



Σχολή Επιστημών Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αξιοποίηση υπολειμμάτων παραγωγής μανιταριών

English title

Sustainable utilization of mushroom residues



ΟΝΟΜΑΤΑ ΦΟΙΤΗΤΩΝ/NAMES OF STUDENTS

ΠΟΥΛΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ 16088 / ΦΑΡΟΥΠΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ 16110

POULIS SOTIRIOS 16088 / FAROUPOS ATHANASIOS 16110

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑΣ/NAME OF THE SUPERVISOR

**ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ ΜΑΡΙΑ
GIANNAKOUROU MARIA**

ΑΙΓΑΛΕΩ / AIGALEO 2022

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο **‘Αξιοποίηση υπολειμμάτων παραγωγής μανιταριών’** που παρουσιάστηκε από τους **ΠΟΥΛΗ ΣΩΤΗΡΙΟ** και **ΑΘΑΝΑΣΙΟ ΦΑΡΟΥΠΟ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Όνομα επιβλέπουσας

Μαρία Γιαννακούρου

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Παναγιώτης Ηγουμενίδης

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Ειρήνη Στρατή

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνουμε ότι είμαστε αποκλειστικοί συγγραφείς της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Όλες οι πληροφορίες που αντλήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας μας αναφέρονται ως πηγές και καταγράφονται στην βιβλιογραφία. Δηλώνουμε, επίσης, ότι αναλαμβάνουμε όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

ΠΟΥΛΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ



ΦΑΡΟΥΠΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ



Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε εξαιρετικά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μας, κυρία Γιαννακούρου για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας και την καταλυτική βοήθεια και καθοδήγησή καθ' όλη την εκπόνηση της.

Επίσης, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στην υποψήφια διδάκτορα Ναταλία Σταυροπούλου για την αμέριστη υποστήριξη της και την άμεση ανταπόκρισή της σε κάθε ζήτημα που προέκυπτε κατά την διάρκεια της εργασίας μας.

Εισαγωγή

Τα παραπροϊόντα μανιταριών γίνονται όλο και περισσότερο γνωστά στην βιομηχανία των τροφίμων. Εκτός από το υψηλό ποσοστό πρωτεϊνών και βιταμινών που διαθέτουν, περιέχονται σε αυτά ιχνοστοιχεία, σημαντικές βιοδραστικές ενώσεις, μικρά ποσοστά λίπους και σακχάρων, στοιχεία που τα καθιστούν ιδανικό υποκατάστατο του κρέατος και συντελούν στον πρωταγωνιστικό ρόλο που θα κατέχουν στις καταναλωτικές προτιμήσεις στο προσεχές μέλλον. Ωστόσο, τα μανιτάρια και κατά συνέπεια τα παραπροϊόντα τους εμφανίζουν μικρή διάρκεια ζωής, λόγω της ευκολίας αλλοίωσης που τα διακρίνει. Συγκεκριμένα, τα μανιτάρια δεν δύναται να αντέξουν πάνω από 3 μέρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ή 8 σε συνθήκες ψύξης. Η προσδόκιμη διάρκεια ζωής του αυξάνεται με την χρήση MAP (Modified Atmosphere Package). Την διάρκεια ζωής τους φαίνεται να επηρεάζει το υψηλό ποσοστό περιεκτικότητας υγρασίας, η υψηλή ενεργότητα νερού (a_w), η ενζυμική δραστηριότητα, η υψηλή τιμή του pH και κάποιες μικροβιακές αλλοιώσεις. Είναι επιτακτική ανάγκη, λοιπόν, να βρεθεί τρόπος να καθυστερήσει η επερχόμενη αλλοίωση για όσο το δυνατόν περισσότερο και να διατηρηθεί η οικονομική και εμπορική ισχύς του τροφίμου. Σύμμαχος σε αυτή την προσπάθεια φαίνεται να είναι η ωσμωτική αφυδάτωση, μία ήπια διεργασία συντήρησης των τροφίμων που στοχεύει στην παράταση της ζωής τους και στην βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους. Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία διαδικασία μεταφοράς μάζας στην οποία το εξεταζόμενο προϊόν (υψηλής περιεκτικότητας νερού) εμβαπτίζεται ολόκληρο ή τεμαχισμένο σε υπερτονικό διάλυμα, δηλαδή διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση σε σάκχαρα ή αλάτι. Η όλη διαδικασία έχει ως στόχο την μεταφορά του νερού από το εσωτερικό του τροφίμου στο διάλυμα και την θωράκισή του.

Σκοπός της παρούσας πειραματικής μελέτης, ήταν να πραγματοποιηθεί κινητική μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα παραπροϊόντων μανιταριών (ρίζες) του είδους *Pleurotus ostreatus*. Τα παραπροϊόντα εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα συγκεντρώσεων ολιγοφρουκτόζης (20%-40%), μαλτοδεξτρίνης (10%-30%),

NaCl 5%, ασκορβικού οξέος 1,5% και νερού. Η διεργασία πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες (30°C) – (40°C) – (50°C) και τα δείγματα λαμβάνονταν και μετρούνταν στους χρόνους (0-10-20-40-60-80-100-120 λεπτών). Κατά την διαδικασία μελετήθηκαν η ενεργότητα ύδατος (a_w), το ποσοστό υγρασίας, η περιεκτικότητα αλατιού, η απώλεια νερού (WL), η πρόσληψη στερεών (SG), η μεταβολή του χρώματος, της υφής ως συνάρτηση της μεταβολής της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων (ολιγοφρουκτόζη – μαλτοδεξτρίνη) και του χρόνου της ώσμωσης. Με βάση τον σχεδιασμό Box – Behnken, σε ένα σύνολο 18 πειραμάτων, λάβαμε αποτελέσματα που στην συνέχεια με την βοήθεια της μεθόδου απόκρισης επιφάνειας (RSM, Response Surface Methodology) και τα κριτήρια που είχαμε θέσει (ελάχιστη a_w , μέγιστη πρόσληψη στερεών και %NaCl < 2.5%) στο πρόγραμμα MiniTab, εκτιμήθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες της ώσμωσης. Με τις βέλτιστες συνθήκες 40% ολιγοφρουκτόζη, 30% μαλτοδεξτρίνη, σε θερμοκρασία 50°C και χρόνο ώσμωσης 67 λεπτά εκτελέστηκε το τελικό πείραμα επαλήθευσης στο εργαστήριο, όπου τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά καθώς αναμενόμενες και πειραματικές τιμές εμφάνισαν μικρό ποσοστό σφάλματος.

Abstract

Mushroom by-products are becoming increasingly popular in the food industry. In addition to the high percentage of proteins and vitamins they contain, they also contain trace elements, important bioactive compounds, low percentages of fats and sugars, that make them an ideal substitute for meat and a leader in consumer preferences in the near future. However, mushrooms and consequently their by-products have a short shelf life, due to the ease of deterioration that distinguishes them. In particular, mushrooms can not withstand more than 3 days at room temperature, or 8 in cooling conditions. Its life expectancy is increased by the use of MAP (Modified Atmosphere Package). Their lifespan seems to be affected by the high moisture content, the high water activity (a_w), the enzyme activity, the high pH value and some microbial alterations. It is imperative, to find a way to delay the impending deterioration for as long as possible and to maintain the economic and commercial power of the food. An ally in this effort seems to be osmotic dehydration, a gentle process of preserving food that aims to prolong their life and improve their quality characteristics. Osmotic dehydration is a mass transfer process in which the test product (high water content) is immersed whole or chopped in hypertonic solution, i.e. a solution with a high concentration of sugars or salt. The whole process is aimed at transferring water from inside the food to the solution and shielding it.

The aim of the present experimental study was to perform a kinetic study of osmotic dehydration in samples of by-products of mushrooms (roots) of the species *Pleurotus ostreatus*. The by-products were immersed in an osmotic solution of concentrations of oligofructose (20% - 40%), maltodextrin (10% - 30%), NaCl 5%, ascorbic acid 1.5% and water. The process was carried out at temperatures of (30°C) - (40°C)- (50°C) and samples were taken and measured at times (0-10-20-40-60-80-100-120 minutes). During the process, we measured the water activity (a_w), the moisture content, the salt content, the water loss (WL), the solids uptake (SG), the change of color, the texture as a function of the change of temperature, the

concentration of osmotic agents (oligofructose - maltodextrin) and the time of osmosis. Based on the Box - Behnken design, in a total of 18 experiments, we obtained results which then with the help of RSM, Response Surface Methodology and the criteria we had set (minimum a_w , maximum solids gain and % NaCl < 2.5%) in the MiniTab program, the optimal osmosis conditions were estimated. With the optimal conditions 40% oligofructose, 30% maltodextrin, at a temperature of 50°C and an osmosis time of 67 minutes the final verification experiment was performed in the laboratory, where the results were satisfactory as expected and experimental values showed a small error rate.

Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Εισαγωγή.....	5
Abstract.....	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
Κεφάλαιο 2: Γενικά για τα μανιτάρια.....	14
2.1 Η πορεία του μανιταριού μέσα από τις ιστορικές αναφορές.....	14
2.2 Μορφολογία μανιταριού.....	16
2.3 Διατροφική αξία – Σύσταση μανιταριών.....	18
2.3.1 Μεταλλικά στοιχεία και βιταμίνες στο μανιτάρι.....	18
2.3.2 Βασική σύσταση μανιταριού.....	19
2.3.3 Ιατρική και μανιτάρια.....	22
2.3.4 Βιοενεργές ουσίες – βιοδραστικές ενώσεις.....	22
2.4 Οφέλη παραγωγής μανιταριών.....	26
2.5 Είδη του γένους <i>Pleurotus</i>	26
2.5.1 <i>Pleurotus ostreatus</i>	28
2.5.2 <i>Pleurotus eryngii</i>	28
2.5.3 <i>Pleurotus nebrodensis</i>	29
2.5.4 <i>Pleurotus citrinopileatus</i>	30
Κεφάλαιο 3: Παραπροϊόντα τροφίμων.....	31
3.1 Απώλειες – απόβλητα κατά τα στάδια παραγωγής και διανομής.....	32
3.2 WMS (waste mushroom substrate).....	34
3.3 Διαχείριση και αξιοποίηση παραπροϊόντων τροφίμων.....	35
3.3.1 Τρόποι αξιοποίησης - διαχείρισης.....	36
3.4 Σύσταση παραπροϊόντων - γλυκάνες.....	38
3.5 Meat Analogues.....	39

3.5.1 Σόγια	41
3.5.2 Μανιτάρι.....	42
3.5.3 Γλουτένη σίτου	42
Κεφάλαιο 4: Τρόποι αλλοίωσης και διαδικασίες συντήρησης.....	43
4.1 Αλλοίωση τροφίμων.....	43
4.1.1 Αλλοίωση μανιταριών	43
4.2 Τρόποι συντήρησης – επέκτασης ζωής μανιταριών	45
4.2.1 Ξήρανση.....	46
4.2.2 Κατάψυξη	47
4.2.3 Τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP).....	48
Κεφάλαιο 5: Ωσμωτική αφυδάτωση.....	49
5.1 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης	50
5.2 Ωσμωτικό Μέσο	52
5.3 Αναλογία προϊόντος / ωσμωτικού μέσου	54
5.4 Χρόνος εμβάπτισης προϊόντος.....	55
5.5 Θερμοκρασία διεργασίας.....	55
5.6 Συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου	56
5.7 Προκατεργασίες	56
5.8 Μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	58
5.9 Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε μανιτάρια με τη χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης.	60
Κεφάλαιο 6: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM)	64
6.1 Εισαγωγή	64
6.2 Μεθοδολογία	67
6.2.1 Πειραματικός σχεδιασμός Box - Behnken	68
6.3 Συνδυασμός ωσμωτικής αφυδάτωσης και μεθοδολογίας RSM.....	70
Κεφάλαιο 7: Μέθοδοι και Υλικά	73

7.1 Ωσμωτική Αφυδάτωση.....	73
7.2 Πειραματική Διαδικασία	75
7.3 Μετρήσεις Ωσμωτικής Αφυδάτωσης.....	76
7.3.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος (°Brix).....	76
7.3.2. Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (a_w , water activity).....	77
7.3.3 Προσδιορισμός χρώματος δείγματος	78
7.3.4 Προσδιορισμός-Ανάλυση Υφής.....	81
7.3.5 Μέθοδος προσδιορισμού άλατος.....	83
7.3.6 Προσδιορισμός Ολικών Στερεών	84
7.4 Βελτιστοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM).....	86
Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	89
8.1 Κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε παραπροϊόντα του μανιταριού <i>Pleurotus ostreatus</i>	89
8.1.1 Ενεργότητα ύδατος στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	90
8.1.2 Ποσοστό υγρασίας στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	92
8.1.3. Συγκέντρωση NaCl στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	94
8.1.4. Απώλεια νερού (WL) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	96
8.1.5 Πρόσληψη στερεών (SG) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	98
8.1.6 Μεταβολή της φωτεινότητας (L/L0) στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i>	100
8.1.7 Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	102
8.1.8 Μεταβολή της υφής f/f_0 στα δείγματα παραπροϊόντων του <i>Pleurotus ostreatus</i>	104

8.2 Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης παραπροϊόντων μανιταριού <i>Pleurotus ostreatus</i> με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken	106
Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα και Υποδείξεις για Περαιτέρω έρευνα	110
9.1 Συμπεράσματα	110
9.2 Υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα	112
Βιβλιογραφία	113
Ξένη Βιβλιογραφία	113
Ελληνική Βιβλιογραφία	126

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Μιλώντας για μανιτάρι, θεωρούμε το κομμάτι αυτό που είναι διακριτό σε σχέση με το υπόλοιπο μέρος ενός μύκητα. Τα μανιτάρια είναι οι ευμεγέθεις καρποφορίες που σχηματίζουν ορισμένες κατηγορίες μυκήτων κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου. Πρακτικά, ο ρόλος τους μπορεί να συγκριθεί με αυτόν των φυτών, καθώς είναι το όργανο που θα βοηθήσει στην αναπαραγωγή. Στο μεγαλύτερο κομμάτι της ζωής τους βρίσκονται κάτω από το έδαφος με τη μορφή μυκηλίου που αναπτύσσεται σαν ιστός με τη μορφή μυκηλιακών υφών. Ζουν ακόμα σε φύλλα ή σε κορμούς δέντρων και όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές αναπτύσσουν το καρπόσωμα, το γνωστό σε εμάς μανιτάρι. Είναι βρώσιμοι μύκητες και χρησιμοποιούνται ως τρόφιμο από την αρχαιότητα. Οι μύκητες, μία τεράστια ομάδα οργανισμών, αριθμούν περισσότερα από 75.000 είδη, από τα οποία όμως μόνο τα περίπου 10.000 λογίζονται ως μακρομύκητες – μανιτάρια, ενώ τα 2.000 μπορούν να θεωρηθούν αξιόλογη τροφή για τον άνθρωπο. Σε εμπορική κλίμακα και με βάση τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, μόνο τα 20 από το σύνολο των ειδών αυτών θα καλλιεργηθούν και θα καταλήξουν προς κατανάλωση (Ζερβάκης 1998). Στην Ελλάδα, μέχρι σήμερα αναγνωρίζονται 900 είδη. Τα μανιτάρια, όπως άλλωστε και τα φυτά, διακρίνονται σε εδώδιμα, φαρμακευτικά, παραισθησιογόνα και δηλητηριώδη.

Κεφάλαιο 2: Γενικά για τα μανιτάρια

2.1 Η πορεία του μανιταριού μέσα από τις ιστορικές αναφορές

Από την παλαιολιθική κιόλας εποχή, τα μανιτάρια μέσα σε ένα σύνολο από πολλά άλλα φυτά και ρίζες χρησιμοποιούνταν ως παραισθησιογόνο μέσο σε τελετές, ώστε να αποκτήσει ο συμμετέχων την ικανότητα της σύνδεσης και συνύπαρξης με τον κόσμο των πνευμάτων. Σε ορισμένους κιόλας λαούς, λόγω της συγκεκριμένης τους ιδιότητας, κατέχουν εξέχουσα θέση σε τελετές ακόμα και σήμερα. Οι Ινδιάνοι που έζησαν σε χώρες κυρίως της Κεντρικής Αμερικής έκαναν εκτενή χρήση μανιταριών, γεγονός που δικαιολογεί την ύπαρξη τους στην θρησκεία και μυθολογία τους. Συχνά συνδύαζαν την εμφάνιση ορισμένων ειδών, με κεραυνούς και αστραπές.

Η χρήση των μανιταριών σε τελετές δεν περιορίζεται μόνο σε αυτές τις χώρες κατά την ιστορία. Όπως αναφέρει ο Robert Graves, οι Σάτυροι, οι Κένταυροι και οι γυναίκες Μαινάδες που τους ακολουθούσαν, κατά την ετήσια φθινοπωρινή γιορτή της αμβροσίας έπεφταν σε έκσταση κάνοντας χρήση του μανιταριού *Amanita muscaria*. Το μανιτάρι αυτό είναι παραισθησιογόνο και είχε τρομακτικές επιπτώσεις. Λέγεται ότι προκαλούσε μανίες καταστροφής, ερωτισμού και προφητικής ενόρασης, αλλά και δημιουργούσε εντυπωσιακή αύξηση στη μυϊκή δύναμη. Την έκσταση ακολουθούν μερικές ώρες απόλυτης αδράνειας, φαινόμενο που εξηγεί πως -κατά τον μύθο- ο Λυκούργος κατάφερε να εξοντώσει, οπλισμένος μόνο με μία αξίνα, τις Μαινάδες και τους Σατύρους που ακολουθούσαν τον Διόνυσο μετά την νικηφόρο επιστροφή του από την Ινδία. Σ' έναν Ετρουσκικό καθρέφτη υπάρχει χαραγμένο πιθανά το ίδιο μανιτάρι *Amanita muscaria* στο πόδι του Ιξίωνα, του Θεσσαλού ήρωα που γευμάτιζε και έπινε αμβροσία μαζί με τους θεούς. Έτσι πιστεύεται ότι πιθανά η “αμβροσία” και το “νέκταρ” ήταν παραισθησιογόνα μανιτάρια.

Στην αρχαιότητα τα μανιτάρια θεωρούνταν το μυστικό συστατικό για την αντιμετώπιση πολλών ασθενειών. Η πρώτη ιστορική αναφορά έγινε από τον Ιπποκράτη γύρω στο 400 π.Χ., ο οποίος ανέλυσε τις φαρμακευτικές τους ιδιότητες.

Πρώτος ο Διοσκουρίδης έκανε μια σημαντική διάκριση μεταξύ των βρώσιμων και των δηλητηριωδών μανιταριών τον 1^ο μ.Χ. αιώνα, ο οποίος και επεσήμανε πολλές από τις θεραπευτικές τους ιδιότητες. Η εσφαλμένη του άποψη όμως, πως οι δηλητηριώδεις ουσίες που χαρακτηρίζουν πολλά μανιτάρια προσδίδονται σε αυτά από το έδαφος στο οποίο καλλιεργούνται, επικράτησε μέχρι τα 1600 και χρειάστηκαν πολλά χρόνια ερευνών για να καταρριφθεί και να γίνει ευρέως πλέον γνωστό πως μόνο μερικά από τα μανιτάρια περιέχουν αυτές τις ουσίες ως αποτέλεσμα του μεταβολισμού τους. Η δηλητηριώδης φύση κάποιων εξ αυτών, οδήγησε αργότερα στην χρήση τους ως μέσου εξόντωσης πολιτικών αντιπάλων, θανάτωσης καταδίκων και, ως αποτέλεσμα αυτού, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο σε πολιτικές αλλά και ιστορικές εξελίξεις. Τόσο η σύγχρονη φαρμακευτική χημεία όσο και η πρακτική ιατρική μάς δίνουν πολλά παραδείγματα χρήσης μανιταριών.

Η πρώτη αναφορά στην κατανάλωση μανιταριού, φέρεται να σχετίζεται με την Αρχαία Αίγυπτο, όπου και αποτελούσαν την τροφή του Φαραώ. Παρόλα αυτά, το μανιτάρι λατρεύτηκε μετέπειτα από τους Ρωμαίους και τους Έλληνες, οι οποίοι το θεωρούσαν μια εξαιρετική τροφή και το ανέφεραν σε ιστορικά κείμενα ως «ύδνον», δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στην ομοιότητα που είχε η οσμή του με αυτή του κρέατος. Μάλιστα, ήταν αυτοί οι δύο λαοί που πραγματοποίησαν τις μεγαλύτερες προσπάθειες για μία εκτενέστερη καλλιέργειά του.

Ωστόσο, οι πρώτες επιτυχείς μέθοδοι καλλιέργειας μανιταριών αναπτύχθηκαν στην Κίνα και την Ιαπωνία, όπου ο μύκητας *Auricularia auricula-judae* αναφέρεται ότι καλλιεργείται από το 300 μ.Χ., ενώ ο *Lentinula edodes* από το 100 μ.Χ.. Σε κείμενα που χρονολογούνται από το 1620 και μεταγενέστερα, υπάρχουν πληροφορίες για την καλλιέργεια όχι μόνον του κοινού άσπρου μανιταριού *Agaricus bisporus* αλλά και άλλων μανιταριών, όπως του *Lentinula edodes*, διαφόρων ειδών *Pleurotus*, και του *Volvariella volvacea*. Μέχρι και σήμερα, η Κίνα είναι η χώρα που κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή μανιταριών παγκοσμίως (Zhang et al., 2014). Τα μανιτάρια πλέον, έχουν καθιερωθεί στις διατροφικές συνήθειες των καταναλωτών και συνιστούν ένα υποκατάστατο του

κρέατος, καθώς περιέχουν ένα σημαντικό αριθμό πρωτεϊνών, αμινοξέων και βιταμινών, ωφελώντας έτσι τον άνθρωπο.

2.2 Μορφολογία μανιταριού

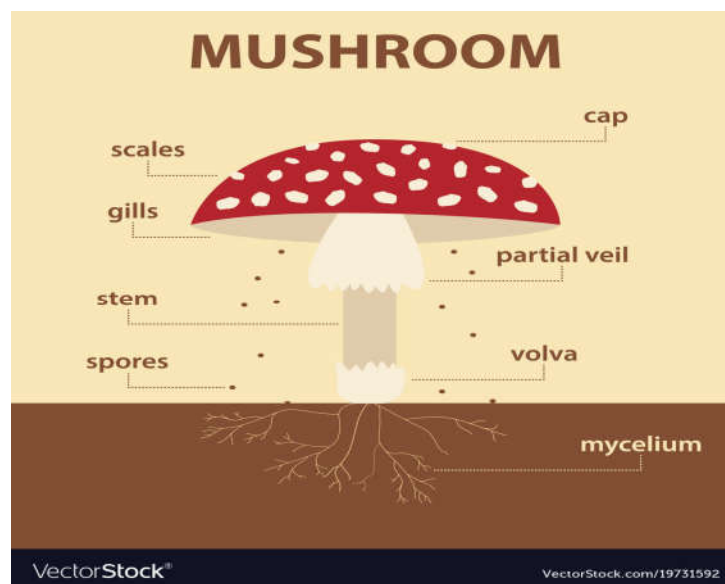
Τα κύρια μέρη ενός μύκητα, όπως φαίνονται στην εικόνα 1, είναι τα εξής:

Βολβός (voilva): Είναι μια μεμβράνη που μεγαλώνει σε οβάλ μορφή ή ως μορφή κυπέλλου και επιτρέπει την ανάπτυξη του μύκητα μέσα σε αυτό. Είναι εύκολα αναγνωρίσιμα σε άγρια μανιτάρια επειδή είναι σαν ένα είδος ατελούς δέρματος που ξεκινάει από τη βάση του μύκητα. Η παρουσία του βολβού θεωρείται σημαντικό χαρακτηριστικό όταν εντοπίζονται μύκητες, καθώς θα διευκρινίσει όχι μόνο τα είδη αλλά τον τοξικό ή βρώσιμο χαρακτήρα τους. Ο βολβός θεωρείται υπόλειμμα του γενικού πέπλου που καλύπτει τον μύκητα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής του και συνεπώς δεν εκπληρώνει άλλη λειτουργία εκτός από μια ελαφρά προστασία στο σώμα του διαμορφωμένου μύκητα. Αναπτύσσεται υπόγεια, δεν είναι εύκολα ορατό και λειτουργεί προστατευτικά. Η παρουσία, ορατή ή μη, του βολβού επιτρέπει την κατηγοριοποίηση του μύκητα που παρατηρείται άμεσα ως μέλος της ομάδας ασκομυκητών.

Στίπος (stem): Ονομάζεται ο μίσχος του μύκητα. Η δομή υποστηρίζει το μέγεθος του καπέλου και έχει μαλακή υφή σαν αυτή του υπόλοιπου μύκητα. Μια κύρια λειτουργία του στίπου είναι η μεγιστοποίηση του καταμερισμού των σπόρων από το καπέλο του μανιταριού, επιτυγχάνοντας ποικιλία υψών αντίστοιχα με το είδος του και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Υπάρχουν είδη που έχουν ένα στίπο που εκτείνεται με μεγαλύτερο μήκος κάτω από τη γη. Το στέλεχος λαμβάνεται υπόψη ως σημαντικό στοιχείο για την αναγνώριση του μύκητα και τον προσδιορισμό άλλων χαρακτηριστικών.

Υμένιας (Hymenium): Είναι το κάτω μέρος του μύκητα. Η λειτουργία του υμένα είναι να αποβάλει τους σπόρους στο περιβάλλον. Η υφή του είναι ελάχιστα πιο στερεή από το υπόλοιπο μανιτάρι. Το υμένιο έχει ένα εσωτερικό συστατικό που ονομάζεται sub hymenium, το οποίο αποτελείται από ένα σύστημα που εγγυάται την ανάπτυξη των κυττάρων του υμενίου. Τα κύτταρα του υμένα αναπτύσσονται με τη μορφή βασιδίου και

παράγουν τα σπόρια που θα απελευθερώσει ο μύκητας. Παρά τη σπουδαιότητα των άλλων δομών, όταν εντοπίζεται ένας μύκητας, το υμένιο είναι το πρώτο μέρος που πρέπει να συμβουλευθεί και να αναλυθεί, δεδομένου ότι είναι το λειτουργικό συστατικό που προκύπτει από την ανάπτυξη του μύκητα. Πίλος (cap): Είναι το ορατό άνω μέρος ενός μανιταριού, το οποίο λειτουργεί ως προστασία για το υμένα και το εσωτερικό σύστημα αναπαραγωγής των σπορίων. Μυκήλιο (mycelium): Το μυκήλιο ενός μανιταριού είναι ουσιαστικά το ριζικό σύστημα. Αποτελείται από λεπτά νημάτια, τα οποία τεντώνονται προς τα έξω και προς τα κάτω για να αναζητήσουν θρεπτικά συστατικά στο έδαφος. Έχουν συνήθως μορφές που μπορούν να ποικίλουν σε ένα ίδιο δείγμα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξής τους. Τα πιο συνηθισμένα σχήματα καπέλων είναι συνήθως κωνικά και κυρτά, τα οποία καθίστανται επίπεδα καθώς ο μύκητας αναπτύσσεται μέχρι να πεθάνει. Τα γραφικά σχήματα του καπέλου έχουν δημιουργήσει μια νέα προοπτική στους μύκητες, εξαιτίας όλων των παραλλαγών που μπορούν να παρουσιάσουν. (Πηγή: el.thpanorama.gr)



Εικόνα 2.1. Τα μέρη ενός μανιταριού.

2.3 Διατροφική αξία – Σύσταση μανιταριών

Τα μανιτάρια αποτελούνται από 1 - 6% σάκχαρα και 20.3 - 42% πρωτεΐνη, με βάση το ξηρό τους βάρος, ξεπερνώντας έτσι τα ποσοστά πρωτεΐνης άλλων τροφών, όπως του γάλακτος και των δημητριακών (*Bisaria & Madan, 1983; Ponmurugan et al., 2007*). Στο πρωτεϊνικό κλάσμα, το αμινοξύ που κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό είναι το γλουταμινικό (13-21%) και στη συνέχεια το ασπαρτικό (9-12%) και η αργινίνη (4-12%), ενώ τα υπόλοιπα (τυροσίνη, λευκίνη, λυσίνη, βαλίνη και αλανίνη) διακρίνονται τις περισσότερες φορές σε συγκεντρώσεις μικρότερες του 1 mg g^{-1} νωπού βάρους (*Reis et al., 2012*). Επίσης, περιέχουν μεγάλο ποσοστό βιταμινών, όπως 0.5- 1.5% βιταμίνη B2, βιταμίνη D, E και K, αλλά αποτελούνται και από γλυκογόνο, μαννιτόλη, ίχνη σορβιτόλης, αραβιτόλη και άλλα ιχνοστοιχεία και άλατα (*La Guardia et al., 2005*).

2.3.1 Μεταλλικά στοιχεία και βιταμίνες στο μανιτάρι

Αναφορικά με τα μεταλλικά στοιχεία, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1, το κάλιο συσσωρεύεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στις καρποφορίες των μυκήτων ακολουθούμενο από το ασβέστιο και το νάτριο, ενώ τα εδώδιμα μανιτάρια περιέχουν σημαντικές ποσότητες ψευδαργύρου και χαλκού σε σύγκριση με άλλα τρόφιμα (*Kalač 2013, Mattila et al. 2001*). Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων διαφέρει σημαντικά από είδος σε είδος, αλλά επίσης επηρεάζεται και από τη συγκέντρωση των υποστρωμάτων στα οποία αναπτύσσονται. Όσον αφορά τις βιταμίνες που περιέχουν, η συγκέντρωση του ασκορβικού οξέος (βιταμίνη C) κυμαίνεται από 150 έως 300 mg kg^{-1} , η θειαμίνη (B1) από 1,7 έως 6,3 mg kg^{-1} , η ριβοφλαβίνη (B2) 2,6 – 9,0 mg kg^{-1} , η νιασίνη (B3) 63,8 – 83,7 mg kg^{-1} και η πυριδοξίνη (B6) 1,4 – 5,6 mg kg^{-1} , ενώ η εργοστερόλη (προβιταμίνη της D2 και ιδιαίτερα σημαντική στην μελέτη των μυκήτων) κυμαίνεται από 3 έως 7 g kg^{-1} ξηράς ουσίας (*Kalač 2013*).

Πίνακας 2.1. Συνήθεις συγκεντρώσεις (g kg⁻¹ ξηρού βάρους) των κύριων μεταλλικών στοιχείων σε αυτοφυή και καλλιεργούμενα μανιτάρια κατά φθίνουσα σειρά. (ΠΗΓΗ: *Kalac, 2013*)(*Κουτρώσιος, 2019*).

Στοιχείο	Συγκέντρωση (g kg ⁻¹)
Κάλιο (K)	20-40
Φωσφόρος (P)	5-10
Χλώριο (Cl)	1-6
Θείο (S)	1-6
Μαγνήσιο (Mg)	0,8-1,8
Ασβέστιο (Ca)	0,1-0,5
Νάτριο (Na)	0,1-0,4

2.3.2 Βασική σύσταση μανιταριού

Γενικά, τα μανιτάρια θεωρούνται μια εξαιρετική τροφή και ένας ισχυρός σύμμαχος κατά της παχυσαρκίας, καθώς περιέχουν αμελητέες ποσότητες λίπους και σακχάρων, αλλά σημαντικές ποσότητες φυτικών ινών. Αποτελούν τροφή υψηλού πρωτεϊνικού και χαμηλού θερμιδικού περιεχομένου και επίσης εμπεριέχουν μέταλλα και σημαντικά βιοδραστικά συστατικά. Η ποσότητα του περιεχόμενου νερού είναι αρκετά υψηλή και κυμαίνεται από 86 έως 92%. Το μέσο περιεχόμενο σε ολικό λίπος και τέφρα είναι 30 και 80 g kg⁻¹ ξηρού βάρους αντίστοιχα, ενώ το υπόλοιπο καταλαμβάνεται κυρίως από υδατάνθρακες (*Kalac 2013*). Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε λιπαρά, περισσότερα από δέκα λιπαρά οξέα έχουν ανιχνευτεί στα μανιτάρια. Τα λινολεϊκό οξύ, ολεϊκό οξύ και παλμιτικό οξύ είναι αυτά με την μεγαλύτερη συγκέντρωση. Επιπλέον, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα στα καλλιεργούμενα μανιτάρια ξεπερνούν το 70% των ολικών (*Reis et al., 2012*). Η μαννιτόλη και η τρεχαλόζη αποτελούν τις πιο κοινές ενώσεις μεταξύ

των αλκοολικών σακχάρων και των ολιγοσακχαριτών αντίστοιχα, ενώ οι β-γλυκάνες είναι ο επικρατέστερος και καλύτερα μελετημένος πολυσακχαρίτης των μανιταριών (Kalač 2013, Reis et al. 2012). Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζεται η βασική σύσταση των πιο κοινών ειδών όπως προέκυψε από πρόσφατες δημοσιεύσεις. Η μεγάλη διακύμανση των βασικών συστατικών φαίνεται ότι οφείλεται τόσο στα διαφορετικά στελέχη από τα οποία προήλθαν οι καρποφορίες όσο και από τις παραλλαγές στη σύσταση του υποστρώματος.

Πίνακας 2.2. Ενδεικτικές τιμές της βασικής σύστασης (g kg⁻¹ ξηρού βάρους) και ενέργειας (kcal kg⁻¹ φρέσκου βάρους) των πιο κοινών καλλιεργούμενων μανιταριών (Κουτρώτσιος, 2019).

Είδος	Ξηρά Ουσία	Πρωτεΐνες	Λίπος	Τέφρα	Υδατάνθρακες	Ενέργεια	Πηγή
<i>Agaricus bisporus</i> (λευκό)	87,3	140,8	21,8	97,4	740,0	352,0	Reis et al., 2012
<i>Agaricus bisporus</i> (καφέ)	83,6	154,3	16,7	113,6	715,4	303,0	Reis et al., 2012
<i>Agaricus brasiliensis</i>	-	267,4	26,2	68,1	638,3	-	Tsai et al., 2008
<i>Flammulina velutipes</i>	121,3	38,7	28,9	72,5	859,9	467,0	Reis et al., 2012
	-	266,5	92,3	75,1	566,1	-	Ulziijargal and Mau, 2011
<i>Hypsizygus marmoreus</i>	-	196,0	-	-	-	-	Lee et al., 2009

<i>Lentinula edodes</i>	202,2	44,0	17,3	67,3	871,4	772	Reis et al., 2012
	-	204,6	63,4	52,7	679,3	-	Ulziijargal and Mau, 2011
<i>Pleurotus Ostreatus</i>	108,3	70,2	14,0	57,2	858,6	416	Reis et al., 2012
	-	238,5	21,6	75,9	664,0	-	Ulziijargal and Mau, 2011
<i>P. eryngii</i>	100,0	416,0	5,0	60,0	519,0	-	Akyuz and Kirbag, 2010
	88,0	166,9	54,5	67,0	711,6	-	Jaworska et al., 2011
	110,0	110,0	14,5	61,8	813,7	421	Reis et al., 2012
	-	221,5	15,7	57,6	705,2	-	Ulziijargal and Mau, 2011
<i>P. sajor-caju</i>	100,0	374,0	10,0	63,0	553,0	-	Akyuz and Kirbag, 2010

Το βρώσιμο μανιτάρι αποτελείται από μια μάζα αδιάλυτης βρώσιμης ίνας (Chiron & Michelot, 2005). Εκτός από την εξαιρετική γεύση τους, ορισμένες

αποδεδειγμένες υγιείς ιδιότητες, όπως χαμηλά λιπαρά και χαμηλή ενέργεια αύξησαν την αποδοχή τους από τους καταναλωτές, οι οποίες συνδέονται στενά με τις άφθονες διαιτητικές ίνες τους. Σε σύγκριση με άλλες συμβατικές πηγές γεωργικών διαιτητικών ινών, όπως δημητριακά, φρούτα, όσπρια και λαχανικά, φυτικές ίνες που προέρχονται από μανιτάρια ή μύκητες εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται λιγότερο (*Beluhan, 2011; Manzi, Aguzzi, & Pizzoferrato, 2001; Manzi, Marconi, Aguzzi, & Pizzoferrato, 2004*). Παρόμοια με τις γεωργικές ίνες, οι ίνες μανιταριών αναφέρονται σε πολλά συνδεδεμένα κυτταρικά τοιχώματα και μπορούν να θεωρηθούν ως νέες διαιτητικές ίνες (*Cheung, 2013*).

2.3.3 Ιατρική και μανιτάρια

Εκτός από μεγάλη διατροφική αξία, τα μανιτάρια, και κυρίως τα βρώσιμα, έχουν πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες. Σε ένα σύνολο 10.000 γνωστών ειδών μανιταριών, εκ των οποίων τα 2.000 είναι ασφαλή για κατανάλωση από τον άνθρωπο, τα 650 φαίνεται μέσα από μελέτες να έχουν φαρμακευτικές ιδιότητες. Πολλά από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην παραδοσιακή ιατρική για χιλιάδες χρόνια, για να γιατρέψουν από απλές και παλιές κοινές ασθένειες (π.χ. δερματικές παθήσεις) έως πιο σύνθετες και επιδημιολογικές ασθένειες όπως το AIDS (*Hrudayanath & Sameer, 2014*). Σήμερα η παραγωγή τους είναι διαδεδομένη σε ολόκληρο τον κόσμο διότι είναι μια σημαντική πηγή εσόδων. Υπολογίζεται μάλιστα ότι το 2009 παράχθηκαν 10 εκατομμύρια τόνοι εδώδιμων και φαρμακευτικών μανιταριών (*Das et al., 2010*). Η χρήση μυκήτων στον τομέα των φαρμάκων έχει διακριτά προτερήματα σε σχέση με τις χημικές μεθόδους, όπως τη βιοασφάλεια, την μη-τοξικότητα και το ότι είναι υψηλά φιλική προς το περιβάλλον (πράσινη χημεία/green chemistry) (*Owaid et al., 2017*).

2.3.4 Βιοενεργές ουσίες – βιοδραστικές ενώσεις

Οι βιοενεργές ουσίες τους μπορούν να διακριθούν σε δευτερογενείς μεταβολίτες (οξέα, πολυφαινόλες, αλκαλοειδή, λακτόνες, στερόλες), σε γλυκοπρωτεΐνες και σε πολυσακχαρίτες, και κυρίως β-γλυκάνες. Οι πολυσακχαρίτες τους συγκεκριμένα, είναι γνωστοί για τις ευεργετικές τους ιδιότητες και πιο

συγκεκριμένα για την θωράκιση του ανοσοποιητικού και τις αντικαρκινικές ιδιότητες (Nagulwar et al., 2020). Επιπλέον, τα εκχυλίσματα από το βασιδιοκάρπιο του *A. bisporus* έχουν αντιοξειδωτική και αντιμικροβιακή δράση, ενώ γενικά τα είδη *Pleurotus* έχουν ένα στενό αντιβακτηριακό φάσμα έναντι αρνητικών κατά Gram βακτηρίων (Hrudayanath & Sameer, 2014). Επίσης, όπως αναφέρεται, η ένταξη συστατικών των *Pleurotus* στη σύνθεση τροφής ελαττώνει τα επίπεδα γλυκόζης, γλυκοζυλιωμένης αιμοσφαιρίνης, ολικής χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων, καθώς και τους δείκτες ηπατικής και νεφρικής βλάβης (ουρία και κρεατινίνη) (Carrasco-González et al., 2017).

Ανάμεσα στα πιο ενδιαφέροντα και καλύτερα μελετημένα συστατικά των καλλιεργούμενων μανιταριών (αναφορικά με την περιεκτικότητα τους και την επίδραση σε διάφορες λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος) είναι η εργοθειονίνη, τα φαινολικά, τα τριτερπενοειδή (όλα εν δυνάμει αντιοξειδωτικά), οι β-γλυκάνες με αποδεδειγμένες αντικαρκινικές και πρεβιοτικές ιδιότητες, το γ-αμινοβουτυρικό οξύ (κύριος ανασταλτικός νευροδιαβιβαστής στο νευρικό σύστημα των θηλαστικών) και η λοβοστατίνη με υποχοληστερολαιμικές και υπολιπιδαιμικές ιδιότητες. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται το εύρος της συγκέντρωσης κάποιων από αυτά στα πιο κοινά είδη καλλιεργούμενων μανιταριών.

Πίνακας 2.3. Περιεκτικότητα επιλεγμένων βιοδραστικών συστατικών σε κοινά είδη καλλιεργούμενων μανιταριών (Κουτρώσιος, 2019) .

Είδος	Λοβοστατίνη (mg/kg)	β – γλυκάνες (g/100kg)	Εργοθειονίνη (mg/kg)	γ – αμινοβουτυρικό οξύ (mg/kg)	Εργοστερόλη (mg/100g)	Πηγή*
<i>Agaricus bisporus</i>	81 – 565	5,7 – 12,0	933 – 1210	125 – 2400	602-794	[1-9]
<i>Agaricus blazei</i>	184	3,0 – 13,1	39 – 85	360 – 590	-	[6, 7, 10-13]

<i>Auricularia auricula-judae</i>	-	8,3 – 42,0	-	-	70 – 227	[5, 6, 14-16]
<i>Auricularia polytricha</i>	16	18,09	1,4	282	-	[11, 14]
<i>Flammulina velutipes</i>	40 – 91	18,3 – 21,0	57 – 455	230 – 339	255 – 417	[1, 2, 6, 9, 10]
<i>Ganoderma lucidum</i>	68–254	23,5 – 55,0	14,5 – 80	17 – 63	403	[3, 7, 10, 11, 17]
<i>Grifola frondosa</i>	3 – 12	26,0 – 32,5	143 – 553	18 – 280	692 – 911	[1, 5, 7, 9, 10, 18-20]
<i>Hericium erinaceus</i>	14	35,3 – 33,9	960	-	240 – 260	[3, 7, 15, 18, 21]
<i>Lentinula edodes</i>	3 – 37	20,0 – 27,4	137,7 - 412,3	351 – 622	495 – 1246	[1-3, 5-11, 22-25]
<i>Pholiota nameko</i>	186	-	229	8	-	[1]
<i>Pleurotus ostreatus</i>	165 – 980	10,1 – 33,3	944 – 2444	6 – 25	427 – 730	[1-3, 6, 8, 9, 18, 25-27]
<i>Trametes versicolor</i>	3	22,2 – 53,0	68	100	-	[5-7, 10]
<i>Tremella fuciformis</i>	2 – 30	14,9 – 15,6	7 – 27	372 – 687	10	[11] [3, 7, 16]
<i>Volvariella volvacea</i>	59	36,37	537	999 – 1150	159	[11, 17, 28]

* 1)Chen 2012, 2)Lee et al., 2006, 3)Tsai et al., 2007, 4)Sari et al., 2017, 5)Lee and Kim 2005, 6)McClearly and Draga, 2004, 7)Mattila et al., 2002, 8)Philips et al., 2011, 9)Lin et al., 2013, 10)Lo et al., 2012, 11)Tsai et al., 2008, 12)Toledo et al., 2013, 13)Kim et al., 2012, 14)Banlangsawan and Sanoamuang 2016, 15)Huang et al., 1985, 16) Raina et al., 2014, 17)Cohen et al., 2014, 18)Huang et al., 2011, 19)Dubost et al., 2006, 20)Koutrotsios et al., 2016, 21)Kozarski et al., 2012, 22)Kim et al., 2010, 23)Bak et al., 2014. 25)Teichmann et al., 200, 26)Tsai et al., 2009, 27) Synytsya et al., 2008, 28)Eguchi et al., 2015

2.3.4.1 Εργοστερόλη

Τα μανιτάρια θεωρούνται σημαντική πηγή πολλών βιοδραστικών ενώσεων όπως οι πολυφαινόλες, οι πολυσακχαρίτες (δηλαδή οι β-γλυκάνες) και οι στερόλες (δηλαδή η εργοστερόλη) (Papoutsis et al., 2020). Η εργοστερόλη, είναι μια στερόλη που υπάρχει σε μεγάλα ποσοστά στα μανιτάρια και μπορεί να βρεθεί στις κυτταρικές μεμβράνες των μυκήτων, όπου είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της ακεραιότητας, της ρευστότητας και της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης (Abe and Hiraki, 2009). Η εργοστερόλη, αποτελεί μία ένωση με ιδιαίτερα υψηλή εμπορική αξία και για αυτό τον λόγο, υπάρχει ένα τρέχον ενδιαφέρον για την εξαγωγή της (Umaña et al., 2020). Η εργοστερόλη είναι μόριο υψηλής αξίας αφού είναι πρόδρομος της βιταμίνης D2 και έχει σχετιστεί επίσης με την ανοσοδραστικότητα και την αντιοξειδωτική ικανότητα (Papoutsis et al., 2020; Shao et al., 2010). Η χημική σύνθεση της εργοστερόλης είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει πολλά βήματα, υψηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλή απόδοση (Blaga et al., 2018). Συνήθως λαμβάνουμε την εργοστερόλη μέσω ζύμωσης (Feldman et al., 2011). Ωστόσο, πρόσφατα, υπήρξε αυξανόμενο ενδιαφέρον μεταξύ των επιστημονικών ερευνητών για εξαγωγή εργοστερόλης από τα μανιτάρια για να επωφεληθούν από τα παραπροϊόντα που παράγονται από αυτόν τον κλάδο (Gil-Ramírez et al. 2013, Heleno et al. 2016a, 2016b, 2016b, Morales et al., 2017, Patil et al., 2018, Taofiq et al. 2020). Παρόλα αυτά, τα υπολείμματα που λαμβάνονται μετά την εκχύλιση της εργοστερόλης από μανιτάρια εξακολουθούν να είναι πλούσια σε άλλες σημαντικές βιοδραστικές ενώσεις με τεχνολογικές ιδιότητες όπως β-γλυκάνες και πρωτεΐνες (Umana et al., 2020).

2.4 Οφέλη παραγωγής μανιταριών

Στις καλλιέργειες η διαθεσιμότητα της γης είναι ένας περιοριστικός παράγοντας, αλλά για τα μανιτάρια δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Σύγχρονες καλλιέργειες έχουν αναπτύξει την ικανότητα να παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ανά μονάδα γης, γεγονός που βοήθησε στο πρόβλημα της έλλειψης πρωτεΐνης σε πολλές χώρες (*Agarwal et al., 2017*). Το κόστος τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κόστος εργασίας, ως εκ τούτου, τα μανιτάρια είναι απίθανο να κοστολογηθούν υψηλά σε αυτές τις χώρες. Επίσης, θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν άλλες πηγές βιταμινών και πρωτεϊνών, όπου αυτές χρειάζονται (*Bisaria & Madan, 1983*). Γενικότερα, τα οφέλη που προσφέρουν οι επιχειρήσεις μανιταριών είναι φανερά τόσο για την μείωση της φτώχειας όσο και για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η παραγωγή είναι ελκυστική ακόμα και για τους κατοίκους των πόλεων (*Zhang et al., 2014*), αφού δε χρειάζεται σημαντικό κεφάλαιο επένδυσης. Πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν τους μύκητες για την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων, όπως υποκατάστατα κρέατος (*Meati, Nature's Fynd*), διακοσμητικά, καφέ (*Four Sigmatic*), είδη περιποίησης κλπ..

Εξαιτίας της εκθετικής αύξησης του πληθυσμού παγκοσμίως, η ανάγκη για τροφή μεγαλώνει, και κατά συνέπεια, η ζήτηση σε ζωοτροφές. Για να διασφαλιστεί η επισιτιστική ασφάλεια, οι ζωοτροφές κατά κύριο λόγο δεν θα πρέπει μελλοντικά να αποτελούνται από τρόφιμα, όπως καλαμπόκι, σιτηρά κλπ. Για το λόγο αυτό, πολλές *in vivo* έρευνες μελετούν την προσθήκη μυκηλίου συγκεκριμένων ειδών (*van Kuijk et al., 2015*), συστατικών (*Willis et al., 2007*), ολόκληρων μανιταριών (*Giannenas et al., 2010*) και υπολειμμάτων (*Fard et al., 2014*) στη διατροφή των ζώων. Σε όλες τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν, η διατροφική αξία του κρέατος των ζώων που χρησιμοποιήθηκαν αυξήθηκε σημαντικά.

2.5 Είδη του γένους *Pleurotus*

Το γένος *Pleurotus* απαρτίζεται από είδη που σχηματίζουν μανιτάρια με χαρακτηριστική μορφολογία (γνωστά ως "oyster mushrooms"), τα οποία παρουσιάζουν παγκόσμια εξάπλωση και αναπτύσσονται κυρίως ως σαπρότροφα σε μεγάλο εύρος υποστρωμάτων (κυρίως νεκρό ξύλο και φυτικά υπολείμματα). Τα

μανιτάρια του γένους φέρουν ελάσματα και το σχήμα τους χαρακτηρίζεται ως “πλευροτοειδές” (δηλ. με έκκεντρο ή πλευρικό στίπο ή και με υποτυπώδη στίπο). Μαζί με τα είδη του γένους *Hohenbuehelia* είναι τα μοναδικά που έχουν τη δυνατότητα να προσβάλλουν και να τρέφονται από ζωντανούς νηματώδεις οργανισμούς. Οι νηματοδοτοξικές κατασκευές που σχηματίζονται συνιστούν χαρακτηριστικό γνώρισμά τους και βοηθούν στην ταξινόμηση των εν λόγω γενών. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, τα δυο παραπάνω μονοφυλετικά γένη απαρτίζουν την οικογένεια *Pleurotaceae* (Κουτρώσιος, 2019).



Εικόνα 2.2. In situ καρποφορίες των ειδών *Pleurotus ostreatus* (πάνω αριστερά), *Pleurotus eryngii* (πάνω δεξιά), *Pleurotus nebrodensis* (κάτω αριστερά), *Pleurotus citrinopileatus* (κάτω δεξιά).

2.5.1 *Pleurotus ostreatus*

Το είδος *P. ostreatus* είναι αυτό που απαντάται στις μεγαλύτερες ποσότητες ανά τον κόσμο. Το *P. ostreatus* συχνά μπερδεύεται με άλλα είδη με παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά, δημιουργώντας μια σύγχυση για τους ξενιστές και την γεωγραφική εξάπλωση του (Zervakis and Balis 1996). Το *P. ostreatus* περιγράφηκε για πρώτη φορά από το 1775 από τον γερμανό Nikolaus Joseph Freiherr von Jacquin και ονομάστηκε *Agaricus ostreatus*. Περίπου εκατό χρόνια αργότερα ο Γερμανός μυκητολόγος Paul Kummer ενέταξε το εν λόγω είδος στο γένος *Pleurotus* διατηρώντας μέχρι και σήμερα το ίδιο όνομα. Όσον αφορά στη μορφολογία του, το χρώμα της επιφάνειας του πύλου ποικίλει από λευκό, εκρού έως και σκούρο καφέ ή γκρι. Ο στίπος είναι έκκεντρος, κυλινδρικός, με μήκος 5-18 cm. Τα καρποσώματα εμφανίζονται συνήθως ως επάλληλα γείσα, αλλά οι βάσεις των στίπων εδράζονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη στο υπόστρωμα. Τα ελάσματα είναι κατερχόμενα λευκού έως και απαλού εκρού χρώματος στην ωριμότητα και τα σπόρια ημικυλινδρικά ως νεφροειδή, διαστάσεων 8 - 12,5 × 3 - 4,5μm. Εκτός από σαπρότροφα, μπορούν να αποτελέσουν ασθενή παράσιτα και συναντώνται συνήθως σε δέντρα ή νεκρό ξύλο λεύκας, ιτιάς, οξιάς και άλλων πλατύφυλλων, όπως επίσης και σε ξύλο ελάτης. Αξίζει να αναφερθεί ότι για το είδος *P. ostreatus* έχουν δημιουργηθεί στελέχη που σχηματίζουν καρποφορίες χωρίς βασιδιοσπόρια. Αυτό έδωσε λύση στο ζήτημα του μεγάλου αριθμού σπορίων που παράγονται κατά την συλλογή και δημιουργούν αναπνευστικά προβλήματα στους εργαζόμενους σε μονάδες καλλιέργεια μανιταριών. (Κουτρώτσιος, 2019)

2.5.2 *Pleurotus eryngii*

Στο είδος *P. eryngii* περιλαμβάνονται διάφορες ποικιλίες οι οποίες διαχωρίζονται κυρίως με βάση τον ξενιστή τους (Zervakis et al. 2014). Το συγκεκριμένο είδος εξαπλώνεται από την Ευρώπη (κυρίως στις χώρες τις Μεσογείου) ως τη βόρεια Αφρική και τις χώρες της Μέσης Ανατολής, ενώ έχει καταγραφεί και σε άλλες Ασιατικές χώρες. Οι ξενιστές του ανήκουν στην οικογένεια

Αριaceae και σε αυτούς συγκαταλέγονται φυτά του γένους *Eryngium* (στα οποία αναπτύσσεται το *P. eryngii* var. *eryngii*), το *Ferula communis* (*P. eryngii* var. *ferulae*), τα είδη φυτών *Elaeoselinum asclepium* και *E. asclepium* subsp. *meioides* (*P. eryngii* var. *elaeoselini*) και το *Thapsia garganica* (*P. eryngii* var. *thapsiae*). Παράγει μεγάλες καρποφορίες με κυρτό ως χωνιόμορφο πύλο ανοιχτού εκρού έως και σκούρου γκρι ή καφέ χρώματος, ο οποίος συχνά φέρει ραγάδες. Η περίμετρος του πύλου παραμένει συνεστραμμένη προς τα κάτω έως και λίγο πριν την πλήρη ωρίμανση. Τα αναστομωμένα ελάσματα κατέρχονται στον στίπο που είναι κεντρικός ή έκκεντρος. Τα σπόρια του είναι κυλινδρικά έως ελλειπτικά και λεία, μεγέθους 10 - 12,5 × 4,5 - 5,5 μm (Zervakis et al. 2014)(Κουτρώσιος, 2019).

2.5.3 *Pleurotus nebrodensis*

Το *P. nebrodensis* είναι συγγενές με το *P. eryngii*, αποτελεί όμως ανεξάρτητο είδος (Zervakis et al. 2014). Ευδοκίμει στην Σικελία και στην Ελλάδα και αναπτύσσεται αποκλειστικά στις ρίζες του φυτού *Prangos ferulacea*. Τα μορφολογικά του χαρακτηριστικά μοιάζουν με του *P. eryngii*. Το μέγεθος του πύλου κυμαίνεται από 5-20 cm, ενώ το χρώμα του είναι λευκό – υπόλευκο. Τα ελάσματα του είναι έντονα κατερχόμενα και η επιφάνεια του πύλου εμφανίζει ραγάδες κατά την ωριμότητα. Ανακαλύφθηκε και περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1866 από τον Ιταλό Βοτανικό Giuseppe Inzenga ως “το πιο νόστιμο μανιτάρι της Σικελικής μυκοχλωρίδας”, ενώ από το 1886 εντάχθηκε στο γένος *Pleurotus*. Είναι το μοναδικό είδος μανιταριού που έχει συμπεριληφθεί στη λίστα απειλούμενων ειδών της IUCN (International Union for Conservation of Nature) (Venturella and Zervakis, 2017). Ελάχιστα μόνο καρποσώματα φτάνουν στο στάδιο της ωριμότητας κάθε χρόνο, καθιστώντας επιτακτική την ανάπτυξη της καλλιέργειας του ώστε να αμβλυθεί η πίεση που ασκείται στους αυτοφυείς πληθυσμούς από την εντατική συλλογή. Σε αντίθεση με άλλα είδη *Pleurotus*, δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα πληροφορίες για την επιτυχή *ex situ* καλλιέργεια του. (Κουτρώσιος, 2019)

2.5.4 *Pleurotus citrinopileatus*

Το *P. citrinopileatus* γνωστό και ως “golden oyster mushroom” απαντάται ως αυτοφυές στη νοτιοανατολική και ανατολική Ασία (Ανατολική Ρωσία, Κίνα, Κορέα και Ιαπωνία). Εμφανίζει πολλές μορφολογικές αλλά και φυλογενετικές ομοιότητες με το *P. cornucopiae*, το οποίο εξαπλώνεται στην Ευρώπη και την Αφρική, με αποτέλεσμα κάποιοι μυκητολόγοι να προτείνουν το χαρακτηρισμό του ως υποείδος του τελευταίου (Zervakis and Balis 1996). Όπως και στο *P. ostreatus*, τα καρποσώματα του *P. citrinopileatus* σχηματίζουν ομάδες από επάλληλα γείσα. Τα μανιτάρια έχουν σχήμα κοίλο έως (συνηθέστερα) έντονα χωνοειδές. Η επιφάνεια του πύλου είναι κίτρινη έως χρυσοκαστανή, με βελούδινη και ξηρή υφή και μέγεθος 2 - 6,5 cm. Η σάρκα είναι λευκή με πάχος 0,2-0,8 cm. Τα ελάσματα είναι επίσης λευκά και έντονα κατερχόμενα. Τα υαλώδη σπόρια έχουν σχήμα κυλινδρικό έως ελλειπτικό και διαστάσεις 6-9 × 2-3,5 μm. Όπως και τα περισσότερα είδη του γένους, πρόκειται για σαπροφυτικό μύκητα, ο οποίος αναπτύσσεται σε νεκρό ξύλο πλατύφυλλων δέντρων (κυρίως σε φυτά του γένους *Ulmus*). (Κουτρώτσιος, 2019)

Κεφάλαιο 3: Παραπροϊόντα τροφίμων

Η βιομηχανία τροφίμων είναι ίσως η πιο σημαντική και αναντικατάστατη ροή προϊόντων προς τους καταναλωτές. Η σπουδαιότητα που την διακρίνει γίνεται εύκολα αντιληπτή από τον καθένα, διότι πρωταρχική ανάγκη του ανθρώπου για να επιβιώσει είναι η κατανάλωση τροφής. Είτε σε μικρή κλίμακα (κλειστές και τοπικές αγορές), είτε σε μεγαλύτερη (διεθνείς αγορές, πολυεθνικές), η παραγωγή τροφίμων οφείλει να παρέχει ένα ασφαλές προϊόν σεβόμενη τους όρους και τους κανόνες της νομοθεσίας. Αρμόδιοι για το κομμάτι της ασφάλειας, είναι το ανθρώπινο δυναμικό που εργάζεται με σκοπό την παραγωγή του προϊόντος, άλλα και οι ιδιοκτήτες μιας επιχείρησης τροφίμων με τα μέσα που παρέχουν. Εκτός από το θέμα της ασφάλειας, έχει προκύψει το ζήτημα της σπατάλης υπέρογκων ποσοτήτων τροφίμων (food waste). Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), περίπου το ένα τρίτο των τροφίμων που παράγονται παγκοσμίως για ανθρώπινη κατανάλωση απορρίπτονται, ποσοστό που αντιστοιχεί σε περίπου 1,3 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως (FAO, 2011). Εάν στο ποσοστό αυτό ληφθούν υπόψη και τα μη βρώσιμα μέρη των τροφίμων, ο αριθμός αυτός ανέρχεται στα 1,6 δισεκατομμύρια τόνους ετησίως (FAO, 2013a), με σοβαρές περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Ο αγροδιατροφικός τομέας περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος βιομηχανιών που επεξεργάζονται φυτικά προϊόντα με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων υπολειμμάτων και αποβλήτων. Σε παγκόσμιο επίπεδο, μία μέση οικογένεια παράγει ετησίως 215 kg απόβλητα που προέρχονται από κατανάλωση τροφίμων, με τις μεγαλύτερες τιμές αποβλήτων να παρουσιάζονται στην Ευρώπη και στη Β. Αμερική. Τα συγκεκριμένα παραπροϊόντα δεν μπορούν να απορριφθούν στο περιβάλλον επειδή το ρυπαντικό τους φορτίο είναι υψηλό, ενώ τις περισσότερες φορές περιέχουν μη βιοδιασπώμενες ουσίες που συνεπάγονται σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος και αξιοποίησης των βιομηχανικών παραπροϊόντων είναι η χρήση τους ως ζωοτροφές, φυτοφάρμακα, λιπάσματα, κ.α., αλλά λόγω της υψηλής διατροφικής τους αξίας και του φαινολικού τους περιεχομένου τα 18 τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται

πολλές έρευνες για την αξιοποίησή τους ως συστατικά στις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών (*Schieber, Stintzing, & Carle, 2001*).

Τα παραπροϊόντα τροφίμων περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα από φλοιούς, σπόρους, ρίζες, υπολείμματα πολτών και φλούδες, τα οποία παρά την θρεπτική τους αξία, εξακολουθούν να απορρίπτονται από τις βιομηχανίες τροφίμων (*Da Silva et al., 2014*). Τα τρόφιμα συχνά παράγονται σε μεγάλες παρτίδες χωρίς κάποιον ιδιαίτερο λόγο, με σκοπό απλά να μην αδειάσει η αποθήκη και μειωθεί το κέρδος. Τα τελευταία χρόνια, οι φορείς που είναι υπεύθυνοι για αυτή τη συνεχή απώλεια πόρων, έχουν ευαισθητοποιηθεί και γίνονται τα δέοντα προς αποφυγή του, αναζητώντας συνεχώς τρόπους να αξιοποιηθεί στο έπακρο και το παραμικρό μέρος ενός προς πώληση τροφίμου, ακόμα και αυτό που στο παρελθόν φάνταζε απόβλητο. Η τεράστια αυτή ποσότητα παραπροϊόντων που προκύπτουν αποτελείται συχνά από συστατικά χαμηλότερης διατροφικής αξίας, τα οποία δεν απολαμβάνουν την ίδια οικονομική και εμπορική ισχύ με το κύριο προϊόν. Σε γενικές γραμμές, αυτά τα υποπροϊόντα μπορούν να προκύψουν από διάφορους παράγοντες, όπως κατά τη διάρκεια της παραγωγής (μη συμμορφούμενα τρόφιμα), διανομής (κατεστραμμένα τρόφιμα) ή ανεπαρκής αποθήκευσης (σάπια τρόφιμα) (*Bilal et al., 2017*). Τα υπολείμματα μανιταριών είναι το απόβλητο υπόστρωμα μετά την παραγωγή μανιταριών με χαμηλή πυκνότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (*Buswell, 2013*).

3.1 Απώλειες – απόβλητα κατά τα στάδια παραγωγής και διανομής

Οι απώλειες - απόβλητα των τροφίμων εμφανίζονται σε όλα τα στάδια που θα διανύσει ένα τρόφιμο. Αρχικά, από την καλλιέργεια, την γεωργία και την κτηνοτροφία (Πρωτογενής Τομέας), στην συνέχεια στο στάδιο της μεταποίησης – διανομής – πώλησης του τροφίμου, μέχρι και το στάδιο της κατανάλωσης στο τραπέζι του σπιτιού μας, στην εστίαση αλλά και όταν προμηθευτούμε τροφή από κάποιο κατάστημα γρήγορου φαγητού.

Στον πρωτογενή τομέα, οι πιο συχνοί λόγοι απωλειών είναι η ύπαρξη ζιζανίων που καταστρέφουν ολοκληρωτικά ή τμηματικά ένα τρόφιμο, οι επιδρομές

ζώων που τρέφονται από τον καρπό ή τον ποδοπατούν προκαλώντας φθορές, οι έκτακτες καιρικές συνθήκες (βροχή, χαλάζι, χιόνι), ανθρώπινα λάθη λόγω έλλειψης καλλιεργητικών γνώσεων. Επίσης κατά το στάδιο της συγκομιδής και της διαλογής, η παραγωγή μπορεί να κριθεί ακατάλληλη για ποιοτικά ή μορφολογικά κριτήρια. Στη βιομηχανική παραγωγή μανιταριών παράγονται υψηλές ποσότητες υποπροϊόντων (από 5 έως 20% του όγκου παραγωγής), που αποτελούνται κυρίως από μανιτάρια με ακανόνιστο σχήμα ή διαστάσεις και μίσχους μανιταριών (*Wu et al., 2004*).

Στο στάδιο της μεταποίησης, πραγματοποιείται ουσιαστικά η βιομηχανική επεξεργασία των προϊόντων. Στις μεταποιητικές μονάδες, τα αγροτικά προϊόντα μετατρέπονται σε βρώσιμα τρόφιμα και εκτελούνται εργασίες όπως το πλύσιμο, το μαγείρεμα, η ανάμειξη, η ξήρανση, η άλεση, η απόσταξη. Οδηγούμεστε με αυτόν τον τρόπο στην δημιουργία παραπροϊόντων. Τα παραπροϊόντα αυτά, κρίνονται ιδιαίτερα χρήσιμα στην βιομηχανία των τροφίμων, καθώς περιέχουν πολύτιμα βιοδραστικά συστατικά που τα καθιστούν ικανά να ενταχθούν ως ενισχυτικά γεύσεων, υφής, χρώματος.

Ακολουθεί η διανομή και πώληση του τροφίμου. Στη φάση αυτή, αξιολογείται από την εταιρεία που εμπορεύεται το προϊόν η ποιότητα, ασφάλεια και αισθητική, με βάση τα κριτήρια που έχει θέσει. Λόγω αυτών των κριτηρίων προκύπτουν απώλειες που μπορούν να οφείλονται στην υποβάθμιση του τροφίμου (ποιοτική και οργανοληπτική), που έχει προκληθεί από λάθος χειρισμούς στα προηγούμενα στάδια, ή απώλειες που οφείλονται στην διαδικασία του εφοδιασμού.

Τέλος, το τρόφιμο καταλήγει στο τραπέζι του καταναλωτή και διαχειρίζεται από αυτόν. Η έλλειψη γνώσεων και η ευαισθητοποίηση του καταναλωτή στο ζήτημα της σπατάλης τροφίμων είναι ο κυριότερος λόγος οικιακών απωλειών τροφής. Αυτό παρουσιάζεται με την μορφή της υπερβολικής αγοράς, χρήσης αγαθών με τα περισσότερα από αυτά να καταλήγουν στα σκουπίδια. Εμφανίζεται επίσης ζήτημα αδιαφορίας ή έλλειψη γνώσης του καταναλωτή προς την αξιοποίηση

του προϊόντος που δεν έχει καταναλωθεί, αλλά και προς την σωστή αποθήκευση ή διαχείρισή του ώστε να αυξηθεί η διάρκεια ζωής του.

3.2 WMS (waste mushroom substrate)

Ο όρος WMS αντιπροσωπεύει τα οργανικά απόβλητα που μοιάζουν με το έδαφος ή υποπροϊόν της βιομηχανίαςμανιταριών, τα οποία αποτελούνται κυρίως από ένα μείγμα λιγνοκυτταροσικού υλικού (π.χ. σιτάρι, πριονίδι, άχυρο ρυζιού και καλαμποκάλευρο), οργανικά υλικά (π.χ. πρωτεΐνες, υδατάνθρακες), υπολείμματα μανιταριών και θρεπτικά συστατικά (π.χ. άζωτο, φώσφορος και κάλιο) (Lou et al., 2017a, Meng et al., 2018). Τα WMS περιέχουν επίσης βαρέα μέταλλα (π.χ. ψευδάργυρος, κάδμιο, χαλκός) (Gong et al., 2019) που μπορεί να μολύνουν το περιβάλλον εάν δεν εφαρμοστεί κατάλληλη μέθοδος διαχείρισης και επεξεργασίας. Παράλληλα, τα WMS περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (π.χ. πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) και υδρογονάνθρακες (υδρογόνο και άνθρακα), παρουσιάζοντας έτσι πιθανές χρήσεις σε πολλές εφαρμογές, όπως η βιοαποκατάσταση του εδάφους και η προώθηση της ανάπτυξης των ριζών (Garcia-Delgado et al., 2015, Koo et al., 2011).

Έχει αναφερθεί ότι η παραγωγή 1 κιλού συγκομισμένου μανιταριού θα μπορούσε να οδηγήσει σε περίπου 5 κιλά WMS (Phan και Sabaratnam, 2012). Από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 2013, διαπιστώθηκε ότι υπήρχαν περίπου 170-204 δισεκατομμύρια κιλά WMS που παράγονταν παγκοσμίως από την παραγωγή μανιταριών (Pérez-Chávez et al., 2019). Τα WMS περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αλατιού και βιολογικών στοιχείων, επομένως η ακατάλληλη διάθεση και απόρριψη αυτών των αποβλήτων μπορεί να συμβάλει στην περιβαλλοντική ρύπανση, όπως η μόλυνση του εδάφους και των υδάτων (Ribas et al., 2009). Ως εκ τούτου, θα πρέπει να εφαρμοστεί η ορθή διάθεση των WMS που παράγονται από τη βιομηχανία μανιταριών. Επιπλέον, οι ασθένειες των μανιταριών είναι ένας άλλος λόγος απόρριψης του υποστρώματος μανιταριών. Στη βιομηχανία μανιταριών, ένα κοινό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι αγρότες που θα μπορούσαν να μειώσουν το

κέρδος είναι η εξάπλωση ασθενειών. Η επαναχρησιμοποίηση των WMS που προέρχονται από τα λιγνοκυτταροσικικά υλικά που χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα στην καλλιέργεια μανιταριών στρειδιών θεωρείται μία από τις ελπιδοφόρες λύσεις για τη διάθεσή τους (*Sibel et al., 2002, Zhang και Shan, 2014*). Σε προηγούμενες μελέτες, αρκετές προσεγγίσεις έχουν καθορίσει το δυναμικό των γεωργικών αποβλήτων ως υποστρώματα καλλιέργειας μανιταριών.

3.3 Διαχείριση και αξιοποίηση παραπροϊόντων τροφίμων

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η τρέχουσα διάθεση και η κακή μεταχείριση των αγροτοβιομηχανικών παραπροϊόντων έχουν επιδείξει αρνητικό αντίκτυπο τόσο στο περιβάλλον, όσο και στο κοινωνικό και οικονομικό τομέα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το περιβάλλον μολύνεται από εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, επειδή πολλές φορές αυτά τα οργανικά υλικά απλώς απορρίπτονται σε χωματερές ή καίγονται για να αποφευχθεί η συσσώρευση μικροοργανισμών και παρασίτων (*Winans et al., 2017*). Από οικονομική άποψη, η ιδέα της κυκλικής οικονομίας προωθεί κατάλληλες στρατηγικές για τη διαχείριση και την αξιοποίηση αυτών των υποπροϊόντων για τη μείωση της ρύπανσης και την προώθηση μιας βιώσιμης ανάπτυξης οικονομίας μεταξύ των βιομηχανιών, το σχεδιασμό και τη δημιουργία νέων εσόδων (*Winans et. al., 2017*). Έτσι, τέτοιες βελτιώσεις θα μπορούσαν να επιτευχθούν μέσω μιας ολοκληρωμένης αξιοποίησης αυτών των βιοαποβλήτων, καθώς διατηρεί υψηλή περιεκτικότητα σε βιοενεργά μόρια προστιθέμενης αξίας, τα οποία θα μπορούσαν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν ως νέες βιομηχανικές πρώτες ύλες, επειδή έχει αποδειχθεί ότι διαθέτουν πολλές εφαρμογές (*Gomez - García et al., 2021b*). Από μελέτες που έχουν δημοσιευτεί (*Albert, 1930*) τονίζεται η σπουδαιότητα για τη χρήση βιοαποβλήτων που παράγονται από γεωργικές βιομηχανίες, καθώς τέτοιες πρώτες ύλες είναι άχρηστες χωρίς επεξεργασία, αλλά μπορούν να μετατραπούν με τη χρήση κάποιας βιομηχανικής επεξεργασίας σε πόρους προστιθέμενης αξίας για βιομηχανικές εφαρμογές. Έτσι, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη τα παγκόσμια περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά ζητήματα, οι ερευνητές κατευθύνουν εκ νέου το ενδιαφέρον τους για ανακύκλωση και

αξιοποίηση των υποπροϊόντων τροφίμων για να ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις τους. Πρόσφατα, μελέτες σχετικά με την αξιοποίηση υποπροϊόντων από την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων ανοίγουν δρόμους για την παραγωγή διαφόρων βιοκαυσίμων, οι οποίες θα μπορούσαν να συμβάλουν στη βελτίωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών τομέων, όπως τα βιοκαύσιμα, τα ένζυμα, τα φυτοχημικά και τα λειτουργικά συστατικά, μεταξύ άλλων μορίων (Ravindran και Jaiswal, 2016).

3.3.1 Τρόποι αξιοποίησης - διαχείρισης

Η παραπάνω ανάλυση, μας κάνει να καταλήξουμε στο συμπέρασμα πως είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθεί τρόπος να αξιοποιηθούν όλες αυτές οι απώλειες που προκύπτουν στη βιομηχανία των τροφίμων. Παραδοσιακά, η διαχείριση των παραπροϊόντων των βιομηχανιών τροφίμων, εκτός από την υγειονομική ταφή, περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες που αποσκοπούν στην αξιοποίησή τους, όπως τη χρήση τους ως ζωοτροφές, τη μετατροπή τους σε βιοκαύσιμα και την κομποστοποίηση. Ωστόσο, πολλά από τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιοενεργών συστατικών, τα οποία με την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων παραμένουν αναξιοποίητα (Helkar et al., 2016).

3.3.1.1 Ζωοτροφές

Η πιο αναδεδειγμένη χρήση όλων των παραπροϊόντων, κατά το στάδιο της παραγωγής, είναι για ζωοτροφές. Τα παραπροϊόντα που είναι εμπλουτισμένα σε πρωτεΐνες και λιπίδια, ενδείκνυνται για χρήση σε ζωοτροφές που προορίζονται για παμφάγα ζώα. Αυτά που περιέχουν σημαντική ποσότητα κυτταρίνης, είναι κατάλληλα για ζωοτροφές που θα καταναλωθούν από μηρυκαστικά ζώα.

3.3.1.2 Υγειονομική ταφή

Μία άλλη μορφή διαχείρισης των αποβλήτων τροφίμων είναι η υγειονομική ταφή. Αποτελεί μια οικονομική επιλογή διαχείρισης των στερεών αποβλήτων και ορίζεται ως η διάθεση, η συμπίεση και η επιχωμάτωση τους σε σημεία κατάλληλα, περιλαμβάνοντας τα στάδια της υδρόλυσης/αερόβιας υποβάθμισης, της

υδρόλυσης/ζύμωσης, της ακετογένεσης και της μεθανογένεσης. Η υγειονομική ταφή αποτελεί έσχατη λύση διαχείρισης αποβλήτων καθώς ελλοχεύουν κίνδυνοι μόλυνσης του εδάφους, ατμόσφαιρας και υδάτων. Για τον λόγο αυτό οι κυβερνήσεις είναι ιδιαίτερα προσεκτικές και εφαρμόζουν διατάξεις και κανονισμούς που αφορούν την υγειονομική ταφή.

3.3.1.3 Κομποστοποίηση

Αντίθετα, η διαδικασία της κομποστοποίησης είναι λιγότερο επιβλαβής για το έδαφος. Περιλαμβάνει την αερόβια υποβάθμιση των οργανικών συστατικών μέσω της επίδρασης μικροοργανισμών, προς δημιουργία προϊόντων υψηλής σταθερότητας. Η διαδικασία της κομποστοποίησης, βοηθά στη δημιουργία λιπάσματος που προσδίδει στο έδαφος βελτιωμένες δομικές ιδιότητες, αυξημένη υδατική ικανότητα και παρουσία θρεπτικών συστατικών και μεγαλύτερη δυνατότητα απορρόφησης οργανικών υλικών από το έδαφος.

3.3.1.4 Βιοκαύσιμα

Όπως έχουμε αναφέρει, τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων, στις περισσότερες περιπτώσεις, περιέχουν αξιοσημείωτες ποσότητες οργανικών συστατικών. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το χαρακτηριστικό τους, συνιστούν μια πηγή προς παρασκευή βιοκαυσίμων. Η παραγωγή των βιοκαυσίμων γίνεται από οργανικά προϊόντα, όπως το καλαμπόκι και τα ζαχαρότευτλα, για αυτό χαρακτηρίζονται και ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα πιο συνηθισμένα βιοκαύσιμα είναι η βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ, το βιοαέριο, τα pellets, και οι μπρικέττες. Τα υπολείμματα μανιταριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πιθανή πηγή βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν με τεχνολογία θερμικής επεξεργασίας κομποστοποίησης για ανάκτηση ενέργειας (*Finney et al., 2009; Lee et al., 2008*). Ωστόσο, παραμένει αδιευκρίνιστο εάν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εδαφολογική τροποποίηση για την ανακούφιση των προβλημάτων του συνεχώς καλλιεργούμενου εδάφους σε προστατευμένη καλλιέργεια.

3.4 Σύσταση παραπροϊόντων - γλυκάνες

Συνεπώς, τα παραπροϊόντα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, πριν αποσυρθούν και μείνουν ανεκμετάλλευτα, πρέπει να αξιοποιηθούν και να απομονωθούν από αυτά τα χρήσιμα συστατικά τους. Οι απώλειες αυτές αποτελούν μία πλούσια ποικιλία υδατανθράκων, λιπιδίων, πρωτεϊνών και θρεπτικών συστατικών. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, δύναται η χρήση τους ως ενισχυτικά (όπως και στην περίπτωση της έρευνάς μας στο μανιτάρι), έπειτα από την επεξεργασία τους με τις κατάλληλες φυσικές, χημικές, βιολογικές και μηχανικές διεργασίες. Συνοπτικά παραπροϊόντα όπως η βόλβα και ο στίπος των μανιταριών, φλούδες των φρούτων και των λαχανικών, οι σπόροι, τα υπολείμματα κρέατος, και τα κελύφη των αυγών, να μεν αποτελούν απόβλητα, όμως περιέχουν μια σειρά χρήσιμων συστατικών προστιθέμενης αξίας, όπως είναι τα βιοδραστικά συστατικά και το ενδιαφέρον για την ανάκτησή τους διαρκώς εντείνεται.

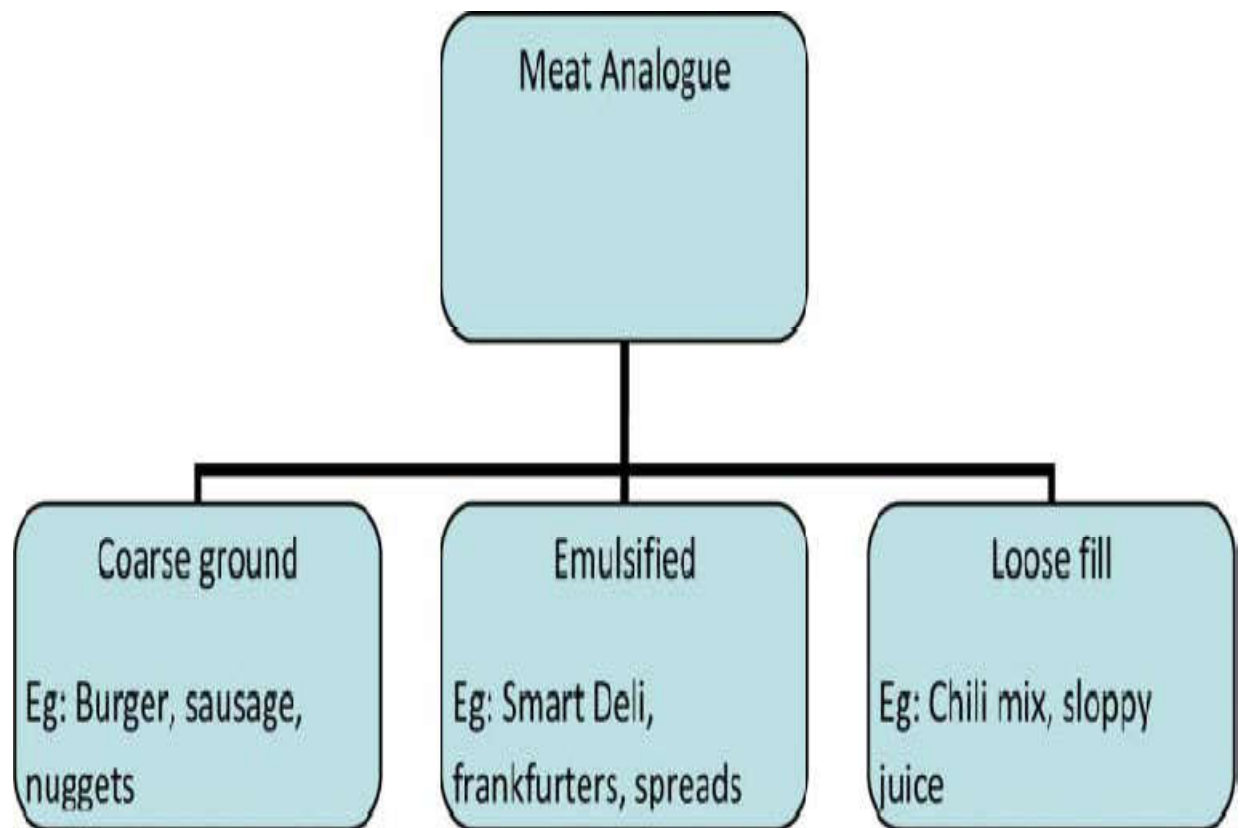
Είναι ευρέως αποδεδειγμένο πλέον πως τα παραπροϊόντα περιέχουν ευεργετικά συστατικά για την υγεία του ανθρώπου και για την ποιοτική αναβάθμιση της τροφής μας. Αποτελούνται κυρίως από ενώσεις προστιθέμενης αξίας, όπως σύνθετους πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, πολυφαινολικές ενώσεις, βιταμίνες, μεταξύ άλλων σχετικών ενώσεων (Yusuf, 2017). Τα υποπροϊόντα μανιταριών περιέχουν πολυσακχαρίτες όπως D- γλυκάνες (Umaña et al., 2020). Οι D- γλυκάνες είναι πολυσακχαρίτες που αποτελούνται από D- γλυκοκυρανόζη και μπορούν να συνδεθούν από α- ή β- γλυκοζιτικούς δεσμούς (Ramos et al., 2019). Η σύνθετη χημική δομή των β- γλυκανών τους δίνει διάφορα οφέλη για την υγεία, όπως πρεβιοτικά, διεγερτικά του ανοσοποιητικού συστήματος, αλλά και αντικαρκινική και αντιοξειδωτική ικανότητα (Khan et al., 2017). Επιπλέον, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι β- γλυκάνες που προέρχονται από το κριθάρι και τον *Pleurotus ostreatus*, έχουν αποδειχθεί ότι μπορούν να αποτρέψουν την οξείδωση στην ενθυλάκωση ψαριών και ηλιελαίου (Gallotti et al., 2020).

3.5 Meat Analogues

Στη σύγχρονη εποχή, το κρέας κατέχει υψηλή θέση στην διατροφή και καθημερινότητα της ζωής των ανθρώπων. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι εμπεριέχει σπουδαία θρεπτικά χαρακτηριστικά, η άνοδος του πληθυσμού των κοινωνιών, η βιομηχανοποίηση και εξέλιξη των σύγχρονων πολιτισμών σε τομείς εκπαίδευσης και υγείας, έχουν επιφέρει σημαντική ανάγκη για κατανάλωση κρέατος (*Faisla, 2008, Steinfeld et al., 2006*). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η προσοχή των ειδικών να στραφεί προς τις αρνητικές επιπτώσεις που προέρχονται από την εκτεταμένη κατανάλωσή του, κυρίως στην εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας (*Mayfield et.al, 2007*). Παράλληλα, μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, έχουν φανερώσει ότι η παραγωγή κρέατος απαιτεί τεράστια ποσά θρεπτικών πόρων, φρούτων λαχανικών και ποσοτήτων νερού, αγαθά τα οποία στη σύγχρονη εποχή χρειάζεται να αξιοποιηθούν με καλύτερους και πιο φιλικούς ως προς το περιβάλλον τρόπους (*Green et al., 1999, Raney et al., 2009; Bruinsma, 2009*).

Για τους παραπάνω λόγους, το ενδιαφέρον των βιομηχανιών και των καταναλωτών έχει προσανατολιστεί σε διαφορετικές μεθόδους παραγωγής κρέατος φιλικότερους προς το περιβάλλον, οι οποίοι θα επιχειρήσουν να προσαρμόσουν τη διατροφή των ανθρώπων σε μία πιο υγιεινή και πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία διατροφή. Τέτοια προϊόντα θεωρούνται τα υποκατάστατα κρέατος.

Τα υποκατάστατα κρέατος (Meat analogues) είναι φυτικά και καλλιεργούμενα προϊόντα που είναι (ή προορίζονται να είναι) ισοδύναμα υποκατάστατα κρέατος ζωικής προέλευσης και παράγονται από φυτικά ή ζωικά κύτταρα που καλλιεργούνται σε εργαστήρια. Αποτελούν προϊόντα διατροφής που προσεγγίζουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες και τα χημικά χαρακτηριστικά διαφόρων ειδών κρέατος. Κατασκευάζονται συνήθως από μη ζωικής προέλευσης πρωτεΐνες και θεωρούνται εξαιρετικά ελκυστικές επιλογές για τις βιομηχανίες τροφίμων, εξαιτίας του μικρότερου κόστους παραγωγής, της μεγαλύτερης διάρκειας και επέκτασης ζωής καθώς και της ευκολότερης αποθήκευσής τους.



Εικόνα 3.1. Μορφές meat analogues (*Sources-Malav et al., 2013; Border, 2007*).

Ως βασική πηγή παραγωγής των meat analogues, θεωρούνται τα λαχανικά και κυρίως οι πρωτεΐνες τους. Γι' αυτό το λόγο, τα συγκεκριμένα προϊόντα διαθέτουν υψηλή βιολογική αξία και τείνουν να εισέλθουν στην διατροφή των σύγχρονων πολιτισμών.

Ταυτόχρονα, ένα μεγάλο εύρος συστατικών είναι απαραίτητο για την παραγωγή τους. Αυτά είναι:

- Σόγια και τα υποπροϊόντα της (Soy protein).
- Μανιτάρι (Mushroom).
- Γλουτένη σίτου (Wheat gluten).

3.5.1 Σόγια

Η σόγια χρησιμοποιείται ευρέως για τη μερική ή πλήρη αντικατάσταση του κρέατος λόγω του σημαντικού θρεπτικού περιεχομένου της και της σημαντικά μικρότερης πιθανότητας που φαίνεται να εξασφαλίζει για ύπαρξη καρδιοπαθειών και άλλων προβλημάτων υγείας (Kumar et al., 2015). Αποτελεί μία εξαιρετικά ελκυστική λύση για τους καταναλωτές που ψάχνουν προϊόντα κατανάλωσης μη ζωικής προέλευσης και που έχουν δυσανεξία στη λακτόζη. Παράλληλα, σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, βρέθηκε ότι η πρωτεΐνη της σόγιας είναι ισοδύναμη με τη ζωική πρωτεΐνη (Hoffman and Falvo, 2004). Έχει διαπιστωθεί ότι ο συνδυασμός σόγιας με αλεύρι γλυτένης και λαχανικά προσφέρει προϊόντα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, καλύτερα από προϊόντα που απλά έχει γίνει επεξεργασία αλευριού (Morr and Ha, 1991). Ωστόσο, πολλοί άνθρωποι στην παιδική τους ηλικία κυρίως αλλά και μετέπειτα στην ζωή τους εμφανίζουν αλλεργία στην σόγια.

Τα μέλη της ευρωπαϊκής κοινότητας εκφράζουν ιδιαίτερη ανησυχία για την χρήση σόγιας, καθώς εντάσσεται στα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα. Όσον αφορά το περιβάλλον, προκύπτουν οι εξής κίνδυνοι:

- Μεταφορά διαγονιδίων μέσω γύρης.
- Διαταραχή της βιοποικιλότητας.
- Παραγωγή εντόμων ανθεκτικών στο εντομοκτόνο: Τα έντομα μπορούν μελλοντικά να εμφανίσουν μηχανισμούς ανθεκτικότητας στα βιολογικά εντομοκτόνα που παράγονται από κάποια γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα. (πηγή: medNutrition.gr)

Άμεσο ενδιαφέρον προκύπτει επίσης και για τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Αν και οι έρευνες είναι ακόμα σε εξέλιξη, υπάρχουν επιστημονικά δεδομένα πως μέσω των γενετικά τροποποιημένων τροφίμων μπορούν να μεταφερθούν γονίδια στον οργανισμό μας και να δημιουργήσουν προβλήματα (π.χ. ανθεκτικότητα σε αντιβιοτικά).

3.5.2 Μανιτάρι

Η φυσική πρωτεΐνη των μανιταριών είναι οι φυτικές ίνες που διαθέτουν, οι οποίες προσφέρουν στο προϊόν ελαστικότητα (Naylor et al., 2001). Στο εσωτερικό του τρόφιμου, τα κύτταρά του είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες, ενώ το κυτταρόπλασμά του διαθέτει υψηλής αξίας πρωτεΐνες. Οι μυκοπρωτεΐνες που διαθέτουν, μπορούν να μειώσουν το ανεπιθύμητο ποσοστό LDL χοληστερόλης που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα, ενώ αντίστοιχα αυξάνουν τα επίπεδα της επιθυμητής HDL χοληστερόλης (Rodgers, 2001). Ιστορικά, οι πρώτες meat analogue τροφές (μπιφτέκια, λουκάνικα) παρασκευάστηκαν από εδώδιμο μανιτάρι του είδους *Fusarium graminearum*. Η γεύση κρέατος που διέθεταν ήταν προϊόν της ύπαρξης θειοαμινικών και γλουταμικών οξέων στο μανιτάρι (Trincy, 1994). Τα υποκατάστατα κρέατος που παρασκευάζονται από μανιτάρι, θεωρούνται αποτέλεσμα μυκοπρωτεϊνών σε συνδυασμό αυγού, αρωματικών και γευστικών ενώσεων. Γενικά, εμφανίζονται πιο αποδεκτά στο καταναλωτικό σύνολο σε σχέση με αυτά της σόγιας, έχουν πολύ σημαντικές θρεπτικές ιδιότητες και με σωστή μίξη, μπορούν να μιμηθούν τόσο κρέας, όσο ψάρια και πουλερικά.

3.5.3 Γλουτένη σίτου

Είναι ένα συνεκτικό σύνολο σύνθετων πρωτεϊνών που παρασκευάζεται ως υποπροϊόν κατά την απομόνωση του αμύλου από το αλεύρι σίτου. Χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή υποκατάστατων κρέατος, λόγω των λειτουργικών ιδιοτήτων του, όπως της συνεκτικότητας που προσφέρει, του σχηματισμού ζύμης και της ικανότητας διόγκωσής του (Rizvi et al., 1980, Dayab et al., 2006). Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε (Nguyen, 1988) παρασκευάστηκε στήθος κοτόπουλου από ένα μείγμα γλουτένης σίτου (80%), αλευριού σίτου (11%) και λαχανικών (9%) με προσθήκη ελαιόλαδου και νερού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το παραγόμενο προϊόν παρουσίασε επιθυμητά οργανοληπτικά αποτελέσματα, ανάλογα με αυτά του κρέατος.

Κεφάλαιο 4: Τρόποι αλλοίωσης και διαδικασίες συντήρησης

4.1 Αλλοίωση τροφίμων

Ως αλλοίωση τροφίμου, ορίζουμε οποιαδήποτε διαδικασία υποβάθμισης της ποιότητας που καθιστά ένα προϊόν ανεπιθύμητο ή ακατάλληλο για κατανάλωση (*Kantor et al., 1997*). Η υποβάθμιση αυτή, μπορεί να αφορά την εμφάνιση, την γεύση ή την οσμή του τροφίμου και μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω των αισθήσεων (όσφρηση, αφή, γεύση, όραση). Η διαδικασία της αλλοίωσης του τροφίμου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε στάδιο της αλυσίδας του και οφείλεται σε φυσικές βλάβες, μολύνσεις από μικροοργανισμούς, ή στην δράση εντόμων ή ενδογενών ενζύμων στον φυτικό ή ζωικό ιστό (*Rawat 2015*).

Μετά τη συγκομιδή, τα νωπά φρούτα και λαχανικά χάνουν συνεχώς νερό και επειδή δεν έχουν την δυνατότητα να το επανακτήσουν από το έδαφος, όπως τα αναπτυσσόμενα φυτά, καταναλώνουν αναγκαστικά το νερό που ήδη διαθέτουν. Αυτή η άντληση νερού από το εσωτερικό τους, οδηγεί στην υποβάθμιση της ποιότητας και την ελάττωση της διάρκειας ζωής τους. Ένα από τα κύρια προβλήματα είναι η απώλεια νερού των νωπών προϊόντων, η οποία επιφέρει συρρίκνωση και απώλεια βάρους. Συχνό αποτέλεσμα μείωσης βάρους του νωπού τροφίμου, είναι η απώλεια φρεσκάδας, ο μαρασμός και η σταδιακή του υποβάθμιση προς την απόρριψή του. Αυτό συμβαίνει όταν το βάρος ελαττώνεται κατά 5-10% μετά το στάδιο της συγκομιδής.

4.1.1 Αλλοίωση μανιταριών

Λόγω της ευαισθησίας που διαθέτουν τα μανιτάρια και της περιορισμένης διάρκειας ζωής τους, δύνανται να διατηρηθούν αναλλοίωτα για περίπου 1-3 ημέρες υπό αποθήκευση σε συνθήκες περιβάλλοντος (*Fernandes et. al., 2012*) και 5-8 ημέρες σε συνθήκες ψύξης (*Devi et. al., 2020*) Επίσης, διατηρούνται για 8-14 ημέρες σε συνθήκες ψύξης, σε συσκευασία τροποποιημένης ή ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (*Singh et. al., 2010*). Η ιδανική συντήρησή τους είναι στους 0°C και σχετική υγρασία 95% με σκοπό την αύξηση του χρόνου συντήρησης και την αποφυγή αφυδάτωσης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τα οργανοληπτικά και ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, προκαλώντας την σταδιακή αλλοίωση τους, είναι κυρίως η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, οι βιολογικές διαδικασίες, η ενζυμική δραστηριότητα, το χαμηλό pH και οι διάφορες αλλοιώσεις που πετυχαίνουν κάποιοι μικροοργανισμοί. Η σύντομη διάρκεια ζωής τωνμανιταριών είναι ένα μειονέκτημα που περιορίζει την οικονομική και εμπορική τους αξία.

4.1.1.1 Απώλεια υγρασίας

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ταμανιτάρια έχουν ένα υψηλό ποσοστό υγρασίας μεταξύ 85% και 95% (Kumar, Singh & Singh, 2011). Παρόμοια με τα άλλα τρόφιμα που ανήκουν στην κατηγορία των φρούτων και λαχανικών, μετά το στάδιο της συγκομιδής βιώνουν μια ποιοτική υποβάθμιση που καταλήγει στην μείωση της υγρασίας τους, απώλεια χρώματος, υποβάθμιση υφής και αρώματος και σταδιακή απώλεια των θρεπτικών συστατικών τους (Nguyen et al., 2016). Τα ποσοστά υγρασίας στομανιτάρι συνεχίζουν να μειώνονται λόγω της καταστροφής των κυττάρων του και της εσωτερικής μεταφοράς νερού. Αυτή η διαδικασία επιταχύνει την ποιοτική υποβάθμιση και οδηγεί στην συρρίκνωση και την απώλεια βάρους. Πείραμα έδειξε πως για την συντήρησημανιταριών του είδους *Agaricus bisporus* στη θερμοκρασία των 4°C για 2, 7 και 12 μέρες, καταγράφηκε μείωση νερού κατά 0,07%, 0,27%, και 0,49% αντίστοιχα (Aday, 2016). Όταν η συγκέντρωση του περιεχόμενου νερού στομανιτάρι μειωθεί κατά 5%, τότε καθίσταται ακατάλληλο (Mahajan, Rodrigues, Motel & Leonhard, 2008).

4.1.1.2 Απώλεια χρώματος

Η απώλεια χρώματος είναι μια δεύτερη φυσική διαδικασία που συνιστά έναμανιτάρι ποιοτικά υποβαθμισμένο. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας έχει περισσότερο εμπορικό αντίκτυπο, καθώς επιδρά αρνητικά στις απαιτήσεις του καταναλωτικού κοινού. Προκαλείται από ενζυμικές κατεργασίες οι οποίες προσδίδουν ένα σκούρο καφέ χρώμα. Το ένζυμο που θεωρείται πως έχει την μεγαλύτερη ευθύνη για την παραγωγή μελανίνης και κατά συνέπεια την αλλαγή στο χρώμα τουμανιταριού είναι η τυροσινάση, το οποίο εμπεριέχεται σε μεγάλες

ποσότητες στα μανιτάρια όπως στο κοινό *Agaricus bisporus* (Wrona, Bentayeb, Nerin, 2015). Η τυροσινάση είναι ένα ένζυμο που περιέχει χαλκό και επιτελεί τις αντιδράσεις της υδροξυλίωσης μονοφαινολών σε ο-διφαινόλες και της οξειδωσης ο-διφαινολών σε ο-κινόνες (Toivonen & Brummell, 2008, Ding et al., 2016).

4.1.1.3 Αλλαγή στην υφή

Λίγο μετά το στάδιο της συγκομιδής η σταθερότητα της υφής και δομής των μανιταριών αρχίζει να φθίνει, οδηγώντας έτσι στην μικρή διάρκεια ζωής τους και στην εύκολη προσβολή τους από μικροοργανισμούς (Gao, Feng & Jiang, 2014). Τα μανιτάρια, ανήκουν στην κατηγορία τροφίμων τα οποία αναπτύσσονται μέσα στο έδαφος και συλλέγονται από αυτό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να φέρουν μεγάλο αριθμό σπορίων. Τα βακτηριακά σπόρια, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για την μείωση της ποιότητας ενός τροφίμου αλλά και για την υγεία του καταναλωτή. Όταν βρουν κατάλληλες συνθήκες, αναπτύσσονται ραγδαία στο τρόφιμο και λειτουργούν ως μια θωράκιση του βακτηρίου ενάντια στην εξόντωσή του, καθώς είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε θερμές και ψυχρές συνθήκες. Το βακτήριο *Pseudomonas spp.* έχει επικρατήσει στον επιστημονικό χώρο ως ο μικροοργανισμός που έχει την μεγαλύτερη ευθύνη για την αλλοίωση των μανιταριών (Simón & González-Fandos, 2010 ; Venturini et al., 2011). Είναι ένα gram αρνητικό βακτήριο που ευθύνεται επιπλέον για ασθένειες στα ζώα και στα φυτά και συναντάται στο έδαφος και στο νερό. Υποβάθμιση στην υφή παρατηρείται και όταν ο πύλος έχει κάμψη προς τα πάνω ή όταν έχει ανοίξει το πέπλο. Τα προηγούμενα φαινόμενα παρουσιάζονται μετά από λάθος χειρισμούς κατά την συγκομιδή - συσκευασία ή γενικές ιδιομορφίες του μανιταριού.

4.2 Τρόποι συντήρησης – επέκτασης ζωής μανιταριών

Σκοπός μας, λοιπόν, είναι να διατηρήσουμε τα μανιτάρια για όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο ικανά για κατανάλωση. Έτσι, έχουν επικρατήσει κάποιοι συμβατικοί τρόποι συντήρησης που μας βοηθούν σε αυτή τη διεργασία, όπως η ξήρανση και η κατάψυξη.

4.2.1 Ξήρανση

Ως ξήρανση ορίζουμε τη χρήση της θερμότητας κάτω από επιλεγμένες συνθήκες για την απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους του νερού που υπάρχει σε ένα τρόφιμο μέσω του μηχανισμού της εξάτμισης. Η ξήρανση είναι μια θερμική διεργασία. Κατά την διεργασία αυτή, υπάρχει μία αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του τροφίμου, μέσω της θέρμανσης από ένα τεχνητό ή φυσικό θερμαντικό μέσο, με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης του ατμού στο εσωτερικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η υγρασία να διαχέεται από τις περιοχές υψηλής πίεσης (εσωτερικό) προς τις περιοχές χαμηλής πίεσης (επιφάνεια). Την διεργασία διέπει επίσης η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας του υλικού και του θερμού αέρα του μέσου. Στόχος της είναι η περιεκτικότητα του νερού στο τελικό προϊόν να μην ξεπερνά του 20% κ.β.. Είναι μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους συντήρησης τροφίμων και ιδιαίτεραμανιταριών και επιδιώκει στην διατήρηση των θρεπτικών τους συστατικών. Επεμβαίνει άμεσα στην ποιότητα, γεύση και εμφάνιση ενός τροφίμου, εξ ού και η χρήση της στα επεξεργασμένα προϊόντα. Ταμανιτάρια, συγκεκριμένα, καθίστανται πολύ ευαίσθητα στην άμεση ξήρανση με την ηλιακή ακτινοβολία, για αυτό προτιμάται ένα τεχνητό μέσο. Στο περιεχόμενο σε αυτά νερό, εμφανίζονται διαλυμένα οργανικά και ανόργανα συστατικά. Με την ξήρανση πετυχαίνουμε την μείωση της ενεργότητας ύδατος του τροφίμου. Ως αποτέλεσμα αυτού, επιτυγχάνεται μεγαλύτερος χρόνος αποθήκευσής του, ευκολότερη συσκευασία και διακίνησή του, άλλα και βελτιώνονται ορισμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, καθώς αναδεικνύονται η γεύση και το άρωμά του.

Επικρατέστερη μέθοδος ξήρανσηςμανιταριών, είναι η ξήρανση με κατάψυξη (freeze drying). Η μέθοδος αυτή έχει αρκετά πλεονεκτήματα, με σημαντικότερα την διατήρηση των βιταμινών, του χρώματος και αρώματος τουμανιταριού, αλλά και τη διαφύλαξη του αρχικού του όγκου, καθώς δεν παρατηρείται συρρίκνωση ή κατάρρευση της δομής του. Στον αντίποδα, αξίζει να σημειωθεί ότι είναι μια μέθοδος με υψηλό κόστος παραγωγής, λόγω του ακριβού μηχανολογικού εξοπλισμού, ενώ προσφέρει και μικρές ποσότητες ανά παρτίδα ξήρανσης.

Εναλλακτικά, ταμανιτάρια ξηραίνονται με την κλασική μέθοδο θερμού αέρα, όπως και τα περισσότερα τρόφιμα στην βιομηχανία.

Η ξήρανσημανιταριών με χρήση αέρα μελετήθηκε πρώτα από τους *Komanowsky et al.*, το 1970, σε θερμοκρασίες μεταξύ 77 και 82°C. Στην συνέχεια, οι *Yapar et al.*, το 1990 πρότειναν την ξήρανσημανιταριών με θερμό αέρα σε θερμοκρασίες αέρα μεγαλύτερες των 60°C, ώστε να μειώνεται η δραστηριοποίηση των ενζύμων που προκαλούν αποσύνθεση, και με θερμοκρασίες μικρότερες των 70°C, ώστε να μειωθούν τα φαινόμενα που προκαλούνται από την αντίδραση “Maillard”, όπως και η καραμελοποίηση του υλικού, παράγοντες που συντελούν στην καλύτερη ποιότητα του ξηραίνόμενου υλικού. Η ξήρανση έγινε με δυο τρόπους α) με εξαναγκασμένη ροή αέρα β) με απλή θέρμανση του ξηραντηρίου. Οι *Riva et al.*, το 1991, συνδύασαν την μελέτη της ξήρανσης τωνμανιταριών με χρήση θερμού αέρα, με την χρήση μικροκυμάτων. Οι *Gurtas et al.* το 2000 επιχείρησαν να ξηράνουν τεμαχισμέναμανιτάρια (*Agaricus bisporus*) σε ξηραντήριο σε χαμηλές θερμοκρασίες και χωρίς καμία προεργασία στο υλικό. Τα αποτελέσματά τους δεν ήταν ικανοποιητικά, καθώς ακολούθησε αμαύρωση, έλλειψη αρώματος και γεύσης.

4.2.2 Κατάψυξη

Μια εναλλακτική μέθοδος συντήρησηςμανιταριών, είναι αυτή της κατάψυξης. Κατάψυξη είναι η βασική φυσική διεργασία με την οποία η θερμοκρασία ενός τροφίμου μειώνεται κάτω του σημείου καταψύξεως και ένα μέρος του νερού υφίσταται αλλαγή καταστάσεως μετατρέπόμενο σε παγοκρυστάλλους (Λάζος – Λάζου, 2010). Με αυτή την μετατροπή, το νερό ακινητοποιείται σε μορφή πάγου, με αποτέλεσμα την μείωση της ενεργότητας ύδατος. Ο συνδυασμός της χαμηλής ενεργότητας ύδατος και των χαμηλών θερμοκρασιών περατώνει εν τέλει την συντήρηση του τροφίμου. Υπάρχουν δύο περιοχές θερμοκρασίας κατάψυξης, οι οποίες έχουν επικρατήσει στην βιομηχανία των τροφίμων. Τα κατεψυγμένα (frozen foods), είναι τρόφιμα που αποθηκεύονται, διατηρούνται και διανέμονται σε θερμοκρασίες των -10°C ή χαμηλότερες. Στα τρόφιμα βαθείας κατάψυξης (deep-frozen foods), κατατάσσονται αυτά που

καταψύχονται σε θερμοκρασίες των -18°C ή χαμηλότερες. Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών και της προσοχής στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, τα τρόφιμα αυτά δεν εμφανίζουν μεταβολές σε κανένα στάδιο – βήμα της εμπορικής τους διαδρομής.

Τα μανιτάρια, έχουν την ιδιότητα να συγκρατούν το νερό το οποίο τους προσδίδεται. Εξαιτίας αυτού, αποφεύγουμε να τα πλένουμε πριν την αποθήκευσή τους στην κατάψυξη, καθώς υπάρχει υψηλός κίνδυνος ανάπτυξης μικροοργανισμών στο εσωτερικό τους. Εκτός από τον κίνδυνο να φέρουν μικροβιακό φορτίο μετά την πλύση, ελλοχεύει επίσης και η ποιοτική τους υποβάθμιση, όσον αφορά το χρώμα τους και την υφή τους.

4.2.3 Τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP)

Μία ακόμη μέθοδος συντήρησης των μανιταριών είναι με την χρήση συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP, Modified Atmosphere Packaging). Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα να διατηρεί το χρώμα του προς συντήρηση τροφίμου, μειώνοντας τον ρυθμό αναπνοής του. Από την άλλη πλευρά ένα αρνητικό της μεθόδου είναι πως συσσωρεύεται νερό στην επιφάνεια του τροφίμου με αποτέλεσμα να εγκυμονούν κίνδυνοι μικροβιακής ανάπτυξης και υποβάθμισης της υφής (Singh et al. 2010). Το παραπάνω φαινόμενο σε συνδυασμό με τον υψηλό ρυθμό αναπνοής των μανιταριών χρήζουν περαιτέρω έρευνας και ανάλυσης για την μέτρηση και την μοντελοποίηση του ποσοστού απώλειας νερού του μανιταριού σε συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Κεφάλαιο 5: Ωσμωτική αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος προκατεργασίας, η οποία βασίζεται στο φαινόμενο απομάκρυνσης νερού των τροφίμων μέσα από την εμβάπτισή τους σε υπερτονικά διαλύματα (Shi & Xue, 2009; Tortoe, 2010). Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια ενεργειακά οικονομικότερη διαδικασία (Mirzayi et al., 2018), σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους απομάκρυνσης νερού (π.χ. εξάτμιση, αφυδάτωση, λυοφιλίωση, κλπ). Συχνά, μετά την ωσμωτική αφυδάτωση, οι βιομηχανίες τροφίμων επιλέγουν διάφορες άλλες διεργασίες για την επεξεργασία τους και την κατασκευή νέων προϊόντων παραγωγής με τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Khan, 2012; Phisut, 2012; Tortoe, 2010). Η ωσμωτική αφυδάτωση, της οποίας η χρήση έχει ένα ποικίλο εύρος στη σύγχρονη βιομηχανία, έχει ως απώτερο στόχο την μείωση της ενεργότητας νερού (a_w) για τον περιορισμό της ανάπτυξης μικροοργανισμών και μυκήτων, όπως επίσης και την επέκταση ζωής του τελικού προϊόντος – τροφίμου.

Σημαντική παράμετρος στη συγκεκριμένη διεργασία αποτελεί η σχέση του είδους του τροφίμου και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του μαζί με το ωσμωτικό μέσο μέσα στο οποίο θα τοποθετηθεί το τρόφιμο για να μειωθεί η ενεργότητα νερού. Αναλυτικότερα, οι πιο συνηθισμένοι ωσμωτικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι η σακχαρόζη (σε φρούτα) και το χλωριούχο νάτριο ή κάποιο άλλο παρόμοιο άλας (σε λαχανικά) (Maldonado et al., 2020). Ωστόσο έχει προταθεί από διάφορους ερευνητές η χρήση ωσμωτικών διαλυμάτων πολλαπλών συστατικών (tertiary solutions) που αποτελούνται από εναλλακτικές διαλυτές ουσίες.

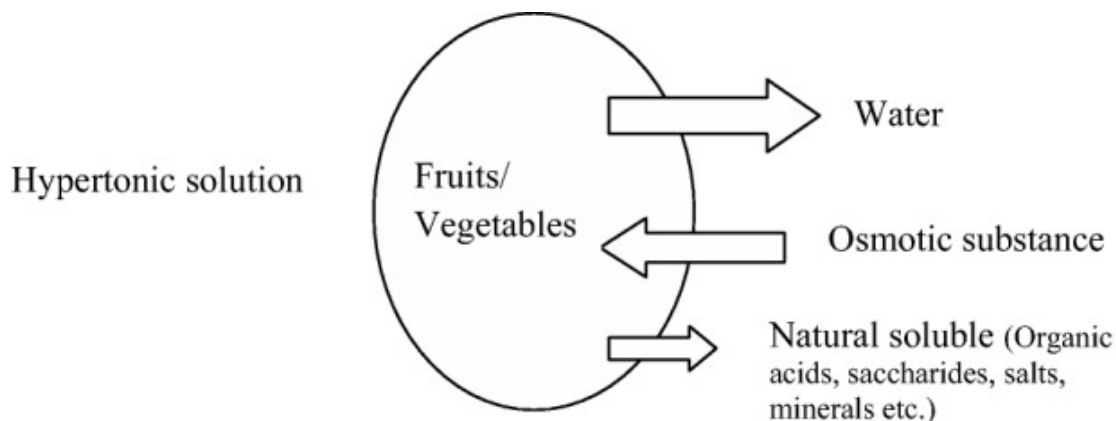
Η συγκεκριμένη διεργασία εφαρμόζεται ως τεχνική συντήρησης σε διάφορα προϊόντα φυτικής προέλευσης, λόγω της σημαντικής ελάττωσης της ενεργότητας νερού που επιτυγχάνει. Τρόφιμα στα οποία έχει πραγματοποιηθεί ωσμωτική αφυδάτωση, έχει παρατηρηθεί σημαντική πρόοδος τόσο ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όσο και στην επέκταση ζωής του τροφίμου. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την εφαρμογή σε μήλα (Assis et al., 2018), μάνγκο (Sulistyawati et al., 2020), μπανάνες (Haque et al., 2020; Olatidoye,

Sobowale, & Akinlua, 2010; Ali, Ramadan, and Ragab 2010), μάνγκο (*Azoubell & Francinaide, 2008*) φράουλες (*Gamboa -Santos and Campañone, 2018*), ακτινίδια (*Kroehnke et al., 2021*), καρότα (*Haqueet al., 2020*), πατάτες (*Dehghannya et al., 2017*), ντομάτες (*Giannakourou et al., 2020*), κολοκύθες (*Dermesonlouoglou et al. 2020*), όπως επίσης και σε κατεψυγμένα προϊόντα όπως παγωτό και γιαούρτι (*Olatidoye, Sobowale, & Akinlua, 2010*). Τα τελευταία χρόνια, αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης σε διάφορες ποικιλίες μανιταριών (*González-Pérez et al., 2019; Pei et al., 2019, Anshu and Anju, 2018; Tolera and Abera, 2017 Ren et al., 2018*).

5.1 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία διαδικασία μεταφοράς μάζας στην οποία το εξεταζόμενο προϊόν (υψηλής περιεκτικότητας νερού) εμβαπτίζεται ολόκληρο ή τεμαχισμένο σε υπερτονικό διάλυμα, δηλαδή διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση σε σάκχαρα ή αλάτι (*Amami, Fersi, Khezami, Vorobiev and Kechaou, 2007*). Η κινητήρια δύναμη που επιφέρει όλες τις ανταλλαγές μάζας μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος είναι η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο αυτών εξεταζόμενων παραγόντων (*Shi, 2008*). Αυτή η διαφορά πίεσης παρέχει το πιο σημαντικό ρόλο για το σύστημα, καθώς οδηγεί στην μείωση και αφαίρεση της ποσότητας του νερού του τροφίμου προς το ωσμωτικό διάλυμα. Η κυτταρική δομή του βιολογικού υλικού είναι αρκετά περίπλοκη ώστε να αποτελέσει εμπόδιο για την διάχυση του νερού (*Fernandes, Gallão, & Rodrigues, 2009*). Η υγρασία απομακρύνεται κυρίως με τριχοειδή ροή και διάχυση, ενώ η έκπλυση και η πρόσληψη διαλυμένων ουσιών γίνεται μόνο με διάχυση (*Rahman, 2007; Shi & Xue, 2009*). Όλα αυτά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος έχουν σημαντική επίδραση στη συνολική ποιότητα και απόδοση των αφυδατωμένων προϊόντων (*Shi, 2008*). Η ημιπερατή φύση των φυτικών ιστών και το χαμηλότερο μοριακό μέγεθος των μορίων επιτρέπουν την κίνηση του νερού από την τροφή και των διαλυμένων ουσιών από το υπερτονικό διάλυμα. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται η μείωση της περιεκτικότητας της υγρασίας των φρούτων και των λαχανικών με την

πάροδο του χρόνου μέχρι να επιτευχθεί μία κατάσταση ισορροπίας στο σύστημα (Yetenayet & Hosahalli, 2010).



Εικόνα 5.1. Φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση.

Αναλυτικότερα, όταν τα τρόφιμα είναι εμποτισμένα σε ένα εξαιρετικά συμπυκνωμένο ωσμωτικό διάλυμα, αρχίζουν να εμφανίζονται σημαντικά φαινόμενα μεταφορά μάζας από και προς το τρόφιμο σε συνδυασμό με διεργασίες ξήρανσης, έκπλυσης και εμποτισμού που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα με την ωσμωτική αφυδάτωση. Η απώλεια υγρασίας από το προϊόν πραγματοποιείται με ταχύτερο ρυθμό τις πρώτες ώρες της διεργασίας, ενώ μειώνεται για τις επόμενες έξι ώρες έως ότου φτάσει στο τέλος της. Ωστόσο, η διάχυση της διαλυμένης ουσίας στο τρόφιμο δεν εμφανίζεται μέχρι την σταδιακή απώλεια της υγρασίας (Phisut, 2012; Raoult-Wack, 1994).

Όταν ένα τρόφιμο βυθίζεται σε υπερτονικό διάλυμα, τα κύτταρα μέσα στο πρώτο στρώμα του υλικού έρχονται σε επαφή με το διάλυμα και αρχίζουν να χάνουν νερό. Αυτό συμβαίνει, εξαιτίας της μετατόπισης της συγκέντρωσης μεταξύ του τροφίμου και του διαλύματος, γεγονός που οδηγεί σε συρρίκνωση του υλικού. Με τη πάροδο του χρόνου, τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας του τροφίμου παρατηρούνται και στα υπόλοιπα στρώματα του τροφίμου. Ως αποτέλεσμα, το νερό που απομακρύνεται από την επιφάνεια του προϊόντος διαχέεται στο ωσμωτικό διάλυμα με αποτέλεσμα την σχετική του αραιώση. Ταυτόχρονα, παρατηρείται

εισροή στερεών συστατικών του ωσμωτικού μέσου στο εσωτερικό του προς κατεργασία υλικού με σταδιακή αλλαγή της σύστασής του. Τέλος, πραγματοποιείται εκροή διαλυτών ουσιών, όπως οργανικά οξέα, μέταλλα, βιταμίνες, αρωματικές ουσίες και χρωστικές από το τρόφιμο προς το υπερτονικό διάλυμα. Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μεταφορά μαζών θεωρείται αμελητέα, λαμβάνεται υπόψιν σε σημαντικό βαθμό, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι παίζει καταλυτικό ρόλο στη δημιουργία τελικού προϊόντος με τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (*Phisut, 2012; Tortoe, 2010*).

Η ωσμωτική αφυδάτωση, όντας μία διαδικασία στην οποία πρωταγωνιστούν διάφορες ουσίες, επηρεάζεται από έναν μεγάλο αριθμό παραγόντων, οι οποίοι θα πρέπει να έχουν ληφθεί υπόψιν έτσι ώστε ένα επιτευχθεί ένα επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα. Διαφορετικά, μπορούν να αλλάξουν το περιεχόμενο και να μεταβάλλουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Αυτοί είναι:

- 1 Ωσμωτικό μέσο/Μοριακό βάρος ουσιών.
- 2 Αναλογία προϊόντος/ωσμωτικού μέσου.
- 3 Χρόνος εμφάνισης προϊόντος.
- 4 Θερμοκρασία διεργασίας.
- 5 Συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου.
- 6 Προ κατεργασίες.

5.2 Ωσμωτικό Μέσο

Το ωσμωτικό μέσο που χρησιμοποιείται στην ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κριτήριο για την επιτυχημένη εκτέλεση της διεργασίας. Η συμβατότητα του τροφίμου με το μέσο που θα χρησιμοποιηθεί αποτελεί σημαντικό ρόλο στη λήψη τελικών επιθυμητών αποτελεσμάτων. Παράγοντες, όπως οι φυσικοχημικές ιδιότητες, το μοριακό βάρος και η διαλυτότητα του μέσου (*Lazarides, 1994; Lenart, 1992*) λαμβάνονται υπόψιν για την επιλογή του ωσμωτικού μέσου που θα χρησιμοποιηθεί. Είναι πολύ καθοριστική η επιλογή του

τόσο για την κατάλληλη αλληλεπίδραση του νερού με το τρόφιμο, όσο και για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που θα έχει το τελικό προϊόν. Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας που πραγματοποιούνται κατά την ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζονται διαφορετικά σύμφωνα με την επιλογή του κατάλληλου μέσου. Το ωσμωτικό μέσο θα πρέπει να δίνει υψηλό ρυθμό απώλειας νερού, χαμηλή τιμή ενεργότητας νερού, ενώ σημαντικό κριτήριο έχουν στο πειραματικό σχεδιασμό τα φαινόμενα εισροής μάζας και κυρίως εισροής στερεών στο προς εξέταση τρόφιμο. Επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η εισαγωγή νέων λειτουργικών και διατροφικών ιδιοτήτων. Παράλληλα, σημαντική προϋπόθεση αποτελεί η περιεκτικότητα των σακχάρων στο τρόφιμο να μην ξεπερνάει το όριο των καθιερωμένων αναλογιών. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι οσμωτικοί παράγοντες είναι η γλυκόζη, η σακχαρόζη, η γλυκερίνη, η σορβιτόλη, το σιρόπι καλαμποκιού, το σιρόπι γλυκόζης και οι φρουτοολισακχαρίτες (Tortoe, 2010). Σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν (Lenart and Flink, 1984a) συγκρίθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί ωσμωτικών μέσων σε συνεχή συγκέντρωση και βρέθηκε ότι η μίξη χλωριούχου νατρίου και σουκρόζης οδήγησε σε σημαντική μείωση υγρασίας του τροφίμου σε σύγκριση με την απλή χρήση της σουκρόζης ως υπερτονικό μέσο. Μάλιστα έχει παρατηρηθεί ότι η προσθήκη μικρής ποσότητας χλωριούχου νατρίου στο ωσμωτικό μέσο μπορεί να αυξήσει το βαθμό επιτυχίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, λόγω του χαμηλού μοριακού του βάρους και της υψηλής ικανότητας που διαθέτει να μειώνει την ενεργότητα νερού (Azoubel and Murr, 2004). Αναλυτικότερα, τα παραπάνω ωσμωτικά μέσα έχουν μελετηθεί αρκετά και παρέχουν διαφορετικές λειτουργίες στην ωσμωτική αφυδάτωση. Πιο συγκεκριμένα, η σουκρόζη έχει παρατηρηθεί ότι μειώνει το ρυθμό της ενζυμικής αμαύρωσης, καθώς δεν επιτρέπει την είσοδο του οξυγόνου στο τρόφιμο, κρατάει αναλλοίωτο το χρώμα του τροφίμου και βοηθάει στη διατήρηση των πτητικών ουσιών κατά της διάρκεια της αφυδάτωσης (Pattanara, Therdthai, Chantrapornchai, and Zhou, 2010). Επίσης το χλωριούχο νάτριο χρησιμοποιείται συχνά στις διεργασίες λαχανικών καθώς επιβραδύνει την οξειδωτική και τη μη ενζυμική αμαύρωση (Tadesse et al., 2015), ενώ οι φρουτοολισακχαρίτες διαφέρουν από την σουκρόζη, καθώς διαθέτουν μεγαλύτερο

μοριακό βάρος και αυτό οδηγεί σε χαμηλότερο ρυθμό διάχυσης (*Matusek et al., 2008*). Έχει διαπιστωθεί ότι ωσμωτικά μέσα με υψηλό μοριακό βάρος επιφέρουν μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας νερού και μικρότερο ρυθμό πρόσληψης στερεών, ενώ αντίθετα ωσμωτικά μέσα με μικρό μοριακό βάρος επιφέρουν υψηλό ρυθμό πρόσληψης και μικρότερη απώλεια νερού. Αυτό συμβαίνει, γιατί ουσίες με μικρό μοριακό βάρος μπορούν ευκολότερα να διεισδύσουν μέσα στα κύτταρα σε σύγκριση με ουσίες με μεγάλο μοριακό βάρος (*Phisut, 2012*). Γι αυτό το λόγο στη βιομηχανία γίνεται συχνά συνδυασμός δύο ή περισσότερων μέσων ούτως ώστε να έχουμε επιθυμητά αποτελέσματα. Παράλληλα, σημαντική παράμετρος αποτελεί και η αναλογία με την οποία θα χρησιμοποιηθούν τα ωσμωτικά μέσα στο ωσμωτικό διάλυμα φρούτων και λαχανικών, με πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αναλογίες 1:2 και 1:3 (*Karathanos, Kostaropoulos, & Saravacos, 1995; Tiwari, 2005*). Επίσης, σημαντικό κριτήριο για το μοριακό βάρος των ουσιών έχει και το pH, καθώς ωσμωτικά διαλύματα με χαμηλό pH αυξάνουν το ρυθμό απώλειας νερού. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι μεικτά ωσμωτικά διαλύματα σακχαρόζης και άλατος προκαλούν μεγαλύτερη απώλεια νερού σε σχέση με διαλύματα που διαθέτουν αποκλειστικά σακχαρόζη. Αυτό συμβαίνει, καθώς το χλωριούχο νάτριο έχει την τάση να μειώνει την ενεργότητα του νερού.

5.3 Αναλογία προϊόντος / ωσμωτικού μέσου

Στις περισσότερες μελέτες που πραγματοποιούνται, επικρατούν σχετικά μικρές αναλογίες προϊόντος / ωσμωτικού μέσου όπως 1:2 , 1:3 ή 1:4. Τα φαινόμενα αύξησης της αναλογίας του ωσμωτικού διαλύματος ως προς το τρόφιμο επιφέρουν επιθυμητά αποτελέσματα με κύρια την πρόσληψη στερεών και την αποβολή υγρασίας, ωστόσο θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις αναλογίες. Η πιθανότητα δυσκολίας μεταχείρισης του τελικού διαλύματος και το υψηλό κόστος παραγωγής αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για προσοχή. Συνεπώς, στις σύγχρονες βιομηχανίες, αποφεύγεται η εφαρμογή μεγάλων αναλογιών (30:1, 40:1, 50:1), σε αντίθεση με εργαστηριακές μελέτες στις οποίες το βασικό κίνητρο χρήσης τους είναι η αποφυγή αραίωση του διαλύματος.

5.4 Χρόνος εμφάνισης προϊόντος

Η διαδικασία εμφάνισης (ωσμωτική αφυδάτωση) αποτελεί μία σημαντική κατεργασία, καθώς βοηθάει στη σταθεροποίηση και την βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου. Χρησιμοποιείται πριν την εκτέλεση κάποιας άλλης διεργασίας, πχ. ξήρανσης ή ψύξης. Διάφορες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε φρούτα και λαχανικά, έχουν δείξει ότι ο χρόνος εμφάνισης του προϊόντος σε κάποιο ωσμωτικό διάλυμα πριν την έναρξη οποιασδήποτε διεργασίας συνήθως διαρκεί 2 – 4 h, ούτως ώστε να γίνει η κατάλληλη προετοιμασία της επεξεργασίας και να παραμείνει το τρόφιμο σε περιβάλλον στο οποίο δεν θα υπάρξει κάποια οργανοληπτική ή ποιοτική υποβάθμιση.

5.5 Θερμοκρασία διεργασίας

Η θερμοκρασία διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό παράγοντα καθώς επηρεάζει άμεσα τα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας (Tortoe, 2010). Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε ταχύτερη απώλεια νερού, ενώ η πρόσληψη στερεών επηρεάζεται λιγότερο (Khan, 2012 ; Tortoe,2010). Οι ευνοϊκότερες συνθήκες μεταφοράς μάζας, λόγω της μείωσης της τιμής του ιξώδους (Ishfaq et al., 2016) και η διόγκωση των κυτταρικών μεμβρανών επιβεβαιώνουν τα φαινόμενα που προαναφέρθηκαν. Σε ότι έχει σχέση με την εισροή και πρόσληψη στερεών στο εσωτερικό του τροφίμου, παρατηρείται αύξηση σε θερμοκρασίες που ανέρχονται τους 50°C, εξαιτίας των αλλαγών που παρατηρούνται στην κυτταρική μεμβράνη(παραμόρφωση, διαπερατότητα). Παρόλα αυτά, σε αυξημένες θερμοκρασίες παρουσιάζεται σημαντική υποβάθμιση στην ποιότητα των τροφίμων (Torreggiani, 1995, Segui, Fito and Fito 2010). Τα παραπάνω φαινόμενα επιβεβαιώθηκαν από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε ανανά (Beristain, Azuara, Cortes, and Garcia 1990), καρύδα (Rastogi and Raghavarao ,1994), μήλα (Lazarides, Katsanidis, Nickolaidis 1995 ; Barat, Chiralt and Fito 2001) και μπανάνες (Mercali, Marczek, Tessaro, and Norena 2011). Έχει παρατηρηθεί ότι είναι ωφέλιμο για την αποτελεσματική αφυδάτωση και τα επιθυμητά τελικά οργανοληπτικά

χαρακτηριστικά, το τρόφιμο να θερμαίνεται σε ήπιες θερμοκρασίες διεργασίας. Αυτό προκύπτει, καθώς φαίνεται ότι εξασφαλίζει την μικροβιολογική του σταθερότητα, καταφέρνει την επέκταση της διάρκειας ζωής του από 5 μέχρι 10 – 12 μέρες και σε οικονομικό επίπεδο, η διεργασία κοστίζει λιγότερο (*Moraga, Moraga, and Martinez-Navarrete, 2011*).

5.6 Συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου

Σημαντική επίδραση στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας έχει η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου (*Phisut, 2012*). Σε διάφορες μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου οδηγεί σε μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, λόγω της επιτάχυνσης των ρυθμών μεταφοράς μάζας (*Lenart, 1992*). Επιπρόσθετα, σε μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί (*Δερμεσονλούογλου, 2008*) παρατηρήθηκε ότι το ποσοστό της αύξησης της απώλειας νερού είναι μεγαλύτερο από αυτό της αύξησης των στερεών, με αποτέλεσμα ωσμωτικά διαλύματα με υψηλές συγκεντρώσεις να επιφέρουν μεγαλύτερη αφυδάτωση στο προς εξέταση τρόφιμο. Σε πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει διαπιστωθεί ότι διαλύματα με μικρότερη συγκέντρωση σουκρόζης οδηγούν σε ελάχιστες απώλειες νερού και εισροή διαλυτών ουσιών (*Tortoe, 2010*), σε αντίθεση με διαλύματα υψηλής συγκέντρωσης στα οποία μειώνονται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (*Phisut, 2012*). Αναλυτικότερα, σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε καρπούζι (*Falade, Igbeka, and Ayanwuyi, 2007*) και βερίκοκο, διαπιστώθηκε ότι η παραμονή των τροφίμων σε διαλύματα σουκρόζης με υψηλή συγκέντρωση οδήγησε σε πιο επιτυχημένη ωσμωτική αφυδάτωση, με μεγαλύτερη πρόσληψη διαλυτών ουσιών στα τρόφιμα και απώλεια νερού.

5.7 Προκατεργασίες

Σύμφωνα με μελέτες, έχει παρατηρηθεί ότι πριν από την ωσμωτική αφυδάτωση, προηγούνται πρώτα κάποιες διεργασίες ούτως ώστε να αποφευχθεί η αλλοίωση των χαρακτηριστικών του τροφίμου πριν την εκτέλεση της διαδικασίας. Τέτοιες διεργασίες είναι το ζεμάτισμα της πρώτης ύλης, η ψύξη ή κατάψυξη του

τροφίμου, η εμβάπτιση του τροφίμου σε αλκαλικό περιβάλλον, η εφαρμογή υψηλής υδροστατικής πίεσης, η οξίνιση κλπ. Ένα μεγάλο μέρος των βημάτων που προηγούνται πριν την έναρξη της ωσμωτικής αφυδάτωσης αφορούν κυρίως στην επίτευξη της μείωσης της σκληρότητας των ιστών και της κυτταρικής μεμβράνης. Ο συνδυασμός των παραπάνω διεργασιών έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζει σημαντική εξασφάλιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων πριν την έναρξη της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Πιο αναλυτικά, το ζεμάτισμα των τροφίμων, η κατάλληλη κοπή των πρώτων υλών και η ψύξη των τροφίμων σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε καρότα και διάφορα λαχανικά, οδήγησε σε μείωση ενεργότητας νερού και καλύτερη ποιότητα των πρώτων υλών σε θρεπτικά συστατικά μετά την πραγματοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης (*Tadesse, Abera, & Worku, 2015 ; Escobar, Galindo, & Wadso, 2007*). Ταυτόχρονα, η εμβάπτιση της πρώτης ύλης σε διάλυμα κιτρικού οξέος σε συνδυασμό με την ψύξη τους, οδήγησε στην διατήρηση του χρώματος και την αποφυγή της ενζυμικής αμαύρωσης σε φρούτα και λαχανικά (*Sunjka & Raghavan, 2004*). Παράλληλα, πολλές φορές η ωσμωτική αφυδάτωση είναι πιο αποδοτική με τη χρήση ανάδευσης, καθώς το τρόφιμο θα αποκτήσει καλύτερη επαφή με το διάλυμα. Ωστόσο δεν επιλέγεται τόσο συχνά, καθώς το κόστος παραγωγής είναι υψηλό λόγω του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί, μπορεί να προκληθούν τραυματισμοί στο τρόφιμο και η χρήση της δεν ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω παράγοντες είναι εξίσου σημαντικοί, όσο και τα φυσικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ίδιο του τροφίμου. Η φυσικοχημική σύσταση και ο βαθμός ωρίμανσης του τροφίμου μπορούν να επηρεάσουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε μια ωσμωτική διεργασία (*Lazarides, 1994*). Επίσης, σημαντικό ρόλο έχουν το μέγεθος και το σχήμα του τροφίμου στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Γενικά, θα πρέπει οι κοπές και τα σχήματα των προς εξέταση τροφίμων να έχουν όσο το δυνατόν παρόμοια σχήματα, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αλλοίωσης των τελικών αποτελεσμάτων. Τρόφιμα με μεγαλύτερη επιφάνεια θα έχουν μεγαλύτερη αποβολή νερού και πρόσληψη στερεών. Συνήθως για τα δείγματα επιλέγεται να κοπούν σε κύβους ή

δακτυλίου ίδιου πάχους, προκειμένου ένα μεγάλο ποσοστό της επιφάνειας του τρόφιμου να έρχεται σε επαφή με τον ωσμωτικό παράγοντα.

5.8 Μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα της μεθόδου, που έχουν αναφερθεί διεξοδικά στο κεφάλαιο, εμφανίζονται και κάποια ζητήματα που είναι σημαντικό να αντιμετωπιστούν – περιοριστούν ή ακόμα και να εξαιρεθούν. Το κυριότερο από αυτά είναι η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας η αποβολή του νερού που έχει υποστεί το τρόφιμο, προκαλεί αραίωση στο διάλυμα. Εκτός από το νερό, διαλυτά στερεά συστατικά μεταφέρονται από το τρόφιμο στο διάλυμα με αποτέλεσμα να αλλάζουν την σύστασή του και να επηρεάζουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε επόμενη ώσμωση. Σε αυτά τα διαλυτά στερεά, ενδέχεται να περιέχονται και αρωματικά συστατικά που θα προσδώσουν στο διάλυμα χαρακτηριστικές γεύσεις και χρωματισμούς, γεγονός που θα καταστήσει την χρήση του διαλύματος περιορισμένη. Πέρα από τις οργανοληπτικές αλλαγές, θα τροποποιηθούν επίσης βασικοί παράγοντες όπως το pH, το ιξώδες και η aw. Μέσα σε άλλα, το διάλυμα θα περιέχει υψηλό ποσοστό οργανικών συστατικών, τα οποία μετατρέπουν το διάλυμα σε ένα φιλικό προς τους μικροοργανισμούς περιβάλλον ανάπτυξης (*Dalla Rosa & Giroux, 2001*). Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η βιομηχανία λοιπόν είναι η συγκέντρωση και η σύσταση του διαλύματος, η ανακύκλωση και η αποτελεσματική επαναχρησιμοποίησή του, η προσθήκη διαλυτών στερεών και η ασφαλής διαχείριση των αποβλήτων. Επειδή, για οικονομικούς λόγους, δεν είναι δυνατή η δημιουργία νέων διαλυμάτων για κάθε νέα διαδικασία, αποτελεί στοίχημα των ερευνητών να βρεθεί τρόπος επαναχρησιμοποίησης.

Για την επαναφορά του διαλύματος στην αρχική του κατάσταση και την επαναχρησιμοποίησή του, πρέπει αρχικά να καθαριστεί από ιστούς του τροφίμου με διήθηση. Στην συνέχεια χρειάζεται να γίνει επαναφορά της αρχικής σύστασης του διαλύματος είτε με εξάτμιση είτε με προσθήκη στερεών διαλυτών ουσιών ή προσθήκη συμπυκνωμένου διαλύματος, είτε με συμπύκνωση με χρήση μεμβρανών.

Η ανακύκλωση διαλυμάτων με ωσμωτικό μέσο ενός συστατικού είναι ευκολότερη από μεικτά μέσα με περισσότερα συστατικά. Το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να επανέλθει με αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση στην αρχική του κατάσταση (Tortoe, 2010).

Η συνεχής χρήση και ανακύκλωση του διαλύματος αυξάνει τον κίνδυνο μικροβιακής ανάπτυξης. Είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται μία ήπια παστερίωση και να πραγματοποιηθεί μικροβιακή εξυγίανση του διαλύματος. Όταν εξαντλήσουμε τη δυνατότητα περαιτέρω ανακύκλωσης και οι μέθοδοι ανάκτησης δεν είναι πλέον εφαρμόσιμες το διάλυμα πρέπει να απορριφθεί και να απομακρυνθεί ως υγρό απόβλητο. Εξαιτίας όμως της υψηλής τιμής BOD5 (κατανάλωση οξυγόνου από τους μ.ο. του διαλύματος σε διάστημα 5 ημερών), λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε οργανικά συστατικά δεν επιτρέπεται από τη νομοθεσία να απομακρυνθεί ως απόβλητο απευθείας (χωρίς την κατάλληλη επεξεργασία) σε ευαίσθητους φυσικούς αποδέκτες. Πρέπει πρώτα να γίνει η κατάλληλη επεξεργασία εξυγίανσης για να μειωθεί ο αριθμός των βακτηρίων και το μετρούμενο BOD5 στα αποδεκτά όρια, ανάλογα με το είδος του φυσικού αποδέκτη (Δερμεσονλούογλου, 2008). Είναι ακόμα πιθανό, εφόσον γίνει η κατάλληλη επεξεργασία, το διάλυμα μετά από ωσμωτική αφυδάτωση σε φρούτα να χρησιμοποιηθεί σε μαρμελάδες, σε σιρόπια για κονσέρβες, να αναμιχθεί με χυμούς φρούτων ή αναψυκτικά, ως πρόσθετο σε τρόφιμα ή φάρμακα, ή σε ζωοτροφές (Ishfaq et al., 2016).

Όσον αφορά την ποιότητα του τελικού προϊόντος, παρατηρούνται αλλαγές στην υφή του όπως η συρρίκνωση. Η συρρίκνωση αποτελεί και μία μη αναστρέψιμη μεταβολή της υφής. Άλλη υποβάθμιση στην υφή, πιθανόν να προκληθεί όταν στο διάλυμα εφαρμόζεται ανάδευση. Βασικό μειονέκτημα είναι αυτό της αλλαγής γεύσης, διότι ο ωσμωτικός παράγοντας ενδέχεται να είναι κάποιο σάκχαρο (μαλτοδεξτρίνη, ολιγοφρουκτόζη), ή κάποιο αλάτι (χλωριούχο νάτριο) που προσδίδει στο τρόφιμο ανεπιθύμητη γλυκιά ή αλμυρή γεύση αντίστοιχα. Τέλος, η θρεπτική αξία επίσης επηρεάζεται πολλές φορές λόγω πρόσληψης ανεπιθύμητων

θερμίδων, ή απώλειας μέρους των βιταμινών όπως το ασκορβικό οξύ (*Lewicki & Lenart, 2006*).

5.9 Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σεμανιτάρια με τη χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Στη σύγχρονη εποχή, τα μανιτάρια θεωρούνται τρόφιμα υψηλής προτίμησης, καθώς διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως πλούσια γεύση, χαμηλή θερμιδική αξία και υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, βιταμίνες του συγκροτήματος Β και ιχνοστοιχεία (*Bano & Rajarathnam, 1988*). Παρόλα αυτά, η σύντομη διάρκεια ζωής τους και η ύπαρξη ορισμένων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τα οποία ενισχύουν την ποιοτική υποβάθμισή τους (υποβάθμιση του χρώματος, απώλεια υγρασίας, αλλαγή στην γεύση και στη υφή του τροφίμου) (*Fernandes, Antonio, Oliveira, et al., 2012; Zhang et al., 2018*) οδήγησαν σε διάφορες μελέτες με στόχο την επέκταση της διάρκειας ζωής τους. Γι αυτό το λόγο, η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται αρκετά συχνά ως διεργασία ποιοτικής αναβάθμισης των χαρακτηριστικών των μανιταριών.

Μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε μανιτάρια διάφορων ειδών, με πιο συχνό φαινόμενο τον συνδυασμό ωσμωτικής αφυδάτωσης με κάποιο άλλο τρόπο συντήρησης. Αρχικά, παρατηρείται το φαινόμενο αφυδάτωσης των μανιταριών για 1-3 μέρες σε θερμοκρασίες δωματίου (*Fernandes et al., 2012*) και έπειτα για 8-14 μέρες σε θερμοκρασίες 2-3°C σε συσκευασία ή τροποποιημένη ατμόσφαιρα (*Singh et al., 2010*). Όμως η χρήση διάφορων βιομηχανικών επεξεργασιών έγκειται και στα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που θέλουν να επιτευχθούν. Συνδυασμός ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση ξηρού αέρα και μικροκυμάτων παρατηρήθηκε ότι οδηγεί σε τελικό προϊόν με επιθυμητά χαρακτηριστικά και έντονη γεύση (*Riva, Schiraldi, & Cesare, 1991*).

Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε φρέσκα λευκά μανιτάρια (*Agaricus bisporus*), τα οποία διαθέτουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, αφού πρώτα πλύθηκαν και κόπηκαν σε σωστά μεγέθη για την καλύτερη λήψη αποτελεσμάτων,

προστέθηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα νερού και ζάχαρης (75%). Η αναλογία δείγματος προς διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 1:4 στους 80°C για χρονικό διάστημα 180 λεπτών. Η επιλογή των παραμέτρων λήφθηκε με στόχο την ελάχιστη μείωση του μεγέθους και του σχήματος του μανιταριού. Οι μελέτες έδειξαν ότι υπήρξε σημαντική μείωση της υγρασίας των μανιταριών, η αύξηση στη μάζα των στερεών και μικρή απόκλιση στο χρώμα και στα υπόλοιπα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των μανιταριών σε σχέση με τις υπόλοιπες συμβατικές μεθόδους συντήρησης (González-Pérez *et al.*, 2019).

Πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί σε μανιτάρια oyster με τη χρήση ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία άλλων διεργασιών, έχουν οδηγήσει σε πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Αρχικά, ποσότητες μανιταριών κατάλληλα κομμένες (Sharma Anshu και Bhat Anju, 2018) προστέθηκαν σε ωσμωτικά διαλύματα NaCl συγκεντρώσεων 5, 10 και 15 % και στη συνέχεια ένα μέρος των μανιταριών ξηράθηκε στο φυσικό περιβάλλον με την επίδραση του ήλιου, ενώ το υπόλοιπο σε συσκευή ξήρανσης με επικρατούσα θερμοκρασία 50 °C. Τα συμπεράσματα είχαν ως στόχο την ανάγνωση των αποτελεσμάτων της υγρασίας του τροφίμου, του χρώματος, του ρυθμού αφυδάτωσης και των πρωτεϊνών των μανιταριών. Παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της υγρασίας παρέμεινε στον μάρτυρα, ενώ το χαμηλότερο ποσοστό στο δείγμα που εμβαπτίστηκε σε διάλυμα NaCl 15% στον κλειστό ξηραντήρα, λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης NaCl.

Ακόμα διαπιστώθηκε ότι η χρήση του ξηραντήρα ήταν πιο αποτελεσματική σε σχέση με την απλή ξήρανση μέσω έκθεσης στον ήλιο, αποτέλεσμα το οποίο έχει διαπιστωθεί και από διάφορες άλλες μελέτες (Torera and Abera, 2017). Παράλληλα, διαπιστώθηκε καλύτερη αφυδάτωση και επανυδάτωση του τροφίμου με τη χρήση του ξηραντήρα εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί και της συνεχούς κυκλοφορίας του αέρα, που βοηθάει τη διαδικασία της ανταλλαγής μαζών.

Μελέτες, επίσης, πραγματοποιήθηκαν στο μανιτάρι *Shiitake* (*Lentinus edodes*), το οποίο είναι το δεύτερο πιο διαδεδομένα ανεπτυγμένο εδώδιμο μανιτάρι παγκοσμίως (*Huang et al., 2019*). Το συγκεκριμένο μανιτάρι μελετήθηκε από επιστήμονες καθώς διαθέτει μεγάλη θρεπτική αξία, όπως επίσης και επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (*Morales et al., 2020*). Σε αντίθεση με τα παραπάνω, λόγω του υψηλού ποσοστού υγρασίας που επικρατεί στην επιφάνεια του, παρατηρούνται φαινόμενα ποιοτικής υποβάθμισης του τροφίμου όπως αμαύρωση, αλλαγές στην υφή και το χρώμα. Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης κρίθηκε σημαντική για την επέκταση της διάρκειας ζωής του τροφίμου. Πιο αναλυτικά, τρία διαφορετικά δείγματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις ωσμωτικού μέσου/ωσμωτικού διαλύματος, επεξεργάστηκαν για 24, 48 και 73 min, που αποτελούν την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε ειδικές σακούλες. Ο μάρτυρας και το πρώτο δείγμα αποθηκεύτηκαν για 3 και 5 μέρες αντίστοιχα, ενώ τα άλλα δυο για 7 μέρες, ενώ ανά δύο μέρες λαμβάνονταν μετρήσεις. Συμπερασματικά, τα δείγματα 2 και 3, παρουσίασαν ενισχυμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως καλύτερη υφή και γεύση, ενώ το φαινόμενο της ενζυμικής αμαύρωσης δεν παρατηρήθηκε.

Σε button mushrooms (*Agaricus Bisporus*) χρησιμοποιήθηκε επίσης η μέθοδος UOD (Ultrasound Osmotic Dehydration), δηλαδή η εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης σε συνδυασμό με υπερήχους. Οι συνθήκες των υπερήχων ορίστηκαν ως εξής: η συχνότητα ήταν 40 kHz, η ισχύς ήταν 200 W και η ένταση 0.12 W/cm^2 . Στη συγκεκριμένη διαδικασία, έγινε συνδυασμός σουκρόζης (40, 50, 60 %), γλυκόζης (40, 50, 60 %) και χλωριούχου νατρίου (10, 15, 20%) μαζί με νερό και η αναλογία των μανιταριών και του ωσμωτικού διαλύματος ήταν 1:10. Τα δείγματα αφαιρούνταν από τα ωσμωτικά διαλύματα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές (15, 30, 45, 60 και 75 min) και τοποθετούνταν σε καθαρό χαρτί ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία από την επιφάνεια του τροφίμου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλοι οι συνδυασμοί των ωσμωτικών μέσων και διαλυμάτων είχαν σημαντική επίδραση στα φαινόμενα ανταλλαγής μάζας. Πιο συγκεκριμένα, τα μανιτάρια είχαν την

μεγαλύτερη απομάκρυνση υγρασίας και προσθήκη διαλυτών ουσιών στο εσωτερικό τους στα διαλύματα χλωριούχου νατρίου και γλυκόζης αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1. Ωσμωτική αφυδάτωση σε διάφορα είδη μανιταριών.

Είδος	Ωσμωτικό μέσο	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος (min)	Πηγή
<i>Agaricus bisporus</i>	Ζάχαρη (75%)	80	180	González-Pérez et al., 2019
<i>Pleurotus ostreatus</i>	NaCl (5%,10%,15%)	50		Sharma Anshu και Bhat Anju, 2018
<i>Agaricus bisporus</i>	NaCl (10%,15%)	20 και 45	110	Torrington et al., 2000
<i>Agaricus blazei</i>	NaCl 10%	20	60	Kurozawa et al., 2011
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	NaCl (10%-20%)	30-60	15-240	Ramya, Kumar, Kapoor, 2014

Κεφάλαιο 6: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM)

6.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία επιφάνειας απόκρισης (RSM) είναι μια διαδικασία προσέγγισης και αποτελεσματικής βελτιστοποίησης πολύπλοκων επιστημονικών διεργασιών, βασιζόμενη στη συμπεριφορά διαφόρων πειραματικών παραγόντων και στην αλληλεπίδραση που υφίστανται μεταξύ τους. Αποτελείται από ένα ευρύ σύνολο στατιστικών και μαθηματικών τεχνικών, οι οποίες προσφέρουν την εύρεση εμπειρικών μοντέλων που προκύπτουν από τη σχέση πειραματικού σχεδιασμού και πειραματικών δεδομένων. Η εφαρμογή της είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάπτυξη και την βελτιστοποίηση διεργασιών, κυρίως βιομηχανικών. Ο σχεδιασμός νέων προϊόντων τροφίμων, καθώς η βελτίωση και η ανάπτυξη των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των υπαρχόντων προϊόντων καθιστούν στη σύγχρονη εποχή την RSM μία άκρως διαδεδομένη μεθοδολογία. Στο βιομηχανικό τομέα των τροφίμων, ένα ευρύ φάσμα ανεξάρτητων μεταβλητών (independent variables ή factors) επηρεάζει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των διεργασιών, καθώς και μειώνει την οργανοληπτική αξία των υπό μελέτη τροφίμων. Επιστημονικά, οι παράμετροι αυτοί καλούνται απόκριση (responses ή dependent variables). Για την ανάγνωση των συγκεκριμένων δεδομένων, γίνεται χρήση γραμμικών ή πολυωνυμικών εξισώσεων που περιγράφουν την αλληλεπίδραση των προαναφερθέντων παραγόντων. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας επιφέρει σημαντικά συμπεράσματα για την πειραματική διαδικασία και αποσκοπεί:

- Στην εύρεση του συνόλου των τιμών που μπορούν να έχουν οι ανεξάρτητες μεταβλητές.
- Στην συλλογή επιθυμητών συμπερασμάτων από τη σχέση της απόδοσης και των ανεξάρτητων μεταβλητών.
- Στη εύρεση των βέλτιστων συνθηκών για τις ανεξάρτητες μεταβλητές (X_k) που παράγουν επιθυμητές τιμές για τις αποκρίσεις (Y_v).

Η εξίσωση που περιγράφει την παραπάνω μεθοδολογία είναι η εξής:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (1)$$

Στα πρώτα στάδια της μεθοδολογίας, χρησιμοποιείται χαμηλής τάξης πολυωνυμική εξίσωση (πρώτου ή δεύτερου βαθμού), καθώς στόχος είναι η εκτίμηση της πραγματικής επιφάνειας απόκρισης και της μορφής της συνάρτησης απόκρισης f . Παράλληλα, η σκοπιμότητα της χρήσης χαμηλού βαθμού εξίσωσης βασίζεται στο γεγονός ότι η συνάρτηση f παρουσιάζει μικρή καμπύλωση και περιορισμένο εύρος διακύμανσης ανεξαρτήτων μεταβλητών σε μία μικρή περιοχή στην αρχή της μεθοδολογίας. Στην περίπτωση που έχουμε δύο ανεξάρτητες μεταβλητές, η εξίσωση 1^{ης} τάξης ορίζεται ως:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 \quad (2)$$

Ταυτόχρονα, μπορεί να ζητηθεί και η εισαγωγή του παράγοντα αλληλεπίδρασης (interaction) μεταξύ των μεταβλητών. Στην περίπτωση αυτή, λαμβάνεται υπόψιν και ένας παράγοντας καμπύλωσης στη συνάρτηση απόκρισης και προκύπτει η εξής τροποποίηση της εξίσωσης:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 \quad (3)$$

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην περίπτωση, όπου η καμπύλωση στην επιφάνεια απόκρισης γίνεται έντονη. Σε αυτήν την συνθήκη, η εξίσωση 1^{ης} τάξης δεν καλύπτει τις ανάγκες της μελέτης ή του πειράματος και χρησιμοποιείται η εξίσωση 2^{ης} τάξης, λίγο διαφοροποιημένη από την (3) με την μορφή:

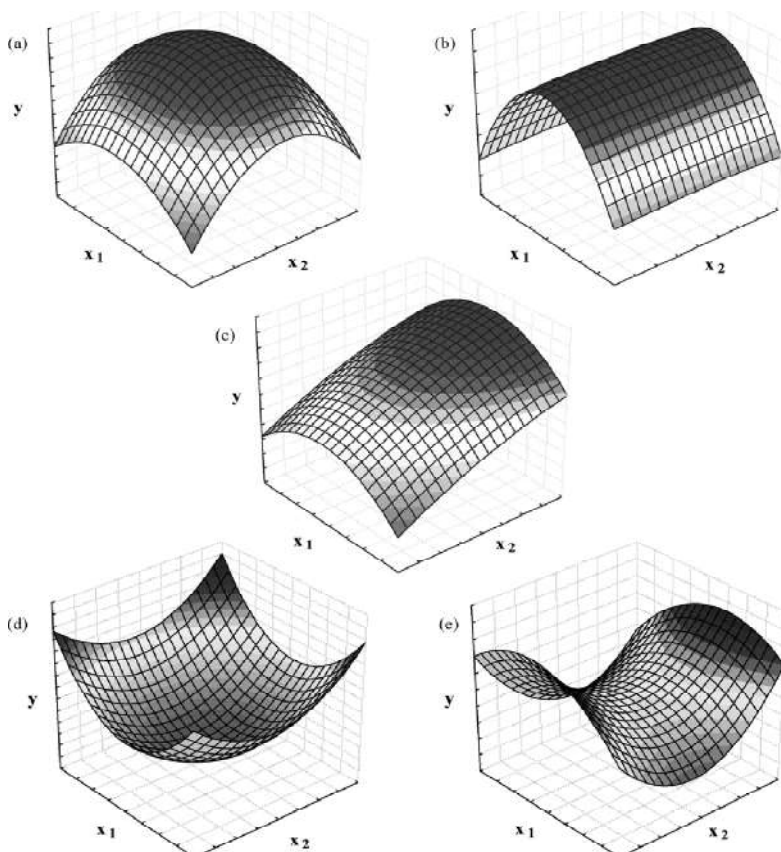
$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{12}X_1X_2 \quad (4)$$

Κατά γενική ομολογία, η εξίσωση 2^{ης} τάξης εφαρμόζεται περισσότερο στη βιομηχανία για τους εξής λόγους:

- Χρησιμοποιείται με διάφορους τρόπους και λειτουργεί αποτελεσματικά ως εκτίμηση πραγματικής επιφάνειας απόκρισης.
- Εύκολη εύρεση διάφορων παραγόντων.

- Έχει επαληθευτεί από διάφορες μελέτες η αποτελεσματικότητά της στην επίλυση προβλημάτων επιφάνειας απόκρισης.

Στη παρακάτω εικόνα, παρουσιάζονται γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ απόκρισης (Y_1, Y_2) και ανεξαρτήτων μεταβλητών (X_1, X_2) (M.A. Bezerra et al. ; *Talanta* 76 ,2008). Πρέπει να σημειωθεί ότι στα παρακάτω σχήματα για κάθε τιμή X_1, X_2 υπάρχει αντίστοιχη τιμή Y_1, Y_2 . Αυτές οι γραφικές παραστάσεις οδήγησαν στον όρο μεθοδολογίας επιφάνειας απόκρισης. Παρόλα αυτά, συνηθίζεται να χρησιμοποιείται συνδυασμός μεθόδων για την εύρεση των επιθυμητών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 6.1. Surface plots

6.2 Μεθοδολογία

Οι μέθοδοι επιφανειών απόκρισης συνηθίζεται να αποτελούνται από κάποια βασικά βήματα υλοποίησης (M.A. Bezerra et al./ Talanta 76 2008), (Experiment Design & Analysis Reference, ReliaSoft Corporation, Tucson, Arizona, USA, Chapter 10), τα οποία αποτελούνται από:

- Επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών που ασκούν σημαντικές επιδράσεις στο σύστημα μέσω ελέγχου των τιμών και οριοθέτηση της πειραματικής διαδικασίας.
- Επιλογή πειραματικού σχεδίου και διεξαγωγή των πειραμάτων σύμφωνα με τους πειραματικούς πίνακες.
- Επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων μέσω εφαρμογής πολυωνυμικής εξίσωσης, συνήθως 2^{ου} βαθμού.
- Μετατόπιση παραμέτρων πειράματος προς τις συνθήκες λειτουργίας που παρατηρούνται βέλτιστες αποκρίσεις. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της απότομης ανόδου (method of steepest ascent) σε περίπτωση μεγιστοποίησης της απόκρισης. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση της απόκρισης και στη συνέχεια αναφέρεται ως η μέθοδος απότομης ελάττωσης (method of steepest descent).
- Υλοποίηση ειδικού πειραματικού σχεδιασμού κοντά στην περιοχή βέλτιστης απόκρισης. Στην προκειμένη περίπτωση, μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο ταυτόχρονης βελτιστοποίησης αποκρίσεων, με τις τιμές των παραγόντων να αντικρούονται. Σε αυτό το σημείο γίνεται χρήση συναρτήσεων επιθυμίας (desirability functions).

Η εξίσωση 2^{ης} τάξης εφαρμόζεται στις περιπτώσεις, όπου η 1^{ης} τάξης δεν δίνει σαφή συμπεράσματα. Εάν η απόκριση επηρεάζεται από ένα σύνολο διάφορων παραγόντων που ξεπερνάνε τον έναν, τότε η εξίσωση (4) μετατρέπεται στην εξής μορφή:

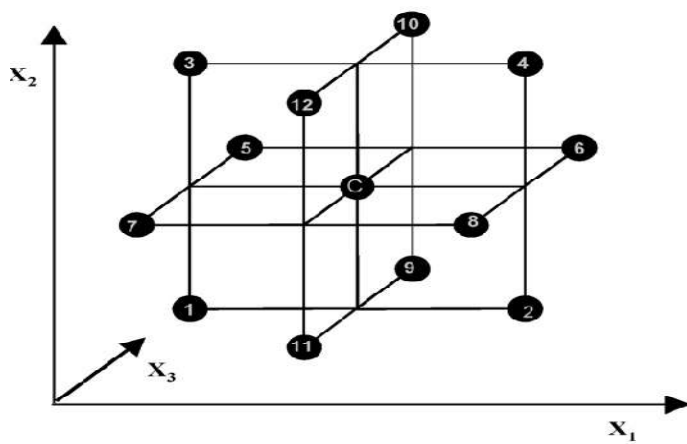
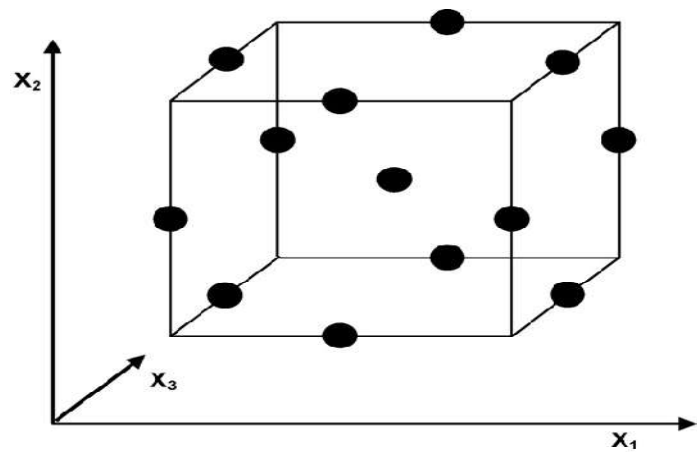
$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + \dots + B_{kk}X_k^2 + B_{12}X_1X_2 + \dots +$$

$$B_{k-1}X_{k-1}X_k + \varepsilon \quad (5)$$

Λόγω της ύπαρξης πολλών παραγόντων έχουν αναπτυχθεί ειδικοί πειραματικοί σχεδιασμοί, οι οποίοι εξοικονομούν τόσο χρόνο πειραματικών διεργασιών όσο και κόστος παραγωγής, καθώς μειώνεται η επαναληψιμότητα των πειραμάτων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται αποτελεσματικές αναλύσεις επιφανειών απόκρισης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken.

6.2.1 Πειραματικός σχεδιασμός Box - Behnken

Το 1960, οι G.E.P Box και D.W. Behnken παρουσίασαν ένα μοντέλο πειραματικού σχεδιασμού που αφορούσε διεργασίες στις οποίες οι κύριες επιδράσεις προέρχονται από τρεις βασικούς παράγοντες. Τα αξιόπιστα αποτελέσματα που επιφέρει η μέθοδος, καθώς και η εύρεση πολυωνυμικών εξισώσεων 2^{ου} κυρίως βαθμού που εφαρμόζονται, έχουν καθιερώσει τη συγκεκριμένη μέθοδο και η χρήση της πλέον είναι άκρως διαδεδομένη. Τα παρακάτω σχήματα απεικονίζουν τον πειραματικό σχεδιασμό της συγκεκριμένης μεθοδολογίας (σε γεωμετρική κατασκευή και σε πίνακα κωδικοποίησης των πειραμάτων) που αφορούν την επίδραση τριών παραγόντων.



Run	Factors		
	A	B	C
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0

Εικόνα 6.2. Απεικόνιση των συνδυασμών των τιμών των παραμέτρων, σύμφωνα με τη μεθοδολογία Box-Behnken.

Η παραπάνω μεθοδολογία αποτελεί μία διαδικασία σφαιρικού σχεδιασμού, όπου τα πειράματα πραγματοποιούνται μόνο σε τρία επίπεδα των παραμέτρων. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν εμπεριέχονται συνδυασμοί στους οποίους οι παράγοντες βρίσκονται ταυτόχρονα σε υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή. Επομένως, η μεθοδολογία είναι χρήσιμη στην αποφυγή πειραμάτων που πραγματοποιούνται κάτω από δύσκολες συνθήκες και συνήθως δίνουν ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

6.3 Συνδυασμός ωσμωτικής αφυδάτωσης και μεθοδολογίας RSM

Ως εναλλακτική μέθοδος συντήρησης, η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται αρκετά συχνά από διάφορους μελετητές, εξαιτίας των επιθυμητών αποτελεσμάτων που παρέχει. Παράλληλα, η μεθοδολογία RSM προσφέρει σημαντική βελτιστοποίηση των διεργασιών και μπορεί να προβλέψει σε σημαντικό βαθμό αρκετά από τα τελικά συμπεράσματα μίας πειραματικής διαδικασίας. Γι αυτούς τους λόγους πραγματοποιείται μία τάση συνδυασμού αυτών των δύο μεθοδολογιών, η οποία παρά το γεγονός ότι παράγει επιθυμητά αποτελέσματα, δεν είναι ακόμη τόσο διαδεδομένη.

Ο προσανατολισμός των ερευνητών βασίζεται στην βελτιστοποίηση της απόδοσης της ωσμωτικής αφυδάτωσης και την πρόβλεψη των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών για τα προς εξέταση τρόφιμα, κυρίως όσον αφορά την μέγιστη απώλεια νερού (Water Loss, WL) και την ελαχιστοποίηση της ενεργότητας ύδατος (Activity Water, A_w). Ιδιαίτερη σημασία επίσης δίνεται σε ποιοτικά χαρακτηριστικά, όπως η υφή, το χρώμα αλλά και η πρόσληψη στερεών του τροφίμου (Solid Gain, SG).

Η χρήση της μεθοδολογίας RSM σε μία διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης γίνεται περισσότερο για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας, του χρόνου διεργασίας του πειράματος και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος. Αναλυτικότερα σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορα

τρόφιμα, κυρίως φυτικούς ιστούς, έγινε χρήση του μοντέλου σχεδιασμού Box-Behnken για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των διεργασιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν απώλεια νερού στα προς εξέταση τρόφιμα και πρόσληψη στερεών. Πιο αναλυτικά, σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε μπανάνες (*Haqme et al. 2020, Atares et al. 2010*), η θερμοκρασία του διαλύματος στο ένα πείραμα και ο συνδυασμός συγκέντρωσης ωσμωτικού μέσου (σακχαρόζης) και θερμοκρασίας αποτέλεσαν τους καθοριστικούς παράγοντες για την απόδοση της διεργασίας και της απώλειας νερού.

Επίσης σε πολλές μελέτες, οι προβλεπόμενες τιμές των διεργασιών επαληθεύτηκαν με αυτές των βέλτιστων συνθηκών της μεθοδολογίας RSM με ένα μεγάλο εύρος επαναλήψεων. Συγκεκριμένα, οι *Tiroutchelvame et al.*, το 2019, έκαναν τριπλό πείραμα επαλήθευσης και πράγματι οι προβλεπόμενες τιμές επαληθεύτηκαν πειραματικά. Παρόμοια επαληθευτικά πειράματα έκαναν οι *Amiripour et al.*, το 2015 στη μελέτη τους σε αχλάδια αλλά και οι *Mehta et al.*, το 2012 και ο *Dehkordi*, το 2010 σε λευκό μανιτάρι. Όλοι κατάφεραν να επαληθεύσουν τις προβλεπόμενες τιμές πειραματικά.

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται ειδικές αναφορές σε βιβλιογραφίες που έχει εφαρμοστεί συνδυασμός και βελτιστοποίηση συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης με τη χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης.

Πίνακας 6.1. Συνδυασμός και βελτιστοποίηση συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης με τη χρήση RSM σε κοινά είδη μανιταριών και φρούτων.

Τρόφιμο	Συστατικά ωσμωτικού διαλύματος	Θερμοκρασίας Χρόνος	Βέλτιστες Συνθήκες	Αναλογία δείγματος/διαλύματος	Πηγή
Λευκό μανιτάρι (<i>Agaricus Bisporus</i>)	NaCl 10-20%	35-55 °C 60 min	44,89°C NaCl 16,53% 47,59 min	1:5	Mehta et., 2012
Λευκό μανιτάρι (<i>Agaricus Bisporus</i>)	NaCl 0-15% Σακχαρόζη 40-60%	25-40 °C 120-300 min	39 °C 164min 14% NaCl 53% Σακχαρόζη	1:10	Dehkordi , 2010
Μανιτάρι Πλευρώτους	NaCl 10-20%	30-60 °C 15-240 min	45°C 53,54 min NaCl 14,9% Ratio 6,08:1	1:4 , 1:8	Ramya et al. , 2014
Αχλάδια	Σακχαρόζη 50-70%	25-55°C 60-120 min	55°C , 50% σακχαρόζη 115 min	1:20	Amiripour et al., 2015
Μπανάνα	Σακχαρόζη 40-50-60%	Χρήση μικροκυμάτων 100-1000watt , 10-50 min	59,99%Brix 100watt 50 min	1:30	Haque et al. , 2010
Μπανάνα	Σακχαρόζη 45-65%	30-50°C 20-240min		1:20	Atares et.al, 2010

Κεφάλαιο 7: Μέθοδοι και Υλικά

7.1 Ωσμωτική Αφυδάτωση

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιοποίηση των παραπροϊόντων (ριζών) της παραγωγής μανιταριών για την δημιουργία ενός εδώδιμου προϊόντος με επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διάρκεια ζωής. Η εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελεί τη βασική μέθοδο εκτέλεσης και πραγματοποίησης της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας.

Η μέθοδος αυτή, όπως έχει αναπτυχθεί στο προαναφερθέν θεωρητικό μέρος, βασίζεται στην εμβάπτιση ενός προϊόντος σε ένα υπερτονικό διάλυμα, στο οποίο διαδραματίζονται διάφορα φαινόμενα μεταφοράς μαζών, με τα κύρια από αυτά να είναι η εισροή νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα και η πρόσληψη στερεών συστατικών στο εσωτερικό του τρόφιμου. Η διαδικασία ολοκληρώνεται με την παρατήρηση της ισορροπίας της ενεργότητας νερού (a_w) μεταξύ διαλύματος και εξεταζόμενου προϊόντος.

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν ρίζες μανιταριών *Pleurotus ostreatus* από την εταιρεία MANITARIA DIRFIS. Τα δείγματα χωρίστηκαν σε ομάδες των 9 για κάθε χρονική περίοδο (0-10-20-40-60-80-100-120 λεπτών) και επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να υπάρχει ομοιομορφία ως προς το χρώμα, το μέγεθος και το βάρος. Κάθε ομάδα των 9 χωρίστηκε σε 3 υποομάδες των τριών που κάθε μια προοριζόταν για:

1. Προσδιορισμό της a_w .
2. Ξήρανση και ζύγιση για την μέτρηση των ξηρών στερεών.
3. Μέτρηση χρώματος και υφής.

Το βάρος των τριών δειγμάτων κάθε υποομάδας έπρεπε να ξεπερνά τα 20 g συνολικά, ώστε να επιτευχθούν καλύτερες μετρήσεις και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα του πειράματος.

Το υπερτονικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε είχε ως κύρια ωσμωτικά μέσα τα σάκχαρα ολιγοφρουκτόζη (σε συγκεντρώσεις 20% - 40%) και μαλτοδεξτρίνη (σε συγκεντρώσεις 10% - 30%), αλάτι (χλωριούχο νάτριο, σε σταθερή συγκέντρωση 5%), ασκορβικό οξύ (σε σταθερή συγκέντρωση 1,5%) και ποσότητα νερού. Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα που εφαρμόστηκε ήταν 1:15, αρκετά σημαντική διαφορά για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αραιώσης του διαλύματος από την απώλεια νερού των ριζών. Καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκαν πολλές επαναλήψεις μέχρι να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες του τελικού πειράματος. Τελικά, τα δείγματα που ζυγίστηκαν, εμβαπτίστηκαν μέσα σε υδατόλουτρο Polyscience water bath WB1A11B (εικόνα 5.1) σε ελεγχόμενες θερμοκρασίες εύρους 30°C - 50°C. Η χρονική διάρκεια του πειράματος τέθηκε στα 120 λεπτά και οι αναλογίες των συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος ήταν: 20% - 40% ολιγοφρουκτόζη, 10% - 30% μαλτοδεξτρίνη, 5% αλάτι και 1,5% ασκορβικό οξύ. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιούνταν οι παρακάτω ενέργειες:

- Μέτρηση βαθμών Brix του διαλύματος.
- Μέτρηση ενεργότητας νερού (a_w).
- Μέτρηση βάρους δείγματος.
- Μέτρηση υφής και χρώματος του προϊόντος.
- Μέτρηση ολικών ξηρών στερεών.



Εικόνα 7.1. Υδατόλουτρο εργαστηρίου PolyScience water bath, WB10A11B

7.2 Πειραματική Διαδικασία

Το πρώτο στάδιο της πειραματικής διαδικασίας περιλάμβανε την κατάλληλη επιλογή των ριζών μανιταριών. Η ομοιομορφία τους σε σχήμα, χρώμα και βάρος ήταν σημαντικές προϋποθέσεις για τον υπολογισμό των προστιθέμενων αναλογιών των συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος, με την προϋπόθεση ότι η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα ήταν 1:15. Επίσης, ένα δείγμα διατηρήθηκε χωρίς να υποστεί κάποια περαιτέρω διαδικασία, όντας ο “μάρτυρας” (control) του πειράματος, με την έννοια του μηδενικού χρόνου για τις συνθήκες του πειράματος.

Το επόμενο στάδιο ήταν η παρασκευή του ωσμωτικού διαλύματος. Ακολούθησε ζύγισμα των ποσοτήτων των υλικών και η τοποθέτησή τους σε 7 γυάλινα βάζα (7 ομάδες δειγμάτων). Στη συνέχεια, τα διαλύματα ομογενοποιήθηκαν με ανάδευση και ύστερα για ένα διάστημα 10 min, προστέθηκαν στο υδατόλουτρο για την πλήρη διάλυση των στερεών συστατικών που προστέθηκαν. Μετά το πέρας της πρώτης θέρμανσης, τα βάζα αφαιρέθηκαν από το υδατόλουτρο και με τη βοήθεια ειδικών πλεγμάτων, πραγματοποιήθηκε η

προσθήκη των δειγμάτων, ώστε να υπάρχει πλήρης βύθιση. Μετά την ομογενοποίηση (η οποία είναι σημαντική για τη μεταφορά μάζας νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα και αντίστοιχα την εισροή διαλυτών συστατικών του διαλύματος προς το τρόφιμο) ακολούθησε μέτρηση των αρχικών βαθμών Brix για τον χρόνο 0. Τέλος, τα γυάλινα βάζα τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο, όπου έμειναν σε ηρεμία για το χρονικό διάστημα που είχαμε ορίσει για το καθένα (10,20,40,60,80,100,120 λεπτά) σε σταθερή θερμοκρασία και στη συνέχεια έβγαιναν από το υδατόλουτρο, για να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις για τη συνέχεια του πειράματος.

7.3 Μετρήσεις Ωσμωτικής Αφυδάτωσης

Στις χρονικές στιγμές που απαιτείται να ληφθούν τιμές (0,10,20,40,60,80,100,120 λεπτά), τα δείγματα αφαιρούνται από τα γυάλινα βάζα του πειράματος, σκουπίζονται σχολαστικά με χαρτί για να απορροφηθεί καλά το υπολειπόμενο διάλυμα και τελικά, πραγματοποιούνται μετρήσεις που περιγράφονται στην συνέχεια.

7.3.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος (°Brix)

Ο ορθός υπολογισμός των διαλυτών στερεών συστατικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη λήψη επιθυμητών αποτελεσμάτων, καθώς προσφέρει πληροφορίες για την πρόσληψη στερεών συστατικών από το μανιτάρι και για την αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος κατά τη διάρκεια της ώσμωσης. Για το πείραμα, χρησιμοποιήθηκε το διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO) (εικόνα 5.2). Για τη χρήση του οργάνου, απαιτείται βαθμονόμηση, με κύρια στοιχεία τον καθαρισμό της επιφάνειάς του με απιονισμένο νερό και το σκούπισμα της με απορροφητικό χαρτί. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, αφήνεται μία σταγόνα του διαλύματος να διατρέξει την επιφάνεια του οργάνου, με ταυτόχρονο κλείσιμο του καπακιού. Η καταγραφή της τιμής των βαθμών Brix γίνεται από την ένδειξη της κλίμακας που εμπεριέχεται μέσα στο διαθλασίμετρο. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον καθαρισμό του οργάνου από τα διαλυτά συστατικά που υπάρχουν στην

επιφάνεια, ούτως ώστε να μην επηρεαστούν οι υπόλοιπες μετρήσεις και στην θερμοκρασία του δείγματος να μην είναι υψηλή, για να μην απαιτηθεί διόρθωση της ένδειξης.



Εικόνα 7.2. Διαθλασίμετρο χειρό 0 – 90% (ATAGO)

7.3.2. Προσδιορισμός ενεργότητας ύδατος (a_w , water activity)

Η μέτρηση της ενεργότητας ύδατος έχει ως βασικό στόχο τον υπολογισμό του διαθέσιμου νερού που βρίσκεται στο εσωτερικό του τροφίμου μετά το τέλος της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οι μετρήσεις λαμβάνονται μέσω της συσκευής Aqualab Dew Point Water Activity Meter 4TE (εικόνα 5.3). Η μέτρηση του σημείου δρόσου αποτελεί την αρχή λειτουργίας του οργάνου. Στη συσκευή εισάγεται ποσότητα δείγματος με τη βοήθεια ενός περιέκτη (προσοχή στον όγκο της ποσότητας να μην υπερβαίνει την χαραγή και να μην αφήνει κενά), ο οποίος τοποθετείται εσωτερικά του μηχανήματος, όπου και ξεκινάει η λειτουργία του οργάνου. Με την επίτευξη της ισορροπίας των ατμών, μία υπέρυθρη ακτίνα εστιάζει σε ένα μικρό καθρέπτη και με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται η θερμοκρασία

δρόσου του δείγματος, η οποία οδηγεί στην τιμή της ενεργότητας ύδατος. Όσον αφορά στο συγκεκριμένο πείραμα, ποσότητα από το εξεταζόμενο μανιτάρι κόπηκε σε πολύ μικρά κομμάτια, έτσι ώστε να τοποθετηθεί στο εσωτερικό του περιέκτη, και αυτός στη συνέχεια, στην ειδική θέση που υπάρχει στο θάλαμο του οργάνου. Η διεργασία ολοκληρώνεται, με το άκουσμα του χαρακτηριστικού ήχου του οργάνου που υποδηλώνει την κατάσταση ισορροπίας των ατμών και της θερμοκρασίας και σημειώνεται η ένδειξη του μετρητή.

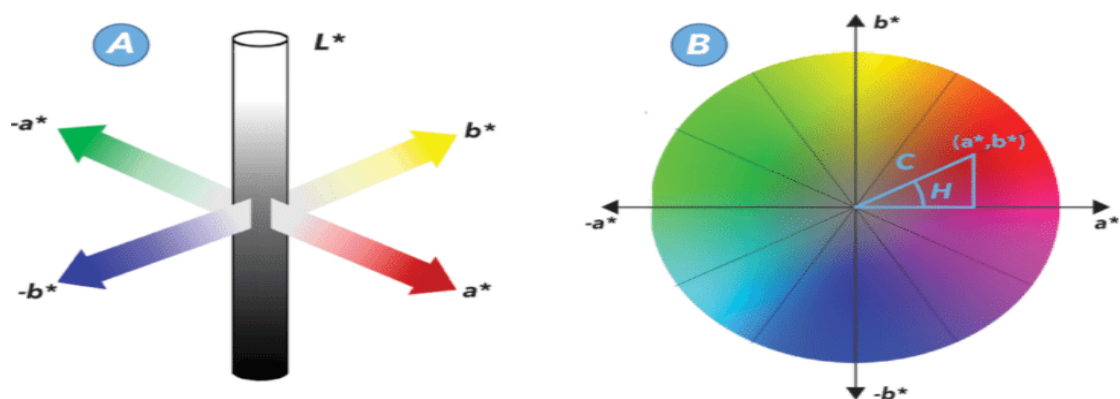


Εικόνα 7.3. Μετρητής ενεργότητας νερού AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE.

7.3.3 Προσδιορισμός χρώματος δείγματος

Η μέτρηση της τιμής του χρώματος έχει ως στόχο την παρατήρηση των χρωματικών αλλαγών μεταξύ του "μάρτυρα" και των επεξεργασμένων δειγμάτων. Ο χρόνος και η θερμοκρασία της διεργασίας, όπως και η συγκέντρωση του οσμωτικού διαλύματος επηρεάζουν σημαντικά το βαθμό αλλοίωσης και μεταβολής του χρώματος. Για τη μέτρησή του, χρησιμοποιείται το χρωματόμετρο COLOUR TESTER της SUGA TEST INSTRUMENTS Co., Ltd. με τις παραμέτρους CIE LAB. Το

συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί τρεις χρωματικές παραμέτρους (L, a, b), οι οποίες προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για τον χρωματικό προσδιορισμό ενός δείγματος και παρουσιάζονται σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Η παράμετρος L συμβολίζει την φωτεινότητα με τις τιμές του 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), ενώ οι τιμές a και b δεν έχουν κάποιο αριθμητικό περιορισμό και αφορούν χρωματικές αποχρώσεις. Στον κατακόρυφο άξονα εμφανίζονται οι τιμές της L , ενώ στον οριζόντιο άξονα οι τιμές των a^* και b^* . Οι θετικές τιμές του a^* απεικονίζουν τις αποχρώσεις του κόκκινου και οι αρνητικές τιμές του a^* τις αποχρώσεις του πράσινου. Οι θετικές τιμές του b^* απεικονίζουν τις αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ οι αρνητικές τιμές του b^* τις αποχρώσεις του μπλε (Χατζής, 2015). Πριν την έναρξη της διαδικασίας, το χρωματόμετρο βαθμονομείται με μία ειδική λευκή πλάκα και στη συνέχεια τοποθετείται πάνω από τις ρίζες μανιταριών με τη βοήθεια ενός τρυβλίου petri, ώστε να υπάρχει όσο πιο άμεση επαφή γίνεται. Η μέτρηση πραγματοποιείται τρεις φορές και οι τελικές τιμές αποτελούν μέσες τιμές των μετρήσεων.



Εικόνα 7.4. Άξονες απεικόνισης των παραμέτρων L^* , a^* και b^* του συστήματος CIE Lab.



Εικόνα 7.5. Χρωματόμετρο COLOUR TESTER της SUGA TEST INSTRUMENTS Co., Ltd..

Η συνολική μεταβολή του χρώματος προσδιορίστηκε μέσω του δείκτη ΔE , ο οποίος υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση.

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}$$

Ο δείκτης « 0 » στις παραμέτρους L, a και b συμβολίζει τις τιμές του νωπού μανιταριού (μάρτυρα) σε χρόνο μηδέν.

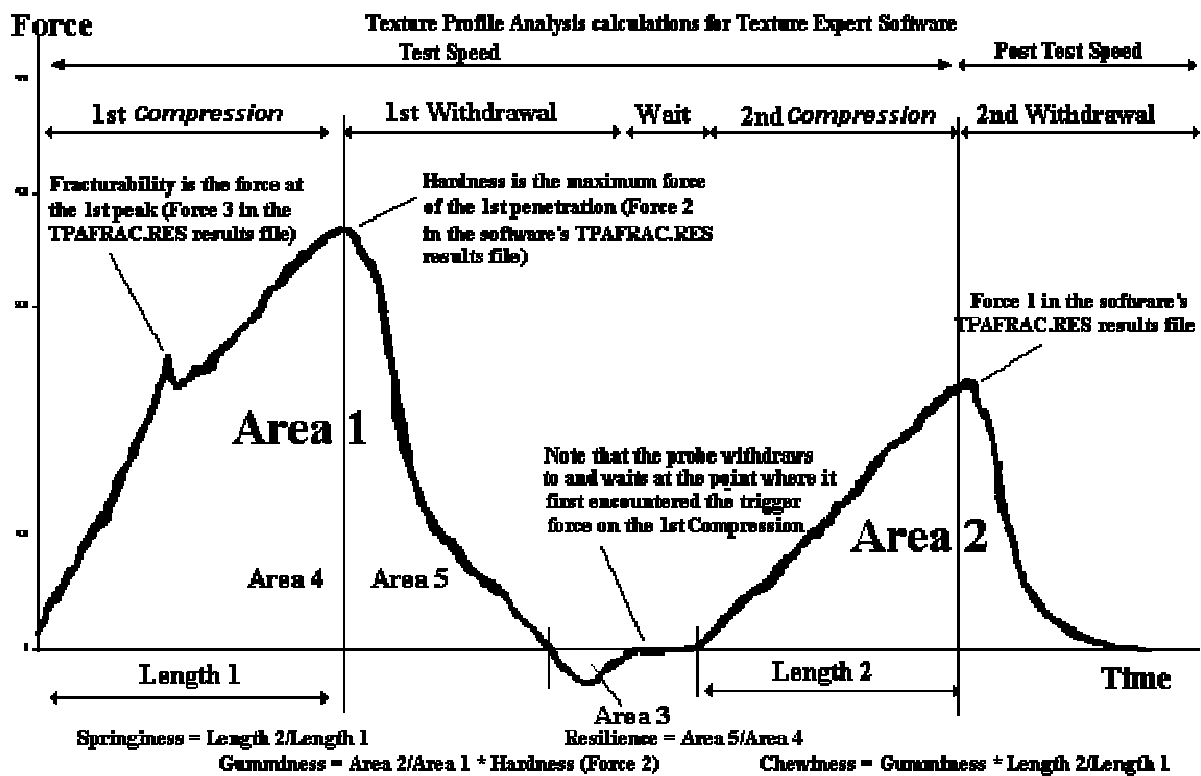
7.3.4 Προσδιορισμός-Ανάλυση Υφής

Η ανάλυση της υφής τωνμανιταριών πραγματοποιήθηκε με τον αναλυτή Texture Analyser- TA.XT.Plus (Stable Micro Systems Ltd, UK), που φαίνεται στην εικόνα 5.4, σε συνδυασμό με κατάλληλο πρόγραμμα που μπορεί να διαχειριστεί τα δεδομένα αυτά μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η μέθοδος διεργασίας ήταν η TPA (Texture Profile Analysis) με αλουμινένιο κύλινδρο διαμέτρου 6mm ως εργαλείο. Η διαδικασία περιλαμβάνει δύο συμπίεσεις κυλίνδρου προς το μανιτάρι και στο μεσοδιάστημα υπολογίζεται ο χρόνος παραμονής. Η διαδικασία αυτή προσομοιάζει την ανθρώπινη μάσηση. Η δυνατότητα του λογισμικού να καθορίζει παραμέτρους, όπως ο αριθμός των επαναλήψεων, το βάθος διείσδυσης στην επιφάνεια του μανιταριού και η ταχύτητα προσφέρει πληθώρα χαρακτηριστικών για ορισμένες ιδιότητες, των οποίων οι μεταβολές απεικονίζονται σε γραφική παράσταση. Αυτές είναι:



Εικόνα 7.6. Αναλυτής Υφής Texture Analyser- TA.XT.Plus

- Ελαστικότητα (Elasticity): Δείχνει την επαναφορά της αρχικής κατάστασης του τρόφιμου που έχει δεχτεί συμπίεση. Υπολογίζεται από τον λόγο των μέγιστων δυνάμεων που εμφανίζεται στο δεύτερο στάδιο μάσησης προς την αντίστοιχη που ασκείται στο πρώτο στάδιο.
- Σκληρότητα (Hardness): Η δύναμη που απαιτείται για την συμπίεση ενός τρόφιμου μεταξύ των γομφίων του στόματος. Υπολογίζεται ως η μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται στον πρώτο κύκλο μάσησης.
- Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η δύναμη που συγκρατεί το τρόφιμο και τους δεσμούς που βρίσκονται στο εσωτερικό του.
- Προσκολλησιμότητα (Adhesiveness): Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μια επιφάνεια. Η προσκολλησιμότητα υπολογίζεται από το λόγο των θετικών εμβαδόν του δεύτερου κύκλου μάσησης προς το αντίστοιχο του πρώτου κύκλου μάσησης.



Σχήμα 7.1. Τυπικό διάγραμμα TPA (Νικόλαος Ζόγκζας, 2019)

7.3.5 Μέθοδος προσδιορισμού άλατος

Για τον προσδιορισμό του άλατος (NaCl) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Mohr.

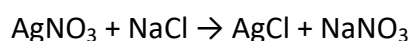
Αντιδραστήρια – Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν:

1. Νιτρικός άργυρος AgNO_3 0.1N
2. Χρωμικό κάλιο K_2CrO_4 (δείκτης)
3. Υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) 0.1M
4. Ποτήρια ζέσεως
5. Ογκομετρικές φιάλες των 250 ml
6. Διηθητικά χωνιά και διηθητικό χαρτί
7. Κωνικές φιάλες των 250 ml
8. Σιφώνια των 2 ml
9. Προχοΐδα

Πειραματική Μέθοδος

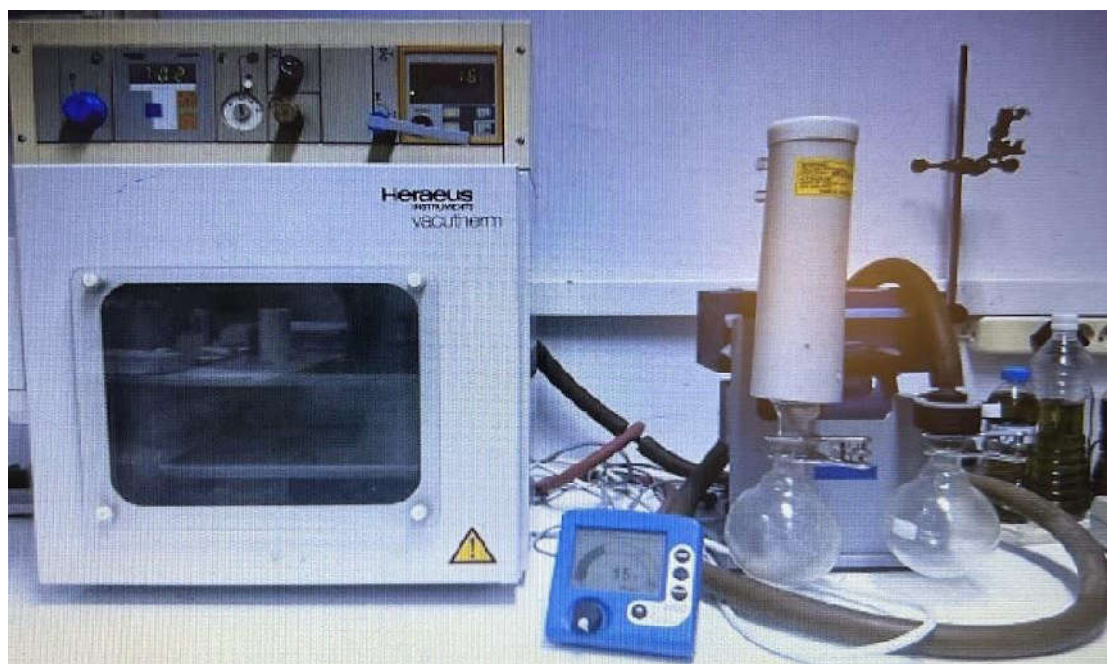
Ζυγίζονται 2g ριζών μανιταριών, τα οποία κόβονται σε πολύ μικρά τεμάχια και μεταφέρονται σε ποτήρι ζέσεως, για να διηθηθούν σε ογκομετρική φιάλη των 250ml. Εκεί, η φιάλη συμπληρώνεται με απιονισμένο νερό έως τη χαραγή και μόλις τελειώσει το στάδιο αυτό, με τη βοήθεια σιφωνίου, 50ml διαλύματος μεταφέρονται σε κωνική φιάλη 250ml. Παράλληλα, προστίθεται δείκτης διαλύματος K_2CrO_4 (με χρήση σιφωνίων 2ml) και έπειτα γίνεται η τιτλοδότηση με το διάλυμα νιτρικού άργυρου AgNO_3 0,1 N. Η αντίδραση περατώνεται με την εμφάνιση μόνιμου

κόκκινου χρώματος. Στη συνέχεια ακολουθούν οι εξής υπολογισμοί από την αντίδραση:



7.3.6 Προσδιορισμός Ολικών Στερεών

Τα δείγματα του τροφίμου θερμαίνονται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία 70 °C σε φούρνο κενού τύπου Heraeus Instruments VT 602 (εικόνα 5.5). Η μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας υπολογίζεται από την απώλεια βάρους πριν και μετά την εξάτμιση του τροφίμου. Οι ιδιότητες του νερού και κυρίως το χαμηλότερο σημείο ζέσεως που έχει από τα υπόλοιπα συστατικά που χαρακτηρίζουν το προϊόν, αποτελούν την αρχή της συγκεκριμένης μεθόδου. Οι υψηλές θερμοκρασίες και ο χρόνος εξάτμισης που χρειάζεται για να εξατμιστεί το νερό, προκαλούν μεταβολές στο τρόφιμο, όπως απομάκρυνση των πτητικών ουσιών του.



Εικόνα 7.7. Φούρνος κενό, Heraeus Instruments VT 602

Πειραματική πορεία της μεθόδου

Ποσότητα ριζών μανιταριών ($2\pm 0,1\text{g}$) ζυγίζεται σε προζυγισμένο φιαλίδιο, σε αναλυτικό ζυγό (με 3 δεκαδικά ψηφία). Ακολουθεί η τοποθέτηση των φιαλιδίων στο φούρνο κενού (εικόνα 5.5), όπου η παραμονή τους εξαρτάται μέχρι την απόκτηση σταθερού βάρους ($24\pm 2\text{h}$). Στη συνέχεια, μόλις ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη διαδικασία, τα δείγματα μεταφέρονται μέσα στον ξηραντήρα για να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και τέλος, πραγματοποιείται εκ νέου ζύγιση, στην οποία παρατηρείται μείωση στο βάρος των φιαλιδίων, λόγω της απώλειας νερού.

Από την υγρασία που προκύπτει και το βάρος του δείγματος πριν και μετά την ωσμωτική αφυδάτωση, προσδιορίζονται οι βασικοί παράμετροι της απώλειας ύδατος (WL) και της πρόσληψης στερεών (SG), βάσει των σχέσεων:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} (\text{g νερού/g αρχικής ξηρής ουσίας})$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} (\text{g ολικών στερεών/g αρχικής ξηρής ουσίας})$$

Όπου, M_0 η αρχική μάζα φρέσκου μανιταριού, m_0 η ξηρή μάζα του φρέσκου μανιταριού, M η μάζα του μανιταριού μετά από χρόνο t ωσμωτικής αφυδάτωσης και m η ξηρή μάζα του μανιταριού μετά από χρόνο t ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Εικόνα 7.8. Δείγματα παραπροϊόντων μανιταριών *Pleurotus ostreatus* μετά την ξήρανση τους υπό κενό και πριν την ζύγισή τους σε αναλυτικό ζυγό.

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

Η ωσμωτική αφυδάτωση των ριζών μανιταριών επηρεάστηκε από κάποιους παράγοντες, οι οποίοι μετέβαλαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων και προκάλεσαν επίδραση στα φαινόμενα ανταλλαγής μαζών. Η μέθοδος με την οποία πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της επίδρασης των παραγόντων είναι η μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM), η οποία εφαρμόζεται συχνά για την εκτίμηση της μαθηματικής σχέσης της απόκρισης και των παραμέτρων που επηρεάζουν την τιμή της απόκρισης. Οι παράμετροι της επεξεργασίας που μελετήθηκαν σε αυτό το πείραμα είναι η συγκέντρωση της μαλτοδεξτρίνης (X1), της

ολιγοφρουκτόζης (X2), η θερμοκρασία διεργασίας (X3) και η χρονική διάρκεια της ώσμωσης(X4), οι οποίες θεωρήθηκαν οι πιο σημαντικές παράμετροι της διαδικασίας. Τα τέσσερα επίπεδα τιμών που μελετήθηκαν οδήγησαν στην επιλογή του κατάλληλου πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken, ο οποίος απαιτεί τη διεξαγωγή 27 σειρών πειραμάτων.

Πίνακας 7.1. Κωδικοποιημένες τιμές των παραμέτρων της διεργασίας και ο πειραματικός σχεδιασμός, σύμφωνα με το πρότυπο του Box–Behnken design.

Παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης	Συγκέντρωση Μαλτοδεξτρίνης (%)	Συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης (%)	θερμοκρασία	OD ΧΡΟΝΟΣ (min)	X1	X2	X3	X4
Low	10	20	30	40	-1	-1	-1	-1
Center	20	30	40	60	0	0	0	0
High	30	40	50	80	+1	+1	+1	+1
Standard	X1	X2	X3	X4				
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

Ο πειραματικός σχεδιασμός Box–Behnken, η κατασκευή των πολυωνύμων β' τάξης και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διεργασίας με τη βοήθεια των κριτηρίων αποδοχής έγινε με τη βοήθεια του υπολογιστικού εργαλείου Minitab® (DOE-Response Surface application/ Desirability Functions). Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης (τιμές παραμέτρων της διεργασίας) επαληθεύτηκαν με ανεξάρτητα πειράματα ώσμωσης σε δείγματα παραπροϊόντων μανιταριού.

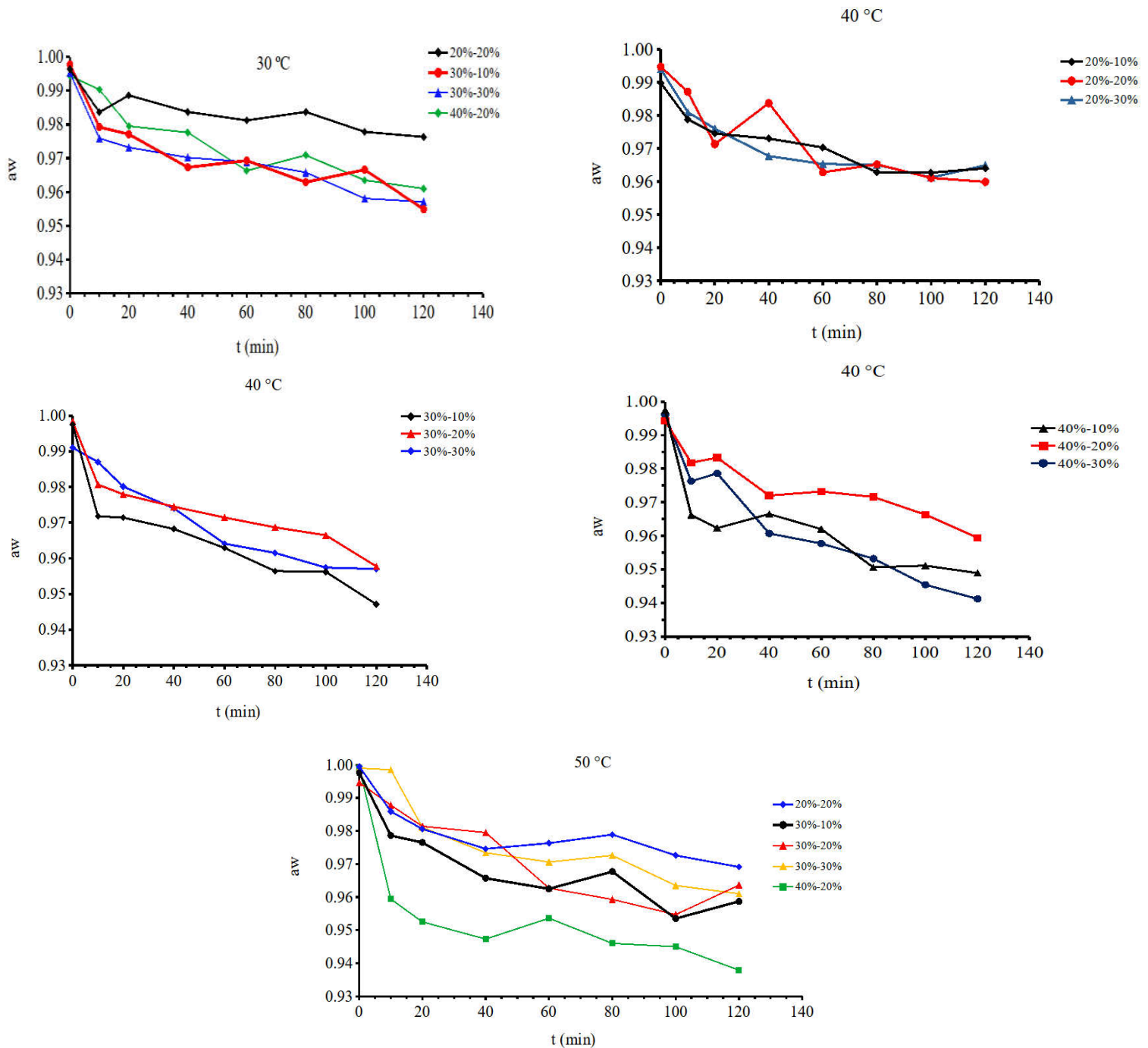
Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα και Συζήτηση

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

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε σειρά πειραμάτων με σκοπό την κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε παραπροϊόντα μανιταριών του είδους *Pleurotus ostreatus*. Αναλυτικότερα, προσδιορίσαμε τις τιμές της ενεργότητας ύδατος (a_w), την απώλεια ύδατος (WL) και πρόσληψη διαλυτών στερεών (SG), την μεταβολή των διαλυτών στερεών ($^{\circ}$ Brix), αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του χρώματος και της υφής. Οι κύριοι παράγοντες σχεδιασμού της ωσμωτικής αφυδάτωσης ήταν τα δύο βασικότερα ωσμωτικά μέσα, υδατάνθρακες (ολιγοφρουκτόζη και μαλτοδεξτρίνη), η θερμοκρασία και ο χρόνος, οι οποίοι επέδρασαν στο τελικό προϊόν. Σκοπός της έρευνας μας ήταν να βρεθούν, μέσα από μια σειρά πειραμάτων και με τη βοήθεια της μεθοδολογίας RSM, οι βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας των παραπροϊόντων προς παραγωγή ενισχυτικού γεύσης, που θα εμφάνιζαν τα πιο επιθυμητά αποτελέσματα (προϊόν με χαμηλή a_w , και υψηλή πρόσληψη διαλυτών στερεών που θα ακολουθήσει την μέθοδο freeze drying). Κατά την πειραματική διαδικασία μελετήσαμε διαφορετικές συγκεντρώσεις ολιγοφρουκτόζης (20%, 30%, 40% κ.β.) και μαλτοδεξτρίνης (10%, 20%, 30% κ.β.) σε θερμοκρασίες 30-40-50 °C για συνολική διάρκεια ώσμωσης 120 λεπτών.

Στις επόμενες υποενότητες θα παρατεθούν τα αποτελέσματα της μελέτης μας για κάθε τιμή που ερευνήθηκε, σε μορφή γραφημάτων. Η ανάλυση θα γίνει με σταθερές θερμοκρασίες 30 °C – 40 °C – 50°C για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμάτων ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης.

8.1.1 Ενεργότητα ύδατος στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



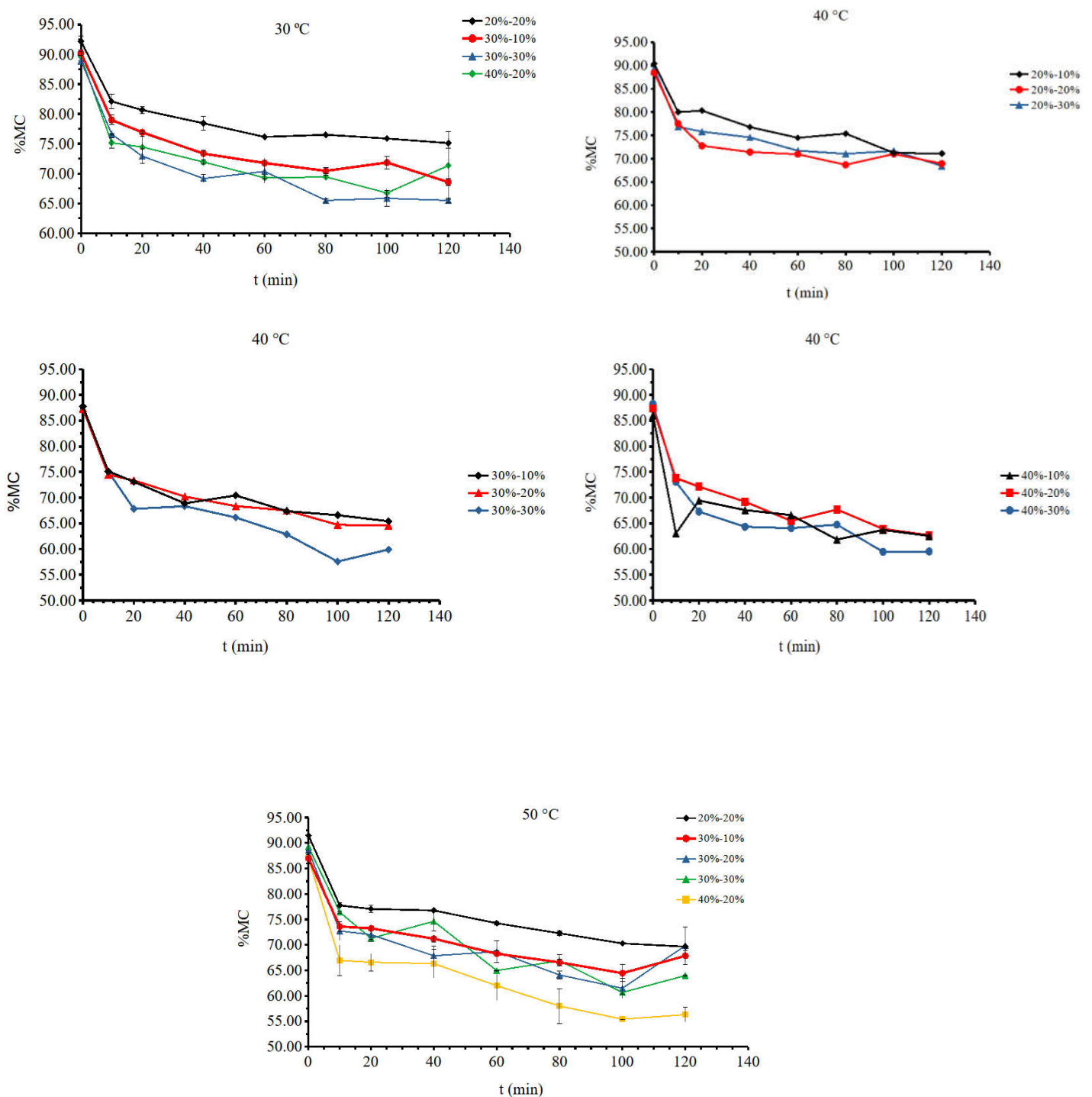
Γράφημα 8.1. Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Στα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρούμε μείωση της ενεργότητας ύδατος με την πάροδο του χρόνου, σε όλες τις συνθήκες που υποβάλλαμε τα δείγματα των παραπροϊόντων. Μέχρι τα πρώτα 20 λεπτά, εκτός από τις συγκεντρώσεις 20%-20% στους 30°C, σημειώνεται ραγδαία μείωση της ενεργότητας νερού ενώ στην συνέχεια υπάρχει μείωση με ηπιότερο ρυθμό. Η σταθεροποίηση των τιμών σημειώνεται στα 80 λεπτά και μετά, καθώς επέρχεται η ισορροπία των συγκεντρώσεων των ωσμωτικών μέσων στο εξωτερικό του τροφίμου. Επομένως, παύει να υπάρχει κινητήρια δύναμη και η ώσμωση επιβραδύνεται πολύ.

Τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στις πιο έντονες συνθήκες (40%-20% στους 50°C και 40%-30% στους 40°C), εμφανίζουν και εντονότερο ρυθμό μείωσης της ενεργότητας ύδατος. Αντίθετα, τα παραπροϊόντα που εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα μικρότερων συγκεντρώσεων και χαμηλότερης θερμοκρασίας παρουσίασαν πιο αργό ρυθμό μείωσης.

Με αυτό τον τρόπο, συμπεραίνουμε ότι σε σταθερή θερμοκρασία οι συγκεντρώσεις των ωσμωτικών μέσων επηρεάζουν σημαντικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και μείωσης ενεργότητας ύδατος. Αυτό επιβεβαιώνεται από 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 .

8.1.2 Ποσοστό υγρασίας στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



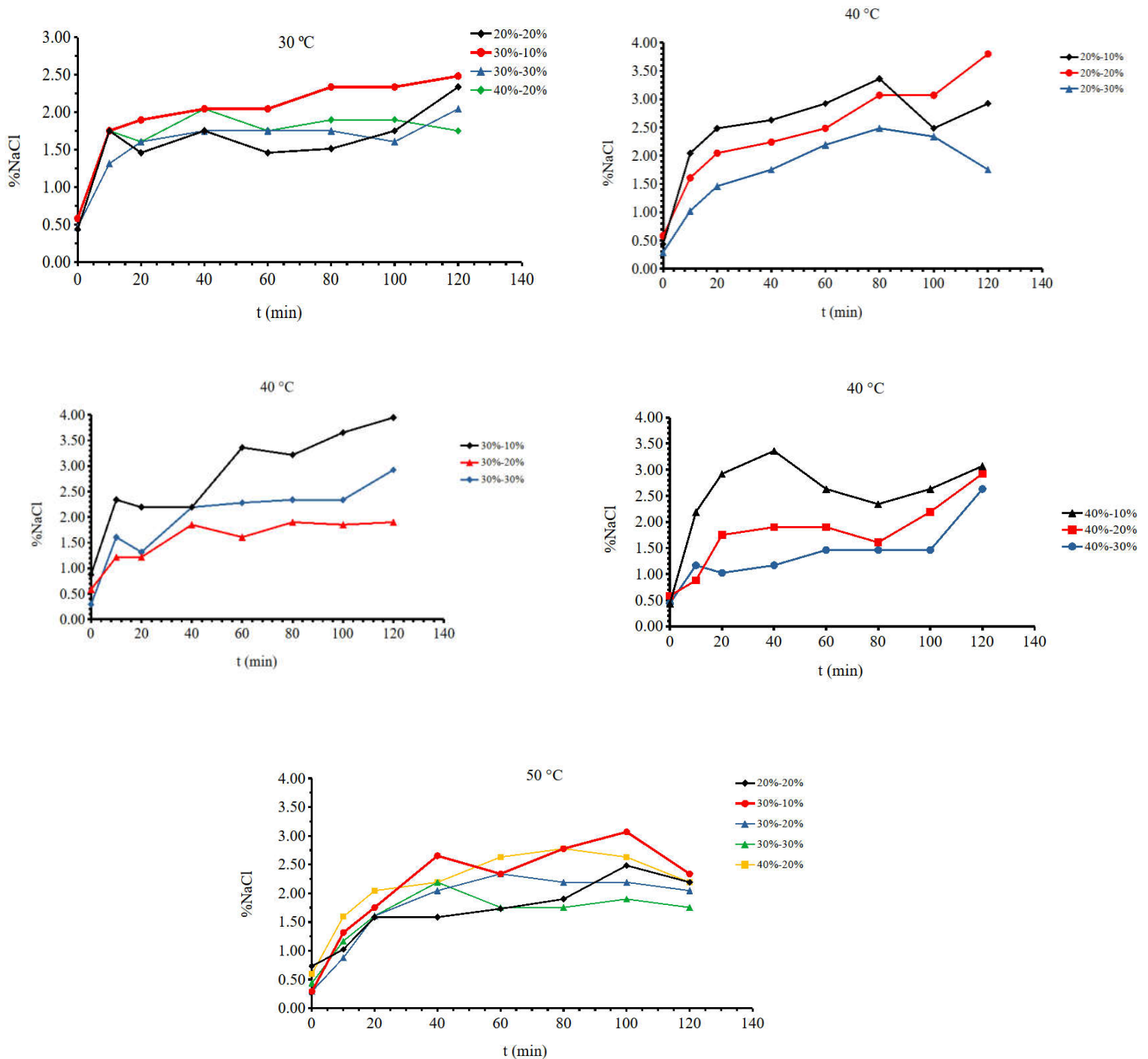
Γράφημα 8.2. Μεταβολή του ποσοστού υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Στα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρούμε μείωση του ποσοστού υγρασίας στα δείγματα με την πάροδο του χρόνου, σε όλες τις συνθήκες που υποβάλλαμε τα δείγματα των παραπροϊόντων. Μέχρι τα πρώτα 10 λεπτά σημειώνεται ραγδαία μείωση του ποσοστού υγρασίας, από τα 10 έως τα 80 λεπτά υπάρχει σταθερή μείωση, ενώ μετά τα 80 λεπτά και μέχρι το τέλος της διεργασίας επέρχεται σταθεροποίηση των τιμών. Το γεγονός αυτό οφείλεται, στην εξισορρόπηση της συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων εκατέρωθεν της μεμβράνης. Επομένως, παύει να υπάρχει κινητήρια δύναμη και η ώσμωση επιβραδύνεται πολύ.

Τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στα ωσμωτικά διαλύματα που είχαν ως παράγοντα επεξεργασίας τους 50°C, εμφάνισαν την μεγαλύτερη μείωση στο ποσοστό υγρασίας τους, ενώ αυτά που επεξεργάστηκαν σε θερμοκρασίες 30°C και 40°C, είχαν ηπιότερο ρυθμό μείωσης υγρασίας.

Τα παραπάνω αποτελέσματα επιβεβαιώνονται από την ίδια πηγή που αναφέραμε και στην περίπτωση των διαγραμμάτων της ενεργότητας ύδατος.

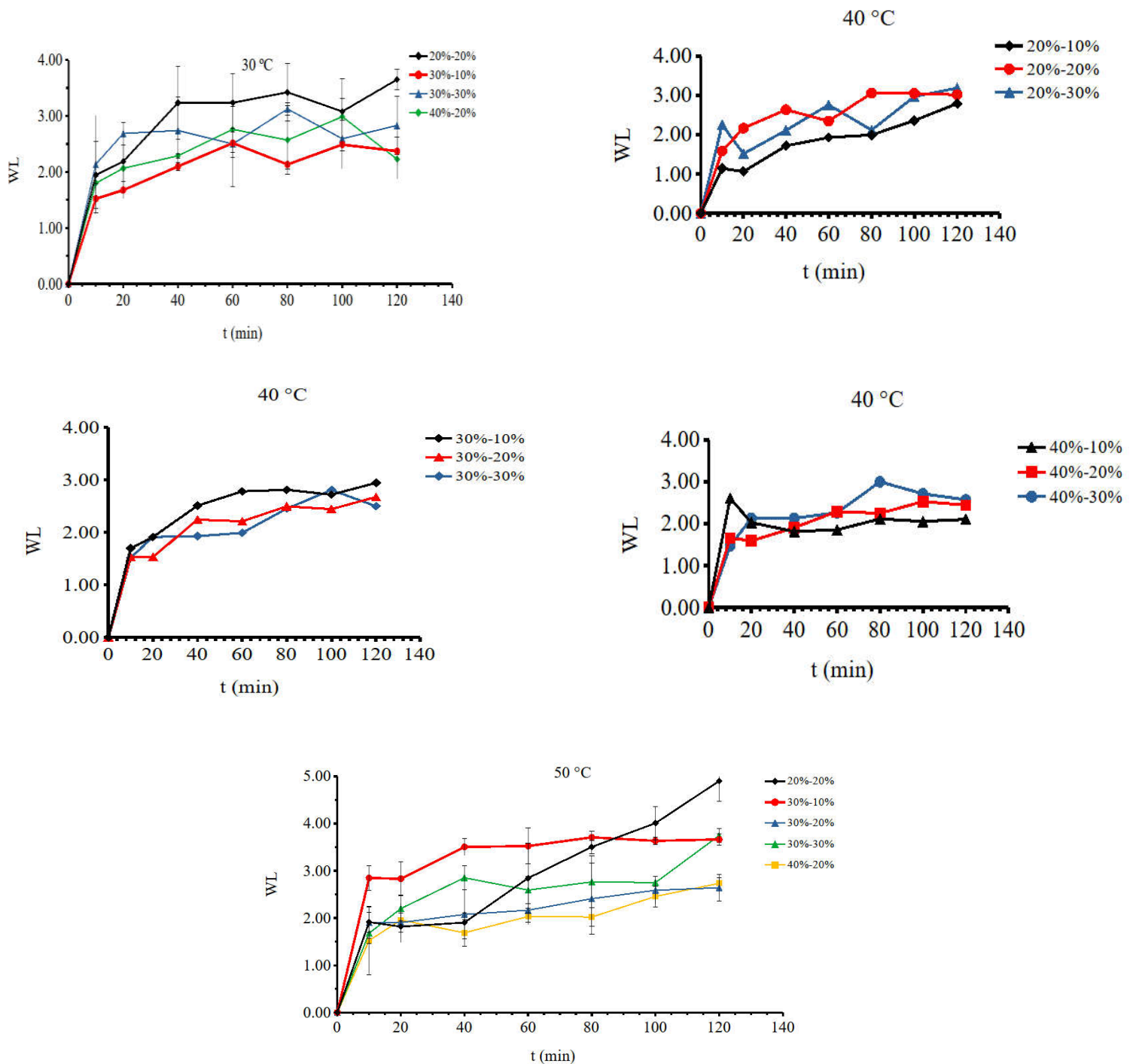
8.1.3. Συγκέντρωση NaCl στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



Γράφημα 8.3. 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.

Στα παραπάνω διαγράμματα, διακρίνεται ότι η περιεκτικότητα των μανιταριών σε αλάτι σημειώνει μια ανοδική πορεία με την πάροδο του χρόνου. Μετά τα 10 λεπτά του πειράματος, παρατηρείται και στις τρεις θερμοκρασίες ραγδαία αύξηση, ενώ στη συνέχεια η περιεκτικότητα σε αλάτι τείνει να αποκτήσει μια σταθερή τιμή. Η αύξηση της συγκέντρωσης μαλτοδεξτρίνης και ολιγοφρουκτόζης δεν επηρεάζει σημαντικά την απορρόφηση αλατιού των δειγμάτων, καθώς οι τιμές που καταγράφηκαν δεν εμφανίζουν σημαντική διαφορά. Ακόμη, παρατηρείται ότι τα δείγματα που ωσμώθηκαν στους 30°C εμφάνισαν μια ελαφρώς μικρότερη πρόσληψη αλατιού σε σύγκριση με εκείνα που ωσμώθηκαν στους 40°C και 50 °C.

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



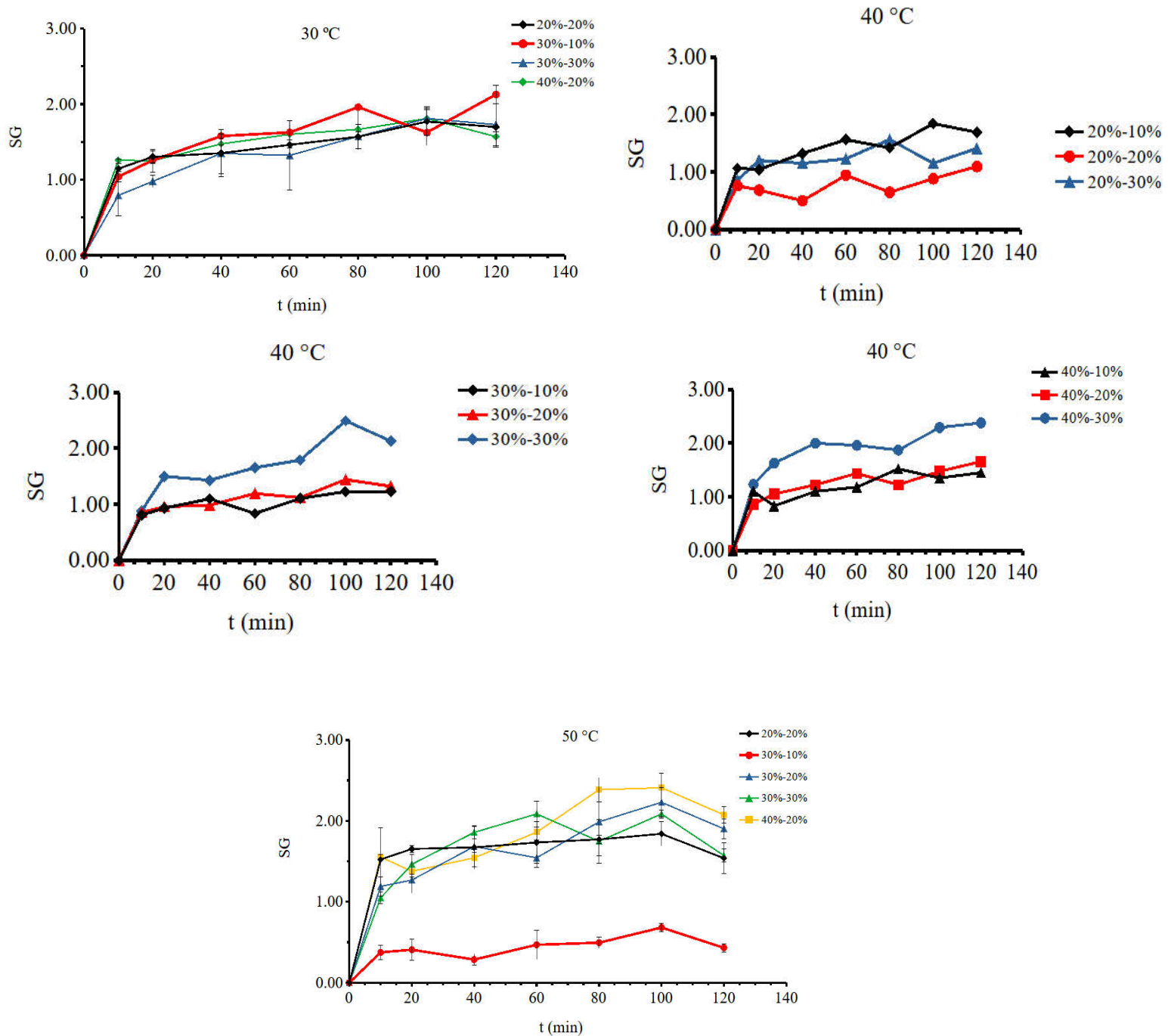
Γράφημα 8.4. Μεταβολή της απώλειας νερού (WL) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Στα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν στην απώλεια νερού στα δείγματα παραπροϊόντων, διακρίνουμε όπως και στις προηγούμενες μετρήσεις, την ραγδαία αύξηση των τιμών μετά τα πρώτα 10 λεπτά. Μετά τα πρώτα 10 λεπτά, καταγράφεται μικρότερος ρυθμός απώλειας νερού μέχρι το χρονικό διάστημα των 80 λεπτών, που στα περισσότερα πειράματα αποκαθίσταται σταθεροποίηση. Στα πειράματα που εκτελέστηκαν στους 30°C υπάρχουν πολλές αυξομειώσεις.

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*).

Στα πειράματα που διενεργήθηκαν στους 40°C, διακρίνουμε ότι υπάρχει η μικρότερη απώλεια νερού σε σχέση με τις άλλες δύο θερμοκρασίες. Αυτό οφείλεται στο υψηλό ποσοστό συγκεντρώσεων των ωσμωτικών μέσων, καθώς από έρευνες που έχουν διεξαχθεί διαπιστώθηκε ότι η χρήση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, όπως στην παρούσα πειραματική διαδικασία, παρεμποδίζει την επαφή μεταξύ τροφίμου και ωσμωτικού διαλύματος επιφέροντας μείωση του ρυθμού μεταφοράς μάζας (*Mavroudis et al., 1998*).

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



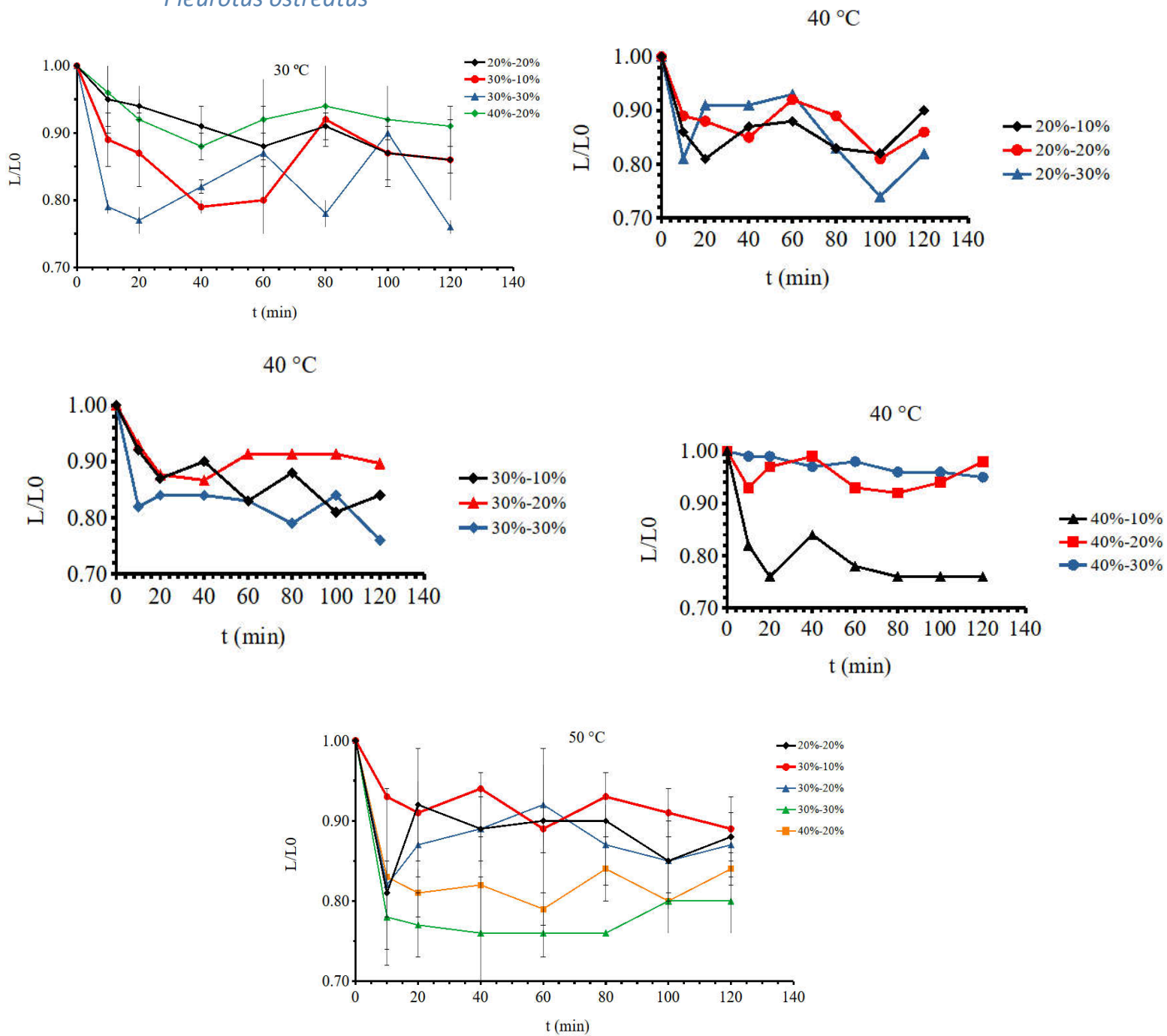
Γράφημα 8.5. Μεταβολή της πρόσληψης στερεών (SG) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Και στην περίπτωση της πρόσληψης στερεών (SG) η απότομη άνοδος παρατηρείται στα πρώτα 10 λεπτά. Έπειτα, ακολουθεί πιο αργή αύξηση της πρόσληψης στερεών, ως την σταθεροποίησή τους μετά το πέρας των 80 λεπτών. Αυτό συμβαίνει, γιατί εξισορροπείται η συγκέντρωση των ωσμωτικών μέσων εκατέρωθεν της μεμβράνης. Διακρίνουμε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων, επιφέρει αύξηση της πρόσληψης στερεών λόγω αυξημένης ωσμωτικής πίεσης.

Φαίνεται ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσληψη στερεών, είναι η συγκέντρωση ακολουθούμενη από τον χρόνο διεργασίας, το οποίο συμφωνεί με την μελέτη των *Mehta et al., 2013*.

Θεωρητικά η αύξηση της θερμοκρασίας που διενεργείται το πείραμα θα έπρεπε να αποδίδει μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, γεγονός που δεν επιβεβαιώνεται στην συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω των συμπυκνωμένων διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται (*Mavroudis et al., 1998 ; Phisut, 2012*).

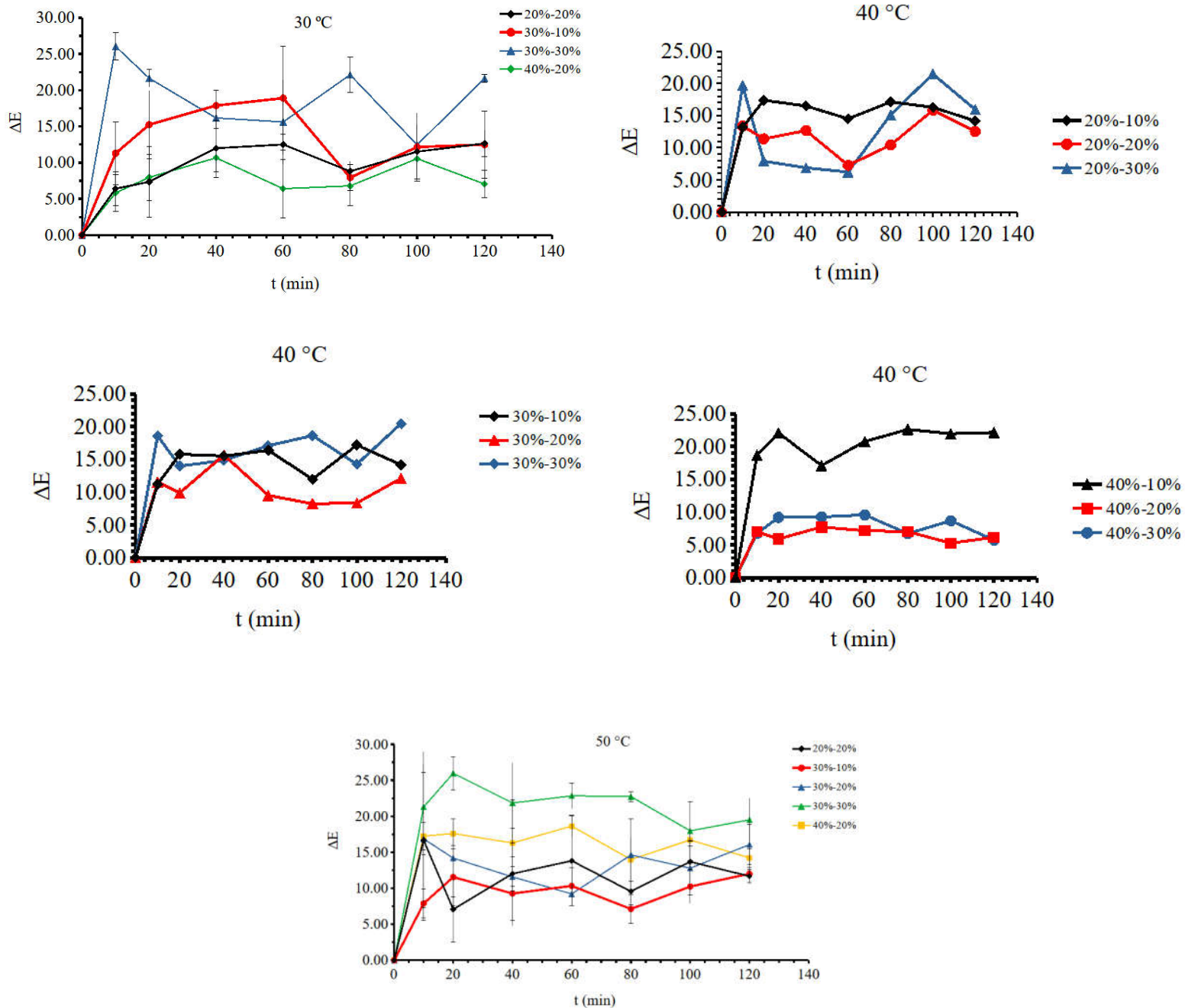
8.1.6 Μεταβολή της φωτεινότητας (L/L0) στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



Γράφημα 8.6. 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.

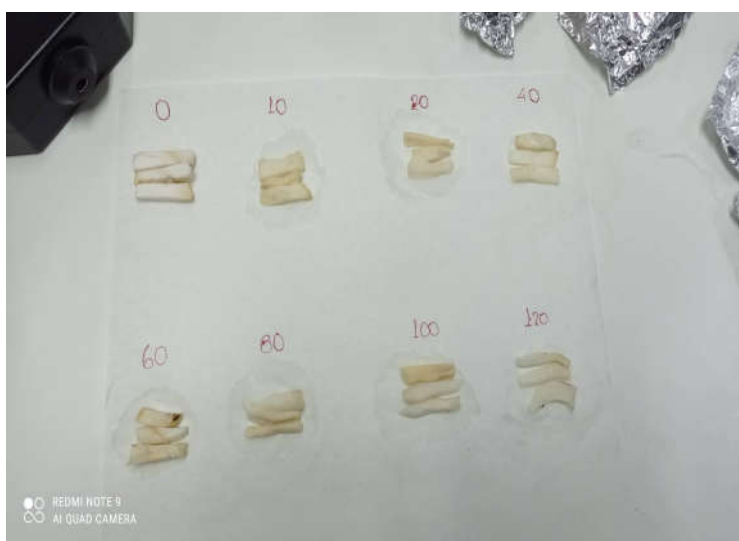
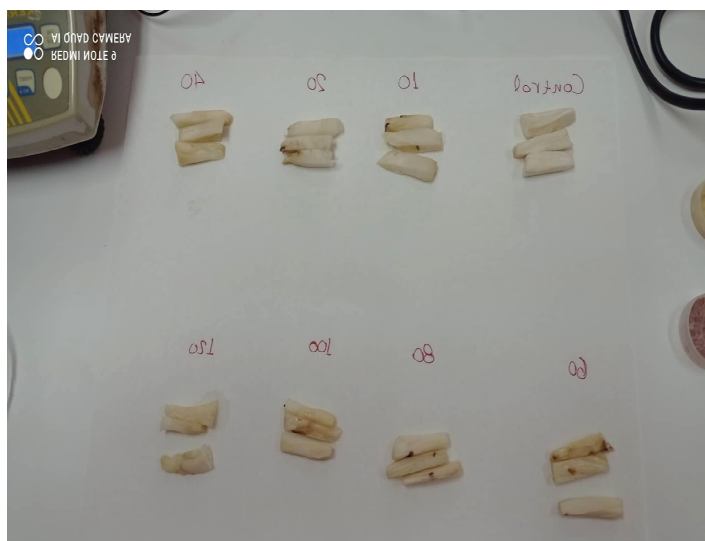
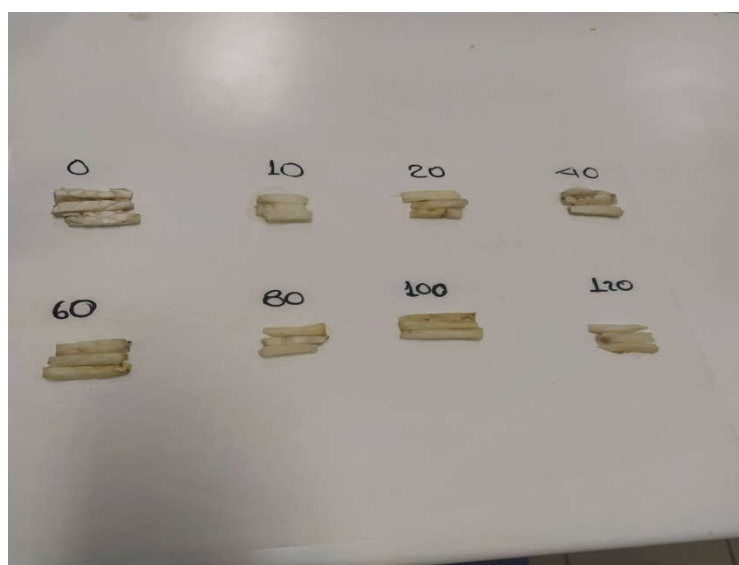
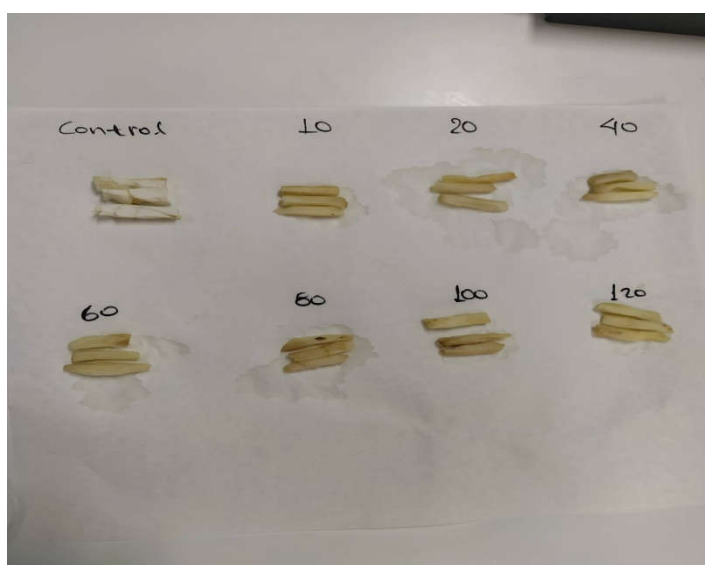
Στα παραπάνω διαγράμματα, παρουσιάζεται η μεταβολή της φωτεινότητας των επεξεργασμένων δειγμάτων παραπροϊόντων μανιταριών, συγκριτικά με την αρχική φωτεινότητα των νωπών δειγμάτων (L/L0). Παρατηρούμε ότι στα περισσότερα δείγματα η τιμή της φωτεινότητας μειώνεται, αλλά προκύπτουν και αρκετές αυξομοιώσεις. Αυτές οφείλονται στην σημαντική ανομοιομορφία που παρουσίαζε η πρώτη ύλη, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να δοθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την επίδραση των εκάστοτε συνθηκών στην φωτεινότητα.

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



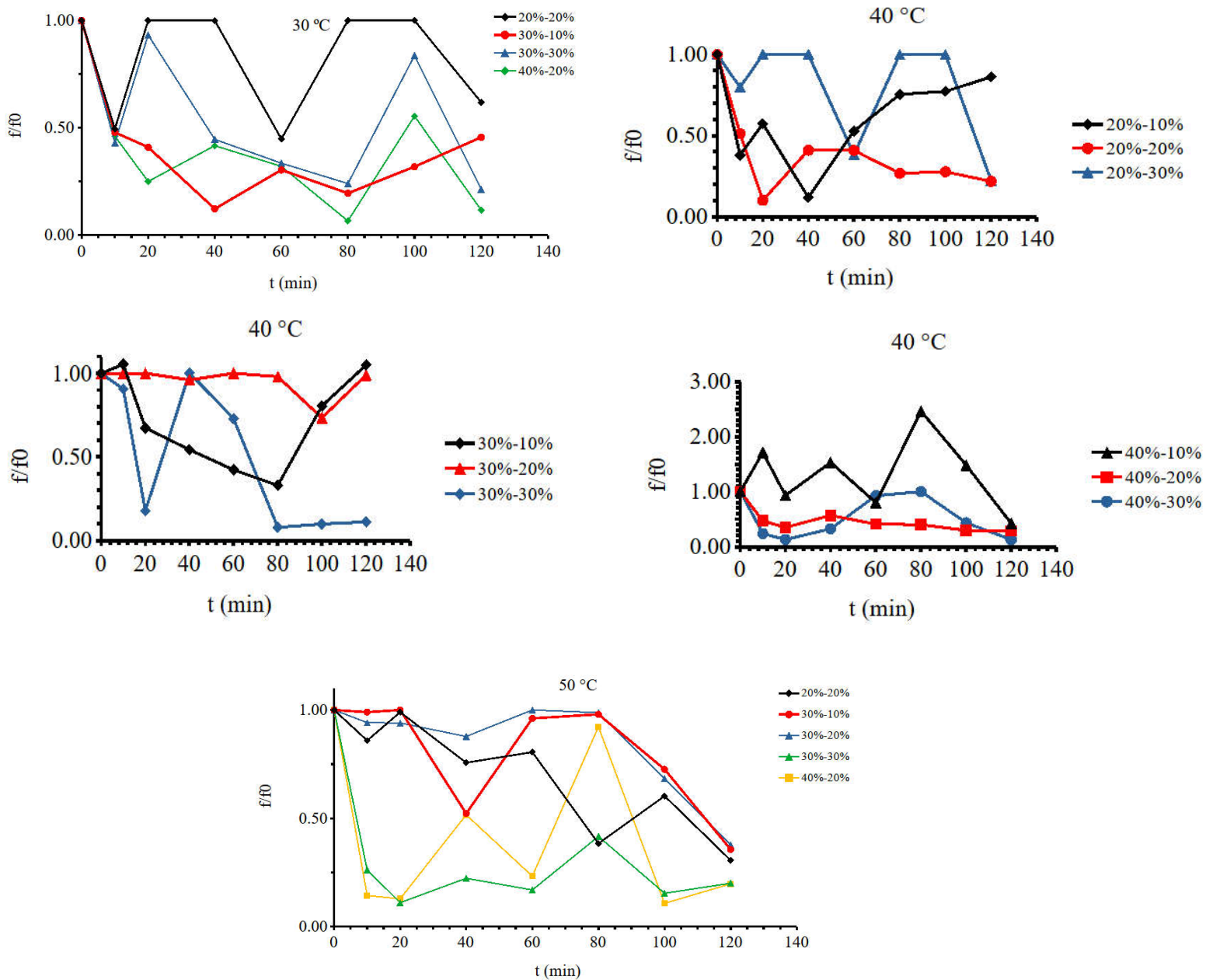
Γράφημα 8.7. Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζεται η μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ στα δείγματα παραπροϊόντων μανιταριών. Παρατηρούμε ότι στα περισσότερα δείγματα η τιμή του συνολικού χρώματος αυξάνεται, αλλά προκύπτουν και αρκετές αυξομοιώσεις. Αυτές οφείλονται στην σημαντική ανομοιομορφία που παρουσίαζε η πρώτη ύλη, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να δοθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για την επίδραση των εκάστοτε συνθηκών στο συνολικό χρώμα.



Εικόνα 8.1. Δείγματα παραπροϊόντων μανιταριών *Pleurotus ostreatus* μετά την διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης και πριν την μέτρηση του χρώματός τους.

8.1.8 Μεταβολή της υφής f/f_0 στα δείγματα παραπροϊόντων του *Pleurotus ostreatus*



Γράφημα 8.8. Μεταβολή της υφής f/f_0 κατά την ωσμωτική αφυδάτωση παραπροϊόντων *Pleurotus ostreatus* σε διάλυμα ολιγοφρουκτόζης – μαλτοδεξτρίνης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30 °C – 40 °C – 50 °C.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την μεταβολή της σκληρότητας εμφανίζουν προφανή δυσκολία εξαγωγής κάποιου ασφαλούς συμπεράσματος, λόγω των σημαντικών αυξομειώσεων. Οι αυξομειώσεις αυτές, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις που αφορούσαν το χρώμα, οφείλονται στην ανομοιομορφία της πρώτης ύλης και στην δυσκολία κοπής ομοιόμορφων και κατάλληλων προς επεξεργασία δειγμάτων.

8.2 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, στην οποία αναφερθήκαμε αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν 18 σειρές πειραμάτων 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 συντελεστές του πίνακα 8.1 και στην συνέχεια οι πολυωνυμικές εξισώσεις, που μας βοηθούν να προβλέψουμε τις διάφορες παραμέτρους που έχουμε ορίσει.

Πίνακας 8.1. 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

Οι δείκτες των συντελεστών αφορούν σε 1: Θερμοκρασία, 2: Συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης (%), 3: Συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης (%), 4: Χρόνος ώσμωσης (min)

Με βάση τις εξισώσεις που προέκυψαν, άλλα και τα κριτήρια που επιλέξαμε ώστε να βελτιωθεί η διεργασία (ελάχιστη a_w , μέγιστη πρόσληψη στερεών συστατικών και το ποσοστό αλατιού να είναι μικρότερο από 2,5%), προβλέφθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες εκτέλεσης του πειράματος επαλήθευσης. Οι παράμετροι (θερμοκρασία, συγκέντρωση σακχάρων, χρόνος) ορίστηκαν ως εξής: **θερμοκρασία στους 50 °C, συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης 40%, συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 30% και διάρκεια ωσμωτικής αφυδάτωσης 67 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 8.2 των δύο που φαίνεται παρακάτω, ενώ το αντίστοιχο γράφημα βελτιστοποίησης (όπως προέκυψε από το Minitab/Desirability functions) απεικονίζεται στο γράφημα 8.1.

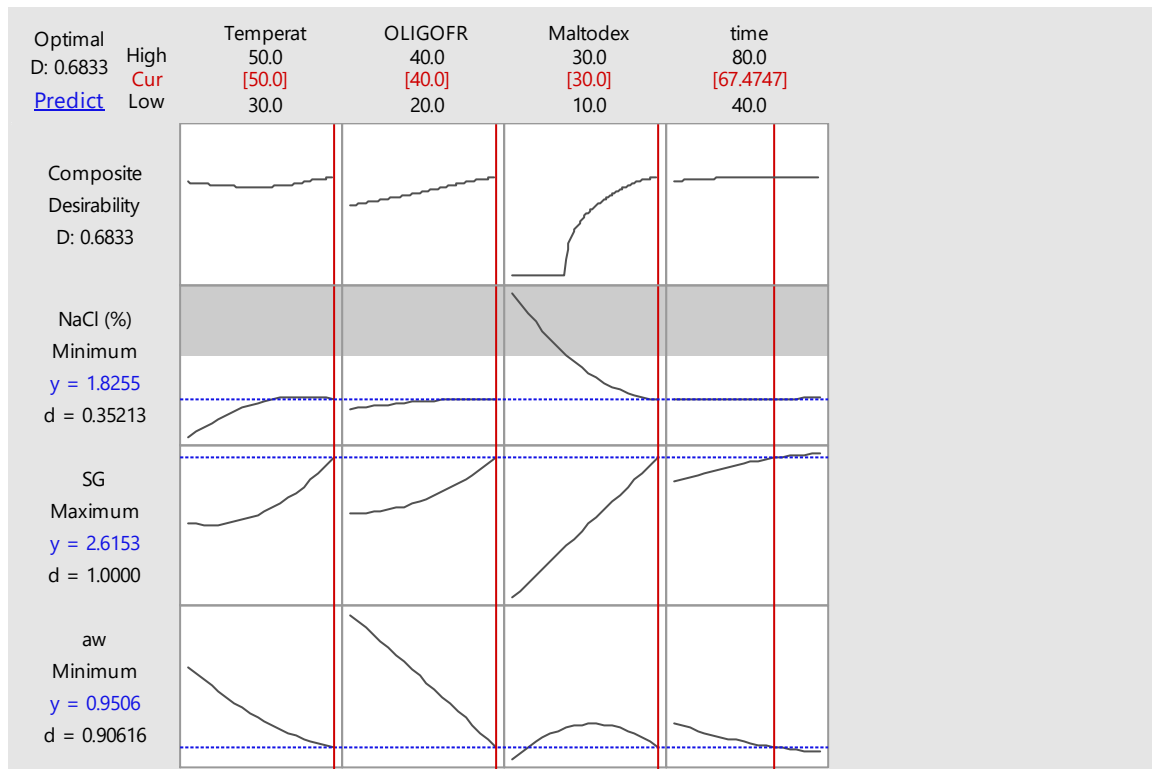
Πίνακας 8.2. Σύγκριση πειραματικών τιμών του πειράματος επαλήθευσης σε συνθήκες που προέκυψαν από τη μεθοδολογία RSM, με τις θεωρητικές – αναμενόμενες τιμές από τις εξισώσεις.

	Αναμενόμενες τιμές	Πειραματικές τιμές	Σφάλμα (%)
a_w	0.9478	0.9612	1.41
WL	2.35	2.61	11.06
SG	2.6	1.70	-34.62
ΔE	21.68	16.71	-22.92
L/Lo	0.79	0.80	1.27
NaCl	1.787	1.79	0.17
Brix	74.98	72.75	-2.97

humidity	63.72568	61.69	-3.19
f/fo	0.256156	0.23	-10.21

Παρατηρούμε ότι το (%) σφάλματος των πειραματικών τιμών σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές δεν εμφανίζει κάποια ανησυχητική απόκλιση, πέρα από τους παράγοντες SG και ΔΕ. Τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι επιθυμητά και ίσως να οφείλονται (στην περίπτωση της SG) στον συνδυασμό των ωσμωτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία συνιστούν ένα πολύ συμπυκνωμένο διάλυμα όπου τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας μειώνονται, αλλά και στην επιτυχή εφαρμογή της πολυωνυμικής εξίσωσης στα πειραματικά δεδομένα (όχι ιδιαίτερα ικανοποιητική στην περίπτωση των δύο αυτών δεικτών, όπως φαίνεται και από τον πίνακα των συντελεστών). Στην απόκλιση του ΔΕ, ο κύριος παράγοντας που ευθύνεται για την μεγάλη διαφορά μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών 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.

Γράφημα 8.1. Διάγραμμα βελτιστοποίησης και Desirability functions



Στο παραπάνω γράφημα διακρίνεται το Optimization Plot (Minitab), όπου φαίνονται οι βέλτιστες τιμές των 3 ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς η τιμή επιθυμητότητας. Οι συνθήκες που επιλέχθηκαν για το ωσμωτικό διάλυμα, όπως έχουμε προαναφέρει, ήταν: συγκέντρωση ολιγοφρουκτόζης 40%, συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 30%, θερμοκρασία 50°C για 67 λεπτά διεργασίας. Επιλέχθηκαν με γνώμονα τα κριτήρια που είχαμε θέσει (ελάχιστη a_w , μέγιστη πρόσληψη στερεών και %NaCl < 2.5%. Η τιμή επιθυμητότητας υπολογίστηκε ως 0.6833.

Κεφάλαιο 9: Συμπεράσματα και Υποδείξεις για Περαιτέρω έρευνα

9.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε μέσω πειράματος η επίδραση της μεθόδου της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας για την αξιοποίηση των παραπροϊόντων μανιταριών (*Pleurotus Ostreatus*). Κατά την ώσμωση, πραγματοποιήθηκε ένας συνδυασμός παραγόντων, που όπως φάνηκε πειραματικά, επηρέασαν τόσο τη διεργασία όσο και τις τελικές τιμές της. Οι παράγοντες αυτοί ήταν ο χρόνος διεργασίας, η θερμοκρασία διεργασίας του πειράματος και οι συγκεντρώσεις των ωσμωτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν (ολιγοφρουκτόζη και μαλτοδεξτρίνη).

Η ενεργότητα ύδατος παρουσίασε με την πάροδο του χρόνου σημαντική μείωση. Αναλυτικότερα, στα πρώτα 20 λεπτά ο ρυθμός μείωσης είναι εντονότερος και σταδιακά επιβραδύνεται έως τα 80 λεπτά, όπου μετά παρατηρείται ισορροπία στις τελικές τιμές. Η θερμοκρασία διεργασίας και οι συγκεντρώσεις των ωσμωτικών μέσων επηρέασαν την μέτρηση αυτή, καθώς τα δείγματα που επεξεργάστηκαν στις πιο ακραίες συνθήκες (50°C με 40%-20% ολιγοφρουκτόζη- μαλτοδεξτρίνη και 40°C με 40%-30% αντίστοιχα), εμφάνισαν πιο ταχύ ρυθμό μείωσης a_w , σε σχέση με τις πιο ήπιες συνθήκες.

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών) παρουσίασαν σημαντική αύξηση στα πρώτα 10 λεπτά της διεργασίας, καθώς τα υπερτονικά διαλύματα ασκούσαν μεγάλη ωσμωτική πίεση στα δείγματα. Μέχρι τη χρονική στιγμή των 80 λεπτών, παρατηρήθηκε αύξηση με ηπιότερο ρυθμό, και μετά επήλθε ισορροπία στις τιμές. Η αύξηση της θερμοκρασίας έδειξε ότι επηρεάζει σημαντικά την απώλεια νερού, σε αντίθεση με την αύξηση της συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων. Αντίθετα, η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης των ωσμωτικών μέσων του ωσμωτικού διαλύματος. Σημαντική λεπτομέρεια αποτελεί το γεγονός ότι στις πιο ακραίες συνθήκες του πειράματος,

δεν παρατηρήθηκαν υψηλές μεταβολές στις μετρήσεις των δύο αυτών παραμέτρων. Αυτό οφείλεται κυρίως στην χρήση του υψηλά συμπυκνωμένου διαλύματος του πειράματος.

Όσον αφορά τις μεταβολές του χρώματος και της υφής των δειγμάτων, τα διαγράμματα της διεργασίας παρουσίασαν σημαντικές αυξομειώσεις στις τιμές τους. Επομένως, η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για την επίδραση των κύριων παραμέτρων στις μεταβολές των δύο συγκεκριμένων χαρακτηριστικών θεωρήθηκε αρκετά δύσκολη. Η παραπάνω εικασία στηρίζεται στην ανομοιομορφία της πρώτης ύλης.

Παράλληλα, με τη βοήθεια της μεθόδου απόκρισης επιφανείας (Response Surface Methodology, RSM) περιγράφηκε με μαθηματικό τρόπο η επίδραση των βασικών παραμέτρων της διεργασίας (εξισώσεις β' βαθμού) και πραγματοποιήθηκε η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών διεργασίας, οι οποίες θα είχαν ως απώτερο στόχο την δημιουργία ενός νέου προϊόντος με ποιοτικότερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και εκτεταμένο χρόνο ζωής. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο του πειραματικού σχεδιασμού Box Behnken, και έγινε στατιστική ανάλυση των μαθηματικών εξισώσεων που προέκυψαν από τα πειραματικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι όλοι οι παράγοντες της διεργασίας είχαν σημαντική επιρροή στην απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών και την ενεργότητα νερού και τις αλλαγές του χρώματος. Τέλος, με τις εκτιμώμενες βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, που υπολογίστηκαν με βάση τις μαθηματικές εξισώσεις και κατάλληλα κριτήρια (μέσω της μεθοδολογίας Desirability approach) λήφθηκαν ικανοποιητικά τελικά συμπεράσματα μέσα από την διεξαγωγή πειράματος επαλήθευσης, με μικρές αποκλίσεις, πέρα από την πρόσληψη στερεών, της οποίας η διαφορά δεν ήταν τόσο αναμενόμενη.

Συμπερασματικά, η ωσμωτική αφυδάτωση κρίνεται ως αποτελεσματική διεργασία για την αξιοποίηση των παραπροϊόντων παραγωγής μανιταριών και την δημιουργία νέων εδώδιμων προϊόντων.

9.2 Υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες υποδείξεις για περαιτέρω θεωρητική και πειραματική έρευνα.

1. Χρήση της ωσμωτικής αφυδάτωσης με διαφορετικούς συνδυασμούς συγκεντρώσεων, θερμοκρασιών και άλλων ωσμωτικών υλικών.
2. Εφαρμογή τη μεθοδολογίας σε παραπροϊόντα άλλων ειδών μανιταριών, για καλύτερη συσχέτιση αποτελεσμάτων.
3. Πραγματοποίηση έγκυρης μέτρησης της ποιοτικής υποβάθμισης των παραπροϊόντων.
4. Εκτέλεση freeze drying, ώστε να αποκτήσουμε το ζητούμενο ενισχυτικό γεύσης σε σκόνη που στόχευε η εργασία.

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

Mushrooms: Potential protein source from cellulosic residues
Ragini Bisaria, Mira Madan 1983

Morphological, Physiological and Biochemical Changes in Resistant and Susceptible Cultivars of Tea in Relation to Phomopsis Disease
Ponnusamy Ponnuragan, U. I Baby 2007

Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: A comparative study between in vivo and in vitro samples
FS. Reis, A. Martins, L. Barros, ICFR Ferreira - Food and chemical toxicology, 2012

The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health
Elisa Tripoli, Marco Giammanco, Garden Tabacchi, Danila Di Majo, Santo Giammanco and Maurizio La Guardia 2005

A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms
Pavel Kalač 2013

Contents of Vitamins, Mineral Elements, and Some Phenolic Compounds in Cultivated Mushrooms
Pirjo Mattila, Karoliina Könkö, Merja Euroola, Juha-Matti Pihlava, Jouni Astola, Liisa Vahteristo, Veli Hietaniemi, Jorma Kumpulainen, Meli Valtonen, and Vieno Piironen 2001

Odeurs des champignons : chimie et rôle dans les interactions biotiques – une revue
Nicolas CHIRON & Didier MICHELOT , 2005

Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms
S. Beluhan, A. Ranogajec 2011

Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy
Pamela Manzi, Stefania Aguzzi, Laura Pizzoferrato, 2001

Commercial mushrooms: nutritional quality and effect of cooking
Pamela Manzi, Stefania Marconi, Altero Aguzzi, Laura Pizzoferrato, 2004

Mini-review on edible mushrooms as source of dietary fiber: Preparation and health benefits
Peter C. K. Cheung, 2013

Diversity, nutritional composition and medicinal potential of Indian mushrooms
T. Hrudayanath, KS Sameer, 2014

Medicinal uses of the mushroom *Cordyceps militaris*: Current state and prospects
Shonkor Kumar Das, Mina Masuda, Akihiko Sakurai, Mikio Sakakibara , 2010

Mycosynthesis of nanoparticles using edible and medicinal mushrooms
Mustafa Nadhim Owaid and Ibraheem Jaleel Ibraheem

Phytochemical screening and evaluation of pharmacological activities of *Eulophia nuda* Lind. Tuber extracts

Nagulwar, V. P., Nandgave, M., Mahajan, M. S., & Deshpande, S. A. 2017

Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient

Jorge Alberto Carrasco-González, Sergio O.Serna-Saldívar, Janet A.Gutiérrez-Urbe , 2017

Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste - Potential valorization by food and pharmaceutical industries

Konstantinos Papoutsis, Simona Grasso, Ajay Menon, Nigel P. Brunton, James G. Lyng, Jean-Christophe Jacquier, Deep Jyoti Bhuyan , 2020

Mechanistic role of ergosterol in membrane rigidity and cycloheximide resistance in *Saccharomyces cerevisiae*

Fumiyoshi Abe, Toshiki Hiraki , 2009

Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a β -glucan rich residue

Mónica Umaña, Valeria Eim, Carmen Garaub, Carmen Rosselló, Susana Simal , 2020

Ergosterol Profiles, Fatty Acid Composition, and Antioxidant Activities of Button Mushrooms as Affected by Tissue Part and Developmental Stage
Suqin Shao, Marta Hernandez, John K. G. Kramer, Danny L. Rinker, Rong Tsao , 2010

Enhancement of ergosterol production by *Saccharomyces cerevisiae* in batch and fed-batch fermentation processes using n-dodecane as oxygen-vector
Alexandra Cristina Blaga, Corina Ciobanu, Dan Cașcaval, Anca-Irina Galaction , 2018

Sterol enriched fractions obtained from *Agaricus bisporus* fruiting bodies and by-products by compressed fluid technologies (PLE and SFE)
Alicia Gil-Ramírez, Laila Aldars-García, Marimuthu Palanisamy, Rodica M. Jiverdeanu, Alejandro Ruiz-Rodríguez, Francisco R. Marín, Guillermo Reglero, Cristina Soler-Rivas , 2013

Optimization of microwave-assisted extraction of ergosterol from *Agaricus bisporus* L. by-products using response surface methodology
Sandrina A. Heleno, M. A. Prieto, Lillian Barros, Alírio Rodrigues, Maria Filomena Barreiro, Isabel C. F. R. Ferreira , 2016

Vitamin D-enriched extracts obtained from shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) by supercritical fluid extraction and UV-irradiation
Diego Morales, Alicia Gil-Ramirez, Fhernanda R. Smiderle, Adriana J. Piris, Alejandro Ruiz-Rodríguez, Cristina Soler-Rivas , 2017

Optimization of ergosterol extraction from *Pleurotus* mushrooms using response surface methodology

Oludemi Taofiq, Ana Rita Silva, Cristina Costa, Ines Ferreira, Joao Nunes, Miguel A. Prieto, Jesus Simal-Gandara, Lillian Barros, Isabel C. F. R. Ferreira , 2020

The effect of ultrasound-assisted immersion freezing on selected physicochemical properties of mushrooms

Md. Nahidul Islam, Min Zhang, Benu Adhikari, Cheng Xinfeng, Bao-guo Xu , 2014

Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review

S. J. A. van Kuijk, A. S. M. Sonnenberg, J. J. P. Baars, W. H. Hendriks, J. W. Cone , 2015

Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology and microflora composition in broiler chickens

I. Giannenas, D. Tontis, E. Tsalie, E. F. Chronis, D. Doukas, I. Kyriazakis , 2010

Effect of oyster mushroom wastes on performance, immune responses and intestinal morphology of broiler chickens

Shila Hasanian Fard, Majid Toghyani, Sayed Ali Tabeidian , 2014

A pluralistic approach in the study of *Pleurotus* species with emphasis on compatibility and physiology of the European morphotax

Georgios Zervakis, Constantinos Balis , 1996

A reappraisal of the *Pleurotus eryngii* complex – New species and taxonomic combinations based on the application of a polyphasic approach, and an identification key to *Pleurotus* taxa associated with Apiaceae plants

Georgios I. Zervakis, Spyridon Ntougias, Maria Letizia Gargano, Maria I. Besi, Elias Polemis, Milton A. Typas, Giuseppe Venturella , 2014

By-products of plant food processing as a source of functional compounds — recent developments

A. Schieber, F. C. Stintzing, R. Carle , 2001

Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil

Larissa Morais Ribeiro da Silva, Evania Altina Teixeira de Figueiredo, Nagila Maria Pontes Silva Ricardo, Icaro Gusmao Pinto Vieira, Raimundo Wilane de Figueiredo, Isabella Montenegro Brasil, Carmen L. Gomes , 2014

Photocatalytic degradation, toxicological assessment and degradation pathway of C.I. Reactive Blue 19 dye

Muhammad Bilal, Tahir Rasheed, Hafiz M. N. Iqbal, Chuanlong Li, Hang Wang, Hongbo Hu, Wei Wang, Xuehong Zhang , 2018

Chitin and Chitosan- Value-Added Products from Mushroom Waste

Tao Wu, Svetlana Zivanovic, F. Ann Draughon, Carl E. Sams , 2004

Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil

Zimo Lou, Yue Sun, Xiaoxin Zhou, Shams Ali Baig, Baolan Hu, Xinhua Xu , 2017

Improving sewage sludge composting by addition of spent mushroom substrate and sucrose

Liqiang Meng, Shumei Zhang, Hainan Gong, Xiancheng Zhang, Chuandong Wu, Weiguang Li, 2018

Spent mushroom substrate and cattle manure amendments enhance the transformation of garden waste into vermicomposts using the earthworm *Eisenia fetida*

Xiaoqiang Gong, Suyan Li, Michael A. Carson, Scott X. Chang, Qian Wu, Li Wang, Zhengfeng An, Xiangyang Sun , 2019

Implications of polluted soil biostimulation and bioaugmentation with spent mushroom substrate (*Agaricus bisporus*) on the microbial community and polycyclic aromatic hydrocarbons biodegradation

Carlos García-Delgado, Alessandro D'Annibale, Lorena Pesciaroli, Felipe Yunta, Silvia Crognale, Maurizio Petruccioli, Enrique Eymar , 2015

Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes

Chia-Wei Phan, Vikineswary Sabaratnam , 2012

Mushroom cultivation and biogas production: A sustainable reuse of organic resources

Ana Marion Pérez-Chávez, Leopoldo Mayer, Edgardo Albertó , 2019

The history and current applications of the circular economy concept

K. Winans, A. Kendall, H. Deng , 2017

Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products

Rajeev Ravindran, Amit K. Jaiswal , 2016

Review: Food Industry By-Products used as a Functional Food Ingredients
Prathamesh Bharat Helkar, AK Sahoo, NJ Patil, 2016

The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery:
Comparison of thermal treatment technologies
Karen N. Finney, Changkook Ryu, Vida N. Sharifi, Jim Swithenbank , 2009

Evaluation of waste mushroom logs as a potential biomass resource for the
production of bioethanol
Jae-Won Lee, Bon-Wook Koo, Joon-Weon Choi, Don-Ha Choi, In-Gyu Choi , 2008

Effect of Promoters on Manganese-Containing Mixed Metal Oxides for Oxidative
Dehydrogenation of Ethane via a Cyclic Redox Scheme
Seif Yusuf, Luke M. Neal, Fanxing Li , 2017

Kinetic study of vitamin D2 degradation in mushroom powder to improve its
applications in fortified foods
Davide Pedrali, Francesca Gallotti, Cristina Proserpio, Ella Pagliarini, Vera Lavelli ,
2020

Steinfeld et al., 2006. FAO, Rome 2006
Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. , 2006.
Livestock's long shadow,. FAO, Rome 2006

Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes
Pavan Kumar, M. K. Chatli, Nitin Mehta, Parminder Singh, O. P. Malav & Akhilesh K. Verma , 2017

Meat Analogues Considerations for the EU
Antony Froggatt and Laura Wellesley , *Energy, Environment and Resources Department* | February 2019

Meat alternatives — market developments and health benefits
Michele J. Sadler , 2004

Estimating and Addressing America's Food Losses
Linda Scott Kantor, Kathryn Lipton, Alden Manchester, Victor Oliveira , 1997

Food Spoilage: Microorganisms and their prevention
Seema Rawat , 2015

Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review
Ângela Fernandes, Amilcar L. Antonio, M. Beatriz P. P. Oliveira, Anabela Martins, Isabel C. F. R. Ferreira , 2012

Water loss and partitioning of the oil fraction of mushroom chips using ultrasound-assisted vacuum frying
Shoma Devi, Min Zhang, Ronghua Ju, Bhesh Bhandari , 2020

Recent advances in extending the shelf life of fresh Agaricus mushrooms: a review
Preeti Singh, Horst-Christian Langowski, Ali Abas Wani, Sven Saengerlaub , 2010

Effect of different pretreatments on the quality of mushrooms during solar drying
Ashok Kumar, Manpreet Singh, Gurdeep Singh , 2011

Fruit and vegetable consumption and all-cause mortality: evidence from a large
Australian cohort study
Binh Nguyen, Adrian Bauman, Joanne Gale, Emily Banks, Leonard Kritharides, Ding
Ding , 2016

Application of electrolyzed water for improving postharvest quality of mushroom
Mehmet Seckin Aday , 2016

Development of a moisture absorber for packaging of fresh mushrooms (*Agaricus
bisporus*)
Pramod V. Mahajan, Fernanda A. S. Rodrigues, Anthony Motel, Aurelie Leonhard ,
2008

A novel active packaging for extending the shelf-life of fresh mushrooms (*Agaricus
bisporus*)
Magdalena Wrona, Karim Bentayeb, Cristina Nerín , 2015

Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables

Peter M. A. Toivonen, David A. Brummell , 2008

Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment

Mengsha Gao, Lifang Feng, Tianjia Jiang , 2014

Effect of washing with citric acid or sodium hypochlorite on the visual and microbiological quality of mushrooms (*Agaricus bisporus* L.)

A. Simon, E. Gonzalez-Fandos , 2010

Microbiological quality and safety of fresh cultivated and wild mushrooms commercialized in Spain

María E. Venturini, Juan E. Reyes, Carmen S. Rivera, Rosa Oria, Domingo Blanco , 2011

Air drying of cultivated mushrooms

Komanowsky, M., Talley, F. B. , Eskew, R. K. , 1970

Low temperature mushrooms (*Agaricus bisporus*) drying with desiccant dehumidifiers

F. Gurtas Seyhan, O. Evranuz , 2000

A review of osmo-dehydration for food industry

C. Tortoe 2010

Response surface optimization of osmotic dehydration process parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*) - Part I

B. K. Mehta, S. K. Jain, G. P. Sharma, Anila Doshi, H. K. Jain , 2013

Osmotic dehydration of apple-effects of agitation and raw material characteristics

N.E. Mavroudis, V. Gekas, and I. Sjöholm , 1998

Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits

N. Phisut , 2012

Molecular characteristics of maltodextrins and rheological behaviour of diluted and concentrated solutions

P. Dokic, J. Jakovljevic, Lj. Dokic-Baucal , 1997

Applications of plant-derived food by-products to maintain quality of postharvest fruits and vegetables

Haitao Jiang, Wanli Zhang, Yan Xu, Yiqin Zhang, Yijing Pu, Jiankang Cao, Weibo Jiang

Mushrooms dehydration in a hybrid-solar dryer, using a phase change material

Alejandro Reyes, Andrea Mahn, Francisco Vasquez

Beneficiation of food processing by-products through extraction of bioactive compounds using neoteric solvents

Anuradha Saini, Parmjit S. Panesar

Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom
S.G. Walde, V. Velu, T. Jyothirmayi, R.G. Math

Spent waste from edible mushrooms offers innovative strategies for the remediation
of persistent organic micropollutants: A review
Anamika Ghose, Sudip Mitra

Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food
Agnieszka Cieurzy_nska, Hanna Kowalska, Kinga Czajkowska, Andrzej Lenart

The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients
and for the encapsulation process
Talita A. Comunian, Marlucci P. Silva, Clitor J.F. Souza

Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive
properties of mushrooms
Sara Marçal, Ana Sofia Sousa, Oludemi Taofiq, Filipa Antunes, Alcina M.M.B. Morais,
Ana Cristina Freitas, Lillian Barros, Isabel C.F.R. Ferreira

Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products
and their recent applications as novel ingredients in food products
Norah O'Shea, Elke K. Arendt, Eimear Gallagher

Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables

Ishfaq Ahmed, Ihsan Mabood Qazi, Suraiya Jamal

Ελληνική Βιβλιογραφία

Τα 5 μέρη ενός μανιταριού και τα χαρακτηριστικά του
el.thpanorama.gr

Βιομετατροπές γεωργικών παραπροϊόντων σε αποτοξικοποιημένα παράγωγα και
εδώδιμη βιομάζα με τη χρήση επιλεγμένων στελεχών βασιδιομυκήτων
Γεώργιος Κ. Κουτρώσιος, 2019

Επεξεργασία Τροφίμων: 1 – Διεργασίες Συντηρήσεως με Θέρμανση, Χαμηλές
Θερμοκρασίες & Ακτινοβλούμενη Ενέργεια
Ευάγγελος Σ. Λάζος, Ανδριάννα Ε. Λάζου , 2010

Εργαστηριακές ασκήσεις Μηχανικής Τροφίμων II (Προπτυχιακό Πρόγραμμα
Σπουδών), Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής
Αττικής
Νικόλαος Ζόγκζας , 2019