



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Βελτίωση της ποιότητας και του χρόνου ζωής μανιταριών
Πλευρώτους (Oyster Mushrooms) μέσω της εφαρμογής
ήπιων μεθόδων επεξεργασίας.**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ : Ακριβή Καλουσοπούλου (16034)

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ: Μαρία Γιαννακούρου

ΑΘΗΝΑ, ΑΙΓΑΛΕΩ 2022

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αθήνα, 2022

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Μαρία Γιαννακούρου Χημικός Μηχανικός, Καθηγήτρια, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
2. Μέλος Επιτροπής : Ηγουμενίδης Παναγιώτης Χημικός Μηχανικός, Ακαδημαϊκός Υπότροφος, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
3. Μέλος Επιτροπής: Μυρτώ Τριάντη Τεχνολόγος Τροφίμων, Ακαδημαϊκή Υπότροφος, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του νόμου περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι είμαι η αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η οποία δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής, ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της περιλαμβάνονται στην βιβλιογραφία. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, σε περίπτωση που αποδειχθεί διαχρονικά ότι η εργασία αυτή αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

Καλουσοπούλου Ακριβή



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κυρία Μαρία Γιαννακούρου για την αμέριστη βοήθεια, καθοδήγηση και υποστήριξη που μου πρόσφερε, καθώς και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου για την ανάθεση της εν λόγω πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την υποψήφια Διδάκτορα Σταυροπούλου για τη βοήθεια και την υποστήριξή της καθ' όλη την πειραματική διαδικασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για τη στήριξη και συμπαράσταση που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Τα μανιτάρια είναι βρώσιμοι μύκητες και χρησιμοποιούνται ως τρόφιμο από την αρχαιότητα. Πάνω από 12.000 είδη μυκήτων, αναγνωρίζονται ως μανιτάρια και τουλάχιστον 2.000 είδη, παρουσιάζονται ως βρώσιμα μανιτάρια με ποιοτικά χαρακτηριστικά. Τα μανιτάρια έχουν μεγάλη διατροφική αξία, διότι είναι αρκετά πλούσια σε πρωτεΐνες, βιταμίνες και μέταλλα με χαμηλή θερμιδική αξία, λόγω του ότι είναι φτωχά σε λιπαρά. Τα μανιτάρια *Pleurotus Ostreatus*, αποτελούν το δεύτερο κατά σειρά, πιο καλλιεργούμενο είδος μανιταριών σε παγκόσμια εμβέλεια μετά το μανιτάρι *Agaricus bisporus*. Ωστόσο, τα φρέσκα μανιτάρια είναι εξαιρετικά ευπαθή προϊόντα, διότι αρχίζουν να αλλοιώνονται, αμέσως μετά τη συγκομιδή τους. Η διάρκεια ζωής τους σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 1 έως 3 ημέρες και σε συνθήκες ψύξης 5 έως 8 ημέρες. Οι παράγοντες που συμβάλουν σε αυτή την γρήγορη αλλοίωση είναι το υψηλό ποσοστό περιεκτικότητας υγρασίας, η υψηλή ενεργότητα νερού, η ενζυμική δραστηριότητα, η υψηλή τιμή του pH και μικροβιακές αλλοιώσεις. Η μικρή διάρκεια ζωής των μανιταριών και η ταχεία υποβάθμιση της ποιότητάς τους επηρεάζει σημαντικά την οικονομική και εμπορική τους αξία. Λύση σε αυτό το πρόβλημα μπορεί να δώσει, η εφαρμογή κάποιων ήπιων διεργασιών συντήρησης, π.χ. της ωσμωτικής αφυδάτωσης με στόχο την παράταση ζωής των μανιταριών και τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων.

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια ήπια επεξεργασία τροφίμων. Κάθε δείγμα εμβαπτίζεται σε ένα υπερτονικό διάλυμα σακχάρου ή/και άλατος, σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ως προεπεξεργασία σε πολλές διαδικασίες (κατάψυξη, ξήρανση με ψύξη, ξήρανση σε κενό ή ξήρανση με αέρα) που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των διατροφικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων του τροφίμου χωρίς να αλλάζει η ακεραιότητά του.

Στην παρούσα πειραματική μελέτη, πραγματοποιήθηκε πλήρες κινητικό πείραμα ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια *Pleurotus Ostreatus*, με στόχο να εκτιμηθούν οι βέλτιστες συνθήκες στις οποίες πρέπει να πραγματοποιηθεί η διεργασία, προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα και ο χρόνος ζωής των μανιταριών. Τα μανιτάρια, εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα (το οποίο είχε υποστεί καλή ανάδευση) διαφορετικών συγκεντρώσεων γλυκερόλης 30, 40 και 50% με 5% NaCl και 1,5% CaCl₂. Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιήθηκε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 30, 40 και 50 °C, με συνολική χρονική διάρκεια 190 λεπτά. Κατά τη

διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας, μελετήθηκε η μεταβολή της ενεργότητας νερού, της απώλειας ύδατος, της πρόσληψης στερεών, της υγρασίας, του χρώματος, της υφής, της περιεκτικότητας σε άλατι και αξιολογήθηκε η επίδραση βασικών παραμέτρων της διεργασίας (χρόνος εμβάπτισης, θερμοκρασία και συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου). Για τον υπολογισμό των βέλτιστων συνθηκών, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία απόκρισης επιφανείας (Response Surface Methodology, RSM) με τη χρήση εξισώσεων β' βαθμού, ενώ ο σχεδιασμός των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τον πειραματικό σχεδιασμό Box Behnken με τρεις παράγοντες σε τρία επίπεδα. Η στατιστική ανάλυση για κάθε απόκριση, έδειξε ότι όλοι οι παράγοντες διεργασίας επηρέασαν σημαντικά την απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών, την ενεργότητα νερού και τις αλλαγές χρώματος. Με βάση λοιπόν αυτή τη μέθοδο, εκτιμήθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες της ώσμωσης (θερμοκρασία = 38,7 °C , χρόνος = 130 min , συγκέντρωση = 30%) με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας και του χρόνου ζωής των μανιταριών και πραγματοποιήθηκε επιτυχώς το αντίστοιχο πείραμα επαλήθευσης, με τη μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ της πειραματικής και της αναμενόμενης τιμής, να μην υπερβαίνει το 27%.

Abstract

Mushrooms are edible fungi and have been used as food since ancient times. Over 12,000 species of fungi are recognised as mushrooms and at least 2,000 species are presented as edible mushrooms with quality characteristics. Mushrooms have great nutritional value because they are quite rich in protein, vitamins and minerals with a low caloric value due to their low fat content. *Pleurotus Ostreatus* mushrooms, are the second most cultivated mushroom species worldwide after *Agaricus bisporus*. However, fresh mushrooms are highly perishable products because they start to spoil immediately after harvesting. Their shelf life at ambient temperature is 1 to 3 days and at refrigerated conditions 5 to 8 days. The factors contributing to this rapid deterioration are high moisture content, high water activity, enzyme activity, high pH and microbial spoilage. The short shelf life of mushrooms and the rapid deterioration of their quality significantly affects their economic and commercial value. A solution to this problem can be found by applying some mild preservation processes, e.g. osmotic dehydration, in order to prolong the life of mushrooms and improve the quality characteristics of the final products.

Osmotic dehydration is a mild food treatment. Each sample is immersed in a hypertonic solution of sugar and/or salt at relatively low temperatures. This method is used as a pre-treatment in many processes (freezing, freeze drying, vacuum drying or air drying) used to improve the nutritional, organoleptic and functional properties of the food without altering its integrity.

In this experimental study, a full kinetic experiment of osmotic dehydration in *Pleurotus Ostreatus* mushrooms was carried out in order to evaluate the optimal conditions under which the process should be carried out in order to improve the quality and shelf life of the mushrooms. The mushrooms were immersed in osmotic solution (well stirred) of different concentrations of 30, 40 and 50% glycerol with 5% NaCl and 1.5% CaCl₂. Osmotic dehydration was carried out at three different temperatures of 30, 40 and 50 °C, with a total duration of 190 min. During the osmotic treatment, changes in water activity, water loss, solids gain, moisture content, colour, texture, salt content were studied and evaluated the influence of key process parameters (immersion time, temperature and osmotic medium concentration). To calculate the optimal conditions, the Response Surface Methodology (RSM) was used to calculate the optimal conditions

using second-degree equations, whereas the experimental design was carried out using the Box Behnken experimental design with three factors in three levels. Statistical analysis for each response showed that all process factors significantly affected water loss, solids gain, water activity and colour changes. Based on this method, the optimum conditions of osmosis (temperature = 38.7 °C, time = 130 min, concentration = 30%) were estimated in order to improve the quality and shelf life of the mushrooms and the corresponding verification experiment was successfully performed, with the largest deviation between the experimental and the expected value not exceeding 27%.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ	13
2.1 Παγκόσμια και εγχώρια παραγωγή και κατανάλωση μανιταριών	14
2.2 Διατροφική αξία - σύνθεση μανιταριών.....	18
2.3 Τοξικότητα μανιταριών	20
2.4 Μανιτάρι πλευρώτους	22
2.5 Καλλιέργεια μανιταριών.....	24
2.6 Καλλιέργεια μανιταριών πλευρώτους	25
2.7 Παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητας και της διάρκειας ζωής των μανιταριών	27
2.8 Βασικές μέθοδοι συντήρησης και επέκτασης της διάρκειας ζωής των μανιταριών.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	32
3.1 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης	32
3.2 Παράμετροι που σχετίζονται με την επεξεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης	33
3.2.1 Τύπος ωσμωτικού μέσου.....	34
3.2.2 Συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου	34
3.2.3 Θερμοκρασία ωσμωτικού μέσου.....	35
3.2.4 Χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	36
3.2.5 Ανάδευση του ωσμωτικού μέσου.....	37
3.2.6 Αναλογία προϊόντος - ωσμωτικού μέσου	38
3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	38
3.4 Ωσμωτική αφυδάτωση μανιταριών	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY - RSM).....	47
4.1 Μεθοδολογία	48
4.2 Πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	52
5.1 Ωσμωτική αφυδάτωση.....	52
5.1.1 Γλυκερόλη	53
5.1.2 Χλωριούχο ασβέστιο	54
5.2 Πειραματική διαδικασία.....	55
5.3 Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	56
5.3.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών συστατικών ωσμωτικού διαλύματος (°Brix)	56
5.3.2 Προσδιορισμός της ενεργότητας ύδατος (a_w , water activity).....	57
5.3.3 Προσδιορισμός του χρώματος.....	58

5.3.4 Ανάλυση της υφής.....	61
5.3.5 Μέθοδος προσδιορισμού άλατος.....	63
5.3.6 Προσδιορισμός ολικών στερεών	63
5.4 Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM).....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	69
6.1 Μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης του μανιταριού πλευρώτους	69
6.1.1 Ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους	69
6.1.2 Απώλεια νερού (Water Loss, WL) των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους	71
6.1.3 Πρόσληψη διαλυτών στερεών συστατικών (Solid Gain, SG) των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους.....	74
6.1.4 Υγρασία των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους	76
6.1.5 Μεταβολή του χρώματος μανιταριού πλευρώτους.....	78
6.1.6 Μεταβολή της υφής του μανιταριού πλευρώτους	83
6.1.7 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι του μανιταριού πλευρώτους	84
6.2 Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης μανιταριού πλευρώτους με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken.....	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	90
7.1 Συμπεράσματα.....	90
7.2 Υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
Ξένη βιβλιογραφία	93
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μανιτάρια *Pleurotus* παρουσιάζουν αυξανόμενη κατανάλωση λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε πρωτεΐνες και διαιτητικές ίνες, καθώς και σε αμινοξέα, ιδιαίτερα τη λυσίνη και τη λευκίνη. Η υψηλή διατροφική τους αξία, σε συνδυασμό με τις σπουδαίες φαρμακευτικές ιδιότητές τους, ευνοούν σε μεγάλο βαθμό την ανθρώπινη υγεία (Valverde et al., 2015). Η παρουσία μεβινολίνης, νικοτινικού οξέος και υψηλότερου επιπέδου ενώσεων β-γλυκανών τα καθιστά ένα αποτελεσματικό συμπλήρωμα διατροφής για καρδιοπαθείς για τη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης στο αίμα (Raman et al., 2021). Παρ' όλ' αυτά, τα νωπά μανιτάρια είναι εξαιρετικά ευαίσθητα, διότι εμφανίζουν αλλοιώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα από τη συγκομιδή τους, γεγονός που υποβαθμίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που καθιστά δύσκολη την εμπορική τους επιτυχία είναι η μικρή διάρκεια ζωής τους, που έχει υπολογισθεί σε 1-3 ημέρες σε περιβαλλοντικές συνθήκες και 5-8 ημέρες σε ψύξη. Για να επεκταθεί λοιπόν η χρονική διάρκεια ζωής των μανιταριών και να βελτιωθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, είναι απαραίτητη η εφαρμογή μιας κατάλληλης και ήπιας μεθόδου επεξεργασίας. Στη σύγχρονη βιβλιογραφία, μια μέθοδος που προτείνεται ευρέως, είναι η ωσμωτική αφυδάτωση, η οποία αποτέλεσε τον πυρήνα της παρούσας πειραματικής έρευνας. Αρκετές μελέτες χρησιμοποίησαν την ωσμωτική αφυδάτωση σε φρούτα και λαχανικά αλλά οι αναφορές σε μανιτάρια πλευρώτους είναι περιορισμένες (Raut, 2011, Ramya and Kumar, 2015, Ramya et al., 2014).

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος προεπεξεργασίας, όπου τα δείγματα τροφίμων εμβαπτίζονται σε υπερτονικά διαλύματα (σακχάρων ή/και αλάτων), κυρίως για να μειωθεί η περιεκτικότητά τους σε νερό. Αποτελεί μια ήπια τεχνική, διότι η εφαρμογή της γίνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε να μην επιφέρει θρεπτικές και οργανοληπτικές υποβαθμίσεις (γεύση, χρώμα και υφή) στα προϊόντα. Επιπροσθέτως, η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διεργασία, η οποία καταναλώνει ενέργεια χαμηλής απόδοσης κατά την χρήση της, σε σχέση με άλλες μεθόδους που απαιτούν αρκετά υψηλή ενέργεια όπως η ξήρανση με αέρα ή υπό κενό (Tortoe, 2010).

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, η εν λόγω πτυχιακή εργασία είχε ως σκοπό την εφαρμογή και έπειτα την ανάλυση της επίδρασης της μεθόδου ωσμωτικής αφυδάτωσης ως επεξεργασία των μανιταριών πλευρώτους για την παραγωγή τελικού προϊόντος

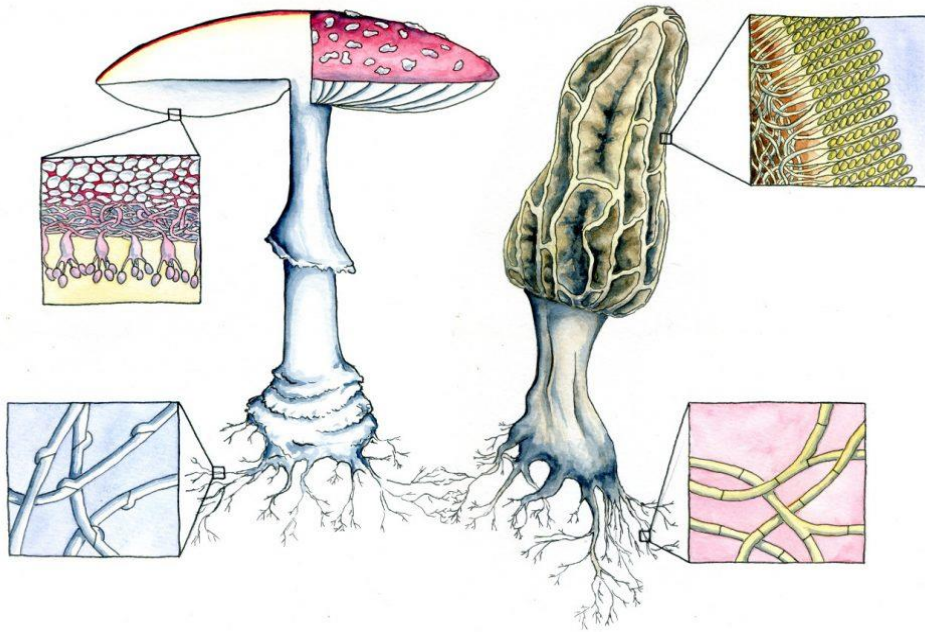
βελτιωμένης ποιότητας και αυξημένης διάρκειας ζωής. Μελετήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και οι μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μανιταριών πλευρώτους κατά τη διάρκεια της εμβάπτισης, καθώς και η επίδραση βασικών παραμέτρων της διεργασίας. Πιο αναλυτικά κατά τη διάρκεια της διεργασίας, μετρήθηκε η ενεργότητα νερού (a_w), η απώλεια ύδατος (WL), η πρόσληψη στερεών (SG), η μεταβολή του χρώματος, της υφής και η περιεκτικότητα αλατιού των δειγμάτων ως συνάρτηση της μεταβολής της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης του οσμωτικού μέσου (γλυκερόλη) και του χρόνου της ώσμωσης. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της μεθόδου απόκρισης επιφανείας (Response Surface Methodology, RSM) πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση των βέλτιστων συνθηκών. Εφαρμόστηκε μια σειρά πειραμάτων, με βάση το σχεδιασμό Box Behnken με τρεις παράγοντες σε τρία επίπεδα, και οι δείκτες που μετρήθηκαν περιλαμβάνουν παραμέτρους που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας και άλλους επιλεγμένους δείκτες ποιότητας. Από την στατιστική ανάλυση που προέκυψε για κάθε απόκριση, ήταν φανερό ότι όλοι οι παράγοντες της διεργασίας είχαν σημαντική επιρροή στην απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών, την ενεργότητα νερού και τις αλλαγές του χρώματος. Τέλος, με τις εκτιμώμενες βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, πραγματοποιήθηκε πείραμα επαλήθευσης, όπου τα αποτελέσματα σημείωσαν ικανοποιητική προσέγγιση (μικρό σφάλμα) μεταξύ θεωρητικών (αναμενόμενων) και πειραματικών τιμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ



Εικόνα 2.1 : Μανιτάρια στη φύση.

Τα μανιτάρια είναι καρποφορίες μεγάλου μεγέθους, οι οποίες αναπτύσσονται από ορισμένες κατηγορίες μυκήτων (πολυκύτταρων) κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου. Το σώμα τους είναι το όργανο που χρησιμοποιούν για να αναπτυχθούν τα σπόρια ώστε να εξασφαλίσουν την αναπαραγωγή του είδους τους. Τα μανιτάρια που είναι αυτοφύομενα στα δάση έχουν τη διεθνή ονομασία *fungo epigeo* και τα υπογείως αναπτυσσόμενα την ονομασία τρούφες. Οι βρώσιμοι αυτοί μύκητες είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται ως τρόφιμο από την αρχαιότητα. Το μανιτάρι αναπτύσσεται σε αποσυντεθειμένη οργανική ύλη και παράγει βρώσιμο τμήμα πάνω από την επιφάνεια του υποστρώματος (Kotwaliwale et al., 2007). Τα μανιτάρια είναι μια ειδική ομάδα μακροσκοπικών μυκήτων που στερούνται χλωροφύλλης και, ως εκ τούτου, χρειάζονται υπόστρωμα για τη δική τους διατροφή (Raut, 2011). Η χαρακτηριστική μορφή των περισσότερων είναι ομβρελοειδή όμως, υπάρχουν πολλές ακόμη μορφές και σχήματα. Με βάση τη μορφή και το σχήμα τους, τα μανιτάρια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους βασιδιομύκητες και τους ασκομύκητες. Οι βασιδιομύκητες έχουν σχήμα ομπρέλας, χωνιού, κυλίνδρου ενώ οι ασκομύκητες σχήμα πατάτας, δίσκου, σφαίρας.



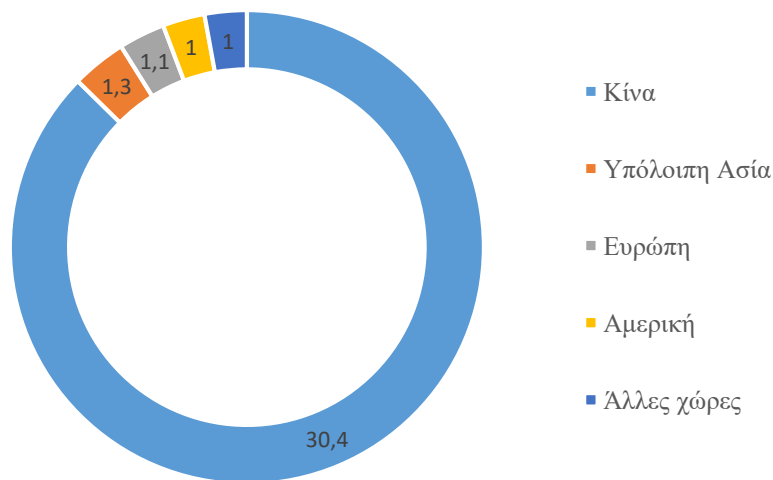
Εικόνα 2.2 : Βασιδιομύκητες (αριστερά) και ασκομύκητες (δεξιά).

Αναφορικά με τη σύσταση τους, ταμανιτάρια αποτελούν επίσης, πλούσια πηγή πρωτεϊνών, βιταμινών και ανόργανων συστατικών. Η χαμηλή περιεκτικότητά τους σε υδατάνθρακες και λίπος τα καθιστά ιδανική τροφή για τους διαβητικούς και τα άτομα που επιθυμούν να χάσουν το περιττό λίπος (Raut, 2011). Τα φρέσκαμανιτάρια έχουν μαλακή υφή και είναι εξαιρετικά ευπαθή προϊόντα διότι αρχίζουν να αλλοιώνονται αμέσως μετά τη συγκομιδή τους (Kotwaliwale et al., 2007). Γι' αυτό το λόγο, καλό είναι να καταναλώνονται είτε να επεξεργάζονται αμέσως μετά τη συγκομιδή, αλλιώς παρατηρούνται διάφορες αλλοιώσεις στη φύση και τη μορφή τους, οι οποίες καθιστούν ταμανιτάρια μη αποδεκτά για ασφαλή ή ποιοτική κατανάλωση. Έτσι κι αλλιώς, κατά τη διακίνησή τους προς την παγκόσμια αγορά πρέπει να έχουν υποστεί κάποια μορφή επεξεργασίας (Raut, 2011).

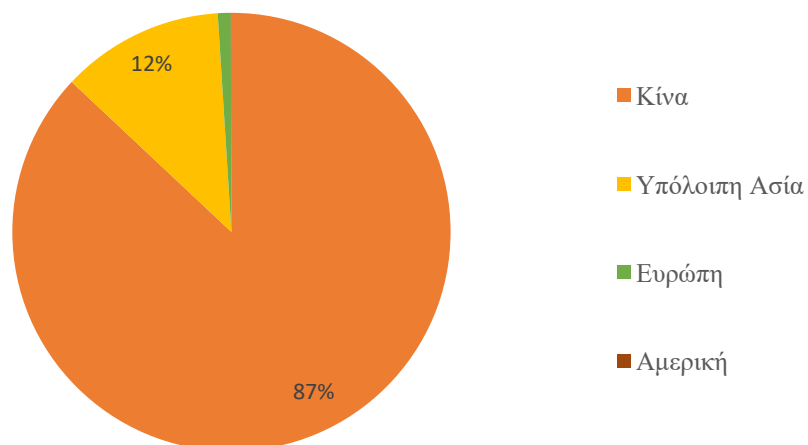
2.1 Παγκόσμια και εγχώρια παραγωγή και κατανάλωσημανιταριών

Περισσότερα από 12.000 είδη μυκήτων, αναγνωρίζονται ωςμανιτάρια και τουλάχιστον 2.000 είδη, παρουσιάζονται ως βρώσιμαμανιτάρια με ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μέχρι

το 2015, είχαν καλλιεργηθεί εμπορικά περίπου 35 είδη μανιταριών και 20 είδη σε βιομηχανική κλίμακα. Τα μανιτάρια βρίσκονται στο επίκεντρο της βιομηχανίας τροφίμων για τα λειτουργικά τους οφέλη. Η ζήτησή τους δε σταματάει να ανεβαίνει διότι, έχουν αναγνωριστεί ως τρόφιμα με υψηλή διατροφική αξία και είναι πολύ κοντά στο να αποκτήσουν την ιδιότητα της "υπερτροφής" (Muhammad and Suleiman, 2015). Η παγκόσμια βιομηχανία μανιταριών διακρίνει τα μανιτάρια σε τρεις κατηγορίες, τα εδώδιμα, τα άγρια και τα φαρμακευτικά. Το 2013 πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της συνολικής αξίας των μανιταριών της βιομηχανίας, όπου η κατηγορία με το μεγαλύτερο ποσοστό συνολικής αξίας ήταν τα καλλιεργούμενα βρώσιμα μανιτάρια με 54%, ακολούθησαν τα φαρμακευτικά μανιτάρια με ποσοστό 38% και τέλος τα άγρια μανιτάρια με 8%. Η παραγωγή καλλιεργούμενων εδώδιμων μανιταριών είχε σημειώσει ραγδαία αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο από το 1978 έως το 2013. Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή αυξήθηκε περισσότερο από 30 φορές, γεγονός αξιοσημείωτο αν συγκριθεί και με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η οποία ήταν μικρότερη από 2 φορές. Από το 1997 και έπειτα η κατανάλωση κατά κεφαλήν καταγράφηκε ότι είναι μεγαλύτερη από 4,7 κιλά το χρόνο (Royle et al., 2017). Το 2015, η Κίνα κατέχει την κυριαρχία στην παγκόσμια παραγωγή μανιταριών. Σε παγκόσμιο επίπεδο παραγωγής, η Κίνα παράγει το 70% των συνολικών μανιταριών (2008), όπου η καλλιέργειά τους παίζει σπουδαίο ρόλο στην οικονομία, παρέχοντας σημαντικά έσοδα στη χώρα. Η επόμενη χώρα με υψηλά ποσοστά παραγωγής μανιταριών είναι οι ΗΠΑ και αμέσως μετά ακολουθούν ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Γερμανία, η Γαλλία, η Ισπανία, η Ιταλία, η Ολλανδία, η Πολωνία, η Ουγγαρία και άλλες. Το 2007, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η μεγαλύτερη παραγωγή κονσερβοποιημένων μανιταριών καταγράφηκε στην Ολλανδία, η οποία αντιπροσώπευε σχεδόν το 25% της συνολικής παραγωγής, την Ιταλία, την Ισπανία, την Πολωνία και τη Γαλλία. Η Πολωνία από τη στιγμή που έγινε μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης σημείωσε ραγδαία αύξηση στην παραγωγή μανιταριών σύμφωνα με τα στατιστικά δεδομένα. Η καλλιέργειές της έφταναν και ξεπερνούσαν τους 238.000 τόνους ετησίως και έτσι αποτέλεσε το μεγαλύτερο παραγωγό μανιταριών στην ΕΕ. Η υψηλή ποιότητα του προϊόντος και το χαμηλό κόστος παραγωγής έδωσε την δυνατότητα και την ευκαιρία στους καλλιεργητές μανιταριών της Πολωνίας να στέλνουν φρέσκα μανιτάρια ακόμη και σε ορισμένες χώρες εκτός της ΕΕ (Muhammad and Suleiman, 2015). Η ποσοστιαία παραγωγή πλευρώτους ανάμεσα στην Κίνα, την υπόλοιπη Ασία, την Ευρώπη και την Αμερική ήταν η εξής: 87%, 12%, 0,95% και 0,05% αντίστοιχα (Royle et al., 2017).



Γράφημα 2.1 : Παραγωγή καλλιεργούμενων μανιταριών στην Κίνα και σε άλλες επιλεγμένες περιοχές του κόσμου, 2013 (δισεκατομμύρια κιλά). Σύνολο = 34,8 δισεκατομμύρια κιλά (Royle et al., 2017).



Γράφημα 2.2 : Ποσοστό της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής σε μανιτάρια πλευρώτους σε επιλεγμένες χώρες και περιοχές (2013) (Royle et al., 2017).

Στην Ελλάδα, η κατανάλωσημανιταριών κυμαίνεται σε 11.000 τόνους ετησίως. Η παραγωγή της όμως, ανέρχεται μέχρι τους 3.000 τόνους, παρόλο που οι κλιματολογικές συνθήκες της χώρας εννοούν σε μεγάλο βαθμό την καλλιέργειά τους. Επομένως, αφού η παραγωγή δεν έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει όλη τη ζήτηση, η Ελλάδα εισάγει χιλιάδες τόνους από την Πολωνία, την Ιταλία, την Ολλανδία και την Κίνα. Στη βιομηχανία παραγωγήςμανιταριών της Ελλάδας, καλλιεργούνται κυρίως δυο βασικά είδημανιταριών, το λευκόμανιτάρι και το πλευρώτους. Παρακάτω απεικονίζονται κάποιες από τα πιο γνωστές ποικιλίες.

Agaricus bisporus



Lentinus edodes



Pleurotus ostreatus



Pleurotus eryngii



Pleurotus sajor-caju



Pleurotus giganteus



Εικόνα 2.3 : Μερικές από τις πιο γνωστές ποικιλίες μανιταριών.

2.2 Διατροφική αξία - σύνθεση μανιταριών

Τα μανιτάρια έχουν μεγάλη διατροφική αξία, διότι είναι αρκετά πλούσια σε πρωτεΐνες, βιταμίνες και μέταλλα με χαμηλή θερμιδική αξία, λόγω του ότι είναι φτωχά σε λιπαρά αλλά με εξαιρετική περιεκτικότητα σε σημαντικά λιπαρά οξέα. Βέβαια, η θρεπτική αξία και η χημική σύνθεση των εδώδιμων μανιταριών μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα διότι εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης, το στάδιο και τις συνθήκες μετά τη συγκομιδή (Valverde et al., 2015). Στα μανιτάρια, η συνήθης περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι από 20 έως 40 % σε ξηρή βάση ξεπερνώντας με αυτό το μεγάλο ποσοστό πολλά τρόφιμα. Οι πρωτεΐνες των μανιταριών έχουν υψηλό επίπεδο ποιότητας με σημαντική περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα και φυτικές ίνες. Τα μανιτάρια, αποτελούνται ακόμα από υδατάνθρακες αλλά σε πολύ μικρή περιεκτικότητα, δεν έχουν χοληστερόλη και είναι σχεδόν χωρίς λίπος (0,2g/100g). Είναι λοιπόν, ένα σημαντικό τρόφιμο για μια ισορροπημένη διατροφή. Η διατροφική αξία, η νοστιμιά και η γεύση των βρώσιμων μυκήτων εμπορικού ενδιαφέροντος, δηλαδή μανιταριών, αύξησε σε μεγάλο βαθμό την καλλιέργεια και την κατανάλωσή τους. Οι βιταμίνες και τα μέταλλα που παρέχουν σε ένα καλό ποσοστό περιεκτικότητας είναι C, B1, B2, B12, D, E και Ca, P, Mg, αντίστοιχα. Ένα επιπλέον σπουδαίο συστατικό των μανιταριών είναι η πολυσακχαριδική ένωση β-γλυκάνη, η οποία συνεισφέρει αρκετά στην κυτταρική

ανοσολογική λειτουργία (Raut, 2011). Ταμανιτάρια είναι το μόνο τρόφιμο φυτικής προέλευσης που περιέχει βιταμίνη D, ιδανική για χορτοφάγους. Πιο συγκεκριμένα, τα άγριαμανιτάρια αποτελούν πλούσια πηγή βιταμίνης D₂ σε αντίθεση με τα καλλιεργούμενα, τα οποία καλλιεργούνται στο σκοτάδι χωρίς το απαραίτητο φως UV-B για την παραγωγή της βιταμίνης. Με βάση τα παραπάνω ταμανιτάρια, έχουν αρκετά πλεονεκτήματα ώστε να θεωρούνται μια εξαιρετική πηγή τροφής, η οποία είναι πλούσια σε πολλά διαφορετικά θρεπτικά συστατικά και κρίνεται η κατάλληλη για άμεση προσαρμογή στην ανθρώπινη διατροφή. Ταυτόχρονα, λόγω των συνλειτουργικών επιδράσεων όλων των βιοδραστικών ενώσεων που υπάρχουν, ταμανιτάρια ενισχύουν σημαντικά με διάφορα οφέλη και τον τομέα της υγείας (Valverde et al., 2015).

Πίνακας 2.1 : Η σύνθεση των ώριμωνμανιταριών *Pleurotus sajor caju* (Raut, 2011).

Παράμετροι	Βάρος νωπού προϊόντος (% κβ, υγρή βάση)
Υγρασία	90,8
Ξηρά ουσία	9,2
Ακατέργαστες ίνες	1,1
Ακατέργαστη πρωτεΐνη	2,78
Ακατέργαστο λίπος	0,35- 0,65
Άμυλο	0,02
Σακχαρόζη	0,6
Γλυκόζη	1,45
Τέφρα	1,1
Υδατάνθρακες	5,51
Βιταμίνη C	15,6
Ενεργειακή αξία	24,40 Kcal

Ταμανιτάρια πλευρώτους έχουν ιδιαίτερη σύνθεση με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, μέταλλα και χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες, με μικρή θερμιδική αξία. Συστήνεται ως ιδανικό τρόφιμο κατανάλωσης για τους ανθρώπους που πάσχουν από διαβήτη και καρδιά αλλά και για εκείνους που επιθυμούν να μην πάρουν βάρος. Η

χημική σύνθεση των μανιταριών (*Pleurotus sajor caju*) παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1 (Raut, 2011).

Πίνακας 2.2 : Η σύνθεση ορισμένων ειδών βρώσιμων μανιταριών (σε ξηρή βάση) (Valverde et al., 2015).

Είδος	Πρωτεΐνη %	Λίπος %	Τέφρα %	Υδατάνθρακες %	Ενέργεια kcal/kg
<i>Agaricus bisporus</i>	14.1	2.2	9.7	74.0	325
<i>Lentinus edodes</i>	4.5	1.73	6.7	87.1	772
<i>Pleurotus ostreatus</i>	7.0	1.4	5.7	85.9	416
<i>Pleurotus eryngii</i>	11.0	1.5	6.2	81.4	421
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	37.4	1.0	6.3	55.3	—
<i>Pleurotus giganteus</i>	17.7	4.3	—	78.0	364

2.3 Τοξικότητα μανιταριών

Τα μανιτάρια έχουν τη δυνατότητα σε μεγάλο βαθμό να συσσωρεύουν ιχνοστοιχεία, με συνέπεια -σε κάποιες περιπτώσεις- αυτή η λειτουργία να οδηγεί σε πρόβλημα τοξικότητας. Μια μελέτη αξιολόγησε τη συσσώρευση των στοιχείων Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Sr και Zn σε έξι είδη εδώδιμων μανιταριών (*Leccinium aurantiacum*, *Xerocomus badius*, *Lactarius deliciosus*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius* και *Suillus luteus*), μια συλλογή από διάφορα κατ' επιλογήν μέρη της Πολωνίας, την χρονική περίοδο 1990 – 2010. Τα ιχνοστοιχεία που σημείωσαν τη μεγαλύτερη ικανότητα συσσώρευσης στα μανιτάρια ήταν το κάδμιο, ο μόλυβδος, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν ιδιαίτερα τη συγκέντρωση των μετάλλων αυτών στα καρποφόρα σώματα, είναι το είδος του μανιταριού, το στάδιο ανάπτυξης και η τοποθεσία του καρποφόρου. Η έρευνα που πραγματοποιείται στη

συλλογή των μανιταριών σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα, βοηθάει αρκετά στη λεπτομερή ανίχνευση του βαθμού μόλυνσης των περιοχών αυτών με βαρέα μέταλλα. Τα τρία είδη τα οποία παρουσίασαν υψηλή ικανότητα συσσώρευσης Hg, ήταν τα *Boletus edulis*, *Leccinum aurantiacum* και *Suillus luteus*, σε αντίθεση με τα *Xerocomus badius* και *Cantharellus cibarus*, τα οποία εμφάνισαν πολύ χαμηλότερη. Επιπλέον, το *Boletus edulis* σημείωσε σημαντική συσσώρευση σε ποσότητες καδμίου και μόλυβδου, ενώ το *Suillus luteus* περιείχε μεγάλες ποσότητες μόλυβδου και πολύ λίγο κάδμιο. Τέλος για το μανιτάρι *Lepista nuda* προσδιορίστηκαν υψηλές τιμές συντελεστή βιοσυγκέντρωσης ψευδαργύρου και χαλκού. Τα ποσοστά βιοσυγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων είναι συνήθως υψηλότερα για τα μανιτάρια σε σχέση με διάφορα είδη λαχανικών. Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των μανιταριών σε ιχνοστοιχεία έγινε με γνώμονα τις βιολογικές, τις διατροφικές και τις τοξικολογικές επιπτώσεις τους, κυρίως στον κίνδυνο που ενέχουν τα τοξικά στοιχεία στην ανθρώπινη υγεία (όσον αφορά στην εμφάνιση, τη διαθεσιμότητα και τη συσσώρευσή τους). Το πρόβλημα αυτό, εντοπίζεται κατά βάση σε καρποφόρα που έχουν συλλεχθεί από μολυσμένες περιοχές, αλλά και σε μέρη όπου η τοπική κοινότητα καταναλώνει αρκετά μεγάλη ποσότητα μανιταριών. Τα τοξικά ιχνοστοιχεία ενταγμένα στην ανθρώπινη διατροφή δημιουργούν ένα σοβαρό διατροφικό και ιατρικό πρόβλημα, διότι επιφέρουν τη συσσώρευσή τους σε ορισμένα ανθρώπινα όργανα όπως, οστά, συκώτι και νεφρά. Ωστόσο, η συνηθισμένη περιστασιακή κατανάλωση ειδών μανιταριών που περιέχουν τοξικά στοιχεία, ακόμη και σε μεγαλύτερες ποσότητες, δεν δείχνει να φέρει κάποιο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Mieczek et al., 2013).

Μια αναφορά υποστηρίζει ότι η δηλητηρίαση από μανιτάρια ή μυκητίαση οφείλεται στην πρόσληψη των τοξινών που υπάρχουν στα μανιτάρια. Από όλα τα είδη μανιταριών που υπάρχουν, λίγα είναι αυτά που καταναλώνονται διότι, τα περισσότερα από αυτά παράγουν τοξίνες. Πιο αναλυτικά, στο άρθρο περιγράφεται ένα περιστατικό όπου κάποιοι άνθρωποι εμφάνισαν πρώιμη έναρξη του μουσκαρινικού συνδρόμου μετά από κατανάλωση μανιταριών. Η δηλητηρίαση, προκλήθηκε από το είδος των μανιταριών *Clitocybe* που καταναλώθηκαν, τα οποία έχουν κωνική μορφή και αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο σε ξύλινα υποστρώματα την εποχή των βροχοπτώσεων. Η μουσκαρίνη, ορίζεται ως μια υδατοδιαλυτή τοξίνη, η οποία απομονώθηκε για πρώτη φορά από το είδος μανιταριού *Amanita muscaria*. Οι μουσκαρινικοί υποδοχείς ακετυλοχολίνης εντάσσονται στην ομάδα των υποδοχέων

που συνδέονται με τις πρωτεΐνες G και έχουν την δυνατότητα να συμμετέχουν ενεργά στις διάφορες μεγάλες αυτόνομες φυσιολογικές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Τα πιο συχνά συμπτώματα που παρουσιάζονται με την επίδραση των μουσκαρινικών υποδοχέων είναι εξάντληση, σιελόρροια, βραδυκαρδία, αφρισμός, υπόταση, δακρύρροια, θόλωση της όρασης, πτώσεις, βήχας, εφίδρωση, μυϊκές κράμπες, κοιλιακές κράμπες, έμετος και διάρροια. Επίσης έχουν καταγραφεί κάποια δυσάρεστα περιστατικά από δηλητηριάσεις που κατέληξαν σε θάνατο από μουσκαρινικά μανιτάρια που οφείλονται στα δύο είδη *Clitocybe* και *Inocybe*. Οι τοξικότητες, τις περισσότερες φορές συμβαίνουν εξαιτίας της τυχαίας κατανάλωσης τοξικών μανιταριών, λόγω λανθασμένης ταυτότητας. Κάποια ακόμη τοξικά σύνδρομα από μανιτάρια, τα οποία προκαλούν δηλητηρίαση είναι το σύνδρομο phalloides, το σύνδρομο muscarin, το σύνδρομο pantherina, το σύνδρομο psilocybin, το σύνδρομο orellanus, το γαστρεντερικό σύνδρομο, το σύνδρομο gyromitra, το σύνδρομο raxillus και το σύνδρομο coprine. Η μουσκαρινική τοξικότητα μανιταριών, παρουσιάζεται με πρόωμη έναρξη των συμπτωμάτων και ανταποκρίνεται καλά στην ατροπίνη και στη συμπτωματική υποστηρικτική φροντίδα (George and Hegde, 2013).

2.4 Μανιτάρι πλευρώτους



Εικόνα 2.3 : Μανιτάρι P. Ostreatus

Το μανιτάρι του γένους πλευρώτους (*Pleurotus*) είναι μακρομύκητας, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των Βασιδιομυκήτων (Τσιτσέλα, 2017). Το μανιτάρι *Pleurotus* είναι ευρέως γνωστό ως "οστρεωειδές μανιτάρι" (oyster mushroom) διότι η μορφή του κύριου είδους *P. ostreatus* μοιάζει με αυτή των στρειδιών (εικόνα 2.2). Το *P. ostreatus* ονομάζεται και "hiratake", "shimeji" ή "houbitake" (Sánchez, 2010). Στον παρακάτω πίνακα 2.3 δίνεται η σειρά ταξινόμησης των μανιταριών *Pleurotus ostreatus* (Mahari et al., 2020).

Πίνακας 2.3 : Επιστημονική ταξινόμηση του μανιταριού *Pleurotus ostreatus* (Mahari et al., 2020).

Ταξινόμηση του μανιταριού <i>Pleurotus ostreatus</i>	
Βασίλειο	Μυκήτων
Συνομοταξία	Basidiomucota
Ομοταξία	Agaricomycetes
Τάξη	Agaricales
Οικογένεια	Pleurotaceae
Γένος	<i>Pleurotus</i>
Είδος	<i>P. Ostreatus</i>

Το γένος *Pleurotus* αποτελείται από περίπου σαράντα διαφορετικά είδη μυκήτων και όλα τα είδη είναι βρώσιμα και εμπορικά διαθέσιμα (Valverde et al., 2015). Εμφανίζονται τόσο στα εύκρατα όσο και στα τροπικά κλίματα (Τσιτσέλα, 2017). Πέρα από την υψηλή διατροφική τους αξία, χαρακτηρίζονται και από τις σπουδαίες φαρμακευτικές ιδιότητές τους, οι οποίες ευνοούν την ανθρώπινη υγεία (Valverde et al., 2015). Το *Pleurotus ostreatus* αποτελεί το δεύτερο κατά σειρά, πιο καλλιεργούμενο μανιτάρι σε παγκόσμιο επίπεδο μετά το μανιτάρι *Agaricus bisporus*. Το γένος αυτό έχει μελετηθεί εντατικά και καλλιεργείται σε πολλά διαφορετικά μέρη του κόσμου. Ένα από τα θετικά χαρακτηριστικά του *P. Ostreatus* σε σχέση με άλλα βρώσιμα μανιτάρια είναι ότι αναπτύσσεται σε μικρότερη χρονική διάρκεια. Επίσης, η διεργασία της

καλλιέργειάς τους είναι πιο οικονομική, διότι το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται δεν χρειάζεται αποστείρωση, παρά μόνο παστερίωση, η οποία καταναλώνει λιγότερη ενέργεια. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του *P. Ostreatus*, είναι ότι τα καρποφόρα σώματά του, δεν απειλούνται ιδιαίτερα συχνά από παράσιτα και ασθένειες και έτσι οι απαραίτητοι περιβαλλοντικοί έλεγχοι είναι αρκετά περιορισμένοι (Sánchez, 2010).

Τα μανιτάρια του γένους *Pleurotus*, επειδή χαρακτηρίζονται για τις φαρμακολογικές και διατροφικές τους ιδιότητες, έχουν μεγάλη ζήτηση και ως φαρμακευτικά προϊόντα, εδώ και πολλά χρόνια. Κάποιες από αυτές τις ουσίες είναι οι φαινολικές ενώσεις με αντιοξειδωτικές δράσεις, οι λεκτίνες με ανοσορυθμιστικές, αντιπολλαπλασιαστικές και αντικαρκινικές δράσεις και οι πολυσακχαρίτες με ανοσοενισχυτικές και αντικαρκινικές δράσεις. Στα μανιτάρια αυτά έχουν εντοπιστεί και ορισμένες ακόμη δραστηριότητες όπως, αντιυικές, αιματολογικές, αντιβακτηριακές και υποχοληστερινικές (Valverde et al., 2015).

2.5 Καλλιέργεια μανιταριών

Η καλλιέργεια των μανιταριών αποτελείται από πολλές διεργασίες, αρκετά απαιτητικές. Πιο συγκεκριμένα, οι διεργασίες αυτές είναι η προετοιμασία του υποστρώματος, ο εμβολιασμός, η επώαση και οι συνθήκες που επικρατούν κατά την παραγωγή, οι οποίες εξαρτώνται από το είδος του μανιταριού που χρησιμοποιείται για καλλιέργεια. Η κάθε μια ξεχωριστά, πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή και να τηρούνται με ακρίβεια τα βήματα. Στο πρώτο στάδιο της καλλιέργειας γίνεται η λήψη καθαρού δείγματος μυκηλίου από επιλεγμένο στέλεχος μανιταριού. Η λήψη του μυκηλίου μπορεί να υλοποιηθεί, είτε από σπόρια, είτε από ένα κομμάτι του μανιταριού που έχει επιλεχθεί, είτε από κάποια πηγή βλαστικού υλικού. Για να πραγματοποιηθεί η λήψη του εμβολίου, το μυκήλιο αναπτύσσεται μέσα σε σπόρους δημητριακών, όπως σιτάρι, σίκαλη ή κεχρί, το οποίο συνήθως ονομάζεται "γόνος". Οι επικαλυμμένοι με μυκήλιο κόκκοι έχουν ως βασικό στόχο, να αποικίσουν ταχέως το συγκεκριμένο υπόστρωμα μαζικής καλλιέργειας. Η παραγωγή και η συγκομιδή των μανιταριών για να είναι πετυχημένη, θα πρέπει να δίνεται βάση σε μεγάλο βαθμό στην ποιότητα του "γόνου". Για να μειωθούν οι πιθανότητες μόλυνσης του υποστρώματος, θεωρείται απαραίτητο ο "γόνος" να παρασκευάζεται σε συνθήκες αποστείρωσης (Sánchez, 2010).

Επίσης, κρίνεται απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η φύση από το υπόστρωμα του γόνου, διότι είναι γνώριμο ότι αυτό έχει σημαντική επιρροή στην ταχύτητα με την οποία αναπτύσσεται ο σπόρος του γόνου καθώς και στον ρυθμό της ανάπτυξης του μυκηλίου και της πλήρωσης των στρωμάτων μετά τον εμβολιασμό. Ωστόσο, ένα υπόστρωμα που είναι αποστειρωμένο, το οποίο έχει απαλλαχθεί από όλο το πλήθος των ανταγωνιστικών μικροοργανισμών, θεωρείται ότι είναι ένα ιδανικό μέσο για την καλλιέργεια βρώσιμων μανιταριών. Τα συστήματα όμως αυτά που έχουν υψηλές και αυστηρές απαιτήσεις ως προς τις μεθόδους υγιεινής, είναι ιδιαίτερα δαπανηρά και όχι τόσο πρακτικά. Η συνήθης διαδικασία που εφαρμόζεται στα υποστρώματα για την καλλιέργεια βρώσιμων μανιταριών είναι μια σειρά από διάφορες προεπεξεργασίες με σκοπό να επιτευχθεί η ανάπτυξη του μυκηλίου ώστε να αποκλειστούν πρακτικά άλλοι μικροοργανισμοί. Το υπόστρωμα, κρίνεται ότι είναι το κατάλληλο όταν είναι πλούσιο σε βασικά θρεπτικά συστατικά σε μορφές που είναι εύκολα διαθέσιμες για το μανιτάρι. Ακόμη, είναι σκόπιμο να μην περιλαμβάνει τοξικές ουσίες, διότι έχουν την ικανότητα να αναστέλλουν την πορεία ανάπτυξης του γόνου. Ορισμένοι φυσικοί παράγοντες, που δεν πρέπει να περάσουν απαρατήρητοι διότι είναι αρκετά σημαντικοί, είναι το pH, η περιεκτικότητα της υγρασίας και η καλή ανταλλαγή αερίων μεταξύ του υποστρώματος και του περιβάλλοντος. Τέλος, η συγκομιδή πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια ωρίμανσης ανάλογα με το είδος, τις προτιμήσεις των καταναλωτών και την αγοραστική αξία (Chang, 2008).

Ο γόνος για την καλλιέργεια του *P. ostreatus* έχει παρασκευαστεί με διάφορους τρόπους: πάνω σε σπόρους, όπως σιτάρι, σόργο και ρύζι και σε σπόρους αναμειγμένους με άχυρο σιτηρών (Sánchez, 2010).

2.6 Καλλιέργεια μανιταριών πλευρώτους

Η ανάπτυξη και η απόδοση της καλλιέργειας μανιταριών πλευρώτους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Κάποιοι από τους βασικότερους, είναι ο τύπος του υποστρώματος, το pH, η θερμοκρασία, η υγρασία και το φως (Mahari et al., 2020).

- Ο τύπος του υποστρώματος** έχει κυρίαρχο ρόλο στην καλλιέργεια των μανιταριών πλευρώτους, διότι τα ανόργανα και οργανικά διαλυτά στερεά συστατικά που βρίσκονται σε αυτό, θα προσληφθούν από τα μανιτάρια ως θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη και την εξέλιξη των καρποφόρων σωμάτων. Το ιδανικό υπόστρωμα, είναι σημαντικό να περιέχει το κατάλληλο ποσοστό σε άζωτο και υδατάνθρακες, ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη των μανιταριών. Τα μανιτάρια πλευρώτους έχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης σε πολλούς διαφορετικούς τύπους υποστρώματος, σε αντίθεση με άλλα είδη μανιταριών. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται κατά κύρια βάση για την καλλιέργεια μανιταριών, αποτελείται από υλικά πλούσια σε λιγνοκυτταρίνη. Τα λιγνοκυτταρινούχα υλικά, έχουν υψηλές δυνατότητες ως υπόστρωμα καλλιέργειας μανιταριών αλλά αυτό δεν είναι αρκετό για την απόδοση και την ανάπτυξη των μανιταριών πλευρώτους. Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την κατάλληλη επιλογή ενός υποστρώματος είναι η θρεπτική αξία του υποστρώματος. Ένα υπόστρωμα που είναι πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες, υποστηρίζει και ενισχύει τη διαδικασία του αποικισμού σε αντίθεση με το υπόστρωμα που έχει λιγότερες θρεπτικές ουσίες. Ακόμα, το υπόστρωμα που είναι χαμηλής θρεπτικής αξίας, οδηγεί σε χαμηλές πυκνότητες μυκηλίων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μόλυνση από την εμφάνιση πράσινης μούχλας.
- Το pH** είναι ένας παράγοντας, που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον αποικισμό του υποστρώματος μυκηλίου και την ανάπτυξη των μανιταριών. Για την ανάπτυξη των μυκηλίων, οι βέλτιστες τιμές pH είναι μεταξύ 5-6,5, ενώ για την καρποφορία οι βέλτιστες τιμές pH είναι μεταξύ 6,5-7. Όταν το υπόστρωμα έχει τιμές pH κάτω από 5, οι μύκητες επιβραδύνουν την ανάπτυξή τους και όταν οι τιμές είναι κάτω από 4 η ανάπτυξή τους σταματά. Βέβαια, όταν η τιμή του pH είναι υψηλότερη από τη βέλτιστη τιμή, τα μυκήλια έχουν πιο γρήγορη ανάπτυξη και διαμορφώνονται με μια ασυνήθιστη δομή. Γενικότερα, έχει αποδειχθεί ότι το ουδέτερο pH είναι το καλύτερο για την ανάπτυξη μανιταριών πλευρώτους. Τα μυκήλια ή τα μανιτάρια όμως, κάνουν καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών του υποστρώματος στις βέλτιστες τιμές pH.
- Η περιεκτικότητα σε υγρασία** του υποστρώματος των μανιταριών κρίνεται ότι είναι ιδανική σε ποσοστό ανάμεσα από 65 έως 80% για την ανάπτυξη μανιταριών πλευρώτους. Με την εφαρμογή της κατάλληλης υγρασίας, δίνεται

η δυνατότητα στα καρποφόρα σώματα να προσλάβουν τις θρεπτικές ουσίες, οι οποίες μεταφέρονται με σταθερό ρυθμό από τα μυκήλια. Σε διαφορετικά ποσοστά περιεκτικότητας υγρασίας, παρατηρούνται αρνητικές συνέπειες στο μανιτάρι. Δηλαδή, εάν το υπόστρωμα έχει πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, θα προκαλέσει θάνατο στο καρποφόρο σώμα. Ενώ, εάν έχει υψηλά ποσοστά υγρασίας τα μυκήλια του υποστρώματος θα μπλοκάρουν και έτσι η διαδικασία εφίδρωσης θα ανασταλεί, με αποτέλεσμα τη διακοπή της ανάπτυξης του μανιταριού.

- Η **θερμοκρασία** είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην καλλιέργεια των μανιταριών. Τα μανιτάρια πλευρώτους παρουσιάζουν καλή ανάπτυξη στο εύρος των θερμοκρασιών 15 έως 30 °C, με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης των μυκηλίων, τους 25 °C. Στα μανιτάρια που καλλιεργούνται σε πιο χαμηλό εύρος θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, παρατηρείται μείωση της ανάπτυξής τους, με τη δημιουργία μανιταριών μικρότερου ανεπιθύμητου μεγέθους (μικρά καπάκια, κοντά κοτσάνια). Από την άλλη πλευρά, οι πιο υψηλές θερμοκρασίες έχουν την ικανότητα ανάπτυξης μικροοργανισμών στο υπόστρωμα των μανιταριών .
- Το **φως** είναι ο παράγοντας που έχει ουσιαστικό ρόλο σε ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των μανιταριών, το χρώμα, κατά το στάδιο ανάπτυξης της καρποφορίας. Τα μανιτάρια πλευρώτους που καλλιεργούνται στο σκοτάδι, παράγουν κυρίως στύλους και όχι καπάκια, ενώ κατά την έκθεσή τους σε υπερβολικό φως, τα μανιτάρια που σχηματίζονται έχουν σκούρο χρώμα και κοντό μέγεθος.

2.7 Παράγοντες υποβάθμισης της ποιότητας και της διάρκειας ζωής των μανιταριών

Τα βρώσιμα μανιτάρια, είναι ένα προϊόν με εξαιρετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες, παρ' όλ' αυτά είναι ιδιαίτερα ευπαθή και διατηρούνται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μόνο για 1 έως και 3 ημέρες (Han Lyn et al., 2020). Μετά τη συγκομιδή, τα νωπά φρούτα και λαχανικά δεν σταματούν να χάνουν νερό και επειδή δεν μπορούν να το προσλάβουν πίσω από το έδαφος, όπως τα αναπτυσσόμενα φυτά, έχουν ανάγκη να

καταναλώσουν το ήδη υπάρχον (Mahajan et al., 2008). Αυτή η λειτουργία τους, έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας και την ελάττωση της διάρκειας ζωής τους (Azevedo et al., 2017). Ένα από τα κύρια προβλήματα είναι η απώλεια νερού των νωπών προϊόντων, η οποία επιφέρει συρρίκνωση και απώλεια βάρους. Όταν η μείωση του βάρους του νωπού τροφίμου φτάνει το 5-10% μετά τη συγκομιδή του, τότε αυτό αρχίζει να δίνει σημάδια απώλειας φρεσκάδας, μαλασμού και έπειτα καθίσταται μη κατάλληλο για χρήση (Mahajan et al., 2008). Η αναπνοή και η διαπνοή θεωρούνται οι κύριοι φυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά των μανιταριών μετά τη συγκομιδή, όπως η εμφάνιση, η υφή και το βάρος προς πώληση. Τα μανιτάρια, αμέσως μετά τη συγκομιδή τους, μέσω της διαδικασίας της διαπνοής, απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα του περιβάλλοντος υδρατμούς, ενώ μέσω της διαδικασίας αναπνοής χρησιμοποιούν αποθέματα οργανικών υλικών και απελευθερώνουν επίσης υδρατμούς (Azevedo et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα, τα φρέσκα μανιτάρια αναπνέουν/προσλαμβάνουν περίπου 90% νερό και αποδίδουν μεγάλες ποσότητες υδρατμών. Οι υδρατμοί έχουν την ικανότητα να συσσωρεύονται μέσα στη συσκευασία αποθήκευσης μανιταριών, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη βακτηρίων αλλοίωσης (*Pseudomonas tolaasii*). Τα βακτήρια αυτά επιφέρουν στο μανιτάρι, το γνώριμο καφέ χρώμα και τις κηλίδες (Mahajan et al., 2008). Σε μια πειραματική μελέτη φρέσκων μανιταριών του γένους *Pleurotus* παρατηρήθηκε ότι, όντως ο παράγοντας του ρυθμού διαπνοής, οδηγεί σε ποσοτικές και ποιοτικές απώλειες. Τα αποτελέσματα, έδειξαν γραμμική μείωση της μάζας των μανιταριών σε συνάρτηση με το χρόνο, για όλες τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που εφαρμόστηκαν στο πείραμα, κατά την αποθήκευσή τους. Οι χαμηλές θερμοκρασίες και η υψηλή υγρασία κατέγραψαν μείωση του ρυθμού απώλειας μάζας με την πάροδο του χρόνου αποθήκευσης (Azevedo et al., 2017).

Εκτός από τον παράγοντα της απώλειας νερού, το χρώμα των μανιταριών μετά τη συγκομιδή παρουσιάζει τάση μαυρίσματος και λόγω των ενζυμικών δραστηριοτήτων, κυρίως από το ένζυμο τυροσινάση. Η τυροσινάση, είναι μια πρωτεΐνη χαλκού τύπου 3, η οποία ευθύνεται για την παραγωγή χρωστικών μελανίνης. Επομένως, η μελανίνη είναι αυτή η χρωστική από την οποία προκαλείται το καφέ χρώμα των μανιταριών (Han Lyn et al., 2020).


Η ποιότητα των μανιταριών εξαρτάται επίσης από τη λευκότητα και την υφή. Τα φρέσκα μανιτάρια, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, η ενεργότητα νερού είναι


0,98 ή και υψηλότερη και το pH τους ουδέτερο. Αυτά τα χαρακτηριστικά, καθιστούν τα νωπάμανιτάρια ένα ιδανικό μέσο για μικροβιακή ανάπτυξη. Το γένος αυτοφυών *Pseudomonas* spp., είναι αυτό που επικρατεί περισσότερο στα μανιτάρια και προκαλεί τις μικροβιακές αλλοιώσεις. Αν το ποσοστό βακτηριακών πληθυσμών στα φρέσκα μανιτάρια είναι υψηλό, τότε παρατηρείται σημαντική υποβάθμιση της ποιότητας, σχηματίζοντας καστανό χρώμα και κηλιδωτή εμφάνιση. Ο ρυθμός της ποιοτικής υποβάθμισης των νωπών μανιταριών, έχει άμεση σχέση με το αρχικό μικροβιακό φορτίο. Το μικροβιακό φορτίο σε συνδυασμό με την απώλεια νερού μετά τη συγκομιδή των μανιταριών, μειώνουν τη διάρκεια ζωής τους σε πολύ λίγες μέρες (Venturini et al., 2011).


Επομένως, για τη διατήρηση της ποιότητας, την παράταση της διάρκειας ζωής και τη μείωση της απώλειας των θρεπτικών συστατικών των φρέσκων μανιταριών, απαιτούνται κατάλληλες μέθοδοι συντήρησης, επεξεργασίας ή/και συσκευασίας.


2.8 Βασικές μέθοδοι συντήρησης και επέκτασης της διάρκειας ζωής των μανιταριών

Οι κύριοι παράγοντες που αλλοιώνουν τα φρέσκα μανιτάρια, υποβαθμίζοντας την ποιότητα τους και τη διάρκεια ζωής τους είναι, η ενεργότητα νερού, η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία, ο ρυθμός αναπνοής και η μικροβιακή δράση. Οι αλλοιώσεις που επιφέρουν είναι, απώλεια νερού, ενζυμική αμαύρωση, μεταβολές στην υφή και απώλεια θρεπτικών συστατικών. Για την αντιμετώπισή τους, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι συντήρησης. Παρακάτω αναλύεται η εφαρμογή των πιο βασικών και διαδεδομένων.


 Μια ασφαλής και οικονομική μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων, είναι η εμφύσηση των τροφίμων σε **διάλυμα κιτρικού οξέος**. Η κατάλληλη συγκέντρωση του κιτρικού οξέος προσδιορίζεται με βάση τις ανάγκες του τροφίμου, ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός στόχος. Το κιτρικό οξύ, έχει αντιμικροβιακές δράσεις διότι το pH του είναι χαμηλό και δεν ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Επίσης, το κιτρικό οξύ έχει την ικανότητα να εμποδίζει τις ενζυμικές αντιδράσεις, οι οποίες προκαλούν αμαύρωση (Brennan and Gormley, 1998).

 Η **συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP, Modified Atmosphere Packaging)** είναι μια μέθοδος που έχει την ικανότητα να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των φρέσκων προϊόντων και να διατηρεί το χρώμα τους μειώνοντας το ρυθμό αναπνοής. Παρ' όλ' αυτά, με αυτήν την τεχνική, συσσωρεύεται νερό στην επιφάνεια του προϊόντος και έτσι ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εμφάνιση γλοιώδους υφής. Αυτό παίζει σημαντικό ρόλο για ταμανιτάρια διότι έχουν υψηλό ρυθμό αναπνοής. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο να γίνει προσεκτική ανάλυση για τη μέτρηση και τη μοντελοποίηση του ρυθμού απώλειας νερού τωνμανιταριών σε συνθήκες τροποποιημένης ατμόσφαιρας και να συμπεριληφθεί το στοιχείο αυτό στο σχεδιασμό της μηχανικής συσκευασίας σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (Singh et al., 2010).

 Μια ακόμη μέθοδος είναι η **χρήση επικαλυπτόμενων ημι-διαπερατών μεμβρανών**, η οποία παρατείνει την ωρίμανση και μεγαλώνει τη διάρκεια ζωής των τροφίμων. Η επιλογή της κατάλληλης επικάλυψης εξαρτάται από την εναρμόνιση των διαλυμάτων επικάλυψης στη δομή του αντικειμένου που επικαλύπτεται, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους του ιξώδους, του πορώδους, της επιφανειακής τάσης, της τραχύτητας και της ικανότητας διαβροχής, μεταξύ πολλών άλλων. Οι μεμβράνες αλγινικού άλατος και αλγινικού ασβεστίου έχουν προταθεί ως υλικά επικάλυψης γιαμανιτάρια. Από έρευνα σημειώθηκε ότι τα επικαλυμμέναμανιτάρια είχαν καλύτερο χρώμα, καλύτερη εμφάνιση και πλεονέκτημα βάρους σε σύγκριση με τα μη επικαλυμμένα. Ο συνδυασμός επικάλυψης αλγινικού οξέος-εργοστερόλης-τουΐνης ήταν ο καταλληλότερος για τη διατήρηση του μεγέθους και του σχήματος των επικαλυμμένωνμανιταριών. Η ικανότητα αυτής της μεθόδου επικάλυψης να παρατείνει επαρκώς τη διάρκεια ζωής τωνμανιταριών, καθώς και οι επιδράσεις της ίδιας της επικάλυψης, διερευνήθηκαν και διαπιστώθηκε ότι έχουν υψηλότερες τιμές L(lightness). Αυτό σημαίνει ότι τα επικαλυμμέναμανιτάρια παρουσιάζουν πιο ανοιχτό χρώμα και καλύτερη εμφάνιση από ταμανιτάρια χωρίς επικάλυψη, με μειωμένο ρυθμό εξάτμισης του νερού και διατήρηση της ακεραιότητας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Singh et al., 2010).

 Η αποθήκευση σε συνθήκες **ψύξης (1°C)**, έδειξε ότι επηρεάζει τη λευκότητα τωνμανιταριών. Ο βαθμός λευκότητας έχει οριστεί ως ένας από τους βασικότερους παράγοντες ποιότητας των φρέσκωνμανιταριών. Σε μια

πειραματική μελέτη ψυχρής αποθήκευσής τους σε θερμοκρασία 1°C παρατηρήθηκε ότι, ο χρόνος αποθήκευσης των μανιταριών στο ψυγείο μετά τη συλλογή τους, αλλά και ο χρόνος εκτός ψυγείου, είχαν επίπτωση στη λευκότητά τους. Σε μια δεδομένη περίοδο ημερών, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της ψύξης, τόσο διατηρείται αυτό το επιθυμητό λευκό χρώμα των φρέσκων μανιταριών. Επίσης τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η ψύξη σε θερμοκρασία 5°C μειώνει σε μεγάλο βαθμό τη δραστηριότητα των βακτηρίων, η οποία έχει κι εκείνη επίδραση στη λευκότητα των αποθηκευμένων μανιταριών σε διάτρητες συσκευασίες ατμόσφαιρας περιβάλλοντος (Singh et al., 2010).

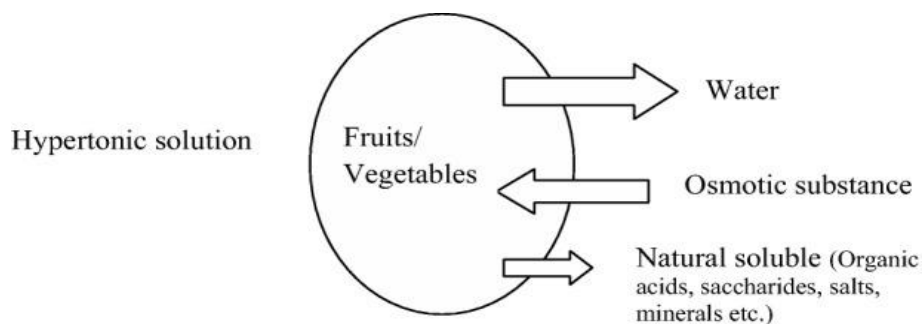
 Η ψύξη υπό κενό είναι ακόμη μια μέθοδος συντήρησης. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται ως μια τεχνική ταχείας ψύξης, η οποία χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα για την ψύξη ορισμένων γεωργικών προϊόντων και τροφίμων. Πραγματοποιείται με την εξάτμιση της υγρασίας από το προϊόν. Η εξάτμιση ευνοείται και αποδίδει σε μεγαλύτερο βαθμό με τη μείωση της πίεσης στο σημείο όπου λαμβάνει χώρα βρασμός του νερού σε χαμηλή θερμοκρασία. Η μέθοδος ψύξης υπό κενό, είναι ταχεία και τα μανιτάρια ψύχονται ομοιόμορφα. Παρ' όλ' αυτά η χρήση της έχει υψηλό κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας (Singh et al., 2010).

Υπάρχουν κι άλλοι μέθοδοι συντήρησης των μανιταριών. Μια ακόμη βασική θερμική μέθοδος είναι η αφυδάτωση σε ρεύμα αέρα, υπό κενό, σε μικροκύματα και η λυοφιλίωση (freeze drying). Επίσης, εφαρμόζονται κι άλλες χημικές μέθοδοι. Εκτός από τη χρήση διαλύματος κιτρικού οξέος, γίνεται και χρήση διαλυμάτων υπεροξειδίου του υδρογόνου ή διαλυμάτων με θειώδη (Zhang et al., 2018). Τέλος, μια τεχνική που δεν πρέπει να παραλειφθεί είναι η χρήση αναστολέων της τυροσινάσης, για τον περιορισμό της ενζυμικής αμαύρωσης όπως π.χ. του ασκορβικού οξέος, του 3-(2,4-dihydroxyphenyl propionic acid), (DPP acid) και κυστεΐνης (Singh et al., 2010).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

3.1 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι ένας μηχανισμός όπου το στερεό και το υγρό έρχονται σε επαφή για τη μερική αφυδάτωση των ιστών των τροφίμων, με ταυτόχρονη πρόσληψη διαλυμένης ουσίας από το διάλυμα στο προϊόν, έως ότου επέλθει ισορροπία μεταξύ τους (Estévez-Sánchez et al., 2019). Ο μηχανισμός αυτός πραγματοποιείται με την εμβάπτιση του τροφίμου σε ένα υπερτονικό (ωσμωτικό) διάλυμα αλάτων ή σακχάρων ή μίγματος αυτών (multicomponent). Η κινητήρια δύναμη για τη διάχυση του νερού από τον ιστό του τροφίμου στο διάλυμα παρέχεται από την υψηλότερη ωσμωτική πίεση του υπερτονικού διαλύματος. Η σχετική ωσμωτική πίεση έχει ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση των κυττάρων (Rastogi et al., 2002). Η μεταφορά μάζας που παρατηρείται μεταξύ του τροφίμου και του διαλύματος, είναι ένα φαινόμενο αξιωσημείωτο, το οποίο λαμβάνει χώρα με τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι η διάχυση νερού από το προϊόν προς το υπερτονικό διάλυμα, με πιο γρήγορο ρυθμό στην αρχή και έπειτα πιο αργό (Ramya and Jain, 2016). Κατά την απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα, το μέτωπο αφυδάτωσης κινείται από την επιφάνεια που βρίσκεται σε επαφή με το ωσμωτικό διάλυμα προς το κέντρο (Rastogi et al., 2002). Τα κύτταρα στο πρώτο στρώμα του προϊόντος αρχίζουν να χάνουν νερό και στην πορεία να συρρικνώνονται. Ο δεύτερος μηχανισμός αφορά στη μεταφορά διαλυτών στερεών συστατικών από το διάλυμα προς τον ιστό του τροφίμου, όπου στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν οι δράσεις ποιοτικής υποβάθμισης των νωπών τροφίμων. Η τρίτη και λιγότερο έντονη μορφή της μεταφοράς μάζας είναι η διαρροή των διαλυμένων ουσιών των προϊόντων όπως οργανικά οξέα, σάκχαρα, ανόργανα άλατα, βιταμίνες κ.λπ., η οποία παίζει ρόλο στη σύσταση του τελικού προϊόντος. Το φαινόμενο αυτό και το φαινόμενο της συρρίκνωσης των ιστών έχουν δράση από την επιφάνεια προς το κέντρο του τροφίμου σε συνάρτηση με το χρόνο. Μια αναπαράσταση της μεταφοράς μάζας δίνεται στο σχήμα της εικόνας 1 (Ramya and Jain, 2016).



Εικόνα 1: Μεταφορά μάζας σε φρούτα ή λαχανικά κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Ramya and Jain, 2016).

Η ωσμωτική αφυδάτωση λοιπόν, εκτός του ότι προκαλεί στο τρόφιμο μειωμένη ενεργότητα νερού όπως και η απλή αφυδάτωση, το ενισχύει στοχευμένα και με κατάλληλα συστατικά με στόχο τη συντήρηση και βελτίωση των οργανοληπτικών του χαρακτηριστικών. Η κατεργασία αυτή κυρίως χρησιμοποιείται ως προεπεξεργασία σε πολλές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των διατροφικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων του τροφίμου χωρίς να αλλάζει η ακεραιότητά του (Torreggiani, 1993). Προηγείται γενικά διεργασιών συντήρησης, όπως η ψύξη, η κατάψυξη, η ξήρανση με κατάψυξη, η ξήρανση σε κενό ή η ξήρανση με αέρα (Rastogi et al., 2002). Είναι αποτελεσματική μέθοδος που μπορεί να λάβει χώρα ακόμα και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, έτσι ώστε η θερμική βλάβη στην υφή, το χρώμα και τη γεύση να ελαχιστοποιηθεί (Torreggiani, 1993). Μπορεί επίσης να συμβάλει στη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών στο τελικό προϊόν, προκαλώντας σημαντικές, συχνά επιθυμητές αλλαγές στα τρόφιμα. Από την άλλη, μια από τις πιο εμφανείς και σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις της διεργασίας αυτής είναι η συρρίκνωση του προϊόντος (Estévez-Sánchez et al., 2019).

3.2 Παράμετροι που σχετίζονται με την επεξεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική διεργασία επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι ο τύπος ωσμωτικού μέσου, η συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου, η

θερμοκρασία ωσμωτικού μέσου, ο χρόνος της εμφάνισης στο ωσμωτικό μέσο, η ανάδευση και τέλος η αναλογία προϊόντος - ωσμωτικού μέσου.

3.2.1 Τύπος ωσμωτικού μέσου

Ο τύπος ωσμωτικού μέσου καθορίζει το ρυθμό διάχυσης της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης και γι' αυτό το λόγο ο ρόλος του είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως ωσμωτικά μέσα για τα φρούτα είναι η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η φρουκτόζη, η γλυκερόλη, η σορβιτόλη, το σιρόπι αμύλου, το σιρόπι καλαμποκιού, το σιρόπι γλυκόζης και το μέλι. Για τα λαχανικά, το κρέας και τα ιχθυηρά χρησιμοποιείται κυρίως το χλωριούχο νάτριο (Ramya and Jain, 2016). Γενικότερα, τα ωσμωτικά μέσα με χαμηλό μοριακό βάρος διεισδύουν με μεγαλύτερη ευκολία και σε λιγότερο χρόνο στο εσωτερικό των κυττάρων των φρούτων και των λαχανικών συγκριτικά με τα ωσμωτικά μέσα με υψηλό μοριακό βάρος (Tortoe, 2010). Σε μία μελέτη ωσμωτικής επεξεργασίας τριών φρούτων (μήλο, μπανάνα και ακτινίδιο) μετρήθηκε ο ρυθμός διάχυσης των διαλυμάτων γλυκόζης και σακχαρόζης (Panagiotou et al., 1999). Το συμπυκνωμένο διάλυμα γλυκόζης έδωσε χαμηλότερη ενεργότητα νερού και μεγαλύτερη πρόσληψη διαλυτών στερεών συστατικών σε σύγκριση με το συμπυκνωμένο διάλυμα σακχαρόζης στις ίδιες συνθήκες διεργασίας.

3.2.2 Συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου

Η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου είναι μια παράμετρος της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η οποία επηρεάζει τις οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου, τη διαλυτότητα του ωσμωτικού μέσου και τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης. Από μια έρευνα παρατηρήθηκε ότι τα μικτά διαλύματα ωσμωτικών μέσων σακχαρόζης και αλατιού σημείωσαν μεγαλύτερη μείωση της ενεργότητας νερού του τροφίμου σε σχέση με τα καθαρά διαλύματα σακχαρόζης ή αλατιού, παρόλο που οι ρυθμοί διάχυσης του νερού ήταν παρόμοιοι (Ramya and Jain, 2016). Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση της τομάτας σε διάλυμα νερού, σακχαρόζης και αλατιού παρατηρήθηκε αύξηση στην απώλεια νερού όταν αυξήθηκε η συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου, ενώ όταν αυξήθηκε το ποσοστό της σακχαρόζης άρχισε να

εμποδίζει τη διείσδυση του χλωριούχου νατρίου στην τομάτα (Yadav and Singh, 2014). Μια μελέτη, κατά την επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης κολοκύθας για την παραγωγή ζαχαρωμένων κολοκυθιών, έδειξε ότι η συγκέντρωση της σακχαρόζης είχε σημαντική επίδραση τόσο στη διάχυση του νερού όσο και στη διάχυση της ζάχαρης. Αξιοσημείωτη αύξηση της διάχυσης του νερού και μείωση της διάχυσης της σακχαρόζης παρατηρήθηκε όταν η συγκέντρωση του διαλύματος σακχαρόζης αυξήθηκε από 40° Brix σε 50 και 60° Brix. Από τους 50° στους 60° Brix, δεν σημειώθηκε κάποια μεταβολή στο φαινόμενο συντελεστή διαχυτότητας (Abraão et al., 2013). Μια ακόμη έρευνα για την επίδραση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση βερίκοκου, έδειξε ότι με την αύξηση της συγκέντρωσής του προκλήθηκε αυξημένη απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών, λόγω της επιτάχυνσης των ρυθμών μεταφοράς μάζας. Παρατηρείται επίσης, ότι αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης, αυξάνει την ωσμωτική πίεση με αποτέλεσμα να χρειάζεται λιγότερος χρόνος για να επιτευχθεί η επιθυμητή αφυδάτωση στο βερίκοκο. Παρόλο που αυτή η έρευνα πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας πέντε διαφορετικούς τύπους ωσμωτικών μέσων (σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη, μαλτοδεξτρίνη και σορβιτόλη) σε τέσσερις διαφορετικές συγκεντρώσεις (40%, 50%, 60% και 70%), όλοι οι τύποι διαλυμάτων παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα στο βερίκοκο καθώς αυξάνονταν η συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου (Ays e Ispir and Inci Türk To ğrul, 2009).

Γενικότερα, αυτό που προκύπτει από την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου, είναι ότι το τρόφιμο που βρίσκεται υπό επεξεργασία, δέχεται σε μεγαλύτερο ποσοστό αφυδάτωση. Επομένως, η μείωση της ενεργότητας νερού του τροφίμου αποτελεί πιο ουσιώδη μεταβολή, σε σύγκριση με την αύξηση πρόσληψης στερεών συστατικών.

3.2.3 Θερμοκρασία ωσμωτικού μέσου

Η θερμοκρασία είναι ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό της μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική επεξεργασία. Το φαινόμενο της διάχυσης είναι ευρέως γνωστό ότι είναι άμεσα συνυφασμένο με τη θερμοκρασία. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του ωσμωτικού διαλύματος παράλληλα αυξάνεται και ο

ρυθμός διάχυσής του. Είναι λοιπόν αναμενόμενο ότι με την ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου (σακχαρόζης) θα παρατηρηθεί στο προϊόν μείωση του βάρους, μείωση της ενεργότητας νερού και αύξηση της πρόσληψης των στερεών του (Narang and Pandey, 2013). Επίσης, αυτό που παρατηρείται από την αύξηση της θερμοκρασίας είναι ότι μειώνεται το ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος και η εξωτερική αντίσταση στο ρυθμό μεταφοράς μάζας στην επιφάνεια του προϊόντος. Υπό αυτές τις συνθήκες, διευκολύνονται η εκροή νερού από το τρόφιμο και η υψηλή διαχυτότητα της διαλυμένης ουσίας προς αυτό (Phisut, 2012). Η ίδια πειραματική μελέτη από τους Ays e İspir και İnci Türk To ğrul (2009) που γίνεται αναφορά και παραπάνω ασχολήθηκε και με την επίδραση της θερμοκρασίας στην ωσμωτική αφυδάτωση του βερίκοκου. Το πείραμα έγινε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (25°C, 35°C και 45°C) όπου το βερίκοκο εμβάπτιστηκε σε πέντε διαφορετικά υπερτονικά διαλύματα 70 °Brix (σακχαρόζης, γλυκόζης, φρουκτόζης, μαλτοδεξτρίνης και σορβιτόλης). Με την άνοδο της θερμοκρασίας και στα πέντε ωσμωτικά μέσα, το βερίκοκο είχε την ίδια εξέλιξη, δηλαδή αύξηση στην απώλεια νερού και στην πρόσληψη των στερεών συστατικών του. Θερμοκρασίες πιο ψηλές από τους 60°C, βοηθούν σε μεγάλο βαθμό την πρόσληψη των επιθυμητών στερεών συστατικών στο τρόφιμο. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 45°C, το τρόφιμο εμφανίζει σημάδια τα οποία υποβαθμίζουν την ποιότητα του, όπως ενζυμική αμαύρωση και επιδείνωση του αρώματος (Torreggiani, 1995).

3.2.4 Χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η παράμετρος του χρόνου της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι κι αυτή καθοριστική ως προς το αποτέλεσμα της επεξεργασίας. Κάτι που έχει σημειωθεί για πολλά φρούτα και λαχανικά (**μανιτάρια**, κολοκύθες, πατάτες, κρεμμύδια, ντομάτες, ροδάκινα, μάνγκο, παπάγιες και cranberries) είναι η ταχεία απομάκρυνση του νερού, στα αρχικά στάδια (συνήθως τις 2 με 3 πρώτες ώρες) της ώσμωσης με την άνοδο της θερμοκρασίας (Ramya and Jain, 2016). Στη συνέχεια της διεργασίας, ο ρυθμός πρόσληψης στερεών συστατικών αυξάνεται, αλλά είναι βραδύτερος. Αυτή η πρόσληψη σε ξηρή ύλη έχει τη δυνατότητα να φράξει τους πόρους του καρπού, οι οποίοι μπορεί να καθυστερήσουν τη διαδικασία ξήρανσης στον αέρα. Γενικά, η ισορροπία μεταξύ του τύπου του σακχάρου, της συγκέντρωσης και της διάρκειας εμβάπτισης είναι απαραίτητη

προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης (Saputra, 2001). Αν ο χρόνος εμβάπτισης παραταθεί κατά πολύ, ώστε οι τιμές απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών υπερβούν το επιθυμητό, το τρόφιμο θα αρχίσει να εμφανίζει αλλοιώσεις στα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά. Άρα, τα αρχικά στάδια της ωσμωτικής διεργασίας κρίνονται ως τα πιο σημαντικά, λόγω της δραματικής εξέλιξης που καταγράφουν στο ρυθμό μεταφορά μάζας (Ramya and Jain, 2016).

3.2.5 Ανάδευση του ωσμωτικού μέσου

Η ανάδευση του ωσμωτικού μέσου είναι ακόμη ένας παράγοντας, ο οποίος έχει σημαντική επίδραση στην απώλεια νερού, στην προσθήκη στερεών συστατικών αλλά και στο χρόνο που επιτυγχάνονται τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ένα επαρκές επίπεδο ανάδευσης, εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση ή την εξάλειψη της αντίστασης μεταφοράς μάζας από την πλευρά του υγρού και τη σταθερή κινητήρια δύναμη (Rastogi, et al. 2002). Σημαντικά προβλήματα θα προκληθούν, εάν γίνει χρήση διαλυμάτων ζάχαρης αρκετά συμπυκνωμένων με υψηλό ιξώδες, όπως η επίπλευση κομματιών του τροφίμου στην επιφάνεια του διαλύματος, η παρεμπόδιση της επαφής μεταξύ του υλικού του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος, επιφέροντας λοιπόν μείωση του ρυθμού μεταφοράς μάζας (Mavroudis et al., 1998). Κάτι τέτοιο δεν είναι σίγουρα επιθυμητό, επομένως η ανάδευση είναι μια μέθοδος «κλειδί» ώστε να ενισχυθεί η μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Έγινε μια μελέτη για την ωσμωτική αφυδάτωση του κάστανου σε διάλυμα γλυκερόλης με ανάδευση ή χωρίς κατά την ωσμωτική διεργασία. Τα δείγματα κάστανου σε διαλύματα με ανάδευση σημείωσαν στον επιθυμητό χρόνο, υψηλότερη απώλεια νερού και αύξηση στερεών, σε σύγκριση με την αντίστοιχη διεργασία χωρίς ανάδευση (Moreira et al., 2007). Ωστόσο, είναι πιθανό η ανάδευση να εμφανίσει δυσκολίες και να προκαλέσει βλάβη στο δείγμα (Ramya and Jain, 2016). Παρ' όλ' αυτά, η διαδικασία ανάδευσης αποτελεί έναν καλό εναλλακτικό τρόπο για την ενίσχυση των ρυθμών μεταφοράς μάζας, οδηγώντας στη μείωση του χρόνου επαφής δείγματος/ωσμωτικού μέσου για την επίτευξη καθορισμένης περιεκτικότητας υγρασίας στο δείγμα τροφίμου (Phisut, 2012).

3.2.6 Αναλογία προϊόντος - ωσμωτικού μέσου

Η αναλογία προϊόντος – ωσμωτικού μέσου είναι μια παράμετρος, η οποία έχει σημαντική επίδραση στη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Αυτό που επηρεάζεται κυρίως από την αναλογία αυτή, είναι η κινητήρια δύναμη του ωσμωτικού μέσου. Η αναλογία δείγματος προς διάλυμα πρέπει να επιλέγεται με σύνεση για κάθε είδος τροφίμου και τύπο ωσμωτικού μέσου, έτσι ώστε η κινητήρια δύναμη η οποία συμβάλει στην απομάκρυνση της υγρασίας να έχει ισχύ μέχρι το τέλος της διεργασίας (Ramya and Jain, 2016). Καθώς η αφυδάτωση εξελίσσεται, το ωσμωτικό διάλυμα γίνεται όλο και πιο αραιό και η κινητήρια δύναμη για περαιτέρω απελευθέρωση νερού μειώνεται. Μια πειραματική αναφορά ωσμωτικής αφυδάτωσης μπανάνας, έδειξε ότι με την αύξηση της αναλογίας φρούτου προς σιρόπι ζάχαρης (από 1:1 σε 1:4,5) έφερε ως αποτέλεσμα αύξηση στην απώλεια βάρους του προϊόντος (Rastogi, et al. 2002). Εντούτοις, μπορεί να γίνει χρήση και υψηλότερης αναλογίας (1:10 έως 1:60) με άμεσο στόχο να αποφευχθεί η ανεπιθύμητη αραίωση του ωσμωτικού μέσου λόγω της πρόσληψης νερού από το δείγμα και της απώλειας διαλυμένης στερεής ουσίας προς το δείγμα. Με τις μεγαλύτερες τιμές της αναλογίας λοιπόν, θα ευνοηθεί η κινητήρια δύναμη του ωσμωτικού μέσου και δε θα εμφανίσει μείωση κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Ramya and Jain, 2016).

3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια επεξεργασία, η οποία παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα και ελάχιστα μειονεκτήματα κατά την εφαρμογή της αλλά και μετά από αυτή. Γι' αυτό το λόγο καθίσταται μια ιδιαίτερα επιθυμητή μέθοδος στη βιομηχανία τροφίμων. Παρακάτω αναλύονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα της διεργασίας αλλά και ορισμένα μειονεκτήματά της.

- **Βελτίωση της ποιότητας του τροφίμου**

Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της ωσμωτικής αφυδάτωσης είναι η βελτίωση της ποιότητας του τροφίμου. Η αφυδάτωση των τροφίμων με εμβάπτιση σε ωσμωτικά υπερτονικά διαλύματα, πριν από τη διεργασία ξήρανσης με αέρα βελτιώνει την ποιότητα του τελικού προϊόντος, καθώς αποτρέπει το οξειδωτικό μαύρισμα ή/και την απώλεια πτητικών αρωματικών συστατικών και μειώνει την οξύτητα των φρούτων (Yetenayet and Hosahalli, 2010). Είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη μείωση της περιεκτικότητας σε νερό με ελάχιστη βλάβη στην ποιότητα των νωπών προϊόντων (γεύση και χρώμα). Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση ήπιας επεξεργασίας του προϊόντος σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες διεργασίας (30-50°C) για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Οι κυτταρικές μεμβράνες των νωπών τροφίμων, οι οποίες αποτελούν βασική προϋπόθεση για την ομαλή μεταφορά μάζας κατά την ώσμωση, δεν επηρεάζονται από αυτές τις θερμοκρασίες. Το προϊόν (με ζωική ή φυτική προέλευση), λόγω του ότι βρίσκεται σε συνεχή εμβάπτιση μέσα στο ωσμωτικό μέσο, δεν έρχεται σε επαφή με το οξυγόνο και έτσι δίνει το πλεονέκτημα να μην υπάρχει η ανάγκη για χρήση αντιοξειδωτικών (π.χ. διοξείδιο του θείου στην περίπτωση των φρούτων) για την προστασία από οξειδωτικό και ενζυμικό αποχρωματισμό. Ο αποχρωματισμός των φρούτων εξαιτίας της οξειδωτικής και της ενζυμικής αμαύρωσης εμποδίζεται επιπλέον και από την υψηλή συγκέντρωση ζάχαρης που τα περιβάλλει (Akbarian, et al. 2014). Η ωσμωτική αφυδάτωση των φρούτων και των λαχανικών τα καθιστά πολύ ελκυστικά για άμεση χρήση λόγω της χημικής τους σύνθεσης και των φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων (Tortoe, 2010). Ακόμη ένα πλεονέκτημα της αφυδάτωσης και της πρόσληψης διαλυτών στερεών συστατικών στα τρόφιμα είναι ότι προστατεύει τη δομή τους ώστε να μην εμφανίζονται σημάδια κατάρρευσης στις επόμενες διαδικασίες ξήρανσης. Η χρήση της ωσμωτικής μεθόδου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή πριν από την κατάψυξη για την παραγωγή διαφόρων ειδών φρούτων και λαχανικών διότι τους δίνεται το πλεονέκτημα της αποθήκευσης για μεγάλα χρονικά διαστήματα, χωρίς την αλλοίωση των οργανοληπτικών τους χαρακτηριστικών (υφή, χρώμα και γεύση) μετά την απόψυξη (Yetenayet and Hosahalli, 2010). Λόγω της μεγάλης οργανοληπτικής ομοιότητας μεταξύ του αφυδατωμένου και του φυσικού προϊόντος, έχει αποδειχθεί ότι είναι μια κατάλληλη μέθοδος για τη λήψη ελάχιστα επεξεργασμένων τροφίμων με βελτίωση στην ποιότητα τους και μεγάλη διάρκεια ζωής (Akbarian, et al. 2014).

➤ Εξοικονόμηση ενέργειας

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια μέθοδος επεξεργασίας, η οποία καταναλώνει ενέργεια χαμηλής απόδοσης κατά την εφαρμογή της, σε σχέση με άλλες διεργασίες που απαιτούν αρκετά υψηλή ενέργεια όπως, ξήρανση με αέρα ή κενό (Tortoe, 2010). Αυτό το στάδιο της αφυδάτωσης όμως, δεν επαρκεί διότι παράγει προϊόν με σχετικά υψηλή ενεργότητα νερού, μικρή διάρκεια ζωής και αστάθεια. Η τεχνική αυτή, θα πρέπει να συμπληρώνεται με άλλες μεθόδους αφαίρεσης υγρασίας ώστε να προκύψει το επιθυμητό σταθερό προϊόν, όπως ξήρανση με συναγωγή, κατάψυξη, μικροκύματα ή ξήρανση υπό κενό. Ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης με αυτές τις απαιτητικές σε ενέργεια τεχνολογίες αφαίρεσης υγρασίας, είναι ο καλύτερος τρόπος για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, του κόστους παραγωγής, την αύξηση της απόδοσης και τη βελτίωση της ποιότητας. Τα πλεονεκτήματα αυτά προκύπτουν διότι, κατά την επεξεργασία της ώσμωσης, η απομάκρυνση του νερού από το τρόφιμο πραγματοποιείται με φυσική διαδικασία διάχυσης και όχι εξάτμισης, το οποίο σημαίνει ότι η διεργασία απαιτεί ελάχιστη ή καθόλου εξωτερική παροχή ενέργειας (Akbarian, et al. 2014). Μια έρευνα για την κατανάλωση ενέργειας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση στους 40°C με επανασυγκέντρωση του σιροπιού με εξάτμιση, ήταν τουλάχιστον δύο φορές χαμηλότερη από την ξήρανση με αέρα στους 70°C (Lenart and Lewicki, 1988). Μια ακόμη μελέτη, παρατήρησε ότι η μερική απομάκρυνση υγρασίας από διαφορετικά φρούτα πριν από την κατάψυξη είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, διότι η βιομηχανία κατεψυγμένων τροφίμων χρειάζεται υψηλά επίπεδα ενέργειας, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό των νωπών τροφίμων (Torreggiani, 1993). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η χαμηλότερη περιεκτικότητα των αφυδατωμένων τροφίμων σε νερό, επιφέρει πάντα χαμηλότερο σημείο κατάψυξης και μικρότερο χρόνο κατάψυξης, καθώς υπάρχει λιγότερο νερό προς κατάψυξη και συνεπώς λιγότερη θερμότητα προς απομάκρυνση. Γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η μείωση της περιεκτικότητας υγρασίας των τροφίμων, έχει τη δυνατότητα να μειώσει το φορτίο ψύξης κατά την κατάψυξη, κάτι που έχει σημαντικό αντίκτυπο στη μείωση της ενέργειας (Yetenayet and Hosahalli, 2010). Στην ουσία, η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει το φορτίο απομάκρυνσης νερού σε ένα επόμενο στάδιο ξήρανσης, το οποίο διαφορετικά καταναλώνει πολλή ενέργεια (Akbarian, et al. 2014). Παρ' όλ' αυτά, σε μια άλλη έρευνα σημειώθηκε ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας έχουν επιρροή στο χρώμα ορισμένων φρούτων, όπως τα ακτινίδια,

υπό οποιαδήποτε μορφή τεχνικής ξήρανσης. Για τα φρούτα αυτά, η ωσμωτική αφυδάτωση, η οποία είναι αποτελεσματική σε θερμοκρασία δωματίου και λειτουργεί απουσία οξυγόνου, θα μπορούσε να αντικαταστήσει την ξήρανση στον αέρα. Το υψηλό ποσοστό διαλυμένων ουσιών στα ωσμωτικά επεξεργασμένα προϊόντα μειώνει την ενεργότητα νερού και τα συντηρεί, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η διαδικασία ξήρανσης που απαιτεί υψηλά επίπεδα ενέργειας (Forni, et al. 1990).

➤ **Συσκευασία και μεταφορά**

Η διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, παρουσιάζει ένα κοινό πλεονέκτημα κατά τη συσκευασία και τη μεταφορά των προϊόντων. Αυτό είναι η σημαντική μείωση του κόστους τούς, η οποία οφείλεται στη μείωση του βάρους και του όγκου των ωσμωτικά αφυδατωμένων προϊόντων (Chavan and Amarowicz, 2012). Επίσης, η ωσμωτική μέθοδος σε φρούτα και λαχανικά πριν από την κατάψυξη εξοικονομεί τη συσκευασία και το κόστος μεταφοράς, γεγονός που διευκολύνει και το χειρισμό αυτών κατά την αποθήκευση (Biswal et al, 1991).

➤ **Χημική επεξεργασία**

Στην διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν υπάρχει ανάγκη ούτε και απαίτηση για εφαρμογή χημικής επεξεργασίας (Tortoe, 2010). Αυτό αποδεικνύεται με την αναστολή της ενζυμικής αμαύρωσης από υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα σακχάρου, το οποίο έχει δύο λειτουργίες που οδηγούν στην παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας. Η μια είναι η αναστολή της πολυφαινολοξειδάσης, του ενζύμου που καταλύει το οξειδωτικό μαύρισμα πολλών κομμένων φρούτων και λαχανικών και η άλλη, η πρόληψη της απώλειας των πτητικών αρωματικών ενώσεων κατά την περαιτέρω ξήρανση στον αέρα ή σε κενό. Αυτό είναι ένα πλεονέκτημα που αναβαθμίζει αρκετά το προϊόν αλλά και τη μέθοδο της ώσμωσης (Akbarian, et al. 2014).

Παρακάτω θα γίνει αναφορά ορισμένων μειονεκτημάτων με στόχο την αντιμετώπιση ή και την εξάλειψή τους.

➤ Διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος

Η διαχείριση του ωσμωτικού διαλύματος από τη βιομηχανία τροφίμων είναι μια από τις πιο σημαντικές αδυναμίες που παρουσιάζει η μέθοδος της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Η απομάκρυνση του νερού από το εσωτερικό του τροφίμου αραιώνει το υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα και αυτό προκαλεί μείωση στη συγκέντρωσή του και ταυτόχρονα ελάττωση του ρυθμού απώλειας υγρασίας. Ο παράγοντας που επηρεάζει αυτή την αραιώση, είναι η αναλογία μεταξύ του διαλύματος και του προϊόντος, η οποία μεταβάλλεται με το πέρας της διεργασίας. Επίσης, η διάχυση των διαλυτών στερεών συστατικών από τα δείγματα προς το ωσμωτικό διάλυμα μεταβάλλει σημαντικά τις φυσικές, χημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του (Ahmed, et al. 2016). Πιο συγκεκριμένα, οι αλλαγές των ιδιοτήτων που παρατηρούνται στο διάλυμα είναι ως προς το pH, το ιξώδες, την ενεργότητα νερού, τη γεύση και το χρώμα, οι οποίες είναι αρκετά περιοριστικές για την επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος. Η έκταση των αλλαγών, εξαρτάται από το τύπο του τροφίμου που έχει επιλεγεί. Επίσης, η αύξηση του οργανικού περιεχομένου στο διάλυμα δημιουργεί ένα υπόστρωμα ευνοϊκό για μικροβιακή ανάπτυξη (Dalla Rosa and Giroux, 2001). Η διαχείριση ωσμωτικού διαλύματος στη βιομηχανία τροφίμων έχει πολλά ζητούμενα όπως, η συγκέντρωση και η σύνθεση του διαλύματος, η ανακύκλωση, η προσθήκη διαλυμένων ουσιών, η διάθεση και η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων. Το ωσμωτικό διάλυμα έχει τη δυνατότητα να επαναχρησιμοποιηθεί από λίγες έως και πολλές φορές ανάλογα με το τρόφιμο που έχει επιλεγεί προς επεξεργασία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση των υλικών άρα δημιουργείται το πλεονέκτημα της μείωσης του κόστους (Akbarian, et al. 2014). Ο εξευγενισμός ενός διαλύματος από τις φυσικές διαλυτές ουσίες των τροφίμων που σχηματίζουν θόλωμα είναι το κύριο πρόβλημα και απομακρύνονται μέσω συνεχούς διήθησης (Dalla Rosa and Giroux, 2001). Ο έλεγχος της σύνθεσης των διαλυμένων ουσιών κατά την ανακύκλωση για τα διαλύματα ενός διαλυτού στερεού συστατικού είναι ευκολότερος από ότι για τα διαλύματα μεικτών διαλυμένων στερεών συστατικών. Το αραιωμένο διάλυμα μπορεί να ανακτήσει τη συγκέντρωσή του με

αντίστροφη ώσμωση και εξάτμιση (Akbarian, et al. 2014). Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, τα τρόφιμα και τα υπολείμματά τους συσσωρεύονται στο διάλυμα, παρέχοντας έτσι ένα κατάλληλο μέσο για τη μικροβιακή ανάπτυξη (Ahmed, et al. 2016). Οι πιθανότητες μικροβιακής μόλυνσης αυξάνονται με την καθυστέρηση της ανακύκλωσης αλλά και με τον αριθμό των φορών που ανακυκλώνεται αυτό. Το κόστος του σιροπιού αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχία της διαδικασίας (Tortoe, 2010). Επομένως, σε όλη τη διαδικασία της ανακύκλωσης τα μέτρα υγιεινής πρέπει να τηρούνται αυστηρά. Το θετικό είναι ότι το μικροβιακό φορτίο μπορεί να μειωθεί εύκολα με την εφαρμογή ήπιας θερμικής επεξεργασίας (Ahmed, et al. 2016). Όταν πλέον το ωσμωτικό διάλυμα δεν μπορεί να εκπληρώσει με επιτυχία την εφαρμογή των μεθόδων καθαρισμού και ανακύκλωσης, θα πρέπει να απομακρυνθεί και να απορριφθεί ως υγρό απόβλητο, μετά από τις προβλεπόμενες από τη νομοθεσία επεξεργασίες (Dalla Rosa and Giroux, 2001). Μια άλλη πρόταση αξιοποίησης του ωσμωτικού διαλύματος έπειτα από επεξεργασία φρούτων σε αυτό είναι να χρησιμοποιηθεί για άλλα παρασκευάσματα τροφίμων, όπως μαρμελάδες, σιρόπι για κονσερβοποίηση φρούτων, ανάμειξη με χυμούς φρούτων, φρουτώδη αναψυκτικά, φαρμακευτικές βιομηχανίες και βιομηχανίες τροφίμων ως φυσικά πρόσθετα και παραγωγή ζωοτροφών (Ahmed, et al. 2016).

➤ Ποιότητα προϊόντος

Όσον αφορά στην ποιότητα του προϊόντος παρατηρούνται ορισμένες μικρές μεταβολές, κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης αλλά και μετά από αυτή.

- Η μείωση του επιπέδου οξύτητας μειώνει τη χαρακτηριστική γεύση ορισμένων προϊόντων. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την προσθήκη οξέος φρούτων στο διάλυμα (Yadav and Singh, 2014). Η χρήση του οξέος παρ' όλ' αυτά, υποβαθμίζει τη θρεπτική αξία του τροφίμου.
- Η συρρίκνωση του τελικού προϊόντος και οι μικρές αλλοιώσεις στην υφή είναι μεταβολές μη αναστρέψιμες.
- Η αλατότητα ή η γλυκύτητα του προϊόντος μπορεί να αυξηθεί κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διαδικασίας, γεγονός που δεν είναι πάντα επιθυμητό ως προς τη γεύση (Akbarian, et al. 2014).

3.4 Ωσμωτική αφυδάτωσημανιταριών

Η μέθοδος ωσμωτικής αφυδάτωσηςμανιταριών χρησιμοποιείται κυρίως ως προεπεξεργασία μιας επόμενης διεργασίας, ξήρανσης ή κατάψυξης. Τα νωπάμανιτάρια είναι γνωστό ότι δεν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας 0 °C και υγρασίας 90% διατηρούνται μέχρι 3 έως 7 ημέρες. Ο στόχος της προεπεξεργασίας είναι να αυξήσει το χρόνο ζωής τους και να βελτιώσει τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει εφαρμοστεί σε πολλά φρούτα και λαχανικά. Όσο για ταμανιτάρια, η κατηγορία στην οποία έχουν γίνει οι περισσότερες μελέτες είναι εκείνη των λευκώνμανιταριών. Η επίδραση τουμανιταριού πλευρώτους (oyster) από τη μέθοδο της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει ερευνηθεί σε πολύ μικρό ποσοστό μέχρι στιγμής.

Μια έρευνα για την αξιολόγηση της κινητικής μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωσημανιταριών πλευρώτους έγινε σε διάλυμα συγκέντρωσης 15% αλατιού και 45% έως 65% ζάχαρης, με θερμοκρασία 30-60 °C, χρόνο εμβάπτισης 15-240 λεπτά και αναλογία διαλύματος προςμανιτάρι 4:1 έως 8:1 (Ramya and Kumar, 2015). Η κάθε μια παράμετρος του ωσμωτικού μέσου είχε επιδράσεις στην απώλεια νερού, στην πρόσληψη των στερεών και στην περιεκτικότητα υγρασίας. Με την αύξηση του χρόνου εμβάπτισης, της θερμοκρασίας και της αναλογίας παρατηρήθηκε:

- Αύξηση στην απώλεια νερού
- Αύξηση στην πρόσληψη των στερεών
- Μείωση στην περιεκτικότητα του νερού

Αυτές οι τρεις μεταβολές ήταν ταχύτερες στα αρχικά στάδια της διεργασίας με την αύξηση της θερμοκρασίας και έπειτα ο ρυθμός τους μειώθηκε, γεγονός που ίσως οφείλεται στη δυναμική του ωσμωτικού μέσου. Καθώς η θερμοκρασία αυξανόταν από τους 45 στους 60 °C, υπήρχε αμελητέα διαφορά στην απώλεια νερού στο στάδιο της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Επίσης, σε όλα τα επίπεδα συγκέντρωσης αλατιού-ζάχαρης με την αύξηση του χρόνου εμβάπτισης η απώλεια νερού αυξήθηκε στο πρώτο στάδιο και στη συνέχεια ο ρυθμός της επιβραδύνθηκε ώστε να ισορροπήσει. Επομένως, το αρχικό στάδιο της ώσμωσης είναι το πιο σημαντικό, διότι τα φαινόμενα μεταφοράς

είναι ταχύτερα και επηρεάζουν δραματικά την μετέπειτα πορεία της διεργασίας. Η ταχεία απώλεια νερού και η πρόσληψη διαλυμένων ουσιών, έχει τη δυνατότητα να επιφέρει δομικές αλλαγές, οι οποίες θα σημειώσουν συμπίεση στην επιφάνεια των στρωμάτων δημιουργώντας μια κρούστα σακχάρων πάνω σε αυτή, με αποτέλεσμα την αυξημένη αντίσταση στη μεταφορά μάζας του νερού και των διαλυτών στερεών συστατικών. Η παρουσία του αλατιού όμως, ανέστειλε το σχηματισμό της κρούστας σακχάρων και με αυτό τον τρόπο μείωσε την ενεργότητα νερού. Οι βέλτιστες συνθήκες της πειραματικής μελέτης ήταν 1 ώρα ο χρόνος εμβάπτισης, 15% η συγκέντρωση αλατιού, 55% η συγκέντρωση σακχάρου, 45 °C η θερμοκρασία, και 6:1 η αναλογία διαλύματος/μανιταριού. Εκεί σημειώθηκε η μέγιστη απώλεια νερού 41 (g/100 g αρχικής μάζας) και η ελάχιστη μείωση του κέρδους των στερεών συστατικών 2,15 (g/100 g αρχικής μάζας) (Ramya and Kumar, 2015).

Μια ακόμη έρευνα διεξήχθη για τη μελέτη της επίδρασης της ωσμωτικής αφυδάτωσης του μανιταριού πλευρώτους. Τα μανιτάρια βυθίστηκαν σε αλατούχο διάλυμα 5%, 10%, 15%, 20% και 25% με αναλογία διαλύματος προς δείγμα 6:1 σε διαφορετικές θερμοκρασίες (12, 27 και 45 °C) για 30 λεπτά, 1 ώρα, 2 ώρες, 3 ώρες, 4 ώρες και μέχρι 6 ώρες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, παρατηρήθηκαν οι μεταβολές της απώλειας νερού και της πρόσληψης των διαλυτών στερεών συστατικών. Η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών διαφέρουν σημαντικά:

- a) σε διαφορετικό χρόνο εμβάπτισης
- b) μεταξύ τους την ίδια στιγμή σε μεταβαλλόμενη θερμοκρασία
- c) σε διαφορετική συγκέντρωση διαλύματος
- d) σε σταθερή συγκέντρωση σε διαφορετική θερμοκρασία

Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι με την πάροδο του χρόνου εμβάπτισης αυξάνονται και η απώλεια νερού και η πρόσληψη των στερεών. Η απώλεια νερού όμως, είναι αξιοσημείωτα υψηλότερη από την πρόσληψη των στερεών. Για σταθερό χρόνο εμβάπτισης (6 ώρες) η απώλεια νερού αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του αλατιού στο διάλυμα. Το ίδιο συμβαίνει και με το κέρδος των στερεών. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει κάποιες τιμές αυτών των μεταβολών.

Πίνακας 3.1 : Αποτελέσματα επίδρασης απώλειας νερού (%) (g στερεών/100g αρχικού βάρους δείγματος) και πρόσληψης στερεών (%) (g στερεών/100g αρχικού βάρους δείγματος) σε σταθερό χρόνο εμβάπτισης (6 ώρες).

Συγκέντρωση διαλύματος (%)	27 °C	27 °C	45 °C	45 °C
	Απώλεια νερού (%)	Κέρδος στερεών (%)	Απώλεια νερού (%)	Κέρδος στερεών (%)
20 %	37,13 %	7,82 %	45,53 %	9,21%
25 %	42,75 %	13,02 %	48,33 %	10,79 %

Επίσης, σημειώθηκε ότι με σταθερή συγκέντρωση και αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται η απώλεια νερού και η πρόσληψη των στερεών. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, η πρόσληψη των στερεών μειώνεται διότι επηρεάζεται λιγότερο από τη θερμοκρασία. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι το διάλυμα αλατιού 20% και 25% ήταν πιο αποτελεσματικό από τα άλλα διαλύματα στο ίδιο χρόνο εμβάπτισης (Yasmin et al., 2017).

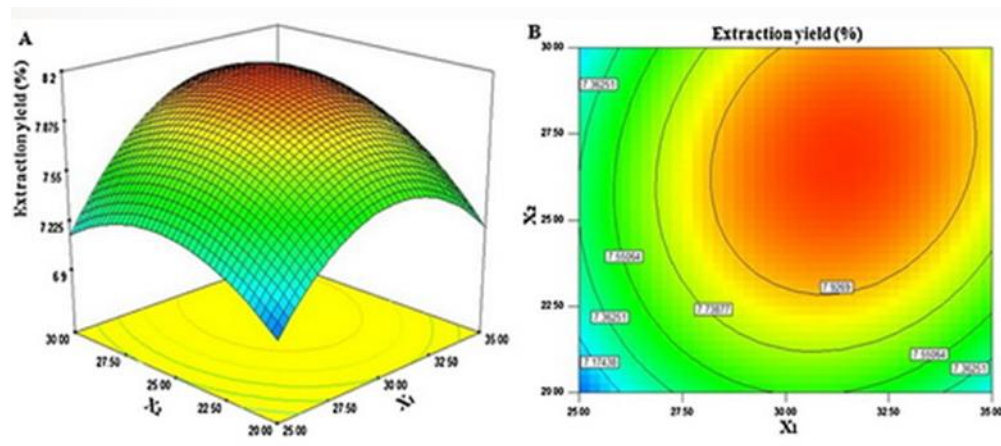
Από τις δύο αυτές έρευνες, βγαίνει το συμπέρασμα ότι η επεξεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, πετυχαίνει την αύξηση της απώλειας νερού και της πρόσληψης των στερεών. Επομένως, έχει τη δυνατότητα βελτίωσης των ποιοτικών χαρακτηριστικών και του χρόνου ζωής των μανιταριών πλευρώτους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (RESPONSE SURFACE METHODOLOGY - RSM)

Η μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης (RSM) ορίζεται ως μια συλλογή στατιστικών και μαθηματικών τεχνικών, η οποία είναι αρκετά χρήσιμη για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και κυρίως τη βελτιστοποίηση των διεργασιών. Επίσης, διαθέτει σημαντικές εφαρμογές στο σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την παραγωγή νέων προϊόντων τροφίμων, καθώς και στη βελτίωση των υφιστάμενων προϊόντων. Οι πιο εκτεταμένες εφαρμογές της RSM, σχετίζονται με το βιομηχανικό τομέα, ιδιαίτερα σε καταστάσεις όπου πολλές μεταβλητές εισόδου (input variables, καλούνται ανεξάρτητες μεταβλητές) επηρεάζουν την απόδοση μιας διεργασίας ή τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου υπό μελέτη. Αυτές οι παράμετροι καλούνται «απόκριση». Η μέθοδος της RSM έχει τρεις βασικές δυνατότητες. Η πρώτη είναι ο υπολογισμός του εύρους τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η δεύτερη δυνατότητα, είναι η ανάπτυξη κατάλληλης σχέσης μεταξύ της απόδοσης και των μεταβλητών της διεργασίας. Η τρίτη και πιο σημαντική είναι η εύρεση των βέλτιστων συνθηκών ή επιπέδων των ανεξάρτητων μεταβλητών (X_1, X_2) που παράγουν επιθυμητές τιμές για τις αποκρίσεις (y_1, y_2) και οδηγούν στο πλέον επιθυμητό τελικό προϊόν. Ο σχεδιασμός της μεθοδολογίας βασίζεται στην παρακάτω σχέση:

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

Στο σχήμα της εικόνας 4.1 απεικονίζεται γραφικά η σχέση μεταξύ της απόκρισης μιας διεργασίας (y , εδώ η απόδοση της εκχύλισης) και των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών, που στη προκειμένη περίπτωση είναι ο λόγος του νερού προς την πρώτη ύλη (X_1) και ο χρόνος εκχύλισης (X_2) (Z. Liu et al., 2013). Για κάθε τιμή X_1 και X_2 υπάρχει αντίστοιχη τιμή y και μπορούμε να δούμε αυτές τις τιμές της απόκρισης ως επιφάνεια που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των μεταβλητών X_1 και X_2 . Αυτή ακριβώς η γραφική προοπτική (εικόνα 4.1 α, surface plot) οδήγησε στον όρο μεθοδολογία επιφανειών απόκρισης. Συχνά αντίστοιχες πληροφορίες αντλούνται από δισδιάστατο διάγραμμα (εικόνα 4.1 β, contour plot), όπου συνδέονται όλα τα σημεία που έχουν την ίδια απόκριση για να παράγουν γραμμές περιγράμματος σταθερής απόκρισης.



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

Μετά από μελέτη στα παραπάνω σχήματα, σημειώθηκε ότι αν η μορφή των διαγραμμάτων των επιφανειών απόκρισης ήταν παρόμοιες με αυτά, η βελτιστοποίηση της διεργασίας είναι πολύ απλή. Με την παρατήρηση της επιφάνειας, διακρίθηκε ότι η απόδοση μεγιστοποιείται στην κορυφή, όπου οι ανεξάρτητες μεταβλητές λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, όπως φαίνεται και από το σχήμα B, στην περιοχή του έντονου κόκκινου χρώματος. Ωστόσο, ένα μεγάλο ποσοστό των πρακτικών εφαρμογών δεν παρουσιάζει τόσο προφανή τα αποτελέσματα. Γι' αυτό το λόγο, είναι αναγκαία η εφαρμογή συγκεκριμένης μεθοδολογίας ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού της διεργασίας, με στόχο να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

4.1 Μεθοδολογία

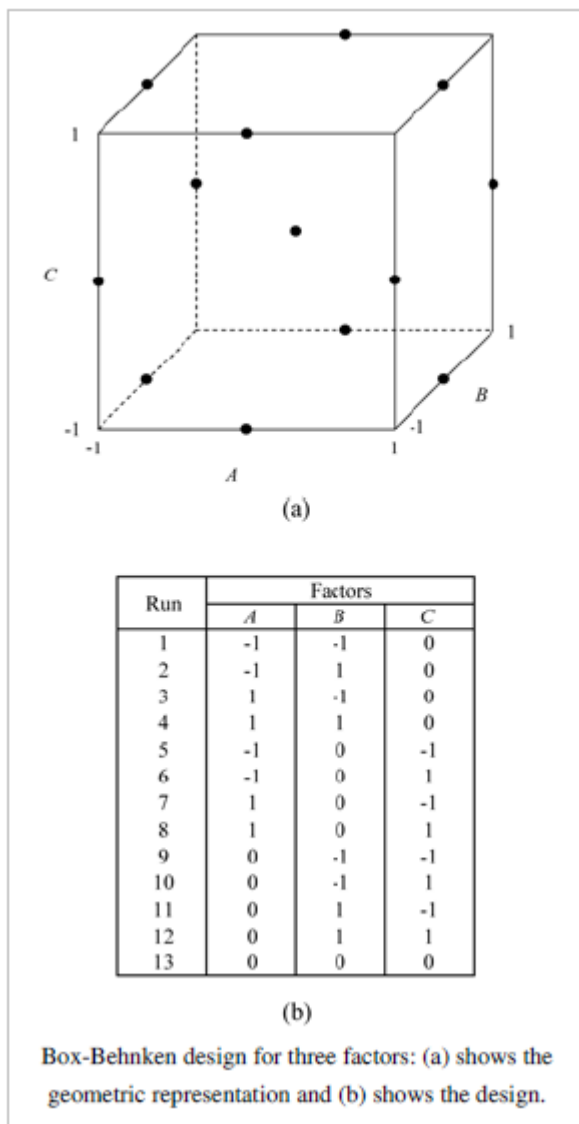
Οι μέθοδοι επιφανειών απόκρισης συνήθως περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βήματα:

1. Το πλάνο του πειράματος παίρνει την κατάλληλη μορφή ώστε οι παράμετροι να μετακινηθούν από τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας κοντά στις συνθήκες λειτουργίας όπου η απόκριση είναι η βέλτιστη. Αυτό πραγματοποιείται με τη χρήση της μεθόδου απότομης ανόδου (method of steepest ascent) σε περίπτωση μεγιστοποίησης της απόκρισης. Η ίδια μέθοδος, έχει τη δυνατότητα να

- χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση της απόκρισης και στη συνέχεια αναφέρεται ως η μέθοδος απότομης ελάττωσης (method of steepest descent).
2. Στην κοντινή περιοχή της βέλτιστης απόκρισης, είναι αναγκαίο ένα πιο περίπλοκο μοντέλο μεταξύ της απόκρισης και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Για να επιτευχθεί αυτό, υλοποιείται ειδικός πειραματικός σχεδιασμός, που αναφέρεται ως σχεδιασμός RSM. Το προσαρμοσμένο μοντέλο χρησιμοποιείται για να φτάσει στις καλύτερες συνθήκες λειτουργίας που έχουν ως αποτέλεσμα είτε μια μέγιστη είτε μια ελάχιστη απόκριση.
 3. Ένας αριθμός αποκρίσεων, υπάρχει πιθανότητα να πρέπει να βελτιστοποιηθεί ταυτόχρονα, απαίτηση που θα εφαρμοσθεί και στην παρούσα εργασία. Είναι αναγκαίο να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, διότι οι βέλτιστες τιμές για καθεμία από τις αποκρίσεις σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορεί να οδηγήσουν σε αντικρουόμενες τιμές για τους παράγοντες. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένα υπολογιστικό εργαλείο που ονομάζεται “desirability functions” (συναρτήσεις επιθυμίας).

4.2 Πειραματικός σχεδιασμός Box-Behnken

Οι G. E. P. Box and D. W. Behnken (1960) πρότειναν έναν πειραματικό σχεδιασμό για την περίπτωση διεργασιών που επηρεάζονται από τρεις βασικούς παράγοντες, ο οποίος πλέον έχει καθιερωθεί σε μεγάλο βαθμό για την αξιόπιστη προσαρμογή πολυωνυμικών εξισώσεων 2^{ου} βαθμού. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται ο σχεδιασμός αυτός για τρεις παράγοντες σε γεωμετρική μορφή και σε πίνακα κωδικοποίησης των πειραμάτων.



Εικόνα 4.2 : Απεικόνιση των συνδυασμών των τιμών των παραμέτρων, σύμφωνα με τον πειραματικό σχεδιασμό Box-Behnken.

Το θετικό στοιχείο που απορρέει από έναν τέτοιο σχεδιασμό είναι ότι αποτελεί σφαιρικό σχεδιασμό (οι τιμές των παραμέτρων συνήθως ισαπέχουν από το κεντρικό σημείο) και είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν πειράματα μόνο σε τρία επίπεδα των παραμέτρων. Επιπλέον, όπως είναι φανερό και από τον πίνακα του σχεδιασμού, δεν προβλέπονται πειράματα στα οποία όλες οι παράμετροι είναι ταυτόχρονα με κωδικοποίηση +1 ή -1 (στα κομβικά σημεία). Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα όταν τα ‘ακραία’ αυτά σημεία απαιτούν δύσκολους χειρισμούς ή ακραίες συνθήκες, εφόσον βρίσκονται στα όρια των παραμέτρων λειτουργίας της διεργασίας. Ο

πειραματικός σχεδιασμός που έλαβε μέρος στην παρούσα μελέτη (ο οποίος περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο «Υλικά και μέθοδοι») καταρτίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού του Minitab.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Ωσμωτική αφυδάτωση

Η πειραματική μελέτη που πραγματοποιήθηκε αφορά σε εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Στη μέθοδο αυτή, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο θεωρητικό κεφάλαιο, το τρόφιμο εμβαπτίζεται σε υπερτονικό διάλυμα σακχάρου ή/και άλατος, με κύριο στόχο τη μεταφορά μάζας νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα και τον εμπλουτισμό με επιλεγμένα διαλυτά στερεά συστατικά από το διάλυμά της. Όταν επέλθει η ισορροπία στην ενεργότητα νερού του τροφίμου και του διαλύματος, τότε ολοκληρώνεται και η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, εφόσον εκλείπει η οδηγούσα δύναμη της μεταφοράς μάζας.

Στο πείραμα που έλαβε μέρος χρησιμοποιήθηκαν μανιτάρια *Pleurotus ostreatus* (baby), τα οποία παραχωρήθηκαν από μια συγκεκριμένη τοπική ελληνική βιομηχανία μανιταριών (ΔΙΡΦΥΣ, με έδρα Καθενούς Ευβοίας από το 2004), σε συσκευασίες ή της ίδιας ημέρας ή μιας ημέρας μετά από τη συγκομιδή τους. Τα δείγματα μανιταριών επιλέχθηκαν έτσι ώστε να διατηρείται μια ομοιομορφία ως προς το χρώμα, το πάχος και το βάρος. Επομένως, επιλέχθηκαν δείγματα ομοιόμορφα λευκά, με πάχος 5 ± 1 cm και βάρος 5 ± 2 g.



α) *Pleurotus ostreatus*



β) Baby *Pleurotus ostreatus*
(του πειράματος)

Εικόνα 5.1 : α) Μανιτάρια *Pleurotus ostreatus*, β) Δείγματα Baby *Pleurotus ostreatus* (φωτογραφία από δείγματα του πειράματος).

Το υπερτονικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε για την ώσμωση είχε ως κύριο συστατικό τη γλυκερόλη με μικρή προσθήκη NaCl και ελάχιστη χλωριούχου ασβεστίου. Οι συγκεντρώσεις του κάθε διαλύματος που εμβάπτιστηκαν τα δείγματα των μανιταριών ήταν 30,40 και 50% γλυκερόλη με 5% NaCl και 1,5% CaCl₂. Η αναλογία δείγματος προς ωσμωτικό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 1:15, αρκετά μεγάλη ώστε να αποφευχθεί όσο είναι δυνατόν η αραίωση του διαλύματος από την απώλεια νερού του μανιταριού. Τα προζυγισμένα δείγματα εμβάπτιστηκαν μέσα σε γυάλινα δοχεία, θερμάνθηκαν μέσα σε υδατόλουτρο PolyScience water bath, WB10A11B (εικόνα 5.2), σε τρεις ελεγχόμενες θερμοκρασίες των 30,40 και 50 °C. Η χρονική διάρκεια της εμβάπτισης των μανιταριών ήταν από 0 έως και 190 λεπτά. Στο διάστημα αυτό, πραγματοποιούνταν οι ακόλουθες μετρήσεις:

- βαθμοί Brix του διαλύματος
- βάρος του δείγματος
- ενεργότητα νερού του δείγματος
- χρώμα του δείγματος
- υφή του δείγματος



Εικόνα 5.2 : Υδατόλουτρο εργαστηρίου PolyScience water bath, WB10A11B

5.1.1 Γλυκερόλη

Η γλυκερόλη ($C_3H_8O_3$), 1,2,3-προπανετριόλη, είναι ένα οργανικό μόριο ευρέως γνωστό και ως γλυκερίνη. Βρίσκεται σε όλα τα φυσικά λίπη και έλαια ως λιπαρός εστέρας και αποτελεί σημαντικό ενδιάμεσο προϊόν στο μεταβολισμό των ζωντανών οργανισμών. Η γλυκερόλη λαμβάνεται ως παραπροϊόν κατά τη μετατροπή λιπών και ελαίων σε λιπαρά οξέα ή μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων. Αυτός ο τύπος γλυκερόλης είναι γνωστός ως φυσική ή εγγενής γλυκερόλη, σε αντίθεση με τη συνθετική γλυκερόλη από προπάνιο (Christoph et al., 2006). Η γλυκερόλη, είναι ένα παχύρρευστο, άχρωμο και γλυκό υγρό, το οποίο είναι περίπου 60% τόσο γλυκό όσο η σακχαρόζη. Η γλυκερόλη, μιας και αποτελεί ασφαλή ουσία για ανθρώπινη κατανάλωση, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε τρόφιμα, σιρόπια, φάρμακα και καλλυντικά (Pattanara et al., 2010). Μια σημαντική ιδιότητα που έχει η γλυκερόλη, είναι ότι σε θερμοκρασία δωματίου απορροφά γρήγορα το νερό (Christoph et al., 2006). Επίσης, έχει τη δυνατότητα να βελτιώνει τα χαρακτηριστικά υφής, των αφυδατωμένων προϊόντων (Pattanara et al., 2010). Επομένως, είναι ένας καλός τύπος ωσμωτικού μέσου για τη μέθοδο της ωσμωτικής αφυδάτωσης των μανιταριών, διότι καλύπτει δυο βασικά ζητούμενα, τη μείωση ενεργότητας νερού και τη βελτίωση της υφής.

Η γλυκερόλη χρησιμοποιείται ως μέσο ενυδάτωσης σε γλυκά και αποξηραμένα φρούτα ώστε να αποτραπεί η απώλεια νερού, η οποία έχει ως συνέπεια τη συρρίκνωση. Τα φρούτα και τα λαχανικά ψεκάζονται με γλυκερόλη για να διατηρούνται σε συνθήκες φρεσκάδας. Τα μονο- και διγλυκερίδια αποτελούν τους κύριους γαλακτωματοποιητές στην παραγωγή παγωτού, διότι βελτιώνουν την υφή, τη σταθερότητα και τις ιδιότητες τήξης (Christoph et al., 2006). Επιπλέον, η γλυκερίνη έχει χρησιμοποιηθεί σε περιβλήματα κρέατος και χαρτιά περιτυλίγματος τροφίμων για να αυξήσει την ευελιξία χωρίς να μειώσει την ευθραυστότητα (Pattanara et al., 2010).

5.1.2 Χλωριούχο ασβέστιο

Το χλωριούχο ασβέστιο αποτελεί μια ανόργανη ένωση, ένα άλας με χημικό τύπο $CaCl_2$. Έχει καταχωρηθεί ως ένα επιτρεπόμενο πρόσθετο τροφίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση για χρήση ως συμπλοκοποιητής και σκληρυντής. Ως σκληρυντής, το χλωριούχο ασβέστιο χρησιμοποιείται αρκετά για την κονσερβοποίηση λαχανικών. Η πολύ αλμυρή

γεύση του χλωριούχου ασβεστίου χρησιμοποιείται για να αρωματίσει το αγγουράκι τουρσί, ενώ δεν αυξάνει την περιεκτικότητα της τροφής σε νάτριο.

Σε μια πειραματική μελέτη, η επίδραση της προσθήκης CaCl_2 στους κύβους μήλου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση εξαρτιόταν από τη θερμοκρασία. Η υψηλή θερμοκρασία προεπεξεργασίας ($40\text{ }^\circ\text{C}$) έδειξε υψηλότερες τιμές σκληρότητας και χαμηλότερο δείκτη συνεκτικότητας (Ochoa-Martinez et al., 2006).

Επίσης, η προσθήκη χλωριούχου ασβεστίου καθυστερεί την εμφάνιση του μαυρίσματος και δρα επίσης ως σταθεροποιητής στα φρούτα και τα λαχανικά. Η δράση του χλωριούχου ασβεστίου στην πρόληψη του μαυρίσματος οφείλεται ίσως στην παρουσία χλωριόντων. Τα χλωρίδια μειώνουν το pH του διαλύματος με αποτέλεσμα την αυξημένη αναστολή ενζύμων όπως η πολυφαινολοξειδάση και η καταλάση. Όταν ταμανιτάρια εμβαπτίζονται σε διαλύματα χλωριούχου ασβεστίου, τα διαλύματα καθιστούν το οξυγόνο μη διαθέσιμο για την πραγματοποίηση της αντίδρασης με αποτέλεσμα να καθυστερεί η διάχυση του οξυγόνου. Ωστόσο, μόλις ο ιστός εκτεθεί εκ νέου στον αέρα, θα αρχίσει να μαυρίζει (Singhal et al., 2020).

5.2 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά, έγινε η κατάλληλη επιλογή ομοιόμορφωνμανιταριών σε σχήμα και χρώμα και έπειτα ζυγίστηκε το αρχικό τους βάρος ώστε να υπολογιστούν οι μάζες των συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος (30,40 και 50% γλυκερόλη, 5% αλάτι, 1,5% χλωριούχο ασβέστιο) με βάση την αναλογία δείγματος προς διάλυμα 1:15. Ένα από τα δείγματαμανιταριών που συλλέχθηκαν, έπαιξε το ρόλο του ‘μάρτυρα’ (control), με την έννοια του χρόνου μηδέν για όλες τις συνθήκες της ώσμωσης. Το επόμενο βήμα ήταν η παρασκευή του ωσμωτικού διαλύματος. Ζυγίστηκαν οι κατάλληλες ποσότητες των υλικών και προστέθηκαν σε 6 γυάλινα βάζα. Αμέσως μετά ακολούθησε η ανάδευση του διαλύματος στα 6 βάζα ώστε να ομογενοποιηθεί το διάλυμα και να γίνει η ορθή μέτρηση των αρχικών βαθμών Brix. Λαμβάνονται τρεις ενδεικτικές μετρήσεις από τρία διαφορετικά βάζα, για επιβεβαίωση. Η ομογενοποίηση του ωσμωτικού διαλύματος, ενισχύει και την ομαλή μεταφορά μάζας του νερού από τομανιτάρι στο διάλυμα και των διαλυτών στερεών συστατικών από το διάλυμα στομανιτάρι. Ύστερα από όλα αυτά, ταμανιτάρια εμβαπτίστηκαν με τη βοήθεια ειδικών πλεγμάτων στα γυάλινα βάζα

του υπερτονικού ωσμωτικού διαλύματος. Αμέσως μετά, τα βάζα τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο σε σταθερές και ελεγχόμενες θερμοκρασίες (30, 40 και 50 °C) και η ωσμωτική αφυδάτωση είχε συνολική διάρκεια 190 λεπτά με τις ενδιάμεσες μετρήσεις να λαμβάνουν χώρα στα 0, 20, 40, 70, 100, 130, 160 και 190 λεπτά.

5.3 Μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Σε κάθε χρονική στιγμή που έχει οριστεί (0, 20, 40, 70, 100, 130, 160, 190 min.), τα δείγματα μανιταριών αφαιρούνται από το ωσμωτικό διάλυμα και σκουπίζονται με χαρτί στην επιφάνειά τους ώστε να απορροφηθεί καλά το υπολειπόμενο διάλυμα. Έπειτα πραγματοποιούνται οι ενδιάμεσες μετρήσεις που θα αναλυθούν παρακάτω.

5.3.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας διαλυτών στερεών συστατικών ωσμωτικού διαλύματος (°Brix)

Ο υπολογισμός των διαλυτών στερεών συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος έχει ως στόχο την παρατήρηση του ποσοστού πρόσληψης σακχάρων από το μανιτάρι και του ποσοστού αραίωσης του διαλύματος κατά την επεξεργασία της ώσμωσης. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε το διαθλασίμετρο χειρός 0-90% (ATAGO) (εικόνα 5.3). Ακριβώς πριν από κάθε μέτρηση, είναι απαραίτητο να γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου. Αυτό επιτυγχάνεται με τον καθαρισμό της επιφάνειάς του με απιονισμένο νερό και με το σκούπισμά του με απορροφητικό χαρτί. Μετά, μια σταγόνα από το ωσμωτικό διάλυμα τοποθετείται στην επιφάνεια, κλείνει το καπάκι και σημειώνεται η τιμή των βαθμών Brix από την ένδειξη της κλίμακας που υπάρχει μέσα στο διαθλασίμετρο. Καλός καθαρισμός γίνεται και ακριβώς μετά από κάθε μέτρηση για να μην μένουν στερεά στην επιφάνεια και λαμβάνονται λάθος τιμές στη συνέχεια. Σκόπιμο επίσης είναι η θερμοκρασία του δείγματος κατά τη μέτρηση να μην είναι υψηλή, ώστε να μην απαιτείται διόρθωση της ένδειξης, αλλά και για προστασία του πρίσματος του οργάνου.



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

5.3.2 Προσδιορισμός της ενεργότητας ύδατος (a_w , water activity)

Σκοπός της μέτρησης ενεργότητας νερού είναι ο υπολογισμός του διαθέσιμου νερού που έχει απομείνει στο μανιτάρι μετά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης. Η λήψη των μετρήσεων γίνεται μέσω της συσκευής AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE (εικόνα 5.3). Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στη μέτρηση του σημείου δρόσου. Μια ικανοποιητική ποσότητα δείγματος, ώστε να γεμίζει τον απαραίτητο όγκο του περιέκτη (χωρίς κενά), τοποθετείται στο εσωτερικό του μετρητή και μόλις επιτευχθεί η ισορροπία ατμών σημειώνεται το αποτέλεσμα. Πιο αναλυτικά, μια υπέρυθρη ακτίνα κάνει εστίαση σε έναν μικρό καθρέπτη και έτσι καθορίζει την ακριβή θερμοκρασία δρόσου του δείγματος, η οποία μετέπειτα μεταφράζεται σε ενεργότητα ύδατος. Για την έναρξη της μέτρησης ενεργότητας νερού, ενεργοποιείται ο μετρητής και αφήνεται κενός για όσο χρόνο χρειάζεται μέχρι να εξισορροπηθεί. Στη συνέχεια, δείγμα μανιταριού (επεξεργασμένο ή μη επεξεργασμένο) κόπηκε σε πολύ μικρά κομματάκια και μεταφέρθηκε στον κατάλληλο περιέκτη, στην απαιτούμενη ποσότητα πλήρωσης. Έπειτα, ο περιέκτης τοποθετήθηκε εντός του θαλάμου του μετρητή, στην ειδική θέση που υπάρχει. Παραμένει εκεί, μέχρι να ακουστεί ο χαρακτηριστικός ήχος που δηλώνει την επίτευξη της ισορροπίας ατμών και η θερμοκρασιακή εξισορρόπηση. Τέλος, σημειώνεται η τιμή της ενεργότητας νερού που εμφανίστηκε στην οθόνη του μετρητή.



Εικόνα 5.4 : Μετρητής ενεργότητας νερού AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE.

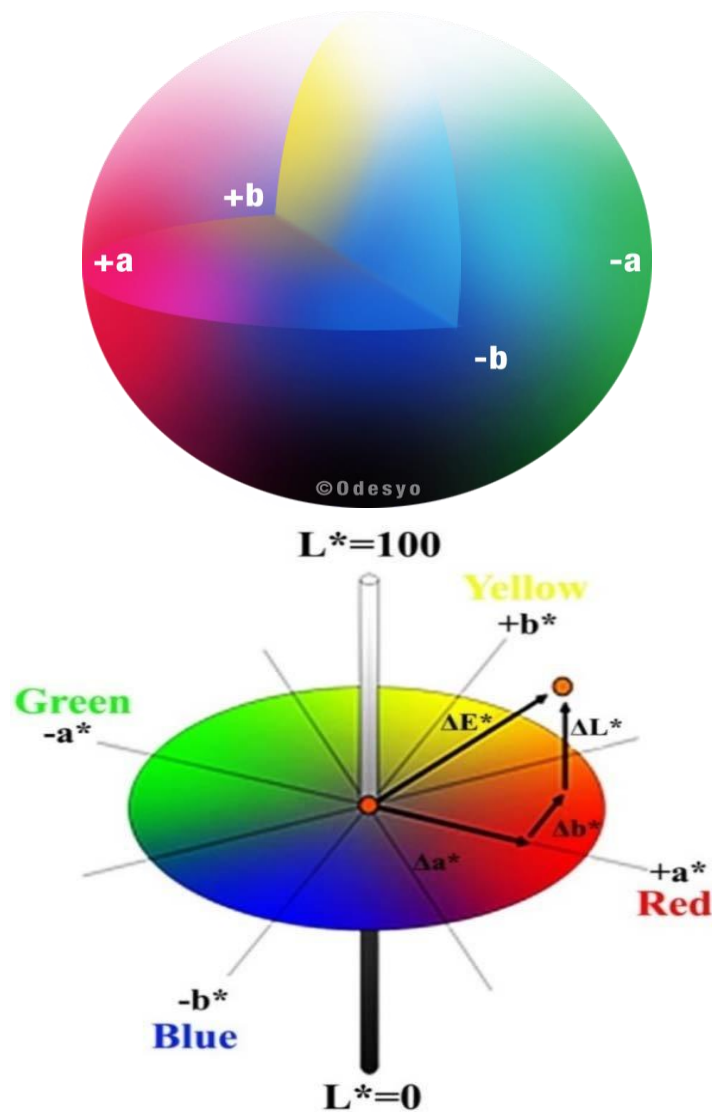
5.3.3 Προσδιορισμός του χρώματος

Η χρωματομετρία έχει ως στόχο να προσδιορίσει τις χρωματικές μεταβολές μεταξύ του φρέσκου μανιταριού (μάρτυρας) και του ωστωμένου και τις χρωματικές αλλαγές σε σχέση με το χρόνο, τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου που εφαρμόστηκε σε κάθε πείραμα. Για τη μέτρηση του χρώματος χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο KONICA MINOLTA (εικόνα 5.5), με βάση τις παραμέτρους CIE Lab.



Εικόνα 5.5 : Χρωματόμετρο KONICA MINOLTA

Το χρωματικό μοντέλο C.I.E. Lab χρησιμοποιεί τρεις παραμέτρους L, a και b για τον χρωματικό προσδιορισμό του κάθε δείγματος ξεχωριστά. Οι χρωματικές αυτές παράμετροι απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Η παράμετρος L συμβολίζει τη φωτεινότητα με τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) και οι μεταβολές της εμφανίζονται στον κατακόρυφο άξονα. Στις παραμέτρους a και b δεν δίνεται κάποιος αριθμητικός περιορισμός για τις τιμές τους. Οι a^* και b^* μεταβάλλονται σε οριζόντιο επίπεδο, όπου οι θετικές τιμές του a^* απεικονίζουν τις αποχρώσεις του κόκκινου και οι αρνητικές τιμές του a^* τις αποχρώσεις του πράσινου. Οι θετικές τιμές του b^* απεικονίζουν τις αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ οι αρνητικές τιμές του b^* τις αποχρώσεις του μπλε (Χατζής, 2015). Πριν ξεκινήσει η μέτρηση του χρώματος των μανιταριών, καλιμπράρεται το χρωματόμετρο με μια ειδική λευκή επιφάνεια. Αμέσως μετά, τοποθετείται το χρωματόμετρο πάνω από το μανιτάρι, έτσι ώστε να εφάπτεται καλά και να μη δημιουργούνται κενά ανάμεσα στο δείγμα και στο χρωματόμετρο. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζονται όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Σε κάθε δείγμα, η μέτρηση γίνεται 3 φορές και το τελικό αποτέλεσμα εξάγεται από το μέσο όρο αυτών των τιμών.



Εικόνα 5.6 (α) και (β) : Άξονες απεικόνισης των παραμέτρων L^* , a^* και b^* του συστήματος CIE Lab.

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

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

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

5.3.4 Ανάλυση της υφής

Για την ανάλυση της υφής χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus (Stable Micro Systems Ltd., UK) (εικόνα 5.7) σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Texture Profile Analysis (TPA) με αλουμινένιο κύλινδρο διαμέτρου 6 mm ως εργαλείο. Ο κύλινδρος πραγματοποιούσε δύο καθόδους/συμπιέσεις σε κάθε δείγμα μανιταριού, οι οποίες προσομοιώνουν τη διαδικασία μάσησης. Ανάμεσα στις δύο καθόδους/συμπιέσεις μεσολαβεί ο χρόνος παραμονής. Στο λογισμικό καθορίζονται όλες οι κατάλληλες παράμετροι όπως το βάθος διείσδυσης από την επιφάνεια του δείγματος, η ταχύτητα καθόδου, ο αριθμός των επαναλήψεων και άλλα χαρακτηριστικά.



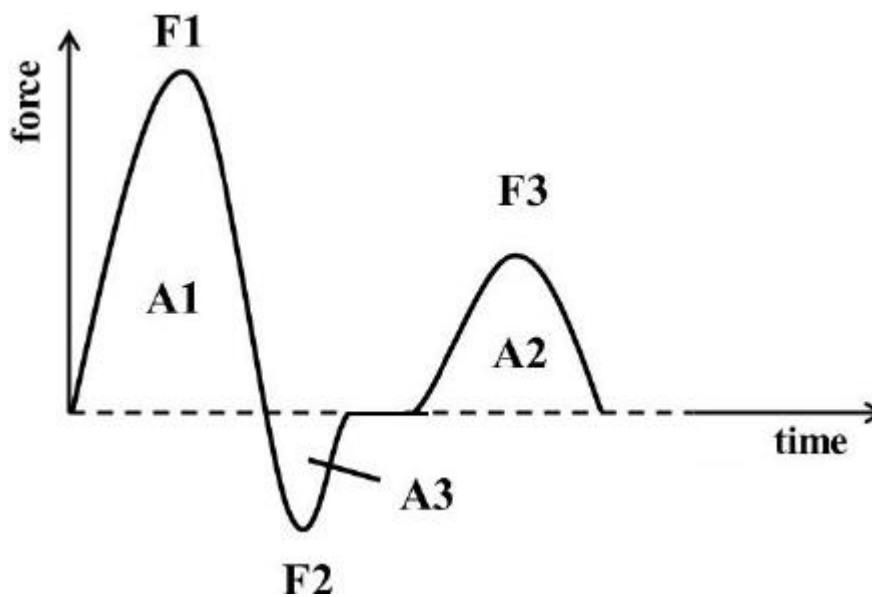
Αναλυτής υφής



Αναλυτής υφής εργαστηρίου (κατά τη διάρκεια ανάλυσης υφής μανιταριού)

Εικόνα 5.7 : Αναλυτής υφής Texture Analyser - TA.XT.Plus

Από την ανάλυση υφής κάθε δείγματος μανιταριού σχηματίζεται ένα διάγραμμα δύναμης - χρόνου από το οποίο λαμβάνονται τα αποτελέσματα. Το γράφημα που προκύπτει έχει τη μορφή που φαίνεται παρακάτω (εικόνα 4.8).



Εικόνα 5.8 : Τυπικό γράφημα ανάλυσης υφής.

Από τα γραφήματα του αναλυτή υφής προσδιορίζονται οι παρακάτω ιδιότητες για τα δείγματα:

- Ελαστικότητα (Elasticity): Το πόσο ένα συμπιεσμένο τρόφιμο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση όταν πάψει να υφίσταται το φορτίο. Η ελαστικότητα δίνεται από το λόγο των μέγιστων δυνάμεων που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου.
- Σκληρότητα (Hardness): Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται κατά τον πρώτο κύκλο μάσησης.
- Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Το συγκεκριμένο μέγεθος προσδιορίζεται από το εμβαδόν που σχηματίζεται κάτω από τον άξονα των y , ($A3$) όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.
- Προσκολλησιμότητα (Adhesiveness): Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μια επιφάνεια. Η προσκολλησιμότητα υπολογίζεται από το λόγο των θετικών εμβαδόν του δεύτερου κύκλου μάσησης προς το αντίστοιχο του πρώτου κύκλου μάσησης.

5.3.5 Μέθοδος προσδιορισμού άλατος

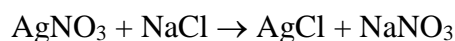
Για τον προσδιορισμό του άλατος (NaCl) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του **Mohr**.

Αντιδραστήρια – Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν:

- a) Νιτρικός άργυρος AgNO₃ 0.1N
- b) Χρωμικό κάλιο K₂CrO₄ (δείκτης)
- c) NaOH 0.1M
- d) Ποτήρια ζέσεως των 200 ml
- e) Ογκομετρικές φιάλες των 250 ml
- f) Διηθητικά χωνιά και διηθητικό χαρτί
- g) Κωνικές φιάλες των 250 ml
- h) Σιφόνια του 1 ml και των 50 ml
- i) Προχοΐδα

Πειραματική μέθοδος

Ζυγίζονται 2 g μανιταριού, κόβονται πολύ λεπτά μέχρι να αποκτήσουν τη μορφή πολτού και αραιώνονται με απεσταγμένο νερό σε ποτήρι ζέσεως στα 200 ml. Στη συνέχεια, ακολουθεί η διήθηση αυτού του διαλύματος σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml και η συμπλήρωσή του με απιονισμένο νερό έως την χαραγή. Με το σιφόνιο μεταφέρονται 50 ml διηθήματος σε κωνική φιάλη των 250 ml και προστίθεται 1 ml διαλύματος χρωμικού καλίου (δείκτη). Αμέσως μετά γίνεται η τιτλοδότηση με το διάλυμα AgNO₃ 0.1N. Το τελικό σημείο είναι η εμφάνιση μόνιμου κόκκινου χρώματος, όπου για τη διαπίστωσή του είναι απαραίτητος ο καλός φωτισμός. Ακολουθούν υπολογισμοί με βάση την αντίδραση:



5.3.6 Προσδιορισμός ολικών στερεών

Αρχή της μεθόδου

Τα δείγματα του τροφίμου θερμαίνονται σε ελεγχόμενη θερμοκρασία 70 °C σε φούρνο κενού τύπου Heraeus Instruments VT 602 (εικόνα 5.9). Η απώλεια βάρους που παρουσιάζουν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας σε αυτά. Η περιεκτικότητα σε υγρασία υπολογίζεται με τη μέτρηση της μάζας του τροφίμου πριν και μετά την απώλεια του νερού με εξάτμιση. Η μέθοδος βασίζεται στο ότι το νερό έχει χαμηλότερο σημείο ζέσεως από τα άλλα κύρια συστατικά του τροφίμου (λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και ανόργανα άλατα). Οι υψηλές θερμοκρασίες και ο χρόνος που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού, έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει την απομάκρυνση άλλων πτητικών ουσιών του τροφίμου.

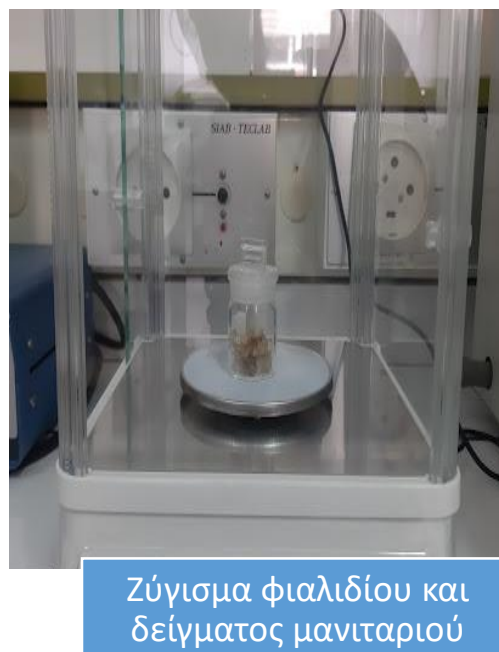


Εικόνα 5.9 : Φούρνος κενού, Heraeus Instruments VT 602

Πειραματική πορεία της μεθόδου

Ζυγίζεται μικρή ποσότητα δείγματος μανιταριού (περίπου $2 \pm 0,2$ g), σε προζυγισμένο φιαλίδιο ζυγίσεως, σε αναλυτικό ζυγό (με 3 δεκαδικά ψηφία) (εικόνα 5.10). Στη συνέχεια, όλα τα δείγματα τοποθετούνται στο φούρνο κενού (εικόνα 5.9) μέχρι σταθερού βάρους (παραμονή περίπου 24 ± 2 ώρες). Για μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα, έγιναν δύο επαναλήψεις για το κάθε δείγμα μανιταριού. Έπειτα, τα φιαλίδια με τα δείγματα μεταφέρονται μέσα στον ξηραντήρα για να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και να ζυγιστούν εκ νέου στον αναλυτικό ζυγό. Η μείωση

του βάρους οφείλεται στην απώλεια του νερού και έτσι υπολογίζεται η % περιεκτικότητα του εκάστοτε δείγματος σε νερό.



Εικόνα 5.10 : Αριστερά προζύγισμα φιαλιδίου, δεξιά ζύγισμα φιαλιδίου και δείγματος μανιταριού στον αναλυτικό ζυγό του εργαστηρίου

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

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

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

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

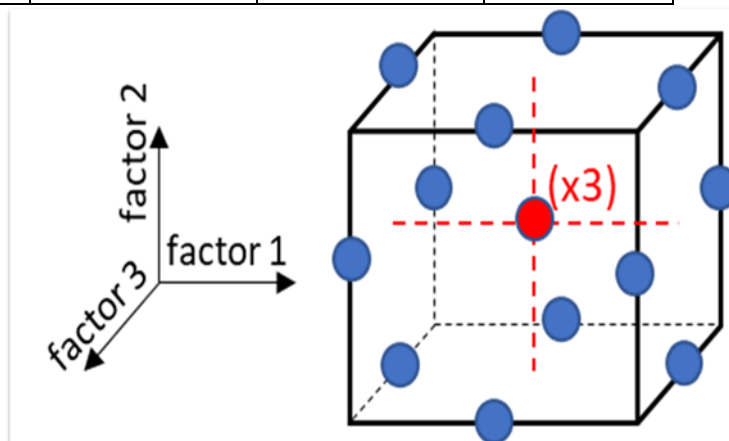
5.4 Βελτιστοποίηση ωσμωτικής αφυδάτωσης μέσω της μεθοδολογίας απόκρισης επιφανειών (Response Surface Methodology, RSM)

Η μεθοδολογία απόκρισης επιφανειών (RSM), χρησιμοποιήθηκε με σκοπό να γίνει η αξιολόγηση της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας στη μεταφορά μάζας και σε ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των μανιταριών. Η εφαρμογή αυτής της στατιστικής προσέγγισης γίνεται αρκετά συχνά για την εκτίμηση της «επιφάνειας», ή αλλιώς της μαθηματικής σχέσης μεταξύ της απόκρισης και των παραμέτρων που επηρεάζουν την τιμή της απόκρισης. Οι παράμετροι της επεξεργασίας που μελετήθηκαν σε αυτό το πείραμα είναι η συγκέντρωση της γλυκερόλης (X1), η θερμοκρασία της διεργασίας (X2) και η χρονική διάρκεια της ώσμωσης (X3), οι οποίες θεωρήθηκαν οι πιο σημαντικές παράμετροι της διαδικασίας. Για τη στατιστική αυτή μελέτη, είναι αναγκαία τρία επίπεδα τιμών που να ισαπέχουν και γι' αυτό το λόγο ως πειραματικός σχεδιασμός επιλέχθηκε ο σχεδιασμός, ο οποίος απαιτεί τη διεξαγωγή 15 σειρών πειραμάτων, όπως φαίνεται από το ακόλουθο σχήμα και το σχήμα του σχεδιασμού Box–Behnken.

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

Παράμετροι της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης	Συγκέντρωση γλυκερόλης (%)	Θερμοκρασία (°C)	OD χρόνος (min)	X ₁	X ₂	X ₃
High	50	50	120	+1	+1	+1
Center	40	40	90	0	0	0
Low	30	30	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



Εικόνα 5.12: Σχήμα πειραματικού σχεδιασμού Box–Behnken.

Για καλύτερη απεικόνιση των μεμονωμένων και συνδυασμένων επιδράσεων των ανεξάρτητων μεταβλητών στους δείκτες ποιότητας των δειγμάτων μανιταριού που μετρήθηκαν, κατασκευάστηκαν τρισδιάστατα γραφήματα όπου οι δύο ανεξάρτητες μεταβλητές αφέθηκαν να ποικίλουν εντός του εύρους που δοκιμάστηκε, ενώ η τρίτη μεταβλητή παρέμενε σταθερή και ίση με την κεντρική τιμή του πειραματικού σχεδιασμού.

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

(τιμές παραμέτρων της διεργασίας) επαληθεύτηκαν με ανεξάρτητα πειράματα
ώσμωσης σε δείγματα μανιταριού.

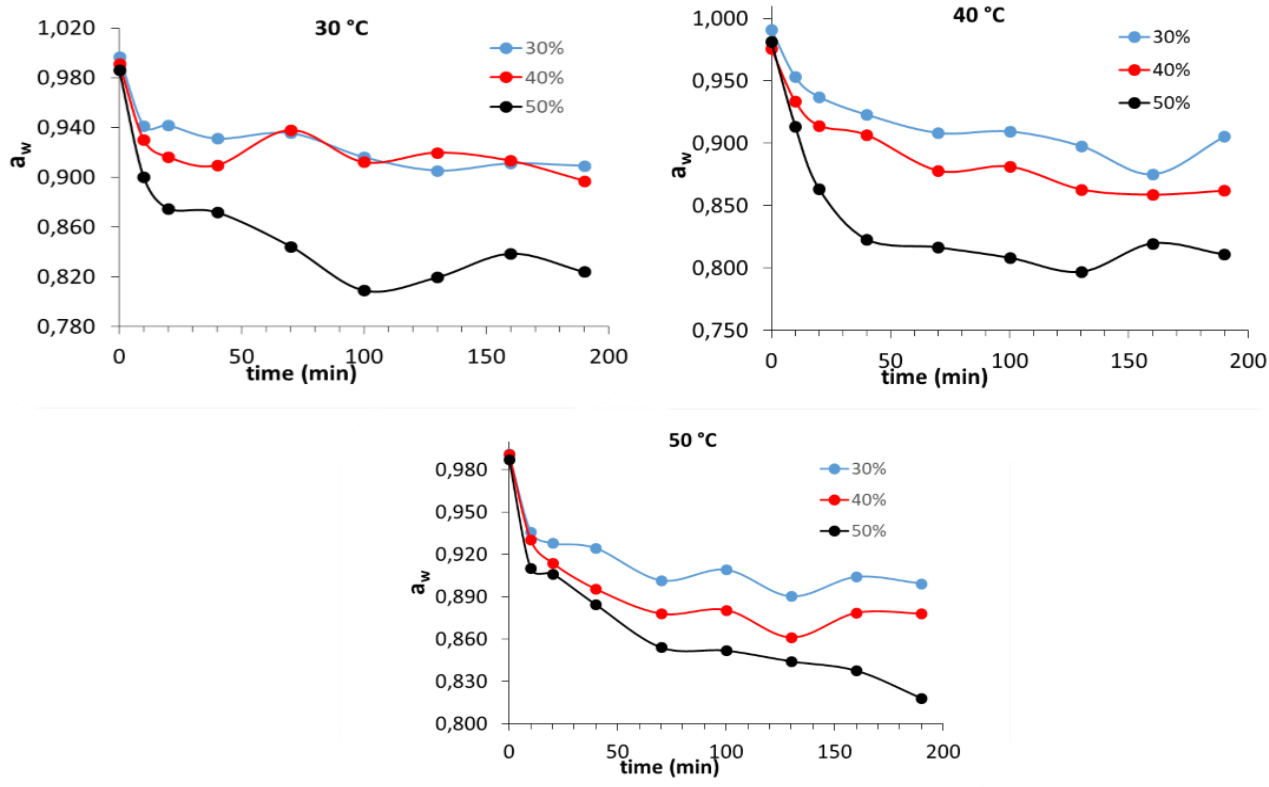
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης του μανιταριού πλευρώτους

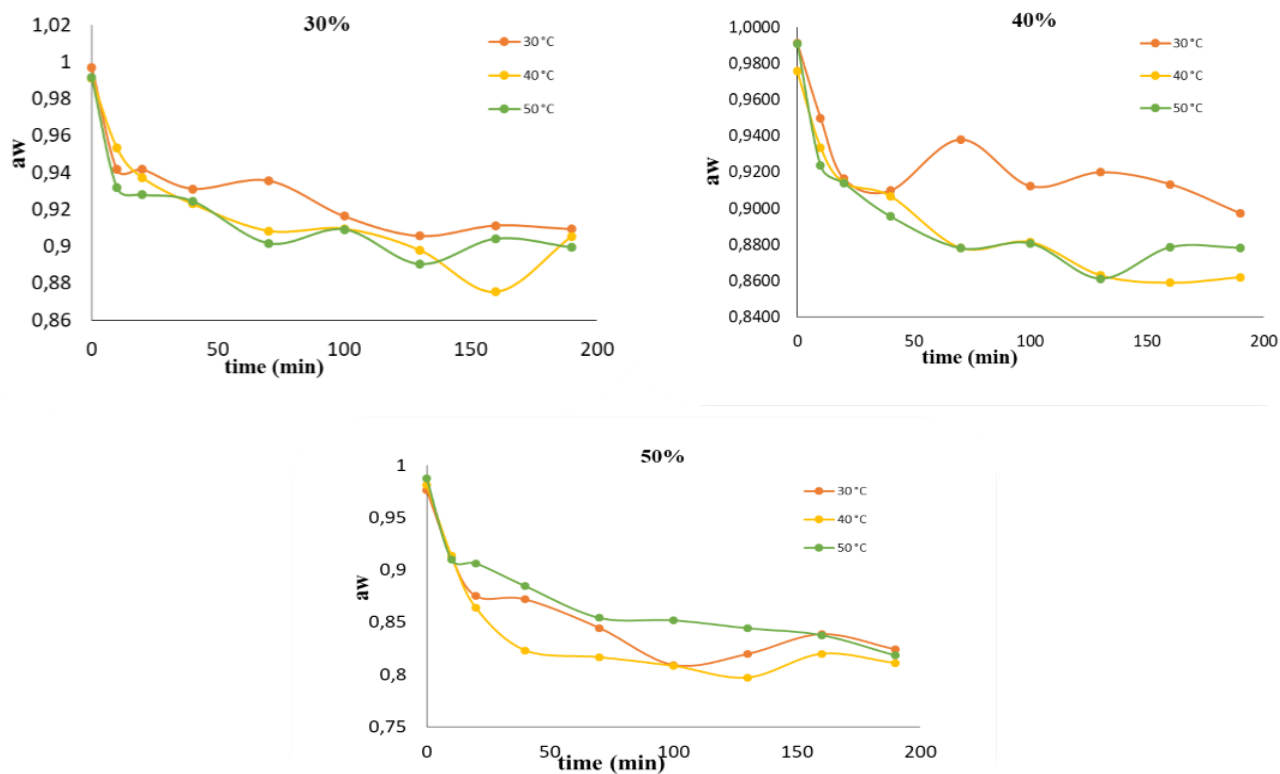
Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε πείραμα μελέτης της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια baby *Pleurotus ostreatus*. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν οι τιμές απώλειας ύδατος και πρόσληψης διαλυτών στερεών συστατικών, η μεταβολή των διαλυτών στερεών (°Brix) του ωσμωτικού διαλύματος, η μεταβολή της ενεργότητας ύδατος και η αλλαγή ποιοτικών παραμέτρων του χρώματος και της υφής (σκληρότητας) των μανιταριών. Οι κύριοι παράγοντες (συγκέντρωση της γλυκερόλης, θερμοκρασία και χρόνος) της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιδρούν στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Σκοπός αυτής της μελέτης, είναι να εκτιμηθεί ο βαθμός επιρροής αυτών των παραγόντων στα δείγματα μανιταριού, ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες συνθήκες της επεξεργασίας που θα δίνουν τα πιο επιθυμητά αποτελέσματα (προϊόν με χαμηλή ενεργότητα νερού και με καλύτερη διατήρηση χρώματος). Οι διαφορετικές συγκεντρώσεις της γλυκερόλης που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν 30, 40 και 50% κ.β., οι διαφορετικές θερμοκρασίες ήταν 30, 40 και 50 °C και η συνολική διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης ήταν 190 λεπτά.

Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν από την πειραματική μελέτη, αναλύονται παρακάτω και η μεταβολή κάθε δείγματος μανιταριού θα παρουσιαστεί με σταθερή τη συγκέντρωση του ωσμωτικού μέσου (γλυκερόλης) και με μεταβολή της θερμοκρασίας ώσμωσης και το αντίστροφο, ώστε να είναι εμφανής η κάθε επίδραση του παράγοντα ξεχωριστά.

6.1.1 Ενεργότητα ύδατος των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους



Γράφημα 6.1.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30°C,40°C και 50°C.



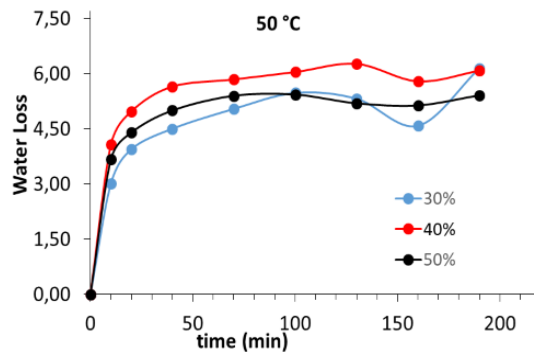
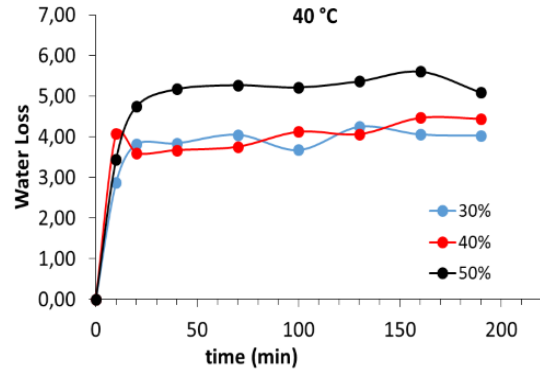
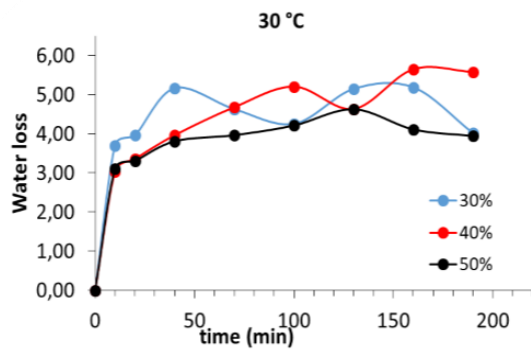
Γράφημα 6.2.: Μεταβολή της ενεργότητας ύδατος κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης 30% κ.β., 40% κ.β., και 50% κ.β.

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η ενεργότητα ύδατος μειώνεται αρκετά με την πάροδο του χρόνου σε όλα τα δείγματα μανιταριού. Στα πρώτα 10 με 20 λεπτά, σημειώνεται σε όλα τα δείγματα, ραγδαία μείωση της ενεργότητας νερού και στην πορεία συνεχίζεται η μείωση με πιο αργό ρυθμό. Από τα 130 λεπτά και έπειτα δεν υπάρχουν έντονες μεταβολές, καθώς οι τιμές σταθεροποιούνται. Το σημείο δηλαδή αυτό, των 130 λεπτών, πιάνει πλατώ. Αυτό συμβαίνει, διότι εξισορροπείται η συγκέντρωση γλυκερόλης εκατέρωθεν της μεμβράνης, οπότε δεν υπάρχει πλέον ωσμωτική διαφορά συγκέντρωσης. Επομένως, παύει να υπάρχει κινητήρια δύναμη και η ώσμωση επιβραδύνεται πολύ.

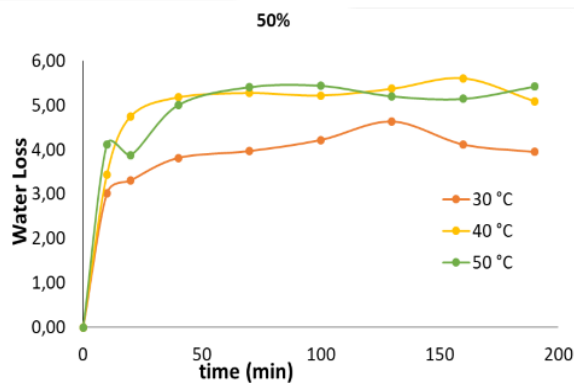
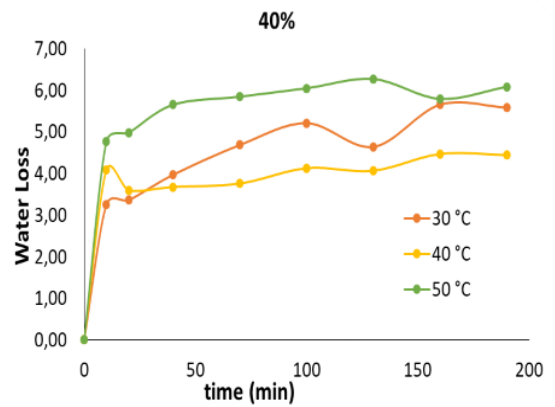
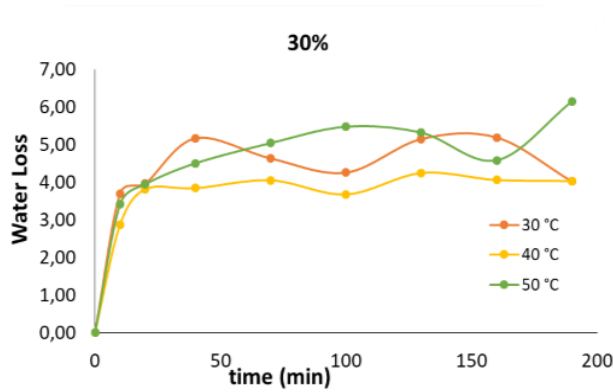
Τα δείγματα που εμφάνισαν πιο γρήγορο ρυθμό μείωσης ενεργότητας ύδατος ήταν αυτά που εμβαπτίστηκαν στις πιο έντονες συνθήκες, δηλαδή σε θερμοκρασία 50°C και συγκέντρωση γλυκερόλης 50%, ενώ τα μανιτάρια που εμβαπτίστηκαν σε θερμοκρασία 30°C και συγκέντρωση γλυκερόλης 30%, παρουσίασαν σαφώς ηπιότερη μείωση. Επομένως, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του διαλύματος σε γλυκερόλη επηρεάζουν εμφανώς την ενεργότητα ύδατος και ο ρυθμός που μειώνεται είναι μεγαλύτερος στις υψηλότερες θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις. Από τα παραπάνω διαγράμματα, φαίνεται ότι ο παράγοντας που παίζει το σημαντικότερο ρόλο είναι η θερμοκρασία, τουλάχιστον για τα εύρη των παραμέτρων που μελετήθηκαν.

Η πειραματική μελέτη των Yang και Le Maguer, 1992 συμφωνεί καθώς παρατηρήθηκε ότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις ωσμωτικού μέσου εντατικοποιείται η μεταφορά μάζας και έτσι μειώνεται η ενεργότητα ύδατος (a_w).

6.1.2 Απώλεια νερού (Water Loss, WL) των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους



Γράφημα 6.3 : Water Loss (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30°C, 40°C και 50°C.



Γράφημα 6.4 : Water Loss (απώλεια νερού) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης 30% κ.β., 40% κ.β., και 50% κ.β.

Η απώλεια νερού, παρατηρείται ότι αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου για όλα τα δείγματα μανιταριών. Η ραγδαία αύξησή της καταγράφεται στα πρώτα 10 με 20 λεπτά σε όλα τα δείγματα, ενώ στη συνέχεια η απώλεια νερού αυξάνεται με πιο αργό ρυθμό και μετά τα 130 λεπτά πιάνει πλατώ, δηλαδή σταθεροποιείται. Γεγονός που οφείλεται στην εξισορρόπηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης εκατέρωθεν της μεμβράνης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πλέον ωσμωτική διαφορά συγκέντρωσης. Επομένως, παύει να υφίσταται κινητήρια δύναμη και η ώσμωση επιβραδύνεται πολύ. Η πειραματική μελέτη των Mehta et al., 2013 εμφανίζει κι εκείνη αρκετά μεγάλη αύξηση στην απώλεια νερού στους αρχικούς χρόνους της ώσμωσης και στην πορεία μείωση του ρυθμού απώλειας. Αυτή η απότομη μεταβολή μεταφοράς μάζας οφείλεται στην έντονη πίεση που δέχεται το νωπό προϊόν από το υπερτονικό ωσμωτικό διάλυμα στην αρχή της επεξεργασίας.

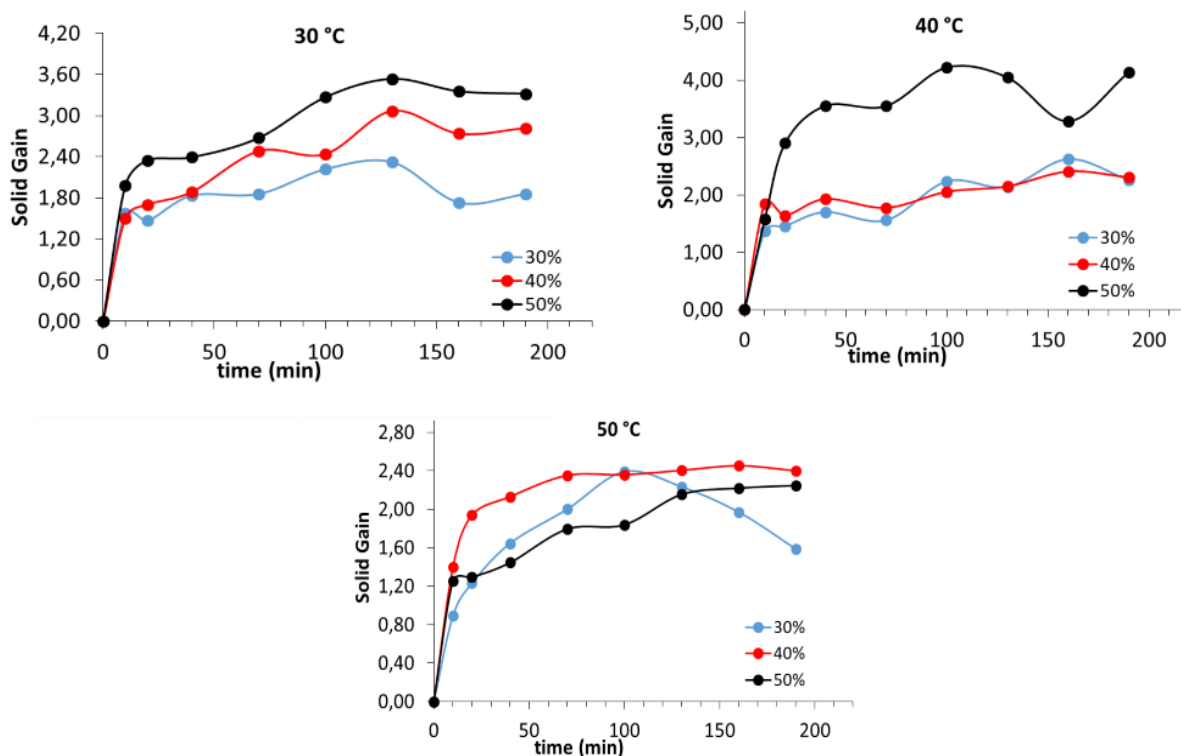
Στα παραπάνω διαγράμματα είναι φανερό ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η απώλεια του νερού του μανιταριού. Στην μελέτη των Mehta et al., 2013 παρατηρήθηκε ότι στις πιο υψηλές θερμοκρασίες, ο ρυθμός απώλειας νερού είναι μεγαλύτερος. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της μείωσης του ιξώδους του ωσμωτικού μέσου και της τροποποίησης (διόγκωσης και πλαστικοποίησης) των κυτταρικών μεμβρανών.

Αξιοσημείωτο και μη αναμενόμενο είναι ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου στο 50% σε θερμοκρασία 50 °C, παρατηρείται μικρότερη απώλεια νερού στα μανιτάρια σε σχέση με τα μανιτάρια που επεξεργάζονται σε χαμηλότερη συγκέντρωση. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο υψηλό ποσοστό συγκέντρωσης της γλυκερόλης, διότι όπως προαναφέρθηκε και γενικά γνωρίζουμε η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας λόγω του χαμηλού ιξώδους του διαλύματος και της διαπερατότητας των κυτταρικών μεμβρανών. Γενικότερα, οι περισσότερες πειραματικές μελέτες συμφωνούν με το ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος, επιφέρει αυξημένη απώλεια νερού (Şurup et al., 2020; Abraão et al., 2013; Ays e Ispir and Inci Türk To ğrul, 2009; Mehta et al., 2013)

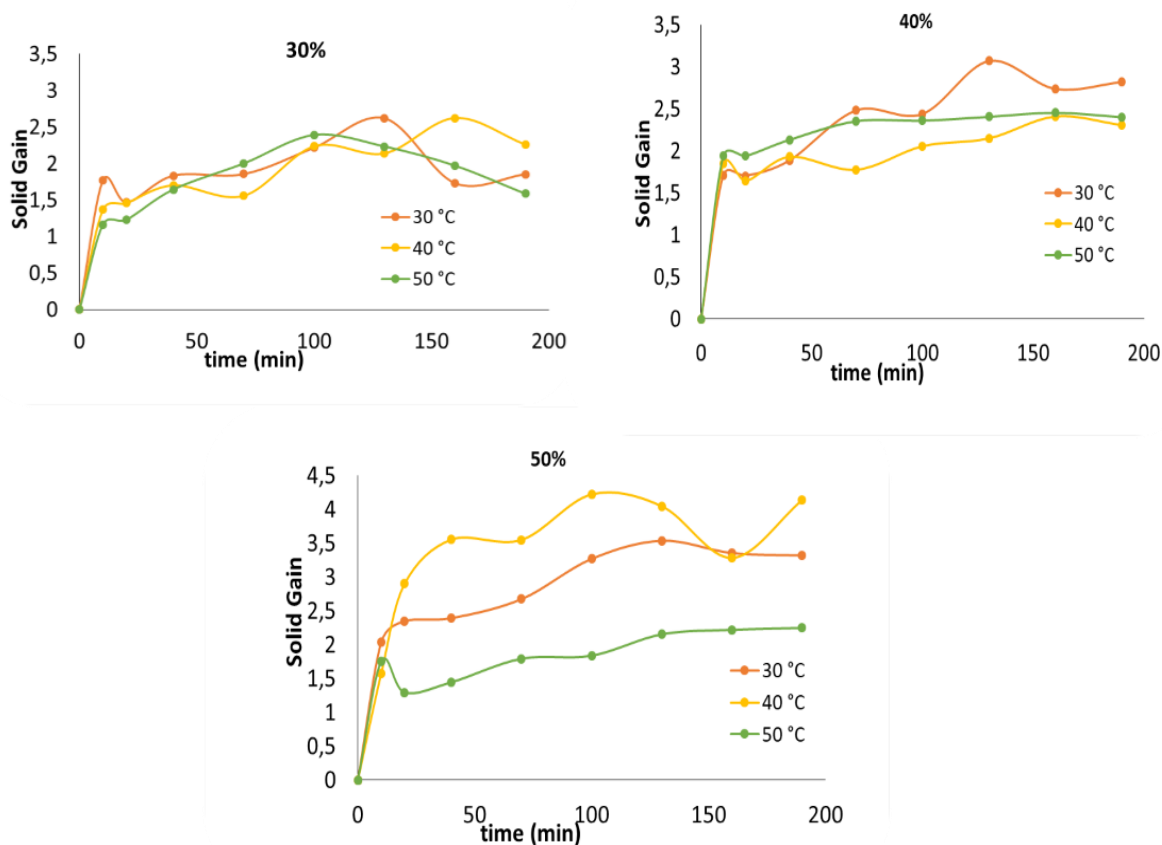
Ωστόσο, η έρευνα των Mavroudis et al., 1998 έδειξε ότι η χρήση αρκετά συμπυκνωμένων διαλυμάτων με υψηλό ιξώδες θα προκαλέσει έντονη επίπλευση των

κομματιών τροφίμου στην επιφάνεια του διαλύματος. Με αυτόν τον τρόπο παρεμποδίζεται η επαφή μεταξύ του υλικού του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος, επιφέροντας λοιπόν μείωση του ρυθμού μεταφοράς μάζας. Επίσης, σύμφωνα με τον Phisut, η υψηλή συγκέντρωση διαλύματος σακχάρων μπορεί να προκαλέσει σκλήρυνση του περιβλήματος του τροφίμου λόγω της συσσώρευσης των σακχάρων στην επιφάνειά του και έτσι να επιφέρει μείωση στο ρυθμό μεταφοράς μάζας. Επομένως, η μικρότερη απώλεια νερού που παρατηρήθηκε στο πείραμα είναι πολύ πιθανόν να οφείλεται στην η υψηλή συγκέντρωση της γλυκερόλης.

6.1.3 Πρόσληψη διαλυτών στερεών συστατικών (Solid Gain, SG) των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους



Γράφημα 6.5 : Solid Gain (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30°C, 40°C και 50°C.



Γράφημα 6.6 : Solid Gain (πρόσληψη στερεών) κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης 30% κ.β., 40% κ.β. και 50% κ.β.

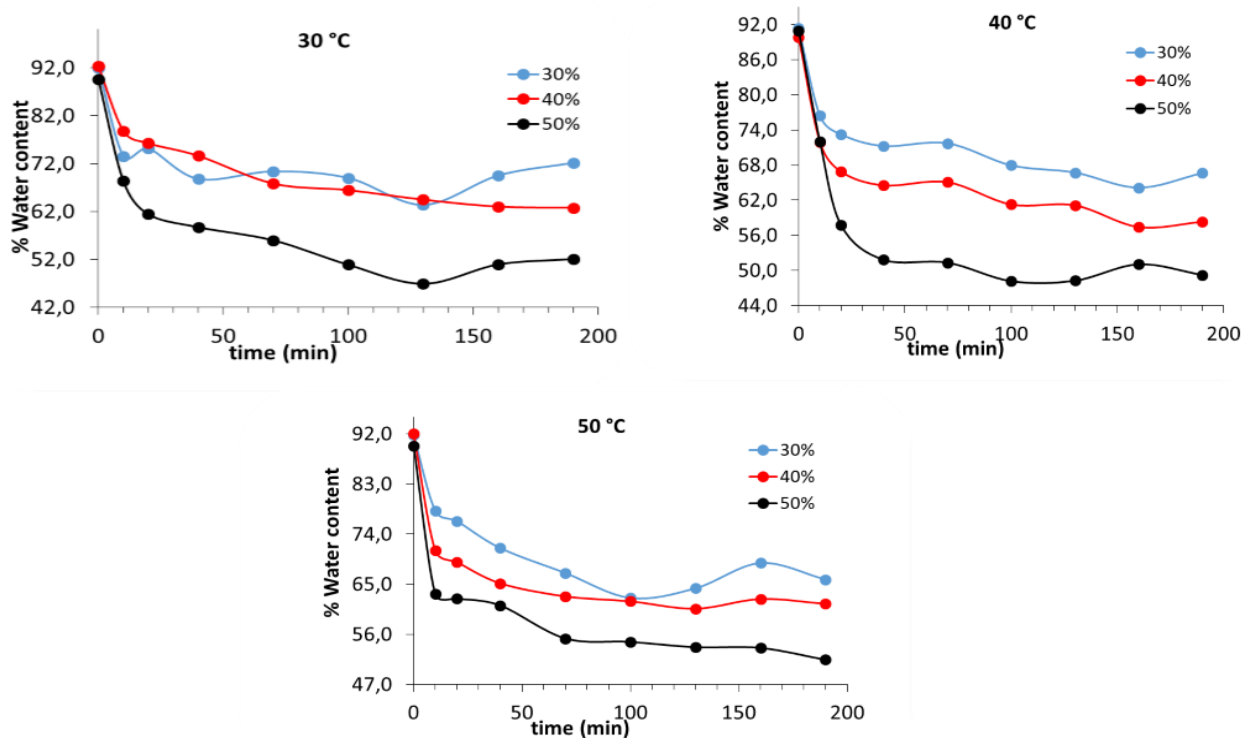
Σε όλα τα παραπάνω διαγράμματα, διακρίνεται ότι με το πέρασμα του χρόνου, αυξάνεται η πρόσληψη διαλυτών στερεών συστατικών στο εσωτερικό των μανιταριών πλευρώτους. Στα πρώτα 10 με 20 λεπτά, παρατηρήθηκε ραγδαίος ρυθμός αύξησης της προσθήκης στερεών και έπειτα ακολούθησε πιο αργός ρυθμός σε όλα τα δείγματα. Από τα 130 λεπτά και έπειτα δεν υπάρχουν έντονες μεταβολές, καθώς οι τιμές σταθεροποιούνται. Το σημείο δηλαδή αυτό, των 130 λεπτών, πιάνει πλατώ. Αυτό συμβαίνει, διότι εξισορροπείται η συγκέντρωση γλυκερόλης εκατέρωθεν της μεμβράνης, οπότε δεν υπάρχει πλέον ωσμωτική διαφορά συγκέντρωσης. Άρα, παύει να υπάρχει κινητήρια δύναμη και η ώσμωση επιβραδύνεται αρκετά.

Παρατηρείται ότι, γενικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης, η πρόσληψη στερεών στα μανιτάρια αυξάνεται. Πιο συγκεκριμένα όμως, η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 30 στους 50 °C έδειξε ότι έχει μικρότερη επίδραση στο ρυθμό της πρόσληψης των στερεών, κάτι το οποίο δεν είναι αναμενόμενο, διότι όπως

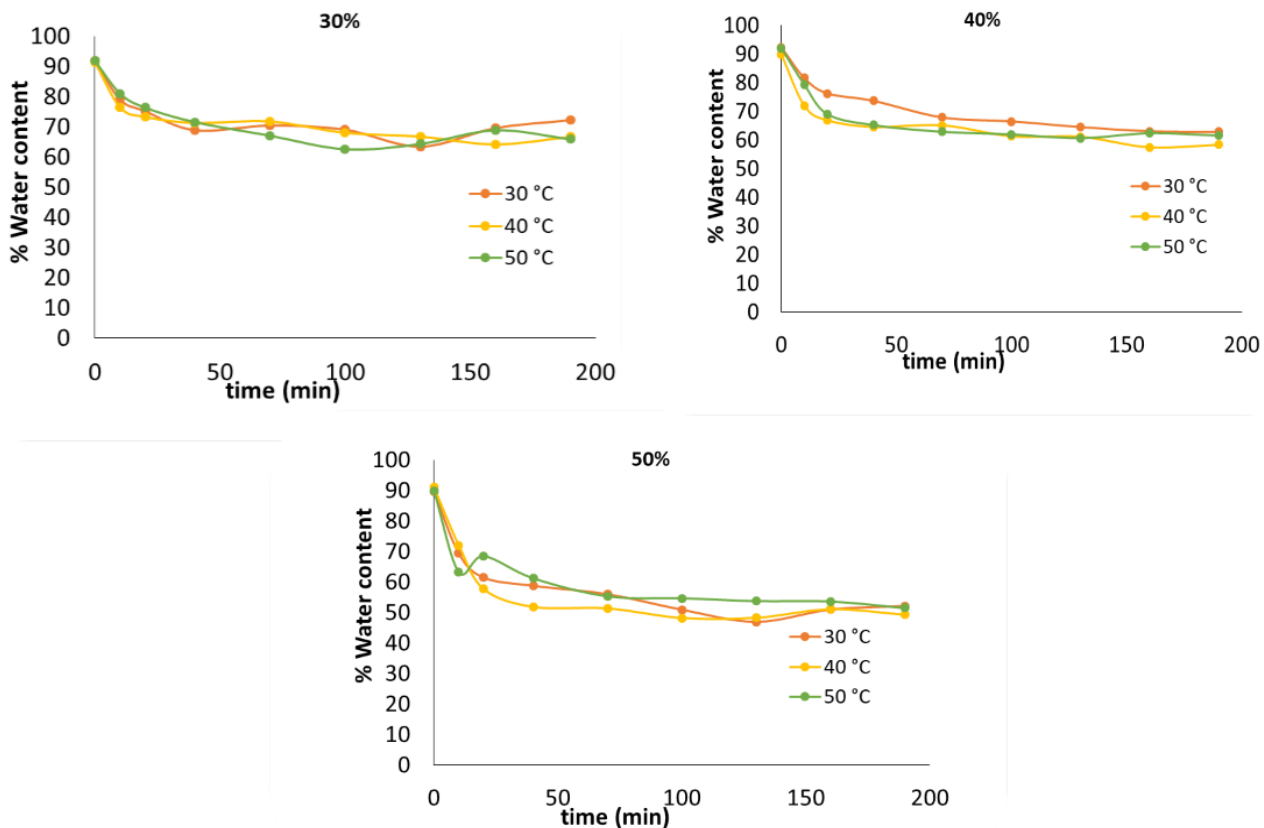
αναφέρθηκε και παραπάνω η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί τη μεταφορά μάζας. Από την άλλη πλευρά, με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος γλυκερόλης σημειώνεται αύξηση στην πρόσληψη των στερεών, πιθανώς λόγω της αυξημένης οσμωτικής πίεσης. Η μελέτη των Mehta et al., 2013 συμφωνεί με αυτά τα αποτελέσματα και παρατηρεί ότι η συγκέντρωση ακολουθούμενη από το χρόνο της διεργασίας, είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρέασαν την πρόσληψη στερεών, σε σύγκριση με τη θερμοκρασία που ήταν λιγότερο αποτελεσματική. Η πειραματική μελέτη των Ays, İspir and İnci Türk To ğrul, 2009, δείχνει κι εκείνη ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του οσμωτικού μέσου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πρόσληψης των στερεών.

Ωστόσο αξιοσημείωτο και μη αναμενόμενο είναι ότι στη θερμοκρασία των 50 °C, η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος γλυκερόλης στο 50%, εμφανίζει στα μανιτάρια μικρότερη πρόσληψη στερεών σε αντίθεση με τα επεξεργασμένα μανιτάρια μικρότερης συγκέντρωσης. Αυτό το αποτέλεσμα λογικά προκύπτει από το μεγάλο ποσοστό της συγκέντρωσης του οσμωτικού μέσου. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο της απώλειας ύδατος, η έρευνα Manroudīs et al., 1998 έδειξε ότι η χρήση αρκετά συμπυκνωμένων διαλυμάτων με υψηλό ιξώδες θα προκαλέσει έντονη επίπλευση των κομματιών τροφίμου στην επιφάνεια του διαλύματος. Με αυτόν τον τρόπο παρεμποδίζεται η επαφή μεταξύ του υλικού του τροφίμου και του οσμωτικού διαλύματος, επιφέροντας λοιπόν μείωση του ρυθμού μεταφοράς μάζας. Επίσης, σύμφωνα με τον Phisut, η υψηλή συγκέντρωση διαλύματος σακχάρων μπορεί να προκαλέσει σκλήρυνση του περιβλήματος του τροφίμου λόγω της συσσώρευσης των σακχάρων στην επιφάνειά του και έτσι να επιφέρει μείωση στο ρυθμό μεταφοράς μάζας. Ακόμη, είναι γνωστό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει τη δυνατότητα να μειώνει το ιξώδες του οσμωτικού μέσου και να ενισχύει τη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών, γεγονός που ευνοεί τη μεταφορά μάζας. Επομένως, η μικρότερη πρόσληψη στερεών που παρατηρήθηκε στο πείραμα το πιο πιθανό είναι να οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση της γλυκερόλης.

6.1.4 Υγρασία των δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους



Γράφημα 6.7 : Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30°C, 40°C και 50°C



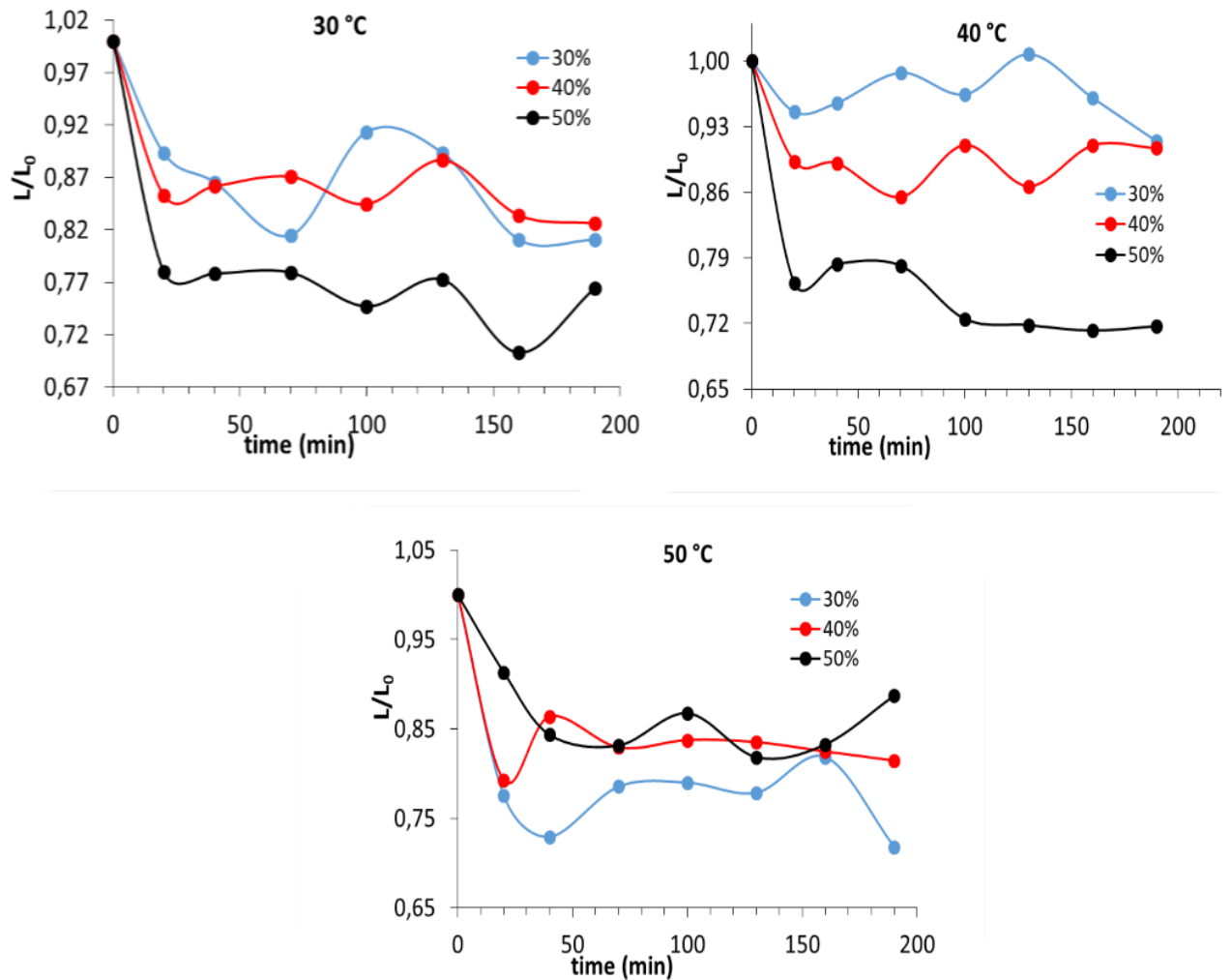
Γράφημα 6.8 : Μεταβολή της υγρασίας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διαφορετικές θερμοκρασίες και σε διάλυμα γλυκερόλης 30% κ.β., 40% κ.β., και 50% κ.β.

Από τα παραπάνω γραφήματα, παρατηρείται ότι τα διαγράμματα της επίδρασης της αύξησης της θερμοκρασίας (γράφημα 6.8) δεν εμφάνισαν αξιοσημείωτη διαφορά στα αποτελέσματα της περιεκτικότητας υγρασίας μανιταριών διότι, οι τιμές που προέκυψαν με την πάροδο του χρόνου, ήταν αρκετά κοντινές. Από την άλλη πλευρά, τα διαγράμματα της επίδρασης της αύξησης της συγκέντρωσης γλυκερόλης (γράφημα 6.7) έδειξαν ότι ο παράγοντας αυτός επηρεάζει σημαντικά την περιεκτικότητα υγρασίας των μανιταριών. Πιο αναλυτικά, με την πάροδο του χρόνου παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης μείωσε σε σημαντικό ποσοστό την περιεκτικότητα υγρασίας των μανιταριών. Ραγδαία μείωση της υγρασίας, σημειώθηκε στα πρώτα 10 με 20 λεπτά και ύστερα ακολούθησε μείωση με πιο αργό ρυθμό. Στη συνέχεια, το χρονικό σημείο των 100 λεπτών πιάνει πλατώ, δηλαδή εξισορροπείται η συγκέντρωση γλυκερόλης εκατέρωθεν της μεμβράνης, οπότε δεν υπάρχει πλέον ωσμωτική διαφορά συγκέντρωσης. Επομένως, παύει να υπάρχει κινητήρια δύναμη και η ώσμωση επιβραδύνεται αρκετά. Τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης 50% εμφάνισαν τη μεγαλύτερη μείωση στην υγρασία τους και στις τρεις θερμοκρασίες της διεργασίας, σε σύγκριση με τα μανιτάρια που εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα 30 και 40%, τα οποία εμφάνισαν μικρότερη μείωση. Τα διαγράμματα αυτών των αποτελεσμάτων, παρουσιάζουν ίδια μορφή με τα διαγράμματα των τιμών της a_w .

Η πειραματική μελέτη των Pan et al., 2003 έδειξε κι εκείνη ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου, επηρεάζει την περιεκτικότητα υγρασίας των δειγμάτων. Κατά την εμβάπτιση των δειγμάτων στην πιο υψηλή συγκέντρωση του διαλύματος, σημειώθηκε η χαμηλότερη τιμή περιεκτικότητας υγρασίας. Επιπλέον αναφέρουν, ότι η παράμετρος της θερμοκρασίας του διαλύματος κατά την διάρκεια της ώσμωσης δεν επιφέρει ουσιαστικές μεταβολές στα δείγματα.

6.1.5 Μεταβολή του χρώματος μανιταριού πλευρώτους

6.1.5.1 Σχετική μεταβολή της φωτεινότητας



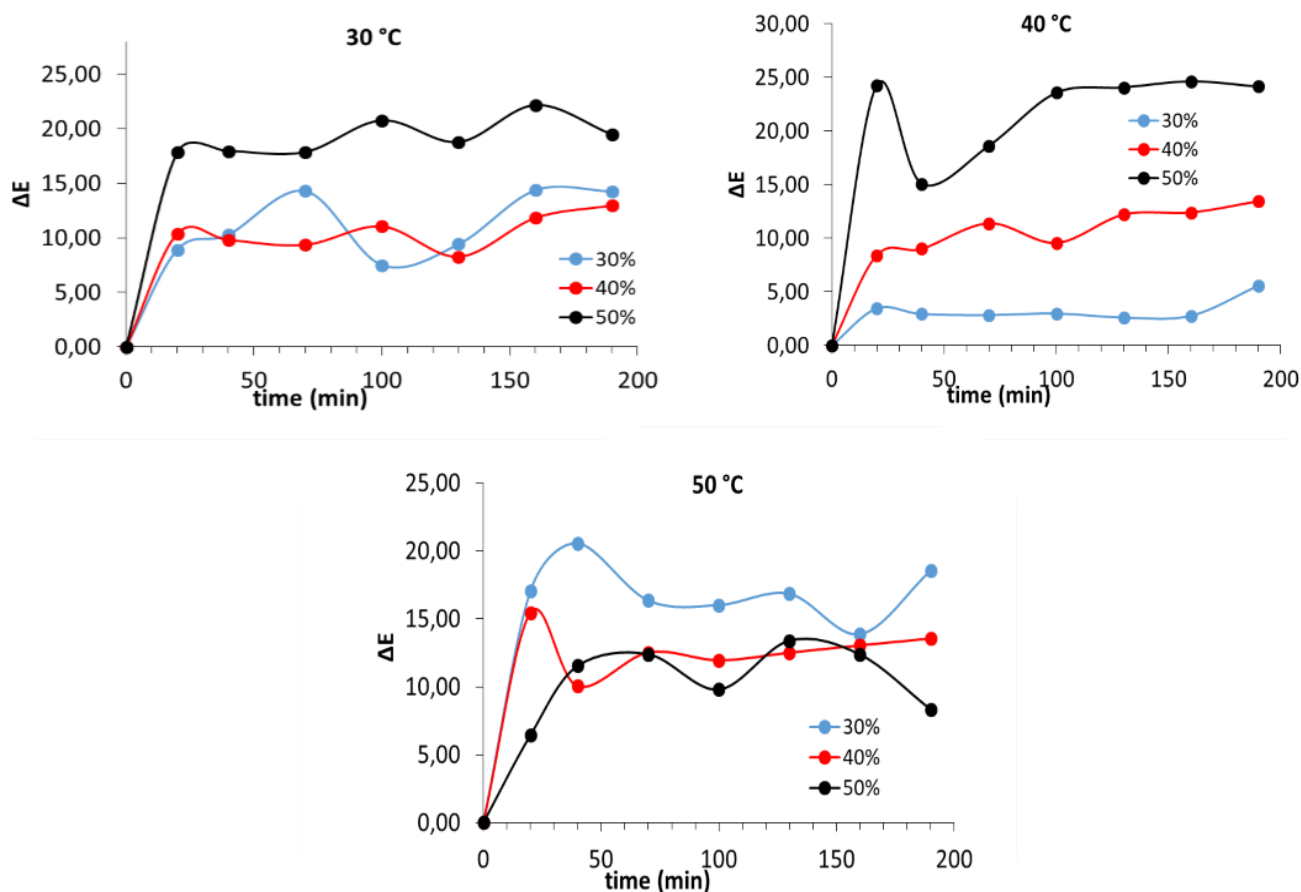
Γράφημα 6.9 : Μεταβολή της φωτεινότητας κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30°C, 40°C και 50°C.

Στα παραπάνω διαγράμματα, απεικονίζεται η μεταβολή της φωτεινότητας των επεξεργασμένων δειγμάτων μανιταριών, συγκριτικά με την αρχική φωτεινότητα των νωπών δειγμάτων (L/L_0). Με την πάροδο του χρόνου, παρατηρείται ότι η φωτεινότητα στα περισσότερα δείγματα μειώνεται, ενώ σε κάποια παραμένει σταθερή. Ωστόσο, είναι φανερό ότι αρκετά από τα δείγματα παρουσιάζουν έντονες αυξομειώσεις, οι οποίες είναι αρκετά πιθανό να οφείλονται στην μεγάλη ανομοιομορφία της πρώτης ύλης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η φωτεινότητα των

επεξεργασμένων μανιταριών, δεν μπορεί να συσχετιστεί με τη συγκέντρωση της γλυκερόλης και το χρόνο.

Ο παράγοντας της θερμοκρασίας δεν επηρέασε τη φωτεινότητα των δειγμάτων, διότι οι τιμές της με την πάροδο του χρόνου ήταν αρκετά κοντινές. Δεν παρουσιάστηκε γράφημα για αυτή την παράμετρο, διότι δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική μεταβολή.

6.1.5.2 Μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ



Γράφημα 6.10.: Μεταβολή του συνολικού χρώματος (ΔΕ) κατά τη διεργασία της οσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30°C, 40°C και 50°C.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, είναι φανερό ότι τα δείγματα μανιταριών εμφανίζουν έντονη μεταβολή στο συνολικό τους χρώμα κατά την επεξεργασία της οσμωτικής

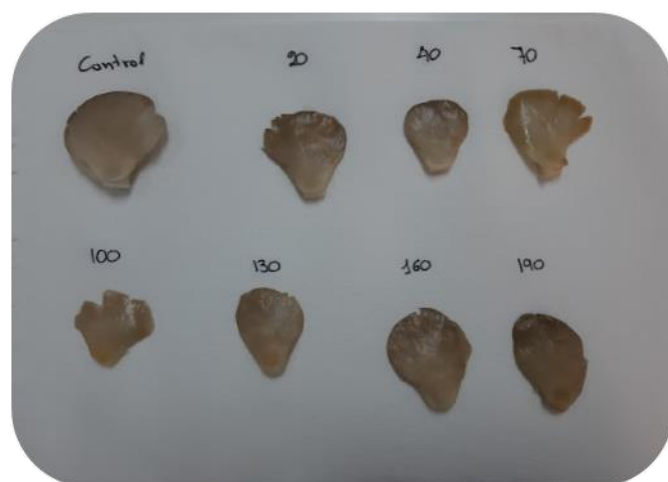
αφυδάτωσης. Πιο αναλυτικά, καθώς η απόχρωση των ωσμομένων μανιταριών αρχίζει να μεταβάλλεται αποκτά σιγά σιγά μια καφετί χροιά. Παρ' όλ' αυτά, λόγω των έντονων αυξομειώσεων στις τιμές αυτής της μεταβολής, δεν είναι εφικτό να παρατηρηθεί συγκεκριμένη επιρροή του παράγοντα της συγκέντρωσης γλυκερόλης κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διεργασίας. Το ίδιο συμβαίνει και στην μεταβολή της φωτεινότητας όπως προαναφέρθηκε. Άρα, η πρώτη ύλη που έχει κυρίαρχο ρόλο, ήταν αρκετά ανομοιόμορφη.

Ο παράγοντας της θερμοκρασίας δεν επηρέασε τη μεταβολή του συνολικού χρώματος των δειγμάτων, διότι οι τιμές της με την πάροδο του χρόνου ήταν αρκετά κοντινές. Δεν παρουσιάστηκε γράφημα για αυτή την παράμετρο, διότι δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική μεταβολή.

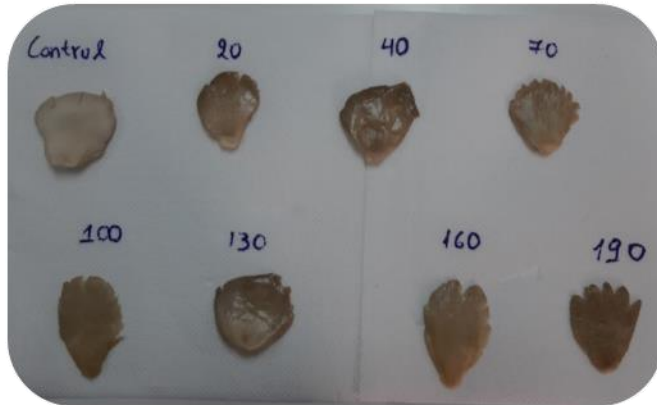
Μια σειρά φωτογραφιών των δειγμάτων μανιταριών θα επιβεβαιώσει αυτά τα αποτελέσματα της μέτρησης όλων των παραμέτρων (L,a,b) κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.



5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 30%
Glycerol, 30°C



5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 30%
Glycerol, 40°C



5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 30% Glycerol, 50°C



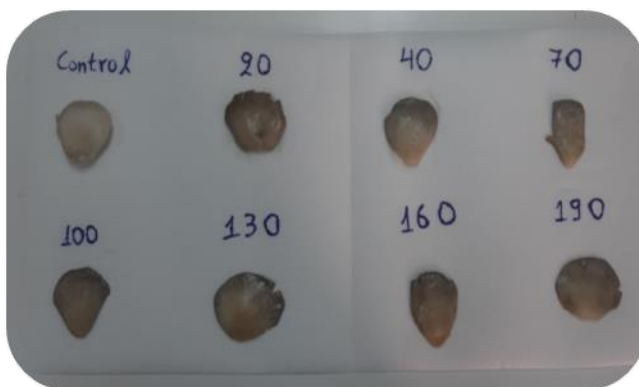
5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 40% Glycerol, 30°C



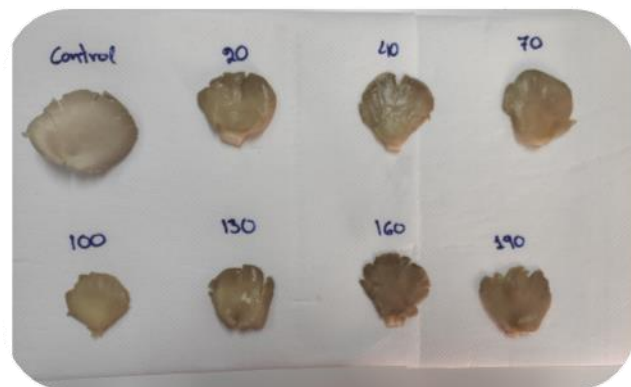
5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 40% Glycerol, 40°C



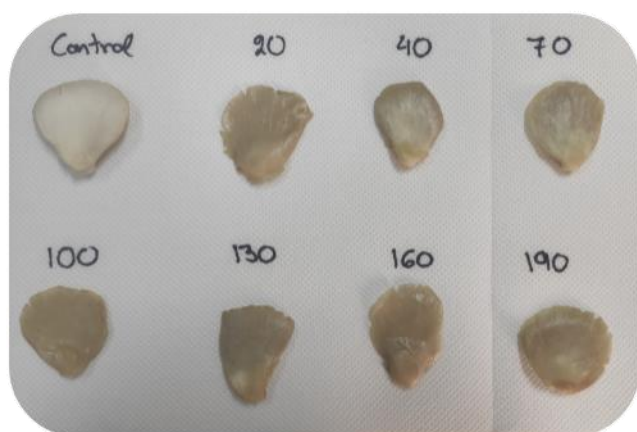
5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 40% Glycerol, 40°C



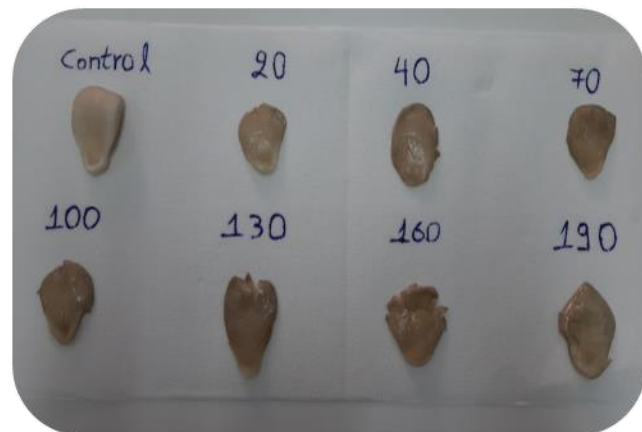
5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 40% Glycerol, 50°C



5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 50% Glycerol, 30°C



5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 50% Glycerol, 40°C



5% NaCl, 1,5% CaCl₂, 50% Glycerol, 50°C

Γράφημα 6.11 : Φωτογραφίες δειγμάτων μανιταριού πλευρώτους, επεξεργασμένα στις διαφορετικές συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης που έλαβαν μέρος στην πειραματική μελέτη.

6.1.6 Μεταβολή της υφής του μανιταριού πλευρώτους

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση μετρήθηκε η μεταβολή της σκληρότητας (f/f_0) των επεξεργασμένων δειγμάτων σε σχέση με τα νωπά δείγματα στο χρόνο μηδέν του πειράματος. Όπως προκύπτει στη μεταβολή του χρώματος παραπάνω, έτσι και στην υφή δεν είναι εφικτό να ερμηνευτεί η επιρροή των παραγόντων της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας. Οι τιμές της μεταβολής υφής εμφάνισαν πολλές αυξομειώσεις και γι' αυτό το λόγο, δεν παρουσιάστηκαν σε μορφή γραφήματος αλλά σε μορφή πίνακα.

Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί από τα παρακάτω αποτελέσματα, είναι ότι και στις τρεις θερμοκρασίες που υπέστησαν τα μανιτάρια από τη διεργασία της ώσμωσης, εμφάνισαν μείωση στη σκληρότητά τους. Η μείωση αυτή, ενδεχομένως να σχετίζεται με τη ρήξη κυτταρικών τοιχωμάτων κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, εξαιτίας του υπερτονικού ωσμωτικού μέσου (Fei et al., 2018).

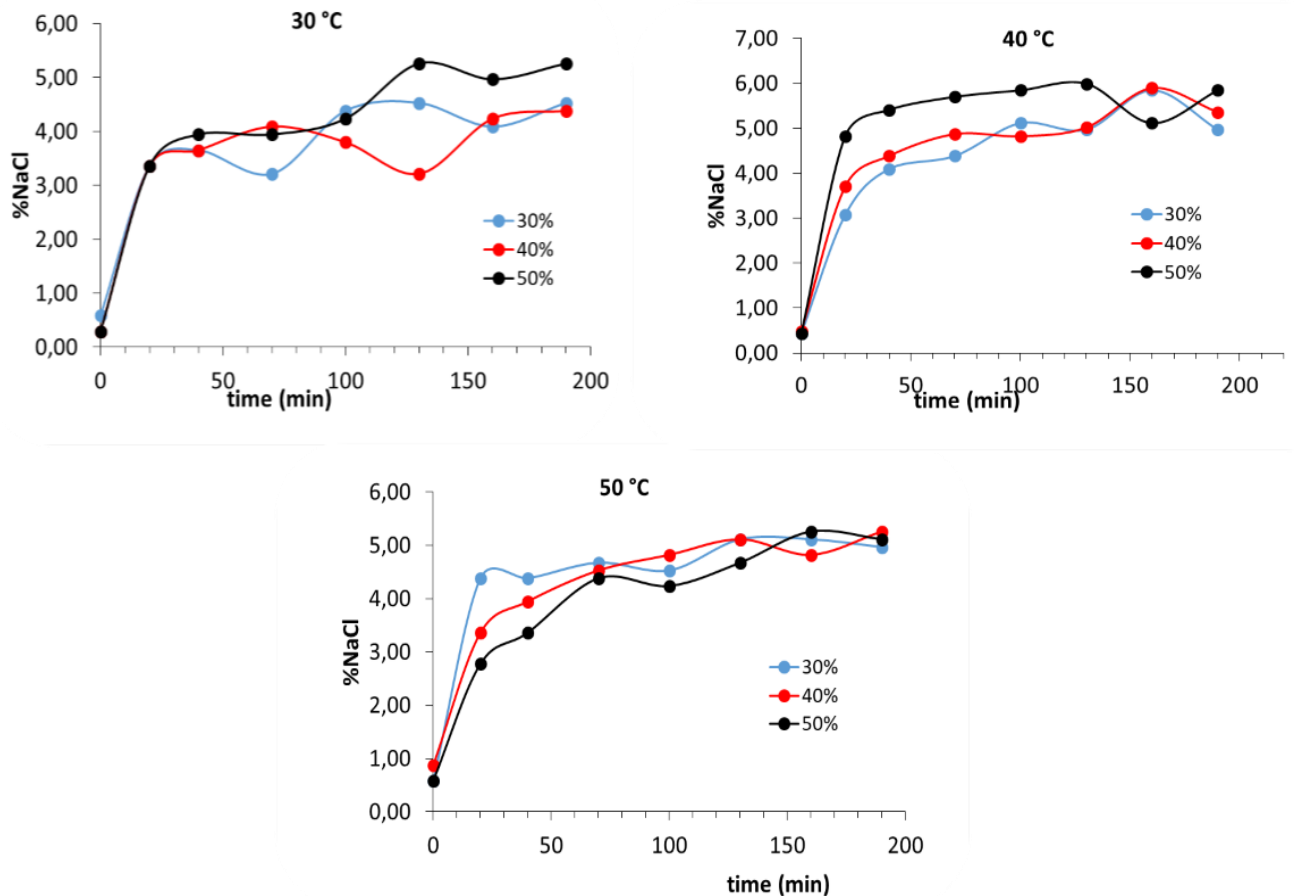
Πίνακας 6.1 : Μεταβολή της σκληρότητας των ωσμομένων δειγμάτων μανιταριού σε θερμοκρασίες 30, 40 και 50°C.

Temperature	Concentration (%glycerol)	time (min)	f/f ₀
30°C	30	0	1.00
		20	0.65
		40	0.31
		70	0.30
		100	0.29
		130	0.24
	40	0	1.00
		20	0.48
		40	0.49
		70	0.46
		100	0.45
		130	0.63
50	0	1.00	
	20	0.93	
	40	0.99	
	70	0.84	
	100	0.66	
	130	0.68	
		160	0.59
		190	0.99

Temperature	Concentration (%glycerol)	time (min)	f/f ₀
40°C	30	0	1.00
		20	0.75
		40	0.46
		70	0.60
		100	0.18
		130	0.37
	40	0	1.00
		20	0.72
		40	0.91
		70	0.68
		100	0.84
		130	0.82
50	0	1.00	
	20	0.82	
	40	0.82	
	70	0.58	
	100	0.77	
	130	0.49	
		160	0.95
		190	0.76

Temperature	Concentration (%glycerol)	time (min)	f/f ₀
50°C	30	0	1.00
		20	0.95
		40	0.46
		70	0.41
		100	0.34
		130	0.72
	40	0	1.00
		20	0.99
		40	0.93
		70	0.76
		100	0.74
		130	0.41
50	0	1.00	
	20	0.50	
	40	0.63	
	70	0.72	
	100	0.29	
	130	0.55	
		160	0.36
		190	0.59

6.1.7 Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι του μανιταριού πλευρώτους



Γράφημα 6.12 : Μεταβολή της περιεκτικότητας σε αλάτι κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων σε διάλυμα γλυκερόλης διαφορετικών συγκεντρώσεων και σε θερμοκρασία 30, 40 και 50°C.

Στα παραπάνω διαγράμματα, διακρίνεται ότι η περιεκτικότητα των μανιταριών σε αλάτι σημειώνει μια ανοδική πορεία με την πάροδο του χρόνου. Στα πρώτα 20 λεπτά του πειράματος, παρατηρείται και στις τρεις θερμοκρασίες ραγδαία αύξηση, ενώ στη συνέχεια η περιεκτικότητα σε αλάτι τείνει να αποκτήσει μια σταθερή τιμή. Επίσης, είναι φανερό ότι η αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης, δεν επηρέασε την απορρόφηση του αλατος στα δείγματα μανιταριών, διότι οι τιμές που προέκυψαν είναι πολύ κοντινές. Ακόμη, παρατηρείται ότι τα δείγματα που ωσμήθηκαν στους 30 °C εμφάνισαν μια ελαφρώς μικρότερη πρόσληψη αλατιού σε σύγκριση με εκείνα που ωσμήθηκαν στους 40 και 50 °C.

Το γράφημα που παρουσιάζει τη μεταβολή της περιεκτικότητας αλατος σε διαφορετικές θερμοκρασίες και ίδια συγκέντρωση ήταν της ίδιας μορφής με το παραπάνω.

6.2 Βελτιστοποίηση διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης μανιταριού πλευρώτους με βάση τη μεθοδολογία RSM και χρήση του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken

Μέσω της μεθοδολογίας RSM και του πειραματικού σχεδιασμού Box-Behnken, προέκυψαν οι πολυωνμικές εξισώσεις β' βαθμού (οι συντελεστές των εξισώσεων παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα), με βάση τις οποίες μπορεί να γίνει πρόβλεψη των διαφόρων παραμέτρων μεταφοράς μάζας και ποιοτικής υποβάθμισης των μανιταριών. Με βάση τις εξισώσεις αυτές, αλλά και τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας, όπως η ελαχιστοποίηση της ενεργότητας ύδατος και η μέγιστη διατήρηση χρώματος (μέσω της διατήρησης της φωτεινότητας και ελαχιστοποίησης της μεταβολής του συνολικού χρώματος) εκτιμήθηκε ο κατάλληλος συνδυασμός των παραμέτρων της διεργασίας, που ήταν η θερμοκρασία των 38,7 °C, με συγκέντρωση γλυκερόλης 30 %, και διάρκεια ώσμωσης τα 130 min. Για την υλοποίηση της βελτιστοποίησης, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία των επιφανειών απόκρισης (RSM) σε συνδυασμό με τις επιλεγμένες συναρτήσεις επιθυμητού αποτελέσματος (Desirability functions). Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πείραμα επαλήθευσης σε αυτές τις συνθήκες, προκειμένου να είναι εφικτή η σύγκριση θεωρητικών (προβλεπομένων) και πειραματικών αποτελεσμάτων, ώστε (μεταξύ άλλων) να είναι εφικτή η αξιολόγηση των θεωρητικών εξισώσεων. Στον παρακάτω πίνακα, αναγράφονται τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος επαλήθευσης.

Πίνακας 6.2 : 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/Lo	ΔΕ	% NaCl	f/fo
a₀	1.259	15.20	-1.34	19.21	103.6	0.309	24.6	- 9.22	- 6.02
a₁	- 0.02306	- 0.645	0.183	0.098	- 1.831	0.0161	0.37	0.742	0.1192
a₂	0.00949	- 0.034	- 0.149	0.337	1.797	0.0033	- 0.62	- 0.126	0.2075
a₃	0.00005	0.0226	0.0441	- 0.1596	- 0.410	0.00606	- 0.364	0.0105	- 0.0015
a₁ 1	0.000193	0.00829	- 0.00055	- 0.00289	0.0097	- 0.000379	0.0100	- 0.00778	- 0.000856
a₂ 2	- 0.000228	0.00018	0.00386	0.00377	- 0.0402	- 0.000245	0.0251	0.00293	- 0.001770
a₃ 3	- 0.000004	- 0.000032	- 0.000103	0.000505	0.00093	- 0.000014	0.00082	0.000030	0.000045
a₁ 2	0.000133	0.00118	- 0.00302	0.00250	0.01565	0.000405	- 0.0332	- 0.00195	- 0.001048
a₁ 3	0.000017	- 0.000177	- 0.000436	0.000833	0.00358	- 0.000028	0.00182	- 0.000122	- 0.000070
a₂ 3	- 0.000008	- 0.000121	0.000039	0.000556	0.00028	- 0.000049	0.00333	- 0.000122	- 0.000120
R²	0.8671	0.5161	0.5675	0.9849	0.8715	0.3627	0.4078	0.5879	0.5608

Δείκτες συντελεστών αφορούν στις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης: 1= Θερμοκρασία, 2= Συγκέντρωση, 3= χρόνος

Πίνακας 6.3 : Πειραματικές μετρήσεις από το πείραμα επαλήθευσης των βέλτιστων συνθηκών που προέκυψαν από τη μεθοδολογία RSM-Desirability functions και %σφάλμα σε σύγκριση με τις θεωρητικές/προβλεπόμενες τιμές από τις εξισώσεις β' βαθμού.

	38,7 °C, 30 %, 130 min		
	Αναμενόμενες τιμές	Πειραματικές τιμές	% Σφάλμα
a_w	0.8827	0.90±0.01	1.97
WL	4.0595	3.99 ±0.28	-1.67
SG	2.3670	1.75 ±0.15	-26.20
DE	8.0221	12.11 ±1.24	51.02
L/L₀	0.9323	0.84 ±0.02	-9.66
NaCl	5.2188	5.48 ±0.16	4.98
°Brix	29.22	29.00 ±0.00	-0.77
Υγρασία	64.68	65.67 ±1.52	1.53
f/f₀	0,471457	0.36 ±0.07	-24.63

Από τον παραπάνω πίνακα (πίνακας 6.3) παρατηρείται ότι προέκυψε απόκλιση πειραματικής τιμής/θεωρητικής πρόβλεψης μεγαλύτερη από 50% στη μεταβολή του συνολικού χρώματος ΔΕ. Αυτό το αποτέλεσμα δεν είναι επιθυμητό και ίσως να οφείλεται σε ανομοιομορφία μεταξύ των δειγμάτων της πρώτης ύλης και ενδεχομένως σε αναποτελεσματικότητα της εξίσωσης β' βαθμού που προέκυψε από τη μεθοδολογία του RSM. Παρ' όλ' αυτά, οι τιμές που προέκυψαν από τους υπόλοιπους δείκτες δεν έχουν απόκλιση μεγαλύτερη από 27% (ως απόλυτη τιμή). Άρα, μπορεί να θεωρηθεί ότι τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας RSM και ο προσδιορισμός των βέλτιστων συνθηκών της ωσμωτικής διεργασίας έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα, με τις

προβλεπόμενες τιμές στο βέλτιστο σημείο εκτίμησης από την RSM να προσεγγίσουν σε ικανοποιητικό επίπεδο τις πειραματικές μετρήσεις του πειράματος επαλήθευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΠΟΔΕΙΞΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε πείραμα μελέτης της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μανιτάρια baby *Pleurotus ostreatus*. Κατά την ώσμωση, εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες και τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Οι τρεις αυτοί παράγοντες, επηρέασαν σημαντικά τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και βασικούς ποιοτικούς δείκτες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

Η ενεργότητα νερού, φάνηκε ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνεται σημαντικά. Πιο αναλυτικά, στα πρώτα 30 λεπτά ο ρυθμός μείωσης είναι μεγαλύτερος και σταδιακά επιβραδύνεται. Μετά τα 130 λεπτά περίπου, παρατηρείται τάση προς ισορροπία στις τιμές. Οι παράγοντες της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης γλυκερόλης έπαιξαν κύριο ρόλο, διότι τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στις πιο ακραίες συνθήκες (50°C και συγκέντρωση γλυκερόλης 50%), εμφάνισαν πιο γρήγορο ρυθμό μείωσης ενεργότητας ύδατος, σε σχέση με τις ήπιες συνθήκες.

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών) παρουσίασαν έντονες και σημαντικές μεταβολές με το πέρασμα του χρόνου. Ραγδαία αύξηση σημειώθηκε στα πρώτα 10 με 20 λεπτά εξαιτίας της μεγάλης ωσμωτικής πίεσης που δέχθηκαν τα μανιτάρια από το υπερτονικό διάλυμα. Έπειτα, ο ρυθμός αύξησης ήταν πιο αργός και μετά τα 130 λεπτά περίπου, σημειώθηκε ισορροπία. Ο παράγοντας της θερμοκρασίας, έδειξε ότι επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας προκάλεσε μεγάλη αύξηση του ρυθμού απώλειας νερού, αντιθέτως με το ρυθμό πρόσληψης στερεών που δεν αυξήθηκε σημαντικά. Η κύρια παράμετρος που οδήγησε στην αύξηση του ρυθμού πρόσληψης στερεών ήταν αυτή της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου. Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης, σημειώθηκε αυξημένη προσθήκη στερεών στα μανιτάρια, πιθανώς λόγω της αυξημένης ωσμωτικής πίεσης. Κάτι αξιοσημείωτο ήταν ότι, στις ακραίες συνθήκες που υποβλήθηκαν τα μανιτάρια (50°C – 50% γλυκερόλη), η απώλεια νερού και η πρόσληψη στερεών είχαν μικρότερες τιμές, σε

αντίθεση με τα επεξεργασμένα μανιτάρια που υπέστησαν επεξεργασία σε διαλύματα μικρότερης συγκέντρωσης. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση του διαλύματος, η οποία λόγω του υψηλού ιξώδους παρεμποδίζει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Οι δείκτες του χρώματος και της υφής δεν έδειξαν ότι επηρεάζονται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Επίσης, με την μεταβολή της συγκέντρωσης γλυκερόλης, οι δείκτες των μανιταριών εμφάνισαν αυξομειώσεις στις τιμές και έτσι δεν μπόρεσε να βγει κάποιο σαφές και αξιόπιστο συμπέρασμα. Η κύρια αιτία αυτών των μη συστηματικών αποτελεσμάτων ήταν η ανομοιομορφία της πρώτης ύλης.

Ως ένα επόμενο βήμα, με τη βοήθεια της μεθόδου απόκρισης επιφανείας (Response Surface Methodology, RSM) περιγράφηκε μαθηματικά η επίδραση των βασικών παραμέτρων της διεργασίας (εξισώσεις β' βαθμού) και πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση των βέλτιστων συνθηκών ώστε να παραχθεί ένα τελικό προϊόν, με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο του πειραματικού σχεδιασμού Box Behnken, και έγινε στατιστική ανάλυση των μαθηματικών εξισώσεων που προέκυψαν από τα πειραματικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι όλοι οι παράγοντες της διεργασίας είχαν σημαντική επιρροή στην απώλεια νερού, την πρόσληψη στερεών, την ενεργότητα νερού και τις αλλαγές του χρώματος. Τέλος, με τις εκτιμώμενες βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας, που υπολογίστηκαν με βάση τις μαθηματικές εξισώσεις και κατάλληλα κριτήρια (μέσω της μεθοδολογίας Desirability approach) πραγματοποιήθηκε πείραμα επαλήθευσης, όπου τα αποτελέσματα σημείωσαν ικανοποιητική προσέγγιση (μικρό σφάλμα) μεταξύ θεωρητικών (αναμενόμενων) και πειραματικών τιμών.

Εν κατακλείδι, η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια αποτελεσματική και επιθυμητή μέθοδος επεξεργασίας μανιταριών πλευρώτους, η οποία παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους και βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

7.2 Υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες υποδείξεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.

- 1) Εφαρμογή της τεχνικής ωσμωτικής αφυδάτωσης με διαφορετικές συγκεντρώσεις, θερμοκρασίες αλλά και διαφορετικά ωσμωτικά υλικά.
- 2) Εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης και σε άλλα είδημανιταριών, ώστε να γίνει συσχέτιση των αποτελεσμάτων.
- 3) Να πραγματοποιηθεί μέτρηση της οργανοληπτικής υποβάθμισης των μανιταριών, ώστε να είναι εφικτός και επιτρεπτός ο οργανοληπτικός έλεγχος.
- 4) Να βρεθεί τρόπος επαναχρησιμοποίησης του ωσμωτικού διαλύματος για την εξοικονόμηση των πόρων και τη μείωση των αποβλήτων της διεργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη βιβλιογραφία

A. Lenart, P. Lewicki, 1988. Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissues, *Acta Alimentaria Polonica* 14, 65.

Ana S. Abraão, André M. Lemos, Alice Vilela, José M. Sousa, Fernando M. Nunes, (2013). Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food and bioproducts processing* 91, 481–494

Anil Kumar Raut. Study on the dehydration properties of oyster mushroom (*Pleurotus sajor caju*) under different pretreatment conditions. Food technology instruction committee institute of science and technology Tribhuvan university, Nepal 2011

Ashok Kumar Yadav and Satya Vir Singh, 2014. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *J food sci technol* (September 2014) 51(9):1654–1673

Aysel İspir and İnci Türk Toğrul, 2009. Osmotic dehydration of apricot: kinetics and the effect of process parameters. *Chemical engineering research and design* 87 (2009) 166–180

B. K. Mehta, S. K. Jain, G. P. Sharma, Anila Doshi, H. K. Jain. Response surface optimization of osmotic dehydration process parameters for button mushroom (*Agaricus bisporus*) - Part I

Buhari Lawan Muhammad, Badaru Suleiman. Global development of mushroom biotechnology. International journal of emerging trends in science and technology. Vol.||02||Issue||06||Pages 2660-2669||June||ISSN 2348-9480 2015

B. Yetenayet, R. Hosahalli, 2010. Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings, Ethiopian journal of applied sciences and technology (EJAST) 1(1), 1- 15.

Carmen Sánchez. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. Appl microbiol biotechnol (2010) 85:1321–1337 DOI 10.1007/s00253-009-2343-7

C. Tortoe, (2010). A review of osmo-dehydration for food industry. Afr. j. food sci.4, 303–324.

Daniel J. Royse, Johan Baars and Qi Tan. Current overview of mushroom production in the world. Edible and medicinal mushrooms: technology and applications, first edition. 2017

Danijela Z. Šuput, Vladimir S. Filipović, Biljana Lj. Lončar, Milica R. Nićetin, Violeta M. Knežević, Jasmina M. Lazarević, Dragana V. Plavšić. Modeling of mushrooms (*Agaricus bisporus*) osmotic dehydration process in sugar beet molasses, food and feed research, 47 (2), 175-187, 2020

David C. Yang and Marc Le Maguer. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of mushrooms. Journal of food processing and preservation 16 (1992)

D. Saputra (2001). Osmotic dehydration of pineapple, drying technology, 19:2, 415-425

E. Forni, D. Torreggiani, G. Crivelli, A. Maestrelli, G. Bertolo, F. Santelli, 1990. Influence of osmosis time on the quality of dehydrofrozen kiwifruit. *Acta Horticulturae* 282, 425-434.

F. Han Lyn, Z.A. Maryam Adilah, M.A.R. Nor-Khaizura, B. Jamilah, Z.A. Nur Hanani. Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Food packaging and shelf life* 23 (2020) 1004512

Garima Narang and J.P. Pandey, 2013. Optimization of osmotic dehydration process of grapes using response surface methodology. *Focusing mod. food ind.* 2, 78–85.

H. G. Ramya and Satish Kumar, 2015. Evaluation of mass transfer kinetics for osmotic dehydration of oyster mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) in salt-sugar solution. *Proc. natl. acad. sci., India, sect. B biol. sci.* (Apr–June 2015) 85(2):517–525 DOI 10.1007/s40011-014-0387-7

H. G. Ramya, Satish Kumar and Shammi Kapoor. Optimization of osmotic dehydration process for oyster mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) in sodium chloride solution using RSM. *Journal of applied and natural science* 6 (1): 152-158 (2014)

Ishfaq Ahmed, Ihsan Mabood Qazi, Suraiya Jamal. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative food science and emerging technologies* 34 (2016) 29–43

Jegadeesh Raman, Kab-Yeul Jang, Youn-Lee Oh, Minji Oh, JiHoon Im, Hariprasath Lakshmanan & Vikineswary Sabaratnam (2021) Cultivation and nutritional value of prominent *pleurotus* spp.: An overview, *mycobiology*, 49:1, 1-14, DOI: 10.1080/12298093.2020.1835142

Kanitta Pattanapa, Nantawan Therdthai, Withida Chantrapornchai & Weibiao Zhou. Effect of sucrose and glycerol mixtures in the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated mandarin cv. (Sai-Namphaung). *International journal of food science and technology* 2010, 45, 1918–1924

Kexin Zhang, Yuan-Yuan Pu, Da-Wen Sun. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricusbisporus*): A review. *Trends in food science & technology* 78 (2018) 72–8273

K. H. Estévez-Sánchez, J. E. González-Pérez, C. E. Ochoa-Velasco, M. A. García-Alvarado, D. Cruz-González, A. Sampieri & I. I. Ruiz-López (2019): Point set registration for reduced geometry mismatch during estimation of mass transfer properties in osmotic dehydration of complex-shaped foods, *drying technology*

L.A. Ochoa-Martinez, M. Garcia-Quintero, J. Morales-Castro, A. Gallegos-Infante, C.E. Martinez-Sanchez, E. Herman-Lara. Effect of CaCl₂ and convective-osmotic drying on texture and preference of apple. *Journal of food quality* 29 (2006) 583–595.

María Elena Valverde, Talía Hernández-Pérez, and Octavio Paredes-López. Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life. *Hindawi publishing corporation international journal of microbiology* volume 2015, Article ID 376387, 14 pages

María E. Venturini, Juan E. Reyes, Carmen S. Rivera, Rosa Oria, Domingo Blanco. Microbiological quality and safety of fresh cultivated and wild mushrooms commercialized in Spain. *Food microbiology* 28 (2011) 1492e1498

Martine H. Brennan, T. Ronan Gormley. Extending the shelf life of fresh sliced mushrooms. The National food centre research & training for the food industry research report no 2 August 1998

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

Mina Akbarian , Nila Ghasemkhani , Fatemeh Moayedi, 2014. Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review, *international journal of biosciences* Vol. 4, No. 1, p. 42-57

Mirosław Mleczek, Marek Siwulski, Kinga Stuper-Szablewska, Iwona Rissmann, Krzysztof Sobieralski and Piotr Golinski. Accumulation of elements by edible mushroom species: Part I. Problem of trace element toxicity in mushrooms. *Journal of environmental science and health, Part b* (2013) 48, 69–81

Nachiket Kotwaliwale, Pramod Bakane, Ajay Verma. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *Journal of food engineering* 2007

N.E. Mavroudis, V. Gekas, and I. Sjoholm, 1998. Osmotic dehydration of apple-effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of food engineering* 35: 191-209

N.K. Rastogi, K.S.M.S. Raghavarao, K. Niranjani and D. Knorr (2002): Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in food science & technology* 13 (2002) 48–59

N.M. Panagiotou , V.T. Karathanos & Z.B. Maroulis (1999). Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits, *drying technology*, 17:1-2, 175-189

N. Phisut, 2012. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Int. food res. J.* 19, 7–18

Pei Fei, Chen Lifu, Yang Wenjian, Zhao Liyan, Fang Yong, Ma Ning & Hu Qihui (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, DOI: 10.1080/19476337.2017.1365774

Peter George and Narasimha Hegde (2013). Muscarinic toxicity among family members after consumption of mushrooms. *Toxicology international* Jan-Apr 2013 / Vol-20 / Issue-1

Preeti Singh, Horst-Christian Langowski, Ali Abas Wani and Sven Saengerlaub. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review. *Journal of the science of food and agriculture*, 2010, vol 90 (9), 1393–1402

P.V. Mahajan, F.A.R. Oliveira, I. Macedo. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. *Journal of food engineering* 84 (2008) 281–288

Ralf Christoph, Bernd Schmidt, Udo Steinberner, Wolfgang Dilla, Reetta Karinen, (2006). Glycerol. *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*.

R. Moreira, F. Chenlo, M.D. Torres, and G. Vazquez, G. 2007. Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. *LWT-food science and technology* 40: 1507-1514.

R.N. Biswal, K. Bozorgmehr, F.D. Tompkins, X. Liu 1991. Osmotic concentration of green beans prior to freezing, *Journal of food science* 56, 1008- 1012

Sílvia Azevedo, Luís M. Cunha, Jorge C. Oliveira, Pramod V. Mahajan, Susana C. Fonseca. Modelling the influence of time, temperature and relative humidity conditions on the mass loss rate of fresh oyster mushrooms. *Journal of food engineering* 212 (2017) 108e112109

Shu-Ting Chang, 2008. Overview of mushroom cultivation and utilization as functional foods. *Mushrooms as functional foods*, edited by Peter C. K. Cheung copyright John Wiley & Sons, Inc.

Somya Singhal, Prasad Rasane, Jyoti Singh, Sawinder Kaur, Vikas Kumar, Kajal Dhawan, Sushma Gurumayum, Navneet Kaur, Neeru Gupta, Damanpreet Kaur. Effect of processing on vital chemical components of button mushroom. *J food process eng.* 2020

S. Yasmin, M. N. Islam, M. A. Alim and M. S. Kamal, 2017. Osmotic dehydration kinetics of oyster mushroom. *J Bangladesh Agril Univ* 15(2):318–324, 2017

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruits and vegetable processing. *Food research international*, 26, 59–68.

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

U. D. Chavan, R. Amarowicz, 2012. Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of food research* Vol. 1, No. 2

V. Ramya and N. K. Jain (2016): A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. Journal of food process engineering ISSN 1745–4530

Wan Adibah Wan Mahari, Wanxi Peng, Wai Lun Nam, Han Yang, Xie Yi Lee, Yik Kin Lee, Rock Keey Liew, Nyuk Ling Ma, Aqilah Mohammad, Christian Sonne, Quyet Van Le, Pau Loke Show, Wei-Hsin Chen, Su Shiung Lam. A review on valorization of oyster mushroom and waste generated in the mushroom cultivation industry. Journal of hazardous materials 400 (2020) 123156

Y. K. Pan , L. J. Zhao , Y. Zhang , G. Chen & A. S. Mujumdar (2003). Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables, drying technology, 21:6, 1101-1114, DOI: 10.1081/DRT-120021877

Z. Liu, J. Dang, Q. Wang, M. Yu, L. Jiang, L. Mei, ... & Y. Tao, (2013). Optimization of polysaccharides from Lycium ruthenicum fruit using RSM and its anti-oxidant activity. International journal of biological macromolecules, 61, 127-134.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αθανασία Τσιτσέλα, 2017. Μελέτη της προσρόφησης βαρέων μετάλλων (μαγγάνιο, χρώμιο, ψευδάργυρος) από καλλιέργεια σαπροτροφικών μυκήτων (μανιτάρια). Institutional repository - library & information centre - University of Thessaly EET - 178.147.120.78

Ελευθέριος Γ. Χατζής, 2015. Ανάπτυξη μεθόδου μέτρησης νωπών αγροτικών προϊόντων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθήνας

