



Σχολή Επιστημών Τροφίμων

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πτυχιακή εργασία

Σχεδιασμός και παραγωγή αφυδατωμένων μανιταριών

Thesis

Design and production of dehydrated mushrooms

ΟΝΟΜΑΤΑ ΦΟΙΤΗΤΩΝ/NAME OF STUDENTS

Κουτσούκος Παναγιώτης-Στυλιανός

Koutsoukos Panagiotis-Stylianos

Σταύρε Θωμάς

Stavre Thomas

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Γιαννακούρου Μαρία

Giannakourou Maria

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2022

Έγινε δεκτή

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο **‘Σχεδιασμός και παραγωγή αφυδατωμένων μανιταριών’** που παρουσιάστηκε από τον Παναγιώτη-Στυλιανό Κουτσούκο και τον Σταύρε Θωμά και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Όνομα επιβλέποντος

Μαρία Γιαννακούρου

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Σπυρίδων Παπαδάκης

Ημερομηνία

Όνομα μέλους επιτροπής

Παναγιώτης Ηγουμενίδης

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνουμε ότι είμαστε αποκλειστικοί συγγραφείς της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Δηλώνουμε, επίσης, ότι αναλαμβάνουμε όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μας αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.



Κουτσούκος Παναγιώτης-Στυλιανός



Σταύρε Θωμάς

Ευχαριστίες

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας, κυρία Γιαννακούρου Μαρία για την ανάθεση της εν λόγω πτυχιακής εργασίας και για την καθοδήγηση και τη βοήθεια της στην επεξεργασία αποτελεσμάτων και την συγγραφή της εργασίας.

Επίσης, θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά και την υποψήφια Διδάκτορα Σταυροπούλου Ναταλία για τη βοήθεια της και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων.

Αφιερώσεις

Θέλω να αφιερώσω αυτήν την εργασία στην οικογένεια μου.

Κουτσούκος Παναγιώτης-Στυλιανός

Θέλω να αφιερώσω αυτήν την εργασία στη γιαγιά και στο θείο μου.

Σταύρε

Θωμάς

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Τα μανιτάρια στις μέρες μας έχουν μεγάλη άνθηση στην κατανάλωση τους λόγω των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών. Το προϊόν αυτό έχει πολλά θρεπτικά συστατικά όπως είναι μέταλλα, φυτικές ίνες, βιταμίνες, ιχνοστοιχεία, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες. Ακόμα έχει αποδειχτεί πως με την κατανάλωση τους βοηθούν στην καλύτερη υγεία του καταναλωτή διότι είναι ικανά να μειώσουν την χοληστερόλη και να αποτρέψουν την ανάπτυξη καρκίνων. Επιπλέον με την στροφή του πληθυσμού σε χορτοφαγικές διατροφές και με το γεγονός πως τα μανιτάρια περιέχουν πολλά από τα αμινοξέα του κρέατος, έχει παρατηρηθεί έντονο ενδιαφέρον από τη βιομηχανία σχετικά με την αξιοποίησή τους σε προϊόντα που 'μιμούνται' το κρέας. Ωστόσο ο ιστός τους είναι ευάλωτος και λόγω της έλλειψης δέρματος είναι εκτεθειμένα σε διάφορους μικροοργανισμούς και βακτήρια. Με στόχο την καλύτερη διατήρηση της ποιότητας τους καθώς και την επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους η αναγκαιότητα της κατάλληλης επεξεργασίας καθίσταται επιτακτική. Η συγκεκριμένη εργασία στοχεύει στο να διατηρηθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά όσο το δυνατόν περισσότερο χωρίς να επηρεαστούν από την επεξεργασία. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την επιλογή της μεθόδου της ώσμωσης στο στάδιο της προ-επεξεργασίας.

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διεργασία κατά την οποία απομακρύνεται μέρος νερού από τους φυτικούς ιστούς εμβαπτιζοντάς τους σε υπερτονικό διάλυμα. Επίσης, η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται ως προεπεξεργασία πολλών διεργασιών (ξήρανση, ψύξη, ξήρανση υπό ψύξη) που εφαρμόζονται για τη βελτίωση των θρεπτικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων χωρίς να αλλάξει η σύνθεσή τους (Torreggiani, 1993). Ακόμα, η διαδικασία της ώσμωσης είναι πιο οικονομική σε σχέση με άλλες μεθόδους (εξάτμιση, λυοφιλίωση, ξήρανση, κλπ.), καθώς το ωσμωτικό διάλυμα μπορεί να επανασυμπυκνωθεί είτε με εξάτμιση είτε με προσθήκη φρέσκου ωσμωτικού μέσου, ώστε να χρησιμοποιηθεί ξανά για περαιτέρω αφυδατώσεις (Rastogi et al., 2002). Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς ως τεχνική συντήρησης τροφίμων κυρίως φρούτων και λαχανικών, ενώ τα τελευταία χρόνια αρχίζει να διαδίδεται και στα μανιτάρια κυρίως στο λευκό (*Agaricus bisporus*).

Η μεθοδολογία επιφάνειας απόκρισης (Response Surface Methodology) αποτελεί ένα χρήσιμο στατιστικό εργαλείο στο πεδίο της ποιοτικής αξιολόγησης των τροφίμων. Με την RSM μπορούμε να δούμε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διάφορων μεταβλητών και την επιρροή που έχουν πάνω σε κάθε απόκριση (Giovanni, 1983). Οι βασικότεροι σχεδιασμοί που χρησιμοποιούνται στην RSM είναι ο Central Composite και ο Box-Behnken. Κύριο πλεονέκτημα της RSM είναι ότι αποτελεί μια γρήγορη και αξιόπιστη διαδικασία καθώς απαιτεί μικρό αριθμό πειραμάτων. Για να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά της μεθοδολογίας RSM οι συναρτήσεις αποδεκτότητας (Desirability Functions) και στη συνέχεια πραγματοποιούνται ανεξάρτητα πειράματα επαλήθευσης για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία της RSM. Οι περισσότερες μελέτες RSM αφορούν σε προϊόντα κρέατος και ιχθυηρών, ενώ αρκετές είναι και αυτές για τους φυτικούς ιστούς. Για τα μανιτάρια υπάρχουν ελάχιστες βιβλιογραφικές αναφορές.

Ο στόχος αυτής της εργασίας ήταν να αναλύσει την επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λεντινούλας και να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης επεξεργασίας (ως προεπεξεργασία) για το σχεδιασμό και την παραγωγή βρώσιμων αφυδατωμένων μανιταριών. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ώσμωσης μελετήθηκε η επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης, του χρόνου και της θερμοκρασίας ώσμωσης στις διάφορες αποκρίσεις. Επίσης, με τη βοήθεια της RSM επιλέχθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες για συγκεκριμένα κριτήρια που θέσαμε (ελάχιστη ενεργότητα ύδατος, μέγιστη διατήρηση λευκού χρώματος). Οι συνθήκες επαληθεύθηκαν με ανεξάρτητα πειράματα ώσμωσης και τα αποτελέσματα έδειξαν στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητικές προσεγγίσεις μεταξύ των θεωρητικών και πειραματικών τιμών.

Περίληψη

Η καλλιέργεια των μανιταριών (*Lentinula edodes*) τα τελευταία χρόνια επεκτείνεται κυρίως γιατί είναι πολύ πιο γευστικά από το ευρέως γνωστό λευκό μανιτάρι ενώ έχουν ανάλογη θρεπτική αξία. Όμως δεν παύει να είναι ένα ευπαθές προϊόν όπως και όλα τα μανιτάρια με περιορισμένη διάρκεια διατήρησης περίπου 1-3 ημέρες σε αποθήκευση με συνθήκες περιβάλλοντος και 5-8 ημέρες σε συνθήκες ψύξης. Ο σύντομος χρόνος ζωής οφείλεται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, βιολογικές διαδικασίες, ενζυμική δραστηριότητα, χαμηλό pH και διάφορες μικροβιακές αλλοιώσεις. Το γεγονός αυτό αποτελεί και ένα σοβαρό μειονέκτημα που περιορίζει την εμπορική αξία των μανιταριών γενικά.

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ήπια, μη θερμική επεξεργασία, που χρησιμοποιείται κυρίως ως στάδιο προεπεξεργασίας συμβατικών μεθόδων συντήρησης (όπως ξήρανση ή κατάψυξη), και περιλαμβάνει την εμβάπτιση ενός τροφίμου σε ένα υπερτονικό διάλυμα (υδατανθράκων, αλάτων και άλλων συστατικά) Με την διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η διατήρηση των θρεπτικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων του προϊόντος. Μέσω της ελάττωσης της ενεργότητας του νερού μειώνεται και ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών αλλά και ο ρυθμός δράσεων υποβάθμισης οπότε διασφαλίζεται η ανώτερη ποιότητα του.

Σε αυτή τη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ως στατιστικό εργαλείο η μεθοδολογία απόκρισης επιφάνειας (Response Surface Methodology, RSM) με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης της συγκέντρωσης του επιλεγμένου ωσμωτικού παράγοντα, εδώ της γλυκερόλης (40-60%), της θερμοκρασίας (20-40 °C) και της διάρκειας της ωσμωσης (10-180 λεπτά), για την εκτίμηση των βέλτιστων παραμέτρων της ωσμωτικής διαδικασίας για την επεξεργασία των μανιταριών. Τα πειράματα διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας τον πειραματικό σχεδιασμό Box Behnken με τρεις παράγοντες σε τρία επίπεδα. Για κάθε απόκριση, αναπτύχθηκε ένα πολώνυμο μοντέλο δεύτερης τάξης, και η κατάλληλη στατιστική ανάλυση έδειξε ότι όλοι οι παράγοντες διεργασίας επηρέασαν σημαντικά την απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών, την ενεργότητα νερού και τις αλλαγές χρώματος. Με βάση την προσέγγιση των συναρτήσεων αποδεκτότητας (Desirability Functions) και συγκεκριμένα προκαθορισμένα κριτήρια-στόχους της διεργασίας, εκτιμήθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας και πραγματοποιήθηκαν τα αντίστοιχα ανεξάρτητα πειράματα επαλήθευσης.

Συμπερασματικά, η συνδυαστική εφαρμογή των τεχνολογιών ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασία της συμβατικής ξήρανσης μπορεί να μειώσει σημαντικά το χρόνο ξήρανσης των δειγμάτων, με αποτέλεσμα μικρότερες απαιτήσεις χρόνου και ενέργειας.

Abstract

The cultivation of mushrooms (*Lentinula edodes*) in recent years is expanding mainly because they are much tastier than the well-known white mushroom and have a similar nutritional value. But it is still a perishable product like all mushrooms with a limited shelf life of about 1-3 days in storage under ambient conditions and 5-8 days in refrigerated conditions. The short shelf life is mainly due to the high water content, biological processes, enzyme activity, low pH and various microbial lesions. This is also a serious disadvantage that limits the commercial value of mushrooms in general.

Osmotic dehydration is a gentle, non-thermal treatment, used primarily as a pre-treatment step of conventional preservation methods (such as drying or freezing), and involves immersing a food in a hypertonic solution (carbohydrates, salts and other ingredients). In this way the preservation of the nutritional organoleptic and functional properties of the product is achieved. By reducing the activity of water, the growth rate of microorganisms is reduced, as well as the rate of degradation actions, thus ensuring its superior quality.

In this study the Response Surface Methodology (RSM) was used as a statistical tool in order to investigate the effect of the concentration of the selected osmotic agent, here glycerol (40-60%), temperature (20-40°C) and the duration of osmosis (10-180minutes), for the evaluation of the optimal parameters of the osmotic process for the processing of mushrooms. The experiments were performed using the Box-Behnken experimental design with three factors at three levels. For each response, a second order polynomial model was developed, and appropriate statistical analysis showed that all process factors significantly affected water loss, solids uptake, water activity and color changes. Based on the desirability functions approach and specific predefined process target criteria, the optimal operating conditions were evaluated and the corresponding independent verification experiments were performed.

In conclusion, the combined application of osmotic dehydration technologies as a pre-treatment of conventional drying can significantly reduce the drying time of the samples, resulting in lower time and energy requirements

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	iv
Αφιερώσεις.....	v
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
Περίληψη	3
Abstract	5
Κεφάλαιο 2: Μανιτάρια	12
2.1 Γενικά.....	12
2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	13
2.3 Καλλιέργεια μανιταριών.....	14
2.3.1 Βήματα για την καλλιέργεια μανιταριών	17
2.3.2 Καλλιέργεια <i>Agaricus bisporus</i>	19
2.3.3 Καλλιέργεια <i>Pleurotus ostreatus</i>	21
2.3.4 Καλλιέργεια <i>Lentinula edodes</i>	22
2.4 Σύσταση μανιταριών	22
2.4.1 Προτεΐνες και αμινοξέα	23
2.4.2 Λίπος	23
2.4.3 Υδατάνθρακες και διαιτητικές ίνες	24
2.4.4 Βιταμίνες	25
2.4.5 Μέταλλα και ιχνοστοιχεία.....	25
2.5 Τρόπους αλλοίωσης των μανιταριών	26
2.5.1 Ρυθμός αναπνοής.....	27
2.5.2 Αφυδάτωση	28
2.5.3 Μαύρισμα Μανιταριών (Browning).....	28
2.5.4 Αλλαγές στην υφή του μανιταριού.....	29
2.6 Τρόπους συντήρησης	29
2.6.1 Ψυξη	29
2.6.2 Κατάψυξη.....	30
2.6.2.1 Πλύση με μεταδιθειώδη διάλυμα και κατάψυξη	30
2.6.2.2 Διάλυμα κιτρικού οξέος 1% και διάλυμα επιτραπέζιου αλατιού 2% πριν από την κατάψυξη.....	30
2.6.3 Κρυογονική μέθοδο.....	31
2.6.4 Ξήρανση	31

2.6.4.1 Ξήρανση στο κενό με μικροκύματα	31
2.6.4.2 Ξήρανση με κατάψυξη – λυοφιλοποίηση	31
2.6.5 Κονσερβοποίηση	32
2.6.6. Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα	32
2.6.6.1 Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα και Ρυθμός Αναπνοής	33
2.7 Γνωριμία με το μανιτάρι Σιτάκε.....	35
Κεφάλαιο 3: Ωσμωτική αφυδάτωση	37
3.1 Εισαγωγή	37
3.2 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης	37
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση	38
3.3.1 Προεπεξεργασία	38
3.3.2 Τύποι ωσμωτικών παραγόντων	39
3.3.2.1 Γλυκερόλη	39
3.3.2.2 Σακχαρόζη	39
3.3.2.3 Φρουκτο-ολιγοσακχαρίτης	40
3.3.2.4 Μαλτοδεξτρίνη	41
3.3.3 Συγκέντρωση ωσμωτικού παράγοντα	41
3.3.4 Διάρκεια επεξεργασίας.....	42
3.3.5 Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος	43
3.3.6 Ανάδευση κατά την ωσμωτική αφυδάτωση	43
3.3.7 Παράγοντες που σχετίζονται με το προϊόν	43
3.3.8 Αναλογία δείγματος/ωσμωτικού μέσου	44
3.4 Πλεονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης	44
3.4.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	44
3.4.2 Εξοικονόμηση ενέργειας	45
3.4.3 Αποφυγή χημικής κατεργασίας	46
3.4.4 Σταθερότητα συσκευασίας και αποθήκευσης	46
3.5 Μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης	46
3.5.1 Ποιότητα προϊόντος.....	46
3.5.2 Διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος.....	47
3.6 Ωσμωτική αφυδάτωση σε μανιτάρια.....	48
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (Response Surface Methodology- RSM).....	53
4.1 Εισαγωγή	53
4.2 Μεθοδολογία	55

4.3 Πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken	57
4.4 Πλεονεκτήματα RSM	59
4.5 Μειονεκτήματα RSM	59
4.6 Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς με χρήση Response Surface Methodology (RSM)	59
Κεφάλαιο 5: Πειραματικό μέρος	67
5.1 Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	68
5.1.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών (^o Brix).....	68
5.1.1.1 Πειραματική διαδικασία	69
5.1.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού(a_w).....	69
5.1.2.1 Πειραματική διαδικασία	69
5.1.3 Ανάλυση Χρώματος	70
5.1.3.1 Πειραματική διαδικασία	70
5.1.4 Υπολογισμός αλατιού.....	71
5.1.4.1 Πειραματική διαδικασία	72
5.1.5 Μέτρηση ολικών στέρεων	72
5.1.5.1 Πειραματική διαδικασία	73
5.1.6 Ανάλυση υφής	74
5.1.6.1 Πειραματική διαδικασία	75
5.2 Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM).....	76
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα & Συζήτηση	78
6.1. Κινητική μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	78
6.1.1. Ενεργότητα ύδατος (a_w).....	78
6.1.2 Brix του ωσμωτικού διαλύματος.....	80
6.1.3 Απώλεια ύδατος (WL, Water Loss)	81
6.1.4 Πρόσληψη στερεών (SG, Solid Gain).....	83
6.1.5 % Υγρασία.....	86
6.1.6 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι	88
6.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά λεντινούλας	90
6.2.1. Μεταβολή φωτεινότητας.....	90
6.2.2. Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔE^*	91
6.2.3. Μεταβολή παραμέτρων της υφής (σχετική μεταβολή της σκληρότητας)	94
6.3. Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης λεντινούλας με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken.....	96

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα	100
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	102
Ελληνική Βιβλιογραφία	115

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 2.1: Χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή μανιταριών παγκοσμίως (<i>Sánchez, 2010</i>)..	16
Εικόνα 2.2: Διαδικασίες καλλιέργειας μανιταριών (<i>Sánchez, 2010</i>)	19
Εικόνα 2.3: Θρεπτικά συστατικά διάφορων εδωδιμων μανιταριών (mg/100g ξηρής βάσης) (<i>Gbolagade 2006; Dundar et al., 2008</i>).....	26
Εικόνα 4.1: (α) surface plot, (b) contour plot Bradley (2007).....	54
Εικόνα 4.2: Βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στην RSM (<i>Aydar, 2018</i>)	57
Εικόνα 4.3: Γεωμετρική απεικόνιση για τρεις παράγοντες (<i>Ferreira et al., 2007</i>).....	58
Εικόνα 5.1: PolyScience water bath Εικόνα 5.2: WB10A11B.....	67
Εικόνα 5.3: Διαθασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO).....	68
Εικόνα 5.4: Εσωτερικό του διαθασίμετρου χειρός 0-90% (ATAGO).	69
Εικόνα 5.5: AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE.	70
Εικόνα 5.6: Colour Tester Suga Test Instruments Co,Ltd	71
Εικόνα 5.7: Διάταξη μανιταριών κατά τη μέτρηση.....	71
Εικόνα 5.8: Πριν την ογκομέτρηση (κίτρινο) και μετά (κόκκινο) Εικόνα 5.9: Προχοίδα με AgNO ₃	72
Εικόνα 5.10: Φούρνος κενού, Heraeus Instruments VT 602.....	73
Εικόνα 5.11: Δείγματα προς ξήρανση στο φούρνο κενού Εικόνα 5.12: Καψίδια προς ζύγιση στον αναλ.ζυγό	74
Εικόνα 5.13: Αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus	74
Εικόνα 5.14: Διάγραμμα αντίστασης-χρόνου	75
Εικόνα 6.1: 20°C, 40% γλυκερόλη Εικόνα 6.2: 20°C, 50% γλυκερόλη.....	93
Εικόνα 6.3: 20°C, 60% γλυκερόλη Εικόνα 6.4: 30°C, 40% γλυκερόλη.....	93
Εικόνα 6.5: 30°C, 50% γλυκερόλη Εικόνα 6.6: 30°C, 60% γλυκερόλη.....	93
Εικόνα 6.7: 40°C, 40% γλυκερόλη Εικόνα 6.8: 40°C, 50% γλυκερόλη.....	94
Εικόνα 6.9: 40°C, 60% γλυκερόλη.....	94

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2.1 Σύσταση αφυδατωμένης λεντινούλας (<i>Μυλωνά (2015)</i>).....	35
Πίνακας 2.2 Η ταξινόμηση του μανιταριού <i>L.edodes</i> (<i>Σκλάβος (2015)</i>).....	36
Σχήμα 3.1.: Μεταφορά μάζας σε τρόφιμο κατά την διάρκεια οσμωτικής αφυδάτωσης (τροποποίηση Λάζος 2016)	38
Πίνακας 3.1: Μελέτες οσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια.....	49
Πίνακας 4.1: Πίνακας κωδικοποίησης πειραμάτων για τρεις παράγοντες (<i>Ferreira et al., 2007</i>).....	58

Πίνακας 4.2: Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς με χρήση Response Surface Methodology (RSM)	60
.....	75
Πίνακας 5.1: Κωδικοποιημένες τιμές των παραμέτρων της διεργασίας σύμφωνα με το πρότυπο του Box-Behnken design	76
Πίνακας 6.1: Μεταβολή των βαθμών Brix του ωσμωτικού διαλύματος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C και 40°C σε διάλυμα γλυκερόλης a) 40% κ.β ,b) 50% κ.β και c) 60% κ.β	80
Πίνακας 6.3.1: Τιμές των συντελεστών των πολυωνυμικών εξισώσεων των αποκρίσεων (με βάση την εξίσωση που μελετήθηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία RSM).....	96
Πίνακας 6.3.2: Πειραματικές μετρήσεις από το πείραμα επαλήθευσης των βέλτιστων συνθηκών που προέκυψαν από τη μεθοδολογία RSM και %σφάλμα σε σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές από τις εξισώσεις β' βαθμού	97

Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 6.1.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40,50 και 60% σε θερμοκρασία a) 20°C, b) 30°C, c) 40°C.....	79
Γράφημα 6.2.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30 °C και 40°C σε διάλυμα γλυκερόλης a) 40% κ.β ,b) 50% κ.β ,c) 60% κ.β.	80
Γράφημα 6.3: WL (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40% , 50% και 60 % σε θερμοκρασία a) 20°C , b) 30°C, c) 40°C.....	81
Γράφημα 6.4: WL (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C, 40°C σε διάλυμα γλυκερόλης a) 40% κ.β. b) 50% κ.β. , c) 60% κ.β.	82
Γράφημα 6.5: SG (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε συγκεντρώσεις γλυκερόλης 40%, 50% , 60% σε θερμοκρασίες a) 20°C , b) 30°C, c) 40°C	84
Γράφημα 6.6: SG (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C, 40°C σε συγκεντρώσεις γλυκερόλης a) 40% κ.β. , b) 50% κ.β. , c) 60% κ.β.	85
Γράφημα 6.7: Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης συγκεντρώσεων 40%,50% και 60% σε θερμοκρασία (a) 20°C (b) 30°C και (c) 40°C. 86	
Γράφημα 6.8: Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C, 40°C σε συγκέντρωση γλυκερόλης (a) 40% κ.β. , (b) 50% κ.β. , (c) 60%κ.β.....	87
Γράφημα 6.9: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 20°C (b) 30°C και (c) 40°C.	88

Γράφημα 6.10: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης (a) 40% κ.β. (b) 50% κ.β. και (c) 60% κ.β.....	89
Γράφημα 6.11: Σχετική μεταβολή της φωτεινότητας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40% ,50% και 60% και σε θερμοκρασία a) 20°C ,b) 30°C και c) 40°C.....	90
Γράφημα 6.12: Μεταβολή του συνολικού χρώματος (ΔE^*) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40%, 50% και 60% και σε θερμοκρασία a) 20°C , b) 30°C και c) 40°C.....	92
Γράφημα 6.12: Σχετική μεταβολή της σκληρότητας (f/f_0) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 20°C (b) 30°C (c) 40°C.....	95
Γράφημα 6.13: Διάγραμμα βελτιστοποίησης (Optimization Plot)(Minitab), όπου φαίνονται οι βέλτιστες τιμές των 3 ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς η τιμή επιθυμητότητας (0.79)....	98

Κεφάλαιο 2: Μανιτάρια

2.1 Γενικά

Τα μανιτάρια είναι μακρομύκητες δηλαδή ένας μύκητας ορατός στο ανθρώπινο μάτι, με χαρακτηριστικά καρποφόρα σώματα αποτελούμενα από ράβδο και σκούφο, τα οποία αναπτύσσονται είτε πάνω στο έδαφος είτε από κάτω από αυτό. Παράγει σπόρια που υφίστανται βλάστηση, γίνονται μυκήλια και όταν ζευγαρώνουν με συμβατές υφές σχηματίζουν τα πριμόρδια, τα οποία εξελίσσονται σε καρποφόρο σώμα. Αναγνωρίζονται με γυμνό μάτι και η συλλογή τους μπορεί να γίνει με το χέρι. *Chang et al* (2008). Την ονομασία τους την πήραν από το σπογγί ή σπόγγο λόγω τους σπογγώδους σώματός τους. Η Γαλλική λέξη *mousseron* που προέρχεται από την λέξει *moisson* φημίζετε πως προέχετε από *mousse* (βρύο) διότι πολλά μανιτάρια φύτρωναν κοντά και γύρω από αυτά. Οι ανθρώπινες σχέσεις με τα μανιτάρια είναι αρχαίες και συναρπαστικές. Οι Αιγύπτιοι πίστευαν ότι ήταν δώρο από τον θεό Όσιρι, ενώ οι αρχαίοι Ρωμαίοι τα αποκαλούσαν «θεική τροφή», επειδή πίστευαν ότι τα μανιτάρια προέρχονται από τους κεραυνούς που πετούσε ο Δίας στη γη κατά τη διάρκεια καταιγίδων.

Τα μανιτάρια χρησιμοποιούνται για ιατρικούς σκοπούς από την προϊστορική εποχή. Η μούμια 3500 ετών που ανακαλύφθηκε το 1991 στις ιταλικές Άλπεις, σε έναν παγετώνα που υποχώρησε είχε ένα μανιτάρι ανάμεσα στα υπάρχοντά του, ίσως ως καθαρτικό για την ασθένεια των εντερικών παρασίτων. Μέσα από αιώνες, τα μανιτάρια είχαν σημαντικό ρόλο στην κουλτούρα των πολιτισμών, όπως η αρχαία Ελλάδα, η Ρώμη, η Κίνα και η Ινδία, για τις ιατρικές, διατροφικές, και ψυχοτρόπες ιδιότητές τους. Η ανατολική ιατρική παράδοση εξακολουθεί να βασίζεται στη χρήση μανιταριών για την προετοιμασία φαρμάκων. (*Hobbs et al* (2002)). Διάφοροι μύθοι και δοξασίες υποστηρίζουν θέλοντας να δείξουν την τοξική τους δυνατότητα ότι τα μανιτάρια προερχόντουσαν από το δηλητήριο που βρίσκεται στους κυνόδοντες των φιδιών. Καθώς και ότι κάποιες φορές έκαναν κακό μόνο που τα άγγιζε κάποιος δεν χρειαζόταν να τα φάει. *Gartz et al* (1996).

Στις μέρες μας τα διατροφικά χαρακτηριστικά τους έχουν σημαντικό ρόλο στην χορτοφαγική διατροφή. Θεωρούνται ως ένα πολύ χρήσιμο προϊόν διατροφής, μιας και περιέχουν μέταλλα φαινολικές ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση, πητικές ουσίες, νερό, υδατάνθρακες ενώ περιέχουν μικρή ποσότητα σε λιπαρά (κυρίως ακόρεστα). Για όλους τους παραπάνω λόγους έχουν καθιερωθεί ως αντικαταστάτες του

κόκκινου κρέατος, μια και η υπερβολική κατανάλωση του τελευταίου ευθύνεται για την επιβάρυνση της υγείας του ανθρώπου και την πρόκληση σοβαρών ασθενειών. *Marçal, et al* (2021). Ανάλογα με το πόσο σημαντικά είναι για στην διατροφή και την υγεία των ανθρώπων, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες: βρώσιμα, φαρμακευτικά, δηλητηριώδη και άλλα μανιτάρια, των οποίων οι ιδιότητες δεν έχουν ακόμα καθοριστεί. Μερικά βρώσιμα μανιτάρια έχουν επίσης και φαρμακευτικές ιδιότητες, ως εκ τούτου, ανήκουν ταυτόχρονα σε δύο ομάδες. Γενικά, υπάρχουν περισσότερα από 14.000 γνωστά είδη στη φύση, εκ των οποίων τα 3.000 είναι εδώδια. Δηλαδή καταναλώνονται παραδοσιακά ως φυτικές ύλες και έχουν μία ή περισσότερες ωφέλιμες επιδράσεις στη φυσιολογία του οργανισμού. Σήμερα, περισσότερα από 20 είδη μανιταριών καλλιεργούνται εμπορικά. Ανήκουν κυρίως στην οικογένεια των βασιδιομύκητων, με αξιοσημείωτες εξαιρέσεις τα *Morels* και τα *Truffles* που είναι ασκομύκητες. Εκτός από τα καλλιεργούμενα, περίπου 200 είδη άγριων μανιταριών, συλλέγονται σε διάφορα μέρη του κόσμου και διατίθενται επίσης στο εμπόριο. *El Sheikha et al* (2018).

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Υπάρχουν ευρήματα που δείχνουν ότι τα μανιτάρια καταναλώνονται από την αρχαιότητα. Παράλληλα όμως οι άνθρωποι τα φοβόντουσαν διότι προκαλούσαν διάφορες ασθένειες και σε αρκετές περιπτώσεις μέχρι και τον θάνατο. Δυστυχώς ανάλογα γεγονότα συνεχίζουν να εμφανίζονται μέχρι και στις ημέρες μας. Αναφορικά στον μυκηναϊκό πολιτισμό άρχισε ένα ταξίδι για εύρεση μανιταριών (*Gartz, 1996*). Ακόμα το 500 π.Χ. στην Ευρώπη εμφανίστηκαν δηλητηριάσεις οικογενειών. Υπάρχουν αναφορές που ο Ιπποκράτης προειδοποιεί για την κατανάλωση ακατέργαστων φρούτων, μιας και εκείνη την εποχή τα μανιτάρια τα θεωρούσαν σαν φρούτα λόγω του σαρκώδους σώματος τους (*Hobbs, 2002*). Ωστόσο λέγεται πως ήταν ένα από τα συστατικά που χρησιμοποιούσε ο θεός Διόνυσος στην παρασκευή της αμβροσίας (*Gartz, 1996*). Ακόμα στην αρχαιότητα τα μανιτάρια εμφανίζονται σε έγγραφα των Ελλήνων και των Ρωμαίων. Οι Έλληνες αναφέρουν την επικινδυνότητα τους και την αποφυγή της χρήσης τους (*Money, 2022*). Ο Διοσκουρίδης έγραψε το *De Materia Medica* που ήταν ένα βιβλίο βοτανολογίας που χρησιμοποιήθηκε για εκατοντάδες χρόνια. Ο Ρωμαίος συγγραφέας Πλίνιος ο Πρεσβύτερος τα χαρακτήριζε < ένα τόσο επικίνδυνο φαγητό >. Ακόμα στα γραπτά του δεν μπορούμε να αναγνωρίσουμε για ποια είδη α-

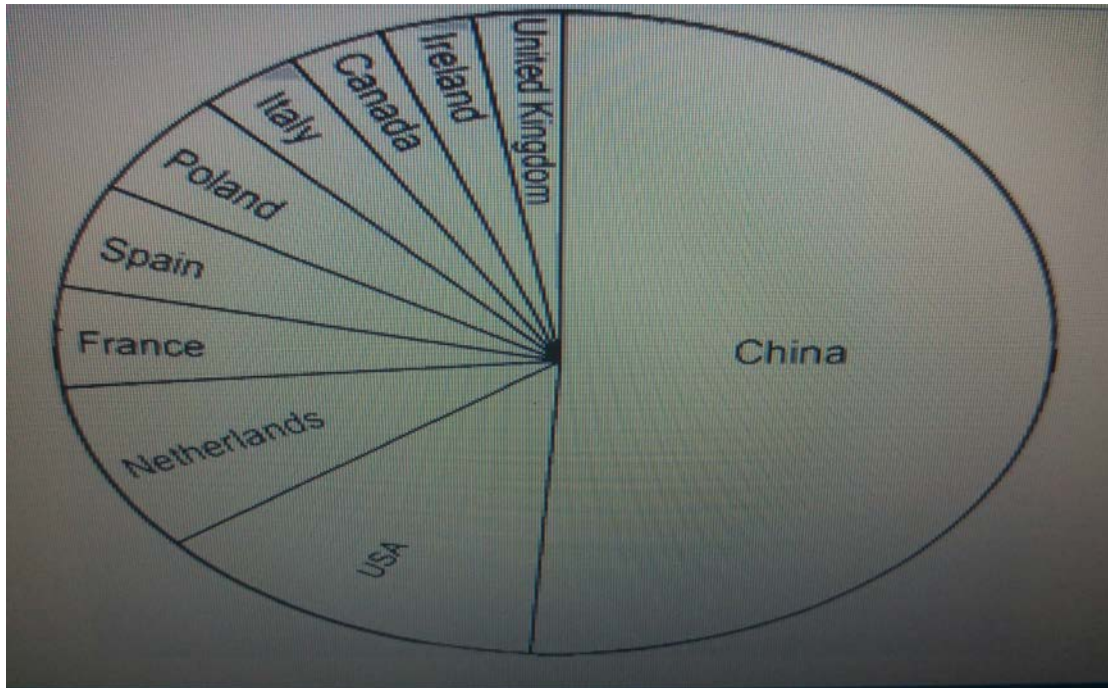
ναφέρεται (Hobbs, 2002). Όμως οι Ρωμαίοι είχαν αγνοήσει τελείως την επικινδυνότητα τους και τα χρησιμοποιούσαν στις συνταγές τους (Money, 2022). Επίσης τον τέταρτο αιώνα είχαν ανακαλύψει και τα μαγικάμανιτάρια που ο Λατίνος ποιητής Πορφύριος υποστήριζε ότι ήταν τα παιδιά των θεών και η κατανάλωση τωνμανιταριών θεωρείτο ένα κανιβαλιστικό τελετουργικό που έδινε την ικανότητα στους ανθρώπους να νιώθουν θεοί αλλά αυτό δεν ίσχυε με όλα ταμανιτάρια (Gartz, 1996). Οι Έλληνες επηρεάζουν σημαντικά την Αναγέννηση και τον Μεσαίωνα κάτι το οποίο εμφανίζεται στα γραπτά του ποιητή Gerard Herbals, ο οποίος απορρίπτει ταμανιτάρια λέγοντας πως είναι << venomous and full of poison >>. Η σημασία αυτής της πρότασης είναι πως όχι μόνο ταμανιτάρια περιέχουν δηλητήριο και με την χρήση τους μπορούν να σε μολύνουν αλλά είναι ικανά να επιτεθούν και να σε δηλητηριάσουν. Τόσο επικίνδυνα τα θεωρούσε ο Gerard Herbals. Ωστόσο και ο Διοσκουρίδης αλλά και ο Gerard Herbals αναφέρουν μερικά φαρμακευτικάμανιτάρια (Hobbs, 2002). Το 1675 κατατάχθηκαν στο βασίλειο των ζώων και το είχαν παρομοιάσει ανάμεσα σε σφουγγάρι και σε σκουλήκι. Τον 18^ο αιώνα θεώρησαν πως ταμανιτάρια ήταν ένα πρωτόγονο φυτό. Ακόμα η βοτανολογία αντιμετώπιζαν την μυκητολογία σαν άψυχα κλαδιά. Οι ζωολόγοι όμως γνωρίζοντας πως ταμανιτάρια ήταν σαν τις μέδουσες και γι' αυτό τα θεώρησαν πως είναι απόγονος των ζώων. Ο Pier Antonio Micheli ως αλλιώς και ο πατέρας της μυκητολογία ήταν ο πρώτος που έκανε πειράματα πάνω σταμανιτάρια (Money, 2022). Όμως ο "πατέρας" της ταξινόμησης ήταν ο μεγάλος σουηδός βοτανολόγος Linnaeus, που ολομόναχος τοποθέτησε χιλιάδες είδη φυτών και μυκήτων σε γενικές ομάδες και εφάρμοσε συγκεκριμένες και ξεχωριστές ονομασίες στην κάθε μια τους (Hobbs, 2002).

2.3 Καλλιέργειαμανιταριών

Ταμανιτάρια καταναλώνονται σε όλο τον κόσμο για πολλούς αιώνες, όχι μόνο για την υφή και τη γεύση αλλά και για τα χημικά, θρεπτικά και θεραπευτικά τους χαρακτηριστικά. Σήμερα, διάφορα είδη καλλιεργούμενωνμανιταριών είναι διαθέσιμα όλο το χρόνο σε καταστήματα λιανικής. Επίσης, μια ποικιλία από βρώσιμα άγριαμανιτάρια είναι εποχιακά διαθέσιμα σε φρέσκια μορφή. Ωστόσο, η παγκόσμια αγοράμανιταριών κυριαρχείται από το καλλιεργούμενο λευκόμανιτάρι *Agaricus bisporus* (El Sheikh, et al 2018). Η καλλιέργεια τωνμανιταριών αποτελεί μια βιοτεχνολογική διαδικασία για την ανακύκλωση των λιγνοκυταρρινικών οργανικών αποβλήτων

(Sánchez, 2010). Η λιγνοκυτταρίνη είναι μια μορφή υπολειμματικής βιομάζας που προέρχεται από αγροτικές και δασικές καλλιέργειες, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τροφίμων. Η καλλιέργεια των μανιταριών εκτός του ότι παράγει τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνη βοηθάει και στη μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης (Ahmed et al., 2009). Η καλλιέργεια περιλαμβάνει αρκετά στάδια, τα οποία πρέπει να εκτελούνται προσεκτικά. Η προετοιμασία του υποστρώματος, ο εμβολιασμός, η επώαση και οι συνθήκες παραγωγής εξαρτώνται από το είδος του μανιταριού που πρόκειται να καλλιεργηθεί (Sánchez, 2010). Αναμένεται ότι τα επόμενα χρόνια η συνολική παραγωγή μανιταριών, θα αποτελεί μία επεκτεινόμενη και άκρως ανταγωνιστική βιομηχανία σε πολλές χώρες του κόσμου (Cheung, 2010).

Η καλλιέργεια μανιταριών είναι μια οικονομικά σημαντική και γρήγορα αναπτυσσόμενη παγκόσμια βιομηχανία. Παραδοσιακά, έχει χωριστεί μεταξύ της νοτιοανατολικής Ασίας, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας και της Ιαπωνίας από τη μία πλευρά, και της Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και της Αυστραλίας από την άλλη. Η ασιατική παραγωγή είναι ποικιλόμορφη με αρκετές καλλιέργειες σχετικά χαμηλού όγκου και λίγες υψηλής παραγωγής, με κυρίαρχη την *Lentinula edodes* (Shiitake), *Pleurotus spp.* (το μανιτάρι στρειδιών) και *Volvariella volvacea* (το μανιτάρι με άχυρο). Η ευρωπαϊκή και αμερικανική βιομηχανία παρήγαγε (μέχρι πρόσφατα) σχεδόν αποκλειστικά το *Agaricus bisporus*, το λευκό μανιτάρι με κουμπιά. Η μεγάλη αλλαγή της δεκαετίας του 1980 και του 1990 ήταν η ευρεία εισαγωγή των «ασιατικών» μανιταριών στις δυτικές αγορές και η πολύ γρήγορη αύξηση της παραγωγής *Pleurotus spp.* Στην Ιαπωνία υπήρξε επίσης μια πολύ μεγάλη αύξηση των *Flammulina velutipes* (Enokitake). Τα στοιχεία του FAO (Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών) έδειξαν μια εντυπωσιακή αύξηση της συνολικής χωρητικότητας κάθε χρόνο. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στα 18 χρόνια του νέου αιώνα (2000 έως το 2018) η παγκόσμια παραγωγή μανιταριών αυξήθηκε από 4,19 σε 8,99 εκατομμύρια τόνους/έτος (Baker et al., 2018). Γενικά για την καλλιέργεια του μύκητα απαιτείται λιγότερη επιφάνεια γης και χρόνου για να παραχθεί η ίδια ποσότητα πρωτεΐνης με αυτή του κόκκινου κρέατος (Marçal et al., 2021).



Εικόνα 2.1: Χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή μανιταριών παγκοσμίως (Sánchez, 2010)

Δύο είναι κυρίως οι τρόποι καλλιέργειας τους:

Α. Η καλλιέργεια πάνω σε διάφορα υποστρώματα οργανικής ύλης. Το κομπόστ ανάπτυξης, αποτελεί ένα μείγμα από άχυρο ή σανό, στάχια καλαμποκιού, αλεύρι με σπόρους βαμβακιού και συμπληρώματα αζώτου, καθώς και όλα τα προϊόντα αποικοδόμησης του ξύλου ή των απορριμμάτων φύλλων. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια των καρποφόρων σωμάτων μπορεί να επηρεάσει τη χημική σύσταση και, κατά συνέπεια, τη θρεπτική αξία των καλλιεργούμενων μανιταριών. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το *Agaricus bisporus* έχει ένα εξειδικευμένο διατροφικό πρότυπο που αναπτύσσεται σε κομποστοποιημένο υλικό φύλλων που μπορεί να παραχθεί έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα πολύ επιλεκτικό μέσο για αυτόν τον μύκητα. Αντίθετα, το είδος *Lentinula edodes* είναι ένα προϊόν αποικοδόμησης ξύλου που παραδοσιακά καλλιεργείται σε κορμούς, αλλά το οποίο παράγεται όλο και περισσότερο σε υλικό με βάση το πριονίδι. Πράγματι, το πριονίδι και άλλα απορρίμματα ξύλου, μερικές φορές αναμειγμένα με άχυρο ή πίτουρο ρυζιού, γίνονται το κύριο υλικό παραγωγής όλων των μανιταριών μεγάλου όγκου εκτός από το *A. bisporus*. Αυτοί οι μύκητες είναι όλοι ικανοί να αποικοδομήσουν τα κύρια πολυμερή του ξυλώδους φυτικού υλικού, τη λιγνίνη, την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες, αν και η ικανότητα πλήρους ανοργανοποίησης της λιγνίνης δεν είναι σίγουρα τεκμηριωμένη σε όλες τις

περιπτώσεις. Οι διεργασίες είναι επομένως ελκυστικές επειδή τα αγροτο-βιομηχανικά απόβλητα καταναλώνονται στην παραγωγή τροφίμων που έχουν τόσο υψηλή οικονομική όσο και διατροφική αξία (*Baker et al., 2018*).

Οι καλλιέργειες αυτές αναπτύσσονται σε προστατευμένο περιβάλλον με ελεγχόμενους παράγοντες όπως θερμοκρασία, υγρασία, διοξείδιο του άνθρακα, φωτισμός, ταχύτητα αέρα, ποσότητα φρέσκου αέρα, υγιεινή-ασθένειες, σύστημα κλιματισμού, ποιότητα νερού, είδος ύγρανσης, συνθήκες μεταφοράς υποστρώματος, υβρίδιο, υπόστρωμα, Το μειονέκτημα που έχει η καλλιέργεια των μανιταριών είναι ικανότητα απορρόφησης βαρέων μετάλλων που υπάρχουν στα υποστρώματα που αναπτύσσονται. Ο κίνδυνος αυτός εξαλείφεται με συνεχής ελέγχους των καλλιεργειών. Τα πιο συνηθισμένα για ελεγχόμενη παραγωγή είναι τα σαπρόφυτα, τα συμβίονια και παράσιτα διαφορετικών φυτών. Αυτά τα μανιτάρια εκκρίνουν ένζυμα για να αφομοιώσουν τα γύρω τρόφιμα και λαμβάνουν τη τροφή τους από οργανική ύλη (*Akata et al., 2015*).

Β. Η καλλιέργεια πάνω και γύρω από κορμούς δένδρων, μέθοδος που είναι διαδεδομένη σε πολλά μέρη του κόσμου εξ αιτίας του ότι έχει λιγότερο κόστος (σε εργατικά χέρια και υποδομές), η όλη παραγωγή είναι πιο βιολογική, αξιοποιείται όση ξυλεία έχει χαμηλή εμπορική αξία ενώ συμβάλουν στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους και στην απομάκρυνση των ρύπων του. Τα είδη που έχουν ακόμη καλλιεργηθεί σε φυσικό περιβάλλον η μυκόρριζη συσχέτιση του μύκητα με τις ρίζες των φυτών καθιστά απίθανη την εύκολη καλλιέργεια (συχνά είναι απλό να αναπτυχθεί φυτικό μυκήλιο, αλλά η παραγωγή καρποφόρων σωμάτων είναι αρκετά άλλο θέμα) (*Marçal et al., 2021*).

Όσο για τα υπολείμματα της επεξεργασίας τους μπορούν να γίνουν από στερεά οργανικά απόβλητα αγροτο-βιομηχανίας ζωοτροφές με υψηλή πηγή πρωτεΐνης (*Motta et al., 2021*).

2.3.1 Βήματα για την καλλιέργεια μανιταριών

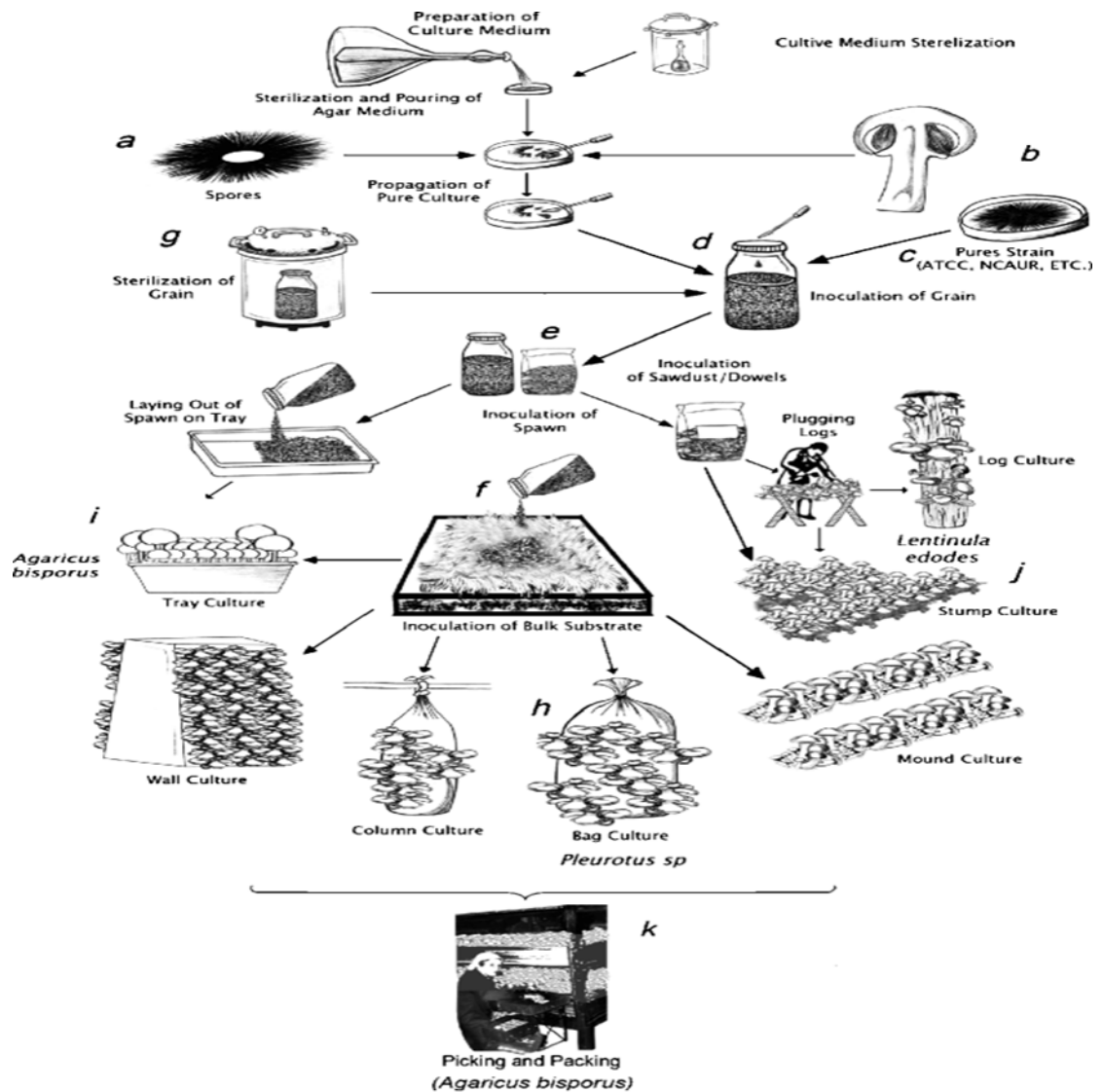
Σύμφωνα με τους *Chang & Chiu (1992)* και τους *Chang & Mshigeni (2013)* τα σημαντικότερα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την καλλιέργεια των μανιταριών είναι τα εξής:

1. **Επιλογή ενός αποδεκτού είδος μανιταριού:** Πριν γίνει η καλλιέργεια οποιουδήποτε είδος μανιταριού, πρέπει να αξιολογηθεί αν το συγκεκριμένο εί-

δος που επιλέχθηκε για καλλιέργεια πληροί τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που επιζητούν οι εγχώριοι καταναλωτές και η παγκόσμια αγορά, τα υποστρώματα για την καλλιέργεια να είναι άφθονα και να ικανοποιούνται οι περιβαλλοντικές απαιτήσεις για την ανάπτυξη χωρίς δαπανηρές διεργασίες.

2. **Εξασφάλιση μιας καλής καρποφόρας σοδειάς:** Ως καρποφορία ορίζεται μια καλλιέργεια με τη γενετική ικανότητα η οποία κάτω υπό κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης μπορεί να σχηματίσει καρποφόρα μανιτάρια. Η καλλιέργεια που θα επιλεγεί πρέπει να είναι αποδεκτή ως προς την απόδοσή της, τη γεύση, την υφή της, το χρόνο που απαιτείται για να καλλιεργηθεί.
3. **Ανάπτυξη ικανοποιητικού γόνου μανιταριών:** Ένα μέσο που έχει αναπτυχθεί το μικκύλιο μιας καρποφόρας καλλιέργειας και χρησιμεύει ως εμβόλιο του σπόρου για το υπόστρωμα στην καλλιέργεια μανιταριών, ονομάζεται γόνος μανιταριών. Πολλές φορές η ανεπιτυχής και ελλιπής συγκομιδή οφείλεται σε μη ικανοποιητικό γόνο.
4. **Παρασκευή του κατάλληλου υποστρώματος/κομπόστας:** Το αποστειρωμένο υπόστρωμα απαλλαγμένο από όλους τους μικροοργανισμούς είναι το ιδανικό για την καλλιέργεια των μανιταριών, όμως η όλη διαδικασία για την παρασκευή του είναι αρκετά δαπανηρή και μη πρακτική για να εφαρμοστεί σε μεγάλης κλίμακας εργοστάσια. Τα υποστρώματα απαιτούν πολλές προεπεξεργασίες για την ανάπτυξη των μικκυλίων των μανιταριών και την μείωση του πληθυσμού των υπόλοιπων μικροοργανισμών. Το υπόστρωμα πρέπει να είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και απαλλαγμένο από τοξικές ουσίες. Επίσης, η περιεκτικότητα της υγρασίας, το pH και η καλή ανταλλαγή αερίων μεταξύ του υποστρώματος και το περιβάλλοντος είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.
5. **Φροντίδα του κύκλου αναπαραγωγής:** Μετά την κομποστοποίηση, το υπόστρωμα τοποθετείται σε κρεβάτια, όπου παστεριώνεται με ατμό για να θανατωθούν τυχόν μικροοργανισμοί. Αφού κρυώσει η κομπόστα, το ωάριο μπορεί να διασπαρθεί είτε πάνω στην επιφάνεια του κρεβατιού και στη συνέχεια να πιεστεί καλά πάνω στο υπόστρωμα για να διασφαλιστεί η καλή επαφή ή να εγχυθεί σε βάθος 2-2,5cm μέσα στο υπόστρωμα. Σε αυτήν τη φάση τα μικκύλια αναπτύσσονται από το ωάριο και διεισδύουν μέσα στο υπόστρωμα. Η καλή ανάπτυξη των μικκυλίων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη των μανιταριών.

6. **Ανάπτυξη μανιταριών:** Κάτω υπό κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες εμφανίζεται η φυσική βλάστηση των μανιταριών και στη συνέχεια ακολουθεί η παραγωγή καρποφόρων σωμάτων.
7. **Προσεχτική συγκομιδή μανιταριών:** Η συγκομιδή πραγματοποιείται σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης ανάλογα με το είδος, τις προτιμήσεις των καταναλωτών και την χρηματική αξία.



Source: Modified from Stamets (1995)

Εικόνα 2.2: Διαδικασίες καλλιέργειας μανιταριών (Sánchez, 2010)

2.3.2 Καλλιέργεια *Agaricus bisporus*

Μια μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη παρασκευασμένη κάτω υπό αερόβιες συνθήκες χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη του μανιταριού. Αυτό το υπόστρωμα χαρακτηρίζεται συνήθως ως κομπόστα. Το υπόστρωμα παρασκευάζεται

συνήθως από άχυρο σίτου, γύψο και κοπριά ορνίθων. Η κομποστοποίηση (composting) μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη βραδεία μέθοδο κομποστοποίησης (LMC), είτε με τη ταχεία μέθοδο κομποστοποίησης (SMC) (Gupta et al., 2018). Με την LMC όλη η διαδικασία της κομποστοποίησης γίνεται σε εξωτερικό χώρο και η παστερίωση που χρειάζεται για την προετοιμασία της κομπόστας γίνεται με φυσικά μέσα, ενώ στην SMC υπάρχουν εμπορικές μονάδες με εγκαταστάσεις περιβαλλοντικού ελέγχου για την παστερίωση και καλλιέργεια των μανιταριών. Η SMC χρησιμοποιείται περισσότερο από την LMC και χωρίζεται σε 2 φάσεις. Στην 1^η φάση η διαδικασία κομποστοποίησης γίνεται σε εξωτερικό χώρο και ακολουθείται από τη 2^η φάση της παστερίωσης που γίνεται σε εσωτερικό χώρο (Gupta et al., 2018). Στην 1^η φάση (ζύμωση), οι πρώτες ύλες όπως η κοπριά όρνιθας αναμειγνύονται και τοποθετούνται σε σωρούς που περιστρέφονται και ποτίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Σε αυτήν τη φάση λαμβάνει χώρα και η διάσπαση των συστατικών από τους μικροοργανισμούς. Αυτή η φάση ολοκληρώνεται σε 9-12 μέρες όταν πια το χρώμα της κομπόστας παίρνει καφέ χρώμα και υπάρχει μια έντονη οσμή αμμωνίας. Στη αφού ολοκληρωθεί η ζύμωση της κομπόστας μεταφέρεται και γεμίζεται σε τούνελ παστερίωσης (Chang & Wasser, 2017). Η 2^η φάση είναι αυτή της παστερίωσης όπου πρέπει να θανατωθούν οι ανεπιθύμητοι μικροοργανισμοί της κομπόστας. Αυτή η διαδικασία γίνεται σε δωμάτιο ατμού, όπου η θερμοκρασία του αέρα είναι στους 60⁰C για τουλάχιστον 4 ώρες. Η θερμοκρασία μετά πέφτει στους 50⁰C για 8-72 ώρες αναλόγως της φύσης της κομπόστας. Τα επίπεδα του CO₂ διατηρούνται στο 1,5-2% και τα επίπεδα της αμμωνίας πέφτουν κάτω των 10ppm (Chang & Wasser, 2017). Μετά τη 2^η φάση ακολουθεί η επώαση, στην οποία γίνεται εμβολιασμός με το μυκήλιο του μανιταριού σε σακίδια πολυπροπυλενίου και διατηρούνται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (θερμοκρασία 25-27⁰C, σχετική υγρασία >90%) σε δωμάτιο καλλιέργειας. Για να γίνει η αποίκιση του μυκηλίου χρειάζονται 12-14 ημέρες (Gupta et al., 2018). Έπειτα, ακολουθεί μια 2^η επώαση (7 ημέρες) στην οποία γίνεται επιχωμάτωση του υποστρώματος με επίστρωμα 4-5cm μείγματος τύρφης και ασβεστόλιθου (casing) και ανάπτυξη του μυκηλίου στο υλικό επικάλυψης στις ίδιες συνθήκες με την 1^η επώαση (Gupta et al., 2018). Τέλος, ακολουθεί η ανάπτυξη των καρποφοριών (10 μέρες), κατά την οποία η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται στους 16-18⁰C, η περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂ πέφτει κάτω από 800ppm και η σχετική υγρασία είναι στους

85%. Η ανάπτυξη των μυκηλίων εμφανίζεται 3-4 μέρες μετά τις αλλαγές των συνθηκών και ποτίζονται μέχρι τη συγκομιδή.

2.3.3 Καλλιέργεια *Pleurotus ostreatus*

Το μανιτάρι *Pleurotus ostreatus* δεν απαιτεί τόσο εξειδικευμένα υποστρώματα όπως το *Agaricus bisporus*, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορα υποστρώματα από γεωργικά απόβλητα όπως άχυρα δημητριακών, πολτός ζαχαροκάλαμου (bagasse), πριονισμένη σκόνη, ξερά χόρτα, πεταμένα χαρτιά (Gupta et al., 2018). Ένα από τα πιο κοινά υποστρώματα που χρησιμοποιείται είναι ένα μείγμα φλοιών βαμβακόσπορου και άχυρων δημητριακών καθώς έχει μεγάλη ικανότητα να συγκρατεί νερό (Sánchez, 2010). Η παστερίωση του υποστρώματος μπορεί να γίνει είτε με ατμό είτε με θερμό νερό. Η χημική παστερίωση οδηγεί και αυτή σε θανάτωση των ανεπιθύμητων μυκήτων αλλά η χρήση της υποβαθμίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μανιταριών (Gupta et al., 2018). Η παστερίωση σε μικρές φάρμες παραγωγής μανιταριών πραγματοποιείται με την πλήρωση των συστατικών σε περιστρεφόμενους αναμικτήρες, συμπλήρωση νερού στα επιθυμητά επίπεδα και την έγχυση του ατμού στο μίξερ ενώ είναι σε λειτουργία (Roysse, 2007). Η παστερίωση γίνεται στους 60°C για 1 ή 2 ώρες. Μετά την παστερίωση, το υπόστρωμα ψύχεται και ακολουθεί ο εμβολιασμός του με το επιθυμητό στέλεχος σε διαφανείς ή μαύρες διάτρητες σακούλες πολυαιθυλενίου. Στη συνέχεια, οι σακούλες επωάζονται στους 25°C για 12 με 14 ημέρες (Roysse, 2007). Το μανιτάρι αρχίζει να σχηματίζεται γύρω από τις άκρες της σακούλας. Οι σακούλες διατηρούνται κάτω υπό βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας (22-26°C), υγρασίας (80-85%) και άλλες συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη του μυκηλίου, καθώς και σε συνθήκες που ευνοούν την καρποφορία (Sánchez, 2010). Η διατήρηση της υγρασίας επιτυγχάνεται ψεκάζοντας νερό 2-3 φορές την ημέρα και με την κατάλληλη επάρκεια αερισμού του χώρου για την κυκλοφορία του αέρα (Gupta et al., 2018). Τα μανιτάρια συλλέγονται από το υπόστρωμα περίπου 3-4 εβδομάδες μετά την ωοτοκία (spawning) ανάλογα με το στέλεχος, την ποσότητα του υποστρώματος και την θερμοκρασία που έγινε η ωοτοκία (Sánchez, 2010). Σε κανονικές θερμοκρασίες δωματίου, τα φρέσκα μανιτάρια μπορούν να αποθηκευτούν για 2-3 μέρες χωρίς αλλοίωση, ενώ τα αποξηραμένα μανιτάρια *Pleurotus* μπορούν να αποθηκευτούν για 4-6 μήνες χωρίς να χάσουν τις αρχικές τους ιδιότητες (Gupta et al., 2018).

2.3.4 Καλλιέργεια *Lentinula edodes*

Τα μανιτάρια *Lentinula edodes* καλλιεργούνταν παραδοσιακά σε ξύλινα κούτσουρα για πολλούς αιώνες στην Κίνα και σε άλλες χώρες της Ασίας, όμως τα τελευταία χρόνια η καλλιέργεια γίνεται σε συνθετικά κούτσουρα παραμερίζοντας τον παραδοσιακό τρόπο (Gupta et al., 2018). Το βασικό συστατικό για την παρασκευή των συνθετικών κούτσουρων είναι το πριονίδι που προέρχεται από τα πλατύφυλλα δέντρα όπως η λεύκα, το μάνγκο, ο δρυς, ο σφένδαμος. Για να παρασκευαστεί το συνθετικό κούτσουρο αναμειγνύεται το πριονίδι με πίτουρο σιταριού ή πίτουρο ρυζιού σε αναλογίες 80:20 και προστίθεται και μικρή ποσότητα ανθρακικού ασβεστίου για να διατηρηθεί το pH κάτω από 7. Αφού ετοιμαστεί το υπόστρωμα στη συνέχεια συμπληρώνονται οι σακούλες πολυπροπυλενίου και αποστειρώνονται στους 121⁰C για 2 ώρες και σε συνθήκες πίεσης 22psi και μετά ψύχεται (Chang & Wasser, 2017). Έπειτα, ακολουθεί ο εμβολιασμός με σιτάρι κάτω από ασηπτικές συνθήκες. Στη συνέχεια οι σακούλες σφραγίζονται και οδηγούνται σε ειδικά δωμάτια επώασης σε σταθερή θερμοκρασία 22-26⁰C για 90 μέρες για να αποικηθούν πλήρως τα μείγματα πριονιδιού. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία πρέπει να είναι 18-20⁰C και τουλάχιστον 85% αντίστοιχα μέχρι την ωρίμανση των καρπών. Τα συλλεγμένα μανιτάρια μπορούν να διατηρηθούν στους 18-20⁰C για 3-4 μέρες και στους 4-6⁰C για 14 μέρες. Επίσης, αν ακολουθήσει και ξήρανση τα μανιτάρια μπορούν να αποθηκευτούν μέχρι και για 1 χρόνο (Gupta et al., 2018). Το κύριο πλεονέκτημα της καλλιέργειας με συνθετικό κούτσουρο είναι ο σύντομος χρόνος που διαρκεί η καλλιέργεια και η μεγάλη απόδοση που έχει (Sánchez, 2004).

2.4 Σύσταση μανιταριών

Τα μανιτάρια είναι υγιεινά τρόφιμα υψηλής διατροφικής αξίας που είναι πλούσια σε πρωτεΐνες, αλλά αποτελούν και πηγή βιολογικά ενεργών ουσιών ιατρικής αξίας. Τα μανιτάρια μπορούν να θεωρηθούν και λειτουργικά τρόφιμα εξαιτίας των φαρμακευτικών ιδιοτήτων, καθώς βοηθούν και προλαμβάνουν διάφορες ασθένειες. Τα μανιτάρια μπορούν να καταναλωθούν και ως συμπληρώματα διατροφής τα οποία έχουν αντικαρκινικές, αντιικές, ανοσοπροστατευτικές, ηπατοπροστατευτικές, βιοδραστικές ιδιότητες όπως αντιφλεγμονώδεις, αντιδιαβητικές, αντιαλλεργικές, καρδιαγγειακές προστατευτικές, αντιχοληστερολαιμικές, αποτοξινωτικές, αντιμικροβιακές, αντιο-

ξειδωτικές, πρεβιοτικές δράσεις (Chang, 2008). Αποτελούνται στην πλειοψηφία τους από νερό σε ποσοστό 70-95%, ενώ η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των καλλιεργημένων μανιταριών κυμαίνεται από 19% μέχρι 35% σε ξηρή βάση καθιστώντας τα ψηλότερα από πολλά τρόφιμα, όπως το γάλα και χαμηλότερα από το κρέας όσον αφορά στην περιεκτικότητά τους σε ακατέργαστη πρωτεΐνη. Ακόμα τα μανιτάρια αποτελούν πηγή και άλλων συστατικών όπως λιπιδίων, φωσφόρου, σιδήρου, βιταμινών, καλίου, ενώ είναι χαμηλά σε θερμίδες, υδατάνθρακες και ασβέστιο.

2.4.1 Πρωτεΐνες και αμινοξέα

Σύμφωνα με τη Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO 1991), οι πρωτεΐνες των μανιταριών έχουν καλύτερη θρεπτική αξία από αυτές των λαχανικών. Επίσης οι πρωτεΐνες των μανιταριών περιέχουν και τα εννιά αμινοξέα που είναι απαραίτητα στη διατροφή των ανθρώπων (Chang, 2008). Οι πρωτεΐνες των μανιταριών είναι πλούσιες στα αμινοξέα θρεονίνη (41-95 mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση), βαλίνη (36-89mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση), γλουταμινικό οξύ (130-240mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση), ασπαρτικό οξύ (91-120mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση) και αργινίνη (37-140mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση), αλλά φτωχές σε μεθειονίνη (1,2-22mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση) και κυστεΐνη (16-19mg/g πρωτεΐνης σε ξηρή βάση) (Cheung, 2010). Οι Ayaz *et al* (2011) μελέτησαν το συνολικό περιεχόμενο των αμινοξέων σε 11 διαφορετικά μανιτάρια. Από τη μελέτη τους παρατήρησαν ότι τα αμινοξέα που βρίσκονταν σε μεγαλύτερη συγκέντρωση ήταν το γλουταμινικό οξύ, το ασπαρτικό οξύ και η λευκίνη. Ειδικά το γλουταμινικό οξύ αποτελεί το 14,7% των συνολικών αμινοξέων.

2.4.2 Λίπος

Το περιεχόμενο σε λίπος είναι χαμηλό στα μανιτάρια σε σχέση με τα άλλα θρεπτικά συστατικά και κυμαίνεται από 0,11-8,02g/100g ξηρής βάσης σε διάφορα είδη μανιταριών (Barroetaveña & Toledo., 2017). Το λίπος των μανιταριών αποτελείται από ελεύθερα λιπαρά οξέα, μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, τριγλυκερίδια, στερόλες και φωσφολιπίδια. Παρόλο που έχουν εντοπιστεί πολλά λιπαρά οξέα στα λιπίδια των μανιταριών, τα 2/3 του συνολικού βάρους των λιπαρών οξέων απαρτίζονται από το λινολεϊκό και το ελαϊκό οξύ (Kalač, 2013). Οι Yilmaz *et al* (2006) μελέτησαν τις συνθέσεις των λιπαρών οξέων σε 7 είδη μανιταριών. Από τα πειράματά τους βρήκαν ότι

τα ακόρεστα λιπαρά οξέα βρισκόντουσαν σε μεγαλύτερα ποσοστά από τα κορεσμένα. Το λινολεϊκό οξύ βρέθηκε σε μεγαλύτερη συγκέντρωση από τα υπόλοιπα λιπαρά οξέα σε όλα τα μανιτάρια. Τα υπόλοιπα λιπαρά οξέα που βρέθηκαν σε μεγάλες ποσότητες ήταν το παλμιτικό, το ελαϊκό, το στεατικό και το αραχιδικό οξύ. Το λινολενικό οξύ κυμαινόταν από 0,121-1,64% στα μανιτάρια και ήταν συγκριτικά πολύ χαμηλό σε σχέση με τα άλλα λιπαρά οξέα. Σε όλα τα μανιτάρια βρέθηκαν σημαντικές ποσότητες απαραίτητων λιπαρών οξέων. Το λινολεϊκό οξύ βρέθηκε σε ποσοστά 46,6%, 59,5%, 49,6% στα *P.ostreatus*, *C.comatus*, *A.mellea* αντίστοιχα, ενώ το ελαϊκό οξύ βρέθηκε σε ποσοστά 59%, 30,29%, 20,8% στα *O.radicata*, *B.edulis*, *P.ostreatus* αντίστοιχα. Εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων και ειδικά του λινολεϊκού, τα μανιτάρια θεωρούνται αναγκαία στη διατροφή του ανθρώπου, καθώς η πρόσληψη του α-λινολενικού και άλλων ω-3 λιπαρών οξέων βοηθούν στη μείωση του παράγοντα κινδύνου για εμφάνιση καρδιαγγειακών νοσημάτων (*Mozaffarian et al., 2005*).

2.4.3 Υδατάνθρακες και διαιτητικές ίνες

Οι υδατάνθρακες αποτελούν περίπου το μισό της ξηρής βάσης στα μανιτάρια με κύριους εκπροσώπους τα σάκχαρα (μονοσακχαρίτες, τα παράγωγά τους και ολιγοσακχαρίτες) και τους πολυσακχαρίτες (*Kalač, 2013*). Η συνολική περιεκτικότητα των υδατανθράκων συμπεριλαμβανομένου αυτών που μπορούν να χωνευτούν και των άπεπτων κυμαίνεται από 35-70% σε ξηρή βάση (*Mau et al., 2001*). Οι υδατάνθρακες που μπορούν να υποστούν τη διαδικασία της πέψης όπως η μαννιτόλη και η γλυκόζη βρίσκονται σε πολύ χαμηλά ποσοστά κάτω του 1% επί ξηρής βάσης. Έτσι, οι υδατάνθρακες των μανιταριών δεν θεωρούνται σημαντική πηγή ενέργειας από τους ανθρώπους (*Cheung, 2010*). Οι *Mau et al (2001)* βρήκαν ότι η περιεκτικότητα των υδατανθράκων ήταν υψηλή στα *D.indusiata* (67%) και *T.giganteum* (70,1%) και χαμηλή στα *G.fondosa* (58,8%) και *H.erinaceus* (57,2%). Οι άπεπτοι υδατάνθρακες περιλαμβάνουν ολιγοσακχαρίτες όπως η τρεαλόζη και μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες όπως η χιτίνη, β-γλυκάνες, γλυκογόνο και μαννίνες. Οι μη αμυλούχοι υδατάνθρακες μπορούν να θεωρηθούν ως διαιτητικές ίνες, οι οποίες ενδέχεται να έχουν ψυχολογικά οφέλη στους ανθρώπους και είναι οι γλυκάνες και μαννάνες (*Cheung, 2010*). Γενικά, 100g φρέσκων μανιταριών παρέχουν μεταξύ 5-25% της συνιστώμενης διατροφικής πρόσληψης σε διαιτητικές ίνες (*Manzi et al., 2001*).

2.4.4 Βιταμίνες

Τα μανιτάρια περιέχουν διάφορες βιταμίνες του Β-συμπλέγματος όπως η θειαμίνη (B₁), η ριβοφλαβίνη (B₂), η νιασίνη (B₃) και φολικό οξύ (B₉). Επίσης περιέχουν και άλλες χημικές ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση όπως η εργοστερόλη (πρόδρομη της βιταμίνης D), β-καροτίνη (πρόδρομος της προβιταμίνης A), τοκοφερόλες (βιταμίνη E) και ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) (Barroetaveña & Toledo, 2017). Επιπλέον τα μανιτάρια είναι η μοναδική φυτική πηγή που περιέχει βιταμίνη D. Σύμφωνα με τους Mattila et al (2001) η περιεκτικότητα της ριβοφλαβίνης στα μανιτάρια ήταν υψηλότερη από αυτήν που απαντάται γενικά στα λαχανικά στο *A.bisporus* η περιεκτικότητα ήταν όση στα αυγά και στο τυρί. Η *L.edodes* και το *P.ostreatus* είχαν χαμηλότερα ποσοστά ριβοφλαβίνης από το *A.bisporus*. Η περιεκτικότητα ριβοφλαβίνης ήταν 2,5mg/100g ξηρής βάσης, 5,1mg/100g ξηρής βάσης και 1,8mg/100g ξηρής βάσης για το *P.ostreatus*, το *A.bisporus* και τη *L.edodes* αντίστοιχα. Όλα τα μανιτάρια ήταν πλούσια σε νιασίνη με το *P.ostreatus* να περιέχει την περισσότερη (65mg/100g ξηρής βάσης) σε σχέση με τα υπόλοιπα μανιτάρια, ενώ η χαμηλότερη περιεκτικότητα βρέθηκε στη *L.edodes* (31mg/100g ξηρής βάσης). Τα μανιτάρια περιέχουν μικρές ποσότητες βιταμίνης C και B₁, ενώ οι βιταμίνες B₁₂ και D₂ βρίσκονται σε ίχνη. Η περιεκτικότητα της βιταμίνης C είναι 17mg/100g ξηρής βάσης και 25mg/100g ξηρής βάσης στα *A.bisporus* και *L.edodes* αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα της βιταμίνης D είναι σχεδόν μηδαμινή στα καλλιεργημένα μανιτάρια, αλλά η περιεκτικότητα της εργοστερόλης μιας προβιταμίνης της εργοκαλσιφερόλης (D₂) είναι σχετικά υψηλά (400-600mg/100g ξηρής βάσης). Η εργοκαλσιφερόλη μπορεί να μετατραπεί σε βιταμίνη D με την παρουσία ακτινοβολίας (Cheung et al 2010).

2.4.5 Μέταλλα και ιχνοστοιχεία

Τα μανιτάρια είναι πλούσια σε μέταλλα με τα πιο διαδεδομένα να είναι το κάλιο και ο φώσφορος. Επίσης περιέχουν χλώριο, θείο, σίδηρο, χαλκό, σελήνιο, μαγγάνιο, ψευδάργυρο και μαγνήσιο ενώ το ασβέστιο και το νάτριο απαντώνται σε μικρότερα ποσοστά (Kalač, 2013). Η περιεκτικότητα καλίου και φωσφόρου ήταν χαμηλότερη στη *L.edodes* σε σχέση με τα άλλα μανιτάρια, ενώ η περιεκτικότητα νατρίου ήταν υψηλότερη στο *A.bisporus* σε σχέση με το *P.ostreatus* και τη *L.edodes*. Το κάλιο βρέθηκε σε μεγαλύτερα ποσοστά στο *A.bisporus* σε σχέση με τα άλλα μανιτάρια, ενώ

τα ποσοστά του μαγνησίου ήταν σχεδόν ίδια σε όλα ταμανιτάρια (Mattila et al., 2001). Τα συνηθέστερα ιχνοστοιχεία που βρίσκονται σταμανιτάρια είναι το αργίλιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το σελήνιο, το κάδμιο, ο μόλυβδος (Kalač, 2013). Ειδικά, για το κάδμιο και το μόλυβδο υπάρχει ιδιαίτερη ανησυχία από τις υγειονομικές αρχές, καθώς αν ταμανιτάρια αναπτυχθούν σε υποστρώματα που υπάρχουν μεγάλες ποσότητες αυτών των ιχνοστοιχείων μπορεί να είναι επιβλαβή για την υγεία των καταναλωτών. Συγκεκριμένα, η *L.edodes* αποδείχθηκε ότι συσσωρεύει το περισσότερο κάδμιο από τα υπόλοιπαμανιτάρια και μάλιστα είχε φτάσει το όριο (0,1 mg/kg) που είχαν θεσπίσει οι αρχές στα λαχανικά (Mattila et al., 2001).



Εικόνα 2.3: Θρεπτικά συστατικά διάφορων εδώδιμωνμανιταριών (mg/100g ξηρής βάσης) (Gbolagade 2006; Dundar et al., 2008).

2.5 Τρόποι αλλοίωσης τωνμανιταριών

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε μερικούς από τους τρόπους αλλοίωσης τωνμανιταριών. Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι ταμανιτάρια αποτελούνται από πυκνά συσκευασμένα λεπτά νήματα γνωστά ως υφές, τα οποία μαζί σχηματίζουν ένα μυκήλιο. Οι εξειδικευμένες υφές, που ονομάζονται σποροφόρα, παράγουν σπόρια που διασπείρονται με διάφορους τρόπους. Μια ώριμη υφή σχηματίζει καρπούς που, στις περισσότερες περιπτώσεις, προεξέχουν από την επιφάνεια του υποστρώματος. Οι καρποφορίες τωνμανιταριών αποτελούνται από δύο βασικά μέρη το σωρό και το στέλεχος, τα οποία μπορούν να λάβουν διάφορα σχήματα, μεγέθη και χρώματα.

Αναφορικά με τη διάρκεια ζωής των φρέσκωνμανιταριών, αυτή περιορίζεται σε 1 έως 3 ημέρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε 4 έως 7 ημέρες στους 4°C. Οι κύριες διαδικασίες που ευθύνονται για την απώλεια της αισθητικής ποιότη-

τας των μανιταριών είναι το μαύρισμα και οι αλλαγές στην υφή του. Η γρήγορη φθορά των μανιταριών προκαλείται κυρίως από την υψηλή μεταβολική τους δραστηριότητα, τον ρυθμό αναπνοής και την αφυδάτωση (*Ares et al. (2007)*).

2.5.1 Ρυθμός αναπνοής

Τα μανιτάρια είναι μεταβολικά ενεργά για μεγάλες περιόδους μετά τη συγκομιδή. Η αναπνοή είναι μια μεταβολική διαδικασία που παρέχει την ενέργεια για βιοχημικές διεργασίες. Η αερόβια αναπνοή συνίσταται στην οξειδωτική διάσπαση οργανικών αποθεμάτων (κυρίως υδατανθράκων, λιπιδίων και οργανικών οξέων) σε απλούστερα μόρια, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού, με απελευθέρωση ενέργειας, κατανάλωση οξυγόνου σε μια σειρά ενζυματικών αντιδράσεων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η αναπνοή καθορίζει τη ζήτηση των οργανικών πόρους, ο ρυθμός αναπνοής μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο της μεταβολικής δραστηριότητας του μανιταριού. Στην περίπτωση των μανιταριών, το συλλεγόμενο σποροφόρο του καλλιεργούμενου μανιταριού υφίσταται μια πορεία ανάπτυξης και γήρανσης πολύ παρόμοια με αυτή ενός αναπτυσσόμενου καρπού.

Ωστόσο, υποστρώματα μυκηλιακής προέλευσης δεν είναι πλέον διαθέσιμα για κομμένα σποροφόρα, τα οποία επομένως υποστηρίζονται μόνο από οργανικά αποθέματα (*Banner et al. 1956*). Ως εκ τούτου, ο ρυθμός αναπνοής είναι σημαντικός για τον προσδιορισμό του ρυθμού φθοράς και της έναρξης της γήρανσης στα καλλιεργούμενα μανιτάρια. Επομένως, ο ρυθμός αναπνοής είναι ανάλογος με το ρυθμό φθοράς του προϊόντος και αντιστρόφως ανάλογος με τη διάρκεια ζωής του.

Ο ρυθμός αναπνοής των νωπών προϊόντων εκφράζεται συνήθως ως ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου ή ρυθμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα. Η αναλογία του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα προς το οξυγόνο που καταναλώθηκε, γνωστό ως αναπνευστικό πηλίκιο (RQ), είναι ενδεικτική του είδους του μεταβολισμού στο προϊόν. Ένα RQ κοντά στο 1,0 είναι ενδεικτικό της αερόβιας αναπνοής, ενώ ένα RQ μεγαλύτερο από 1,0 μπορεί να υποδηλώνει αναερόβιο μεταβολισμό (*Fonseca et al. 2002*).

Ακόμη, ο ρυθμός αναπνοής των μανιταριών έχει προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας κλειστά συστήματα. Ειδικότερα, τα μανιτάρια τοποθετούνται σε κλειστά αεροστεγή δοχεία και αποθηκεύονται σε χώρο ελεγχόμενης θερμοκρασίας. Η ατμόσφαιρα μέσα στα βάζα τροποποιείται ως συνέπεια του ρυθμού αναπνοής των μανιτα-

ριών. Ως εκ τούτου, η σύνθεση της ατμόσφαιρας προσδιορίζεται περιοδικά και ο ρυθμός αναπνοής υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή στη συγκέντρωση οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα με το χρόνο αποθήκευσης.

Γενικά, είναι ευρέως γνωστό το γεγονός ταμανιτάρια παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό αναπνοής σε σύγκριση με άλλα φρούτα και λαχανικά. Ο ρυθμός αναπνοής των φρέσκωνμανιταριών στον αέρα στους 10°C κυμαίνεται από 17,8 έως 178 CO₂ kg⁻¹ s⁻¹, ανάλογα με τα είδημανιταριών που εξετάζονται σε κάθε περίπτωση.

Οι παραπάνω μελέτες ανέφεραν ρυθμό παραγωγής τουμανιταριού τον ακόλουθο: CO₂ 20,0 μg CO₂ kg⁻¹ s⁻¹, 39,6 mgCO₂ kg⁻¹ s⁻¹ και 49,2 μgCO₂ kg⁻¹ s⁻¹ αποθηκευμένο στον αέρα στους 0, 4 και 7°C αντίστοιχα. *Parentelli et al.* (2007)

2.5.2 Αφυδάτωση

Σε αυτή την υποενότητα θα αναφερθούμε στην αφυδάτωση τωνμανιταριών. Αρχικά, ταμανιτάρια προστατεύονται μόνο από μια λεπτή και πορώδη επιδερμική δομή, χωρίς την εξειδικευμένη επιδερμική δομή των ανώτερων φυτικών ιστών. Αυτό το επιδερμικό στρώμα δεν αποφεύγει μια γρήγορη επιφανειακή αφυδάτωση που προκαλεί σημαντικές απώλειες ποιότητας. Επιπλέον, η απώλεια νερού από την καλλιέργειαμανιταριών ήταν συγκρίσιμη με εκείνη από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι το 90% του βάρους τωνμανιταριών κατά τη συγκομιδή είναι νερό. *Nichols et al.* (1985)

2.5.3 Μαύρισμα Μανιταριών (Browning)

Το μαύρισμα τωνμανιταριών (browning) είναι μια σημαντική αιτία απώλειας ποιότητας κατά την αποθήκευση μετά τη συγκομιδή. Το καφέ χρώμα εμφανίζεται ως αποτέλεσμα δύο διακριτών μηχανισμών οξείδωσης της φαινόλης:

1. Ενεργοποίηση της τυροσινάσης, ενός ενζύμου που ανήκει στην οικογένεια των πολυφαινολοοξειδασών.
2. Αυθόρμητη οξείδωση.

Αναλυτικότερα, η τυροσινάση οξειδώνει ορισμένες μονοφαινόλες σε οδιφαινόλες και στη συνέχεια οι πρώτες οξειδώνονται σε κινίνες, οι οποίες πολυμερίζονται αυθόρμητα για να σχηματίσουν καφέ, μαύρες ή κόκκινες χρωστικές. Ως αποτέλεσμα της γήρανσης, οι κυτταρικές μεμβράνες διαταράσσονται και η διαμερισμα-

τοποίηση χάνεται, επιτρέποντας στα ένζυμα και τα υποστρώματα να αναμειχθούν, επιταχύνοντας το μαύρισμα (*Jolivet et al.* 1998).

2.5.4 Αλλαγές στην υφή του μανιταριού

Η υφή είναι μία εκ των σημαντικότερων παραμέτρων ποιότητας για τα φρέσκα μανιτάρια. Μία από τις κύριες αλλαγές που σχετίζονται με την αλλοίωση των μανιταριών είναι οι αλλαγές στην υφή τους. Η γήρανση μετά τη συγκομιδή σε μια ποικιλία προϊόντων συνοδεύεται από αλλαγές στα χαρακτηριστικά της κυτταρικής μεμβράνης. Το μαλάκωμα ή η απώλεια σταθερότητας των μανιταριών κατά την αποθήκευση μετά τη συγκομιδή έχει αποδοθεί σε αλλαγές στη μεμβράνη. Σε συνέχεια των προηγουμένων, έχει παρατηρηθεί αύξηση της συνοχής παράλληλα με τον χρόνο αποθήκευσης αυτών. Αυτή η τάση έχει εξηγηθεί από την αύξηση της περιεκτικότητας σε χιτίνη και το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών μεταξύ χιτίνης και R-γλυκάνης, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ακαμψία του τοιχώματος της υφής του μανιταριού (*Zivanovic et al.* 2000).

2.6 Τρόποι συντήρησης

2.6.1 Ψύξη

Ένας τρόπος συντήρησης των μανιταριών είναι η ψύξη τους σε χαμηλή θερμοκρασία. Ειδικότερα, ο βαθμός λευκότητας των μανιταριών είναι μια από τις σημαντικότερες πτυχές που καθορίζουν την ποιότητα τους. Σχετικές δοκιμές όπως αναφέρονται και στην μελέτη του έδειξαν ότι η αποθήκευση των μανιταριών σε ψύξη (1 °C) αναλογικά με το χρόνο κατάψυξης μετά τη συγκομιδή τους, όσο και με το χρόνο μεταφοράς τους είχαν σημαντική επίδραση στη λευκότητα, τόσο στο σημείο αφαίρεσης, όσο και κατά τη διάρκεια της επακόλουθης αποθήκευσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Γενικότερα, όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ψύξης σε μια δεδομένη περίοδο ημερών τόσο πιο λευκά είναι τα μανιτάρια.

Πιο συγκεκριμένα, ο ρυθμός απώλειας λευκότητας στη θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν παρόμοιος ανεξάρτητα από το αν τα μανιτάρια αποθηκεύτηκαν (1 °C) για καμία ή έντεκα (11) ημέρες, ενώ στο πείραμα που διεξήχθη ο συνδυασμός θερμοκρασιών με τα βέλτιστα αποτελέσματα ήταν η ψύξη για πέντε (5) ημέρες στον 1 °C και στη συνέχεια για δύο ημέρες στη συντήρηση στους 20 °C *Gormley et al.* (1975)

2.6.2 Κατάψυξη

Ένας άλλος τρόπος συντήρησης των μανιταριών είναι η κατάψυξή τους. Αναλυτικότερα, η κατάψυξη είναι η καλύτερη μέθοδος επεξεργασίας για τη διατήρηση της φυσικής γεύσης και του αρώματος των μανιταριών. Είναι αποδεκτό ότι η θρεπτική αξία των κατεψυγμένων προϊόντων υπερβαίνει αυτή των αποστειρωμένων τροφίμων. Κατά την κατάψυξη των μανιταριών στους -30°C , δεν βρέθηκαν αλλαγές στο επίπεδο των βασικών πτητικών ενώσεων. Ακόμη αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι, ανεξάρτητα από τη μέθοδο κατάψυξης, τα βρώσιμα μανιτάρια πρέπει να φυλάσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και να χρησιμοποιούνται σακούλες πολυαιθυλενίου για τη συσκευασία τους. (*Horubala et al. 1978; Bernas et al 2006*).

2.6.2.1 Πλύση με μεταδιθειώδη διάλυμα και κατάψυξη

Σε αυτή τη μέθοδο συντήρησης που εξετάζεται τα μανιτάρια, αρχικά και πριν εισαχθούν στην κατάψυξη, πλένονται σε διαλύματα που περιέχουν μεταδιθειώδη, και αυτή η προκαταρκτική επεξεργασία εφαρμόζεται για την πρόληψη δυσμενών αλλαγών στο χρώμα και την υφή τους.

Τα αποτελέσματα της μελέτης του ερευνητή *Czapski et al.* (2000) δείχνουν ότι, σε αντίθεση με τη λεύκανση στο νερό, η λεύκανση με την προσθήκη μεταδιθειωδών επηρεάζει ευνοϊκά το χρώμα τους κατά τη διάρκεια αποθήκευσης 3 μηνών. Ενώ ακόμη καλύτερα αποτελέσματα, έδωσε η πλύση σε διάλυμα μεταδιθειώδους νατρίου ακολουθούμενη από βύθιση σε ζεστό νερό για 20 δευτερόλεπτα πριν από την κατάψυξη και συγκριτικά με την πλύση σε νερό ή σε διάλυμα μεταδιθειώδους νατρίου, επιτρέπει τη παραγωγή προϊόντων μανιταριών με καλύτερη υφή, ακόμη και μετά από 3 μήνες αποθήκευσης στη κατάψυξη.

2.6.2.2 Διάλυμα κιτρικού οξέος 1% και διάλυμα επιτραπέζιου αλατιού 2% πριν από την κατάψυξη

Ακόμη αξίζει να σημειωθεί ότι από του πείραμα των *Sobkowska et al 1974* βρέθηκε ότι η λεύκανση των μανιταριών σε διάλυμα κιτρικού οξέος 1% και διάλυμα επιτραπέζιου αλατιού 2% πριν από την κατάψυξη είχε ως αποτέλεσμα ένα προϊόν φτωχότερης σύστασης, γεύσης και αρώματος σε σύγκριση με το μη λευκασμένο υλικό.

2.6.3 Κρυογονική μέθοδο

Μία ακόμη μέθοδος που επιφέρει καλά αποτελέσματα, είναι η κατάψυξη μανιταριών χρησιμοποιώντας την κρυογονική μέθοδο η οποία επιτρέπει την απόκτηση ενός προϊόντος υψηλότερης ποιότητας με καλή συνοχή και έντονη γεύση και άρωμα μανιταριού. Η κρυογονική κατάψυξη - μέθοδος (σε υγρό άζωτο) πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες από -80°C έως -100°C για 5-6 λεπτά επιτρέπουν την επέκταση της περιόδου αποθήκευσης έως και ένα έτος (Kondratowicz *et al.* 2000).

2.6.4 Ξήρανση

Η παλαιότερη και απλούστερη μέθοδος επεξεργασίας μανιταριών είναι η ξήρανση. Λόγω της ταχείας σκουρόχρωμης στοίβας κατά την παραδοσιακή ξήρανση, χρησιμοποιείται θερμοκρασία 40°C στην αρχή, ακολουθούμενο από $50-60^{\circ}\text{C}$ προς το τέλος (Achremowicz *et al.* 1984).

Τα σωστά αποξηραμένα μανιτάρια χαρακτηρίζονται από ευχάριστη γεύση και τραγανότητα, καθώς η περιεκτικότητά τους σε νερό δεν υπερβαίνει το 12%. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με έκρηξη συμβαίνουν πολυάριθμες αλλαγές τόσο στην εμφάνιση όσο και στη χημική σύνθεση του μανιταριού, με σημαντική μείωση στο επίπεδο της βιταμίνης C. Λόγω της συγκέντρωσης των χημικών συστατικών, τα αποξηραμένα μανιτάρια παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε κάλιο και μέση περιεκτικότητα σε μαγνήσιο και σίδηρο.

2.6.4.1 Ξήρανση στο κενό με μικροκύματα

Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός πως εκτός από την παραδοσιακή ξήρανση – η οποία αναφέρεται παραπάνω, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ξήρανση στο κενό με θέρμανση μικροκυμάτων. Συγκριτικά με την κλασσική ξήρανση, αυτή η μέθοδος αποδίδει αποξηραμένα μανιτάρια καλύτερης γενικής εμφάνισης, χρώματος και συνοχής, με μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού, σχεδόν 100%.

2.6.4.2 Ξήρανση με κατάψυξη – λυοφιλίωση

Η μέθοδος της ξήρανση με κατάψυξη επιτρέπει στα μανιτάρια να διατηρήσουν το φυσικό τους σχήμα και μέγεθος. Η ξήρανση με κατάψυξη του μανιταριού έχει σημαντική επίδραση στην περιεκτικότητα σε αρωματικές ενώσεις. Σημαντικά αποτελέσματα επιτυγχάνονται με τη χρήση λυοφιλοποίησης. Σύμφωνα με τους Fang *et al.* [1971], αυτή η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην ξήρανση του μανιταριού και πε-

ριορίζει τη δράση της πολυφαινολοοξειδάσης, παράγοντας αποξηραμένα μανιτάρια ανοιχτού χρώματος, το επίπεδο των οποίων μειώνεται δραστικά κατά 70 - 78%.

2.6.5 Κονσερβοποίηση

Μία ακόμη χρήσιμη μέθοδος συντήρησης είναι πως τα αφαλατωμένα μανιτάρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κονσερβοποίηση σε αεροστεγή δοχεία. Οι βέλτιστες συνθήκες για την αποστείρωση των μανιταριών είναι η θερμοκρασία 118-121°C για 20 λεπτά. Η προεπεξεργασία του μανιταριού πριν από την αποστείρωση παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της καλής ποιότητας του κονσερβοποιημένου τελικού προϊόντος. Ειδικότερα, τα μέτρα που εφαρμόζονται πιο συχνά στην προεπεξεργασία είναι το μούλιασμα και η λεύκανση σε διαλύματα που εμποδίζουν το σκουρόχρωμο των προϊόντων. Ακόμη, η προσθήκη άλμης στην παραγωγή αποστειρωμένων μανιταριών επιφέρει, μεταξύ άλλων επιπτώσεων, μείωση 26-28% των ξηρών στερεών, 12-29% στα συνολικά σάκχαρα, 29-36% των συνολικών οξέων και 24-29% του συνολικού αζώτου σε σύγκριση με την πρώτη ύλη μετά τη διαδικασία της λεύκανση ή τον εμποτισμό. Ένα κριτήριο για τον προσδιορισμό της προέλευσης που χρησιμοποιείται για κονσερβοποιημένα προϊόντα, *δηλαδή αν έχουν χρησιμοποιηθεί φρέσκα ή αφαλατωμένα μανιτάρια*, είναι η περιεκτικότητά τους σε κάλιο. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως και στην περίπτωση των κατεψυγμένων προϊόντων, εξαρτάται κυρίως από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται στην παραγωγή (Czapski *et al* 2003).

2.6.6. Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα

Η τροποποιημένη ατμόσφαιρα μπορεί να οριστεί ως μια ατμόσφαιρα που δημιουργείται με την αλλαγή της κανονικής σύνθεσης του αέρα, προκειμένου να παρέχεται μια κατάλληλη ατμόσφαιρα που περιβάλλει το προϊόν για τη μείωση του ρυθμού φθοράς του και την αύξηση της διάρκειας ζωής του μανιταριού.

Επιπρόσθετα, η χρήση τροποποιημένης ατμόσφαιρας περιλαμβάνει δύο είδη αποθήκευσης:

- Αποθήκευση ελεγχόμενης ατμόσφαιρας
- Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας

Όταν χρησιμοποιείται αποθήκευση ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (MAP), το προϊόν αποθηκεύεται σε ψυκτικούς θαλάμους αποθήκευσης υπό μια ατμοσφαιρική σύνθεση που διατηρείται σταθερή όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Από την άλλη πλευρά, κατά τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, τα φρέσκα προϊόντα συσκευάζονται γενικά σε σάκους από πολυμερικές μεμβράνες, επειδή η ατμόσφαιρα μέσα στη συσκευασία τροποποιήθηκε λόγω δύο διεργασιών: αναπνοή του προϊόντος και διάχυση αερίων μέσω του φιλμ συσκευασίας. Ενώ ακόμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργητική ή η παθητική συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Η ενεργητική τροποποίηση πραγματοποιείται αλλάζοντας τον αρχικό αέρα στη συσκευασία από ένα επιθυμητό μείγμα αερίων, ενώ η παθητική τροποποίηση συμβαίνει όταν το προϊόν συσκευάζεται χρησιμοποιώντας αέρα ως αρχική σύνθεση ατμόσφαιρας συσκευασίας. Στο MAP, η σύνθεση της ατμόσφαιρας της συσκευασίας ενδέχεται να αλλάξει κατά την αποθήκευση. Μπορεί να φτάσει σε μια σταθερή σύνθεση ισορροπίας εάν ο ρυθμός αναπνοής ισούται με το ρυθμό διάχυσης αερίου μετά από μια ορισμένη περίοδο αποθήκευσης. Αν και η αποθήκευση σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα και η συσκευασία αυτής χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχές για την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, η αποθήκευση της χρησιμοποιείται σε μικρότερες ποσότητες προϊόντων από τις συσκευασίες της ελεγχόμενης. Επίσης, η παθητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα εφαρμόζεται επίσης σε μεγαλύτερες ποσότητες όταν το προϊόν συσκευάζεται σε σακούλες παλετών και χάρτινα δοχεία κατά τη μεταφορά και την αποθήκευσή του (*Lee et al.* 1995).

Αξίζει να σημειωθεί πως, τροποποιημένες ατμόσφαιρες πλουσιότερες σε CO₂ και φτωχότερες σε O₂ από τον αέρα, μπορούν δυνητικά να μειώσουν τον ρυθμό αναπνοής, την παραγωγή αιθυλενίου, την ευαισθησία, την αποσύνθεση και τις φυσιολογικές αλλαγές. Η παράταση της διάρκειας ζωής λόγω τροποποιημένης ατμόσφαιρας μπορεί να αποδοθεί κυρίως στη χαμηλή συγκέντρωση O₂ και υψηλή CO₂ στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το προϊόν, η οποία προκαλεί μείωση του ρυθμού αναπνοής και επίσης αναστέλλει τη μικροβιακή ανάπτυξη του.

2.6.6.1 Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα και Ρυθμός Αναπνοής

Η αναπνοή επιβραδύνεται με τη μείωση της συγκέντρωσης O₂. Αυτή η μείωση του ρυθμού αναπνοής ως απόκριση σε χαμηλά επίπεδα O₂ είναι το αποτέλεσμα της μείωσης της δραστηριότητας των οξειδάσεων, όπως η πολυφαινολοοξειδάση, η οξειδάση

του ασκορβικού οξέος και η οξειδάση του γλυκολικού οξέος (Kader 1986). Η μείωση της αναπνοής καθυστερεί την οξειδωτική διάσπαση των σύνθετων υποστρωμάτων που συνθέτουν το προϊόν, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του. Συνήθως, σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας η συγκέντρωση του O₂ διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (1-5%). Ωστόσο, σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα O₂ (<1%), μπορεί να συμβεί αναερόβια αναπνοή, με αποτέλεσμα την καταστροφή των ιστών και την παραγωγή ουσιών που συμβάλλουν σε δυσάρεστες οσμές. Ακόμα, δημιουργεί επίσης έναν πιθανό κίνδυνο για την ανάπτυξη αναερόβιων τροφιμογενών παθογόνων.

Η επίδραση του CO₂ στον ρυθμό αναπνοής εξαρτάται από το προϊόν, το αναπτυξιακό του στάδιο, τη συγκέντρωση CO₂ και τον χρόνο έκθεσης στη τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση CO₂ έχει αναφερθεί ότι έχει ανασταλτική επίδραση στον ρυθμό αναπνοής των μανιταριών. Σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας, η υπερβολική συσσώρευση CO₂ μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην κυτταρική μεμβράνη και φυσιολογικούς τραυματισμούς στο μανιτάρι, όπως σοβαρό ενζυματικό μαύρισμα και απώλεια σφριγηλότητας (Varoquaux *et al.* 1999).

Το CO₂ είναι το μόνο αέριο που χρησιμοποιείται στο MAP που έχει σημαντική και άμεση αντιμικροβιακή δράση. Αναλυτικότερα, έχουν ανεπτυχθεί διαφορετικές θεωρίες για να εξηγήσουν αυτό το αντιμικροβιακό αποτέλεσμα. Γενικά, το CO₂ στο MAP έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη υστέρηση φάσης και χρόνου παραγωγής κατά τη λογαριθμική φάση ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Οι θεωρίες που εξηγούν την αντιμικροβιακή δράση του CO₂ έχουν συνοψιστεί από τον Farber και περιλαμβάνουν: μεταβολή της λειτουργίας της κυτταρικής μεμβράνης συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων στην πρόσληψη και απορρόφηση θρεπτικών συστατικών, άμεση αναστολή των ενζύμων ή/και μείωση του ρυθμού των ενζυμικών αντιδράσεων, διείσδυση στις βακτηριακές μεμβράνες που οδηγεί σε ενδοκυτταρικές αλλαγές του pH και άμεσες αλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες των πρωτεϊνών. Τα αερόβια βακτήρια, όπως η *Pseudomonas*, αναστέλλονται από μέτρια έως υψηλά επίπεδα CO₂ (10-20%), ενώ μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια γαλακτικού οξέος μπορούν να διεγερθούν από υψηλές συγκεντρώσεις CO₂. Τέλος, το άζωτο χρησιμοποιείται στο MAP για να εκτοπίσει το O₂ κατά τη συσκευασία σε ενεργή τροποποιημένη ατμόσφαιρα και χρησιμοποιείται ως πληρωτικό για τη διατήρηση της συμμόρφωσης της συσκευασίας Farber *et al.* 1991.

2.7 Γνωριμία με το μανιτάρι Σιτάκε

Το ιαπωνικό μανιτάρι ξύλου *Lentinula edodes*, που κοινώς αποκαλείται *shiitake*, λέξη που αποτελείται από “*shii*”, το δέντρο *Castanopsis cuspidata* που στους νεκρούς κορμούς του καλλιεργείται, και το συνθετικό το “*take*” από τη λέξη μανιτάρι. Λόγω του τρόπου καλλιέργειας του ονομάζεται επίσης “μανιτάρι δρυός από πριονίδι”, “μανιτάρι μαύρου δάσους”, “μαύρο μανιτάρι”, “μανιτάρι χρυσής βελανιδιάς” ή “μανιτάρι βελανιδιάς”. Ενώ η ελληνική του ονομασία είναι Λεντινούλα. *Wikipedia*; Ρούσσου (2015)

Είναι το δεύτερο είδος μανιταριού που καλλιεργείται συχνότερα στον κόσμο μετά το *Agaricus bisporus* (λευκό μανιτάρι). Θεωρείται φαρμακευτικό μανιτάρι σε ορισμένες μορφές παραδοσιακής ιατρικής. Εμφανίζει, ότι η χοληστερόλη μειώνεται μέσα στο αίμα. Επιπλέον είναι βοηθάει στην καλή λειτουργία της κυκλοφορίας του αίματος. Επιπρόσθετα περιέχουν έναν αριθμό βιταμίνες και συγκεκριμένα θειαμίνη (B1) ριβοφλαβίνη (B2) κοβαλαμίνη (B12) Ρούσσου (2015).

Πρωτεΐνες	13-18%
Νιασίνη	55/100gr
Θρειαμίνη	7.8/100gr
Ριβοφλαβίνη	5.0/100gr
Τέφρα	3.5-6.5%
Ίνες	6-15%
Λιπαρά	2-5%

Πίνακας 2.1 Σύσταση αφυδατωμένης λεντινούλας (Μυλωνά (2015))

ΒΑΣΙΛΕΙΟ	Μύκητες (Fungi)
ΦΥΛΟ	Basidiomycota
ΚΛΑΣΗ	Agaricomycetes
ΤΑΞΗ	Agaricales
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	Marasmiaceae

ΓΕΝΟΣ	Lentirmila
ΕΙΔΟΣ	L. edodes

Πίνακας 2.2 Η ταξινόμηση του μανιταριού L.edodes (Σκλάβος (2015))

Το παρασιτικό, σαπροφυτικό, ομπρελόμορφο, φύεται σε ομάδες Διάμετρος (καπέλου): 2cm – 12cm ύψος: 3cm -10cm Πίλος: σφαιρικός στην αρχή – επίπεδος αργότερα, πιθανή απόχρωση επιδερμίδας πύλου ή πάνω επιφάνειας: καφέ, γκρι : ελαφρό, με ελάσματα, : λευκά, πυκνά, πόδι: χωρίς δακτυλίδι, σπόρια: με λευκό αποτύπωμα, Είναι σκουρόχρωμα έως σκούρο καφέ, με καπάκια που μεγαλώνουν μεταξύ 5 και 10 cm και ευδοκimei σε αποσυντεθειμένα σκληρά ξύλα. Σκλάβος (2015); Παπαδημητρίου (2015)

Παράλληλα όμως διαθέτει μια εξαιρετική και πικάντικη γεύση που το κάνει πολύ δημοφιλέστερο από άλλα είδη και αυξάνει την εμπορική του αξία, να σημειωθεί ότι η γεύση τους είναι 4 έως 10 φορές πιο έντονη από εκείνη ενός απλού άσπρου μανιταριού. Καλλιεργείται κυρίως στην Ιαπωνία σε ποσοστό 83%, τη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας, την Ταϊβάν, τη Ν. Κορέα και τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Αναπτύσσεται στη φύση σε ξύλο πλατύφυλλων κυρίως βελανιδιάς και καστανιάς. Πλέον καλλιεργείται και στην Ελλάδα. Άγρια Μανιτάρια Βοτανα Θεραπειες Μανιταρια

Κεφάλαιο 3: Ωσμωτική αφυδάτωση

3.1 Εισαγωγή

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος προεπεξεργασίας κατά την οποία απομακρύνεται μέρος του νερού, καθώς διαχέεται η υγρασία από το εσωτερικό του τροφίμου μέσω της εμβάπτισής του σε ένα υπερτονικό διάλυμα συνήθως σακχάρων ή αλάτων (*Shi and Xue, 2009; Tortoe, 2010*). Στην ωσμωτική αφυδάτωση γίνεται μεταφορά μάζας με αντίθετη κατεύθυνση όπου λαμβάνουν ταυτόχρονα οι εξής ροές: 1) οι διαλυμένες ουσίες ρέουν από το ωσμωτικό διάλυμα στο τρόφιμο και 2) η υγρασία απομακρύνεται από το εσωτερικό του τροφίμου στο υπερτονικό διάλυμα. Όμως επειδή η κυτταρική μεμβράνη είναι ημιπερατή οι διαλυμένες ουσίες (οργανικά οξέα, μέταλλα, ζάχαρη, χρωστικές ουσίες κ.α.) διαχέονται στο υπερτονικό διάλυμα από το τρόφιμο. Αυτή η μεταφορά είναι αμελητέα ποσοτικά αλλά ουσιαστική ως προς τη σύνθεση του προϊόντος, αλλά και τη μεταβολή της σύστασης του ωσμωτικού διαλύματος (*Phisut, 2012; Tortoe, 2010*).

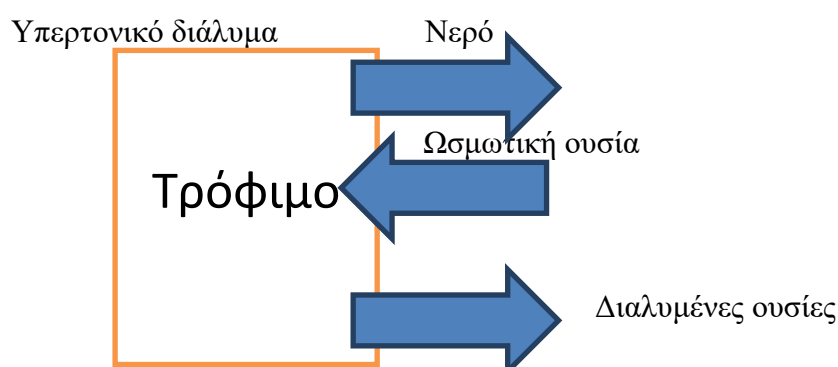
3.2 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης

Όταν ένα τρόφιμο εμβάπτιστεί σε ένα υπερτονικό διάλυμα, τότε τα κύτταρα του εξωτερικού στρώματός του έρχονται σε επαφή με το διάλυμα και αρχίζουν να χάνουν νερό λόγω της διαφοράς συγκέντρωσης μεταξύ των κυττάρων και του διαλύματος με αποτέλεσμα το τρόφιμο να συρρικνώνεται (*Ahmed, et al., 2016*). Στη συνέχεια αφού το εξωτερικό στρώμα του κυττάρου χάσει νερό, αναπτύσσεται μια διαφορά στο χημικό δυναμικό του νερού μεταξύ των κυττάρων του εξωτερικού στρώματος και του επόμενου στρώματος. Τα κύτταρα του επόμενου στρώματος δίνουν νερό στα κύτταρα του εξωτερικού στρώματος και αρχίζουν και αυτά να συρρικνώνονται. Η διαδικασία μεταφοράς μάζας εκτείνεται από την επιφάνεια στο κέντρο του τροφίμου με το πέρασμα του χρόνου. Στο τέλος τα κύτταρα στο κέντρο του τροφίμου χάνουν και αυτά με τη σειρά τους νερό. Η διαφορά στην ωσμωτική πίεση μεταξύ του τροφίμου και του υπερτονικού διαλύματος αποτελεί την κινούσα δύναμη για τη μεταφορά μάζας, δηλαδή την απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο στο ωσμωτικό διάλυμα. Λόγω αυτής της διαφοράς στην ωσμωτική πίεση μεταξύ των στρωμάτων των κυττάρων, λαμβάνουν χώρα τρεις ροές:

1) διάχυση των διαλυμένων ουσιών από το διάλυμα στο τρόφιμο

- 2) διάχυση νερού από το τρόφιμο προς το διάλυμα
- 3) διάχυση διαλυτών ουσιών από το τρόφιμο στο διάλυμα

Η διαδικασία φτάνει στο τέλος όταν τελικά επέλθει ισορροπία της ενεργότητας νερού μεταξύ του τροφίμου και του υπερτονικού διαλύματος.



Σχήμα 3.1.: Μεταφορά μάζας σε τρόφιμο κατά την διάρκεια οσμωτικής αφυδάτωσης (τροποποίηση Λάζος 2016)

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την οσμωτική αφυδάτωση

Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την οσμωτική αφυδάτωση είναι: η θερμοκρασία, η συγκέντρωση του οσμωτικού μέσου, ο οσμωτικός παράγοντας, οι προεπεξεργασίες, η γεωμετρία του τροφίμου, η αναλογία των τεμαχίων τροφίμου προς το οσμωτικό διάλυμα, η ανάδευση του οσμωτικού διαλύματος, οι φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου, η δομή του τροφίμου.

3.3.1 Προεπεξεργασία

Διάφορες προεπεξεργασίες όπως το ζεμάτισμα, η θείωση, η εφαρμογή υψηλής υδροστατικής πίεσης, η κατάψυξη έχουν χρησιμοποιηθεί πριν την οσμωτική αφυδάτωση για να αποτραπούν οι ανεπιθύμητες αλλαγές που γίνονται στα τρόφιμα από τις διάφορες συμβατικές μεθόδους ξήρανσης που χρησιμοποιούνται (Ade-Omowaye, et al., 2001; Pokharkar, 2001). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο συνδυασμός ζεματίσματος με οσμωτική αφυδάτωση πριν από την ξήρανση σε κομμάτια καρότου που είχαν ως αποτέλεσμα καλύτερη διατροφική αξία και αισθητηριακή αποδοχή (Tadesse, et al., 2015). Επίσης η εμβάπτιση των τροφίμων σε όξινα ή αλκαλικά διαλύματα πριν από τη ξήρανση βοήθησε στη διατήρηση του χρώματος τους.

3.3.2 Τύποι ωσμωτικών παραγόντων

Η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζεται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες, το μοριακό βάρος, τη διαλυτότητα και την ιοντική κατάσταση της διαλυμένης ουσίας (*Lazarides, 1994; Lenart, 1992*). Οι ωσμωτικοί παράγοντες με μικρότερο μοριακό βάρος διεισδύουν ευκολότερα στα κύτταρα των τροφίμων από τους ωσμωτικούς παράγοντες με μεγαλύτερο μοριακό βάρος (*Phisut, 2012*). Επίσης η ωσμωτική αφυδάτωση επηρεάζεται και από το pH του ωσμωτικού διαλύματος. Οι πιο κοινοί ωσμωτικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η γλυκερόλη, η σορβιτόλη, το σιρόπι καλαμποκιού, το σιρόπι γλυκόζης και ο φρουκτο-ολιγοσακχαρίτης (*Tortoe, 2010*).

3.3.2.1 Γλυκερόλη

Η γλυκερόλη είναι μια τρισθενής αλκοόλη, η οποία είναι άχρωμη, άοσμη και έχει ως το 60% της γλυκύτητας της σακχαρόζης. Δεν έχει τοξική επίδραση πάνω στους ανθρώπους, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο στα τρόφιμα. Λόγω του μικρότερου μοριακού βάρους της από την σακχαρόζη παρατηρείται μεγαλύτερη απώλεια ύδατος (*Pattanapa, et al. (2010)*). Επίσης, βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των αφυδατωμένων προϊόντων (*Chenlo, et al. (2004)*). Σε μελέτη τους σε μανιτάρια οι *Karkou et al (2021)* χρησιμοποίησαν ως ωσμωτικό μέσο γλυκερόλη σε συγκεντρώσεις 40, 50%, σε θερμοκρασίες 25,45°C, με αναλογία τροφίμου/μέσου 1:4,1:9 για 1-24 ώρες με και χωρίς ανάδευση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η αύξηση της θερμοκρασίας και της αναλογίας τροφίμου/μέσου οδήγησε σε μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών. Επίσης, η εμφάνιση σε διάλυμα γλυκερόλης πριν από την ωσμωτική αφυδάτωση με αλάτι οδήγησε σε χαμηλότερη πρόσληψη αλάτος. Οι *Therdthai et al (2011)* αφυδάτωσαν σε φούρνο μικροκυμάτων υπό κενό ωσμωτικά αφυδατωμένα μανταρίνια. Για την ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποίησαν μίγμα σακχαρόζης (60%)/γλυκερόλης (60%) σε αναλογίες 9:1, 7:3, 5:5 και αναλογία δείγματος/μέσου 1:5. Με την αύξηση της γλυκερόλης στο μίγμα παρατήρησαν ότι οι παράμετροι χρώματος h^* και το C^* μειώθηκαν. Επίσης, με την αύξηση της γλυκερόλης μειώθηκε και η σκληρότητα των δειγμάτων.

3.3.2.2 Σακχαρόζη

Το διάλυμα σακχαρόζης μειώνει την αμαύρωση εμποδίζοντας την είσοδο του οξυγόνου και βοηθά στη διατήρηση των πτητικών ενώσεων κατά την ξήρανση των ωσμω-

τικά επεξεργασμένων τροφίμων. Μειονεκτήματα αποτελούν η γλυκύτητά της, καθώς αυτή εμποδίζει την εφαρμογή της στα λαχανικά και η τάση της να κρυσταλλώνεται κατά τη ξήρανση (*Pattanapa ,et al., Zhou 2010; Ferrando and Spiess 2001*). Σε χώρες όπως η Κίνα και η Αιθιοπία που η κατανάλωση σακχαρόζης είναι μικρή η εμφάνιση τερηδόνας σε ανθρώπους είναι πολύ μικρή, σε σχέση με την Αυστραλία που η κατανάλωση σακχαρόζης είναι μεγάλη και η συχνότητα εμφάνισης τερηδόνας είναι πολύ μεγαλύτερη, πράγμα που υποδηλώνει ότι η κατανάλωση ζάχαρης αποτελεί παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη τερηδόνας (*Khiraoui and Guedira, 2018*). Οι *Raben et al (2002)* σε μελέτη που διεξήγαγαν βρήκαν ότι η πρόσληψη σακχαρόζης οδήγησε σε αύξηση των θερμίδων και του σωματικού βάρους που σταδιακά μπορεί να εξελιχθεί σε παχυσαρκία. Ακόμα, η σακχαρόζη αποτελεί παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη σακχαρώδους διαβήτη τύπου 2 (*Khiraoui and Guedira, 2018*). Οι *Yang & Le Maguer (1992)* σε μελέτη τους χώρισαν σε 2 ομάδες τα μανιτάρια. Η 1^η ομάδα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση εμβάπτιστηκε σε διάλυμα άλατος 5,10,15% για 30min σε θερμοκρασία δωματίου και η 2^η ομάδα πριν εμβάπτιστεί σε διάλυμα άλατος υπέστη προεπεξεργασία σε διάλυμα σακχαρόζης 60% για 10min στους 50°C. Αυτή η προεπεξεργασία με σακχαρόζη βρέθηκε να είναι πιο αποτελεσματική στην απώλεια νερού και στη μείωση της a_w .

3.3.2.3 Φρουκτο-ολιγοσακχαρίτης

Ο φρουκτο-ολιγοσακχαρίτης επειδή έχει μεγαλύτερο μοριακό βάρος από τη σακχαρόζη έχει χαμηλότερο ρυθμό διάχυσης (*Matusek et al. (2008)*). Οι *Matusek et al (2008)* σε μελέτη σύγκριναν την επίδραση που έχουν η σακχαρόζη και ο φρουκτο-ολιγοσακχαρίτης ως ωσμωτικοί παράγοντες πάνω σε μήλα. Οι συγκεντρώσεις των ωσμωτικών μέσων ήταν 40, 50, 60%, η θερμοκρασία ώσμωσης 40, 50, 60°C και ο χρόνος ώσμωσης 20, 30, 40min. Από τα αποτελέσματα βρήκαν ότι η απώλεια νερού ήταν μικρότερη στα δείγματα που εμβάπτιστηκαν σε φρουκτο-ολιγοσακχαρίτη, αλλά αυξάνοντας τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση η απώλεια νερού ήταν μεγαλύτερη στα δείγματα που είχαν ως ωσμωτικό μέσο τον φρουκτο-ολιγοσακχαρίτη. Οι *Klewicki & Uczciwek (2008)*, κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μήλα χρησιμοποίησαν ως ωσμωτικό μέσο φρουκτο-ολιγοσακχαρίτη σε συγκέντρωση 50% στους 22,40,60°C για 24h. Από τα πειράματα παρατήρησαν ότι ο φρουκτο-ολιγοσακχαρίτης ως ωσμωτικό μέσο βοηθάει στην παραγωγή αφυδατωμένων προϊό-

ντων πλούσιων σε ολιγοσακχαρίτες, τα οποία θα συνοδεύονται από χαμηλή ενεργειακή αξία.

3.3.2.4 Μαλτοδεξτρίνη

Παρόλο που έχει μεγαλύτερο μοριακό βάρος από τη γλυκόζη απορροφάται εξίσου καλά με αυτήν. Δίνει μεγαλύτερα ποσοστά σε στερεά από τη σακχαρόζη αν και είναι λιγότερο αποτελεσματική στην ίδια συγκέντρωση. Οι *Íspir & Tođrul (2009)* χρησιμοποίησαν σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτοδεξτρίνη και σορβιτόλη ως ωσμωτικούς παράγοντες σε συγκεντρώσεις 40-70%, θερμοκρασίες 25-45°C και αναλογία τροφίμου/διαλύματος 1:25 κατά την ωσμωτική αφυδάτωση βερίκοκου. Από τη μελέτη τους βρήκαν ότι τη μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών είχαν όταν χρησιμοποίησαν τη μαλτοδεξτρίνη ως ωσμωτικό μέσο. Οι *Azuara et al (2002)* χρησιμοποίησαν μίγμα σακχαρόζης/μαλτοδεξτρίνης σε αναλογίες 100:0, 90:10, 70:30, 50:50, 30:70, 10:90 σε θερμοκρασία 40°C για 3h κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μήλα. Τα μίγματα με υψηλές ποσότητες μαλτοδεξτρίνης ευνοούσαν την απώλεια των οργανικών στερεών που είναι υπεύθυνα για τη γεύση και το άρωμα του μήλου και για αυτό έλαβαν το χαμηλότερο οργανοληπτικό σκορ.

3.3.3 Συγκέντρωση ωσμωτικού παράγοντα

Σύμφωνα με τον *Lenart(1992)* αν αυξήσουμε τη συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος θα έχουμε μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας νερού μέχρι να επιτευχθεί η ισορροπία. Οι *Ispir and Tođrul (2009)* σε πειράματα που πραγματοποίησαν πάνω σε βερίκοκα με διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλύματος σακχαρόζης (40%,50% και 60%) βρήκαν ότι όσο υψηλότερη ήταν η συγκέντρωση του διαλύματος τόσο περισσότερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών είχαμε. Οι *Falade et al (2007)* σε μελέτη τους πάνω σε καρπούζι με διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλύματος σακχαρόζης (40,50,60%) παρατήρησαν ότι η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών ήταν μεγαλύτερη στο διάλυμα σακχαρόζης 60% από τα υπόλοιπα διαλύματα. Αυτή η αύξηση οφείλεται στην μεγάλη διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ του καρπουζιού και του ωσμωτικού διαλύματος, η οποία αύξησε το ρυθμό διάχυσης της διαλυμένης ουσίας και την ανταλλαγή νερού με το ωσμωτικό διάλυμα. Επίσης, παρατήρησαν ότι η φωτεινότητα και η συνολική μεταβολή χρώματος είχαν τις μέγιστες τιμές στο διάλυμα σακχαρόζης 60%. Οι *Contreras & Smyrl (1981)* σε πειράματα που πραγματοποίησαν σε

μήλα με συγκεντρώσεις σιροπιού καλαμποκιού (34,42,50%) βρήκαν ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση διαλύματος, αυξάνεται και η απώλεια βάρους του δείγματος ανεξαρτήτως θερμοκρασίας με τη μεγαλύτερη απώλεια βάρους να καταγράφεται σε διάλυμα 50%. Οι *Mundada et al (2011)* σε μελέτη τους σε ρόδι με συγκεντρώσεις σακχαρόζης (40,50,60%) παρατήρησαν ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου, αυξάνονταν η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται σε συγκέντρωση σακχαρόζης 60%.

3.3.4 Διάρκεια επεξεργασίας

Διάφορες μελέτες έδειξαν ότι η διαδικασία ανταλλαγής μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας διενεργούταν με ταχύτερο ρυθμό τις 2 πρώτες ώρες (*Ramaswamy, 2005*). Στη μελέτη τους σε ρόδι οι *Mundada et al (2011)*, η διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης ήταν 240min. Η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών αυξανόταν με τη διάρκεια του χρόνου ώσμωσης σε όλες τις συνθήκες ώσμωσης. Από τα διαγράμματα διαπίστωσαν ότι ο ρυθμός απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών ήταν μεγαλύτερος στα αρχικά στάδια της ώσμωσης και μειωνόταν στα τελικά στάδια. Αυτή η μείωση οφείλεται στο ότι με το πέρασμα του χρόνου, το νερό θα μεταναστεύσει από το δείγμα στο διάλυμα και η διαλυμένη ουσία από το διάλυμα στο δείγμα που εν τέλει θα οδηγήσει σε μείωση της διαφοράς συγκέντρωσης μεταξύ του διαλύματος και του φρούτου. Η διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πείραμα σε καρότα που διεξήγαγαν οι *Singh et al (2007)* ήταν 240min. Παρομοίως και εδώ ο ρυθμός απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών ήταν μεγαλύτερος στα αρχικά στάδια της επεξεργασίας. Επίσης, αύξηση της απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών παρατηρείται με τη αύξηση του χρόνου επεξεργασίας. Η ταχεία απώλεια νερού και πρόσληψης στερεών κοντά στην επιφάνεια του τροφίμου στην αρχή μπορεί να είχε ως αποτέλεσμα δομικές αλλαγές που οδήγησαν σε συμπίκνωση αυτών των επιφανειακών στρωμάτων αυξάνοντας έτσι την αντίσταση μεταφοράς μάζας για το νερό και τα στερεά και εν τέλει στη μείωση του ρυθμού απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών (*Singh, et al., 2007*). Οι *Lazarides & Mavroudis (1995)* βρήκαν ότι τα μήλα εμφάνισαν 25% απώλεια νερού την 1^η ώρα της ώσμωσης και 40% μετά το πέρας της 3^{ης} ώρας της ώσμωσης.

3.3.5 Θερμοκρασία ωσμωτικού διαλύματος

Η θερμοκρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τον ρυθμό μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Tortoe, 2010). Η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει την απώλεια νερού (Khan, 2012; Tortoe, 2010). Οι θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι 30°C-50°C καθώς εκεί εντοπίζονται τα καλύτερα αποτελέσματα, ενώ θερμοκρασίες άνω των 60°C μπορούν να υποβαθμίσουν ποιοτικά το τρόφιμο (Ramaswamy, 2005). Οι Ebrahim et al (2009) σε μελέτη τους σε λευκό μανιτάρι σε θερμοκρασίες ώσμωσης (30, 40, 50, 60°C) παρατήρησαν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μειωνόταν η υγρασία, ενώ οι βαθμοί Brix αυξάνονταν. Οι Rastogi & Raghavarao (1994) σε μελέτη τους σε καρύδα παρατήρησαν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας ώσμωσης, αυξανόταν η απώλεια νερού. Ο Saputra (2001) κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε ανανά σε θερμοκρασίες ώσμωσης (30, 50, 70°C) βρήκε ότι όσο υψηλότερη ήταν η θερμοκρασία τόσο υψηλότερη ήταν και η απώλεια νερού, αλλά όσον αφορά στην πρόσληψη στερεών δεν υπήρχε σημαντική διαφορά στις θερμοκρασίες 30, 50°C, ενώ στους 70°C η αύξηση στην πρόσληψη των στερεών ήταν αισθητή. Οι Devic et al (2010), κατά την ωσμωτική αφυδάτωση σε μήλα σε θερμοκρασίες (45 και 60°C), βρήκαν ότι μετά από 30min η απώλεια νερού στους 45°C είχε φτάσει το 53%, ενώ στους 60°C πάνω από 60%. Επίσης, η πρόσληψη στερεών είχε δεκαπλασιαστεί στους 45°, ενώ στους 60°C είχε δεκαεξαπλασιαστεί. Η απώλεια φρουκτόζης είχε φτάσει το 1/3 και τα 2/3 στους 45 και 60°C αντίστοιχα, ενώ μετά από 15min ώσμωσης είχε εξαφανιστεί το 80 και 100% του ασκορβικού οξέος στους 45 και 60°C αντίστοιχα.

3.3.6 Ανάδευση κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση αυξάνεται με την ανάδευση του διαλύματος. Οι Moreira et al. (2007) μελέτησαν το ρυθμό μεταφοράς μάζας σε δείγματα που είχαν αναδευτεί και σε αυτά που δεν είχαν. Παρατήρησαν ότι τα δείγματα που είχαν αναδευτεί είχαν χάσει περισσότερο βάρος σε σχέση με αυτά που δεν είχαν αναδευτεί.

3.3.7 Παράγοντες που σχετίζονται με το προϊόν

Οι διαφορές στη χημική σύνθεση (λίπη, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες) και στις φυσικές ιδιότητες (δέρμα, πορώδες) επηρεάζουν τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

(*Rahman, 2007*). Η απώλεια του νερού σε διάφορα φρούτα επηρεάζεται από την αρχική περιεκτικότητα σε διαλυτά και αδιάλυτα στερεά, την ενζυμική δραστηριότητα και τους ενδοκυτταρικούς χώρους. Γενικά συστήνεται να χρησιμοποιούνται δείγματα 3-10mm κομμένα σε κύβους, σε σχήμα ορθογωνίου ή δακτυλίου κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

3.3.8 Αναλογία δείγματος/ωσμωτικού μέσου

Συνήθως η αναλογία δείγματος/ωσμωτικού μέσου που χρησιμοποιείται κυμαίνεται από 1:1-1:5. Μεγαλύτερες αναλογίες (1:10-1:60), χρησιμοποιούνται για να αποφευχθεί η αραίωση του ωσμωτικού μέσου που μπορεί να προκύψει από την πρόσληψη νερού και την απώλεια του ωσμωτικού μέσου (*Ahmed et al., 2016*). Όμως, για πρακτικούς λόγους η αναλογία 1:2 ή 1:3 είναι η βέλτιστη (*Karathanos, V.T., et al., 1995*).

3.4 Πλεονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Κάποια από τα πλεονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι: η διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου, η ενεργειακή απόδοση, η μείωση του κόστους συσκευασίας και διανομής, η αποφυγή χημικών επεξεργασιών και η σταθερότητα του τροφίμου κατά την αποθήκευσή του (*Yetenayet and Hosahalli, 2010*).

3.4.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτρέπει την ενζυμική αμαύρωση και την απώλεια των πτητικών αρωματικών ουσιών από το προϊόν. Τα ωσμωτικά επεξεργασμένα τρόφιμα έχουν πιο γλυκιά γεύση από τα αποξηραμένα, και με την ώσμωση δεν καταστρέφεται η δομή του προϊόντος στα επόμενα στάδια της ξήρανσης (*Maestrelli et al., 2001*). Λόγω της ήπιας θερμικής επεξεργασίας που υπόκεινται τα τρόφιμα, οι αλλοιώσεις εξαιτίας της θερμότητας ελαχιστοποιούνται στο χρώμα και στο flavor των προϊόντων. Τα ωσμωτικά επεξεργασμένα τρόφιμα είναι πολύ ελκυστικά για άμεση κατανάλωση, λόγω της χημικής σύνθεσης και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους (*Tortoe, 2010*). Σύμφωνα με τους *Chiralt et al (2001)*, η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης φάνηκε να προστατεύει το χρώμα και την υφή σε κάποια τρόφιμα απέναντι στη ψύξη. Σύμφωνα με τους *Bekele & Ramaswamy (2010)*, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σακχάρων στο προϊ-

όν μετά την ώσμωση, το τηγάνισμα υπό κενό είναι μια επεξεργασία που μπορούν να παραχθούν τηγανισμένα τσιπς φρούτων πλούσια σε λιπαρά σύμφωνα με τις παραμέτρους που απαιτούνται σε οργανοληπτικό επίπεδο. Οι *Bellary et al (2011)* διεξήγαγαν πείραμα για να δουν αν η ωσμωτική αφυδάτωση βοηθά στον εμπλουτισμό της καρύδας με κουρκουμινοειδή (curcuminoids). Ως ωσμωτικό μέσο χρησιμοποίησαν ζάχαρη σε συγκεντρώσεις (0,12,5, 25, 50%) για χρόνο ώσμωσης 5h. Από τα αποτελέσματα, συμπέραναν ότι όσο προχωρούσε η ώσμωση, αυξανόταν η συγκέντρωση κουρκουμινοειδών στην καρύδα. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση κουρκουμινοειδών βρέθηκε στο διάλυμα που δεν είχε προστεθεί ζάχαρη. Μετά από HPLC ανάλυση βρήκαν ότι τα δείγματα καρύδας είχαν εμπλουτιστεί και με τα 3 είδη κουρκουμινοειδών. Έτσι, κατέληξαν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια από τις προτεινόμενες μεθόδους για τον εμπλουτισμό της καρύδας με κουρκουμινοειδή. Οι *Santacruz-Vazquez et al (2008)* σε μελέτη τους ήθελαν να δουν αν με την ωσμωτική αφυδάτωση μπορούν να εμπλουτίσουν με β-καροτένιο τα μήλα. Για αυτό το σκοπό, χρησιμοποίησαν διάλυμα σακχαρόζης (30, 40, 50%) στους 25°C για 65h. Από τα αποτελέσματα, βρήκαν ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου, αυξανόταν και η ποσότητα β-καροτενίου στα μήλα. Η μεγαλύτερη ποσότητα παρατηρήθηκε σε συγκέντρωση 50% σε διάστημα 15h, ενώ στις άλλες συγκεντρώσεις οι μέγιστες τιμές β-καροτενίου έφτασαν στις 30h. Έτσι, είναι πιθανό να εμπλουτιστούν τα μήλα με β-καροτένιο με τη βοήθεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η οποία μειώνει ταυτόχρονα και την a_w .

3.4.2 Εξοικονόμηση ενέργειας

Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιείται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τη ξήρανση σε αέρα ή κενό και για αυτό το λόγο απαιτεί μικρότερα ποσά ενέργειας (*Tortoe, 2010*). Η διαλυμένη ουσία βρίσκεται σε μεγάλη συγκέντρωση στην ωσμωτική διαδικασία με αποτέλεσμα να μειώνει την a_w του τροφίμου και να το διατηρεί και έτσι ελαχιστοποιείται η απομάκρυνση περαιτέρω νερού κατά την διαδικασία της ξήρανσης. Το ωσμωτικό διάλυμα που περισσεύει μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία ποτών ή να επαναχρησιμοποιηθεί για περαιτέρω ξήρανση κάνοντας έτσι την όλη διαδικασία πιο οικονομική.

3.4.3 Αποφυγή χημικής κατεργασίας

Το προϊόν εμβαπτίζεται συνήθως σε διάλυμα ζάχαρης το οποίο αποτρέπει την ενζυμική και οξειδωτική αμαύρωση του αναστέλλοντας τη δράση της πολυφαινολοοξειδάσης και έτσι δεν απαιτείται χημική επεξεργασία (Tortoe, 2010). Επειδή το προϊόν είναι συνεχώς εμβαπτισμένο στο ωσμωτικό διάλυμα δεν εκτίθεται στο οξυγόνο, επομένως, δεν απαιτείται η χρήση αντιοξειδωτικών (Yetenayet and Hosahalli, 2010).

3.4.4 Σταθερότητα συσκευασίας και αποθήκευσης

Για τα προϊόντα που έχουν προκύψει με ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιούνται συνήθως αεροστεγή δοχεία τα οποία αποτρέπουν την απορρόφηση υγρασίας. Συνιστώνται θήκες από πολυπροπυλένιο και φύλλο αλουμινίου για συσκευασία προϊόντων που έχουν προκύψει από ωσμωτική αφυδάτωση (Sagar and Khurdiya, 1999). Λόγω του μικρού όγκου και βάρους που έχουν τα προϊόντα ωσμωτικής αφυδάτωσης μπορούμε να τα διακινήσουμε ευκολότερα και να έχουμε μικρότερα κόστη συσκευασίας και αποθήκευσης (Biswal, et al., 1991). Σε θερμοκρασία δωματίου τα προϊόντα ωσμωτικής αφυδάτωσης παραμένουν σταθερά για 6 μήνες ως και 1 χρόνο.

3.5 Μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Αν και η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα ως προς τη χρήση της, υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη διαδικασία της όπως η ενδεχόμενη υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος και η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος.

3.5.1 Ποιότητα προϊόντος

Η απορρόφηση της διαλυμένης ουσίας και το ξέπλυμα του τροφίμου οδήγησε σε απώλεια των συστατικών και διαφοροποίηση της σύνθεσης του προϊόντος με αρνητικές επιδράσεις στο διατροφικό προφίλ και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Raoult-Wack, 1994). Σε κάποια προϊόντα η ζάχαρη δεν είναι επιθυμητή και μετά την ωσμωτική επεξεργασία γίνεται ξέπλυμα. Η προσθήκη ζάχαρης και η απορρόφησή της από το τρόφιμο δημιουργεί ένα παχύ στρώμα στερεών συστατικών κάτω από την επιφάνεια του το οποίο επηρεάζει την ωσμωτική πίεση. Η αλλοίωση των τροφίμων που αφορά βιοχημικές και φυσιολογικές αλλαγές προκαλείται από τραύμα στην επιφάνεια τους, από αμαύρωση και από την κυτταρική αναπνοή μικροβίων. Επίσης, υ-

πάρχουν απώλειες σε θρεπτικό επίπεδο από την οξείδωση του ασκορβικού οξέος (Lewicki & Lenart, 1995).

3.5.2 Διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος

Μια από τις ροές που συμβαίνει κατά την ωσμωτική αφυδάτωση είναι η μεταφορά του νερού από το τρόφιμο προς το ωσμωτικό διάλυμα με αποτέλεσμα να έχουμε την αραίωση του διαλύματος. Επομένως η συγκέντρωση του διαλύματος μεταβάλλεται, ενώ θα πρέπει να παραμείνει σταθερή για να πραγματοποιείται σωστά το φαινόμενο της ώσμωσης. Η αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος εξαρτάται από την αναλογία μεταξύ του διαλύματος και του τροφίμου (Contreras, and Smyrl, 1981; Pavasovic, et al., 1986). Οι Dalla Rosa and Giroux (2001) συνοπτικά παρουσίασαν σε μελέτη τους ότι τα προβλήματα που προκύπτουν από τα παραπάνω είναι:

- 1) αλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του διαλύματος λόγω των διαλυμένων ουσιών
- 2) αλλαγές στις οργανοληπτικές ιδιότητες του διαλύματος
- 3) μικροβιακή ανάπτυξη στο διάλυμα λόγω των οργανικών υπολειμμάτων

Η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος (συγκέντρωση, σύνθεση, δυνατότητα ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίηση, συμβολή στη συσσώρευση αποβλήτων) αποτελεί πρόκληση για τις βιομηχανίες τροφίμων. Η χρήση κάθε φορά νέων διαλυμάτων εκτός από τα πολλά απόβλητα που παράγει δεν είναι και οικονομική, για αυτό είναι επιτακτική ανάγκη να βρεθούν τρόποι επαναχρησιμοποίησης των ωσμωτικών διαλυμάτων. Εφόσον θα χρησιμοποιηθεί ξανά το διάλυμα πρέπει να ακολουθηθούν κάποιες διεργασίες για να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση. Κάποιες από αυτές τις διεργασίες είναι η εξάτμιση της περίσσειας νερού, συμπύκνωση με χρήση μεμβρανών, η διάλυση της ωσμοδραστικής ουσίας. Αν και είναι σε μεγάλο βαθμό αποτελεσματικές οι διεργασίες, το διάλυμα δεν επανέρχεται πλήρως στις αρχικές του συνθήκες (Lewicki & Lenart, 1995). Επίσης, το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση με αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση (Tortoe, 2010). Οι Valdez-Frugoso et al (1998), μελέτησαν τις επιδράσεις που έχει πάνω στις φυσικοχημικές ιδιότητες των μήλων η χρησιμοποίηση της σακχαρόζης 20 φορές κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Το ωσμωτικό διάλυμα είχε συγκέντρωση 60% και για να χρησιμοποιηθεί ξανά προστέθηκε κρυσταλλωμένη σακχαρόζη για να επανέλθει στις αρχικές συνθήκες (επανασύσταση). Από τα πειράματα, παρατήρησαν ότι μετά

από κάθε ώσμωση η συγκέντρωση από 60% πήγαινε στο 54%. Το pH του διαλύματος είχε την μεγαλύτερη διακύμανση στην πρώτη χρήση, ενώ μετά από την τρίτη χρήση το pH του διαλύματος ήταν ίδιο με του φρούτου και παρέμεινε έτσι και στις επόμενες χρήσεις. Η οξύτητα του διαλύματος αυξήθηκε στις πρώτες 6 επαναχρησιμοποιήσεις και μετά παρέμεινε σταθερή. Όσον αφορά στην μικροβιολογική σταθερότητα, ο αριθμός CFU/g ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια μετά από 10 χρήσεις, αλλά στις 15-20 χρήσεις ο αριθμός αυξήθηκε ραγδαία και το τρόφιμο δεν ήταν ασφαλές. Για αυτό οι *Dalla Rosa & Giroux (2001)*, πρότειναν να εφαρμοστεί το σύστημα HACCP για να αποφευχθούν προβλήματα υγιεινής και να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα η μικροβιολογική χλωρίδα κατά τη διάρκεια της διαχείρισης του διαλύματος.

Η ανακύκλωση του ωσμωτικού διαλύματος μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα κατά την αφυδάτωση κερασιών, καθώς οι ανθοκυανίνες (χρωστικές) μεταναστεύουν στο διάλυμα και το σκουραίνουν ύστερα από πολλές επαναχρησιμοποιήσεις (*Ciurzyńska et al., 2016*). Όταν το διάλυμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διάλυμα πρέπει να απομακρυνθεί από τη διαδικασία και να απορριφθεί ως υγρό απόβλητο. Το πρόβλημα είναι ότι το διάλυμα περιέχει μεγάλες ποσότητες BOD₅ (βιοχημικές απαιτήσεις οξυγόνου μετά από 5 μέρες), καθώς και οι μεγάλες ποσότητες σε οργανικά συστατικά. Η νομοθεσία της ΕΕ και των τοπικών κυβερνήσεων δεν επιτρέπει να αποβληθεί το διάλυμα έτσι όπως είναι. Για αυτό μετά την τελευταία ώσμωση, το διάλυμα πρέπει να απολυμανθεί για να μειωθούν τα Coliform βακτήρια και οι τιμές του BOD₅ να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια (*Dalla Rosa & Giroux, 2001*). Αν και δεν υπάρχουν εκτεταμένες βιβλιογραφικές αναφορές, το ωσμωτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε σε φρούτα, μετά από κατάλληλη κατεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς. Σύμφωνα με τους *Dalla Rosa & Giroux,(2001)* αυτές οι χρήσεις είναι οι ακόλουθες:

1. Σιρόπι για κονσερβοποιημένα φρούτα
2. Μαρμελάδες
3. Ανάμιξη σε χυμούς φρούτων
4. Αναψυκτικά φρούτων
5. Τροφή μελισσών
6. Ζωοτροφές μετά από αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη

3.6 Ωσμωτική αφυδάτωση σε μανιτάρια

Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε φρούτα και λαχανικά, συνήθως ως προκατεργασία ακολουθούμενη από άλλη επεξεργασία (ξήρανση). Στα μα-

νιτάρια έχουν γίνει μελέτες αλλά όχι τόσο όσο σε φρούτα και τα λαχανικά. Οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει σε λευκά μανιτάρια, ενώ λίγες είναι αυτές που έχουν διεξαχθεί στα υπόλοιπα είδη μανιταριών. Κάποιες μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1: Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια

Είδος μανιταριού	Ωσμωτικά υλικά	Διάρκεια ώσμωσης	Θερμοκρασία	Επεξεργασία μετά την ώσμωση	Αναλογία διαλύματος/δείγμα	Ανάδευση	Βιβλιογραφία
Λευκό μανιτάρι (Agaricus bisporus)	NaCl 10, 25%	300min	40,60,80°C	-	1:15	-	<i>González-Pérez et al., 2019</i>
Λευκό μανιτάρι (Agaricus bisporus)	NaCl 10,15%	110min	20,45°C	Ξήρανση με μικροκύματα	1:5	-	<i>Torrington et al., 2001</i>
Λευκό μανιτάρι (Agaricus bisporus)	NaCl 7%	85min	46°C	Ξήρανση σε ρευστοποιημένο αέρα 30,40,50°C	1:5	-	<i>Darvishi et al., 2018</i>
Λεντινούλα	Σακχαρόζη 30%	8h	24±1°C	Ξήρανση υπερύθρων βραχέων και μεσαίων κυμάτων 60°C	1:5	-	<i>Zhao et al., 2019</i>
Λεντινούλα	Μαλτοδεξτρίνη 50%	60min	25°C	Τηγάνισμα υπό κενό στους 90±2°C	-	-	<i>Ren et al., 2018</i>
Πλευρώτους	NaCl 10,15,20%	5h	30,45°C	Ξήρανση σε tray dryer 60°C	1:10	NAI	<i>Kaur et al., 2014</i>
Μανιτάρι	NaCl 10%	60min	20°C	Ξήρανση σε	1:10	NAI	<i>Kurozawa et</i>

του ήλιου (Agaricus blazei)				tray dryer 40,60,80°C			al.,2012
-----------------------------------	--	--	--	--------------------------	--	--	----------

Οι *González-Pérez et al.* (2019) χρησιμοποίησαν διαλύματα NaCl περιεκτικότητας 10 και 25% σε θερμοκρασίες 40,60,80°C για 300 λεπτά και μελέτησαν την συρρίκνωση του όγκου, την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών. Παρατήρησαν ότι τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα NaCl 10% παρουσίασαν μικρότερη μείωση του όγκου σε αντίθεση με αυτά που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα NaCl 25%. Όσον αφορά στην απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών παρατήρησαν ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία είχαν μεγαλύτερη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών.

Οι *Torrington et al.* (2001) χρησιμοποίησαν διαλύματα NaCl περιεκτικότητας 10 και 15% σε θερμοκρασίες 20 και 45°C για 110 λεπτά και στη συνέχεια ξήραναν τα δείγματα με μικροκύματα. Από τα πειράματα που διεξήγαγαν παρατήρησαν ότι με τη χρήση της ώσμωσης με NaCl ως 20% και σε θερμοκρασίες μέχρι 45°C, υπήρξε μείωση έως και 30% της διαθέσιμης υγρασίας του μανιταριού και πρόσληψη αλατιού μέχρι και 0,5g αλάτι/g ξηρής βάσης. Επίσης η εφαρμογή της ώσμωσης μειώνει το χρόνο της ξήρανσης, ως αποτέλεσμα της μικρότερης υγρασίας που έχει το δείγμα. Σε διαλύματα με λιγότερο αλάτι η θέρμανση εστίαζε περισσότερο στο κέντρο του δείγματος, ενώ λόγω της ώσμωσης μειώθηκε και η συρρίκνωση του δείγματος.

Οι *Darvishi et al.* (2018) χρησιμοποίησαν διάλυμα NaCl περιεκτικότητας 7% σε θερμοκρασία 45°C για 85 λεπτά και στη συνέχεια ξήραναν τα δείγματα με ρεύμα αέρα σε θερμοκρασίες αέρα 30, 40, 50°C με ταχύτητα αέρα 3, 5, 7m/s και σε συνθήκες με 100% ανακυκλοφορία αέρα και καθόλου ανακυκλοφορία αέρα. Από τα πειράματα συμπεράναν ότι όταν τα δείγματα ήταν υπό κενό κατά τη ξήρανση και αφού είχε προηγηθεί ωσμωτική αφυδάτωση είχαν μεγαλύτερη απώλεια νερού από τα δείγματα που δεν ήταν υπό κενό. Επίσης στα δείγματα που είχε γίνει ώσμωση σε

συνδυασμό με ξήρανση με ανακυκλοφορία αέρα υπήρξε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Οι *Zhao et al.* (2019) χρησιμοποίησαν διάλυμα σακχαρόζης 30% στους $24\pm 1^{\circ}\text{C}$ για 8 ώρες και έπειτα ακολούθησε ξήρανση υπερύθρων σε βραχεία και μεσαία κύματα στους 60°C . Στα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της ξήρανσης είχε προσκολληθεί μεγάλος αριθμός σακχάρων στα υλικά με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η απομάκρυνση νερού και να παρατηρείται ο μεγαλύτερος χρόνος ξήρανσης. Όσον αφορά στην υφή τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα είχαν την μικρότερη τραγανότητα. Τέλος, όσον αφορά στο χρώμα τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα είχαν το μικρότερο L^* (δείκτης φωτεινότητας), αλλά τα μεγαλύτερα a^* και b^* (δείκτες απόχρωσης).

Οι *Ren et al.* (2018) χρησιμοποίησαν διάλυμα μαλτοδεξτρίνης 50% στους 25°C για 60 λεπτά και στη συνέχεια τηγάνισαν τα δείγματα υπό κενό στους $90\pm 2^{\circ}\text{C}$. Τα πειράματα έδειξαν ότι η προεπεξεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση επηρέασε σημαντικά το χρώμα. Η ενεργότητα ύδατος (a_w) μειώθηκε αισθητά και σε συνδυασμό με το τηγάνισμα υπό κενό δίνει $a_w=0,38$. Τέλος, όσον αφορά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τα δείγματα που είχαν υποστεί ώσμωση σε σχέση με αυτά που δεν είχαν υποστεί είχαν καλύτερο χρώμα, λιγότερο λάδι και ήταν καλύτερα σε επίπεδο εμφάνισης.

Οι *Kaur et al.* (2014) χρησιμοποίησαν διάλυμα NaCl περιεκτικότητας 10, 15, 20% σε θερμοκρασίες 30 και 45°C για 5 ώρες και στη συνέχεια ξήραναν τα δείγματα σε ξηραντήρα με δίσκους (tray dryer) στους 60°C μέχρι η τελική υγρασία να φτάσει στο $7\pm 1\%$ σε ξηρή βάση. Από τα πειράματα παρατήρησαν ότι η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών αυξανόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου. Επίσης η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος επηρέασε θετικά την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών. Τα δείγματα που εμβάπτιστηκαν σε 20% NaCl στους 45°C είχαν χαμηλότερη υγρασία σε σχέση με αυτά που ήταν στους 30°C με ίδια συγκέντρωση. Η συνολική μεταβολή χρώματος (ΔE) των δειγμάτων μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας από τους 30 στους 45°C . Τα δείγματα που εμβάπτιστηκαν σε 20%NaCl στους 45°C διατήρησαν καλύτερα το χρώμα σε σχέση με αυτά που ήταν στους 30°C στην ίδια συγκέντρωση. Τέλος, τα δείγματα που είχαν υποστεί ώσμωση σε 20%NaCl στους 45°C ήταν πιο αποδεκτά από οργανοληπτικής άποψης.

Οι *Kurozawa et al.* (2012) χρησιμοποίησαν διάλυμα NaCl 10% στους 20°C για 60 λεπτά και στη συνέχεια ακολούθησε ξήρανση σε ξηραντήρα με δίσκους (tray dryer) στους 40,60,80°C σε ταχύτητες αέρα 1,0 , 1,75, 2,5m/s για 4 ώρες. Ο χρόνος ξήρανσης μειώθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα από τους 40 στους 80°C στα δείγματα που δεν είχαν υποστεί ώσμωση, ενώ στα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα η θερμοκρασία είχε ελάχιστη επίδραση στη ξήρανση. Όσον αφορά στο χρώμα τα δείγματα που είχαν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση παρουσίασαν περισσότερη αμαύρωση σε σχέση με αυτά που δεν είχαν υποστεί προεπεξεργασία με ώσμωση. Αυτό δείχνει ότι η προεπεξεργασία με ώσμωση δεν βοήθησε στη διατήρηση του χρώματος.

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

4.1 Εισαγωγή

Η μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM) είναι μια συλλογή στατιστικών και μαθηματικών μεθόδων για την μοντελοποίηση και ανάλυση μιας διαδικασίας στην οποία η απόκριση επηρεάζεται από διάφορες μεταβλητές (Braima, et al.,2016). Η RSM βοηθά στην ανάπτυξη, το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και επίσης είναι χρήσιμη στο σχεδιασμό νέων προϊόντων, καθώς και στη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων. Η πιο συχνή χρήση της RSM γίνεται στη βιομηχανία, όπου διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας. Αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ονομάζονται απόκριση (response), ενώ οι διάφοροι παράγοντες αποκαλούνται ανεξάρτητες μεταβλητές (Myers, et al.,2016; Anderson-Cook,2016). Για παράδειγμα, η ενεργότητα ύδατος (a_w) των μανιταριών επηρεάζεται από τη θερμοκρασία ώσμωσης X_1 και από το χρόνο ώσμωσης X_2 . Μπορεί να έχουμε διάφορους συνδυασμούς των ανεξάρτητων μεταβλητών X_1 και X_2 . Έτσι, η a_w της ωσμωτικής αφυδάτωσης των μανιταριών Y είναι η μεταβλητή απόκρισης και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου. Μπορεί να εκφραστεί ως:

$$Y = f(X_1, X_2) + e \quad (1)$$

Όπου Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή (απόκριση), X_1 και X_2 είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές (για το συγκεκριμένο παράδειγμα θερμοκρασία και χρόνος διεργασίας) και e το πειραματικό σφάλμα.

Στις περισσότερες διεργασίες όπου εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μεθοδολογία, η πραγματική συνάρτηση της απόκρισης f , είναι άγνωστη και για αυτό χρησιμοποιείται μια πολυωνυμική εξίσωση χαμηλού βαθμού και σε περίπτωση που η απόκριση μπορεί να εκφραστεί από μια γραμμική συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών, τότε η πολυωνυμική εξίσωση είναι 1^{ου} βαθμού (Bradley, 2007). Η εξίσωση αυτή είναι της μορφής:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e \quad (2)$$

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν μόνο οι κύριες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών X_1 και X_2 , ενώ όταν υπάρχει αλ-

ληλεπίδραση μεταξύ των δύο μεταβλητών, τότε η εξίσωση μορφοποιείται και παίρνει την παρακάτω μορφή (Myers, et al.,2016; Anderson-Cook,2016):

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_{12}X_1X_2 \quad (3)$$

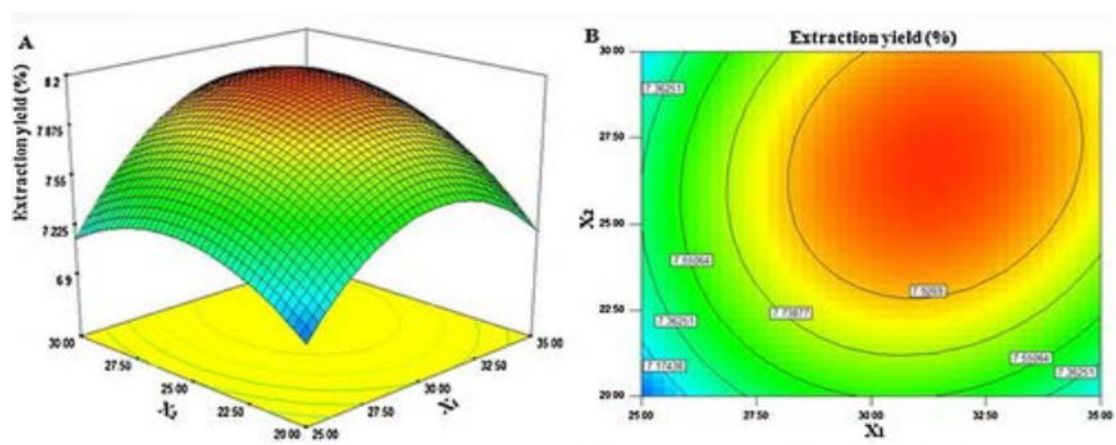
Αν υπάρχει ή αναμένεται καμπυλότητα στην επιφάνεια απόκρισης, τότε χρησιμοποιείται πολωνυμική εξίσωση μεγαλύτερη του 1^{ου} βαθμού και συγκεκριμένα αν έχουμε δύο μεταβλητές είναι 2^{ου} βαθμού με την εξής μορφή (Bradley, 2007):

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{12}X_1X_2 + e \quad (4)$$

Σύμφωνα με την Bradley, 2007, οι βασικοί στόχοι της RSM είναι:

- η κατανόηση της τοπογραφίας της επιφάνειας απόκρισης (τοπικό μέγιστο, τοπικό ελάχιστο)
- η εύρεση της περιοχής όπου εμφανίζεται η μέγιστη απόκριση

Στο σχήμα της εικόνας 4.1 απεικονίζεται γραφικά η απόκριση μιας διεργασίας και των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών. Το τρισδιάστατο διάγραμμα (εικόνα 4.1α) απεικονίζει την αντίδραση της επιφάνειας και ονομάζεται surface plot (Jana, 2022). Η επιφάνεια απόκρισης μερικές φορές είναι πιο εύκολο να απεικονιστεί σε δισδιάστατο διάγραμμα. Αυτό το διάγραμμα ονομάζεται contour plot (εικόνα 4.2 β) και σε αυτό οι ανεξάρτητες μεταβλητές (X_1, X_2) έχουν την ίδια απόκριση Y (Bradley, 2007).



Εικόνα 4.1: (α) surface plot, (β) contour plot Bradley (2007)

Παρατηρώντας τα διαγράμματα, βλέπουμε ότι η απόκριση λαμβάνει την μέγιστη τιμή της στην κόκκινη περιοχή, ενώ την ελάχιστη στη γαλάζια περιοχή. Τα διαγράμματα είναι χρήσιμα για την κατανόηση της επιφάνειας απόκρισης, όμως όταν

έχουμε πάνω από δύο ανεξάρτητες μεταβλητές τότε δεν μπορούμε να την απεικονίσουμε γραφικά, γιατί είναι πέρα από τις τρεις διαστάσεις (Bradley, 2007).

4.2 Μεθοδολογία

Για να εφαρμοστεί σωστά η RSM πρέπει να ακολουθηθούν κάποια βήματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω (Yolmeh, et al., 2017):

- 1. Έλεγχος των ανεξάρτητων μεταβλητών:** Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν τις διαδικασίες της βιομηχανίας τροφίμων, έτσι ώστε είναι σχεδόν αδύνατον να υπολογιστούν οι συνέπειες της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά, καθώς αυτό θα απαιτούσε πολλούς πόρους και πολλές δοκιμές. Για αυτό το λόγο πραγματοποιείται ένας σχεδιασμός ελέγχου για να δούμε ποιες μεταβλητές έχουν τις μεγαλύτερες επιδράσεις πάνω στην απόκριση. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιούνται πλήρεις ή μερικοί παραγοντικοί σχεδιασμοί για 2-4 μεταβλητές ή ο σχεδιασμός Plackett-Burman για πάνω από 5 μεταβλητές. Σε αυτούς τους σχεδιασμούς θεωρούνται αμελητέες οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών. Στη συγκεκριμένη μελέτη, εφαρμόστηκε ο πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken, που θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου.
- 2. Επιλογή μοντέλου παλινδρόμησης (regression model) :** Σε αυτό το βήμα χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων για να αξιολογηθεί η σύνδεση μεταξύ των ανεξάρτητων και των εξαρτημένων μεταβλητών.
- 3. Κωδικοποίηση των επιπέδων των μεταβλητών (factor levels) :** Σε αυτό το στάδιο γίνεται η μετατροπή κάθε αληθινής τιμής σε συντεταγμένες μέσα σε μια κλίμακα με αδιάστατες τιμές (Bezerra, et al., 2008). Η εξίσωση που μετατρέπει μια πραγματική τιμή (z_i) σε κωδικοποιημένη (x_i) είναι:

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

Όπου Δ_{z_i} είναι η απόσταση της πραγματικής τιμής στο κεντρικό σημείο και στο ανώτερο ή κατώτερο επίπεδο μιας μεταβλητής, β_d είναι η κύρια κωδικοποιημένη οριακή τιμή στον πίνακα για κάθε μεταβλητή και z_0 είναι η πραγματική τιμή στο κεντρικό σημείο.

- 4. Αξιολόγηση του εφαρμοσμένου μοντέλου :** Για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία του μοντέλου που επιλέξαμε εφαρμόζουμε τη στατιστική μέθοδο ANOVA, Ανάλυση Διακύμανσης. Η ANOVA ελέγχει τη διαφορά στις μέσες τιμές για να αποφασί-

στεί αν η διακύμανση μεταξύ δύο ή περισσότερων ομάδων είναι μεγαλύτερη από τη διακύμανση εντός των ομάδων (Παπαγεωργίου, 2017). Το μοντέλο θα είναι στατιστικά σωστό στα πειραματικά δεδομένα αν παρουσιάζει σημαντική παλινδρόμηση (regression) (Bezerra, et al., 2008).

5. Επαλήθευση του εφαρμοσμένου μοντέλου : Η επαλήθευση του μοντέλου πρέπει να γίνει για να δούμε αν είναι το κατάλληλο ή όχι. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε το συντελεστή προσδιορισμού (R^2), ο οποίος προβλέπει πόσο αξιόπιστη είναι η εξίσωση της RSM. Το R^2 κυμαίνεται από 0-1. Όσο πιο κοντά στην μονάδα είναι το R^2 , τόσο καλύτερα προσαρμοσμένη είναι η εξίσωση της RSM στα πειραματικά δεδομένα.

6. Προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών : Για να υπολογίσουμε τα βέλτιστα σημεία (μέγιστο ή ελάχιστο) λύνουμε την παρακάτω συνάρτηση:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (6)$$

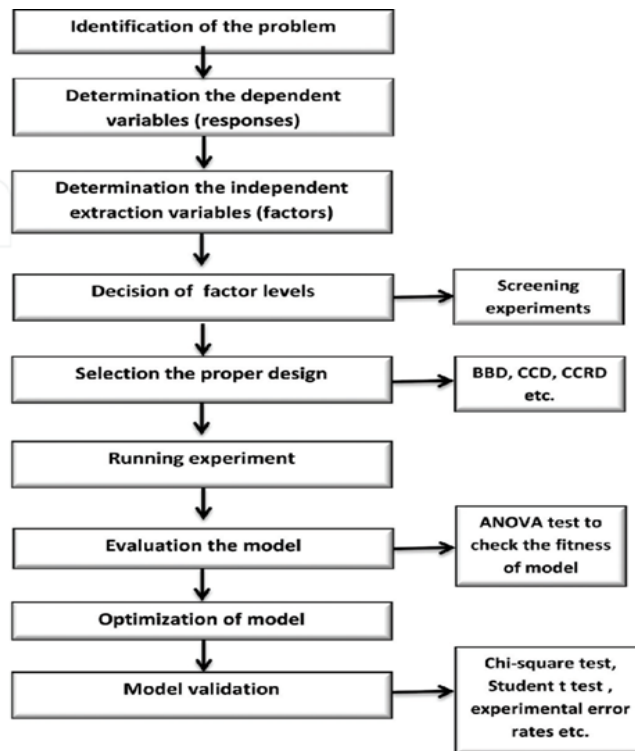
Το μέγιστο σημείο βρίσκεται υπολογίζοντας το $\Delta y / \Delta x_1$ και $\Delta y / \Delta x_2$ και θέτοντας μηδέν:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x_1} = \beta_1 + 2\beta_{11} x_1 + \beta_{12} x_2 = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x_2} = \beta_2 + 2\beta_{22} x_2 + \beta_{12} x_1 = 0 \quad (8)$$

Λύνοντας τις παραπάνω εξισώσεις βρίσκουμε τις τιμές των X_1 και X_2 , τα οποία μας δίνουν τις κωδικοποιημένες τιμές των παραγόντων και μας δίνουν τη μέγιστη και ελάχιστη απόκριση. Για να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία πρέπει να βρεθεί το σημείο-στόχος μέσα στα όρια των μελετημένων παραγόντων.

Συνοπτικά τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για να εφαρμοστεί η RSM σωστά παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



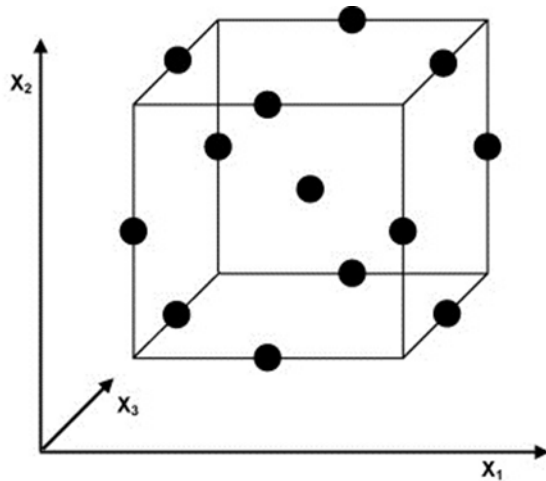
Εικόνα 4.2: Βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν στην RSM (Aydar, 2018)

4.3 Πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken

Το 1960 οι Box και Behnken πρότειναν έναν πειραματικό σχεδιασμό για τρεις παράγοντες. Ο σχεδιασμός αυτός είναι δευτέρου βαθμού που βασίζεται σε μη ολοκληρωμένους σχεδιασμούς τριών παραγόντων (Aslan *et al.*, 2007). Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της ανάλυσης είναι η μείωση των πειραμάτων που διεξάγονται σε μια διεργασία (Czyrski, *et al.*, 2019). Σύμφωνα με τους Ferreira *et al* (2007) ο σχεδιασμός έχει και άλλα πλεονεκτήματα, καθώς μπορεί να εκτιμήσει τις παραμέτρους του τετραγωνικού μοντέλου, μπορεί να κατασκευάσει διαδοχικά σχέδια και μπορεί να ανιχνεύσει τότε δεν προσαρμόζεται καλά το μοντέλο. Όμως ο Box-Behnken σχεδιασμός δεν περιλαμβάνει τους συνδυασμούς στους οποίους όλες οι μεταβλητές βρίσκονται στο υψηλότερο ή χαμηλότερο σημείο (ακραίες συνθήκες), καθώς αν υπολογίσουμε τις τιμές σε αυτά τα σημεία δεν θα έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης, αυτός ο σχεδιασμός δεν ενδείκνυται όταν θέλουμε να ξέρουμε την απόκριση στις ακραίες τιμές των μεταβλητών (Czyrski, *et al.*, 2019). Τα πειράματα που θα διεξαχθούν με τον Box-Behnken υπολογίζονται από την παρακάτω εξίσωση (Souza *et al.*, 2005) :

$$N = k^2 + k + c_p \quad (9)$$

όπου k είναι ο αριθμός παράγοντα και c_p είναι το αντίγραφο του αριθμού του κεντρικού σημείου (replicate number of the central number). Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει το σχεδιασμό αυτό (σε γεωμετρική απεικόνιση και σε πίνακα κωδικοποίησης των πειραμάτων) για τρεις παράγοντες.



Εικόνα 4.3: Γεωμετρική απεικόνιση για τρεις παράγοντες (Ferreira et al., 2007)

Ενώ παρακάτω έχουμε την απεικόνιση του σχεδιασμού σε πίνακα κωδικοποίησης των πειραμάτων για τρεις παράγοντες.

Πίνακας 4.1: Πίνακας κωδικοποίησης πειραμάτων για τρεις παράγοντες (Ferreira et al., 2007)

X_1	X_2	X_3
-1	-1	0
1	-1	0
-1	1	0
1	1	0
-1	0	-1
1	0	-1
-1	0	1
1	0	1
0	-1	-1
0	1	-1
0	-1	1
0	1	1
0	0	0
0	0	0
0	0	0

Από την εικόνα 2 βλέπουμε ότι αυτός ο σχεδιασμός αποτελείται από τρία μέρη τεσσάρων σειρών. Σε κάθε μέρος οι δύο παράγοντες είναι διατεταγμένοι σε δύο επίπεδα,

ενώ το επίπεδο του τρίτου παράγοντα είναι μηδέν. Τα σημεία βρίσκονται στην επιφάνεια μιας σφαίρας με κέντρο την αρχή του συστήματος (Ferreira et al., 2007).

4.4 Πλεονεκτήματα RSM

Σύμφωνα με τους Bas et al., (2007), με την RSM μπορούμε να αντλήσουμε πολλές πληροφορίες από ένα σχετικά μικρό αριθμό πειραμάτων, καθώς άλλες μέθοδοι είναι χρονοβόρες και απαιτούν πολλά πειράματα για να εξηγήσουν πώς λειτουργεί μια διεργασία. Επίσης, με την RSM παρατηρούμε τις επιδράσεις που έχουν πάνω στην απόκριση οι ανεξάρτητες μεταβλητές. Αυτή η αλληλεπίδραση φαίνεται και από τις εξισώσεις κυρίως σε δυαδικό σύστημα ανεξάρτητων μεταβλητών. Ακόμα, το εμπειρικό μοντέλο που συνδέει την απόκριση με τις ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί και αυτό να χρησιμοποιηθεί για να αντλήσουμε πληροφορίες για τη διεργασία.

4.5 Μειονεκτήματα RSM

Σύμφωνα με τους Bas et al., (2007), το βασικότερο πρόβλημα της RSM είναι να ενσωματώσει τα δεδομένα σε δευτέρου βαθμού πολυωνυμική εξίσωση. Για παράδειγμα η επίδραση της θερμοκρασίας σε βιοχημικές διεργασίες περιγράφεται από συμμετρικές και μη καμπύλες. Όταν η καμπύλη είναι μη συμμετρική, δεν μπορεί να περιγραφεί η επίδραση της θερμοκρασίας με εξίσωση δευτέρου βαθμού. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση της θερμοκρασίας πρέπει τα δεδομένα να μετατραπούν σε άλλη μορφή που μπορεί να περιγραφεί από την πολυωνυμική εξίσωση δευτέρου βαθμού. Όμως, η μετατροπή αυτή δεν είναι σίγουρο ότι δίνει επιθυμητά αποτελέσματα για όλα τα συστήματα. Επίσης, η διαδικασία της μετατροπής είναι χρονοβόρα και πολλές φορές είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ποια μορφή μετατροπής είναι η κατάλληλη. Μια λύση είναι να μειωθεί ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών για να έχει περισσότερη ακρίβεια η εξίσωση δευτέρου βαθμού, όμως η διεργασία με στενό όριο μεταβλητών μειώνει την πιθανότητα προσδιορισμού του αμετάβλητου σημείου.

4.6 Μελέτες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς με χρήση Response Surface Methodology (RSM)

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια ήπια θερμική διεργασία, σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους, που χρησιμοποιείται ως προκατεργασία για τη συντήρηση των

τροφίμων και στη συνέχεια ακολουθεί μια άλλη επεξεργασία. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μελέτες που έχουν γίνει για να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία της οσμωτικής αφυδάτωσης με τη χρήση της μεθοδολογίας επιφανειών απόκρισης. Οι περισσότερες μελέτες έχουν γίνει πάνω σε φυτικούς ιστούς και κυρίως φρούτα, ενώ ελάχιστες είναι αυτές που έχουν διεξαχθεί σε μανιτάρια και ειδικά σε λεντινούλα.

Πίνακας 4.2: Μελέτες οσμωτικής αφυδάτωσης σε φυτικούς ιστούς με χρήση Response Surface Methodology (RSM)

Τρόφιμο	Ωσμωτικό διάλυμα	Συνθήκες ώσμωσης	Βέλτιστες συνθήκες	Αναλογία διαλύματος/δείγματος	Βιβλιογραφία
Πατάτα	Σακχαρόζη 40-60% Αλάτι 0-15%	20-60°C, 30-360min	22°C, 329min Σακχαρόζη 54,5% Αλάτι 14%	5:1	<i>Eren & Kaymak-Ertekin, 2007</i>
Ακτινίδιο	Σακχαρόζη 20-80%	15-75°C, 60-420min Πάχος 2-10mm	30-40°C, 150min Σακχαρόζη 60% Πάχος 8mm	4:1	<i>Cao et al., 2006</i>
Παπάγια (<i>Carica papaya</i>)	Σιρόπι ζάχαρης 40-80%	30-70°C, 120-600min	37°C, 265min Σιρόπι 60%	4:1	<i>Jain et al., 2011</i>
Πεπονάκι (<i>Cantaloupe melo</i>)	Σακχαρόζη 45-55%	40-50°C, 60-120min	37,95°C, 132,30min Σακχαρόζη 41,60%	20:1	<i>Corzo & Gomez, 2004</i>
Γκουάβα (<i>Psidium guajava</i>)	Σακχαρόζη 40-60%	20-40°C Παλμός κενού στα 100 mbar 0-20min	32°C, 20min σε παλμό κενού Σακχαρόζη 60%	45:1	<i>Vieira et al., 2012</i>
Ντοματάκι (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Σακχαρόζη 51,59-68,40% NaCl 1,65-3,34%	25°C (θερμοκρασία δωματίου) 120-1320min	1320min Σακχαρόζη 55,62% NaCl 2,45%	5:1	<i>Derossi et al., 2015</i>
Κουνουπίδι (<i>Brassica oleracia var. botrytis</i>)	NaCl 5-25%	40-90°C, 5-180min	80°C, 5min NaCl 12%	2:1, 4:1	<i>Vijayanand et al., 1995</i>

Μούρα	Ζάχαρη 30-70%	20-70°C, 600min	70°C Ζάχαρη 70% 1,8:10	10:1, 10:2	<i>Ghellam et al., 2021</i>
Ινδικό φραγκοστάφυλλο (<i>Phyllanthus emblica L</i>)	Ζάχαρη 50-70%	30-60°C, 60-180min	51°C, 60min Ζάχαρη 59% 4:1	4:1, 8:1	<i>Alam et al., 2010</i>
Λευκό μανιτάρι	Σακχαρόζη 40-60% NaCl 0-15%	25-40°C, 120-300min	39°C, 164min Σακχαρόζη 53% NaCl 14%	10:1	<i>Dehkordi, 2010</i>
Λευκό μανιτάρι	NaCl 10-20%	35-55°C, 30-60min	44,89°C, 47,59min NaCl 16,53%	5:1	<i>Mehta et al., 2013</i>
Μανιτάρι Πλευρώτους (<i>Pleurotus sajor-caju</i>)	Ζάχαρη 45-65% NaCl 15%	30-60°C, 15-240min	42,3°C, 44,21min Ζάχαρη 52,57% NaCl 15% 4,99:1	4:1, 8:1	<i>Ramya et al., 2014</i>

Οι *Eren & Kaymak-Ertekin (2007)* με τη βοήθεια της RSM χρησιμοποίησαν 4 μεταβλητές (θερμοκρασία, χρόνος, συγκέντρωση σακχαρόζης, συγκέντρωση άλατος) σε 2 επίπεδα για να δουν τις επιδράσεις της οσμωτικής αφυδάτωσης σε πατάτα στην απώλεια νερού, στην ενεργότητα ύδατος, στην απώλεια βάρους και στην πρόσληψη στερεών. Ο πειραματικός σχεδιασμός που χρησιμοποίησαν ήταν ο Central Composite. Από τα αποτελέσματα παρατήρησαν ότι και οι 4 μεταβλητές είχαν σημαντική επίδραση στις αποκρίσεις, όμως η συγκέντρωση άλατος είχε μεγαλύτερη επίδραση σε σχέση με τη συγκέντρωση σακχαρόζης. Για να βελτιστοποιήσουν τις συνθήκες έθεσαν ως προϋπόθεση τη μέγιστη απώλεια νερού και βάρους και την ελάχιστη ενεργότητα ύδατος και πρόσληψη στερεών.

Οι *Cao et al. (2006)* στη μελέτη τους στο ακτινίδιο χρησιμοποίησαν 4 μεταβλητές (συγκέντρωση σακχαρόζης, θερμοκρασία, χρόνος, πάχος δειγμάτων) σε 5 επίπεδα, με τη βοήθεια του πειραματικού σχεδιασμού Central Composite. Η RSM χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί η επίδραση των μεταβλητών στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας του ακτινιδίου. Όλοι οι παράγοντες επηρέαζαν την απώλεια νερού,

όμως τη σημαντικότερη επίδραση είχε η συγκέντρωση της σακχαρόζης, ενώ τη μικρότερη επίδραση το πάχος των δειγμάτων. Όσον αφορά στην πρόσληψη στερεών το πάχος των δειγμάτων, η θερμοκρασία και ο χρόνος ώσμωσης είχαν σημαντική επίδραση, ενώ την απώλεια ασκορβικού οξέος επηρέαζε περισσότερο η θερμοκρασία του διαλύματος με τη συγκέντρωση της σακχαρόζης να μην έχει σημαντικό ρόλο. Οι βέλτιστες συνθήκες επιδιώκουν την μέγιστη απώλεια νερού με συνδυασμό την ελάχιστη απώλεια ασκορβικού οξέος.

Οι *Jain et al. (2011)* στη μελέτη τους στην παπάγια διεξήγαγαν 15 πειράματα με τη χρήση της RSM με 3 παράγοντες (συγκέντρωση σιροπιού, θερμοκρασία και χρόνος ώσμωσης) σε 3 επίπεδα για να δουν τις επιδράσεις της ώσμωσης στην απώλεια νερού και στη πρόσληψη στερεών. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων είδαν ότι η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών επηρεάζονταν και από τις 3 μεταβλητές. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου, υπήρξε και αύξηση της πρόσληψης στερεών, ενώ η απώλεια νερού δεν είχε την ίδια ανταπόκριση. Επειδή οι ερευνητές ήθελαν το τελικό προϊόν τους να είναι γλυκό και να είναι αποδεκτό από τους καταναλωτές αποφάσισαν να βελτιστοποιήσουν την πρόσληψη των στερεών.

Οι *Corzo & Gomez (2004)* χρησιμοποίησαν τον Central Composite πειραματικό σχεδιασμό με 3 παράγοντες (συγκέντρωση σακχαρόζης, θερμοκρασία ώσμωσης, χρόνος ώσμωσης) σε 3 επίπεδα για να δουν τις επιδράσεις της ωσμωτικής αφυδάτωσης στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας της παπάγιας. Από τα πειράματα παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία και ο χρόνος ώσμωσης είχαν τη σημαντικότερη επίδραση στην απώλεια νερού, στην απώλεια μάζας και στην αύξηση των ⁰Brix. Για να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία χρησιμοποίησαν τη μεθοδολογία επιθυμητής συνάρτησης (desired function methodology) και έθεσαν τους εξής περιορισμούς:

- 1) οι 3 μεταβλητές να είναι εντός των συγκεκριμένων τιμών -1,682 ως 1,682 (κωδικοποιημένες τιμές)
- 2) η απώλεια μάζας και η αύξηση των ⁰Brix να είναι ελάχιστη, ενώ η απώλεια νερού μέγιστη.

Οι *Vieira et al. (2012)* χρησιμοποίησαν την RSM για να δουν την επίδραση των 3 παραγόντων (συγκέντρωση σακχαρόζης, θερμοκρασία, χρόνος υπό παλμό κενού) στην ωσμωτική αφυδάτωση του guava. Οι εξαρτημένες μεταβλητές (αποκρίσεις) ήταν η απώλεια νερού, η πρόσληψη στερεών, η ενεργότητα ύδατος, το χρώμα και οι μηχανικές ιδιότητες του guava. Ο πειραματικός σχεδιασμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Central Composite με 3 μεταβλητές σε 2 επίπεδα. Τα πειράματα έδειξαν

ότι η συγκέντρωση της σακχαρόζης είχε την σημαντικότερη επίδραση στην απώλεια του νερού και στην απώλεια βάρους, ενώ τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου επηρεάστηκαν ελάχιστα από την ωσμωτική αφυδάτωση. Η βελτιστοποίηση της διαδικασίας έγινε με τη χρήση συναρτήσεων επιθυμίας (desirability function) με την προϋπόθεση να έχουμε μέγιστη απώλεια νερού και βάρους και ελάχιστη ενεργότητα ύδατος, καθώς μόνο αυτές οι αποκρίσεις μπορούσαν να περιγράψουν ικανοποιητικά τα πειραματικά δεδομένα.

Οι *Derossi et al. (2015)* στη μελέτη τους σε ντοματάκι χρησιμοποίησαν τον Central Composite πειραματικό σχεδιασμό 3 παραγόντων (συγκέντρωση σακχαρόζης, συγκέντρωση άλατος, χρόνος) σε 5 επίπεδα για να δουν τις επιπτώσεις της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η ενεργότητα ύδατος, η υγρασία, η συνεκτικότητα και ο δείκτης μεταβολής κόκκινου χρώματος (a^*) ήταν οι παράμετροι που επηρεάστηκαν σημαντικά από τις μεταβλητές. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα σακχαρόζης και ο χρόνος επεξεργασίας ήταν οι σημαντικότεροι παράγοντες στην μείωση της ενεργότητας ύδατος και της υγρασίας, ενώ για τη συνοχή και το χρώμα του τροφίμου σημαντικότεροι παράγοντες ήταν η συγκέντρωση της σακχαρόζης και του άλατος. Για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας με τη βοήθεια συναρτήσεων επιθυμίας είδαν ότι ενεργότητα ύδατος 0,935 εμπόδιζε την ανάπτυξη του *Cl.botulinum* και διατηρούσε παράλληλα το χρώμα και τη συνοχή των δειγμάτων.

Οι *Vijayanand et al (1995)* χρησιμοποίησαν τον Central Composite σχεδιασμό για να διεξάγουν τα πειράματα με 4 μεταβλητές (συγκέντρωση άλατος, θερμοκρασία ώσμωσης, χρόνος ώσμωσης, αναλογία διαλύματος/δείγματος) και να παρατηρήσουν τις επιδράσεις στην απώλεια βάρους και στην πρόσληψη άλατος στο κουνουπίδι. Η απώλεια βάρους επηρεάστηκε περισσότερο από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του διαλύματος σε σχέση με το χρόνο και την αναλογία διαλύματος/δείγματος. Η πρόσληψη άλατος επηρεάστηκε και αυτή περισσότερο από τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία (σχεδόν σε ίδιο βαθμό). Για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ως κριτήριο είχαν τη μέγιστη απώλεια βάρους με τον περιορισμό να μην ξεπερνά το αλάτι το 4% στο τελικό προϊόν, καθώς αυτή η τιμή θεωρείται η μέγιστη αποδεκτή στο μαγειρεμένο κουνουπίδι. Επίσης, με αυτές τις βέλτιστες συνθήκες παρατήρησαν ότι αναστέλλεται η πολυφαινολοξειδάση που προκαλεί ενζυμική αμάυρωση.

Οι *Ghellam et al. (2021)* χρησιμοποίησαν την RSM για να εκτιμήσουν τις επιδράσεις των μεταβλητών της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην απώλεια νερού, στην

πρόσληψη στερεών, στην απώλεια βάρους, στην ενεργότητα ύδατος, στην πυκνότητα και στο χρώμα των μούρων. Ο Box-Behnken σχεδιασμός 3 παραγόντων (συγκέντρωση διαλύματος, θερμοκρασία, αναλογία διαλύματος/δείγματος) σε 3 επίπεδα χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Η συγκέντρωση και η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος ήταν οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρέασαν όλες τις αποκρίσεις, ενώ η αναλογία διαλύματος/δείγματος είχε σημαντική επίδραση μόνο στην απώλεια νερού μετά από 10 ώρες επεξεργασίας. Για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας τα κριτήρια που επιλέχθηκαν ήταν η μέγιστη απώλεια νερού και πυκνότητα και η ελάχιστη ενεργότητα ύδατος.

Οι Alam et al. (2010) με τη βοήθεια της RSM παρατήρησαν τις επιδράσεις των παραγόντων της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην απώλεια νερού, στην πρόσληψη στερεών, στην αναλογία επανυδάτωσης (rehydration ratio), στην απώλεια βιταμίνης C, στην αλλαγή του χρώματος και στην ολική αισθητηριακή αποδοχή. Ο Box-Behnken σχεδιασμός 4 μεταβλητών (συγκέντρωση ζάχαρης, θερμοκρασία ώσμωσης, χρόνος ώσμωσης, αναλογία διαλύματος/δείγματος) σε 3 επίπεδα χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συγκέντρωση, η θερμοκρασία, ο χρόνος είχαν μεγαλύτερη επίδραση σε όλες τις αποκρίσεις ανεξαρτήτως από την αναλογία διαλύματος/δείγματος. Συγκεκριμένα η συγκέντρωση είχε την μεγαλύτερη επίδραση στην απώλεια νερού, η θερμοκρασία στην ολική αισθητηριακή αποδοχή και ο χρόνος στην αναλογία επανυδάτωσης. Επίσης, ο χρόνος έδειξε μεγαλύτερη επίδραση στο χρώμα και στην απώλεια βιταμίνης C σε σχέση με τους άλλους παράγοντες. Για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας χρησιμοποιήθηκε το Design-Expert λογισμικό και ως κριτήρια τέθηκαν η μέγιστη απώλεια νερού, επανυδάτωσης και αισθητηριακής αποδοχής, ενώ ελάχιστη ήταν η πρόσληψη στερεών, η αλλαγή χρώματος και η απώλεια βιταμίνης C.

Ο Dehkordi (2010) στη μελέτη του για το λευκό μανιτάρι χρησιμοποίησε την RSM για να προβλέψει τις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης ως προεπεξεργασία για τη συμβατική ξήρανση των μανιταριών. Τα πειράματα διεξήχθησαν σύμφωνα με τον Central Composite σχεδιασμό 6 παραγόντων (θερμοκρασία ώσμωσης, χρόνος ώσμωσης, συγκέντρωση άλατος, συγκέντρωση σακχαρόζης, πίεση, θερμοκρασία ξήρανσης) σε 5 επίπεδα. Με την αύξηση της συγκέντρωσης σακχαρόζης μέχρι 55%, υπήρξε και αντίστοιχη αύξηση στην πρόσληψη στερεών. Η αναλογία επανυδάτωσης (rehydration ratio) επηρεάστηκε από μεμονωμένες διακυμάνσεις του χρόνου ώσμωσης και της συγκέντρωσης άλατος, ενώ η συρρίκνωση των δειγμάτων

δεν επηρεάστηκε άμεσα από τις συνθήκες του πειράματος. Η απώλεια νερού επηρεάστηκε περισσότερο από τη συγκέντρωση άλατος παρά από την πίεση. Οι βέλτιστες συνθήκες στοχεύουν στη μεγάλη απώλεια νερού και επανυδάτωσης και στη μικρή πρόσληψη στερεών και συρρίκνωσης του δείγματος. Για την επαλήθευση των βέλτιστων συνθηκών διεξήχθησαν 4 πειράματα.

Οι *Mehta et al. (2013)* στη μελέτη τους στο λευκό μανιτάρι χρησιμοποίησαν την RSM για να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ο Box-Behnken πειραματικός σχεδιασμός 3 μεταβλητών (συγκέντρωση άλατος, θερμοκρασία ώσμωσης, χρόνος ώσμωσης) σε 3 επίπεδα χρησιμοποιήθηκε για να δουν τις επιδράσεις των παραγόντων στην απώλεια νερού και στη πρόσληψη αλατιού. Η θερμοκρασία είχε την μικρότερη επίδραση στην απώλεια νερού, ενώ η πρόσληψη του αλατιού επηρεαζόταν εξίσου και από τις 3 μεταβλητές. Για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας τα κριτήρια που τέθηκαν ήταν η μέγιστη απώλεια νερού και η βέλτιστη πρόσληψη αλατιού (2,98%). Αυτή η ποσότητα αποφασίστηκε ύστερα από οργανοληπτική αξιολόγηση που έγινε σε διάφορα ωσμωτικά αποξηραμένα μανιτάρια με διαφορετικές ποσότητες αλατιού, έτσι ώστε το τελικό προϊόν να έχει την κατάλληλη αλμυρή γεύση.

Οι *Ramya et al. (2014)* χρησιμοποίησαν τον Box-Behnken πειραματικό σχεδιασμό με 4 παράγοντες (συγκέντρωση μίγματος αλατιού/ζάχαρης, θερμοκρασία ώσμωσης, χρόνος ώσμωσης, αναλογία διαλύματος/δείγματος) για να δουν τους βέλτιστους συνδυασμούς των μεταβλητών και να μελετήσουν τις επιδράσεις τους πάνω στην απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών και την απώλεια βάρους σε μανιτάρι Πλευρώτους (*Pleurotus sajor-caju*). Από τα πειράματα που έγιναν παρατήρησαν ότι όλοι οι παράγοντες είχαν σημαντική επίδραση πάνω στις εξαρτημένες παραμέτρους. Με τη βοήθεια του Design-Expert λογισμικού βρήκαν τις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης. Τα κριτήρια για την εύρεση των βέλτιστων συνθηκών ήταν η μέγιστη απώλεια νερού και βάρους και η ελάχιστη πρόσληψη στερεών.

Από τα παραπάνω πειράματα βλέπουμε ότι η RSM χρησιμοποιήθηκε για τη βελτιστοποίηση της ωσμωτικής αφυδάτωσης με κυρίαρχο πειραματικό σχεδιασμό τον Central Composite και σε κάποιες περιπτώσεις τον Box-Behnken. Οι παράμετροι ήταν συνήθως η συγκέντρωση, η θερμοκρασία και ο χρόνος ώσμωσης, ενώ οι αποκρίσεις αφορούσαν κυρίως τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας των τροφίμων (απώλεια νερού, πρόσληψη στερεών), αλλά δεν έλειψαν και αυτές που μελετούσαν το χρώμα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Οι περισσότερες μελέτες αφορούσαν φρούτα,

ενώ ελάχιστες ήταν αυτές που επικεντρώνονταν στα μανιτάρια. Όλες οι μελέτες συμπεράναν ότι η χρήση της RSM είναι ένα ικανοποιητικό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Κεφάλαιο 5: Πειραματικό μέρος

Στην παρούσα πτυχιακή χρησιμοποιήθηκαν μανιτάρια Λεντινούλα-*Lentinula edodes* (στα Ιαπωνικά <<Shiitake>>) τα οποία προμηθεύτηκαν από την εταιρεία Μανιτάρια Δίρφους (www.manitariadirfis.gr) που εδρεύει στους Καθενούς Ευβοίας.

Για τη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιήθηκαν τεμάχια μανιταριού λεντινούλας πάχους 8 ± 1 cm και βάρους 13 ± 1 gr. Για την πραγματοποίηση της ώσμωσης παρασκευάστηκαν 8 διαφορετικά υπερτονικά διαλύματα γλυκερόλης με προσθήκη 5% NaCl και 1,5% CaCl₂ (το NaCl δρα συνεργιστικά με τη γλυκερόλη ως ωσμωτικός παράγοντας και το CaCl₂ προστίθεται για να διατηρηθεί η υφή). Τα τεμάχια εμβαπτίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα (με συγκέντρωση γλυκερόλης 40-50-60%, NaCl 5% και CaCl₂ 1,5%) με αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα 1:15. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο (PolyScience water bath, WB10A11B) ή σε θάλαμο ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας στους 20, 30 και 40°C. Τα δείγματα παρέμειναν εμβαπτισμένα στο διάλυμα για 180min. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας λαμβάνονται ενδιάμεσες μετρήσεις για τον προσδιορισμό της υγρασίας, της μεταβολής του βάρους, των βαθμών °Brix, του άλατος, της πρόσληψης στερεών, της ενεργότητας ύδατος (a_w), του χρώματος και της υφής. Παράλληλα ετοιμάζονται δείγματα μανιταριών τα οποία δεν υποβάλλονται σε ώσμωση (μάρτυρες).



Εικόνα 5.1: PolyScience water bath



Εικόνα 5.2: WB10A11B

5.1 Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Τα δείγματα του μανιταριού αφού απομακρυνθούν από το ωσμωτικό διάλυμα, σκουπίζονται επιφανειακά με απορροφητικό χαρτί για να απομακρυνθεί το επιφανειακό ωσμωτικό διάλυμα και στη συνέχεια πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετρήσεις:

5.1.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών ($^{\circ}\text{Brix}$)

Σκοπός της μέτρησης των διαλυτών στερεών συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος είναι ο προσδιορισμός των στερεών που απορρόφησε το δείγμα μανιταριού κατά τη διεργασία της ώσμωσης και η σταδιακή αραίωση του ωσμωτικού διαλύματος. Η μέτρηση έγινε με το διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO).



Εικόνα 5.3: Διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO)

5.1.1.1 Πειραματική διαδικασία

Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται καθαρισμός της επιφανείας του πρίσματος του οργάνου και βαθμονόμησή του με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια τοποθετείται μία σταγόνα από το διάλυμα, κλείνει το καπάκι και έπειτα παρατηρείται η τιμή των °Brix.



Εικόνα 5.4: Εσωτερικό του διαθλασίμετρου χειρός 0-90% (ATAGO).

5.1.2 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού(a_w)

Σκοπός της μέτρησης της a_w είναι ο προσδιορισμός της ποσότητας του διαθέσιμου νερού που υπάρχει στο δείγμα πριν και μετά την ώσμωση. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε με το όργανο Aqualab 4TE Dew Point Water Activity Meter 4TE.

5.1.2.1 Πειραματική διαδικασία

Πριν τοποθετηθούν τα δείγματα, ενεργοποιείται το όργανο και αφήνεται κενό για 15 λεπτά, ώστε να επέλθει η απαραίτητη εξισορρόπηση. Το δείγμα του μανιταριού τεμαχίζεται σε πολύ μικρά κομμάτια και στη συνέχεια γεμίζεται το μικρό πλαστικό τρυβλίο μέχρι τη χαραγή, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν κενά. Έπειτα, το τρυβλίο τοποθετείται στη θέση μέτρησης του οργάνου, και όταν ακουστεί ο χαρακτηριστικός ήχος καταγράφουμε τη μέτρηση.



Εικόνα 5.5: AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE.

5.1.3 Ανάλυση Χρώματος

Σκοπός της μέτρησης αυτής είναι η σύγκριση του χρώματος των επεξεργασμένων δειγμάτων (μετά την ώσμωση) σε σχέση με το μάρτυρα. Η μέτρηση έγινε με το όργανο (Colour Tester Suga Test Instruments Co,Ltd). Η συσκευή χρησιμοποιεί το χρωματικό μοντέλο CIE L* a* b*. Τα χρώματα που μπορεί να αναγνωρίσει ο άνθρωπος μπορούν να περιγραφούν από αυτούς τους 3 παράγοντες. Το L*(Lightness) μετράει την φωτεινότητα και μπορεί να είναι από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό). Οι άλλες δύο παράμετροι a* και b* δεν έχουν κάποιο όριο. Οι αποχρώσεις του a* είναι κόκκινες στις θετικές τιμές και αντίστοιχα πράσινες στις αρνητικές τιμές, ενώ οι αποχρώσεις του b* είναι κίτρινο στις θετικές τιμές και μπλε στις αρνητικές τιμές.

5.1.3.1 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά η φόρτιση του οργάνου θα πρέπει να είναι πλήρης. Αυτό θα το γνωρίζουμε όταν ανάψει πράσινο το λαμπάκι στο μετασχηματιστή. Αφού ανοιχτεί εμφανίζονται οι τιμές X,Y,Z. Αν αυτές οι τιμές δεν συμφωνούν με την λευκή πλάκα που διαθέτει η συσκευή ρυθμίζονται ανάλογα. Έπειτα προσαρμόζετε η λευκή πλάκα κάτω από την κάμερα και πατιέται το κουμπί <STANDARD ADJ>. Στην συνέχεια τοποθετούνται τα δείγματα πάνω σε διηθητικό χαρτί που είναι ήδη αριθμημένο με τους κατάλληλους

χρόνους. Έπειτα προσαρμόζετε τρυβλίων Petri πάνω στο δείγμα για την καλύτερη εφαρμογή του φακού και καταγράφονται οι παράμετροι L^* b^* a^* . Για το κάθε δείγμα επαναλαμβάνεται η μέτρηση σε τρία διαφορετικά σημεία της επιφάνειας του δείγματος.

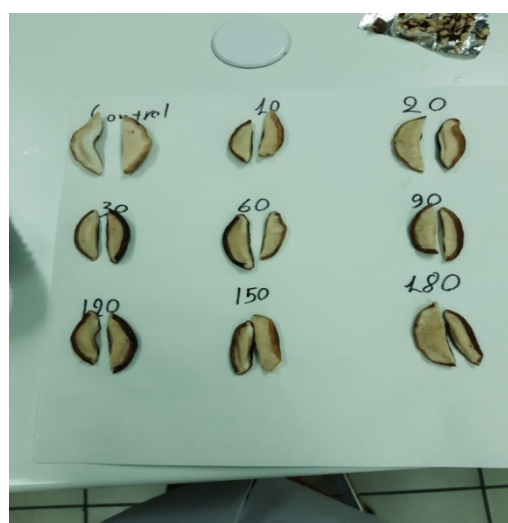
Για τον προσδιορισμό της συνολικής μεταβολής χρώματος, μετρήθηκε ο δείκτης ΔE , ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (10)$$

Όπου ο δείκτης '0' αντιστοιχεί σε μετρήσεις στο χρόνο μηδέν (δείγματα control).



Εικόνα 5.6: Colour Tester Suga Test Instruments Co,Ltd



Εικόνα 5.7: Διάταξη μανιταριών κατά τη μέτρηση

5.1.4 Υπολογισμός αλατιού

Στόχος της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι η μέτρηση της ποσότητας του συνολικού αλατιού (συμπεριλαμβανομένου του αλατιού που φυσικώς υπάρχει στο δείγμα και αυτού που έχει απορροφήσει το δείγμα από το ωσμωτικό διάλυμα). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με την μέθοδο του Mohr. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για την σκληρότητα του νερού.

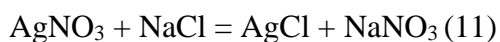
Εξοπλισμός-Αντιδραστήρια:

- Χρωμικό κάλιο K_2CrO_4 (δείκτης)
- Νιτρικός άργυρος $AgNO_3$ 0.1N
- $NaOH$ 0.1M
- Κωνικές και ογκομετρικές φιάλες των 250 ml
- Προχοΐδα

- Σιφόνια του 1 ml και των 50 ml
- Ποτήρια των 200 ml
- Διηθητικά χωνιά και διηθητικό χαρτί

5.1.4.1 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά το δείγμα το ψιλοκόβεται και μεταφέρονται 2 gr μέσα σε ποτήρι ζέσεως. Στην συνέχεια διηθείτε με ηθμό και προσαρμόζεται πάνω στα γυάλινα χωνιά που τοποθετούνται μέσα σε ογκομετρικές φιάλες 250ml. Έπειτα γεμίζεται το ποτήρι ζέσεως με απιονισμένο νερό για να γίνει η αραίωση. Παρατηρείται η άνοδος της στάθμης στην ογκομετρική φιάλη των 250ml. Μετέπειτα σε μια κωνική φιάλη προστέθηκε 1 ml χρωμικού καλίου (KCl) και 50 ml από την ογκομετρική φιάλη. Τέλος τιτλοδοτούμε με νιτρικό άργυρο (AgNO₃) και καταγράφτηκε η κατανάλωση. Το τελικό σημείο είναι η εμφάνιση μόνιμου κόκκινου χρώματος. Ακολουθούν υπολογισμοί με βάση την αντίδραση:



Αύτη η διαδικασία επαναλήφθηκε σε όλα τα δείγματα καθώς και στο μάρτυρα (control).



Εικόνα 5.8: Πριν την ογκομέτρηση (κίτρινο) και μετά (κόκκινο)



Εικόνα 5.9: Προχοίδα με AgNO₃

5.1.5 Μέτρηση ολικών στέρεων

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην απομάκρυνση του νερού από το δείγμα λόγω του χαμηλού σημείου ζέσεως του, σε σχέση με τα υπόλοιπα συστατικά (λιπίδια, πρωτεΐ-

νες, υδατάνθρακες και ανόργανα άλατα). Η συσκευή που χρησιμοποιούμε είναι ο κλίβανος κενού Heraeus Instruments VT 602.

Σκοπός της μέτρησης είναι ο υπολογισμός της υγρασίας (η ελάττωση του βάρους αποτελεί την απώλεια σε νερό και έτσι υπολογίζεται η % περιεκτικότητα του εκάστοτε δείγματος σε νερό), της απώλειας ύδατος (Water Loss, WL) και της πρόσληψης στερεών (Solid Gain, SG) των δειγμάτων, με τη βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων:

$$WL = \frac{(M_0 - m_0) - (M - m)}{m_0} \text{ g νερού} / 100\text{g αρχικού ξηρού βάρους} \quad (12)$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} \text{ g ολικών στερεών} / 100\text{g αρχικού ξηρού βάρους} \quad (13)$$

όπου

- M_0 : αρχική μάζα τροφίμου πριν από την ωσμωτική επεξεργασία
- M : μάζα τροφίμου μετά το χρόνο t της ωσμωτικής επεξεργασίας
- m : ξηρή μάζα τροφίμου μετά το χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας
- m_0 : ξηρή μάζα τροφίμου πριν από την ωσμωτική επεξεργασία



Εικόνα 5.10: Φούρνος κενού, Heraeus Instruments VT 602.

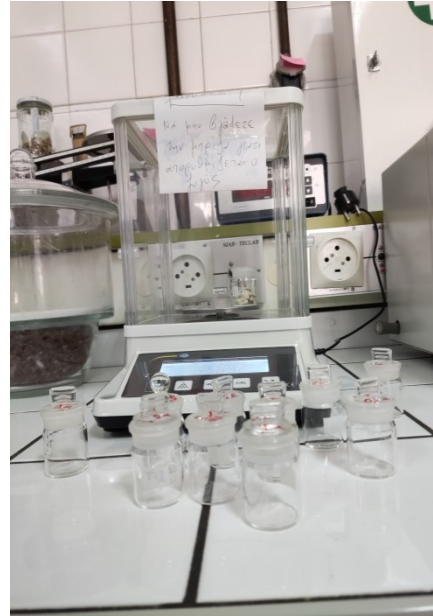
5.1.5.1 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά ζυγίστηκαν τα γυάλινα καψίδια με την βοήθεια του αναλυτικού ζυγού με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων. Έπειτα το δείγμα κόβεται σε μικρά κομματάκια και μεταφέρονται 2g ($\pm 0,02$) στα προζυγισμένα γυάλινα καψίδια. Στην συνέχεια τα καψίδια που έχουν ανοιχτεί με το καπάκι από πάνω από το στόμιο του καψιδίου, τοποθετούνται προσεκτικά και με την λαβίδα μέσα στον κλίβανο υπό κενό για 24 ώρες σε θερμοκρασία 70°C. Μέτα τις 24 ώρες αφαιρούνται τα καψίδια και τοποθετούνται

μέσα σε ξηραντήρα (για να πάρουν την θερμοκρασία περιβάλλοντος χωρίς να απορροφήσουν υγρασία από αυτό) με την βοήθεια λαβίδας. Έπειτα από 10 λεπτά ζυγίζονται σε αναλυτικό ζυγό τριών δεκαδικών ψηφίων.



Εικόνα 5.11: Δείγματα προς ξήρανση στο φούρνο κενού



Εικόνα 5.12: Καψίδια προς ζύγιση στον αναλ.ζυγό

5.1.6 Ανάλυση υφής

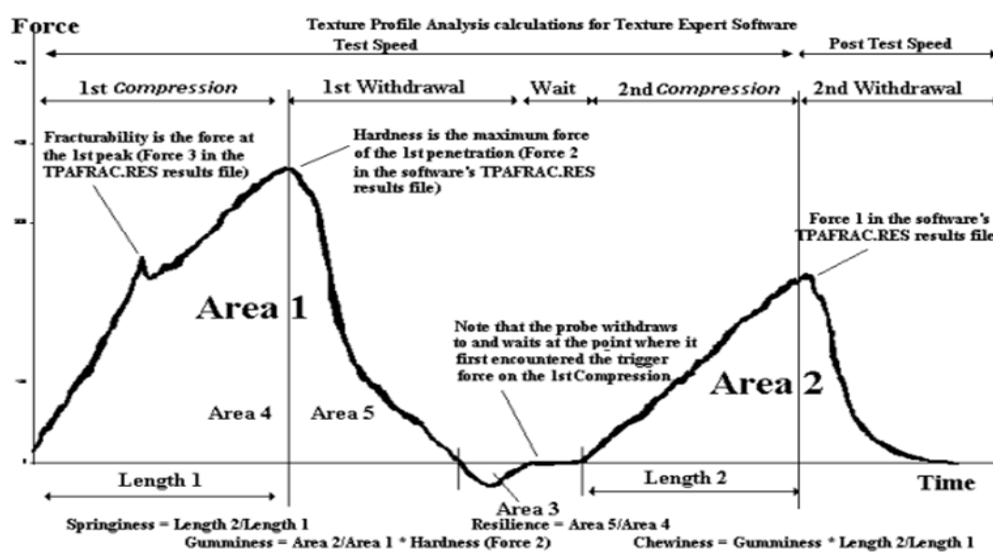
Για την ανάλυση της υφής χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής Texture Analyser-TA.XT.Plus.



Εικόνα 5.13: Αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus

5.1.6.1 Πειραματική διαδικασία

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος Texture Profile Analysis (TPA), στην οποία κάθε δείγμα υποβάλλεται σε δύο συμπίεσεις που προσομοιάζουν τη διαδικασία της μάσησης. Μεταξύ των δύο συμπίεσεων υπάρχει χρόνος παραμονής. Στο λογισμικό του υπολογιστή εισάγονται οι απαραίτητες παράμετροι όπως η ταχύτητα της καθόδου, η απόσταση της συμπίεσης από την επιφάνεια του δείγματος, η κατάλληλη μονάδα μέτρησης της αντίστασης. Τα δείγματα συμπίεστηκαν με αλουμινένιο κύλινδρο 6mm. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε ένα διάγραμμα αντίστασης-χρόνου με την μορφή του παρακάτω γραφήματος:



Εικόνα 5.14: Διάγραμμα αντίστασης-χρόνου

Από το γράφημα μπορούμε να υπολογίσουμε τις διάφορες ιδιότητες υφής του δείγματος που μας ενδιαφέρουν:

- Σκληρότητα (hardness): Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπίεστεί ένα τρόφιμο. Η σκληρότητα υπολογίζεται από την κορυφή της πρώτης καμπύλης.
- Συνεκτικότητα (cohesiveness): Εκφράζει την αντίσταση του προϊόντος στη δεύτερη συμπίεση σε σχέση με την πρώτη. Η συνεκτικότητα είναι το πηλίκο του δεύτερου εμβαδού κατά τη δεύτερη συμπίεση προς το αντίστοιχο της πρώτης συμπίεσης.
- Ελαστικότητα (elasticity): Δείχνει το πόσο καλά επανέρχεται ένα τρόφιμο στην αρχική του κατάσταση ύστερα από την πρώτη συμπίεση. Η ελαστικότητα είναι το πηλίκο της κορυφής της δεύτερης συμπίεσης προς την κορυφή της πρώτης συμπίεσης.

- Κολλώδες (adhesiveness): Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ο μεταλλικός κύλινδρος από το τρόφιμο. Το κολλώδες υπολογίζεται από το εμβαδόν της αρνητικής περιοχής.

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

Με την RSM υπολογίζονται οι βέλτιστες συνθήκες των ανεξάρτητων μεταβλητών (συγκέντρωση γλυκερόλης, θερμοκρασία και χρόνος πειραματικής διεργασίας) ώστε να έχουμε όσον το δυνατόν τα καλύτερα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά για το προϊόν που θα παραχθεί (στην περίπτωση μας στόχος της βελτιστοποίησης είναι η χαμηλή a_w και η μέγιστη διατήρηση χρώματος). Μετά από τους υπολογισμούς (η διαδικασία αναλύεται στο κεφάλαιο της RSM) ακολουθεί η διαδικασία του πειράματος επαλήθευσης των βέλτιστων πειραματικών συνθηκών της ωσμωτικής αφυδάτωσης διεξάγοντας όλες τις μετρήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, για να επαληθευθούν και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης. Για την συγκεκριμένη στατιστική μελέτη απαιτούνται 3 επίπεδα τιμών και ως πειραματικός σχεδιασμός επιλέχθηκε εκείνος, ο οποίος απαιτεί τη διεξαγωγή 15 σειρών πειραμάτων, όπως φαίνεται και από τον ακόλουθο πίνακα του σχεδιασμού Box-Behnken.

Πίνακας 5.1: Κωδικοποιημένες τιμές των παραμέτρων της διεργασίας σύμφωνα με το πρότυπο του Box-Behnken design

Παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης	Συγκέντρωση της γλυκερόλης (%)	Θερμοκρασία $^{\circ}\text{C}$	OD Χρόνος (min)	X_1	X_2	X_3
High	60	40	120	+1	+1	+1
Center	50	30	90	0	0	0
Low	40	20	60	-1	-1	-1
Standard order	X_1	X_2	X_3			
1	1	0	1			

2	-1	1	0
3	0	-1	1
4	0	1	-1
5	1	-1	0
6	1	0	-1
7	-1	0	1
8	-1	0	-1
9	-1	-1	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	1	1
13	1	1	0
14	0	-1	-1
15	0	0	0

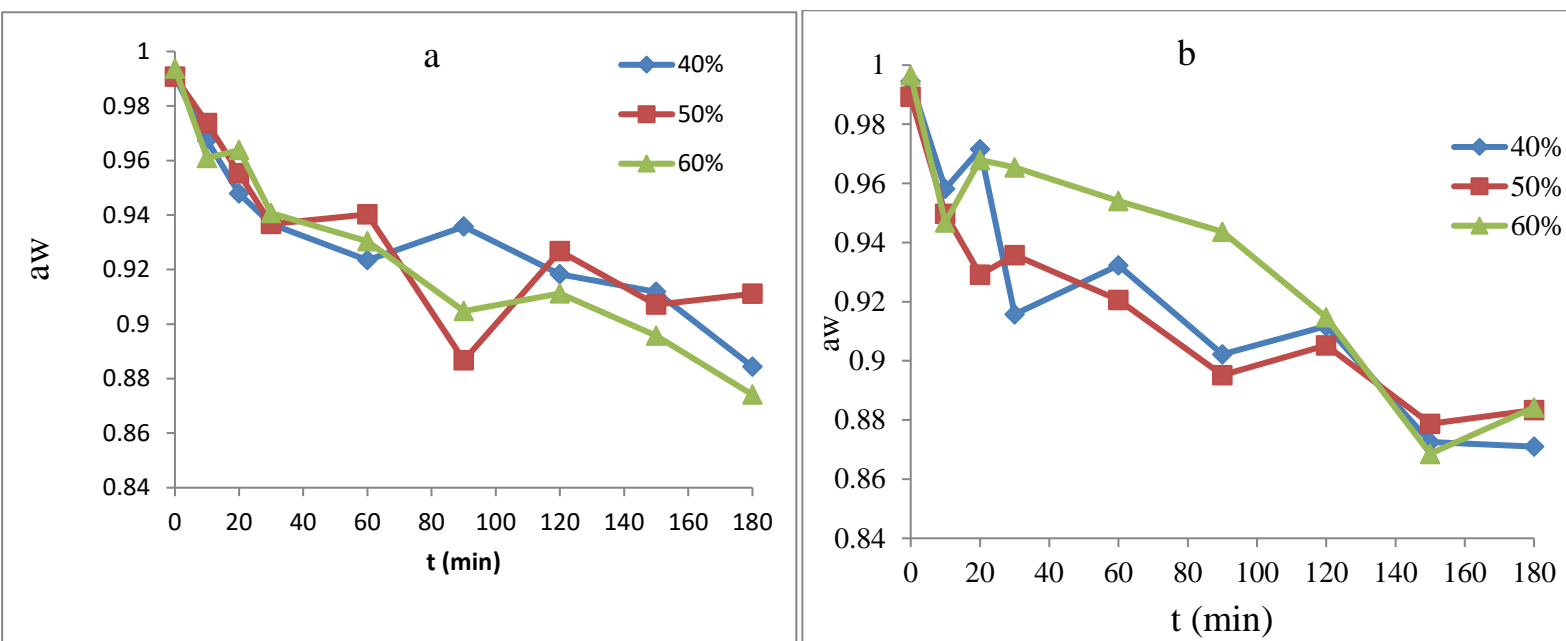
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα & Συζήτηση

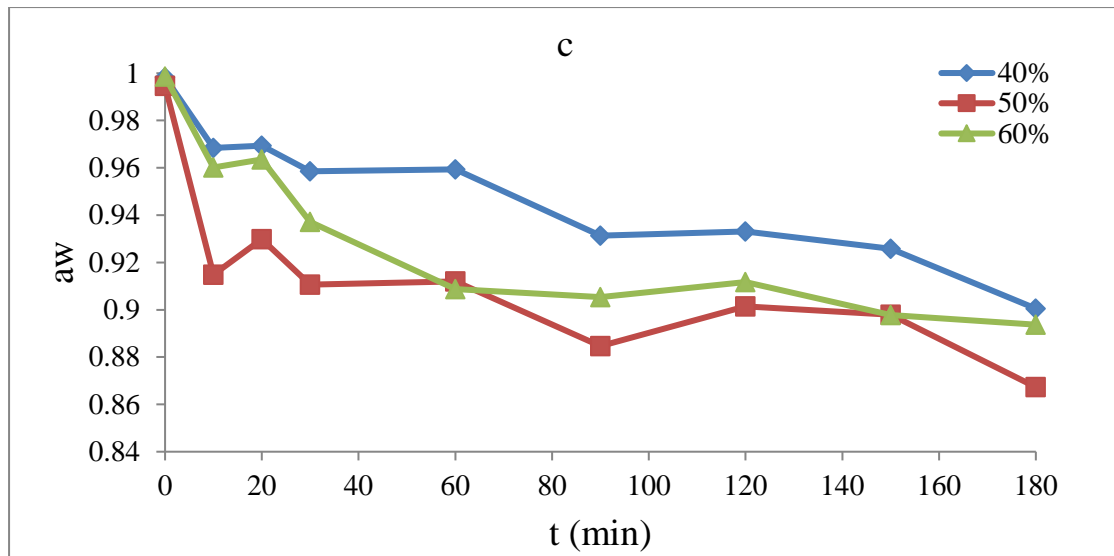
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα.

6.1. Κινητική μελέτη ωσμωτικής αφυδάτωσης

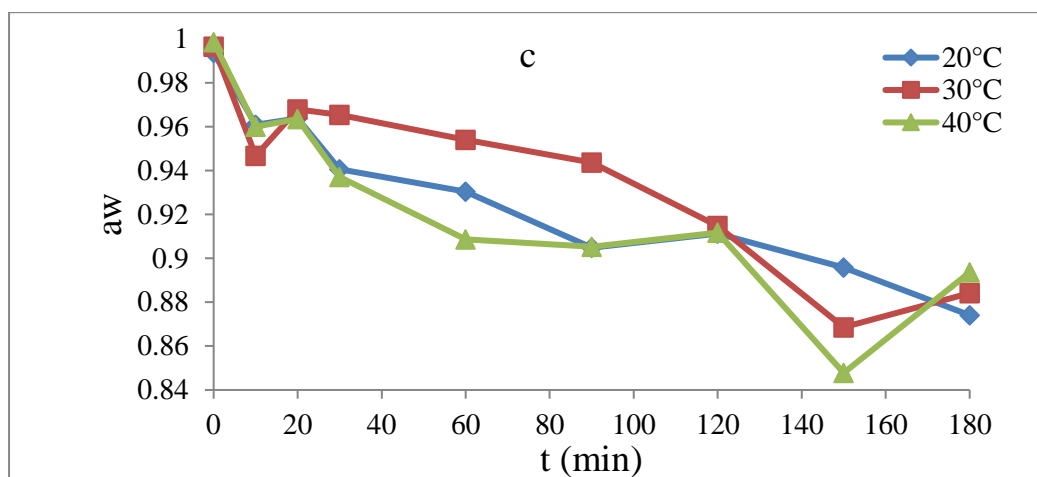
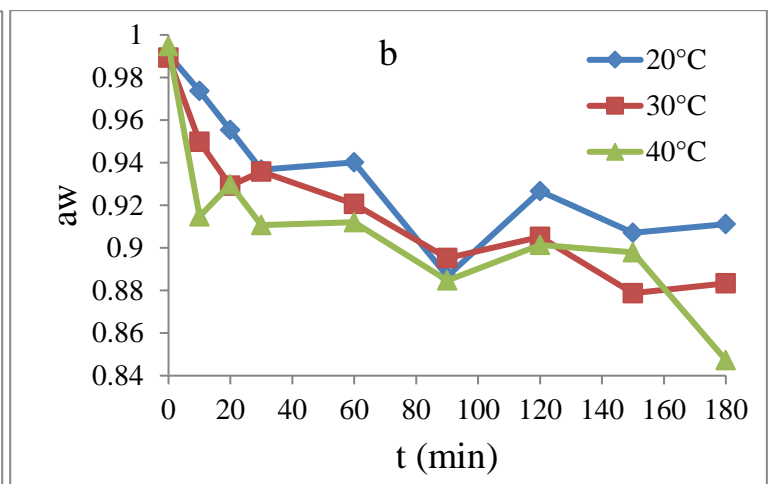
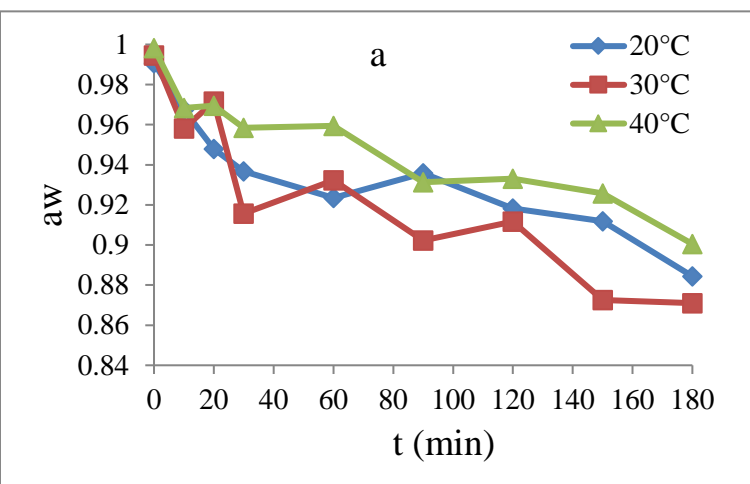
Κατά τη κινητική μελέτη έγιναν μετρήσεις για τη μεταβολή της ενεργότητας ύδατος (a_w), της υγρασίας των δειγμάτων και των βαθμών Brix του ωσμωτικού διαλύματος και υπολογίστηκαν η απώλεια ύδατος (WL) και η πρόσληψη στερεών (SG) σε διαφορετικές συγκεντρώσεις γλυκερόλης (40,50,60%) και διαφορετικές θερμοκρασίες (20,30,40°C) για συνολική διάρκεια ώσμωσης 180min. Η μεταβολή των παραπάνω δεικτών θα παρουσιαστεί σε 2 ειδών διαγράμματα, με σταθερή τη θερμοκρασία και με μεταβολή της συγκέντρωσης γλυκερόλης και με σταθερή τη συγκέντρωση γλυκερόλης και με μεταβολή της θερμοκρασίας, ώστε να φανεί κάθε φορά η επίδραση κάθε παράγοντα χωριστά.

6.1.1. Ενεργότητα ύδατος (a_w)





Γράφημα 6.1.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40,50 και 60% σε θερμοκρασία α) 20°C, β) 30°C, γ) 40°C.



Γράφημα 6.2.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30 °C και 40°C σε διάλυμα γλυκερόλης α) 40% κ.β ,b) 50% κ.β ,c) 60% κ.β.

Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι η ενεργότητα ύδατος (a_w) μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, ακολουθώντας μια εκθετική τάση ελάττωσης, με κάποιες αυξομειώσεις. Σχεδόν σε όλα τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι η a_w στα 180min έχει πέσει κάτω από το 0,90 και στις περισσότερες περιπτώσεις η τιμή έχει πέσει κάτω από το 0,90 από τα 120min. Εκεί κοντά στα 120min στα περισσότερα διαγράμματα φαίνεται να σταθεροποιείται η a_w . Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης γλυκερόλης ο ρυθμός μείωσης της a_w είναι μεγαλύτερος, με τη μεγαλύτερη μείωση της a_w να καταγράφεται όταν έχουμε 60% γλυκερόλη στους 40°C. Σύμφωνα με τους *Yang & Le Maguer (1992)* η υψηλή συγκέντρωση σακχαρόζης και άλατος έχουν ως αποτέλεσμα την μεγάλη πτώση της a_w . Επίσης, συμφωνεί με τα αποτελέσματα των *Šurpuć et al (2020)*, που παρατήρησαν ότι οι χαμηλότερες τιμές a_w ελήφθησαν στις πιο ακραίες τιμές των παραμέτρων επεξεργασίας (χρόνος 5h, θερμοκρασία 45°C, συγκέντρωση οσμωτικού μέσου 80%).

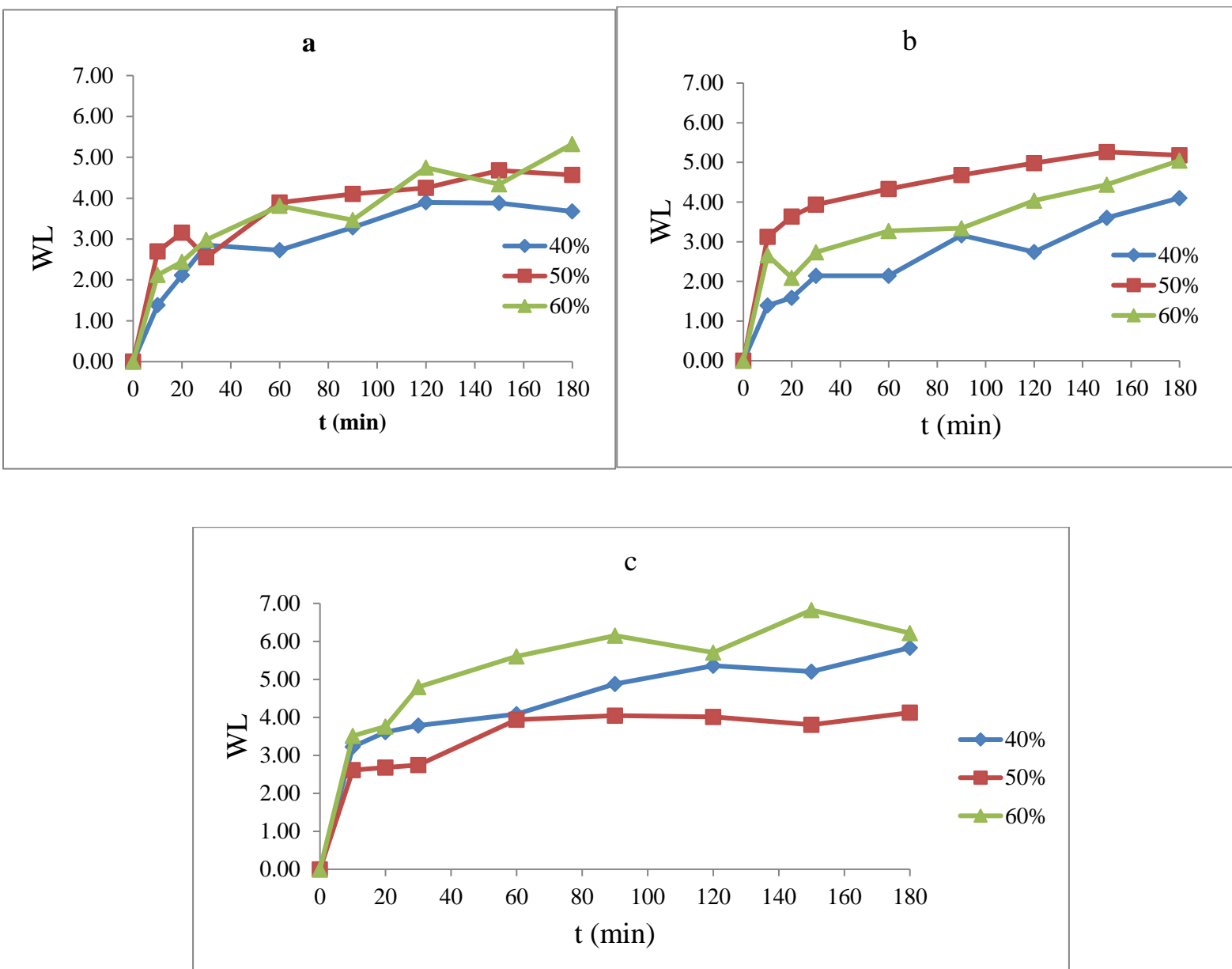
6.1.2 Brix του οσμωτικού διαλύματος

Πίνακας 6.1: Μεταβολή των βαθμών Brix του οσμωτικού διαλύματος κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C και 40°C σε διάλυμα γλυκερόλης α) 40% κ.β ,b) 50% κ.β και c) 60% κ.β

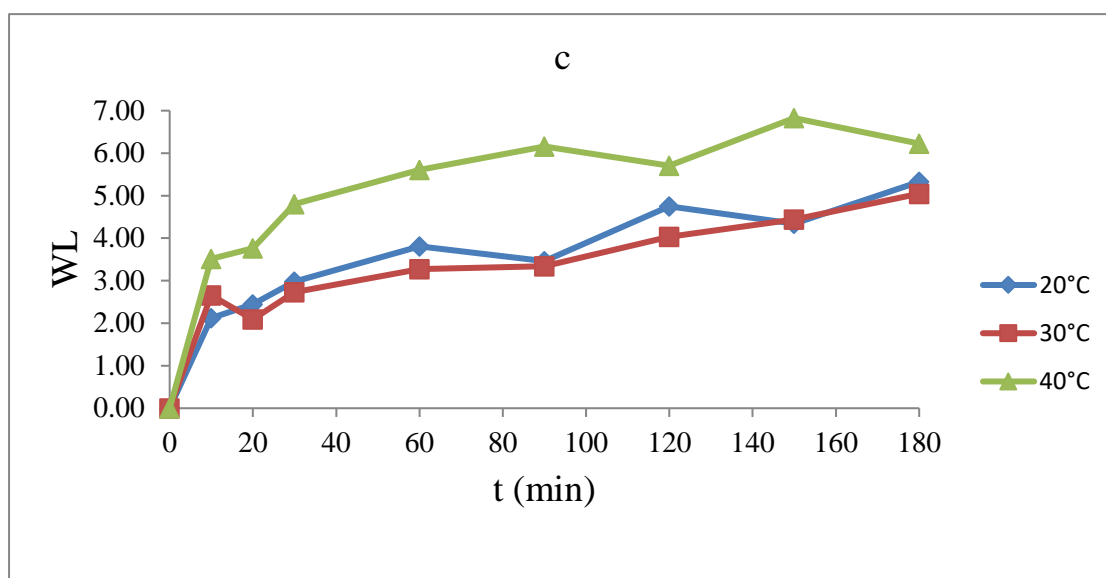
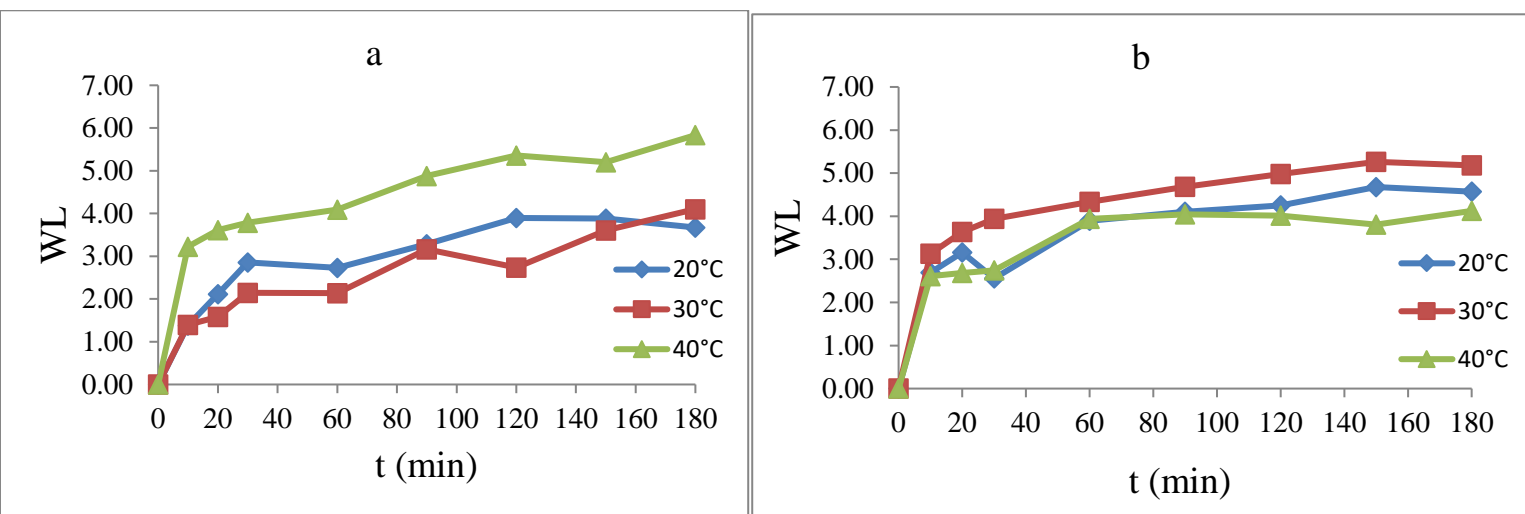
a				b				c			
Brix				Brix				Brix			
t(min)	20°C	30°C	40°C	t(min)	20°C	30°C	40°C	t(min)	20°C	30°C	40°C
0	39	39	40	0	47	47	48	0	56	55	57
10	38,5	39	39	10	44,5	44,8	47	10	53	52	55
20	37,5	38	39	20	41	44,7	46	20	53	52	53
30	37,5	36,5	38	30	41	44,8	47	30	53	53	53
60	37	39	38	60	41	44,7	46	60	53	53	52
90	36,5	38	38	90	42	44,3	46	90	52,5	53	53
120	36,5	37	38	120	43	44,7	47	120	51,5	52	54
150	37	38	37	150	43	44	46	150	52	51	52
180	37	37,5	38	180	43	44,7	47	180	52	52	52

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι οι βαθμοί Brix όλων των διαλυμάτων ανεξαρτήτως της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης γλυκερόλης παρουσιάζουν μικρή πτώση. Έτσι, η αναλογία διαλύματος/τροφίμου που επιλέξαμε δεν αραιώσε σημαντικά τα διαλύματα και δεν επηρέασε τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, όπως άλλωστε ήταν και το επιθυμητό.

6.1.3 Απώλεια ύδατος (WL, Water Loss)



Γράφημα 6.3: WL (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40% , 50% και 60 % σε θερμοκρασία a) 20°C , b) 30°C, c) 40°C

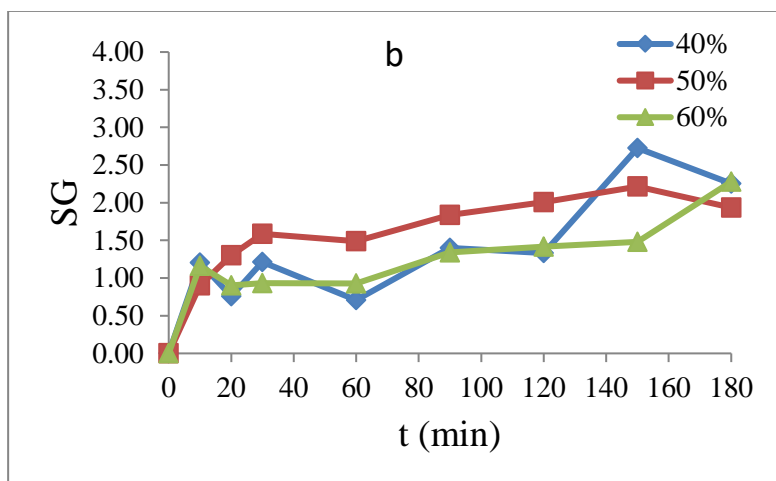
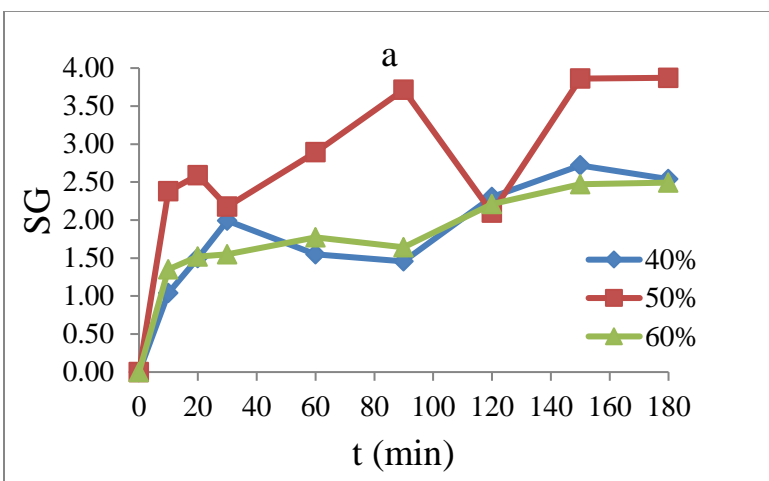


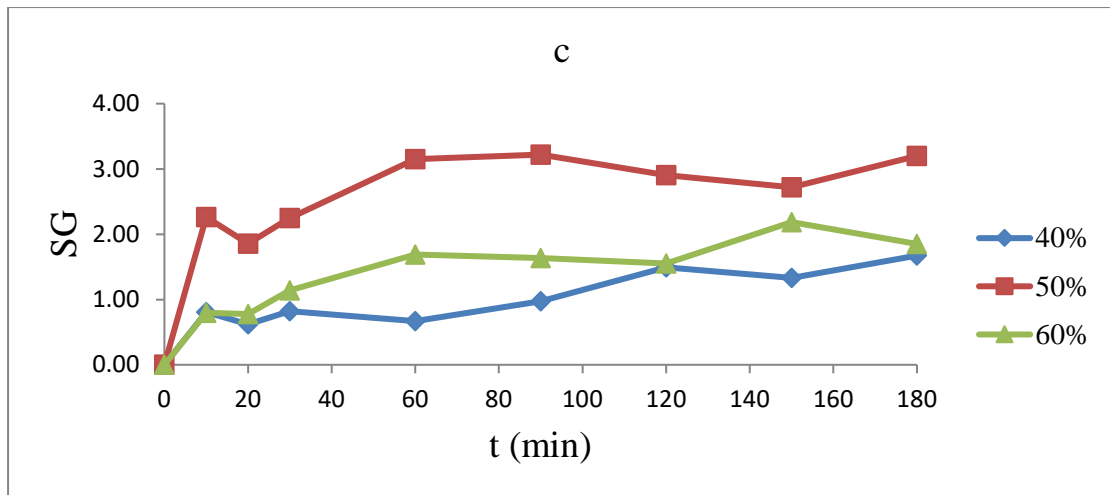
Γράφημα 6.4: WL (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C, 40°C σε διάλυμα γλυκερόλης a) 40% κ.β. b) 50% κ.β. , c) 60% κ.β.

Παρατηρούμε ότι στα παραπάνω διαγράμματα η απώλεια νερού (WL) αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά δεν είναι σταθερή η αύξηση διότι σε μερικά χρονικά διαστήματα υπάρχουν αυξομειώσεις. Από τα διαγράμματα, συμπεραίνουμε ότι η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο την αύξηση της απώλειας νερού. Ακόμα, βλέπουμε ότι όσο αυξάνουμε την συγκέντρωση στο οσμωτικό διάλυμα τόσο μεγαλύτερη απώλεια νερού έχουμε. Η μεγαλύτερη εμφανίζεται στους 40°C με περιεκτικότητα 60%. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το πείραμα στους 40°C με 50% συγκέντρωση που

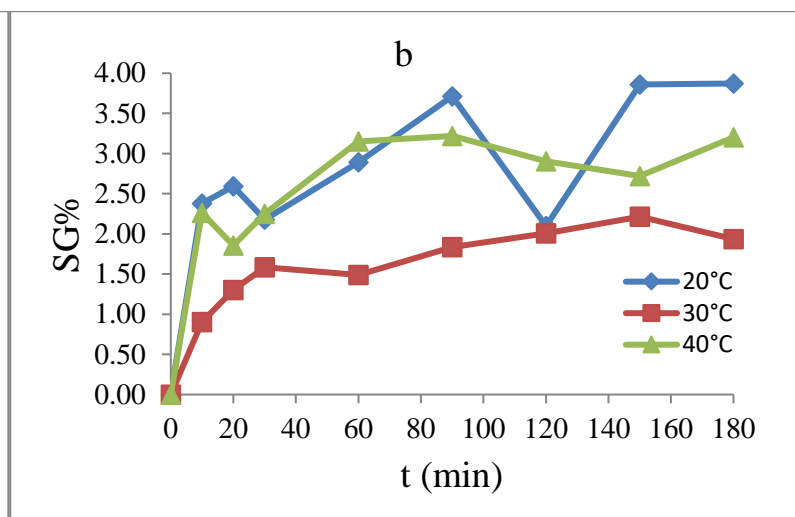
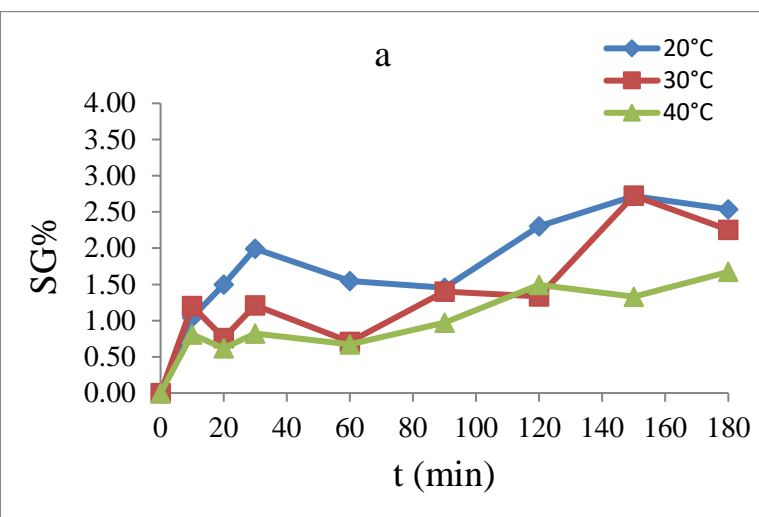
παρουσιάζει την μικρότερη απώλεια νερού ενώ έλαβε χώρα στην μεγαλύτερη θερμοκρασία και ταυτόχρονα η απώλεια νερού σε αυτήν την συγκέντρωση είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των 40%. Οι *González-Pérez et al* (2019) είχαν το μανιτάρι *Agaricus bisporus*. Το εύρος των θερμοκρασιών ήταν 40°C,60°C,80°C ενώ των συγκεντρώσεων αλατιού 10g διαλυμένης ουσίας/g διαλύματος και 25 g διαλυμένης ουσίας/g διαλύματος και χρόνο 350 λεπτά. Αναφέρουν ότι σημαντικό ρόλο έχει η θερμοκρασίας και η συγκέντρωση του οσμωτικού διαλύματος. Συγκεκριμένα όσο μεγαλύτεροι είναι αυτοί οι δυο παράγοντες τόσο περισσότερη απώλεια ύδατος θα υπάρχει. Ακόμα οι *da Silva Júnior et al* (2017) σε μελέτη τους σε μπανάνα σε συνθήκες 40% και 60% και θερμοκρασίες 40°C και 70°C σε 1800 λεπτά συμπεραίνουν πως η θερμοκρασία αποτελούσε σημαντικότερο παράγοντα στην απώλεια νερού σε σχέση με την συγκέντρωση.

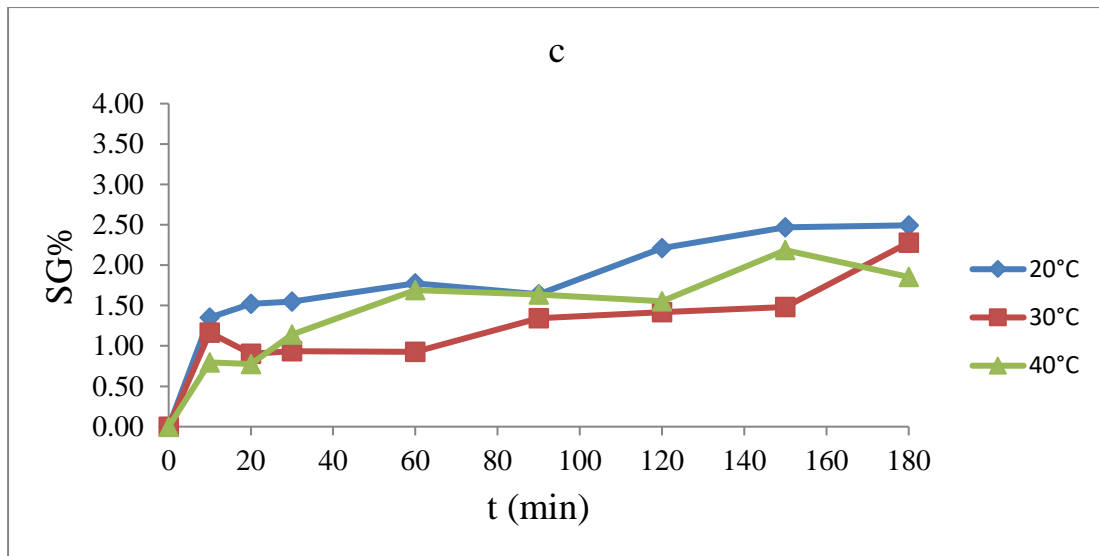
6.1.4 Πρόσληψη στερεών (SG, Solid Gain)





Γράφημα 6.5: SG (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε συγκεντρώσεις γλυκερόλης 40%, 50% , 60% σε θερμοκρασίες a) 20°C , b) 30°C, c) 40°C

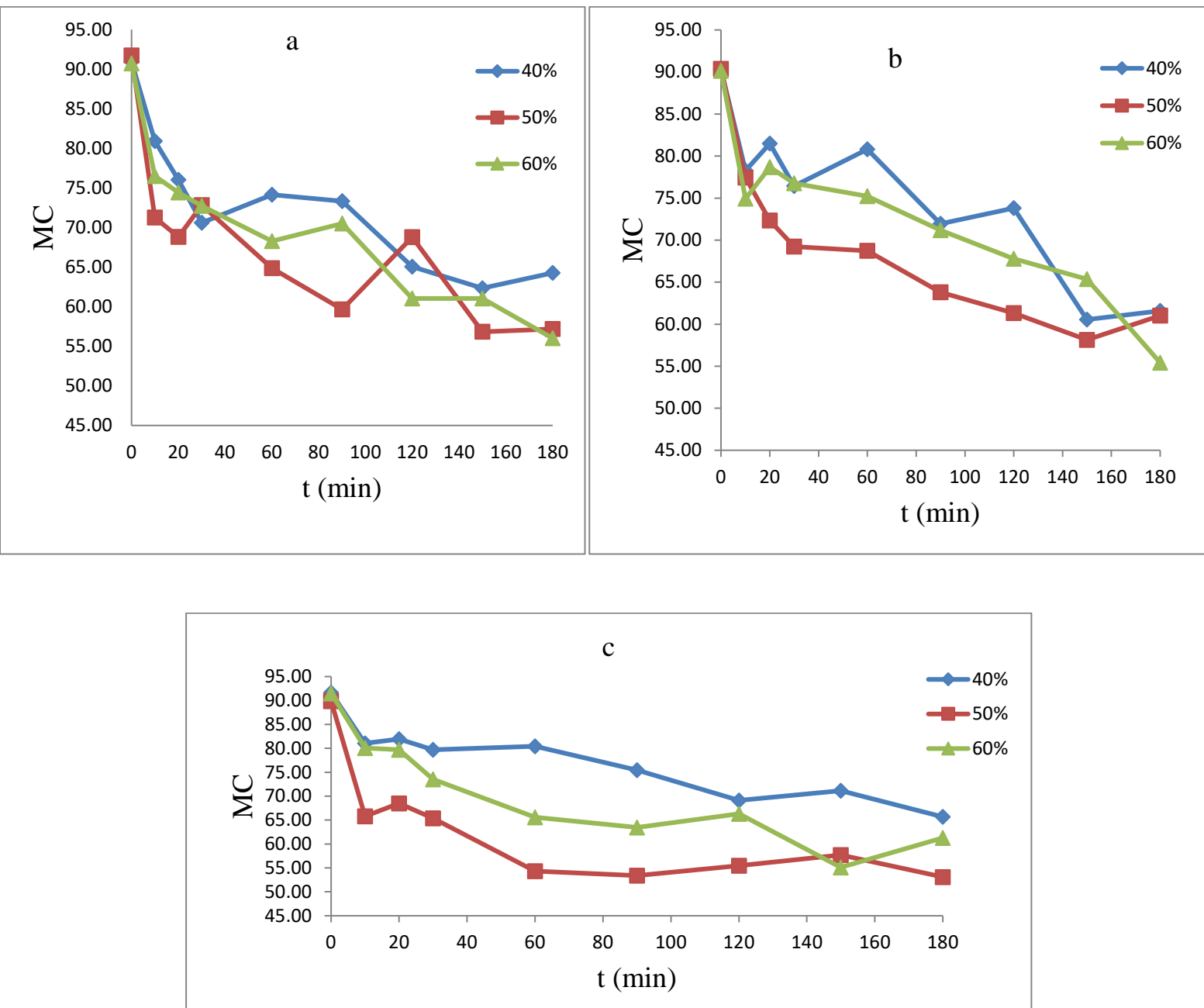




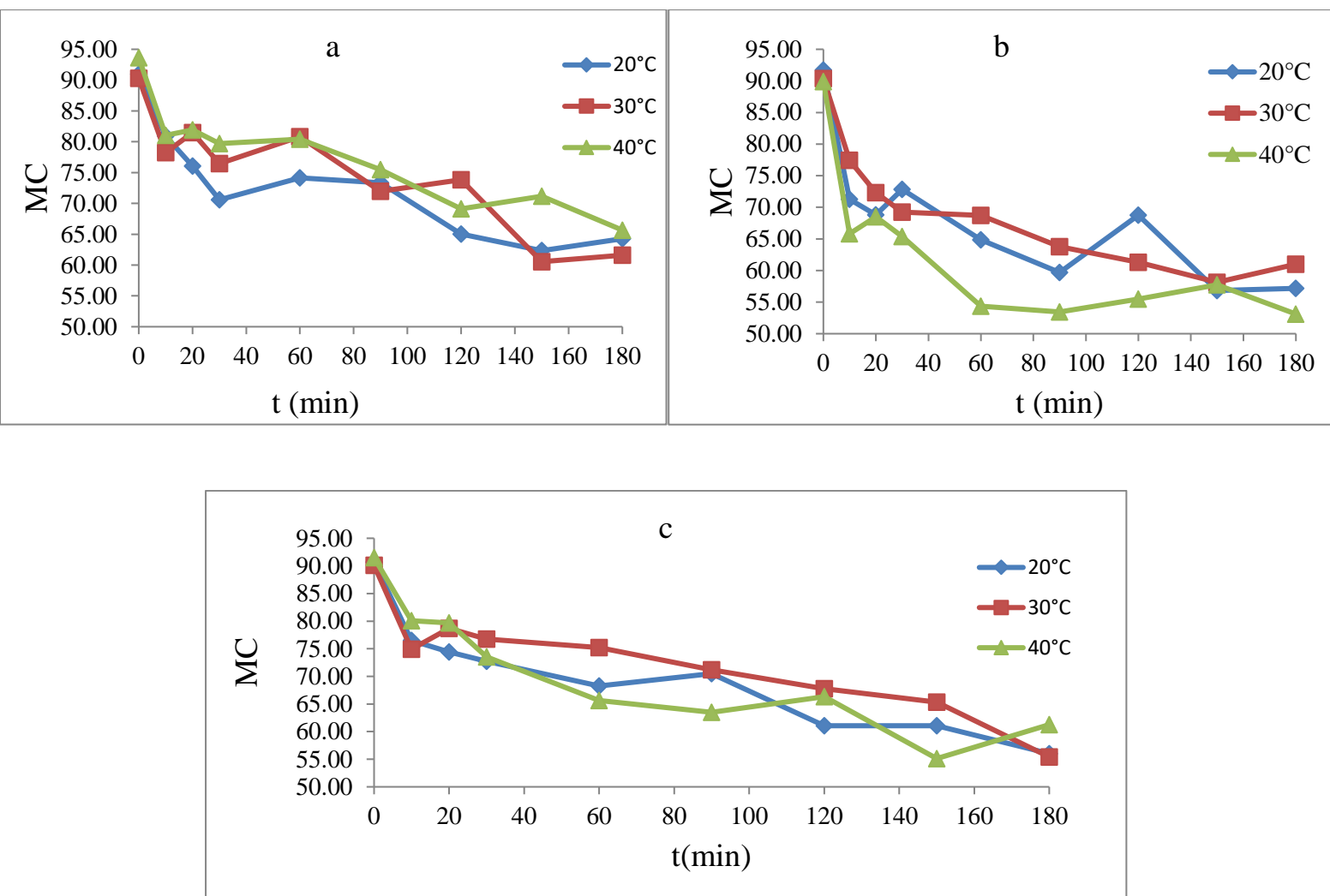
Γράφημα 6.6: SG (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C, 40°C σε συγκεντρώσεις γλυκερόλης a) 40% κ.β. , b) 50% κ.β. , c) 60% κ.β.

Από τα συγκεκριμένα διαγράμματα δεν μπορεί να συναχθεί κάποιο ξεκάθαρο συμπέρασμα. Αυτό που παρατηρούμε στα αποτελέσματα είναι ότι στις συγκεντρώσεις 40% και 60% τα αποτελέσματα της πρόσληψης στερεών είναι παρόμοια. Ακόμα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία μειώνεται η πρόσληψη στερεών σε αυτές τις συγκεντρώσεις. Η μεγαλύτερη τιμή παρατηρήθηκε στην συγκέντρωση 50% με θερμοκρασία 20°C ενώ η μικρότερη σε 40% στους 40 °C. Αυτά τα αποτελέσματα είναι αντίθετα με τους *Kaur et al(2014)*; *İspir et al (2009)*, αφού ανέφεραν ότι η υψηλή θερμοκρασία επηρεάζει το ιξώδες του διαλύματος μειώνοντας το, ώστε να αλληλεπιδρά η οσμωτική ουσία καλύτερα με το προϊόν. Ακόμα όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος τόσο περισσότερα στερεά αποκομίζονται. Οι συνθήκες των πειραμάτων τους είναι οι εξής (συγκέντρωση 10% ,15% και 20%, θερμοκρασίες 30 °C και 45 °C, σε χρόνο 300 λεπτά με προϊόν μανιτάρια *Pleurotus ostreatus*), (βερίκοκα ,θερμοκρασία 25 °C, 35 °C, 45 °C, συγκεντρώσεις 40%, 50%, 60%, 70% και χρόνος 10.000 λεπτά). Ωστόσο συμφωνεί με τα αποτελέσματα των *Saputra et al (2001)* οι οποίοι παρατήρησαν ότι η υψηλή συγκέντρωση σακχάρου είχε ως αποτέλεσμα μέρος του σακχάρου να κρυσταλλώνεται στην επιφάνεια του προϊόντος που κλείνει τους πόρους και δεν επιτρέπει την εισχώρηση των στερεών.

6.1.5 % Υγρασία



Γράφημα 6.7: Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης συγκεντρώσεων 40%,50% και 60% σε θερμοκρασία (a) 20°C (b) 30°C και (c) 40°C.

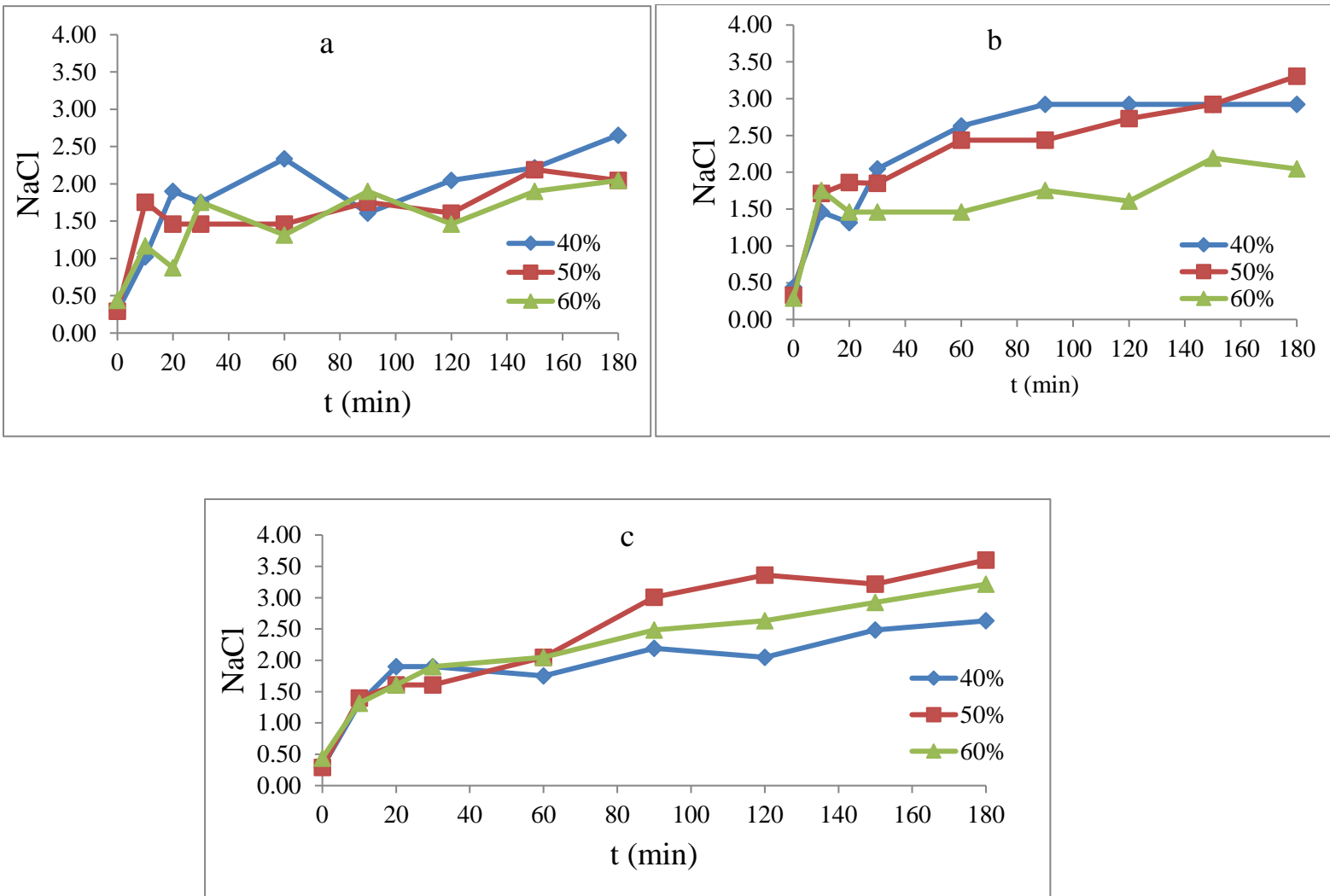


Γράφημα 6.8: Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε θερμοκρασίες 20°C, 30°C, 40°C σε συγκέντρωση γλυκερόλης (a) 40% κ.β. , (b) 50% κ.β. , (c) 60%κ.β.

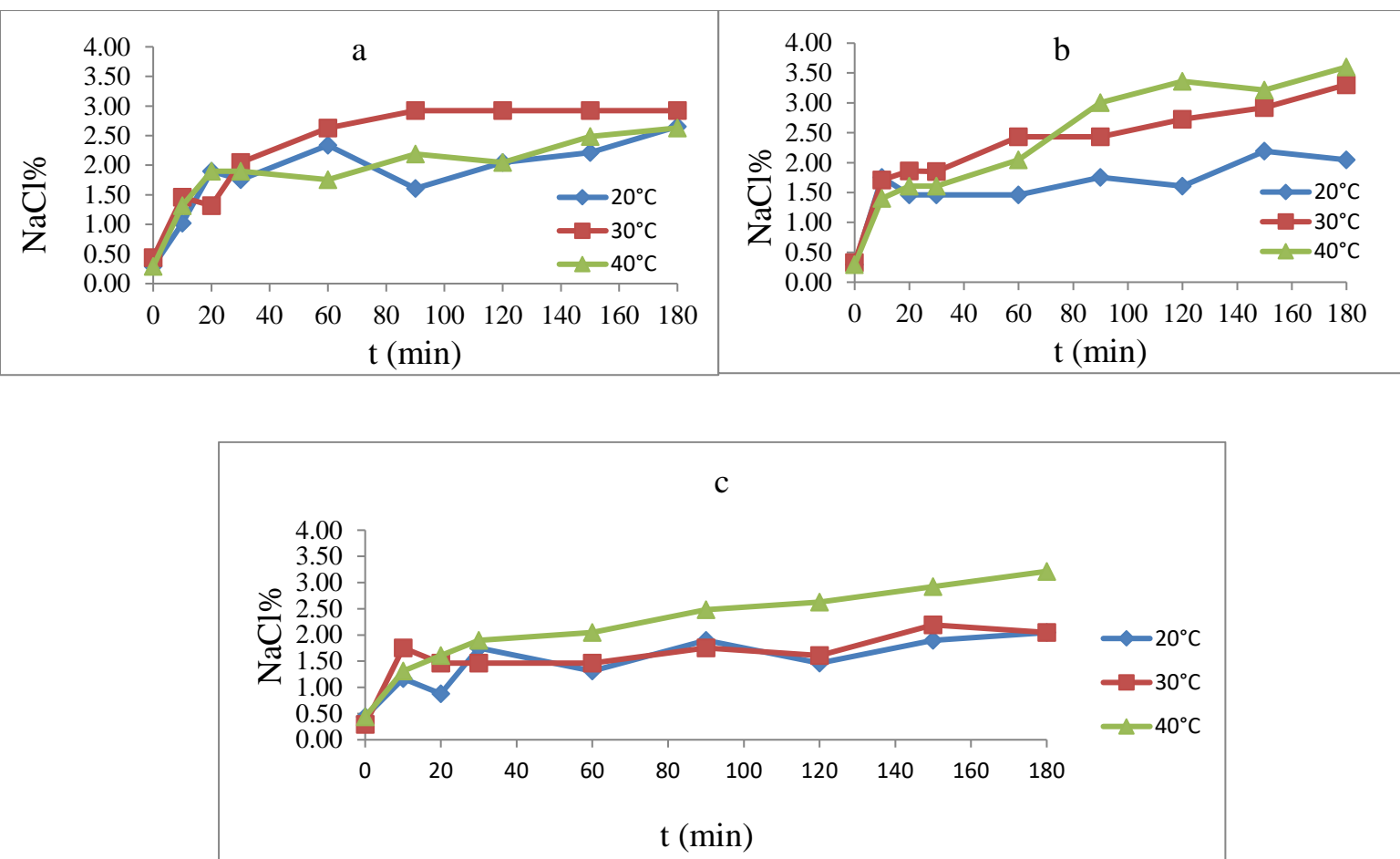
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η απώλεια υγρασία του προϊόντος αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Τα αποτελέσματα δεν φαίνεται να επηρεάζονται από την θερμοκρασία αφού οι τιμές της είναι χαμηλές και με μικρή διακύμανση μεταξύ τους. Ωστόσο είναι φανερό πως όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια υγρασίας στις ίδιες θερμοκρασίες. Με εξαίρεση στην θερμοκρασία 40 °C με περιεκτικότητες 50% που εμφανίζει την μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας. Ακόμα στις θερμοκρασίες 20 °C και 40 °C με περιεκτικότητα 40% έχουν παρόμοια αποτελέσματα και την μικρότερη απώλεια. Επιπλέον παρόμοια απώλεια εμφανίζεται στις θερμοκρασίες 20 °C και 30 °C με περιεκτικότητας 60%. Επίσης κο-

ντινά αποτελέσματα έχουν το 30 °C με περιεκτικότητα 40%, 30 °C με περιεκτικότητα 50% και 40 °C με περιεκτικότητα 60%.

6.1.6 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι



Γράφημα 6.9: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 20°C (b) 30°C και (c) 40°C.



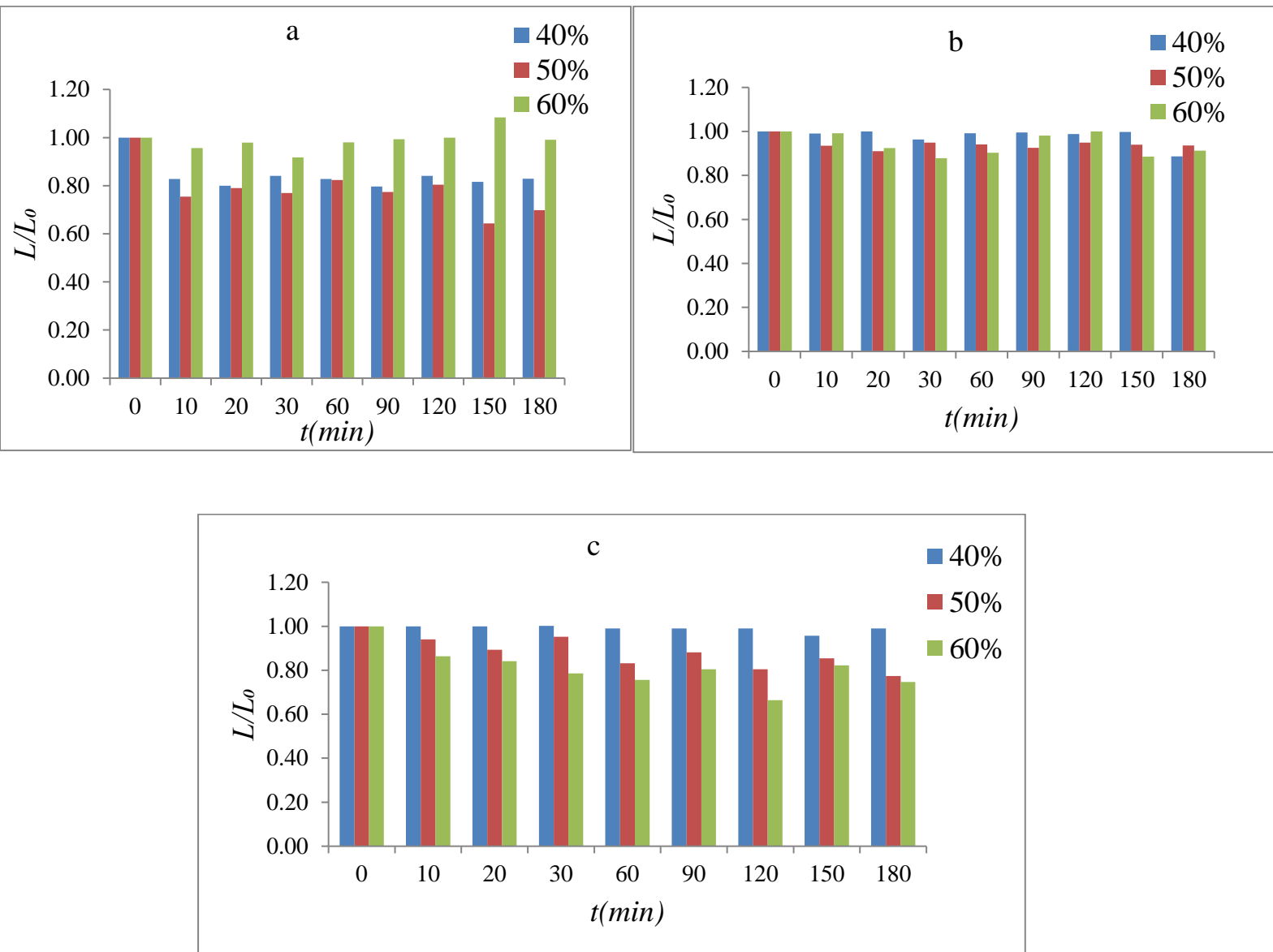
Γράφημα 6.10: Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης (a) 40% κ.β. (b) 50% κ.β. και (c) 60% κ.β.

Παρατηρώντας τις δύο παραπάνω ομάδες διαγραμμάτων σχετικά με την % πρόσληψη άλατος από τα δείγματα, παρατηρείται ότι στην περιεκτικότητα των 60% και θερμοκρασία 40 °C είχε την μεγαλύτερη απορρόφηση σε αλάτι σε σχέση με τις υπόλοιπες συνθήκες. Το ίδιο ακριβώς παρατηρείται και στην περιεκτικότητα 50%, κάτι που δεν παρατηρείται στη συγκέντρωση των 40%. Ακόμα η μεγαλύτερη απορρόφηση άλατος ήταν 3,60% και παρατηρήθηκε στο δείγμα στους 40 °C με 50% ενώ η μικρότερη τιμή ήταν 2,05% και παρατηρήθηκε στα δείγματα με συγκεντρώσεις 60% στις θερμοκρασίες των 20°C και 30°C καθώς και στο 50% στην θερμοκρασία των 20°C . Τα αποτελέσματα συμφωνούν με την πηγή *Torrington et al* (2001), η οποία αναφέρει πως η θερμοκρασία καθώς και η συγκέντρωση του διαλύματος δεν έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση στην πρόσληψη άλατος από τα δείγματα, κάτι που επιβεβαιώ-

θηκε και στη δική μας έρευνα, εφόσον η πρόσληψη άλατος δεν υπερέβη το $\approx 3,5\%$ σε καμία από τις εξεταζόμενες συνθήκες του πειράματος.

6.2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά λεντινούλας

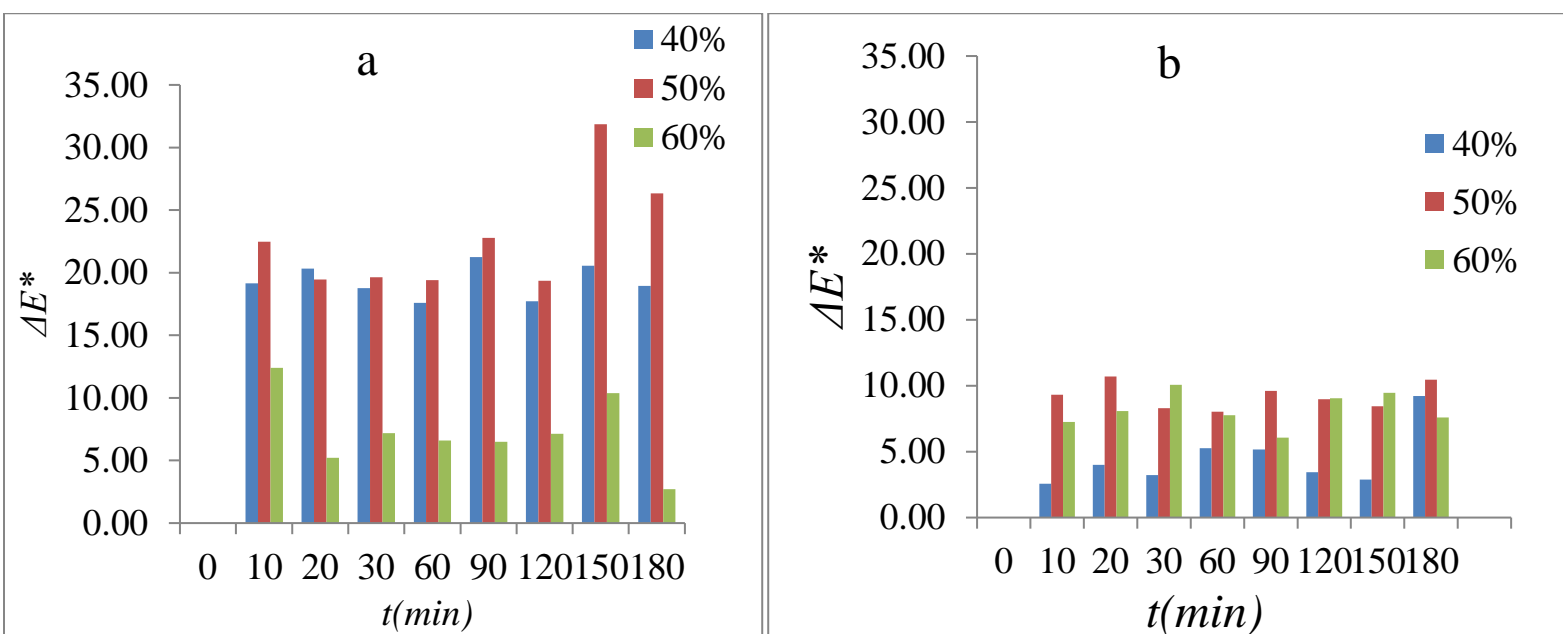
6.2.1. Μεταβολή φωτεινότητας

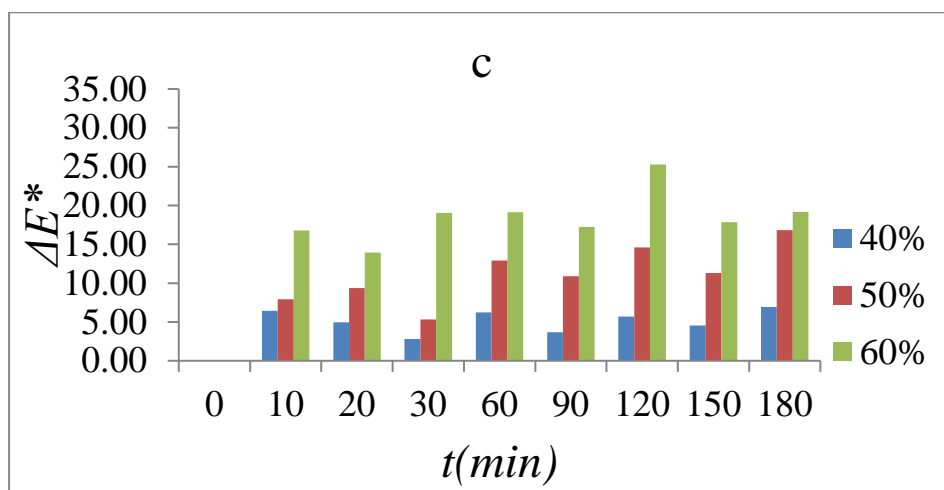


Γράφημα 6.11: Σχετική μεταβολή της φωτεινότητας κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40% ,50% και 60% και σε θερμοκρασία a) 20°C ,b) 30°C και c) 40°C

Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε τη σχετική μεταβολή της φωτεινότητας των δειγμάτων που υπέστησαν ωσμωτική αφυδάτωση συγκριτικά με την αρχική φωτεινότητα των δειγμάτων, στο χρόνο μηδέν, δηλαδή προ ώσμωσης (L/L_0). Όπως παρατηρούμε δεν μπορούμε να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα για τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στη φωτεινότητα και στους παράγοντες ώσμωσης (θερμοκρασία, χρόνος, συγκέντρωση γλυκερόλης), καθώς υπάρχουν «σκαμπανεβάσματα» στις τιμές και δεν παρατηρείται μια σταθερή μείωση. Στους 40°C με συγκέντρωση γλυκερόλης 60% η μείωση της φωτεινότητας είναι πιο έντονη σε σχέση με τις άλλες συγκεντρώσεις. Γενικά, παρατηρούμε ότι τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα σε σχέση με τα φρέσκα παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερες τιμές L^* που δείχνει ότι δεν έχουν διατηρήσει πλήρως τη φωτεινότητά τους. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με των *Kurozawa et al (2012)* οι οποίοι συμπέραναν ότι η ωσμωτική αφυδάτωση δεν προκάλεσε ήπια ελάττωση της φωτεινότητας. Εδώ βλέπουμε ότι στη μικρότερη θερμοκρασία ώσμωσης και με την μεγαλύτερη συγκέντρωση γλυκερόλης έχουμε τις μεγαλύτερες τιμές L^* , ενώ όσο αυξάνεται η θερμοκρασία στην ίδια συγκέντρωση παρατηρείται μείωση των τιμών L^* . Αυτά τα αποτελέσματα είναι αντίθετα με των *Gupta et al (2015)* και των *Kaur et al (2014)*, που στις μελέτες τους παρατήρησαν αύξηση της τιμής L^* με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου.

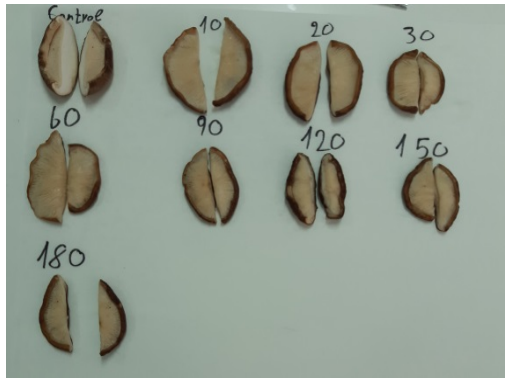
6.2.2. Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔE^*



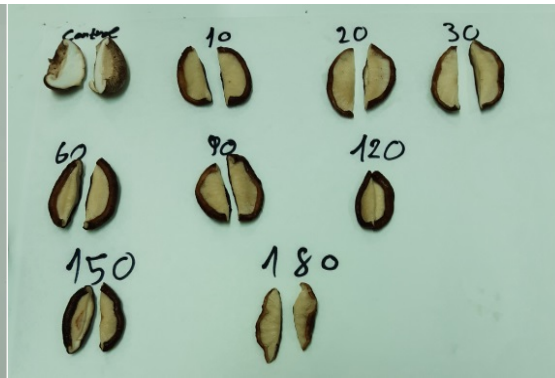


Γράφημα 6.12: Μεταβολή του συνολικού χρώματος (ΔE^*) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης σε συγκεντρώσεις 40%, 50% και 60% και σε θερμοκρασία a) 20°C , b) 30°C και c) 40°C

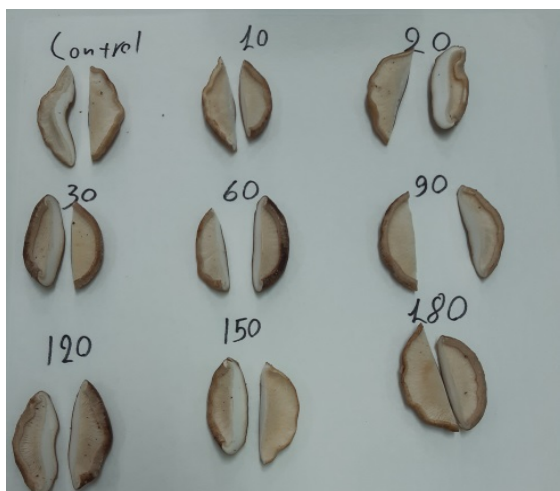
Όπως βλέπουμε και από τα παραπάνω διαγράμματα εκτός της φωτεινότητας μεταβάλλονται και οι τιμές a^* , b^* όπως φαίνεται από τη συνολική μεταβολή χρώματος (ΔE^*). Παρομοίως, και εδώ δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για την επίδραση της συγκέντρωσης γλυκερόλης, της θερμοκρασίας και του χρόνου ώσμωσης στο ΔE^* , καθώς υπάρχουν αυξομειώσεις στις τιμές του. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δείγματα παίρνουν μια κιτρινωπή χροιά, όπως απεικονίζεται και στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παρακάτω. Στους 40°C φαίνεται οι μεταβολές του συνολικού χρώματος να είναι εντονότερες ανεξαρτήτως συγκέντρωσης γλυκερόλης σε σχέση με τις άλλες θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, σε συγκέντρωση γλυκερόλης 60% η μεταβολή του συνολικού χρώματος λαμβάνει τις μέγιστες τιμές. Τα αποτελέσματα είναι αντίθετα με των *Gupta et al (2015)*, καθώς παρατήρησαν στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ωσμωτικού μέσου τις μικρότερες τιμές ΔE . Τα ίδια συμπεράσματα εξάγανε και από τη μελέτη τους οι *Kaur et al (2014)*, παρατηρώντας μείωση στη συνολική μεταβολή του χρώματος με την αύξηση της θερμοκρασίας ώσμωσης και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες φωτογραφίες από τις συνθήκες ώσμωσης.



Εικόνα 6.1: 20°C, 40% γλυκερόλη



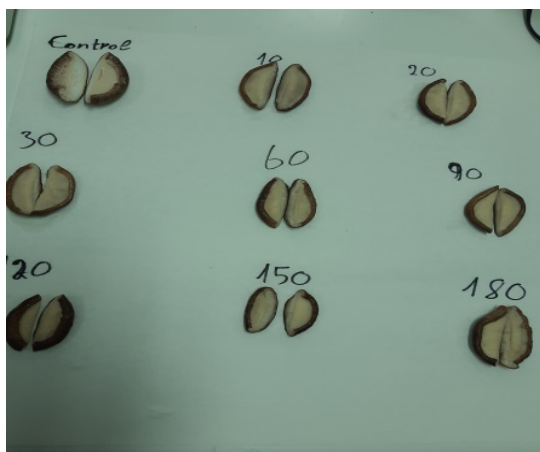
Εικόνα 6.2: 20°C, 50% γλυκερόλη



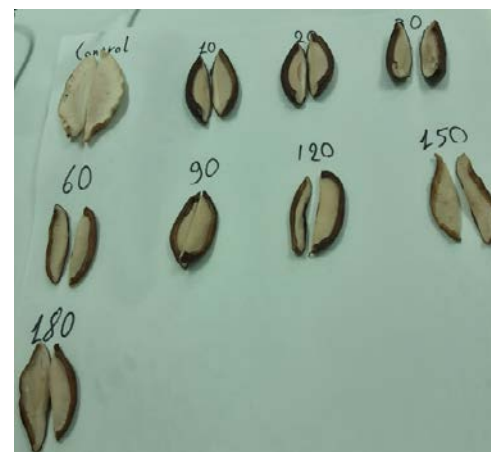
Εικόνα 6.3: 20°C, 60% γλυκερόλη



Εικόνα 6.4: 30°C, 40% γλυκερόλη



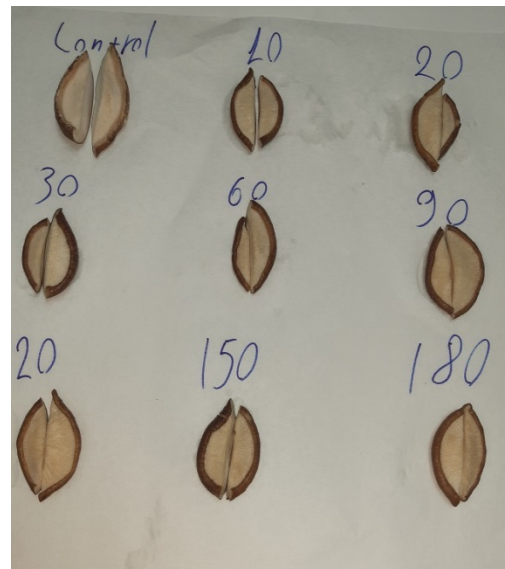
Εικόνα 6.5: 30°C, 50% γλυκερόλη



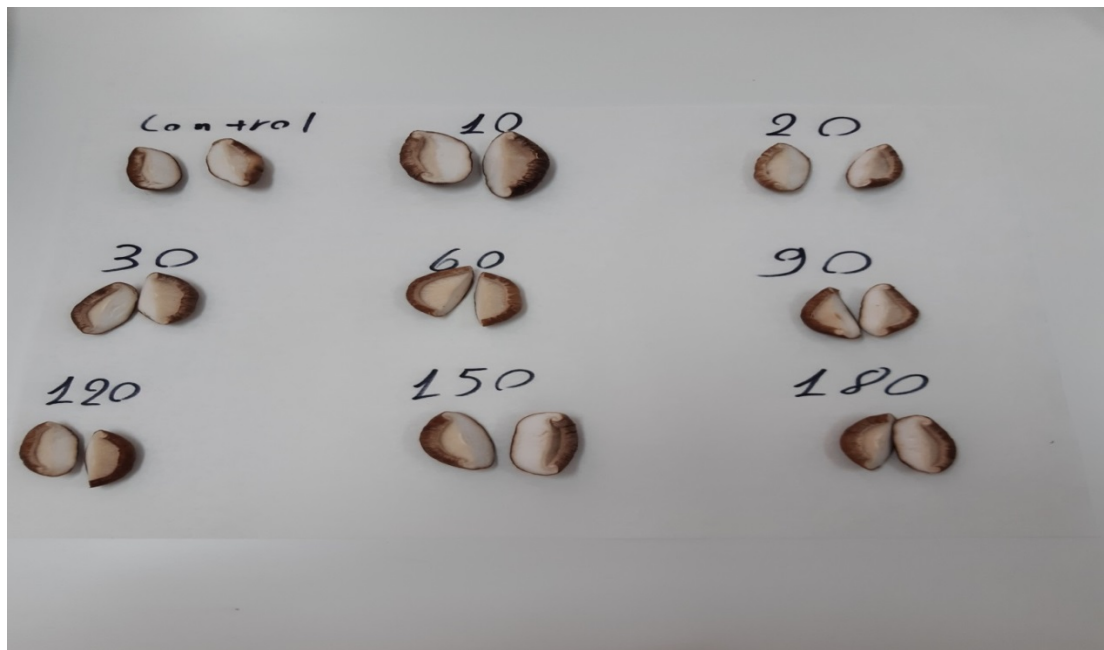
Εικόνα 6.6: 30°C, 60% γλυκερόλη



Εικόνα 6.7: 40°C, 40% γλυκερόλη

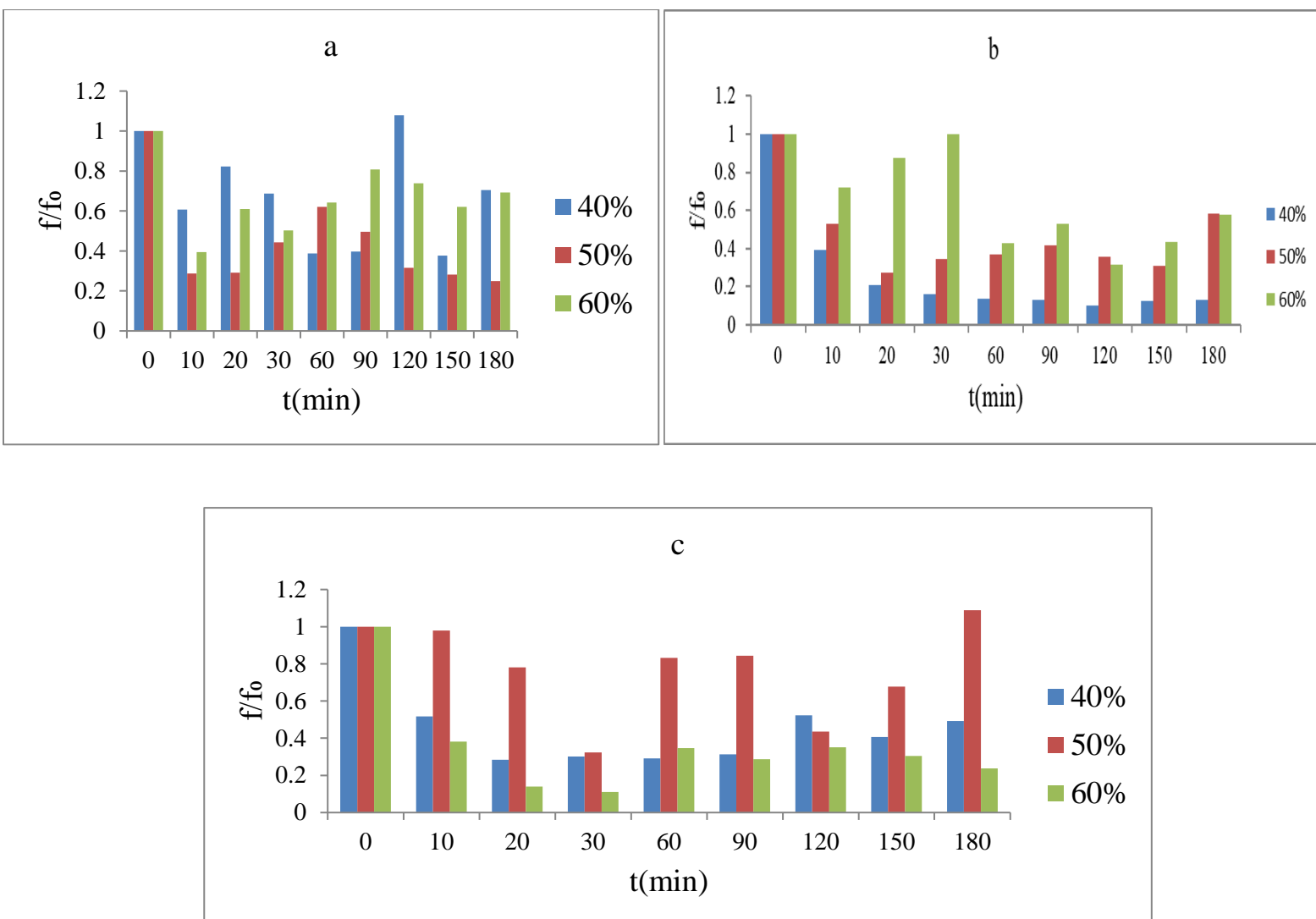


Εικόνα 6.8: 40°C, 50% γλυκερόλη



Εικόνα 6.9: 40°C, 60% γλυκερόλη

6.2.3. Μεταβολή παραμέτρων της υφής (σχετική μεταβολή της σκληρότητας)



Γράφημα 6.12: Σχετική μεταβολή της σκληρότητας (f/f_0) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία (a) 20°C (b) 30°C (c) 40°C

Όπως και με το χρώμα έτσι και στην υφή έχουμε ασαφή αποτελέσματα και δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα, καθώς οι μεταβολές δεν είναι σταθερές. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται μείωση της σκληρότητας. Συγκεκριμένα, στους 30°C φαίνεται η μείωση της σκληρότητας να είναι με πιο έντονους ρυθμούς ειδικά σε συγκέντρωση γλυκερόλης 40 και 50%. Οι μικρότερες τιμές της σκληρότητας παρατηρούνται σε συγκέντρωση γλυκερόλης 40%. Σύμφωνα με τους *Zhao et al (2019)*, σε μελέτη τους σε λεντινούλα βρήκαν ότι η σκληρότητα στην προεπεξεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση είχε την δεύτερη μικρότερη τιμή σε σχέση με άλλες επεξεργασίες (ζεμάτισμα, ψύξη, άμεση ελεγχόμενη πτώση πίεσης). Οι *Fei et al*

(2018) βρήκαν ότι η σκληρότητα στα φρέσκα μανιτάρια ήταν μεγαλύτερη από τα οσμωτικά αφυδατωμένα και αυτό μπορεί να οφείλεται στη ρήξη των κυτταρικών τοιχωμάτων κατά τη διαδικασία της ώσμωσης, η οποία θα μπορούσε να προκληθεί από το υπερτονικό διάλυμα.

6.3. Βελτιστοποίηση διεργασίας οσμωτικής αφυδάτωσης λεντινούλας με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken

Με βάση τον πειραματικό σχεδιασμό Box-Behnken, που περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο <Μεθοδολογία Επιφανειών Αποκρίσεων>, πραγματοποιήθηκαν 15 σειρές πειραμάτων και τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναλύθηκαν με τη βοήθεια του Minitab για να βρεθούν οι συντελεστές της εξίσωσης του πολυωνύμου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές και το R^2 .

Πίνακας 6.3.1: Τιμές των συντελεστών των πολυωνυμικών εξισώσεων των αποκρίσεων (με βάση την εξίσωση που μελετήθηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία RSM)

	a_w	WL	SG	°Brix	Υγρασία	L/L₀	ΔE*	%NaCl	f/f₀
a₀	1,3923	-10,6920	-18,3107	23,5456	291,6441	-0,2539	110,582	-2,21	-2,35
a₁	0,003236	-0,2164	-0,05433	0,32960	3,2594	0,1174	-8,0597	0,041	-0,1064
a₂	- 0,015264	0,5542	1,0380	-0,05146	-9,6588	-0,0241	1,0978	0,168	0,1320
a₃	- 0,003045	0,0438	0,0484	-0,07096	-0,4866	0,00189	-0,2123	-0,0063	0,0217
a₁₁	- 0,000012	0,0042	0,0078	-0,0036	-0,0459	-0,00103	0,0722	-0,00277	0,002250
a₂₂	0,000167	-0,0051	-0,0103	0,00807	0,0944	0,000532	-0,0331	-0,00266	- 0,000917
a₃₃	0,000015	0,000	-0,0001	0,00010	0,0010	-0,00006	0,0002	- 0,000082	- 0,000020
a₁₂	-0,00056	0,0009	0,0012	-0,00167	-0,0141	-0,00105	0,0687	0,00207	- 0,000391
a₁₃	0,000001	-0,0003	0,000	0,00083	0,0008	- 0,000039	0,0019	0,000609	- 0,000179
a₂₃	- 0,000001	-0,0003	-0,0004	0,00056	0,0037	0,000006	0,0028	0,000162	- 0,000251
R²	0,850	0,689	0,702	0,978	0,702	0,775	0,836	0,5900	0,4006

Δείκτες των συντελεστών αφορούν στις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης:

1= Θερμοκρασία, 2= Συγκέντρωση, 3= Χρόνος

Η αξιοπιστία των εξισώσεων β' βαθμού αξιολογήθηκε με βάση το R^2 και όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα ο συντελεστής απόκρισης R^2 σε κάποιες αποκρίσεις είναι κοντά στο 80% που σημαίνει ότι η μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών είναι αρκετά αξιόπιστη. Γενικά όσο περισσότερα είναι τα κριτήρια που επιλέγουμε για τη διεργασία της βελτιστοποίησης μειώνεται και η αξιοπιστία της RSM. Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις πρόβλεψης των ποιοτικών χαρακτηριστικών και μεταφοράς μάζας των μανιταριών και με τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για τη διαδικασία της βελτιστοποίησης (ελαχιστοποίηση της ενεργότητας ύδατος και μέγιστη διατήρηση χρώματος), βρέθηκαν οι κατάλληλες παράμετροι της διεργασίας, που ήταν θερμοκρασία ώσμωσης 34,5°C, συγκέντρωση γλυκερόλης 41% και χρόνος ώσμωσης 98,2min. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητο πείραμα επαλήθευσης, του οποίου τα αποτελέσματα αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα, μαζί με την απόκλιση θεωρητικών και πειραματικών τιμών.

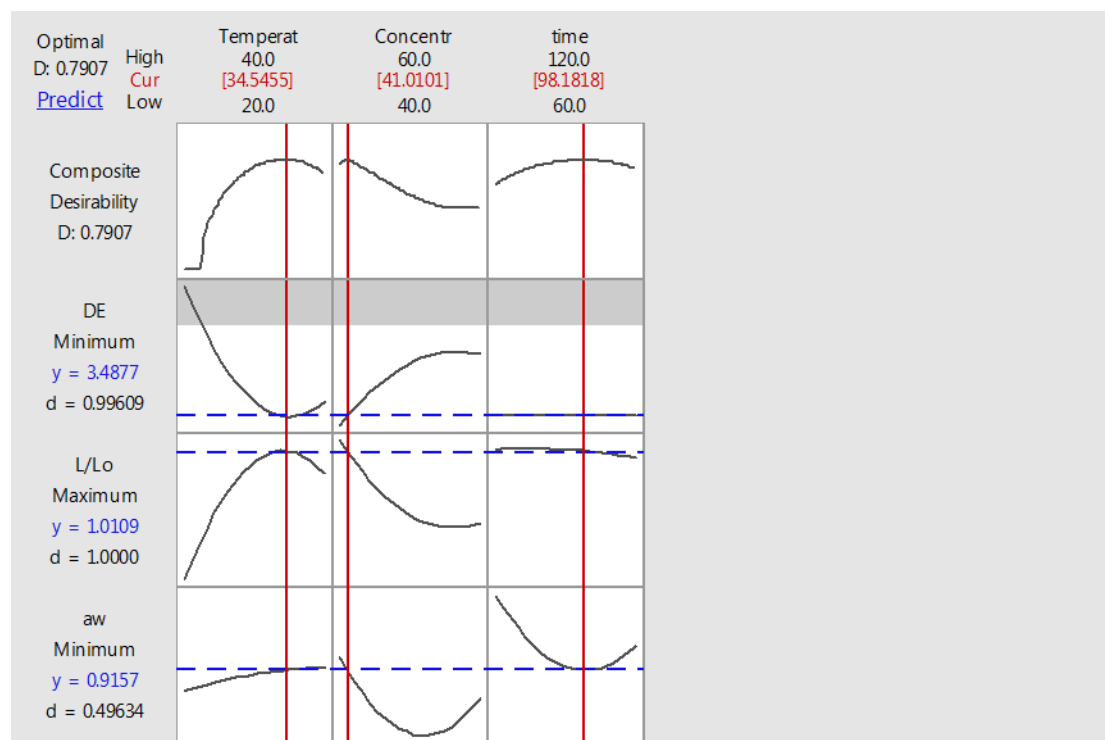
Πίνακας 6.3.2: Πειραματικές μετρήσεις από το πείραμα επαλήθευσης των βέλτιστων συνθηκών που προέκυψαν από τη μεθοδολογία RSM και %σφάλμα σε σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές από τις εξισώσεις β' βαθμού

	34,5°C, 41%, 98,2min		
	Θεωρητικές τιμές	Πειραματικές τιμές	% Σφάλμα
a_w	0,91	0,92	1,34
WL	3,90	3,22	-17,57
SG	1,21	1,38	13,90
ΔE	3,47	4,18	20,28
L/L₀	1,00	0,95	-5,25
NaCl	2,56	2,58	0,90
Brix	38,78	38,38	-1,03
Υγρασία	72,16	69,68	-3,43
f/f₀	0,30	0,50	69,09

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι η απόκλιση θεωρητικής/πειραματικής τιμής είναι κάτω του 20% (απόλυτη τιμή) στις περισσότερες αποκρίσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις οι πολυωνυμικές εξισώσεις δεν έδωσαν καλή προσαρμογή με αποτέλεσμα το σφάλμα να είναι είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο του αναμενόμενου. Όμως στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η απόκλιση συνάδει και με τις τιμές του R^2 . Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι η RSM και ο προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών έδω-

σαν αξιόπιστα αποτελέσματα με τις πειραματικές τιμές να προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις θεωρητικές τιμές. Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι η RSM αποτελεί ένα χρήσιμο και αξιόπιστο εργαλείο για την πρόβλεψη των βέλτιστων συνθηκών.

Παρακάτω παρουσιάζεται και το διάγραμμα βελτιστοποίησης που δημιουργήθηκε με τη βοήθεια του Minitab.



Γράφημα 6.13: Διάγραμμα βελτιστοποίησης (Optimization Plot)(Minitab), όπου φαίνονται οι βέλτιστες τιμές των 3 ανεξάρτητων μεταβλητών, καθώς η τιμή επιθυμητότητας (0.79)

Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε τις βέλτιστες συνθήκες του πειράματος επαλήθευσης που ακολούθησε, όπως αυτές υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του Minitab. Επίσης, παρατηρούμε και τις προβλεπόμενες θεωρητικές τιμές των 3 αποκρίσεων που επιλέξαμε με τα αντίστοιχα κριτήρια που θέσαμε. Στη συνολική μεταβολή χρώματος (ΔE^*) και στην ενεργότητα ύδατος (a_w) θέλαμε τις ελάχιστες τιμές, ενώ στη σχετική μεταβολή φωτεινότητας (L/L_0) τη μέγιστη τιμή. Η τιμή της επιθυμητότητας είναι πάρα πολύ καλή για το ΔE^* και το L/L_0 , ενώ για την a_w είναι αρκετά χαμηλή. Γενικά η τιμή επιθυμητότητας για τις συνθήκες βελτιστοποίησης είναι αρκετά ικανο-

ποιοτική (0,79), πράγμα που υποδεικνύει ότι οι αποκρίσεις που επιλέξαμε με τα κριτήρια τους δίνουν ένα πολύ καλό και αξιόπιστο μοντέλο για την RSM.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Στην πτυχιακή αυτή μελετήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της λεντινούλας κατά την διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης υπό την επίδραση διαφορετικών θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων γλυκερόλης σε χρόνο 180 min. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων παρατηρήθηκε ότι όλοι οι παράγοντες (χρόνος, θερμοκρασία, συγκέντρωση γλυκερόλης) επηρέασαν σε σημαντικό βαθμό όλες τις αποκρίσεις.

Η ενεργότητα ύδατος (a_w) μειωνόταν καθ'όλη την διάρκεια της ώσμωσης, ενώ σε αυξημένες συγκεντρώσεις και θερμοκρασίες ο ρυθμός μείωσης ήταν εντονότερος.

Στην απώλεια νερού (WL) παρατηρούνται αυξομειώσεις αλλά με την πάροδο του χρόνου η απώλεια νερού αυξάνεται. Σημαντικότερο ρόλο έχει η θερμοκρασία, αλλά και η συγκέντρωση της γλυκερόλης βοήθησε στην αποβολή μεγαλύτερης ποσότητας νερού.

Κατά την πρόσληψη στερεών (SG) παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση της θερμοκρασία υπήρξε μείωση στην πρόσληψη στερεών ενώ η συγκέντρωση δεν επηρεάζει σημαντικά την πρόσληψη στερεών.

Όσο αναφορά στην πρόσληψη άλατος κανένας από τους παράγοντες δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την πρόσληψή του.

Για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της λεντινούλας δεν είχαμε σαφή συμπεράσματα για το χρώμα και την υφή όμως μπορούμε να πούμε ότι γενικά σε υψηλές θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις παρατηρήσαμε μείωση της φωτεινότητας και της σκληρότητας και αύξηση του κίτρινου χρώματος.

Έπειτα, αξιολογήθηκε η χρήση της RSM σε συνδυασμό με συγκεκριμένα κριτήρια αποδοχής που τέθηκαν για τα δείγματα, ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες ώσμωσης. Ο πειραματικός σχεδιασμός που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν ο Box-Behnken και οι βέλτιστες συνθήκες που προέκυψαν επαληθεύθηκαν με ανεξάρτητα πειράματα ώσμωσης. Συμπερασματικά, η RSM έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς οι αποκλίσεις θεωρητικών/πειραματικών τιμών δεν ήταν πολύ μεγάλες και το R^2 ήταν πολύ κοντά στα απαιτούμενα όρια. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι η RSM αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο και αξιόπιστο εργαλείο για την αριστοποίηση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Στη συγκεκριμένη εργα-

σία τα κριτήρια που τέθηκαν για την προκατεργασία της ώσμωσης αφορούσαν μανιτάρι που θα ακολουθούσε περαιτέρω επεξεργασία με ξήρανση, οπότε τα κριτήρια αφορούσαν σε ελάχιστη ενεργότητα ύδατος και μέγιστη διατήρηση του χρώματος.

Τέλος, με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ακολουθούν κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

- Μελέτη διαφορετικών ωσμωτικών μέσων ή συνδυασμός αυτών
- Επιλογή διαφορετικών κριτηρίων για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας για τη δημιουργία διαφορετικού τελικού προϊόντος (π.χ. ζαχαρωτά μανιτάρια, chips μανιταριών)
- Μελέτη χημικής σύστασης για τυχόν υποβάθμιση των θρεπτικών συστατικών της πρώτης ύλης από την ωσμωτική αφυδάτωση
- Μελέτη εμπλουτισμού αντιοξειδωτικών στο ωσμωτικό μέσο για αποτροπή της απώλειας θρεπτικών ουσιών
- Εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση υπέρηχων για την αξιολόγηση της επίδρασης της στην κινητική των μανιταριών
- Εφαρμογή διαφόρων τρόπων συσκευασίας σε ωσμωτικά αφυδατωμένα μανιτάρια για την επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Achremowicz B., Frączek T., Kalbarczyk J., 1984. Przydatność przetwórcza boczniaka (*Pleurotus ostreatus*) [Usefulness of *Pleurotus ostreatus* for the processing industry]. *Przem. Spoż.* 38 (3), 102-104
- Ade-Omowaye, B. I. O., Angersbach, A., Taiwo, K. A., & Knorr, D. (2001). Use of pulsed electric field pre-treatment to improve dehydration characteristics of plant based foods. *Trends in Food Science & Technology*, 12(8), 285-295.
- Ahmed, S. A., Kadam, J. A., Mane, V. P., Patil, S. S., & Baig, M. M. V. (2009). Biological efficiency and nutritional contents of *Pleurotus florida* (Mont.) Singer cultivated on different agro-wastes. *Nature and science*, 7(1), 44-48.
- Ahmed, I., Qazi, I. M., & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 29-43.
- Akata, I., Torlak, E., & Erci, F. (2015). Efficacy of gaseous ozone for reducing microflora and foodborne pathogens on button mushroom. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 40-44.
- Alam, M., Amarjit, S., & Sawhney, B. K. (2010). Response surface optimization of osmotic dehydration process for aonla slices. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 47-54.
- Ares, G., Lareo, C., & Lema, P. (2007). Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms. A review. *Fresh Produce*, 1(1), 32-40.
- Aslan, N. E. V. Z. A. T., & Cebeci, Y. A. K. U. P. (2007). Application of Box-Behnken design and response surface methodology for modeling of some Turkish coals. *Fuel*, 86(1-2), 90-97.
- Aydar, A. Y. (2018). Utilization of response surface methodology in optimization of extraction of plant materials. *Statistical approaches with emphasis on design of experiments applied to chemical processes*, 157-169.

Ayaz, F. K. A., Chuang, L. T., Torun, H., Colak, A., Sesli, E., Presley, J., ... & Glew, R. H. (2011). Fatty acid and amino acid compositions of selected wild-edible mushrooms consumed in Turkey. *International journal of food sciences and nutrition*, 62(4), 328-335.

Azuara, E., Beristain, C. I., & Gutiérrez, G. F. (2002). Osmotic dehydration of apples by immersion in concentrated sucrose/maltodextrin solutions. *Journal of food processing and preservation*, 26(4), 295-306.

Baker, E., & Saha, S. (2018). Forest farming in Georgia, United States: Three potential crops. *Annals of Agrarian Science*, 16(3), 304-308.

Banner JT, Kane KK, Levy RH (1956) Studies on the mechanics of growth in the common mushroom (*Agaricus campestris*). *Mycologia* 48, 13-19

Barroetaveña, C., & Toledo, C. V. (2017). The nutritional benefits of mushrooms. *Wild plants, mushrooms and nuts: functional food properties and applications*. Wiley-Blackwell, West Sussex, 65-81.

Baş, D., & Boyacı, I. H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of food engineering*, 78(3), 836-845.

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

Bellary, A. N., Sowbhagya, H. B., & Rastogi, N. K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 453-459.

Bernaś, E., Jaworska, G., & Kmiecik, W. (2006). Storage and processing of edible mushrooms. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 5(2), 5-23.

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

- Bradley, N. (2007). The response surface methodology (Doctoral dissertation, Indiana University South Bend).
- Braima, N., Maryam, A. N. A., & Odejebi, O. J. (2016). Utilization of Response Surface Methodology (RSM) in the Optimization of Crude Oil Refinery Process, New Port-Harcourt Refinery.
- Cao, H., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Du, W. H., & Sun, J. C. (2006). Optimization of osmotic dehydration of kiwifruit. *Drying Technology*, 24(1), 89-94.
- CHANG, S., & CHIU, S. (1992). Mushroom production an economic measure in maintenance of food. *Biotechnology: Economic and Social Aspects: Issues for Developing Countries*, 110.
- Chang, S. T. (2008). Overview of mushroom cultivation and utilization as functional foods. *Mushrooms as functional foods*, 260.
- Chang, S. T., & Buswell, J. A. (2008). Development of the world mushroom industry: Applied mushroom biology and international mushroom organizations. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 10(3).
- Chang, S. T., & Mshigeni, K. E. (2013). Mushroom farming: Life-changing humble creatures. *Mkuki na Nyota*.
- Chang, S. T., & Wasser, S. P. (2017). The cultivation and environmental impact of mushrooms. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*.
- Chenlo, F., Moreira, R., Pereira, G., & Bello, B. (2004). Kinematic viscosity and water activity of aqueous solutions of glycerol and sodium chloride. *European food research and technology*, 219(4), 403-408.
- Cheung, P. C. K. (2010). The nutritional and health benefits of mushrooms. *Nutrition Bulletin*, 35(4), 292-299.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., & Fito, P. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 129-135.

Ciurzyńska, A., Kowalska, H., Czajkowska, K., & Lenart, A. (2016). Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 186-192.

Contreras, J. E., & Smyrl, T. G. (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14(4), 310-314.

Corzo, O., & Gomez, E. R. (2004). Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. *Journal of Food engineering*, 64(2), 213-219.

Czapski, J. (2000). Stored mushrooms quality as affected by specificity of film packaging. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 53.

Czapski J., 2003. Evaluation of chemical composition of commercially canned mushrooms processed from fresh and desalted mushrooms and derived from different geographic regions. *Veg. Crops Res. Bull.* 58, 135-141

Czyrski, A., & Sznura, J. (2019). The application of Box-Behnken-Design in the optimization of HPLC separation of fluoroquinolones. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

da Silva Júnior, A. F., da Silva, W. P., de Farias Aires, J. E., Aires, K. L. C. F., & de Castro, D. S. (2017). Osmotic dehydration kinetics of banana slices considering variable diffusivities and shrinkage. *International Journal of Food Properties*, 20(6), 1313-1325.

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

Darvishi, H., Azadbakht, M., & Noralahi, B. (2018). Experimental performance of mushroom fluidized-bed drying: Effect of osmotic pretreatment and air recirculation. *Renewable Energy*, 120, 201-208.

Dehkordi, B. M. (2010). Optimization of the Process of Osmo-Convective Drying of Edible Button Mushrooms using Response Surface Methodology (RSM). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37, 1014-1018.

Derossi, A., Severini, C., Del Mastro, A., & De Pilli, T. (2015). Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 641-648.

Devic, E., Guyot, S., Daudin, J. D., & Bonazzi, C. (2010). Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 606-614.

Dundar, A., Acay, H., & Yildiz, A. (2008). Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. *African Journal of Biotechnology*, 7(19).

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

El Sheikha, A. F., & Hu, D. M. (2018). How to trace the geographic origin of mushrooms?. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 292-303.

Eren, İ., & Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of food engineering*, 79(1), 344-352.

Falade, K. O., Igbeka, J. C., & Ayanwuyi, F. A. (2007). Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 979-985.

Fei, P., Lifu, C., Wenjian, Y., Liyan, Z., Yong, F., Ning, M., & Qiuhui, H. (2018). Comparison of osmotic dehydration and ultrasound-assisted osmotic dehydration on the state of water, texture, and nutrition of *Agaricus bisporus*. *CyTA-Journal of Food*, 16(1), 181-189.

Ferrando, M., & Spiess, W. E. L. (2001). Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 115-127.

Ferreira, S. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandão, G. C., ... & Dos Santos, W. N. L. (2007). Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica chimica acta*, 597(2), 179-186.

Gartz, J. (1996). *Magic mushrooms around the world. A scientific journey across cultures and time*. LIS publs. Los Angeles.

Gbolagade, J. S. (2006). Bacteria associated with compost used for cultivation of Nigerian edible mushrooms *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Singer, and *Lentinus squarrosulus* (Berk.). *African Journal of Biotechnology*, 5(4), 338-342.

Ghellam, M., Zannou, O., Pashazadeh, H., Galanakis, C. M., Aldawoud, T., Ibrahim, S. A., & Koca, I. (2021). Optimization of osmotic dehydration of autumn olive berries using response surface methodology. *Foods*, 10(5), 1075.

Giovanni, M. (1983). *Response surface methodology and product optimization*. Food technology.

González-Pérez, J. E., López-Méndez, E. M., Luna-Guevara, J. J., Ruiz-Espinosa, H., Ochoa-Velasco, C. E., & Ruiz-López, I. I. (2019). Analysis of mass transfer and morphometric characteristics of white mushroom (*Agaricus bisporus*) *pilei* during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 240, 120-132.

Gormley, R. (1975). Chill storage of mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26(4), 401-411.

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

Gupta, S., Summuna, B., Gupta, M., & Annepu, S. K. (2018). Edible mushrooms: cultivation, bioactive molecules, and health benefits. *Bioactive molecules in food, reference series in Phytochemistry*. Springer, 1-33.

Fang T.T., Footrakul P., Luh B.S., 1971. Effect of blanching, chemical treatments and freezing methods on quality of freeze-dried mushrooms. *J. Food Sci.* 36 (7), 1044-1048.

- Farber JM (1991) Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology – a review. *Journal of Food Protection* 54, 58-70
- Fonseca SC, Oliveira AR, Brecht JK (2002) Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52, 99-119
- Hobbs, C. (2002). *Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing, and culture*. Book Publishing Company.
- Horubała A., Wiśniewska M., 1978. Postępy w technologii utrwalania grzybów wyższych [Progress in technology preservation of the mushrooms]. *Przem. Spoż.* 32 (12), 446-449
- İspir, A., & Toğrul, İ. T. (2009). Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(2), 166-180.
- Jain, S. K., Verma, R. C., Murdia, L. K., Jain, H. K., & Sharma, G. P. (2011). Optimization of process parameters for osmotic dehydration of papaya cubes. *Journal of food science and technology*, 48(2), 211-217.
- Jana, D. K., Roy, S., Dey, P., & Bej, B. (2022). Utilization of a linguistic response surface methodology to the business strategy of polypropylene in an Indian petrochemical plant. *Cleaner Chemical Engineering*, 100010.
- Jolivet S, Arpin N, Wichers HJ, Pellon G (1998) *Agaricus bisporus* browning: a review. *Mycology Research* 102, 1459-1483
- Kalač, P. (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 209-218.
- Karkou, E., Oikonomopoulou, V., Papadaki, S., & Krokida, M. (2021). Design and Optimization of Edible Coating and Osmotic Dehydration Processes for the Development of High-value Fruits and Vegetables with Extended Shelf-life. *Chemical Engineering Transactions*, 87, 133-138.

- Kaur, K., Kumar, S., & Alam, M. S. (2014). Air drying kinetics and quality characteristics of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) influenced by osmotic dehydration. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(3), 214-222.
- Khiraoui, A., & Guedira, T. (2018). Effect of *Stevia rebaudiana*, sucrose and aspartame on human health: A comprehensive. *J Med Plants Res*, 6(1), 102-108.
- Klewicki, R., & Uczciwek, M. (2008). Effect of osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructooligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value.
- Kondratowicz J., Kowałko P., 2000. Mrożenie grzybów w skroplonym azocie [Freezing mushrooms in liquid nitrogen]. *Chłodnictwo* 35 (3), 48-50
- Krantz Jr, J. C. (1923). A study of the relative preservative values of glycerin and sugar solutions in certain official preparations. *The Journal of the American Pharmaceutical Association* (1912), 12(11), 963-971.
- Kurozawa, L. E., Azoubel, P. M., MURR, F. E. X., & Park, K. J. (2012). Drying kinetic of fresh and osmotically dehydrated mushroom (*Agaricus blazei*). *Journal of Food Process Engineering*, 35(2), 295-313.
- Lazarides, H. N., & MAVROUDIS, N. E. (1995). Freeze/thaw effects on mass transfer rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Science*, 60(4), 826-828.
- Lee L, Arul J, Lencki R, Castaigne F (1995) A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: physiological basis and practical aspects – part 1. *Packaging Technology Science* 8, 315- 331
- Lewicki, P. P., & Lenart, A. (1995). 28 Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables.
- Maestrelli, A., Scalzo, R. L., Lupi, D., Bertolo, G., & Torreggiani, D. (2001). Partial removal of water before freezing: cultivar and pre-treatments as quality factors of frozen muskmelon (*Cucumis melo*, cv *reticulatus* Naud.). *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 255-260.

- Manzi, P., Aguzzi, A., & Pizzoferrato, L. (2001). Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. *Food chemistry*, 73(3), 321-325.
- Mattila, P., Könkö, K., Eurola, M., Pihlava, J. M., Astola, J., Vahteristo, L., ... & Piironen, V. (2001). Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(5), 2343-2348.
- Marçal, S., Sousa, A. S., Taofiq, O., Antunes, F., Morais, A. M., Freitas, A. C., ... & Pintado, M. (2021). Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 418-431.
- Matusek, A., Czukor, B., & Merész, P. (2008). Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 365-373.
- Mau, J. L., Lin, H. C., Ma, J. T., & Song, S. F. (2001). Non-volatile taste components of several speciality mushrooms. *Food chemistry*, 73(4), 461-466.
- Mehta, B. K., Jain, S. K., Sharma, G. P., Doshi, A., & Jain, K. H. (2013). Response Surface Optimization of osmotic dehydration process parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*) part I. *Focusing on Modern Food Industry*, 2(2), 91-102.
- Money, N. P. (2022). *Mushrooms: A natural and cultural history*. Reaktion Books.
- Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Vázquez, G. (2007). Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT-Food Science and Technology*, 40(9), 1507-1514.
- Motta, F., Gershwin, M. E., & Selmi, C. (2021). Mushrooms and immunity. *Journal of autoimmunity*, 117, 102576.
- Mozaffarian, D., Ascherio, A., Hu, F. B., Stampfer, M. J., Willett, W. C., Siscovick, D. S., & Rimm, E. B. (2005). Interplay between different polyunsaturated fatty acids and risk of coronary heart disease in men. *Circulation*, 111(2), 157-164.

- Mundada, M., Hathan, B. S., & Maske, S. (2011). Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pomegranate arils. *Journal of food Science*, 76(1), E31-E39.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons.
- Nichols R (1985) Post-harvest physiology and storage. In: Flegg PB, Spencer DM and Wood DA (Eds) *The Biology and the Technology of the Cultivated Mushrooms*, John Wiley and Sons Ltd., UK, pp 195-210
- Parentelli C, Ares G, Corona M, Lareo C, Gámbaro A, Soubes M, Lema P (2007) Sensory and microbiological quality of shiitake mushrooms in modified atmosphere packages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, in press
- Pattanapa, K., Therdthai, N., Chantrapornchai, W., & Zhou, W. (2010). Effect of sucrose and glycerol mixtures in the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated mandarin cv.(Sai-Namphaung). *International journal of food science & technology*, 45(9), 1918-1924.
- Pavasovic, V., Stefanovic, M., & Stefanovic, R. (1986). Osmotic dehydration of fruit. *Drying*, 86, 761-764.
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International Food Research Journal*, 19(1), 7.
- Raben, A., Vasilaras, T. H., Møller, A. C., & Astrup, A. (2002). Sucrose compared with artificial sweeteners: different effects on ad libitum food intake and body weight after 10 wk of supplementation in overweight subjects. *The American journal of clinical nutrition*, 76(4), 721-729.
- Ramya, H. G., Kumar, S., & Kumar, M. (2014). Mass exchange evaluation during optimization of osmotic dehydration for Oyster mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) in salt-sugar solution. *Journal of Applied and Natural Science*, 6(1), 110-116.
- Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food science & technology*, 5(8), 255-260.

- Rastogi, N. K., & Raghavarao, K. S. M. S. (1994). Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. *LWT-Food Science and Technology*, 27(6), 564-567.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13(2), 48-59.
- Ren, A., Pan, S., Li, W., Chen, G., & Duan, X. (2018). Effect of various pretreatments on quality attributes of vacuum-fried shiitake mushroom chips. *Journal of Food Quality*, 2018.
- Royse D (2007) ICT WebDevelopment.
- Rühl M, Fischer Ch, Kües U (2008) Ligninolytic enzyme activities alternate with mushrooms production during industrial cultivation of *Pleurotus ostreatus* on wheat-straw-based substrate. *Curr Trends Biotechnol Pharm* 4:478–492
- Sagar, V. S., & Khurdiya, D. S. (1999). Studies on dehydration of Dashehari mango slices. *Indian Food Packer*, 53, 5-9.
- Sánchez, C. (2004). Modern aspects of mushroom culture technology. *Applied microbiology and biotechnology*, 64(6), 756-762.
- Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(5), 1321-1337.
- Santacruz-Vazquez, C., Santacruz-Vazquez, V., Jaramillo-Flores, M. E., Chanona-Perez, J., Welti-Chanes, J., & Gutiérrez-López, G. F. (2008). Application of osmotic dehydration processes to produce apple slices enriched with β -carotene. *Drying Technology*, 26(10), 1265-1271.
- Saputra, D. (2001). Osmotic dehydration of pineapple. *Drying technology*, 19(2), 415-425.
- Shi, J., & Xue, S. J. (2008). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In *Advances in food dehydration* (pp. 205-226). CRC Press.

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

Sobkowska E., Woźniak W., 1974. Nowe produkty spożywcze z grzybów jadalnych [The new food products from edible mushrooms]. *Przem. Spoż.* 28 (8), 365-368.

Souza, A. S., dos Santos, W. N., & Ferreira, S. L. (2005). Application of Box–Behnken design in the optimisation of an on-line pre-concentration system using knotted reactor for cadmium determination by flame atomic absorption spectrometry. *Spectrochimica acta part B: atomic spectroscopy*, 60(5), 737-742.

Šuput, D., Filipović, V., Lončar, B., Nićetin, M., Knežević, V., Lazarević, J., & Plavšić, D. (2020). Modeling of mushrooms (*Agaricus bisporus*) osmotic dehydration process in sugar beet molasses. *Food and Feed Research*, 47(2), 175-187.

Tadesse, T. F., Abera, S., & Worku, S. (2015). Nutritional and sensory properties of solar-dried carrot slices as affected by blanching and osmotic pre-treatments. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5(1), 24-32.

Therdthai, N., Zhou, W., & Pattanapa, K. (2011). Microwave vacuum drying of osmotically dehydrated mandarin cv.(Sai-Namphaung). *International journal of food science & technology*, 46(11), 2401-2407.

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

Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., van den Berg, R., & Bartels, P. (2001). Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of food engineering*, 49(2-3), 185-191.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry.

Trutmann, P. (2012). The forgotten mushrooms of ancient Peru. *Global Mountain Action*, 33.

Valdez-Frugoso, A., Welti-Chancs, J., & Giroux, F. (1998). Properties of a sucrose solution reused in osmotic dehydration of apples. *Drying technology*, 16(7), 1429-1445.6.

Varoquaux P, Wiley RC (1999) Cambios biológicos y bioquímicos en frutas y hortalizas refrigeradas mínimamente procesadas. In: Wiley RC (Ed) Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas y Refrigeradas, Editorial Acribia S.A., Zaragoza, pp 179-220

Vieira, G. S., Pereira, L. M., & Hubinger, M. D. (2012). Optimisation of osmotic dehydration process of guavas by response surface methodology and desirability function. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(1), 132-140.

Vijayanand, P., Chand, N., & Eipeson, W. E. (1995). Optimization of osmotic dehydration of cauliflower. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19(4), 229-242.

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

Yilmaz, N., Solmaz, M., Türkekul, İ., & Elmastaş, M. (2006). Fatty acid composition in some wild edible mushrooms growing in the middle Black Sea region of Turkey. *Food chemistry*, 99(1), 168-174.

Yolmeh, M., & Jafari, S. M. (2017). Applications of response surface methodology in the food industry processes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(3), 413-433

Zhao, Y. Y., Yi, J. Y., Bi, J. F., Chen, Q. Q., Zhou, M., & Zhang, B. (2019). Improving of texture and rehydration properties by ultrasound pretreatment for infrared-dried shiitake mushroom slices. *Drying Technology*, 37(3), 352-362.

Zivanovic S, Buescher RW, Kim KS (2000) Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. *Journal of Food Science* 65, 1404-1408

<https://en.wikipedia.org/wiki/Shiitake> 11-6-2022

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ευάγγελος Λάζος, Ανδριάνα Λάζου (2016) Διεργασίες συντηρήσεως με φυσικοχημικές, βιολογικές, νέες και αναδυόμενες τεχνολογίες. Επεξεργασία τροφίμων 2, σελ 213-214

Μυλωνά, Γ. (2015). Επεξεργασία παραπροϊόντων ελαιοτριβείων με είδη εδώδιμων μανιταριών.

Παπαγεωργίου Έφη (2017). Βιοστατιστική και Εφαρμογές, Έκδοση 2η

Παπαδημητρίου, Π. (2015). Οι τεχνικές καλλιέργειας και η αξιοποίηση του εδώδιμου μανιταριού *Lentinula edodes* (Shiitake)

Ρούσσου, Α. (2015). Η καλλιέργεια του κινέζικου μανιταριού SHIITAKE.

Σκλάβος, Π. (2015). Καλλιέργεια του μανιταριού *Lentinula edodes* σε αγροδασικά παραπροϊόντα.

[\(https://www.agriamanitaria.gr/lentinula-edodes-%CE%BB%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B1-%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%AC%CE%BA%CE%B5-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%80%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B9%CE%B4/ 11-6-2022\)](https://www.agriamanitaria.gr/lentinula-edodes-%CE%BB%CE%B5%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%8D%CE%BB%CE%B1-%CF%83%CE%B9%CF%84%CE%AC%CE%BA%CE%B5-%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%80%CE%B5%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%B9%CE%B4/)