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food-drying kinetics. *Journal of food engineering*, 45(1), 1-10.

Hsieh, C., Hsu, T.-H., & Yang, F.-C. (2005). Production of polysaccharides of *Ganoderma lucidum* () by reusing thin stillage. *Process Biochemistry*, 40(2), 909–916.

Islam, M. N. & Flink, I. N. (1982). Dehydration of potato IS. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. *J. Food Technology*, 17, 387-403.

İspir, A., & Toğrul, İ. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(2), 166-180.

Jalaei, F., Fazeli, A., Fatemian, H., & Tavakolipour, H. (2011). Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. *Food and Bioproducts*

Processing, 89(4), 367-374.

Jasinska, A. Spent mushroom compost (SMC)—retrieved added value product closing loop in agricultural production. *Acta Agraria. Debe.* 2018, 185–202.

Jiang, J., Zhang, M., Devahastin, S., & Yu, D. (2021). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatments on drying and quality characteristics of pulsed fluidized bed microwave freeze-dried strawberries. *LWT*, 145, 111300.

Jolivet, S., Arpin, N., Wichers, H. J., & Pellon, G. (1998). *Agaricus bisporus* browning: a review. *Mycological Research*, 102(12), 1459–1483.

Jordan, S. N., Mullen, G. J., & Murphy, M. C. (2008). Composition variability of spent mushroom compost in Ireland. *Bioresource Technology*, 99(2), 411–418.

Katsoufi, S., Lazou, A. E., Giannakourou, M. C., & Krokida, M. K. (2020). Air drying kinetics and quality characteristics of osmodehydrated-candied pumpkins using alternative sweeteners. *Drying Technology*, 1–12.

Katsoufi, S., Lazou, A. E., Giannakourou, M. C., & Krokida, M. K. (2021). Air drying kinetics and quality characteristics of osmodehydrated-candied pumpkins using alternative sweeteners. *Drying Technology*, 39(16), 2194-2205.

Kaur, K., Kumar, S., & Alam, M. S. (2014). Air drying kinetics and quality characteristics of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) influenced by osmotic dehydration. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 214-222.

Khan, I.; Huang, G.; Li, X.; Leong, W.; Xia, W.; Hsiao, W.L.W. Mushroom polysaccharides from *Ganoderma lucidum* and *Poria cocos* reveal prebiotic functions. *J. Funct. Foods* 2018, 41, 191–201.

Kim, K., Choi, B., Lee, I., Lee, H., Kwon, S., Oh, K., & Kim, A. Y. (2011). Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(9), 1561-1568.

Kirsch, L. de S., de Macedo, A. J. P., & Teixeira, M. F. S. (2016). Production of mycelial biomass by the Amazonian edible mushroom *Pleurotus albidus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(3), 658–664.

Klaus, A., Kozarski, M., Niksic, M., Jakovljevic, D., Todorovic, N., & Van Griensven, L. J. L. D. (2011). Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharides extracted

from the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2005–2011.

Konopacka, D., Jesionkowska, K., Klewicki, R., & Bonazzi, C. (2009). The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(6), 80-84.

Kowalska, H. and Lenart, A. 2001. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *J. Food. Eng.* 49, 137–140.

Krokida, M. K., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (2000). Effect of osmotic dehydration on color and soption characteristics of apple and banana. *Drying Technology*, 18(4-5), 937–950.

Kumar, M. N. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and functional polymers*, 46(1), 1-27.

Kumar, K. (2020). Nutraceutical potential and processing aspects of oyster mushrooms (*Pleurotus* species). *Current Nutrition & Food Science*, 16(1), 3-14.

Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., Singh, P., Malav, O. P., & Verma, A. K. (2015). Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 923–932.

Kurozawa, L. E., Azoubel, P. M., MURR, F. E. X., & Park, K. J. (2012). Drying kinetic of fresh and osmotically dehydrated mushroom (*Agaricus blazei*). *Journal of Food Process Engineering*, 35(2), 295-313.

Lazarides H.N., Katsanidis E. & Nickolaidis A. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering*, 25:151-166.

Lee, W. C., Yusof, S. A. L. M. A. H., Hamid, N. S. A., & Baharin, B. S. (2006). Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of food Engineering*, 73(1), 55-63.

Lenart, A., & Flink, J. M. (1984). Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process. *International Journal of Food Science & Technology*, 19(1), 45-63.

Lenart, A., & Lewicki, P. P. (1988). Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissue. *Acta Alimentaria Polonica*, 14(1).

- Lerici, C. R., Mastrocola, D., & Nicoli, M. C. (1988). Use of direct osmosis as fruit and vegetables dehydration. *Acta Alimentaria Polonica*, 14(1).
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Rosa, M. D., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food science*, 50(5), 1217-1219.
- Li, H., & Ramaswamy, H. S. (2005). Osmotic dehydration. *Stewart Postharvest Review*, 1(4), 1-9.
- Li, J., Li, Z., Wang, N., Raghavan, G. S. V., Pei, Y., Song, C., & Zhu, G. (2020). Novel sensing technologies during the food drying process. *Food Engineering Reviews*, 12(2), 121-148.
- Lim, S. H., Lee, Y. H., & Kang, H. W. (2013). Efficient recovery of lignocellulolytic enzymes of spent mushroom compost from oyster mushrooms, *Pleurotus* spp., and potential use in dye decolorization. *Mycobiology*, 41(4), 214-220.
- Lin, L., Cui, F., Zhang, J., Gao, X., Zhou, M., Xu, N., ... & Jia, L. E. (2016). Antioxidative and renoprotective effects of residue polysaccharides from *Flammulina velutipes*. *Carbohydrate Polymers*, 146, 388-395.
- Lin, P. H., Huang, S. Y., Mau, J. L., Liou, B. K., & Fang, T. J. (2010). A novel alcoholic beverage developed from shiitake stipe extract and cane sugar with various *Saccharomyces* strains. *LWT-Food Science and Technology*, 43(6), 971-976.
- Lou, Z., Sun, Y., Zhou, X., Baig, S. A., Hu, B., & Xu, X. (2017). Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. *Geoderma*, 307, 30–37.
- Madamba, P. S., & Lopez, R. I. (2002). Optimization of the osmotic dehydration of mango (*Mangifera indica* L.) slices. *Drying Technology*, 20(6), 1227-1242.
- Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F. & Oikonomou, C.K. (2005). Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 69, 307–316.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2013). Artificial neural network and response surface methodology modeling in mass transfer parameters predictions during osmotic dehydration of *Carica papaya* L. *Alexandria Engineering Journal*, 52(3), 507-516.
- Matusek, A., Czukor, B., & Merész, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-

oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 365–373.

Matuska, M., Lenart, A., & Lazarides, H. N. (2006). On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 85-91.

Mavroudis, N. E., Gekas, V., & Sjöholm, I. (1998). Osmotic dehydration of apples—effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of Food Engineering*, 35(2), 191-209.

Mehta, B. K., Jain, S. K., Sharma, G. P., Mudgal, V. D., Verma, R. C., Doshi, A., & Jain, H. K. (2012). Optimization of osmotic drying parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*).

Mokhtarian, M., Heydari Majd, M., Koushki, F., Bakhshabadi, H., Daraei Garmakhany, A., & Rashidzadeh, S. (2014). Optimisation of pumpkin mass transfer kinetic during osmotic dehydration using artificial neural network and response surface methodology modelling. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 6(2), 201-214.

Moreira, R., Sereno, A.M. 2003. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering*, 57: 25–31.

Muniz-Becera, S., Mendez-Lagunas, L.L. and Rodriguez-Ramirez, J. (2017), Solute Transfer in Osmotic Dehydration of Vegetable Foods: A Review. *Journal of Food Science*, 82: 2251-2259.

Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. John Wiley & Sons.

Nunes, Y., & Moreira, R. G. (2009). Effect of osmotic dehydration and vacuum-frying parameters to produce high-quality mango chips. *Journal of food science*, 74(7), E355-E362.

Ogonek, A. and Lenart, A. 2001. Influence of selective edible coatings on osmotic dehydration of strawberries (in polish). *Zywnosc* 28: 62-74.

Ogrodowska, D., Konopka, I. Z., Tańska, M., Brandt, W., & Piłat, B. (2021). Effect of Maltodextrin Replacement by Selected Native Starches and Disaccharides on Physicochemical Properties of Pumpkin Oil Capsules Prepared by Spray-Drying. *Applied*

Sciences, 12(1), 33.

Osińska-Jaroszuk, M., Jarosz-Wilkolazka, A., Jaroszuk-Ścisieł, J., Szałapata, K., Nowak, A., Jaszek, M., & Majewska, M. (2015). Extracellular polysaccharides from Ascomycota and Basidiomycota: production conditions, biochemical characteristics, and biological properties. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(12), 1823-1844.

Panagiotou, N., Karathanos, V. & Maroulis, Z. (2002). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration some fruits. *International Journal of Food Science & Technology*, 33, 267 - 284.

Papoutsis, K., Grasso, S., Menon, A., Brunton, N. P., Lyng, J. G., Jacquier, J. C., & Bhuyan, D. J. (2020). Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste-Potential valorization by food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 351-366.

Patel, S.; Goyal, A. Recent developments in mushrooms as anti-cancer therapeutics: A review. *3 Biotech* 2012, 2, 1–15.

Paredes, C., Medina, E., Moral, R., Pérez-Murcia, M. D., Moreno-Caselles, J., Angeles Bustamante, M., & Cecilia, J. A. (2009). Characterization of the Different Organic Matter Fractions of Spent Mushroom Substrate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(1-6), 150–161.

Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7-18.

Ponting, JD, Watters, GG, Forrey, R.R., Jackson, R., Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20:125–128.

Prakah Maran , J . P . , Manikandan , S . , Thirugnanasambandham, K., Vigna Nivetha, C. and Dinesh, R. (2013) Box-Behnken design based statistical modeling for ultrasoundassisted extraction of corn silk polysaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 92: 604- 611.

Ramya, H. G., Kumar, S., & Kapoor, S. (2014). Optimization of osmotic dehydration process for Oyster mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) in sodium chloride solution using RSM. *Journal of Applied and Natural Science*, 6(1), 152-158.

Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food science & technology*, 5(8), 255-260.

Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Niranjana, K. (2005). Developments in osmotic dehydration. In *Emerging technologies for food processing* (pp. 221-249). Academic Press.

Rezagah, M. E., Kashaninejad, M., Mirzaei, H., & Khomeiri, M. (2010). Osmotic dehydration of button mushroom: Fickian diffusion in slab configuration. *Latin American applied research*, 40(1), 23-26.

Rodrigues, D., Freitas, A. C., Sousa, S., Amorim, M., Vasconcelos, M. W., da Costa, J. P., ... Gomes, A. M. P. (2017). Chemical and structural characterization of *Pholiota nameko* extracts with biological properties. *Food Chemistry*, 216, 176–185.

Rubio-Arreaz, S., Capella, J. V., Ortolá, M. D., & Castelló, M. L. (2015). Modelling osmotic dehydration of lemon slices using new sweeteners. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(9), 2046-2051.

Rubio-Arreaz, S. U. S. A. N. A., Capella Hernández, J. V., Ortolá Ortolá, M., & Castelló Gómez, M. L. (2015). Kinetics of osmotic dehydration of orange slices using healthy sweeteners. *International Food Research Journal*, 22(5), 2162-2166.

Ruiz, Y., Klotz, B., Serrato, J., Guio, F., Bohórquez, J., & Sánchez, O. F. (2013). Use of spent osmotic solutions for the production of fructooligosaccharides by *Aspergillus oryzae* N74. *Food Science and Technology International*, 20(5), 365–372.

Sablani, S.S., & Rahman, M.S. (2003). Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Research International*, 36(1), 65-71.

Sadler, M. J. (2004). Meat alternatives—market developments and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 250-260.

Sánchez, C. (2017). Bioactives from mushroom and their application. In *Food bioactives* (pp. 23-57). Springer, Cham.

Sánchez, Ó. J., Montoya, S., & Vargas, L. M. (2015). Polysaccharide Production by Submerged Fermentation. *Polysaccharides*, 451–473.

Shang, H. M., Song, H., Wang, L. N., Wu, B., Ding, G. D., Jiang, Y. Y., ... & Shen, S. J. (2014). Effects of dietary polysaccharides from the submerged fermentation concentrate of *Heridium caput-medusae* (Bull.: Fr.) Pers. on performance, gut microflora, and cholesterol metabolism in broiler chickens. *Livestock Science*, 167, 276-285.

Shi, J., & Xue, S. J. (2008). Application and development of osmotic dehydration

technology in food processing. In *Advances in food dehydration* (pp. 205-226). CRC Press.

Shinde, B., & Ramaswamy, H. S. (2020). Kinetic modeling of microwave osmotic dehydration of mangoes under continuous flow medium spray conditions using sucrose and maltodextrin (10-18 DE) solute mixtures. *Drying Technology*, 1–13.

Singh, A., Mehta, A., Singh, A. P., & Prabhakar, P. K. (2021). Ultrasonic modulated osmotic dehydration of Aonla (*Phyllanthus emblica* L.) slices: An integrated modeling through ANN, GPR, and RSM. *Journal of Food Processing and Preservation*, e16247.

Singh, B., Kumar, A., & Gupta, A. K. (2007). Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *Journal of food Engineering*, 79(2), 471-480.

Singh, P., Langowski, H. C., Wani, A. A., & Saengerlaub, S. (2010). Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(9), 1393-1402.

Singh, C., Sharma, K.H. and Sarkar, C.B. 2010. Influence of process conditions on the mass transfer during osmotic dehydration of coated pineapple samples. *Journal of Food Processing and Preservation* 34: 700- 714.

Sun, L. B., Zhang, Z. Y., Xin, G., Sun, B. X., Bao, X. J., Wei, Y. Y., ... & Xu, H. R. (2020). Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms. *Trends in food science & technology*, 96, 176-187.

Tang, Y. J., Zhu, L. W., Li, H. M., & Li, D. S. (2007). Submerged culture of mushrooms in bioreactors—challenges, current state-of-the-art, and future prospects. *Food Technology and Biotechnology*, 45(3), 221-229.

Taofiq, O., Calhella, R. C., Heleno, S., Barros, L., Martins, A., Santos-Buelga, C., ... & Ferreira, I. C. (2015). The contribution of phenolic acids to the anti-inflammatory activity of mushrooms: Screening in phenolic extracts, individual parent molecules and synthesized glucuronated and methylated derivatives. *Food Research International*, 76, 821-827.

Telis, V. R. N., Murari, R. C. B. D. L., & Yamashita, F. (2004). Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *Journal of food Engineering*, 61(2), 253-259.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food*

Research International, 261, 59–68

Torreggiani, D. (1995). Technological aspects of osmotic dehydration in foods. *Food 108 preservation by moisture control: fundamentals and applications*, 281-304.

Torreggiani, D., & Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 247-253.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303–324.

Toupin, C. J., Marcotte, M., & Le Maguer, M. (1989). Osmotically-induced mass transfer in plant storage tissues: A mathematical model. Part I. *Journal of Food Engineering*, 10(1), 13-38.

Tsironi, T. N., & Taoukis, P. S. (2014). Effect of processing parameters on water activity and shelf life of osmotically dehydrated fish filets. *Journal of Food Engineering*, 123, 188-192.

Umaña, M., Eim, V., Garau, C., Rosselló, C., & Simal, S. (2020). Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a β -glucan rich residue. *Food Chemistry*, 332, 127390.

Valdez Fragoso, A. (1998). Etude du recyclage des solutions concentrees en deshydratation-impregnation par immersion. Application au cas du traitement des pommes dans une solution de saccharose (Doctoral dissertation, Massy, ENSIA).

Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. *International journal of microbiology*, 2015.

Wang, L., Xu, N., Zhang, J., Zhao, H., Lin, L., Jia, S., & Jia, L. (2015). Antihyperlipidemic and hepatoprotective activities of residue polysaccharide from *Cordyceps militaris* SU-12. *Carbohydrate polymers*, 131, 355-362.

Wrona, M., Bentayeb, K., & Nerín, C. (2015). A novel active packaging for extending the shelf-life of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Control*, 54, 200–207.

Yadav, A. K., & Singh, S. V. (2014). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1654–1673.

Yang, D. C., & Le Maguer, M. (1992). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of mushrooms. *Journal of food processing and preservation*, 16(3), 215-231.

Yao, Z., Le Maguer, M. (1996). Mathematical Modelling and Simulation of Mass Transfer in Osmotic Dehydration Processes. Part I: Conceptual and Mathematical Models. *Journal of Food Engineering*, 29: 349-360.

Yen, M. T., Tseng, Y. H., Li, R. C., & Mau, J. L. (2007). Antioxidant properties of fungal chitosan from shiitake stipes. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2), 255-261.

Zhang, J., Meng, G., Zhai, G., Yang, Y., Zhao, H., & Jia, L. (2016). Extraction, characterization and antioxidant activity of polysaccharides of spent mushroom compost of *Ganoderma lucidum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 432-439

Zhao, D., Zhao, C., Tao, H., An, K., Ding, S., & Wang, Z. (2013). The effect of osmosis pretreatment on hot-air drying and microwave drying characteristics of chili (*Capsicum annuum* L.) flesh. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(8), 1589-1595.

Zhu, H., Sheng, K., Yan, E., Qiao, J., & Lv, F. (2012). Extraction, purification and antibacterial activities of a polysaccharide from spent mushroom substrate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(3), 840-843.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Δερμεσονλούογλου Ε. (2008), «Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση της ποιότητας κατεψυγμένων φυτικών προϊόντων» Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σημειώσεις εργαστηρίου Επεξεργασίας ΙΙ, ΠΑΔΑ.

Στέκας Ν. (2013), «Μοντέλα Υπολογισμού Χωρητικότητας και επαγωγής μεταξύ Διαστρωματικών Συνδέσεων (TSV) σε τρισδιάστατα ολοκληρωμένα κυκλώματα» Διπλωματική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Χατζής Ε. (2015), «Ανάπτυξη μεθόδου μέτρησης νωπών αγροτικών προϊόντων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων» Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας.

Πηγές Εικόνων

Εικόνα 1: Sánchez, C. (2017). Bioactives from mushroom and their application. In *Food bioactives* (pp. 23-57). Springer, Cham.

Εικόνα 2: Antunes, F., Marçal, S., Taofiq, O., MMB Morais, A., Freitas, A. C., CFR Ferreira,

I., & Pintado, M. (2020). Valorization of mushroom by-products as a source of value-added compounds and potential applications. *Molecules*, 25(11), 2672.

Εικόνα 3: Papoutsis, K., Grasso, S., Menon, A., Brunton, N. P., Lyng, J. G., Jacquier, J. C., & Bhuyan, D. J. (2020). Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste-Potential valorization by food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 351-366.

Εικόνα 4: Antunes, F., Marçal, S., Taofiq, O., MMB Morais, A., Freitas, A. C., CFR Ferreira, I., & Pintado, M. (2020). Valorization of mushroom by-products as a source of value-added compounds and potential applications. *Molecules*, 25(11), 2672.

Εικόνα 5: Shi, J., & Xue, S. J. (2008). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In *Advances in food dehydration* (pp. 205-226). CRC Press.

Εικόνα 6: Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, 26(1), 59–68.

Εικόνα 7: Δερμεσονλούογλου Ε. (2008), «Μελέτη μη θερμικών προκατεργασιών για τη βελτίωση της ποιότητας κατεψυγμένων φυτικών προϊόντων» Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Εικόνα 8: Dalla Rosa, M., & Giroux, F. (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 223-236.

Εικόνα 9: Dalla Rosa, M., & Giroux, F. (2001). Osmotic treatments (OT) and problems related to the solution management. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 223-236.

Εικόνα 10-11: Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., & Escaleira, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76(5), 965–977.

Εικόνες 12-18: Προσωπικό αρχείο.

Εικόνα 19: Prangnell, Lee & Sanchez, Victor. (2020). Spatiotemporal Adaptive Quantization for the Perceptual Video Coding of RGB 4:4:4 Data

Εικόνα 20: Mihaylova, D., Popova, A., Goranova, Z., Petkova, D., Doykina, P., & Lante, A. (2021). The Perspective of Nectarine Fruit as a Sugar Substituent in Puddings

Prepared with Corn and Rice Starch. *Foods*, 10(11), 2563.

Εικόνα 21-24: Προσωπικό αρχείο.

Εικόνα 25: Peixoto, A. L. de C., Costalonga, A. G. C., Esperança, M. N., & Salazar, R. F. dos S. (2018). Design of Experiments Applied to Antibiotics Degradation by Fenton's Reagent. *Statistical Approaches With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*.

Εικόνα 26-27: Προσωπικό αρχείο.