



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Βελτιστοποίηση της διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης και
εδώδιμης επικάλυψης για την ανάπτυξη σμέουρων με αυξημένη
διάρκεια ζωής και ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΑΡΙΑ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ ΚΡΟΚΙΔΑ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο 'Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών' της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά τη χρονική περίοδο 2020-2021 υπό την επίβλεψη της Καθηγήτριας κ. Μαγδαληνής Κροκίδα. Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η βελτιστοποίηση της διεργασίας ωσμωτικής αφυδάτωσης και εδώδιμης επικάλυψης για την ανάπτυξη σμέουρων με αυξημένη διάρκεια ζωής και ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια κ. Μαγδαληνή Κροκίδα για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στην ομάδα του εργαστηρίου, καθώς και για την πολύτιμη και ουσιαστική βοήθεια που μου πρόσφερε όλο αυτόν τον χρόνο.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τη μεταδιδάκτορα Βασιλική Οικονομοπούλου για την καθημερινή στήριξη και καθοδήγησή της, καθώς και τις συμβουλές που μου προσέφερε αλλά και την προθυμία της να επιλύσει κάθε προβληματισμό μου. Η συμβολή της ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Μαργαρίτα Παναγιωτοπούλου για την προθυμία και την υπομονή της να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει στο εργαστήριο αλλά και όλα τα μέλη του εργαστηρίου 'Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών' για την άψογη συνεργασία και το φιλικό κλίμα που δημιούργησαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου.

Επίσης, ευχαριστώ τα μέλη του εργαστηρίου 'Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων' για τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων που πραγματοποίησα στο εργαστήριο αυτό καθώς και για την επίλυση των αποριών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους τους δικούς μου ανθρώπους που ήταν συνεχώς δίπλα μου στηρίζοντας την προσπάθειά μου με υπομονή και κατανόηση.

Περίληψη

Είναι γεγονός πως πλέον απαιτούνται από τους καταναλωτές υγιεινά τρόφιμα, τα οποία είναι καθόλου ή ελαφρώς επεξεργασμένα αλλά και μπορούν και διατηρούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, όμοια με των φρέσκων. Για να διαπιστωθεί πόσο υγιεινό και θρεπτικό είναι ένα τρόφιμο εξετάζεται η ποσότητα κυρίως σε βιοδραστικά συστατικά, όπως είναι τα αντιοξειδωτικά, οι φαινολικές ενώσεις, οι βιταμίνες, οι στερόλες και τα φλαβονοειδή. Τα μούρα, όπως είναι τα σμέουρα, αποτελούν φρούτα με ιδιαίτερα υψηλή διατροφική αξία και περιεκτικότητα σε βιοδραστικά συστατικά όπως είναι τα παραπάνω. Αυτό είναι κάτι το οποίο έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των καταναλωτών και η ζήτησή τους είναι αυξανόμενη. Παρ' όλα αυτά, η εποχικότητά τους, σε συνδυασμό με την ευαισθησία που παρουσιάζουν κατά τη μεταφορά και αποθήκευσή τους, αποτελεί εμπόδιο στη διαθεσιμότητά των φρέσκων σμέουρων. Για το λόγο αυτό, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη η αφυδάτωση και επεξεργασία των φρούτων που θα μπορέσει να αυξήσει τη διάρκεια ζωής τους, και συνεπώς θα καταστήσει δυνατή τη διαθεσιμότητά τους όλο το χρόνο. Σκοπός λοιπόν της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάπτυξη σμέουρων με αυξημένη διάρκεια ζωής και βελτιωμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά με τη χρήση ήπιων μεθόδων επεξεργασίας. Οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν ήταν η ωσμωτική αφυδάτωση σε συνδυασμό με την εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης.

Η ωσμωτική αφυδάτωση επιλέχθηκε ως μέθοδος επεξεργασίας καθώς αποτελεί μια ήπια και οικονομική μέθοδο, η οποία οδηγεί σε προϊόντα τα οποία διατηρούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τα θρεπτικά συστατικά τους. Μελετήθηκαν εναλλακτικά ωσμωτικά μέσα, όπως είναι ο συμπυκνωμένος χυμός μήλου καθώς και η υποκατάσταση του από την πηκτίνη ως εναλλακτικό γλυκαντικό μέσο. Οι παράμετροι της επεξεργασίας που εξετάστηκαν ήταν το ωσμωτικό μέσο (σακχαρόζη, γλυκερόλη, χυμός μήλου, χυμός μήλου σε συνδυασμό με πηκτίνη και χυμός μήλου σε συνδυασμό με γλυκερόλη), η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος και η διάρκεια ωσμωτικής επεξεργασίας (0,17 έως 24 h). Η αναλογία στερεού:διαλύματος παρέμεινε σταθερή στο 1:5. Η απόδοση της διεργασίας αξιολογείται μέσω του προσδιορισμού της απώλειας υγρασίας και της πρόσληψης στερεών από τα σμέουρα κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής επεξεργασίας.

Η αξιολόγηση των παραμέτρων της διεργασίας έδειξε πως η αύξηση της θερμοκρασίας και της διάρκειας της ωσμωτικής αφυδάτωσης οδηγούν σε αυξημένη απώλεια υγρασίας και πρόσληψης στερεών. Το ίδιο παρατηρήθηκε και για την αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου. Ο χυμός μήλου οδήγησε σε απώλεια υγρασίας 46%, ενώ συνδυασμός χυμού μήλου και γλυκερόλης ως ωσμωτικό μέσο οδήγησε σε απώλεια υγρασίας της τάξης του 47%. Η σακχαρόζη στις βέλτιστες συνθήκες οδήγησε σε αντίστοιχο ποσοστό 41% και η γλυκερόλη σε 48%. Η πρόσληψη στερεών παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές στην ωσμωτική αφυδάτωση με γλυκερόλη.

Για τα αφυδατωμένα προϊόντα που προέκυψαν από τις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης (ωσμωτικό μέσο, συγκέντρωση, διάρκεια) αξιολογήθηκαν τα ολικά διαλυτά στερεά και η ολική οξύτητα τους μετά την ωσμωτική αφυδάτωση. Τα ολικά διαλυτά στερεά εμφανίστηκαν μειωμένα για κάθε ωσμωτικό μέσο, ενώ η ολική οξύτητα έδειξε να μένει σταθερή με εξαίρεση τη γλυκερόλη που οδήγησε σε μείωση της ολικής οξύτητας και το χυμό μήλου που οδήγησε σε αύξησή της.

Με σκοπό τη βελτίωση της διατηρησιμότητας των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης από πηκτίνη καθώς και αλόη (*Aloe Vera*). Τα επικαλυμμένα δείγματα αξιολογήθηκαν ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά (χρώμα, απώλεια βάρους, ολικά διαλυτά στερεά, ολική οξύτητα) και την αντιοξειδωτική δράση τους μετά την αποθήκευση

τους για 7 ημέρες. Επιπλέον αξιολογήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων πριν και μετά την εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης με αλόη.

Βρέθηκε πως η ικανότητα των επικαλυμμένων δειγμάτων να διατηρούν το χρώμα εξαρτήθηκε από το ωσμωτικό μέσο με το οποίο έχει προηγηθεί η αφυδάτωση, με την πηκτίνη να δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε συνδυασμό με σακχαρόζη και το χυμό μήλου και την αλόη να δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε συνδυασμό με τη γλυκερόλη και το χυμό μήλου-γλυκερόλη. Η απώλεια βάρους ήταν μικρότερη για τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη επικαλυμμένα με πηκτίνη και αυτά που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου – γλυκερόλη και επικάλυψη με αλόη. Τα ολικά διαλυτά στερεά μειώθηκαν ελαφρώς για τα περισσότερα ωσμωτικά μέσα και τις επικαλύψεις. Τέλος, όλα τα δείγματα παρουσίασαν πτώση στην οξύτητα κατά την αποθήκευσή τους. Σε ό,τι αφορά στην αντιοξειδωτική δράση, η μεγαλύτερη αύξηση συναντάται στα δείγματα που είναι ωσμωτικά αφυδατωμένα με γλυκερόλη και επικαλυμμένα με πηκτίνη και αλόη. Η οργανοληπτική αξιολόγηση ανέδειξε το μη επικαλυμμένο δείγμα αφυδατωμένο με χυμό μήλου, με τα επικαλυμμένα με αλόη δείγματα αφυδατωμένα με χυμό μήλου και χυμό μήλου-γλυκερόλη να ακολουθούν.

Με βάση τα παραπάνω, ως βέλτιστοι συνδυασμοί ωσμωτικού μέσου και επικάλυψης, κρίνονται το διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης σε συνδυασμό με επικάλυψη αλόης καθώς και το ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης επίσης με επικάλυψη αλόης. Οι συνθήκες αυτές επιλέχθηκαν καθώς παρουσιάζουν αποτελεσματική απώλεια υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, διατηρούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την αποθήκευση και βελτιώνουν την αντιοξειδωτική δράση του δείγματος.

Abstract

It is true that consumers nowadays require healthy foods, which are limited or slightly processed but can retain their sensory characteristics, similar to the fresh foods. In order to determine how healthy and nutritious a food is, the amount of bioactive ingredients is examined, such as antioxidants, phenolic compounds, vitamins, sterols and flavonoids. Berries, such as raspberries, are fruits with a very high nutritional value and content of bioactive ingredients such as the above. That is something that has attracted the interest of consumers and their demand is growing. Nevertheless, their seasonality, combined with their sensitivity during transport and storage, is a barrier to the availability of fresh raspberries. For this reason, it is considered particularly useful to dehydrate and process the fruits, in order to increase their shelf life, and therefore make them available all year round. The purpose of this dissertation is the development of raspberries with increased shelf life and improved quality characteristics using mild processing methods. The methods used were osmotic dehydration in combination with the application of edible coating.

Osmotic dehydration was chosen as a treatment method because it is a mild and economical method, which leads to products that retain their sensory characteristics and nutrients. Alternative osmotic agents have been studied, such as concentrated apple juice and its substitution by pectin as an alternative sweetener. The parameters of the treatment examined were the osmotic agent (sucrose, glycerol, apple juice, apple juice in combination with pectin and apple juice in combination with glycerol), the concentration of the osmotic solution and the duration of osmotic treatment (0.17 to 24 h). The solid to solution ratio remained constant at 1: 5. Process efficiency is assessed by determining the moisture loss and solids uptake of raspberries during osmotic treatment.

The evaluation of the process parameters showed that the increase of temperature and duration of the osmotic dehydration lead to increased moisture loss and solids uptake. The same was observed for the increase of the concentration of the osmotic agent. Apple juice resulted in a moisture loss of 46%, while a combination of apple juice and glycerol as an osmotic agent resulted in a moisture loss of 47%. Sucrose in optimal conditions led to a corresponding rate of 41% and glycerol to 48%. Solid uptake showed the highest values in osmotic dehydration with glycerol.

The total soluble solids and their total acidity after osmotic dehydration were evaluated for the dehydrated products, resulting from the optimal osmotic dehydration conditions (osmotic medium, concentration, duration). Total soluble solids appeared reduced for each osmotic agent, while total acidity appeared to remain stable with the exception of glycerol which led to a decrease in total acidity and apple juice which led to an increase.

In order to improve the shelf life of osmotically dehydrated samples, an edible coating of pectin as well as aloe (*Aloe Vera*) was applied. The coated samples were evaluated for their quality characteristics (color, weight loss, total soluble solids, total acidity) and their antioxidant activity after storage for 7 days. In addition, the sensory characteristics of osmotically dehydrated samples were evaluated before and after the application of edible aloe vera coating.

It was found that the ability of the coated samples to retain the color depended on the osmotic agent that had preceded, with pectin giving better results in combination with sucrose and apple juice and aloe giving better results in combination with glycerol and apple juice-glycerol. The weight loss was lower for the samples that underwent osmotic dehydration with pectin-coated sucrose and those that underwent

osmotic dehydration with apple juice - glycerol and coated with aloe. Total soluble solids decreased slightly for most osmotic agents and coatings. Finally, all samples showed a decrease in acidity during storage. In terms of antioxidant activity, the largest increase is found in samples that are osmotically dehydrated with glycerol and coated with pectin and aloe. The sensory evaluation showed as best the uncoated sample dehydrated with apple juice, with the aloe-coated samples dehydrated with apple juice and apple juice-glycerol following.

Based on the above, the solution of apple juice and glycerol in combination with aloe coating as well as the osmotic solution of glycerol with aloe coating are found to be the optimal combinations of osmotic agent and coating. These conditions were selected as they show effective moisture loss during osmotic dehydration, maintain quality characteristics during storage and improve the antioxidant activity of the sample.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
Περίληψη	5
Abstract	7
Περιεχόμενα Εικόνων	12
Περιεχόμενα Διαγραμμάτων	13
Περιεχόμενα Πινάκων	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	17
1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία	18
1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
Σμέουρα	19
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία	20
2.2 Χημική Σύσταση	21
2.2.1 Θρεπτικά Στοιχεία	21
2.2.2 Φαινολικά	22
2.2.3 Αντιοξειδωτικές Ιδιότητες	23
2.2.4 Βιοδιαθεσιμότητα	24
2.3 Οφέλη στην υγεία	24
2.3.1 Καρδιαγγειακή Νόσος	25
2.3.2 Μεταβολικό Σύνδρομο	25
2.3.3 Παχυσαρκία	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	27
Ξήρανση	27
3.1 Εισαγωγή	28
3.2 Καταστάσεις του περιεχόμενου νερού	28
3.3 Μέθοδοι Ξήρανσης	29
3.3.1 Ξήρανση σε ρεύμα αέρα	29
3.3.2 Ξήρανση υπό κατάψυξη	30
3.3.3 Ωσμωτική Αφυδάτωση	31
3.4 Τεχνολογία της ωσμωτικής αφυδάτωσης	33

3.4.1 Φαινόμενα Μεταφοράς Μάζας.....	34
3.4.2 Παράμετροι της διεργασίας	36
3.4.3 Εναλλακτικά μέσα ωσμωτικής αφυδάτωσης	39
3.4.4 Μειονεκτήματα.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	41
Εδώδιμη επικάλυψη	41
4.1 Εισαγωγή.....	42
4.2 Ορισμός.....	43
4.3 Ιδιότητες.....	43
4.4 Σύνθεση.....	43
4.4.1 Πολυσακχαρίτες.....	44
4.4.2 Πρωτεΐνες.....	44
4.4.3 Λιπίδια	45
4.4.4 Συνδυασμός Βιοπολυμερών	45
4.4 Πρόσθετα	46
4.5 Μηχανισμός Σχηματισμού Φιλμ.....	46
4.6 Σύγχρονα μέσα εδώδιμης επικάλυψης	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	49
Πειραματικός σχεδιασμός	49
5.1 Εισαγωγή.....	50
5.2 Υλικά – Χημικά Αντιδραστήρια	50
5.2.1 Υλικά.....	50
5.2.2 Χημικά Αντιδραστήρια.....	51
5.3 Προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση.....	51
5.3.1 Πειραματική διαδικασία.....	51
5.3.2 Μέτρηση ποσοστού υγρασίας.....	52
5.4 Εδώδιμη Επικάλυψη	53
5.4.1 Πρώτες ύλες – προετοιμασία	53
5.4.2 Πειραματική διαδικασία.....	54
5.5 Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών	55
4.5.1 Μέτρηση απώλειας βάρους	56
5.5.2 Μέτρηση μεταβολής χρώματος.....	56
5.5.3 Αποχύμωση σμέουρων.....	57

5.5.4 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών.....	59
5.4.5 Προσδιορισμός ολικής οξύτητας.....	59
5.5.6 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με τη μέθοδο DPPH	60
5.5.7 Οργανοληπτική αξιολόγηση	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	63
Αποτελέσματα	63
6.1 Αρχική υγρασία σμέουρων.....	64
6.2 Ωσμωτική Αφυδάτωση	64
6.2.1 Απώλεια υγρασίας.....	64
6.2.2 Πρόσληψη στερεών	71
6.3 Βέλτιστες συνθήκες	76
6.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης.....	79
6.4.1 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών.....	79
6.4.2 Προσδιορισμός της ολικής οξύτητας.....	80
6.5 Αξιολόγηση της εδώδιμης επικάλυψης.....	82
6.5.1 Μεταβολή του χρώματος	82
6.5.3 Απώλεια βάρους.....	87
6.5.4 Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών.....	90
6.5.5 Προσδιορισμός της ολικής οξύτητας.....	92
6.5.6 Προσδιορισμός της αντιοξειδωτικής δράσης.....	92
6.5.7 Οργανοληπτικός έλεγχος.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	103
Συζήτηση	103
7.1 Συμπεράσματα.....	104
7.2 Μελλοντικές ενέργειες	107
Βιβλιογραφία.....	109

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Κόκκινα σμέουρα	20
Εικόνα 2: Κατα κεφαλήν κατανάλωση φρέσκων μούρων στις ΗΠΑ απο το 2000 έως το 2015 (σε λίβρες) (US Department of Agriculture: Economic Research Service, Statista 2019)	21
Εικόνα 3: Διάταξη ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Wang et al., 2007).....	30
Εικόνα 4: Διάταξη ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Wang et al., 2007).....	30
Εικόνα 5: Απεικόνιση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Yadav and Singh, 2012)	32
Εικόνα 6: Απεικόνιση της μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Mujumdar, 2006)	35
Εικόνα 7: Τύποι εδώδιμης επικάλυψης (Han et al., 2005).....	44
Εικόνα 8: Τα φρέσκα σμέουρα στις συσκευασίες που παραλήφθηκαν	50
Εικόνα 9: Υδατόλουτρο ωσμωτικής αφυδάτωσης	51
Εικόνα 10: Φούνρος κενού (Sanyo Gallenkamp PLC)	52
Εικόνα 11: Το διάλυμα της επικάλυψης της πηκτίνης 2% (w/w).....	53
Εικόνα 12: Το διάλυμα της επικάλυψης της αλόης 25% (v/v)	54
Εικόνα 13: Το διάλυμα της του χλωριούχου ασβεστίου 2% (w/w).....	54
Εικόνα 14: Εμβάπτιση των σμέουρων στο διάλυμα πηκτίνης	55
Εικόνα 15: Χρωματόμετρο (MiniScan XE).....	57
Εικόνα 16: Το πολτοποιημένο δείγμα πριν τη φυγοκέντρησή του	58
Εικόνα 17: Το πολτοποιημένο δείγμα μετά τη φυγοκέντρησή του	58
Εικόνα 18: Χυμός σμέουρων πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την τιτλοδότησή του με καυστικό νάτριο	60
Εικόνα 19: Δείγματα σμέουρων των οποίων έχει καταστραφεί η δομή	66
Εικόνα 20: Αποχρωματισμός του χυμού σμέουρων μετά την εφαρμογή της μεθόδου DPPH.....	93

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 40% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C	65
Διάγραμμα 2: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 50% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C	65
Διάγραμμα 3: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για την σακχαρόζη 40% στους 25°C, έως τις 48 h	66
Διάγραμμα 4: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 40% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C.....	67
Διάγραμμα 5: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 50% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C.....	67
Διάγραμμα 6: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με χυμό μήλου 51.5° Brix στους 25°C και 45°C	68
Διάγραμμα 7: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 35% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 45°C	69
Διάγραμμα 8: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 45% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 25°C και 45°C.....	69
Διάγραμμα 9: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης 25° - 25° Brix στους 25°C και 45°C.....	70
Διάγραμμα 10: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 40% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C ..	71
Διάγραμμα 11: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 50% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C ..	71
Διάγραμμα 12: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 40% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C...	72
Διάγραμμα 13: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 50% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C...	73
Διάγραμμα 14: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με χυμό μήλου 51.5° Brix στους 25°C και 45°C	74
Διάγραμμα 15: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 35% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 45°C	75
Διάγραμμα 16: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 45% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 25°C και 45°C.....	75
Διάγραμμα 17: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης 25° - 25° Brix στους 25°C και 45°C	76
Διάγραμμα 18: Η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 25°C	77
Διάγραμμα 19: Η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 45°C	77
Διάγραμμα 20: Η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 25°C	78
Διάγραμμα 21: Η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 25°C	78
Διάγραμμα 22: Ολικά διαλυτά στερεά (°Brix) των δειγμάτων σμέουρων μετά από ωσμωτική επεξεργασία στις βέλτιστες συνθήκες κάθε ωσμωτικού μέσου	79
Διάγραμμα 23: Ολικά διαλυτά στερεά με κάθε ωσμωτικό μέσο στη διάρκεια του χρόνου	80
Διάγραμμα 24: Οξύτητα των φρέσκων και ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων σμέουρων	81
Διάγραμμα 25: Οξύτητα δειγμάτων σμέουρων για κάθε ωσμωτικό μέσο στη διάρκεια του χρόνου	82
Διάγραμμα 26: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων με σακχαρόζη στη διάρκεια του χρόνου	83
Διάγραμμα 27: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων με γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου	83

Διάγραμμα 28: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων με χυμό μήλου στη διάρκεια του χρόνου	84
Διάγραμμα 29: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων με χυμό μήλου - γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου	84
Διάγραμμα 30: Απώλεια βάρους των μη επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου	87
Διάγραμμα 31: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη στη διάρκεια του χρόνου	88
Διάγραμμα 32: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου.....	88
Διάγραμμα 33: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου στη διάρκεια του χρόνου.....	89
Διάγραμμα 34: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου – γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου	89
Διάγραμμα 35: Μεταβολή της περιεκτικότητας των επικαλυμμένων δειγμάτων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου.....	91
Διάγραμμα 36: Μεταβολή της οξύτητας των επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου.....	92
Διάγραμμα 37: Μεταβολή της οξύτητας των επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου.....	96
Διάγραμμα 38: Βαθμολογία του χρώματος των δειγμάτων σμέουρων από τους δοκιμαστές.....	97
Διάγραμμα 39: Βαθμολογία της σκληρότητας των δειγμάτων σμέουρων από τους δοκιμαστές	98
Διάγραμμα 40: Βαθμολογία της στυφής γεύσης των δειγμάτων σμέουρων από τους δοκιμαστές.....	98
Διάγραμμα 41: Βαθμολογία της γλυκιάς γεύσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές	99
Διάγραμμα 42: Βαθμολογία της ξινής γεύσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές.....	99
Διάγραμμα 43: Βαθμολογία της πικρής γεύσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές.....	100
Διάγραμμα 44: Βαθμολογία της έντασης αρώματος των δειγμάτων από τους δοκιμαστές.....	101
Διάγραμμα 45: Βαθμολογία της μετάγευσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές.....	101
Διάγραμμα 46: Βαθμολογία της συνολικής αποδοχής των δειγμάτων από του δοκιμαστές	102

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Θρεπτικά στοιχεία του κόκκινου σμέουρου (Rao and Snyder, 2010).....	22
Πίνακας 2: Παρουσίαση των παραμέτρων που μελετήθηκαν.....	52
Πίνακας 3: Ερωτηματολόγιο οργανοληπτικού ελέγχου.....	62
Πίνακας 4: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο τη σακχαρόζη.....	85
Πίνακας 5: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο τη γλυκερόλη.....	86
Πίνακας 6: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο το χυμό μήλου.....	86
Πίνακας 7: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο διάλυμα χυμού μήλου - γλυκερόλης.....	86
Πίνακας 8: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα σακχαρόζης.....	93
Πίνακας 9: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης.....	94
Πίνακας 10: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα χυμού μήλου.....	94
Πίνακας 11: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα χυμού μήλου - γλυκερόλης.....	95
Πίνακας 12: Κωδικοποίηση των δειγμάτων.....	97
Πίνακας 13: Επίδραση των παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών για κάθε ωσμωτικό μέσο.....	104
Πίνακας 14: Επίδραση των ωσμωτικών μέσων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων σμέουρου.....	105
Πίνακας 15: Επίδραση των επικαλύψεων στα χαρακτηριστικά των σμέουρων την 7 ^η ημέρα.....	106
Πίνακας 16: Επίδραση των επικαλύψεων στην αντιοξειδωτική δράση των αφυδατωμένων δειγμάτων την 7 ^η μέρα.....	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Εισαγωγικά στοιχεία

Σκοπός

1.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Τα φρέσκα φρούτα και τα λαχανικά αποτελούν από τα βασικότερα στοιχεία της ανθρώπινης διατροφής. Οι καταναλωτές πλέον αναζητούν όλο και περισσότερο τρόφιμα φυτικής προέλευσης, με ευεργετικά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία. Πιο συγκεκριμένα, σημαντική αξιολογείται η περιεκτικότητα σε βιοδραστικά συστατικά όπως είναι οι αντιοξειδωτικές ουσίες καθώς και τα θρεπτικά συστατικά, οι ουσίες που ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα και λοιπά.

Τα σμέουρα μπορούν να ικανοποιήσουν τις παραπάνω απαιτήσεις καθώς είναι χαμηλά σε θερμίδες αλλά έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες, βιταμίνες, μέταλλα και αντιοξειδωτικά. Είναι πολύ σημαντικό ότι μπορούν να προστατεύσουν από τον διαβήτη, τον καρκίνο, την παχυσαρκία και άλλες παθήσεις ή ακόμα και να παρέχουν αντιγηραντικά αποτελέσματα (Rao and Snyder, 2010).

Τα σμέουρα όμως είναι πολύ ευπαθή. Η διάρκεια ζωής τους μετά τη συγκομιδή είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού ρυθμού διαπνοής με αποτέλεσμα το φρούτο να αλλοιώνεται ποιοτικά και οργανοληπτικά, καθιστώντας τη μεταφορά και τη διανομή του αρκετά δύσκολη (Krüger et al., 2011). Επιπλέον αποτελούν εποχικά φρούτα, γεγονός το οποίο τα καθιστά δυσεύρετα για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αρκετά σημαντική η εύρεση τρόπων και τεχνικών να διατηρείται η ποιότητα των χαρακτηριστικών του φρούτου, ώστε να μπορεί να φτάνει στον καταναλωτή και να επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής του. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει εφικτό μέσω της αφυδάτωσης του φρούτου και της αποθήκευσής του υπό ψύξη. Σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσει στη διατήρηση του φρούτου και η εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων.

1.2 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία έχει σκοπό την ανάπτυξη σμέουρων με αυξημένη διάρκεια ζωής και ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά μέσω της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης και των εδώδιμων επικαλύψεων. Οι διεργασίες αυτές βελτιστοποιούνται ως προς τα διαλύματα ωσμωτικής αφυδάτωσης και εδώδιμης επικάλυψης καθώς και τις συνθήκες επεξεργασίας. Τα προϊόντα που προκύπτουν αξιολογούνται ως προς τα ποιοτικά και οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά καθώς και τη διάρκεια ζωής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σμέουρα

Εισαγωγικά στοιχεία

Χημική σύσταση

Οφέλη στην υγεία

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Τα σμέουρα, γνωστά και ως red raspberries ή φραμπουάζ, αποτελούν τον βρώσιμο μικρού μεγέθους κόκκινο καρπό του πολυετούς άγριου φυτού με επιστημονική ονομασία *Rubus idaeus*. Πιο συγκεκριμένα, τα σμέουρα ανήκουν στο γένος *Rubus*, υπογένος *Idaeobatus* και την οικογένεια *Rosaceae*, η οποία περιλαμβάνει σημαντικά φρούτα όπως είναι τα μήλα, τα αχλάδια, τα κεράσια και οι φράουλες. Πέρα από τα πιο γνωστά κόκκινα σμέουρα, τα σμέουρα διακρίνονται ανάλογα με το χρώμα τους και σε κίτρινα, ιώδη και μαύρα. Επίσης διακρίνονται και σε υποείδη ανάλογα με την προέλευση τους, σε Ευρωπαϊκά, Αμερικανικά, Ασιατικά και άλλα. Κόκκινα είναι τα Ευρωπαϊκά σμέουρα (*Rubus idaeus vulgatus*) και τα Αμερικανικά (*Rubus idaeus strigosus*) (Luc Brouillet, 2014).

Τα σμέουρα καταναλώνονται φρέσκα εδώ και χιλιάδες χρόνια. Οι πρώτες αναφορές τους εντοπίζονται τον 1^ο αιώνα όπου τα σμέουρα συλλέγονταν στη φύση, από τους ανθρώπους της Τροίας στους πρόποδες του όρους Ίδη. Καταγραφές της καλλιέργειας τους εντοπίζονται σε γραπτά του 4^{ου} αιώνα από τον Ρωμαίο καλλιεργητή Παλλάδιο, ενώ σπόροι έχουν ανακαλυφθεί σε ρωμαϊκά οχυρά στην Αγγλία. Για το λόγο αυτό, θεωρείται ότι οι Ρωμαίοι ήταν αυτοί που διέδωσαν την καλλιέργειά τους στην Ευρώπη (Burton-Freeman, Sandhu and Edirisinghe, 2016). Παράλληλα, οι ιαματικές χρήσεις τους εντοπίζονται συχνά στη βιβλιογραφία, με αναφορές στη χρήση τσαγιού από τα φύλλα του με αναφορές ακόμα και από τον 16^ο αιώνα. Ξεκίνησαν να καλλιεργούνται μαζικά στην Ευρώπη περίπου πριν 450 χρόνια ενώ μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα καλλιεργούνταν πάνω από 20 ποικιλίες στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ. Τα κόκκινα σμέουρα είναι τα πιο δημοφιλή, ενώ τα μαύρα καταναλώνονται μονάχα σε ορισμένες περιοχές των ανατολικών ΗΠΑ.

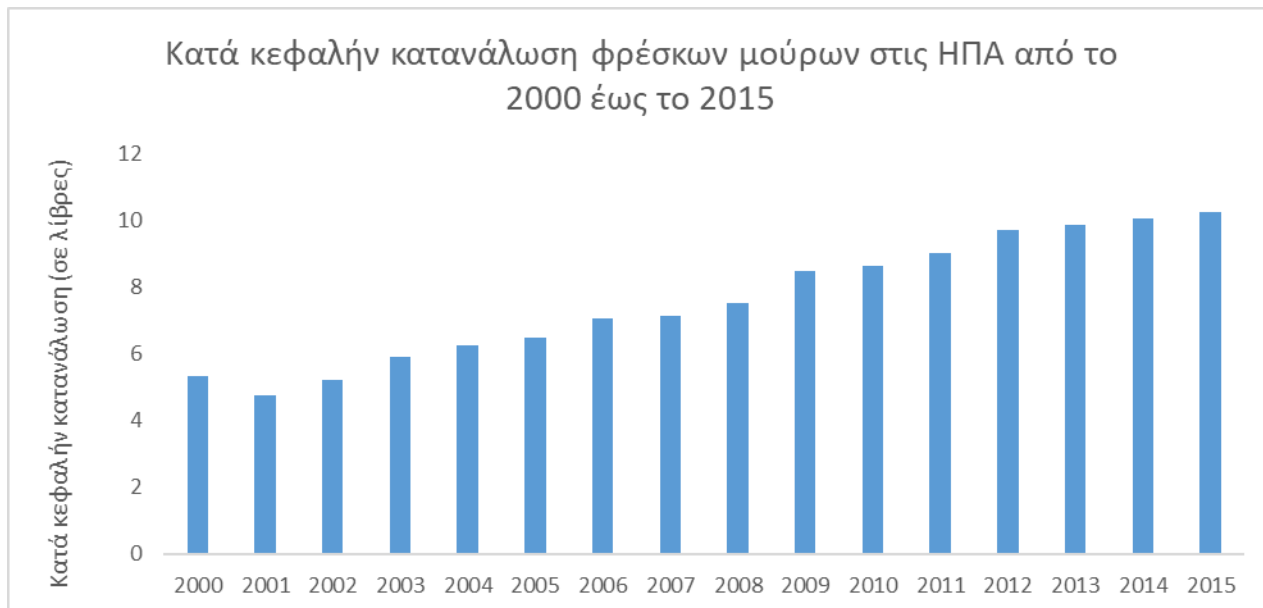


Εικόνα 1: Κόκκινα σμέουρα

Σήμερα, η συγκομιδή των σμέουρων γίνεται είτε με τα χέρια για να καταναλωθούν φρέσκα ή μηχανοκίνητα και στη συνέχεια δέχονται επεξεργασία (Pritts, 2003). Μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι η κονσερβοποίηση, αποχύμωση (περίπου 9° Brix), συμπύκνωση, πολτοποιήση (8-15° Brix) και μέθοδος IQF (Individual Quick Freezing ή Ταχεία Ατομική Κατάψυξη). Στη συνέχεια, τα προϊόντα αυτά συσκευάζονται και πωλούνται άμεσα στον καταναλωτή, ή δέχονται ξανά επεξεργασία για να παράξουν μαρμελάδα, ζελέ, παγωτό, γιαούρτι και άλλα επιδόρπια. Ο χυμός σμέουρων επίσης συνδυάζεται με χυμό μήλου, αχλαδιού ή σταφυλιού καθώς η γεύση του είναι πολύ έντονη για άμεση κατανάλωση (Pritts, 2003).

Τα σμέουρα αποτελούν μαλακά φρούτα με υψηλό ρυθμό διαπνοής, με αποτέλεσμα να χάνουν υγρασία και τη γλυκιά γεύση τους σύντομα μετά τη συγκομιδή τους. Αυτό σημαίνει πως φθείρονται εύκολα και δεν διατηρούνται για πολύ καιρό. Παράλληλα η ζήτηση για φρέσκα μούρα στην αγορά είναι αυξανόμενη,

δημιουργώντας ανάγκες για χρήση μεθόδων και τεχνικών που να αυξάνουν τη διατηρησιμότητα του φρούτου χωρίς να μειώνουν τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Στο παρακάτω γράφημα γίνεται εμφανής η αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης των φρέσκων μούρων στις ΗΠΑ, και συνεπώς της ζήτησής τους, τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 2: Κατά κεφαλήν κατανάλωση φρέσκων μούρων στις ΗΠΑ από το 2000 έως το 2015 (σε λίβρες) (US Department of Agriculture: Economic Research Service, Statista 2019)

2.2 Χημική Σύσταση

2.2.1 Θρεπτικά Στοιχεία

Δεδομένης της χημικής σύστασής τους (Πίνακας 1), τα σμέουρα αποτελούν μια υγιεινή επιλογή. Έχουν χαμηλές συνολικές θερμίδες καθώς μια μερίδα 100 g παρέχει 52 kcal. Σε συνδυασμό με τη φυσική γλυκιά γεύση τους, τα σμέουρα αποτελούν ένα γευστικό σνακ εναλλακτικό των επεξεργασμένων, ενώ η περιεκτικότητά τους σε φυτικές ίνες (6,5 g/ 100 g) και σε φρουκτόζη (>50% ολικών σακχάρων) συμβάλλουν στη ρύθμιση του σακχάρου στο αίμα και στο αίσθημα κορεσμού, μέσω της αργής χώνεψής τους. Το λίπος που περιέχεται στους σπόρους του είναι 97.8% ακόρεστα λιπαρά οξέα και έχει μια χαμηλή αναλογία 1.64 ω-6/ω-3 λιπαρά οξέα, είναι δηλαδή μια πηγή υγιεινών, απαραίτητων λιπαρών οξέων. Λιποδιαλυτές βιταμίνες, συμπεριλαμβανομένων καροτενοειδών και τοκοφερολών εντοπίζονται, επίσης, στους σπόρους, ενώ υψηλά επίπεδα βιταμίνης C βρίσκονται στη σάρκα των φρούτων (26,2 mg/100g φρέσκου φρούτου) (Rao and Snyder, 2010).

Πίνακας 1: Θρεπτικά στοιχεία του κόκκινου σμέουρου (Rao and Snyder, 2010)

Τύπος	Θρεπτικό στοιχείο	Ανά 100 g
Βασικά Θρεπτικά Στοιχεία	Νερό (g)	85,75
	Ενέργεια (kcal)	52,00
	Πρωτεΐνες (g)	1,20
	Ολικά λιπαρά (g)	0,65
	Υδατάνθρακες (g)	11,94
	Φυτικές ίνες (g)	6,50
	Σάκχαρα (g)	4,42
	Σακχαρόζη (g)	0,20
	Γλυκόζη (g)	1,86
	Φρουκτόζη (g)	2,35
Μεταλλικά Στοιχεία	Ασβέστιο (mg)	25,00
	Σίδηρος (mg)	0,69
	Μαγνήσιο (mg)	22,00
	Φώσφορος (mg)	29,00
	Κάλιο (mg)	151,00
	Νάτριο (mg)	1,00
	Ψευδάργυρος (mg)	0,42
	Χαλκός (mg)	0,09
	Μαγγάνιο (mg)	0,67
Σελήνιο (mg)	0,20	
Βιταμίνες	Βιταμίνη C (mg)	26,20
	Θειαμίνη, B ₁ (mg)	0,032
	Ριβοφλαβίνη, B ₂ (mg)	0,038
	Νιασίνη, B ₃ (mg)	0,60
	Παντοθενικό οξύ, B ₅ (mg)	0,33
	Βιταμίνη B ₆ (mg)	0,055
	Φολικό (μg)	21,00
	Χολίνη (mg)	12,30
	Βεταΐνη (mg)	0,80
	Βιταμίνη B ₁₂ (μg)	0,00
	Βιταμίνη A, RAE (mg)	2,00
	Βιταμίνη E, α-τοκοφερόλη (mg)	0,87
	Τοκοφερόλη, β (mg)	0,06
	Τοκοφερόλη, γ (mg)	1,42
	Τοκοφερόλη, δ (mg)	1,04
Βιταμίνη K, φυλλοκινόνη (μg)	7,80	
Λουτεΐνη + ζεαξανθίνη (μg)	136,00	

2.2.2 Φαινολικά

Οι πολυφαινόλες αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες κατηγορίες φυτοχημικών ουσιών οι οποίες παρέχουν πολλές λειτουργίες τόσο για τα φυτά, στις λειτουργίες ανάπτυξης και άμυνας, όσο και για τους

ανθρώπους και τα ζώα που τις καταναλώνουν. Διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή τους, και διαφοροποιούνται από απλά φαινολικά οξέα (υδροξυβενζονικό και υδροξυκιναμικό οξύ) έως σύνθετες πολυφαινόλες (υδρολυόμενες και συμπυκνωμένες τανίνες) (L.Bravo, 1998). Γενικά, το χρώμα και η γεύση των φρούτων και των λαχανικών αποδίδονται μερικώς στα φυτοχημικά/πολυφαινολικά συστατικά τους (π.χ. λυκοπένιο στις ντομάτες, β-καροτένιο στα καρότα και τις γλυκοπατάτες, και ανθοκυανίνες στα μούρα) (Vainio H and Bianchini F, 2003). Τα κόκκινα σμέουρα κατέχουν ένα μοναδικό πολυφαινολικό προφίλ, το οποίο χαρακτηρίζεται κυρίως από το περιεχόμενό τους σε ανθοκυανίνες και σε ελλαγτανίνη.

Οι ανθοκυανίνες είναι φλαβονοειδή στοιχεία και έχουν βασικό σκελετό από C6-C3-C6. Είναι υπεύθυνες για το έντονο κόκκινο χρώμα των κόκκινων σμέουρων. Οι κύριες ανθοκυανίνες στα κόκκινα σμέουρα είναι οι κυανιδίνη-3-σοφοροσίδη, κυανιδίνη-3, 5-διγλυκοζιτή, κυανιδίνη-3- (2G-γλυκοσυλοτριτινοσίδη), κυανιδίνη-3-γλυκοζιτή, κυανιδίνη-3-ρουτινοσίδη, πελαργονιδίνη-3-σοφοροσίδη, πελαργονιδίνη-3-(2^G-γλυκοζυλοτριτινοσίδη), πελαργονιδίνη-3-γλυκοζιτή και πελαργονιδίνη-3-ρουτινοσίδη (J. Argic, 2005).

Παρόλο που όλα τα μούρα περιέχουν ανθοκυανίνες με βάση την κυανιδίνη, δεν περιέχουν όλα τα ίδια γλυκοζιτικά μόρια. Η σοφοροσίδη είναι μια γλυκοσίδη κυανιδίνης που εντοπίζεται μονάχα στα κόκκινα σμέουρα. Επιπλέον μόνο οι φράουλες και τα κόκκινα σμέουρα περιέχουν ανθοκυανίνες με βάση την πελαργονιδίνη, ενώ η πρόσδεση της σοφοροσίδης εντοπίζεται επίσης μονάχα στα σμέουρα. Τα κόκκινα σμέουρα περιέχουν περίπου $92,1 \pm 19,7$ mg ανθοκυανίνες/100 g φρέσκου φρούτου σε μια αναλογία 32:1 ανθοκυανίνων με βάση την κυανιδίνη προς την πελαργονιδίνη. Οι ανθοκυανίνες στα σμέουρα συμβάλλουν περίπου στο 25% της αντιοξειδωτικής τους ικανότητας (Burton-Freeman, Sandhu and Edirisinghe, 2016).

Σε ό,τι αφορά στην άλλη μεγάλη ομάδα πολυφαινολών στα κόκκινα σμέουρα, τις ελλαγτανίνες, αυτές κατηγοριοποιούνται ως υδρολύσιμες τανίνες και είναι εστέρες της εξαϋδροξυδιφαινοϋλ- ομάδας που αποτελείται από ένα πυρήνα είτε γλυκόζης ή κινικού οξέος. Επιπλέον, ομάδες γαλοϋλίου μπορούν να προσκολληθούν στον πυρήνα γλυκόζης. Οι ελλαγτανίνες αποδίδουν ένα μόριο εξαϋδροξυδιφαινοϋλίου κατά την όξινη υδρόλυση που αναδιατάσσεται για να σχηματίσει ελαγικό οξύ και εντοπίζεται σε λίγες φυτικές τροφές, όπως φράουλες, σμέουρα, βατόμουρα, ρόδια, σταφύλια μοσκαντίνης και μερικούς ξηρούς καρπούς.

Τα κόκκινα σμέουρα είναι γνωστά για το μοναδικό περιεχόμενό τους σε σαγκουίνη H-6. Η σαγκουίνη H-6 είναι η μεγαλύτερη ελλαγτανίνη που αναγνωρίζεται στα κόκκινα σμέουρα και ακολουθεί το λαμπερτιανίνη C. Η σαγκουίνη H-10, η κασαρουριτίνη / ποτεντιλίνη, η κασταλαγκίνη / η βισκαλαγκίνη, η πεννουκουλαγκίνη και η κοριλαγκίνη έχουν αναγνωρισθεί στα κόκκινα σμέουρα (Beekwilder et al., 2005). Λόγω της σύνθετης δομής των ελλαγτανίνων, η περιεκτικότητά τους στα κόκκινα σμέουρα προσδιορίζεται τυπικά με Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) αφού υδρολυθεί σε ελαγικό οξύ. Όπως οι ανθοκυανίνες, το περιεχόμενο σε σαγκουίνη ποικίλλει ανάλογα με την ποικιλία του φρούτου, την εποχή και τις ποσοτικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται (Burton-Freeman, Sandhu and Edirisinghe, 2016).

2.2.3 Αντιοξειδωτικές Ιδιότητες

Η αντιοξειδωτική ικανότητα (AOI) έχει προταθεί ως δείκτης για την παρουσία ωφέλιμων βιοδραστικών συστατικών στα τρόφιμα, και συνεπώς για το ποσοστό συμβολής στην ανθρώπινη υγεία. Παρ'όλα αυτά, η μεταβλητότητα ανάμεσα στα δείγματα τροφίμων καθώς και στις μεθόδους ποσοτικοποίησης

καθιστούν την σύνθεση ενός φυτοχημικού δείκτη, με τυποποιημένο τρόπο, πολύ δύσκολη. Αρκετές ερευνητικές ομάδες έχουν δημοσιεύσει λίστες με δείκτες ΑΟΙ αρκετών τροφίμων χρησιμοποιώντας δικές τους πηγές και μεθοδολογίες. Όταν τα αποτελέσματα συγκρίνονται, είναι εμφανές πως τα μούρα κατατάσσονται συστηματικά ανάμεσα στις καλύτερες πηγές ολικών φαινολικών και ΑΟΙ, περιέχοντας μέχρι και 4 φορές παραπάνω από άλλα φρούτα, 10 φορές από τα λαχανικά, και 40 φορές από τα δημητριακά (Beekwilder et al., 2005).

Ο Beekwilder και οι συνεργάτες του (2005) δημοσίευσαν μια ανασκόπηση σχετικά με τα αντιοξειδωτικά των σμέουρων και κατέγραψαν τις δημοσιευμένες τιμές ΑΟΙ για επτά κοινά φρούτα και λαχανικά, οι οποίες προέκυψαν μέσω διαφορετικών αναλυτικών μεθόδων. Τα σμέουρα κατείχαν τον υψηλότερο δείκτη ΑΟΙ ενώ ακολουθούσαν οι φράουλες, το ακτινίδιο, το μπρόκολο, το πράσο, το μήλο και, τέλος, η ντομάτα. Το φαινολικό προφίλ των κόκκινων σμέουρων συνεισφέρει στον δείκτη ΑΟΙ με τον εξής τρόπο: 50% ελλαγιτανίνες, 20% ανθοκυανίνες, και 20% βιταμίνη C.

2.2.4 Βιοδιαθεσιμότητα

Η βιοδιαθεσιμότητα μπορεί να οριστεί ως το κλάσμα των απορροφούμενων ενώσεων που φτάνουν στο κυκλοφορικό σύστημα και συγκεκριμένους ιστούς / όργανα για να ασκήσουν βιολογικές δράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Συνολικά, είναι ένα αποτέλεσμα της απορρόφησης, διανομής, μεταβολισμού, και της απέκκρισης των ενώσεων που έχουν καταναλωθεί. Η βιοπροσβασιμότητα και βιοδιαθεσιμότητα των πολυφαινολών των κόκκινων σμέουρων έχει μελετηθεί *in vivo* και *in vitro*, σε ζωικά μοντέλα και δοκιμές ανθρώπινης παρέμβασης.

Ο González-Barrío και οι συνεργάτες του (2010) μελέτησαν την κατάληξη των ανθοκυανινών, του ελγικού οξέος και των ελλαγιτανινών μετά την κατανάλωση 300 g κόκκινων σμέουρων από υγιείς εθελοντές και άτομα με ειλεοστομία. Το αποτέλεσμα της μελέτης έδειξε πως το περίπου 40% των προσλαμβανόμενων ανθοκυανινών φτάνουν στο παχύ έντερο, με βάση τις ανθοκυανίνες που βρέθηκαν στο ελκτικό υγρό εθελοντών με ειλεοστομία. Τα δεδομένα αυτά, υποδηλώνουν ότι το 60% των ανθοκυανινών απορροφώνται, αποικοδομούνται ή αλλιώς γίνονται μη ανιχνεύσιμες στο επίπεδο του λεπτού εντέρου. Ομοίως, το 23% της λαμβανόμενης ποσότητας των ελλαγιτανινών βρέθηκε στο ελκτικό υγρό.

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνεται πως η βιοδιαθεσιμότητα των πολυφαινολών των σμέουρων είναι πολύ χαμηλή. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε αρκετούς παράγοντες, όπως η σύσταση της τροφής, η δόση, ο χρόνος της πρόσληψης, οι πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις των πολυφαινολών με άλλες ενώσεις κατά την απορρόφηση και την πέψη, καθώς και τα όργανα και οι μεθοδολογικές προκλήσεις.

2.3 Οφέλη στην υγεία

Κατευθυντήριες γραμμές διατροφής ανά τον κόσμο, συνιστούν την αυξημένη κατανάλωση φρούτων και λαχανικών, ως καλές πηγές διαιτητικών ινών, απαραίτητων θρεπτικών συστατικών, και ωφέλιμων φυτοχημικών ουσιών, με σκοπό τη βελτιωμένη γενικότερη υγεία και τη μείωση του κινδύνου για χρόνια νοσήματα.

Όπως και άλλα φρούτα, τα μούρα περιέχουν μεγάλο εύρος μικροθρεπτικών συστατικών τα οποία είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της ανθρώπινης υγείας. Τα μούρα, συμπεριλαμβανομένων των σμέουρων, κατέχουν σημαντική θέση μεταξύ των φρούτων, γεγονός που αποδίδεται στο υψηλό αντιοξειδωτικό φυτοχημικό τους περιεχόμενο. Το οξειδωτικό στρες, που προκαλείται από δραστικές μορφές οξυγόνου (ROS), το οποίο είναι αποτέλεσμα της φυσιολογικής μεταβολικής δραστηριότητας του ανθρώπινου οργανισμού καθώς και του τρόπου ζωής, είναι ένας σημαντικός αιτιολογικός παράγοντας των χρόνιων

ασθενειών. Τα διαιτητικά αντιοξειδωτικά μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση των βλαβερών επιδράσεων των ROS στα κυτταρικά μακρομόρια όπως τα λιπίδια, οι πρωτεΐνες και το DNA. Πρόσθετες βιολογικές δραστηριότητες των φυτοχημικών ουσιών των σμέουρων μπορούν να συμβάλουν περαιτέρω στη μείωση του κινδύνου ασθένειας.

2.3.1 Καρδιαγγειακή Νόσος

Η καρδιαγγειακή νόσος προκαλεί σε παγκόσμιο επίπεδο 17.5 εκατομμύρια θανάτους το χρόνο. Πέρα από τους ήδη ευρέως γνωστούς παράγοντες κινδύνου, υπάρχουν και άλλοι όπως οι αιμοστατικοί, η φλεγμονή, η αντίσταση στην ινσουλίνη και οι οξειδωμένες LDL (low-density lipoproteins), οι οποίοι αναγνωρίζονται όλο και περισσότερο για τη σημασία τους ώστε να επιτευχθεί μείωση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας από καρδιαγγειακή νόσο.

Η αυξημένη έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια σε σχέση με τα μούρα, συμπεριλαμβανομένων των κόκκινων σμέουρων, παρακινήθηκε από την ανακάλυψη των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων τους και την προοπτική τους για οφέλη στην υγεία. Παρόλο που οι γνώσεις και οι θεωρίες σχετικά με το οξειδωτικό στρες έχουν εξελιχθεί με τα χρόνια, το οξειδωτικό στρες και η φλεγμονή παραμένουν καταλυτικοί παράγοντες στην ανάπτυξη καρδιαγγειακής νόσου καθώς και άλλων χρόνιων νοσημάτων όπως είναι ο καρκίνος, ο διαβήτης και η νόσος του Alzheimer (EFSA, 2011).

Το αυξημένο οξειδωτικό στρες που οδηγεί σε οξειδωτική βλάβη, έχει συσχετιστεί με την έναρξη, την εξέλιξη και τις επιπλοκές των καρδιαγγειακών παθήσεων. Το περιεχόμενο των κόκκινων σμέουρων σε ανθοκυανίνες, το οποίο μπορεί να δράσει προ-οξειδωτικά αλλάζοντας την κατάσταση της κυτταρικής οξειδοαναγωγής, οδηγεί στη διέγερση του αντιοξειδωτικού αμυντικού συστήματος, μέσω των ευαίσθητων κυτταρικών αποκρίσεων σηματοδότησης που προκαλεί.

2.3.2 Μεταβολικό Σύνδρομο

Η παχυσαρκία ορίζεται ως η συσσώρευση περίσσιου λιπώδη ιστού από διάφορες μεταβολικές διαταραχές. Η δυσλειτουργία των λιποκυττάρων συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη παχυσαρκίας και αντίστασης στην ινσουλίνη. Η κοιλιακή παχυσαρκία και η δυσλειτουργία των λιποκυττάρων διαδραματίζουν λοιπόν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη μεταβολικού συνδρόμου.

Υπάρχει πληθώρα δεδομένων που υποδηλώνουν πως τα συστατικά του κόκκινου σμέουρου έχουν βιολογική δράση η οποία θα μπορούσε να σχετίζεται κλινικά με την πρόληψη ή τη διαχείριση του διαβήτη. Μελέτες *in vivo* και *in vitro* σε ζώα έχουν καταδείξει πως τα κόκκινα σμέουρα έχουν αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και ευαισθητοποιητικές στην ινσουλίνη δράσεις σε ιστούς καταλυτικής σημασίας, ιδιαίτερα στον λιπώδη ιστό (González-Barrio, Borges, Mullen and Crozier, 2010), (Jayaprakasam, Vareed, Olson and Nair, 2005), (Tsuda et al., 2004). Αυτές οι δράσεις μπορούν και οδηγούν σε μειωμένη γλυκαιμία και γλυκοποιημένες πρωτεΐνες (Sasaki et al., 2007). Επιπλέον, η ενίσχυση της έκκρισης ινσουλίνης στο πάγκρεας μέσω των β-κυττάρων είναι ένας άλλος σημαντικός μηχανισμός για τον έλεγχο της γλυκόζης και την επιβράδυνση της εξέλιξης της νόσου.

2.3.3 Παχυσαρκία

Η παχυσαρκία αναγνωρίζεται πλέον ως μια χρόνια πάθηση, η οποία έχει σχεδόν υπερτριπλασιαστεί παγκοσμίως από το 1975, και πλέον 1.9 δισεκατομμύρια ενήλικοι είναι υπέρβαροι, με 650 εκατομμύρια από αυτούς να είναι παχύσαρκοι. Ο αυξημένος δείκτης μάζας σώματος, αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη καρδιαγγειακής νόσου, διαβήτη, μυοσκελετικών διαταραχών καθώς και

κάποιων καρκίνων. Επιπλέον, η παιδική παχυσαρκία έχει συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο παχυσαρκίας, πρόωρου θανάτου και αναπηρίας στην ενηλικίωση (WHO Obesity and overweight, 2021).

Οι κετόνες των σμέουρων έχουν προσελκύσει την προσοχή του κοινού λόγω της δυνατότητάς τους να συμβάλλουν στην απώλεια βάρους. Το συμπέρασμα αυτό αντλείται από έρευνες σε τρωκτικά, που έδειξαν μειωμένη αύξηση βάρους μετά από 5 και 10 εβδομάδες διατροφής υψηλών λιπαρών με ποσοστό 2% κετόνες σμέουρων (Morimoto et al., 2005). Η ώθηση για την πραγματοποίηση της έρευνας, προήλθε από την αναγνώριση δομικών ομοιοτήτων των κετονών με την καψαϊκίνη και τη συννεφρίνη, ενώσεις γνωστές για την δράση τους κατά της παχυσαρκίας και την μεταβολή που προκαλούν στο μεταβολισμό των λιπιδίων. Η μελέτη ανέφερε πως τα συμπληρώματα κετόνης των σμέουρων απέτρεψαν την αύξηση του σωματικού βάρους παρά τη διατροφή αυξημένων λιπαρών καθώς και του βάρους του ηπατικού και του σπλαχνικού λιπώδους ιστού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ξήρανση

Εισαγωγή

Καταστάσεις του περιεχόμενου νερού

Μέθοδοι ξήρανσης

Διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

3.1 Εισαγωγή

Η ξήρανση αποτελεί μια από τις αρχαιότερες μεθόδους συντήρησης τροφίμων, η οποία χρησιμοποιείται από τις απαρχές της ανθρώπινης εξέλιξης. Η αλλοίωση των τροφίμων, η οποία προκαλείται από τον πολλαπλασιασμό των ενζύμων και των μικροοργανισμών του ίδιου του τροφίμου, ευνοείται από αυξημένα επίπεδα νερού σε ήπιες θερμοκρασίες. Η απομάκρυνση του νερού από τα τρόφιμα μέσω της ξήρανσης, είτε φυσικά κάτω από τον ήλιο, είτε μέσω τεχνικών ξήρανσης, εξασφαλίζει τη συντήρηση των τροφίμων για μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες, ανάλογα με τον τύπο του τροφίμου. Η ξήρανση διευκολύνει την μεταφορά και αποθήκευση των τροφίμων, οδηγώντας ταυτόχρονα μειωμένο κόστος, καθώς τα αφυδατωμένα τρόφιμα είναι λιγότερο ευαίσθητα στη μικροβιακή αλλοίωση, ενώ έχουν χαμηλότερο βάρος. Ευπαθή τρόφιμα όπως είναι τα σιτηρά, τα φρούτα, τα λαχανικά, οι ξηροί καρποί, το γάλα, τα αυγά και το κρέας υποβάλλονται συχνά σε ξήρανση ώστε να αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους. Κάποια μειονεκτήματα των αφυδατωμένων τροφίμων όπως η ζαρωμένη εμφάνιση, η απώλεια θρεπτικών συστατικών, η αλλαγή στο χρώμα, την υφή και τη γεύση, μπορούν να μετριαστούν με βελτιωμένες μεθόδους, όπως είναι η ξήρανση μέχρι μέτρια υγρασία και η ξήρανση υπό κατάψυξη (Prabhakar and Mallika, 2014).

3.2 Καταστάσεις του περιεχόμενου νερού

Το νερό που περιέχεται στα τρόφιμα και απομακρύνεται μέσω της ξήρανσης βρίσκεται αρχικά σε ελεύθερη (free) ή σε δεσμευμένη (bound) κατάσταση. Το δεσμευμένο νερό βρίσκεται κοντά στα μη υδατικά συστατικά του τροφίμου και παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες από αυτές του συνόλου του νερού στο τρόφιμο και νερό μπορεί να διακριθεί με βάση το βαθμό δέσμευσής του στις εξής κατηγορίες:

- Το ισχυρά δεσμευμένο νερό, το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των μη υδατικών συστατικών. Αυτό μπορεί να είναι για παράδειγμα το νερό που είναι μέρος των υδριτών ή το νερό που βρίσκεται στα μικρά κενά των πρωτεϊνών.
- Το γεινιάζον νερό, το οποίο αποτελεί τα πρώτα στρώματα που βρίσκονται σε επαφή με τα μη υδατικά συστατικά. Συνδέεται κυρίως με τις ιοντικές ομάδες αυτών των μη υδατικών συστατικών.
- Το πολυστρωματικό νερό το οποίο καταλαμβάνει ουσιαστικά τα αμέσως επόμενα στρώματα και παρόλο που είναι συνδεδεμένο κυρίως με δεσμούς υδρογόνου και άρα όχι τόσο ισχυρά, παρουσιάζει αρκετές διαφορές από τις ιδιότητες του ελεύθερου νερού. Δεν έχει μεγάλη διαλυτική ικανότητα, ενώ μεγάλο μέρος του παραμένει σε υγρή κατάσταση μέχρι και τους -40°C .

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως σε τρόφιμα υψηλής υγρασίας οι ποσότητες του δεσμευμένου νερού είναι πολύ μικρές, με τις δύο πρώτες κατηγορίες να αποτελούν μόλις το 0.5% και το πολυστρωματικό νερό το 1-5% του ολικού νερού.

Όπως είναι λογικό η δυνατότητα απομάκρυνσης του νερού στο τρόφιμο, καθώς και η διαθεσιμότητά του για δράση και ανάπτυξη μικροοργανισμών εξαρτάται από το βαθμό δέσμευσής του. Όσο πιο ισχυρά δεσμευμένο είναι, τόσο πιο δύσκολη είναι η απομάκρυνση του. Με ανάλογο τρόπο επηρεάζεται και η διαθεσιμότητα, με το ισχυρά δεσμευμένο και το γεινιάζον νερό να μη διευκολύνουν τις μικροβιακές δράσεις και ένα μικρό ποσοστό του πολυστρωματικού νερού να είναι διαθέσιμο. Αντιθέτως, το ελεύθερο νερό είναι πλήρως διαθέσιμο. Το γεγονός αυτό καθιστά εμφανές πως η ανάπτυξη μικροοργανισμών στο τρόφιμο, και συνεπώς η σταθερότητα και ασφάλειά του, εξαρτάται μόνο από το ποσό ελεύθερου ή χαλαρά δεσμευμένου νερού και αναδεικνύει τη σπουδαιότητα της ενεργότητας νερού στη συντήρηση τροφίμων (Κ.Τζιά, Π.Ταούκης 2020).

3.3 Μέθοδοι Ξήρανσης

Οι διάφορες μέθοδοι ξήρανσης που έχουν αναπτυχθεί επιτρέπουν την παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων με βελτιωμένη λειτουργικότητα, διατηρησιμότητα και διατροφική αξία. Κάποιες από αυτές είναι η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, η ξήρανση υπό κατάψυξη, η ξήρανση υπό κενό, η ωσμωτική αφυδάτωση, η ξήρανση με ψεκασμό, η ξήρανση χαμηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού, η ξήρανση με υπερήχους, η ξήρανση με τη βοήθεια μικροκυμάτων καθώς και ο συνδυασμός τους. Οι βασικότεροι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την επιλογή της μεθόδου ξήρανσης είναι:

- Τα χαρακτηριστικά των φρέσκων προϊόντων
- Το επιθυμητό τελικό επίπεδο υγρασίας
- Η ποιότητα και οι ιδιότητες των τελικών προϊόντων
- Η τελική χρήση τους
- Το κόστος και
- Η ενεργειακή κατανάλωση

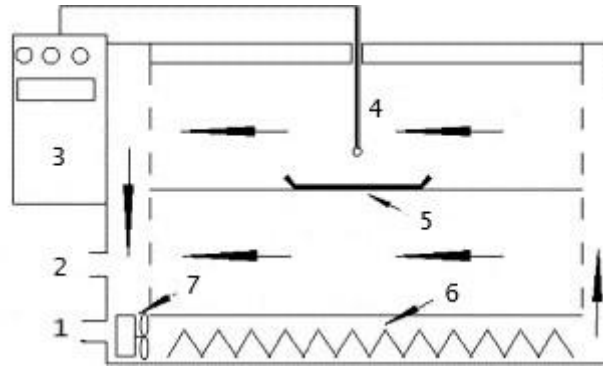
Από τις μεθόδους ξήρανσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, το σπουδαιότερο ρόλο στη βιομηχανία παρουσιάζουν η ξήρανση υπό κατάψυξη, η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, η ξήρανση υπό κενό και η ωσμωτική αφυδάτωση (Οικονομοπούλου, 2014).

3.3.1 Ξήρανση σε ρεύμα αέρα

Η ξήρανση σε ρεύμα αέρα αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο αφυδάτωσης στη βιομηχανία τροφίμων. Επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία του αέρα, καθώς και τις χαρακτηριστικές διαστάσεις του τροφίμου. Οι υπόλοιποι παράγοντες δεν ασκούν τόσο μεγάλη επίδραση στη διεργασία. Ως αποτέλεσμα, οδηγεί σε αφυδατωμένα προϊόντα τα οποία χαρακτηρίζονται από χαμηλό πορώδες και υψηλή φαινόμενη πυκνότητα. Επιπλέον, κατά τη ξήρανση σε ρεύμα αέρα συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές στο χρώμα ενώ συχνά το αφυδατωμένο προϊόν έχει χαμηλή ικανότητα ρόφησης (Krokida, Karathanos, Maroulis and Marinos-Kouris, 2003).

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης σε ρεύμα αέρα, θερμότητα μεταφέρεται από το θερμό αέρα στο τρόφιμο μέσω συναγωγής, και ο παραγόμενος ατμός απομακρύνεται από το τρόφιμο μέσω του αέρα επίσης με συναγωγή (Lewicki, 1998). Πραγματοποιείται συνήθως σε φούρνους όπου ο αέρας ρέει με συγκεκριμένα προφίλ ταχύτητας διαπερνώντας το τρόφιμο, το οποίο τοποθετείται σε κατάλληλα στηρίγματα. Οι τυπικές θερμοκρασίες του αέρα κυμαίνονται μεταξύ των 40° C και 80° C, ενώ η ταχύτητα του από 0,5 έως 5 m/s, φτάνοντας όμως, σε ορισμένες περιπτώσεις, έως και τα 10 m/s. Η διάρκεια της ξήρανσης καθορίζεται από τις παραπάνω παραμέτρους και μπορεί να διαρκέσει έως και τις 20 ώρες (Aversa, Curcio, Calabrò and Iorio, 2007).

Παρακάτω παρουσιάζεται η διάταξη ενός τυπικού ξηραντήρα θερμού αέρα. Η είσοδος και η έξοδος του ρεύματος αέρα απεικονίζονται στις θέσεις (1) και (2), αντιστοίχως. Στη θέση (3) βρίσκεται ο πίνακας ελέγχου, στη θέση (4) το θερμοστοιχείο, στη θέση (5) ο δίσκος στον οποίο τοποθετείται το δείγμα προς ξήρανση, στη θέση (6) οι αντιστάσεις και στη θέση (7) ο ανεμιστήρας.



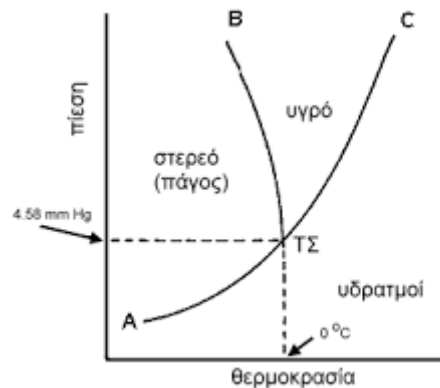
Εικόνα 3: Διάταξη ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Wang et al., 2007)

3.3.2 Ξήρανση υπό κατάψυξη

Η ξήρανση υπό κατάψυξη, ή αλλιώς λυοφιλίωση, ως βιομηχανική διαδικασία χρονολογείται από την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, όταν η ζήτηση για ανθρώπινο πλάσμα αίματος ήταν ιδιαίτερα αυξημένη. Αποτελεί την καλύτερη μέθοδο απομάκρυνσης νερού, με τελικά προϊόντα υψηλής ποιότητας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ξήρανσης τροφίμων (Irzyntec, Klimczak and Michalowski, 1995).

Η ξήρανση υπό κατάψυξη βασίζεται στην αφυδάτωση με εξάχνωση ενός κατεψυγμένου προϊόντος. Λόγω της απουσίας υγρού νερού και των χαμηλών θερμοκρασιών στις οποίες πραγματοποιείται η διεργασία, οι περισσότερες αλλοιώσεις και μικροβιολογικές αντιδράσεις σταματούν, γεγονός που δίνει ένα τελικό προϊόν εξαιρετικής ποιότητας. Η στερεή κατάσταση του νερού κατά την ξήρανση υπό κατάψυξη προστατεύει την πρωτογενή δομή και το σχήμα των προϊόντων, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται αμελητέα μείωση του όγκου. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα της όμως, η ξήρανση υπό κατάψυξη αποτελεί την πιο κοστοβόρα διαδικασία παραγωγής αφυδατωμένων προϊόντων (Ratti, 2001).

Η ξήρανση με κατάψυξη χρησιμοποιείται για την αφυδάτωση των περισσότερων θερμοευαίσθητων υλικών και αρωμάτων. Όπως γίνεται εμφανές και από το παρακάτω διάγραμμα, ψύχοντας το υλικό, μειώνοντας την περιβάλλουσα πίεση και προσθέτοντας αρκετή θερμότητα, το παγωμένο νερό στο υλικό εξαχνώνεται απευθείας από τη στερεά φάση και μεταβαίνει στη φάση του αερίου (Verri et al., 2012).

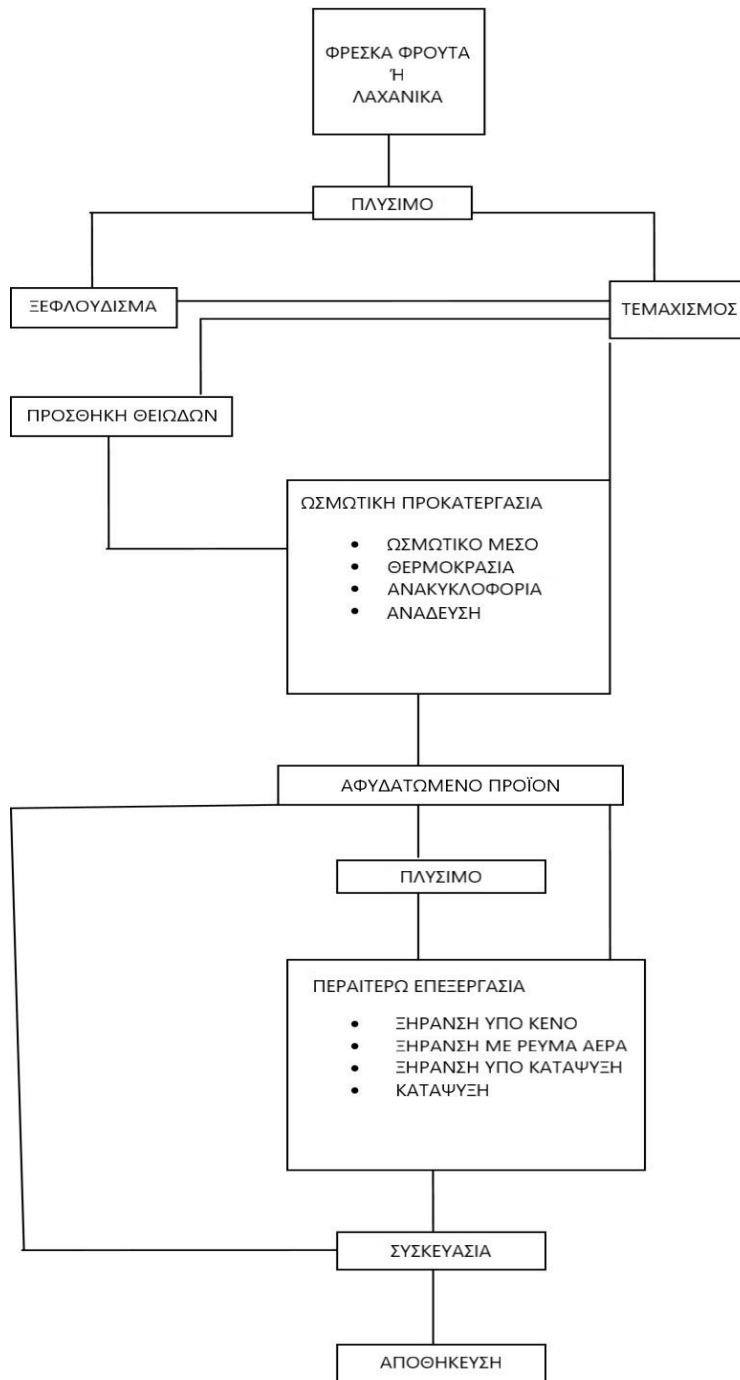


Εικόνα 4: Διάταξη ξηραντήρα με ρεύμα αέρα (Wang et al., 2007)

3.3.3 Ωσμωτική Αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί την διεργασία απομάκρυνσης του νερού από το τρόφιμο, μέσω της βύθισής του σε διάλυμα αλατιού ή σακχάρων υψηλής ωσμωτικής πίεσης. Το νερό μεταφέρεται από το τρόφιμο στο διάλυμα λόγω της διαφοράς στην ωσμωτική πίεση (Berk, 2018). Κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης, πραγματοποιούνται τρία φαινόμενα μεταφοράς ανάμεσα στο διάλυμα και το τρόφιμο, του οποίου η επιφάνεια λειτουργεί ως ημιδιαπερατή μεμβράνη. Αυτά είναι:

- Σημαντική εκροή νερού, από το τρόφιμο στο διάλυμα.
- Μεταφορά της διαλυμένης ουσίας, από το διάλυμα στο τρόφιμο. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτό το φαινόμενο μπορεί να εκμεταλλευτεί ώστε να εισαχθεί στο τρόφιμο κάποιος δραστικός παράγοντας, με σκοπό τη βελτίωση της λειτουργικότητας ή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του.
- Μεταφορά των διαλυτών ουσιών του τροφίμου προς το διάλυμα, όπως είναι τα σάκχαρα, οργανικά οξέα, βιταμίνες κ.λπ. Η ποσότητα που μεταφέρεται είναι αμελητέα σε σχέση με τα άλλα δύο είδη μεταφοράς, παρ'όλα αυτά έχει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση και την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Raoult-Wack, Rios and Guilbert, 1995).



Εικόνα 5: Απεικόνιση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Yadan and Singh, 2012)

Η ωσμωτική αφυδάτωση οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με μειωμένη υγρασία, η οποία όμως παραμένει σε υψηλά επίπεδα (20-50%) (Raoult-Wack et al., 1991), με αποτέλεσμα την παραγωγή τροφίμων με ενδιάμεση υγρασία ή μερικώς επεξεργασμένων τροφίμων, τα οποία χαρακτηρίζονται από μικροβιακή σταθερότητα (Panagiotou et al., 1998).

Για το λόγο αυτό, η ωσμωτική αφυδάτωση χρησιμοποιείται κυρίως ως προκατεργασία άλλων διεργασιών με σκοπό τη βελτίωση των θρεπτικών, οργανοληπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων χωρίς να αλλάζει τη δομή τους. Προηγείται γενικά διεργασιών όπως είναι η κατάψυξη, η ξήρανση με κατάψυξη, η ξήρανση υπό κενό ή η ξήρανση με ρεύμα αέρα. Αυξάνει, επίσης, την αναλογία σακχάρου προς οξύ και βελτιώνει την υφή και τη σταθερότητα των χρωστικών κατά την αφυδάτωση και αποθήκευση, ενώ είναι αποτελεσματική κοντά στις θερμοκρασίες περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα η θερμική ζημιά στην υφή, το χρώμα και τη γεύση να ελαχιστοποιείται (Rastogi, Raghavarao, Niranjana and Knorr, 2002). Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση, μπορεί και μειώνει την ενεργότητα νερού πολλών τροφίμων, με αποτέλεσμα να αναστέλλει τη μικροβιακή ανάπτυξη. Τέλος, δεδομένου ότι τα περισσότερα τρόφιμα περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού, η ωσμωτική αφυδάτωση μειώνει το κόστος της μεταφοράς, συσκευασίας και της αποθήκευσης και θεωρείται μια ενεργειακά οικονομική διεργασία καθώς δεν απαιτεί κάποια αλλαγή φάσης (Bolin, Huxsoll, Jackson and NG, 1983).

Για τους λόγους αυτούς, απαιτείται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την ωσμωτική αφυδάτωση και την αξιοποίησή της από τη βιομηχανία. Ακολουθεί πιο λεπτομερής ανάλυση σχετικά με την τεχνολογία της και τους παράγοντες που την επηρεάζουν.

3.4 Τεχνολογία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια τεχνική η οποία, παρόλο που έχει προσελκύσει προσφάτως το ενδιαφέρον της βιομηχανίας και της επιστημονικής κοινότητας καθώς αυξάνεται η ανάγκη των καταναλωτών για μη επεξεργασμένα τρόφιμα, δεν είναι μια νέα τεχνική. Ουσιαστικά, η διαδικασία μερικής απομάκρυνσης του νερού μέσω της ώσμωσης είναι μια διαδικασία που είναι γνωστή και ασκείται εδώ και αιώνες. Το αλάτισμα των ψαριών και το ζαχάρωμα των φρούτων είναι παραδείγματα τεχνικών επεξεργασίας τροφίμων που έχουν καθιερωθεί εδώ και πολύ καιρό, όπου η απομάκρυνση του νερού πραγματοποιείται παράλληλα με τη διεύδυση της διαλυμένης ουσίας στο τρόφιμο (Berk, 2018).

Η ωσμωτική αφυδάτωση αποτελεί μια από τις σημαντικότερες συμπληρωματικές τεχνικές επεξεργασίας και συντήρησης τροφίμων, καθώς παρουσιάζει ορισμένα οφέλη όπως η μείωση της αλλοίωσης που προκαλεί η θερμότητα στη γεύση και το χρώμα, η αναστολή της αμαύρωσης των ενζύμων και η μείωση του ενεργειακού κόστους (Alakali et al, 2006). Πρόκειται για μια διεργασία κατά την οποία τα τρόφιμα υψηλής υγρασίας, βυθίζονται σε ένα ωσμωτικό διάλυμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλότερη ωσμωτική πίεση και χαμηλότερη ενεργότητα νερού σε σχέση με το τρόφιμο. Η διαφορά στην ωσμωτική πίεση είναι αυτή που προκαλεί τη μετακίνηση του νερού, από το τρόφιμο στο διάλυμα (Berk, 2018). Η επιφάνεια του τροφίμου και πιο συγκεκριμένα το κυτταρικό τοίχωμα, λειτουργεί σαν ημιδιαπερατή μεμβράνη. Οι συνθήκες ισορροπίας λοιπόν, διατηρούνται και στις δύο πλευρές της μεμβράνης μετακινώντας το νερό από το διάλυμα με χαμηλότερη συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας, δηλαδή το νερό του τροφίμου, στο διάλυμα με την υψηλότερη συγκέντρωση (Waghmare, Perumal, Moses and Anandharamakrishnan, 2021). Τα ωσμωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται γενικά είναι τα σάκχαρα για την αφυδάτωση φρούτων σε κύβους ή σε φέτες και το αλάτι ή άλμη για την αφυδάτωση λαχανικών. Σε αυτήν τη διαδικασία, το νερό μεταφέρεται από τα φρούτα ή τα λαχανικά προς το διάλυμα και μαζί με το νερό, ορισμένα συστατικά τους όπως είναι τα μέταλλα, οι βιταμίνες, οξέα κ.λπ. Τα σάκχαρα και το αλάτι μετακινούνται αντίστοιχα προς τα φρούτα και τα λαχανικά (Yadav and Singh, 2012). Η ωσμωτική αφυδάτωση έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί σε θερμοκρασία έως 45°C και καλό να μην ξεπερνάει τους 50°C καθώς σε αυτή τη θερμοκρασία αρχίζει να πραγματοποιείται ενζυμική

αμαύρωση και αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων (Falade and Igbeka, 2007).

3.4.1 Φαινόμενα Μεταφοράς Μάζας

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η διαφορά στην ωσμωτική πίεση είναι αυτή που προκαλεί τη μετακίνηση του νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά του χημικού δυναμικού αποτελεί την κινητήρια δύναμη που προκαλεί τη μεταφορά μάζας ανάμεσα στο προϊόν και το ωσμωτικό διάλυμα, μέσω μιας ημιδιαπερατής μεμβράνης (Cánonas Barbosa and G.V y Vega Mercado 1996). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, την ημιδιαπερατή μεμβράνη αποτελεί το κυτταρικό τοίχωμα του τροφίμου (Ciurzyńska, Kowalska, Czajkowska and Lenart, 2016).

Η σχέση ανάμεσα στο χημικό δυναμικό μ_i και την ενεργότητα νερού a_w διαμορφώνεται ως εξής:

$$\mu_i = \mu_i^{\circ} RT \ln a_w \quad (\text{Εξ. 2.1})$$

όπου

μ_i° : το χημικό δυναμικό στην πρότυπη κατάσταση ($\frac{J}{mol}$)

R : παγκόσμια σταθερά των αερίων $= 8.314 \left(\frac{J}{mol \cdot K}\right)$

T : θερμοκρασία (K)

Η ωσμωτική αφυδάτωση πραγματοποιείται μέχρι η ενεργότητα νερού του διαλύματος και του προϊόντος φτάσουν σε ισορροπία (Cánonas Barbosa and G.V y Vega Mercado 1996).

Όπως προαναφέρθηκε, η μεταφορά του νερού αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με τη διάχυση να αποτελεί τον κύριο μηχανισμό μεταφοράς μάζας. Ο ρυθμός διάχυσης μπορεί να υπολογιστεί από τον τροποποιημένο νόμο του Fick:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \text{για γεωμετρία πλάκας (Εξ. 3.2) και}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial w}{\partial r} \right) \quad \text{για κυλινδρική γεωμετρία (Εξ. 3.3)}$$

όπου

w : η απώλεια νερού ή η αύξηση στερεών κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης

t : η διάρκεια της επεξεργασίας (s)

D : η σταθερά διάχυσης ($\frac{cm^2}{s}$)

x : το πάχος της πλάκας (cm)

r : η διάμετρος του κυλίνδρου (cm)

Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης πραγματοποιείται σε στάδια. Αρχικά, το νερό διαχέεται από το εξωτερικό στρώμα του δείγματος στο ωσμωτικό διάλυμα, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ωσμωτική πίεση στην επιφάνεια. Καθώς η ωσμωτική πίεση φτάνει σε μια κρίσιμη τιμή, οι κυτταρικές μεμβράνες διαρρηγνύονται και συρρικνώνονται. Αυτό οδηγεί σε απότομη μείωση της αναλογίας των άθικτων

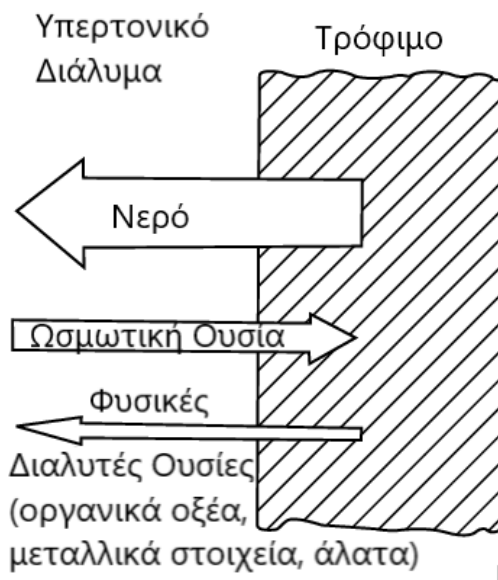
κυττάρων, η οποία αντανακλάται σε αύξηση του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης (Z_p) (Rastogi, Raghavarao, Niranjana and Knorr, 2002). Ο δείκτης αυτός μετράται μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. (Knorr & Angersbach, 1998).

Αφού τα κύτταρα στο πρώτο στρώμα χάσουν νερό, δημιουργείται μια διαφορά χημικού δυναμικού του νερού που βρίσκεται μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου στρώματος των κυττάρων. Στη συνέχεια, τα κύτταρα στο δεύτερο στρώμα αρχίζουν να αντλούν νερό στα κύτταρα στο πρώτο στρώμα και στη συνέχεια αρχίζουν να συρρικνώνονται. Τα φαινόμενα της μεταφοράς μάζας και της συρρίκνωσης των ιστών εξαπλώνονται από την επιφάνεια μέχρι το κέντρο του υλικού όσο αυξάνεται ο χρόνος λειτουργίας. Τέλος, τα κύτταρα στο κέντρο του υλικού αποβάλλουν νερό με αποτέλεσμα η διαδικασία μεταφοράς μάζας να τείνει να ισορροπεί μετά από μια μακρά περίοδο χρόνου εμβάπτισης (Shi and Le Maguer, 2002).

Η διαδικασία είναι καλο να διαρκεί όσο το δυνατόν λιγότερο για να επιτευχθεί μια επιτυχημένη αφυδάτωση. Οι απώλειες νερού είναι ιδιαίτερα αυξημένες τις πρώτες 2 ώρες της διεργασίας. Έτσι, μια πρόωγη διακοπή της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει ως αποτέλεσμα να αφαιρείται μια σημαντική ποσότητα νερού χωρίς όμως να υπάρχει μεγάλη πρόσληψη σακχάρων ή αλατιού (Cánonas Barbosa and G.V y Vega Mercado 1996).

Αξίζει να σημειωθεί πως η ημιδιαπερατή μεμβράνη μέσα από την οποία μεταφέρεται το νερό δεν είναι επιλεκτική, με αποτέλεσμα διαλυμένες ουσίες να μεταφέρονται όχι μόνο από το διάλυμα στο τρόφιμο αλλά και αντίστροφα (Muñiz-Becerá, Méndez-Lagunas and Rodríguez-Ramírez, 2017).

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και συρρίκνωσης του ιστού λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα κατά την ωσμωτική αφυδάτωση (Εικόνα 6)



Εικόνα 6: Απεικόνιση της μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Mujumdar, 2006)

Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης μπορεί να αναπαρασταθεί επαρκώς από δύο τιμές, την απώλεια νερού (WL), δηλαδή το νερό που διαχέεται από το τρόφιμο στο διάλυμα και την πρόσληψη στερεών (SG), δηλαδή την ποσότητα των στερεών που διαχέονται από το διάλυμα στο τρόφιμο. (Panagiotou, Karathanos, and Maroulis 1998). Ο υπολογισμός του γίνεται ως εξής:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{M_o} \quad (\text{Εξ. 3.4})$$

$$SG = \frac{m - m_o}{M_o} \quad (\text{Εξ. 3.5})$$

όπου

M_o = το αρχικό βάρος του φρέσκου τροφίμου πριν την ωσμωτική επεξεργασία (g)

M = το βάρος του φρέσκου τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας (g)

m = το ξηρό βάρος του τροφίμου μετά από χρόνο t ωσμωτικής επεξεργασίας (g)

m_o = το αρχικό ξηρό βάρος του τροφίμου (g)

3.4.2 Παράμετροι της διεργασίας

Υπάρχουν διάφορες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της ωσμωτικής αφυδάτωσης και αφορούν στα χαρακτηριστικά του τροφίμου καθώς και τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται η διεργασία, όπως είναι η θερμοκρασία, η διάρκεια, η αναλογία διαλύματος – τροφίμου, το ωσμωτικό μέσο και η παρουσία ή όχι ανάδευσης (Ramya and Jain, 2016).

Χαρακτηριστικά της πρώτης ύλης

Σε ό,τι αφορά στην πρώτη ύλη πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η γεωμετρία της. Ο λόγος είναι πως η γεωμετρία επηρεάζει το λόγο της επιφάνειας ανά όγκο ή μάζα και αυτό με τη σειρά του τα φαινόμενα διάχυσης των μορίων νερού και των διαλυμένων συστατικών. Αυτό συνεπάγεται πως η απώλεια υγρασίας ελαττώνεται με αύξηση του μεγέθους του δείγματος, αφού όσο μεγαλύτερο είναι το στερεό δείγμα, τόσο πιο αργά αφυδατώνεται (Nieuwenhuijzen et al., 2001). Γενικά, ένα δείγμα μεγέθους από 3 mm έως 10 mm σε σχήμα ορθογωνίου, δακτυλίου ή κύβου θεωρείται ιδανικό για χρήση στη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης.

Η ποικιλία και η ωριμότητα των φρούτων και των λαχανικών καθορίζουν επίσης την απώλεια νερού και την πρόσληψη στερεών. Ανάλογα με τον τύπο του τροφίμου, μεταβάλλονται η συμπίεση των ιστών, η αρχική περιεκτικότητα σε αδιάλυτα και διαλυτά στερεά, οι ενδοκυτταρικοί χώροι και η δράση των ενζύμων (Chavan and Amarowicz, 2012).

Θερμοκρασία

Η διάχυση, ως γνωστόν, αποτελεί φαινόμενο εξαρτώμενο από τη θερμοκρασία. Η σχέση της σταθεράς διάχυσης $Deff$ με τη θερμοκρασία T είναι η εξής:

$$Deff = D_o \exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right) \quad (\text{Εξ. 3.6})$$

όπου

Ea = ενέργεια ενεργοποίησης $\left(\frac{kcal}{mol}\right)$

T = θερμοκρασία (K)

D_0 = σταθερά διάχυσης στην κατάσταση αναφοράς $\left(\frac{cm^2}{s}\right)$

R = παγκόσμια σταθερά των αερίων = $8.314 \left(\frac{J}{mol \cdot K}\right)$

Η θερμοκρασία αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που επηρεάζει το ρυθμό ώσμωσης. Η αύξηση της θερμοκρασίας εντείνει την απομάκρυνση του νερού και τη διείσδυση των ωσμωτικών ουσιών στον ιστό. Ωστόσο, η αναλογία του νερού που απομακρύνεται προς τις ωσμωτικές ουσίες που διεισδύουν παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία. Επιπλέον, η επίδραση που έχει η θερμοκρασία στην κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης μεταβάλλεται ανάλογα με το ωσμωτικό μέσο (Cánonas Barbosa and G.V y Vega Mercado 1996).

Η αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνει επίσης το ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος, το οποίο μειώνει με τη σειρά του την εξωτερική αντίσταση στη μεταφορά μάζας στην επιφάνεια του προϊόντος. Έτσι, διευκολύνει την εκροή νερού από τα τρόφιμα και οδηγεί σε υψηλά ποσοστά διάχυσης διαλυμένης ουσίας στα τρόφιμα (Phisut N., 2012). Επιπλέον, καλό είναι να μην ξεπερνιέται η θερμοκρασία των 50°C καθώς σε αυτή τη θερμοκρασία ξεκινά η ενζυμική αμαύρωση και η αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου (Falade and Igbeka, 2007).

Χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας

Ο χρόνος της ωσμωτικής επεξεργασίας είναι ο χρόνος της παραμονής του δείγματος στο ωσμωτικό διάλυμα. Γενικά ο αυξημένος χρόνος εμβάπτισης ευνοεί τη μεταφορά μάζας. Στην αρχή της διαδικασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η μεταφορά μάζας είναι γρήγορη. Καθώς μεταφέρεται νερό στο ωσμωτικό διάλυμα, η διαφορά στις ωσμωτικές πιέσεις του προϊόντος και του διαλύματος μειώνεται, μειώνοντας έτσι τον ρυθμό μεταφοράς μάζας μέχρι την ισορροπία (González-Pérez, Ramírez-Corona and López-Malo, 2021). Αξίζει να σημειωθεί επίσης πως η συστολή των ιστών του προϊόντος μπορεί να συμβεί ταυτόχρονα με τη διαδικασία αφυδάτωσης, μειώνοντας τον φυσικό χώρο στον οποίο μπορεί να εμφανιστεί μεταφορά μάζας (Ramya and Jain, 2016).

Ωσμωτικό Μέσο

Η επιλογή του ωσμωτικού μέσου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης καθώς επηρεάζει την αποτελεσματικότητά της. Το ωσμωτικό διάλυμα αποτελείται συνήθως από μια ουσία διαλυμένη σε νερό. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι διαλυμένης ουσίας που χρησιμοποιούνται ως ωσμωτικοί παράγοντες είναι η σακχαρόζη, η γλυκόζη, η σορβιτόλη, η γλυκερόλη, το σιρόπι καλαμποκιού και φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (Phisut, 2012). Ορισμένα ωσμωτικά μέσα ευνοούν την απομάκρυνση υγρασίας ενώ άλλα την πρόσληψη στερεών, με τις δύο αυτές δράσεις να είναι αλληλοσυγκρουόμενες. Για το λόγο αυτό, κάποιες φορές, προτιμώνται διαλύματα δύο ή περισσότερων διαλυμένων ουσιών (Raoult–Wack A.L., 1994). Κάποιοι παράγοντες οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή του ωσμωτικού μέσου είναι το κόστος της διαλυμένης ουσίας, η οργανοληπτική συμβατότητα με το τελικό προϊόν και η πρόσθετη συντηρητική δράση που μπορεί να προσφέρει η διαλυμένη ουσία. Επιπλέον ο ωσμωτικός παράγοντας πρέπει να είναι αποτελεσματικός, πρακτικός, μη

τοξικός, γευστικός και να διαλύεται εύκολα ώστε να σχηματίσει ένα διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης (Yadav and Singh, 2014).

Για να γίνει επιλογή του κατάλληλου ωσμωτικού μέσου, είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη το μοριακό βάρος του. Κατά τη διάρκεια της ώσμωσης, οι κινητικές παράμετροι επηρεάζονται έντονα από το είδος του ωσμωτικού μέσου που χρησιμοποιείται, συμπεριλαμβανομένου του μοριακού βάρους και της ιοντικής συμπεριφοράς του. Η ωσμωτική πίεση των διαλυμάτων εξαρτάται από τη συγκέντρωση ουσιών χαμηλού μοριακού βάρους (Timkin and Lazarev, 2015). Οι ουσίες υψηλού μοριακού βάρους παράγουν χαμηλότερη ωσμωτική πίεση, με αποτέλεσμα χαμηλότερες κινητικές παραμέτρους και χαμηλότερη διείσδυση τους στο υλικό. Γενικά, ένας ωσμωτικός παράγοντας χαμηλού μοριακού βάρους είναι ευκολότερο να διεισδύσει στο κυτταρικό τοίχωμα των φρούτων σε σύγκριση με έναν ωσμωτικό παράγοντα υψηλού μοριακού βάρους (Phisut, 2012).

Συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας

Αυξημένες συγκεντρώσεις ωσμωτικού διαλύματος οδηγούν σε αυξημένη απώλεια βάρους. Αυτό αποδίδεται στην ενεργότητα νερού του ωσμωτικού διαλύματος που μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας στο ωσμωτικό διάλυμα (Tortoe, 2010). Γενικά, όσο μεγαλύτερη η διαφορά στο ωσμωτικό δυναμικό μεταξύ του διαλύματος και του δείγματος τόσο πιο υψηλός ο ρυθμός διάχυσης της διαλυμένης ουσίας και του νερού (Phisut, 2012). Οι Ispir και Toğrul (2009) αξιολόγησαν το ρυθμό μεταφοράς μάζας δειγμάτων βερίκοκου κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Τα δείγματα βερίκοκου βυθίστηκαν σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις σακχαρόζης (40%, 50% και 60%). Η υψηλότερη συγκέντρωση σακχαρόζης οδήγησε σε μεγαλύτερες βαθμίδες ωσμωτικής πίεσης, οδηγώντας έτσι σε υψηλότερη πρόσληψη στερεών και απώλεια νερού καθ' όλη τη διάρκεια της ωσμωτικής διεργασίας.

Αναλογία Τροφίμου – Διαλύματος

Η αναλογία τροφίμου – διαλύματος είναι επίσης μείζονος σημασίας κατά την ωσμωτική επεξεργασία φρούτων και λαχανικών, καθώς επηρεάζει την κινητική μεταφοράς μάζας έως έναν ορισμένο βαθμό. Πολλοί ερευνητές εργάστηκαν για τη μελέτη της επίδρασης διαφορετικών αναλογιών δείγματος προς διάλυμα (1: 1 έως 1: 5) στην κινητική μεταφοράς μάζας. Έχουν μελετηθεί και υψηλότερες αναλογίες, 1:10 έως 1:60 για την αποφυγή αραίωσης του μέσου, η οποία μπορεί να συμβεί λόγω της αύξησης του νερού και της απώλειας διαλυμένης ουσίας, η οποία προκαλεί μείωση της ωσμωτικής δύναμης ξήρανσης. Ωστόσο, για πρακτικούς σκοπούς, οι χαμηλότερες αναλογίες δείγματος προς διάλυμα θεωρούνται βέλτιστες (Karathanos, V.T., et al., 1995).

Ανάδευση

Ο ρυθμός μεταφοράς μάζας αυξάνεται με ανάδευση κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής διεργασίας λόγω της μείωσης της αντίστασης μέσω της τοπικής διαδικασίας αραίωσης. Η χρήση πολύ συμπυκνωμένων διαλυμάτων σακχάρων δημιουργεί προβλήματα, όπως επίπλευση των δειγμάτων, εμποδίζοντας την επαφή μεταξύ του ωσμωτικού διαλύματος και του τροφίμου, ελαχιστοποιώντας έτσι τους ρυθμούς μεταφοράς μάζας (Phisut, 2012).

3.4.3 Εναλλακτικά μέσα ωσμωτικής αφυδάτωσης

Λόγω του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για σχεδιασμό νέων και ελάχιστα επεξεργασμένων τροφίμων με χαμηλές θερμίδες, η αντικατάσταση της ζάχαρης σε προϊόντα και μελέτη η της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τη χρήση εναλλακτικών υδατανθράκων αποτελεί μια πρόκληση (Katsoufi et al., 2017). Είναι σημαντικό να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις στη χρήση διαλυμάτων σακχαρόζης. Οι αλκοόλες της ζάχαρης έχουν χρησιμοποιηθεί ως διαλυτές ουσίες στη διαδικασία ωσμωτικής αφυδάτωσης του φρούτου kiwiberry (Bialik et al., 2018).

Από τα πιο κοινά ωσμωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται και έχουν μελετηθεί λοιπόν, πέρα από τη σακχαρόζη (Silva, Fernandes and Mauro, 2013) (Porciuncula et al., 2013), είναι και η γλυκόζη, η φρουκτόζη (Ruiz-López et al., 2011) και η τρεαλόζη (Vicente et al., 2011) καθώς οδηγούν σε διάλυμα με χαμηλή ενεργότητα νερού, είναι ασφαλή και προσδίδουν ευχάριστη γεύση. Λιγότερο όμως έχει ερευνηθεί η χρήση εναλλακτικών μέσων της σακχαρόζης, όπως η σορβιτόλη, η μαλτόζη, η ολιγοφρουκτόζη και η μαλτοδεξτρίνη. Ερευνητές έχουν μελετήσει ακόμα εναλλακτικά ωσμωτικά μέσα, όπως είναι ημαλιτιτόλη, η γλυκερόλη, η πολυδεξτρόζη και η γαλακτοσορβιτόλη (Cichowska et al., 2018).

Υπάρχουν μελέτες οι οποίες δείχνουν πως τα μικτά ωσμωτικά διαλύματα όπως το χλωριούχο νάτριο και η σακχαρόζη (ή γλυκόζη) οδηγούν σε υψηλότερη απομάκρυνση του νερού από τα διαλύματα της καθαρής σακχαρόζης (ή γλυκόζης). Έχει φανεί πως η αύξηση του ποσοστού του χλωριούχου νατρίου στα μικτά διαλύματα, με ταυτόχρονη διατήρηση των συνολικών στερεών στο ωσμωτικό διάλυμα οδηγεί σε περαιτέρω απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο υπό τις ίδιες συνθήκες (Panagiotou, Karathanos and Magoulis, 1999).

Αξίζει να αναφερθεί και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη φυσική γλυκαντική γλυκοσίδη στεβιόλης, το οποίο σχετίζεται με το ότι είναι φυτικό εκχύλισμα, χωρίς θερμίδες και με γλυκύτητα πολύ υψηλότερη από το ισοδύναμο της σακχαρόζης, καθιστώντας την ιδανική επιλογή για πολλές εφαρμογές τροφίμων και ποτών. Ωσμωτικοί παράγοντες συμπεριλαμβανομένων γλυκαντικών με βάση τη στέβια έχουν αναφερθεί πρόσφατα για εφαρμογή σε φυτικούς ιστούς (Dermesonliouoglou and Giannakourou, 2018).

Η χρήση χυμού φρούτων έχει προταθεί, επίσης, αντί του διαλύματος σακχαρόζης καθώς μπορεί να αυξάνει τη διατροφική αξία και τη φυσικότητα του ληφθέντος προϊόντος, αποτελώντας ένα σνακ υψηλής θρεπτικής αξίας (Dorota Koporacka et al., 2008). Συμπυκνωμένοι χυμοί κερασιού και πορτοκαλιού έχουν παρουσιάσει θετικά αποτελέσματα σε ωσμωτική αφυδάτωση μήλων (Niloufar Sharif et al., 2013) καθώς και ο συμπυκνωμένος χυμός μήλου σε ωσμωτική αφυδάτωση φρέσκων και κατεψυγμένων μύρτιλων (Akharume, Kaushlendra Tingi and Litha Sivanandan, 2016).

3.4.4 Μειονεκτήματα

Παρά τα πλεονεκτήματα της όμως, η ωσμωτική αφυδάτωση παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες οι οποίες δεν επιτρέπουν να αξιοποιηθεί σε βιομηχανική κλίμακα. Η βιομηχανική εφαρμογή της διαδικασίας αντιμετωπίζει προβλήματα μηχανικής που σχετίζονται με την κίνηση μεγάλων όγκων συμπυκνωμένων διαλυμάτων ζάχαρης καθώς και με τον σχεδιασμό εξοπλισμού για συνεχείς διεργασίες. Η χρήση διαλυμάτων υψηλής συγκέντρωσης σακχαρόζης δημιουργεί κάποια σημαντικά προβλήματα. Το ιξώδες του διαλύματος είναι τόσο μεγάλο που απαιτείται ανάδευση για τη μείωση της αντίστασης στη μεταφορά μάζας από την πλευρά του διαλύματος. Επιπλέον, η μεγάλη διαφορά της πυκνότητας του διαλύματος με αυτήν των φρούτων και των λαχανικών έχει ως αποτέλεσμα αυτά να επιπλέουν. Ένας

άλλος περιορισμός της μεγάλης κλίμακας παραγωγής που χρησιμοποιεί ωσμωτική αφυδάτωση είναι η ποσότητα αραιωμένου διαλύματος που απομένει στο τέλος της διαδικασίας. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να λυθεί με επαναχρησιμοποίηση του διαλύματος για επόμενη διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης, καθώς και τη χρήση του ως σιρόπι σε κονσερβοποιημένα φρούτα. Είναι όμως σημαντικό να λαμβάνεται πάντα υπόψιν και η μικροβιολογική ασφάλεια του τροφίμου (Falade and Igbeka, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εδώδιμη επικάλυψη

Εισαγωγή

Ορισμός

Ιδιότητες

Σύνθεση

Πρόσθετα

Μηχανισμός σχηματισμού φιλμ

4.1 Εισαγωγή

Τα φρούτα και τα λαχανικά αποτελούν βασικά συστατικά της καθημερινής διατροφής και καταναλώνονται καθημερινά από το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Πρόκειται για πηγή βιταμινών, βασικών μετάλλων, αντιοξειδωτικών, φλαβονοειδών, διαιτητικών ινών και αρωματικών ενώσεων. Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι πολύ ευπαθή μετά τη συγκομιδή τους, καθώς υπάρχουν σημαντικές απώλειες λόγω μικροβίων, εντόμων, αναπνοής και διαπνοής (Wilson and Wisniewski, 1989) (Valverde et al., 2005).

Ποικίλοι παράγοντες επηρεάζουν την ποιότητα και διατηρησιμότητα των φρούτων και των λαχανικών. Οι εξωτερικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική σύνθεση όπως τα ποσοστά O₂, CO₂, τις αναλογίες αιθυλενίου, τη θερμοκρασία και τους παράγοντες πίεσης, ενώ οι εσωτερικοί παράγοντες περιλαμβάνουν το είδος, την ποικιλία και το στάδιο ανάπτυξης του φρούτου. Επιπλέον, η μόλυνση της σάρκας των φρούτων και λαχανικών μπορεί να προκύψει από τη φλούδα, αυξάνοντας την αλλοίωση των φρούτων και των λαχανικών, οδηγώντας σε βιοχημική φθορά, όπως αμαύρωση, αλλοίωση γεύσης και υφής, υποβάθμιση της ποιότητας των φρούτων και λαχανικών και σε κίνδυνο για τους καταναλωτές λόγω της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών (Harris et al., 2003).

Οι πιο σημαντικοί ποιοτικοί παράγοντες που σχετίζονται με την εμπορευσιμότητα των φρέσκων προϊόντων σχετίζονται με το χρώμα, την εμφάνιση, τη γεύση, τη διατροφική αξία και την μικροβιακή ασφάλεια. Αυτοί οι ποιοτικοί παράγοντες μετρώνται με βάση την ποικιλία των φυτών, το στάδιο ωρίμανσης, το στάδιο ωριμότητας τους πριν από τη συγκομιδή και τις συνθήκες μετά τη συγκομιδή (Lin and Zhao, 2007). Οι απώλειες φρούτων και λαχανικών μετά τη συγκομιδή είναι ένα σοβαρό πρόβλημα και αφορά το χειρισμό, τη μεταφορά και την αποθήκευση. Η επέκταση της διάρκειας ζωής των φρούτων και λαχανικών και η διατήρηση των θρεπτικών συστατικών και των επιθυμητών χαρακτηριστικών εμφάνισης μπορούν να ενισχυθούν με την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων. Μεταξύ αυτών, οι διαδικασίες εδώδιμης επικάλυψης χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα, να παραταθεί η διάρκεια ζωής πολλών τροφίμων και να παραχθούν εύκολα έτοιμα για κατανάλωση (Kumar S. and Bhatnagar T., 2004).

Οι εδώδιμες επικαλύψεις ή μεμβράνες αυξάνουν τη διάρκεια ζωής των φρούτων και λαχανικών και είναι φιλικές προς το περιβάλλον και μπορούν να καταναλωθούν με ασφάλεια ως μέρος του προϊόντος (Olivas and Barbosa-Cánovas, 2009). Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί νέες επικαλύψεις και φιλμς με την προσθήκη και διαφόρων βρώσιμων βοτάνων και αντιμικροβιακών ενώσεων για τη διατήρηση φρέσκων φρούτων και λαχανικών (Silvia A.V.C et al., 2011). Επιπλέον χρησιμεύουν για την αποφυγή αλλοίωσης της δομής και απώλειας υγρασίας, ελέγχουν την ωρίμανση, την ανάπτυξη και τον αναπνευστικό ρυθμό, αποτρέπουν την αμαύρωση και μειώνουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών σε φρούτα και λαχανικά (Kumar S. and Bhatnagar T., 2004).

Εδώδιμες επικαλύψεις και φιλμ έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και αιώνες στη βιομηχανία τροφίμων για τη συντήρηση τροφίμων και δεν αποτελεί μια νέα τεχνική συντήρησης όπως για παράδειγμα το κέρωμα φρούτων και λαχανικών και η επικάλυψη κυτταρίνης σε περιβλήματα κρέατος (Jamie, 2012). Ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται από τον 12^ο αιώνα στην Κίνα και το 1922, όταν εφευρέθηκε το κέρωμα στα φρούτα και ήταν η πρώτη φορά που εφαρμόστηκαν εμπορικά (CPMA, 2014).

Παρόλο που η χρήση των εδώδιμων επικαλύψεων συμβαίνει εδώ και πολλά χρόνια, υπάρχει περιθώριο για έρευνα νέων, πιο αποτελεσματικών και λειτουργικών επικαλύψεων, οι οποίες να μπορούν να διατηρούν αλλά και να ενισχύουν τη θρεπτικότητα των τροφίμων.

4.2 Ορισμός

Εδώδιμη επικάλυψη ορίζεται ως οποιοσδήποτε τύπος υλικού που χρησιμοποιείται για επένδυση (δηλαδή, επικάλυψη ή περιτύλιξη) διαφόρων τροφίμων ώστε να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος και μπορεί να καταναλωθεί μαζί με το τρόφιμο με ή χωρίς αφαίρεσή του. Οι εδώδιμες επικαλύψεις δημιουργούν βρώσιμες ταινίες πάνω στο τρόφιμο που αντικαθιστούν ή και ενισχύουν τα φυσικά στρώματα των τροφίμων για την αποφυγή απώλειας υγρασίας, ενώ επιλεκτικά επιτρέπουν την ελεγχόμενη ανταλλαγή σημαντικών αερίων, όπως το οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και αιθυλένιο, που εμπλέκονται στις διαδικασίες αναπνοής. Η επίστρωση μπορεί επίσης να παρέχει επιφανειακή στείρωση και να αποτρέψει την απώλεια άλλων σημαντικών συστατικών. Γενικά, το πάχος της είναι συνήθως μικρότερο από 0,3 mm (Olivas and G.V. Barbosa-Cánovas, 2009).

4.3 Ιδιότητες

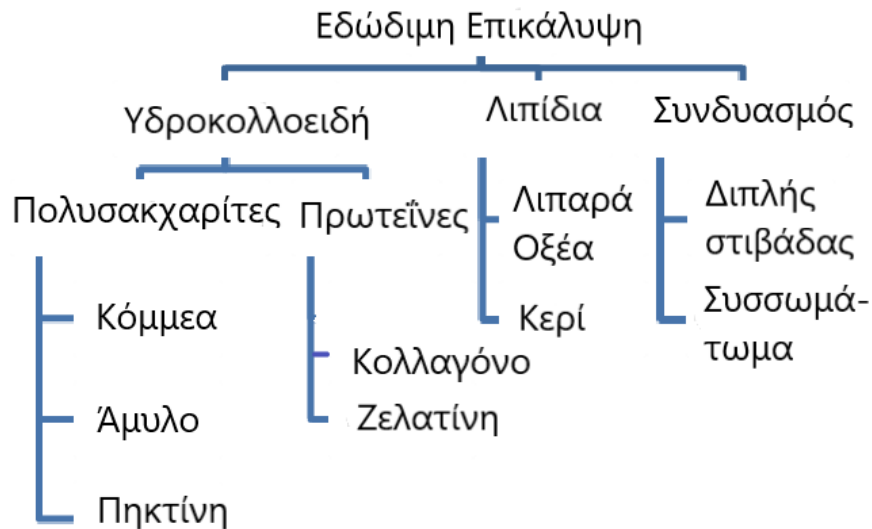
Οι ιδιότητες της βρώσιμης επικάλυψης εξαρτώνται κυρίως από τη μοριακή δομή και όχι από το μοριακό μέγεθος και τη χημική σύσταση του υλικού. Ειδικές απαιτήσεις για τα βρώσιμα φιλμ και επικαλύψεις είναι (Arvanitoyannis and Gorris, 1999):

- Να είναι ανθεκτικά στο νερό, ώστε να παραμένουν άθικτα και να καλύπτουν ένα προϊόν επαρκώς, όταν εφαρμόζονται.
- Να μην καταστρέφουν το οξυγόνο ή να δημιουργούν υπερβολικό διοξείδιο του άνθρακα. Απαιτείται τουλάχιστον 1-3% οξυγόνο γύρω από ένα προϊόν ώστε να αποφευχθεί η μετάβαση από αερόβια σε αναερόβια αναπνοή.
- Να έχουν μειωμένη διαπερατότητα σε υδρατμούς.
- Να βελτιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες των τροφίμων.
- Να διατηρούν τις πτητικές αρωματικές ενώσεις.
- Να λιώνουν σε θερμοκρασία πάνω από 40°C χωρίς να αποσυντίθεται.
- Να μην είναι κολλώδη.
- Να μην επηρεάζουν την ποιότητα των φρέσκων φρούτων ή λαχανικών.
- Να έχουν χαμηλό ιξώδες και να είναι οικονομική.
- Να είναι ημιδιαφανή ή αδιαφανή αλλά όχι υαλώδη.

4.4 Σύνθεση

Οι εδώδιμες επικαλύψεις μπορούν να παραχθούν από υλικά με ικανότητα σχηματισμού φιλμ. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, τα υλικά πρέπει να αραιώνονται και να διαλύονται σε διαλύτες όπως το νερό, η αλκοόλη, μείγμα νερού και αλκοόλης ή μείγμα άλλων διαλυτών. Σε αυτήν τη διαδικασία μπορούν να προστεθούν πλαστικοποιητές, αντιμικροβιακοί παράγοντες, μέταλλα, βιταμίνες, χρώματα ή αρωματικά. Για ορισμένα πολυμερή μπορεί να γίνεται και ρύθμιση του pH ή και θέρμανση των διαλυμάτων ώστε να διευκολύνεται η διασπορά. Τα διαλύματα της μεμβράνης μπορούν να εφαρμοστούν στα τρόφιμα με διάφορες μεθόδους, όπως η εμβάπτιση, ο ψεκασμός, η επάλειψη και η θέρμανση και στη συνέχεια ακολουθεί ξήρανση. Οι επικαλύψεις μπορεί να αποτελούνται από πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, λιπίδια και συνδυασμό αυτών (Donhowe and Fennema, 1993; Arvanitoyannis and Gorris, 1999). Η παρουσία και το πάχος τους καθορίζουν την ικανότητα φραγής του υλικού ως προς τους υδρατμούς, το οξυγόνο, το

διοξείδιο του άνθρακα και τη μεταφορά λιπιδίων στα τρόφιμα. Ωστόσο, κανένα από τα τρία συστατικά δεν μπορεί να παρέχει την απαραίτητη προστασία από μόνο του και έτσι χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό για καλύτερα αποτελέσματα (Guilbert et al., 1996). Αναφέρονται στη συνέχεια οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, λιπίδια και σύνθετα υλικά.



Εικόνα 7: Τύποι εδώδιμης επικάλυψης (Han et al., 2005)

4.4.1 Πολυσακχαρίτες

Οι εδώδιμες επικαλύψεις μπορούν να παραχθούν από μια ποικιλία πολυσακχαριτών. Τα πιο συχνά διαθέσιμα πολυμερή εξάγονται από θαλάσσια και γεωργικά φυτά και ζώα. Τέτοιες επικαλύψεις έχουν χρησιμοποιηθεί για να επιβραδύνουν την απώλεια υγρασίας ορισμένων τροφίμων κατά τη βραχυπρόθεσμη αποθήκευσή τους. Ωστόσο, οι πολυσακχαρίτες που είναι υδρόφιλοι, δεν λειτουργούν καλά ως φυσικά φράγματα της υγρασίας. Η μέθοδος με την οποία επιβραδύνουν την απώλεια υγρασίας οι πολυσακχαρίτες είναι να ενεργούν ως φράγματα υγρασίας που διαλύονται στην ατμόσφαιρα, έτσι ώστε η περιεκτικότητα σε υγρασία του επιστρωμένου τροφίμου να μπορεί να διατηρηθεί (Kester and Fennema, 1986). Εκτός από την πρόληψη της απώλειας υγρασίας, ορισμένοι τύποι φιλμ πολυσακχαριτών είναι λιγότερο διαπερατοί από το οξυγόνο, το οποίο μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση ορισμένων τροφίμων. Η κρυσταλλική ιδιότητα ορισμένων πολυσακχαριτών προκαλεί προβλήματα επεξεργασίας και απόδοσης, ειδικά σε σχέση με τη συσκευασία υγρών προϊόντων. Από την άλλη πλευρά, αυτοί οι πολυσακχαρίτες δίνουν υλικά με εξαιρετική ιδιότητα φραγής αερίων. Οι κύριοι πολυσακχαρίτες που χρησιμεύουν για την παραγωγή υλικών είναι η κυτταρίνη, το άμυλο, τα κόμμεα και η χιτοζάνη. Η γραμμική διάταξη ορισμένων από αυτούς τους πολυσακχαρίτες, για παράδειγμα, της κυτταρίνης, της αμυλόζης και της χιτοζάνης καθιστούν τις μεμβράνες τους σκληρές, εύκαμπτες, διαφανείς και ανθεκτικές στα λίπη και τα έλαια.

4.4.2 Πρωτεΐνες

Εδώδιμες επικαλύψεις μπορούν επίσης να κατασκευαστούν από μια ποικιλία πρωτεϊνικών πηγών οι οποίες όμως έχουν μελετηθεί λιγότερο. Οι επικαλύψεις πρωτεϊνών είναι γενικά υδρόφιλες, επιρρεπείς

στην απορρόφηση υγρασίας και συνεπώς η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία μπορούν να τις επηρεάσουν. Στις φυσικές τους καταστάσεις, οι πρωτεΐνες μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες, στις ινώδεις πρωτεΐνες και τις σφαιρικές πρωτεΐνες. Οι ινώδεις πρωτεΐνες είναι αδιάλυτες στο νερό και λαμβάνονται από ζωικούς ιστούς (π.χ. καζεΐνη, πρωτεΐνη ορού γάλακτος, κολλαγόνο, ζελατίνη, κερατίνη), ενώ οι σφαιρικές πρωτεΐνες είναι διαλυτές στο νερό ή υδατικά διαλύματα οξέων, βάσεων ή αλάτων και λαμβάνονται από φυτική προέλευση (π.χ., γλουτένη σίτου, πρωτεΐνη σόγιας, πρωτεΐνη φυσιτικών, ζελατίνη, πρωτεΐνη σπόρου βαμβακιού) (Gennadios et al., 1994). Οι πρωτεΐνες εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία διαφορετικών μοριακών χαρακτηριστικών ανάλογα με τη βιολογική τους προέλευση και λειτουργία. Οι διαφορές σε αυτά τα μοριακά χαρακτηριστικά καθορίζουν τελικά την ικανότητα συγκεκριμένων πρωτεϊνών να σχηματίζουν επικαλύψεις και τα χαρακτηριστικά των σχηματισμένων επικαλύψεων.

Οι ικανότητες σχηματισμού πρωτεϊνικής μεμβράνης είναι πιο εμφανείς σε γαλακτωματοποιημένα συστήματα στα οποία οι αμφιφυλικές πρωτεΐνες σχηματίζουν μεμβράνες στις διεπαφές αέρα - νερού ή νερού - ελαίου. Υπάρχουν επίσης δευτερεύοντα οφέλη στη χρήση πρωτεϊνών για το σχηματισμό φιλμ και επικαλύψεων. Οι πρωτεΐνες έχουν πολλές θέσεις για χημική αλληλεπίδραση ως συνάρτηση των διαφορετικών λειτουργικών ομάδων αμινοξέων τους, οι οποίες μπορούν να επιτρέψουν τη βελτίωση των ιδιοτήτων καθώς χημικές αλλαγές μπορούν να βελτιώσουν τη σταθερότητα των μεμβρανών και των επικαλύψεων. Οι μεμβράνες από μίγματα πρωτεϊνών είναι συχνά πιο σταθερές από τις αντίστοιχες με βάση τους πολυσακχαρίτες και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (Barone και Schmidt 2006).

4.4.3 Λιπίδια

Οι επιστρώσεις λιπιδίων χρησιμοποιούνται κυρίως για τις υδρόφοβες ιδιότητές τους, οι οποίες τις καθιστούν αποτελεσματικά εμπόδια στην απώλεια υγρασίας. Εκτός από την πρόληψη της απώλειας νερού, χρησιμοποιούνται επικαλύψεις λιπιδίων για τη μείωση της αναπνοής, επεκτείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής και βελτιώνοντας την εμφάνιση, δημιουργώντας λάμψη στα φρούτα και τα λαχανικά. Η υδρόφοβη ιδιότητα των λιπιδίων οδηγεί όμως και σε σχηματισμό πιο λεπτών και εύθραυστων φιλμ. Κατά συνέπεια, πρέπει να συνδυάζονται με άλλους παράγοντες όπως είναι οι πρωτεΐνες ή τα παράγωγα κυτταρίνης (Debeaufort et al., 1993). Επικαλύψεις με βάση τα λιπίδια μπορούν να κατασκευαστούν από μια ποικιλία λιπιδικών ουσιών που περιλαμβάνουν τα ακετυλιωμένα μονογλυκερίδια, φυσικά κεριά και τα επιφανειοδραστικά (Kester και Fennema, 1986).

4.4.4 Συνδυασμός Βιοπολυμερών

Τα συνθετικά και τα διπλοστρωματικά φιλμ είναι πολλά υποσχόμενα. Αυτοί οι τύποι επιστρώσεων μπορούν να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των συστατικών επικάλυψης, δημιουργώντας έτσι μια ανώτερη ποιοτικά μεμβράνη. Αυτές οι επικαλύψεις μπορεί να έχουν ετερογενή φύση, αποτελούμενη από ένα μείγμα πολυσακχαριτών, πρωτεϊνών και / ή λιπιδίων. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αξιοποίηση των χαρακτηριστικών κάθε κατηγορίας φιλμ που χρησιμοποιείται (Kester and Fennema, 1986).

Ο συνδυασμός πολυμερών για σχηματισμό επικαλύψεων μπορεί να είναι από πρωτεΐνες και υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια, υδατάνθρακες και λιπίδια και συνθετικά ή φυσικά πολυμερή. Ο κύριος στόχος της παραγωγής σύνθετων επικαλύψεων είναι η βελτίωση της διαπερατότητας και των μηχανικών ιδιοτήτων. Οι μεμβράνες αυτές εφαρμόζονται με τη μορφή γαλακτώματος, εναιωρήματος ή διασποράς των μη αναμίξιμων συστατικών, σε διαδοχικές στιβάδες (επικάλυψη πολλών στρώσεων ή μεμβράνες), ή με τη μορφή διαλύματος σε κάποιο κοινό διαλύτη. Η μέθοδος της εφαρμογής επηρεάζει

την αποτελεσματικότητα των μεμβρανών που λαμβάνονται (Guilbert, 1986). Δυστυχώς, υπάρχουν λίγα ή καθόλου δεδομένα που δείχνουν τις επιδράσεις των επικαλύψεων διπλής στιβάδας σε ολόκληρα φρούτα ή λαχανικά.

4.4 Πρόσθετα

Πιθανή βελτίωση έχει παρατηρηθεί κατά την αποθήκευση φρέσκων φρούτων και λαχανικών όταν στα παραπάνω βιοπολυμερή εισάγονται αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές ή ενώσεις κατά της αμαύρωσης. Η επιλογή των φυσικών προσθέτων και η εφαρμογή τους εξαρτάται από τις βιοδραστικές ιδιότητές τους (αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά και / ή αντιδιαβρωτικά), τη διαθεσιμότητα, το κόστος και την επίδραση που έχουν στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Pereira et al., 2012).

Τα αντιοξειδωτικά είναι απαραίτητα για την πρόληψη της απώλειας λόγω οξείδωσης των λιπιδίων, αιθέριων ελαίων, λιποδιαλυτών βιταμινών (βιταμίνη A, D, E και K) και των χρωστικών ουσιών του προϊόντος (Valenzuela B, Sanhueza and Nieto, 2003). Οι πολυφαινόλες είναι οι κύριες φυτικές ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση με τα φλαβονοειδή να είναι αυτά τα οποία έχουν τις πιο ισχυρές αντιοξειδωτικές δραστηριότητες και θετικά αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά που βρίσκονται στα φυτά έχουν μελετηθεί ως εναλλακτικές ή συμπληρωματικές ουσίες για τα συνθετικά αντιοξειδωτικά.

Οι βιοδραστικές ενώσεις και τα φυτικά εκχυλίσματα μπορούν επίσης να έχουν αντιμικροβιακή δράση (Almajano et al., 2008). Όλοι οι αντιμικροβιακοί παράγοντες έχουν συγκεκριμένη δράση κατά των μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, είναι ευρέως γνωστό ότι ορισμένοι αντιμικροβιακοί παράγοντες αναστέλλουν βασικές μεταβολικές λειτουργίες μικροοργανισμών, ενώ άλλοι μεταβάλλουν τη δομή της κυτταρικής μεμβράνης / τοιχώματος. Τα αιθέρια έλαια έχει αποδειχτεί πως μπορούν να συμβάλλουν στον περιορισμό της δράσης των παθογόνων και των αλλοιογόνων μικροοργανισμών (Tajkarimi, Ibrahim and Cliver, 2010). Σε ό,τι αφορά στα σμέουρα, έχουν μελετηθεί εδώδιμες επικαλύψεις με την προσθήκη αιθέριων ελαίων πορτοκαλιού και λεμονιού με θετικά αποτελέσματα (Gomes et al., 2016).

Επιπλέον, για να μειωθεί η ακαμψία και η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των πολυμερών, μπορούν να προστεθούν πλαστικοποιητές πλούσιοι σε υδροξυλομάδες (όπως γλυκερόλη, σορβιτόλη, ακετυλιωμένο μονογλυκερίδιο, πολυαιθυλενογλυκόλη, σακχαρόζη και ανεστραμμένα σάκχαρα). Απαιτείται κατάλληλη συγκέντρωση πλαστικοποιητή, μεταξύ 15 και 30% w/w του συνολικού βάρους του πολυμερούς, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο βιοπολυμερές (Mayachiew and Devahastin, 2010).

4.5 Μηχανισμός Σχηματισμού Φιλμ

Η εδώδιμη επικάλυψη συνήθως τυλίγεται γύρω από την επιφάνεια του τροφίμου ως στερεό πλέγμα και μπορεί να λειτουργήσει ως πρωτεύουσα συσκευασία χωρίς να προσφέρει κάποιο επιπλέον αισθητικό ή θρεπτικό χαρακτηριστικό. Σε αυτήν την περίπτωση, προορίζεται να είναι άοσμη, άχρωμη και να μην παρεμβαίνει στις αισθητηριακές ιδιότητες του τροφίμου (Viana, Sá, Barros, Borges, & Azeredo, 2018). Οι χημικές και δομικές ιδιότητες των βιοπολυμερών και των προσθέτων που χρησιμοποιούνται πρέπει να κατανοούνται καλά και να προσαρμόζονται για την ανάπτυξη φιλμ ανάλογα με το τρόφιμο στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν (Kumari et al., 2017). Τα φιλμ μπορούν να ληφθούν από βρώσιμα υλικά με δύο διαφορετικές μεθόδους: υγρή και ξηρή χύτευση.

Η υγρή χύτευση πραγματοποιείται με υγρούς διαλύτες στους οποίους βρίσκονται τα υλικά διαλυμένα ή σε διεσπαρμένη φάση και είναι συνήθως νερό ή αιθανόλη. Η υγρή χύτευση πραγματοποιείται συνήθως με εμβάπτιση, ψεκασμό και με απαλή επάλειψη του διαλύματος στην επιφάνεια του τροφίμου.

Αντίθετα, η ξηρή χύτευση δεν περιλαμβάνει υγρούς διαλύτες αλλά υλικά τα οποία θερμαίνονται πέρα από τη θερμοκρασία τήξης τους και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται σαν επικάλυψη στο τρόφιμο. Συνήθως πραγματοποιείται υπό πίεση σε καλούπι και εκβολή για την παραλαβή του φιλμ (Han, 2013).

Η διαλυτότητα των βιοπολυμερών και των προσθέτων που σχηματίζουν τις επικαλύψεις είναι ζωτικής σημασίας για τη μέθοδο χύτευσης και τη θερμοπλαστικότητα των βιοπολυμερών, τη φάση μετάβασης, την υαλώδη μετάπτωση, ενώ τα χαρακτηριστικά ζελατινοποίησης πρέπει να αναγνωριστούν για τη διαδικασία εκβολής του σχηματισμού φιλμ (Han, 2013). Η μελέτη της δομικής χημείας των βιοπολυμερών βοηθά στον προσδιορισμό της διαδικασίας σχηματισμού φιλμ, ενώ τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης όπως η μηχανική αντοχή, η ελαστικότητα, η ρεολογία, η διαπερατότητα υγρασίας και αερίου, το χρώμα, η μετάδοση του φωτός κ.λπ. καθορίζονται από τη φυσική χημεία των βιοπολυμερών (Sharma and Ghoshal, 2018). Η μηχανική αντοχή και η ομοιογενής συνεχής δομή των μεμβρανών επηρεάζονται από τη συνοχή των υλικών που σχηματίζουν φιλμ. Τα υλικά που σχηματίζουν μεμβράνη με χαμηλή συνοχή θα σχηματίσουν ένα φιλμ χαμηλής μηχανικής αντοχής. Η συνοχή του υλικού σχηματισμού φιλμ μειώνεται με τη χρήση πλαστικοποιητών (Meritain et al., 2018).

4.6 Σύγχρονα μέσα εδώδιμης επικάλυψης

Σήμερα, αναζητούνται νέα μέσα εδώδιμης επικάλυψης που να προσδίδουν βελτιωμένες ιδιότητες στο τρόφιμο. Όντας φιλικές προς το περιβάλλον, έχουν αναδειχθεί ως μια δημοφιλής τεχνική όχι μόνο για την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και τη διατήρηση της ποιότητας, αλλά και ως αντικατάσταση υλικών με βάση το πετρέλαιο (Wool & Sun, 2005).

Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει τη δυνατότητα σχηματισμού επικαλύψεων από άλευρα ολικής αλέσεως, όπως είναι ο αμάρανθος (Tarria-Blácido, Sobral and Menegalli, 2005), η κινόα (Araujo-Farro et al., 2010) και το *chia* (Dick et al., 2015). Στο ίδιο πλαίσιο, οι Tóth και Halász (2019) σημείωσαν ότι ο φλοιός του ψιλλίου (*psyllium*) καθώς και το αλεύρι του, αποτελούν συστατικά κατάλληλα για σχηματισμό φιλμ.

Τα άμυλα βολβών και ριζών όπως είναι η μανιόκα (ή κασσάβα), η πατάτα και η γλυκοπατάτα έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα ως εδώδιμα φιλμ και επικαλύψεις. Ωστόσο, ερευνώνται και αλεύρια ή άμυλα από λιγότερο δημοφιλή φυτά. Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν αξιολογηθεί το αλεύρι *achira* (Andrade-Mahecha, Tarria-Blácido and Menegalli, 2012) ή άμυλα από *canna* (Hung and Morita, 2005), *yam* (Mali et al., 2005) και *ulluco* (Galindez et al., 2019).

Εδώδιμες επικαλύψεις που λαμβάνονται από πηκτίνη και παράγωγα (πηκτική και αμιδιωμένη πηκτίνη) έχουν προταθεί πρόσφατα σε εφαρμογές που σχετίζονται με τα τρόφιμα λόγω της εξαιρετικής τους δράσης ως φράγμα στο οξυγόνο, στη συντήρηση του αρώματος και τις καλές μηχανικές ιδιότητες που προσδίδει. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί πως δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές έναντι της υγρασίας λόγω της υδρόφιλης φύσης τους. Σήμερα χρησιμοποιούνται σε φρέσκα και ορισμένα μεταποιημένα φρούτα και λαχανικά, όπως είναι το αβοκάντο, τα μήλα, τα βερίκοκα, τα κάστανα, τα μούρα, το πεπόνι, η παπάγια, τα ροδάκινα, τα καρύδια, τα καρότα και οι ντομάτες (J Hoofar, 2014).

Οι επικαλύψεις *Aloe Vera* έχουν δείξει επίσης ικανότητα μείωσης της απώλειας υγρασίας, των ποσοστών αναπνοής, της ανάπτυξης μικροοργανισμών και του οξειδωτικού μαυρίσματος (Andrade Pizano, Pérez Cervera and Lujan Rhenals, 2016). Μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε ακτινίδια (Benítez et al., 2015) καθώς και σε σμέουρα (Hassanpour, 2015) επιβεβαιώνουν τα παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πειραματικός σχεδιασμός

Εισαγωγή

Υλικά – χημικά αντιδραστήρια

Προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση

Εδώδιμη επικάλυψη

5.1 Εισαγωγή

Μελετάται η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε φρέσκα δείγματα σμέουρων, σε συνδυασμό με εδώδιμη επικάλυψη. Τα ωσμωτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η σακχαρόζη, η γλυκερόλη, ο συμπυκνωμένος χυμός μήλου, ο συνδυασμός χυμού μήλου με πηκτίνη και ο συνδυασμός χυμού μήλου με γλυκερόλη. Στα δείγματα που προκύπτουν με βάση βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης εφαρμόζεται και εδώδιμη επικάλυψη, χρησιμοποιώντας ως μέσα την πηκτίνη και την αλόη.

Τα προϊόντα εξετάζονται ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, όπως είναι το χρώμα, η απώλεια βάρους, η ποσότητα των ολικών διαλυτών στερεών, η ολική οξύτητα και το περιεχόμενο αντιοξειδωτικών ενώσεων.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι μέθοδοι και τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθώς και οι μέθοδοι προσδιορισμού των ποιοτικών χαρακτηριστικών.

5.2 Υλικά – Χημικά Αντιδραστήρια

5.2.1 Υλικά

Τα σμέουρα παραλήφθηκαν σε συσκευασίες των 125g από την εταιρεία ΠΕΦΑΝΗΣ Α.Ε. και αποθηκεύτηκαν σε ψυγείο στους 3°C. Η υγρασία των σμέουρων μετρήθηκε και βρέθηκε ίση με 88,54%.



Εικόνα 8: Τα φρέσκα σμέουρα στις συσκευασίες που παραλήφθηκαν

Αξίζει να σημειωθεί πως τα φρέσκα σμέουρα δεν μπορούν να αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς λόγω της ευαισθησίας και του υψηλού ρυθμού διαπνοής τους αλλοιώνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

5.2.2 Χημικά Αντιδραστήρια

Για την παρασκευή των ωσμωτικών μέσων προμηθεύτηκαν από την τοπική αγορά η σακχαρόζη, γλυκερόλη, πηκτίνη, συμπυκνωμένος χυμός μήλου 70° Brix καθώς και αλόη σε υγρή μορφή.

5.3 Προκατεργασία με ωσμωτική αφυδάτωση

5.3.1 Πειραματική διαδικασία

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης ήταν η θερμοκρασία, η συγκέντρωση και η διάρκεια. Τα δείγματα των σμέουρων ήταν αποθηκευμένα στο ψυγείο και πριν τη χρήση τους έμειναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για τη μέθοδο της ωσμωτικής αφυδάτωσης χρησιμοποιήθηκαν περίπου 15g σμέουρων. Ως ωσμωτικά μέσα χρησιμοποιήθηκαν η σακχαρόζη, γλυκερόλη, συμπυκνωμένος χυμός μήλου, ο συνδυασμός χυμού μήλου με πηκτίνη και ο συνδυασμός χυμού μήλου με γλυκερόλη. Τα δείγματα εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα σακχαρόζης και γλυκερόλης 40% (w/w) και 50% (w/w) και σε διάλυμα χυμού μήλου περίπου 50° Brix. Χρησιμοποιήθηκαν δύο συνδυασμοί χυμού μήλου και πηκτίνης για την παρασκευή των ωσμωτικών μέσων, με το πρώτο ωσμωτικό διάλυμα να έχει αναλογίες χυμού μήλου και πηκτίνης 35% (w/w) και 5% (w/w) αντίστοιχα και το δεύτερο διάλυμα να έχει 45% (w/w) και 5% (w/w) αντίστοιχα. Το διάλυμα χυμού μήλου - γλυκερόλης είχε αναλογία 25° - 25° Brix. Η ωσμωτική αφυδάτωση μελετήθηκε στους 25°C και 45°C και οι χρόνοι αφυδάτωσης σε κάθε συνδυασμό ήταν 10 min, 30 min, 2h, 6h, 16h και 24h. Τα διαλύματα κατασκευάστηκαν μέσω ανάμειξης της κατάλληλης ποσότητας σακχαρόζης, γλυκερόλης, συμπυκνωμένου χυμού μήλου καθώς και χυμού μήλου με πηκτίνη με απιονισμένο νερό. Η αναλογία βάρους δείγματος : διαλύματος που μελετήθηκε ήταν 1:5. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο ρυθμισμένο στην κατάλληλη θερμοκρασία, σε καλά κλεισμένα δοχεία. Μετά την απομάκρυνση των δειγμάτων από το ωσμωτικό διάλυμα, αυτά τοποθετήθηκαν σε διηθητικό χαρτί και σκουπίστηκαν απαλά ώστε να απομακρυνθεί το περίσσιο διάλυμα.



Εικόνα 9: Υδατόλουτρο ωσμωτικής αφυδάτωσης

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται συνοπτικά το εύρος τιμών των παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης που μελετήθηκαν.

Πίνακας 2: Παρουσίαση των παραμέτρων που μελετήθηκαν

Ωσμωτικό Μέσο	Συγκέντρωση	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος επεξεργασίας
Σακχαρόζη	40 - 50% (w/w)	25 - 45	10 min – 24h
Γλυκερόλη	40 - 50% (w/w)	25 - 45	10 min – 24h
Χυμός μήλου	50° Brix	25 - 45	10 min – 24h
Χυμός μήλου – πηκτίνη	35:5 - 45:5% (w/w)	25 - 45	10 min – 24h
Χυμός μήλου - γλυκερόλη	25:25° Brix	25 - 45	10 min – 24h

Στη συνέχεια, τα αφυδατωμένα δείγματα τοποθετήθηκαν, αφού ζυγίστηκαν, στο φούρνο ξήρανσης, ώστε να υπολογιστεί το ξηρό τους βάρος. Η ξήρανση πραγματοποιήθηκε στο φούρνο που απεικονίζεται στην Εικόνα 10, τύπου Sanyo Gallenkamp PLC, Leicester, England, σε θερμοκρασία $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, όπου τα δείγματα τοποθετήθηκαν για 24h μέχρι σταθερού τελικού βάρους.



Εικόνα 10: Φούρνος κενού (Sanyo Gallenkamp PLC)

5.3.2 Μέτρηση ποσοστού υγρασίας

Το ποσοστό υγρασίας των σμέουρων επί υγρής βάσης υπολογίστηκε με τον εξής τύπο:

$$X = \frac{W_{\alpha\rho\chi} - W_{\tau\epsilon\lambda}}{W_{\alpha\rho\chi}} \quad (\text{Εξ. 5.1})$$

Όπου $W_{\alpha\rho\chi}$ είναι το αρχικό βάρος των σμέουρων και $W_{\tau\epsilon\lambda}$ είναι το τελικό βάρος των μούρων μετά την ξήρανση στο φούρνο.

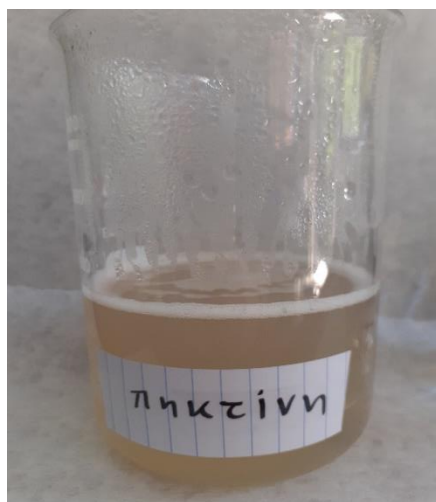
5.4 Εδώδιμη Επικάλυψη

5.4.1 Πρώτες ύλες – προετοιμασία

Για την προετοιμασία των εδώδιμων επικαλύψεων χρησιμοποιήθηκαν πηκτίνη και αλόη (*Aloe vera*), χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2 , 96%), το οποίο παραλήφθηκε από την εταιρεία Across Organics καθώς και γλυκερόλη

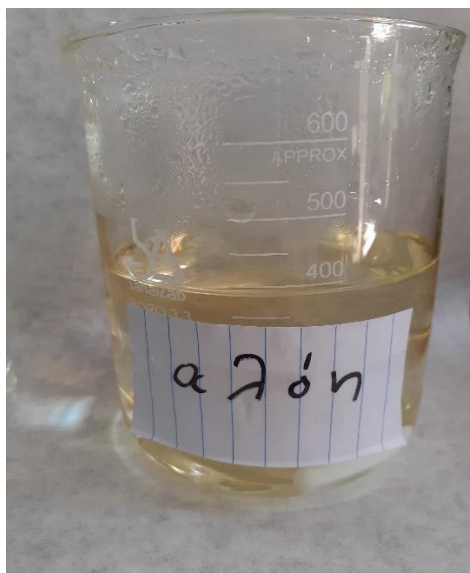
Για την εφαρμογή της εδώδιμης επικάλυψης παρασκευάστηκαν τα παρακάτω διαλύματα με τον εξής τρόπο:

Ποσότητα πηκτίνης διαλύθηκε στην κατάλληλη ποσότητα αποσταγμένου νερού υπό θέρμανση στους 50°C υπό ανάδευση, με σκοπό τη δημιουργία διαλύματος 2% (w/w). Στο διάλυμα πηκτίνης προστίθεται 1,5% (w/w) γλυκερόλη, η οποία δρα ως πλαστικοποιητής.



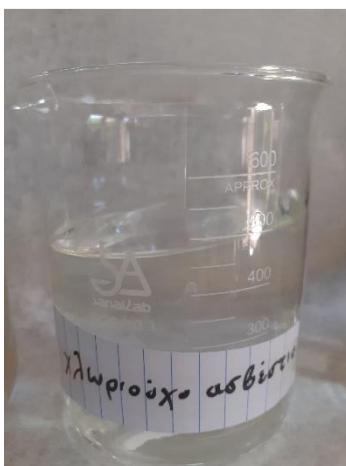
Εικόνα 11: Το διάλυμα της επικάλυψης της πηκτίνης 2% (w/w)

Η αλόη, η οποία βρίσκεται σε μορφή γέλης, διαλύεται σε ποσότητα απεσταγμένου νερού υπό θέρμανση στους 70°C για 45min, με σκοπό τη δημιουργία διαλύματος 25% (v/v) και στη συνέχεια αφήνεται να ψυχθεί. Η τιμή του pH του διαλύματος μετρήθηκε με pH-μετρο (Mi 180 Bench Meter, Martini Instruments) η οποία βρέθηκε ίση με 4,29 στους 28°C . Το διάλυμα αποθηκεύεται απουσία φωτός στο ψυγείο.



Εικόνα 12: Το διάλυμα της επικάλυψης της αλόης 25% (v/v)

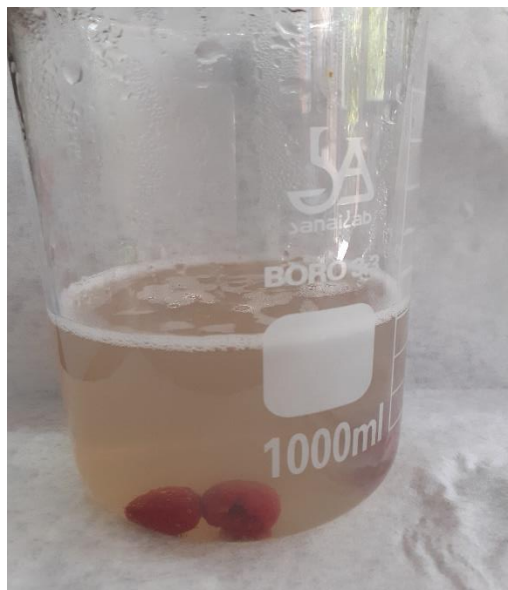
Το υδατικό διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου 2% (w/w) παρασκευάστηκε διαλύοντας χλωριούχο ασβέστιο στην κατάλληλη ποσότητα απεσταγμένου νερού.



Εικόνα 13: Το διάλυμα της του χλωριούχου ασβεστίου 2% (w/w)

5.4.2 Πειραματική διαδικασία

Μετά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης επιλέγονται οι συνθήκες οι οποίες είχαν το βέλτιστο αποτέλεσμα για κάθε μέσο και σε κάθε περίπτωση από αυτές εφαρμόστηκε εδώδιμη επικάλυψη με πηκτίνη και αλόη. Ο χρόνος εμβάπτισης για το διάλυμα της πηκτίνης ήταν 2 min. Στη συνέχεια, μετά από 1 min όπου αφηνόταν για να απομακρυνθεί η περίσσεια του διαλύματος, το δείγμα βυθιζόταν για 2 min στο διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου. Για το διάλυμα της αλόης, ο χρόνος εμβάπτισης ήταν 5 min. Στη συνέχεια τα δείγματα αποθηκεύονταν στο ψυγείο.



Εικόνα 14: Εμβάπτιση των σμέουρων στο διάλυμα πηκτίνης

5.5 Προσδιορισμός ποιοτικών χαρακτηριστικών

Η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης έχει στόχο την παραλαβή προϊόντων ανώτερης ποιότητας σε σχέση με άλλες διεργασίες ξήρανσης οι οποίες χρησιμοποιούν υψηλότερες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα το τρόφιμο να διατηρεί τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά. Επιπλέον, αποτρέπεται η ενζυμική αμαύρωση των φρούτων καθώς και η απώλεια των αρωματικών ενώσεων. Η ωσμωτική αφυδάτωση αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών του τροφίμου, με σκοπό την προστασία του από πιθανές αλλοιώσεις κατά την αποθήκευση ή περαιτέρω επεξεργασία του.

Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση, λόγω της ήπιας φύσης της διεργασίας, μπορεί να εμφανίσουν κάποια μη επιθυμητά χαρακτηριστικά κατά την αποθήκευσή τους. Για το λόγο αυτό, συνηθίζεται να εφαρμόζεται εδώδιμη επικάλυψη, η οποία μειώνει την απώλεια υγρασίας, την ανταλλαγή αερίων με το περιβάλλον, τη διαπνοή και τις οξειδωτικές αντιδράσεις, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα και παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του τροφίμου (Vargas et al. 2008). Το χρώμα, το άρωμα, η γλυκύτητα και η οξύτητα είναι από τα σημαντικότερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των φρέσκων φρούτων, τα οποία η εδώδιμη επικάλυψη μπορεί να διατηρεί. Για το λόγο αυτό, αξιολογήθηκαν η μεταβολή του χρώματος, της απώλειας βάρους, της οξύτητας, των περιεχόμενων στερεών και των αντιοξειδωτικών με το χρόνο.

Το χρώμα και το βάρος μετρήθηκαν αρχικά πριν την αποθήκευση των δειγμάτων και στη συνέχεια κατά την αποθήκευση για 5, 7 και 9 ημέρες. Ως δείγματα χρησιμοποιήθηκαν φρέσκα σμέουρα, αφυδατωμένα με ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς και αφυδατωμένα και επικαλυμμένα με πηκτίνη ή αλόη. Επιπλέον, προσδιορίστηκε η ποσότητα των ολικών διαλυτών στερεών και η ολική οξύτητα την 7^η ημέρα. Για τα ίδια δείγματα, προσδιορίστηκε η αντιοξειδωτική ικανότητα μέσω της μεθόδου DPPH εκφρασμένη σε τιμή IC50. Τέλος, έγινε οργανοληπτική αξιολόγηση της εμφάνισης, της υφής, της γεύσης και του αρώματος των μη επικαλυμμένων αφυδατωμένων καθώς και των επικαλυμμένων με αλόη αφυδατωμένων

δειγμάτων. Στα πλαίσια του οργανοληπτικού ελέγχου αξιολογήθηκε και η μετάγευση καθώς και η συνολική αποδοχή.

4.5.1 Μέτρηση απώλειας βάρους

Τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα, μετά την εφαρμογή της εδώδιμης επικάλυψης, ζυγίστηκαν και αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο στους 3°C και στη συνέχεια ζυγίστηκαν ξανά μετά από 5,7 και 9 ημέρες. Η απώλεια βάρους υπολογίστηκε από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Απώλεια Βάρους (\%)} = \frac{m_{\text{αρχ}} - m_{\text{τελ}}}{m_{\text{αρχ}}} \quad (\text{Εξ. 5.2})$$

Όπου $m_{\text{αρχ}}$ είναι το αρχικό βάρος του επικαλυμμένου τροφίμου και $m_{\text{τελ}}$ είναι το τελικό βάρος του επικαλυμμένου τροφίμου.

5.5.2 Μέτρηση μεταβολής χρώματος

Το χρώμα των τροφίμων αποτελεί μια σημαντική παράμετρο, καθώς σε περίπτωση που μεταβληθεί μπορεί να το καταστήσει μη αποδεκτό στους καταναλωτές. Οι κύριες χρωστικές που προσδίδουν το χρώμα στα φρούτα είναι οι λιποδιαλυτές χλωροφύλλες (πράσινο), τα καροτενοειδή (κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο) και οι υδατοδιαλυτές ανθοκυανίνες (κόκκινο, μπλε), φλαβονοειδή (κίτρινα) και η βεταλίνη (κόκκινο). Επιπλέον, οι ενζυμικές και μη ενζυμικές αντιδράσεις αμαύρωσης μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό υδατοδιαλυτών καφέ, γκρι και μαύρων χρωστικών. Τα καροτενοειδή μπορούν να χάσουν το χρώμα τους λόγω ενός ενζύμου που ονομάζεται λιποξυγενάση, το οποίο καταλύει την οξείδωση των λιπιδικών ενώσεων. Παράλληλα οι ανθοκυανίνες είναι ευαίσθητες τόσο στο pH όσο και στη θερμότητα, ενώ τα φλαβονοειδή είναι ευαίσθητα στην οξείδωση αλλά είναι σχετικά σταθερά στη θερμότητα. Οι βεταλίνη είναι επίσης ευαίσθητη στη θερμότητα (Barrett, Beaulieu and Shewfelt, 2010).

Σε αφυδατωμένα με τις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης καθώς και σε ωσμωτικά αφυδατωμένα με εδώδιμη επικάλυψη δείγματα σμέουρων, πραγματοποιήθηκε μέτρηση χρώματος με το φωτόμετρο MiniScan XE (Hunter Associates Laboratory Inc, Virginia), με διάφραγμα κεφαλής μέτρησης διαμέτρου 4 mm. Λήφθηκαν τέσσερις επαναληπτικές μετρήσεις για κάθε δείγμα ώστε να ληφθεί ο μέσος όρος των αδιάστατων παραμέτρων χρώματος L , a και b . Οι τιμές υπολογίστηκαν με βάση το σύστημα μέτρησης χρώματος CIELAB, με την παράμετρο L να προσδιορίζεται από τη φωτεινότητα, την παράμετρο a από τις αποκλίσεις του κόκκινου και του πράσινου και την παράμετρο b από τις αποκλίσεις του κίτρινου και του μπλε. Οι μετρήσεις λήφθηκαν τη μέρα 0 καθώς και την 5^η, 7^η και 9^η ημέρα όπου τα δείγματα φυλάσσονταν στο ψυγείο και σαν δείγμα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε φρέσκο δείγμα σμέουρων που αποθηκεύτηκε στις ίδιες συνθήκες. Η μέτρηση της μεταβολής του χρώματος ΔE υπολογίστηκε σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Demirhan and Özbek, 2009):

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \quad (\text{Εξ. 5.3})$$

Όπου:

ΔE : η μεταβολή του χρώματος

ΔL : η μεταβολή της παραμέτρου L μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς

Δa : η μεταβολή της παραμέτρου a μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς

Δb : η μεταβολή της παραμέτρου b μεταξύ του δείγματος και του δείγματος αναφοράς



Εικόνα 15: Χρωματόμετρο (MiniScan XE)

5.5.3 Αποχύμωση σμέουρων

Για την πραγματοποίηση των υπόλοιπων ποιοτικών μετρήσεων πραγματοποιήθηκε πρώτα αποχύμωση των σμέουρων. Τα φρούτα, ανά δείγματα περίπου 15g πολτοποιήθηκαν και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκαν στα 3500 rpm για 10 min ώστε να παραληφθεί ο χυμός, ο οποίος αποτελούσε το υπερκείμενο υγρό (Hangun-Balkir and McKenney, 2012). Σε περίπτωση που ήταν απαραίτητο πραγματοποιούνταν και δεύτερη φυγοκέντρηση.



Εικόνα 16: Το πολτοποιημένο δείγμα πριν τη φυγοκέντρησή του



Εικόνα 17: Το πολτοποιημένο δείγμα μετά τη φυγοκέντρησή του

5.5.4 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών

Στην πλειοψηφία των φρούτων και των λαχανικών, τα σάκχαρα είναι αυτά που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των ολικών διαλυτών στερεών τους. Επομένως, χρησιμοποιούνται σαν δείκτης του ποσοστού διαλυτών στερεών στο τρόφιμο. Τα ολικά διαλυτά στερεά TSS (total soluble solids) μετρώνται μέσω της γλυκύτητας του τροφίμου, η οποία φανερώνει το βαθμό ωριμότητάς τους, και εκφράζεται σε βαθμούς Brix (Daniel Valero and María Serrano, 2013).

Τα ολικά διαλυτά στερεά των φρέσκων, ωσμωτικά αφυδατωμένων με και χωρίς εδώδιμη επικάλυψη σμέουρων προσδιορίζονται με τη χρήση διαθλασίμετρου (Amal et al., 2010), με τις μετρήσεις να λαμβάνονται στις μέρες 0 και 7 για τα ωσμωτικά αφυδατωμένα δείγματα, τα οποία αποτελούν το δείγμα αναφοράς, και τα ωσμωτικά αφυδατωμένα με εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης.

5.4.5 Προσδιορισμός ολικής οξύτητας

Η ολική οξύτητα φρέσκων, ωσμωτικά αφυδατωμένων και των ωσμωτικά αφυδατωμένων και επικαλυμμένων σμέουρων μετρήθηκε μέσω τιτλοδότησης. Περίπου 1 mL χυμού σμέουρων αραιώθηκε σε 9 mL απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια προστέθηκαν λίγες σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης και το διάλυμα τιτλοδοτήθηκε με καυστικό νάτριο (NaOH) 0,1 N, έως ότου το χρώμα του διαλύματος να μετατραπεί σε κόκκινο. Τέλος, η οξύτητα υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση εκφρασμένη ως % κιτρικού οξέος (AOAC, 2000), (Guimarães et al., 2013).

$$\text{Οξύτητα(\%)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \cdot C_{\text{NaOH}} \cdot \text{Παράγοντας Οξύτητας}}{V_{\text{δείγματος}}} \quad (\text{Εξ. 5.4})$$

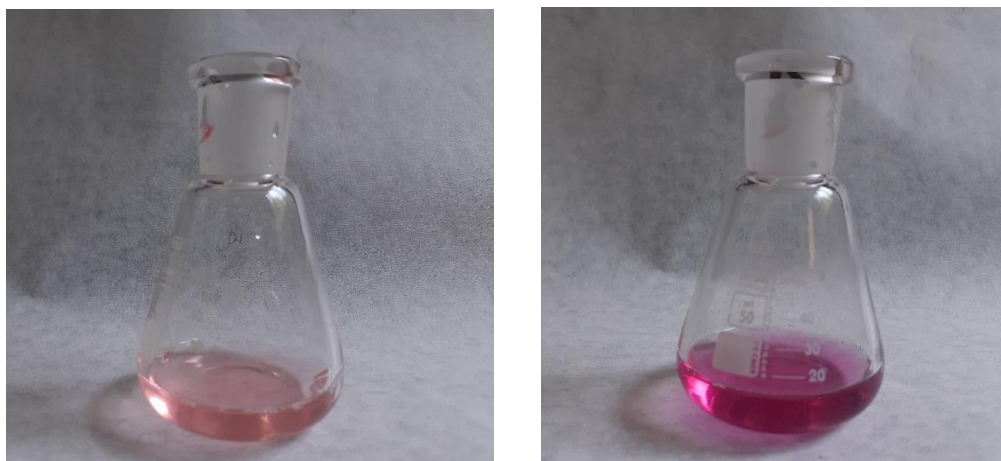
Όπου:

V_{NaOH} : ο όγκος του καυστικού νατρίου που καταναλώθηκε (mL)

C_{NaOH} : η συγκέντρωση του καυστικού νατρίου (N)

Παράγοντας Οξύτητας: 0,064 για το κιτρικό οξύ

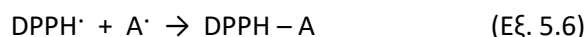
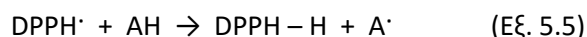
$V_{\text{δείγματος}}$: όγκος του δείγματος (mL)



Εικόνα 18: Χυμός σμέουρων πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) την τιτλοδότησή του με καυστικό νάτριο

5.5.6 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με τη μέθοδο DPPH

Η αντιοξειδωτική δράση των δειγμάτων μετρήθηκε μέσω της μεθόδου των Brand-Williams et al. (1995). Η μέθοδος της ελεύθερης ρίζας DPPH[•] (2,2-διφαινυλ-1-πικρυλ-υδραζιλίου) είναι ένας προσδιορισμός των αντιοξειδωτικών βασισμένος στη μεταφορά ηλεκτρονίων. Το DPPH[•] παρουσία διαλύτη αιθανόλης ή μεθανόλης έχει αρχικά ιώδες χρώμα. Αυτή η ελεύθερη ρίζα, σταθερή σε θερμοκρασία δωματίου, μειώνεται παρουσία αντιοξειδωτικού μορίου (AH), δημιουργώντας άχρωμο διάλυμα. Η χρήση της ανάλυσης DPPH αποτελεί έναν εύκολο και γρήγορο τρόπο για την αξιολόγηση των αντιοξειδωτικών με φασματοφωτομετρία. Η μέθοδος βασίζεται στις παρακάτω εξισώσεις:



Για την παρασκευή του διαλύματος DPPH 2,9 mg της δραστικής ουσίας διαλύθηκαν σε 100 mL μεθανόλης. Το διάλυμα αναδεύτηκε σε θερμοκρασία δωματίου για 45 min απουσία φωτός. Στη συνέχεια, 3,9 mL του διαλύματος DPPH και 0,1 mL του εξεταζόμενου αντιοξειδωτικού τοποθετήθηκαν σε κυψελίδα. Η απορρόφηση μετρήθηκε σε UV-Vis φασματοφωτόμετρο (UV-Vis Spectrophotometer UV-M51, BEL PHOTONICS) σε μήκος κύματος 515 nm για 20 min. Κατά την αντίδραση αναγωγής το βαθύ μωβ μεθανολικό διάλυμα αποχρωματίζεται και η απορρόφηση φωτός παρακολουθείται. Η μικρή απορρόφηση είναι δείγμα μεγάλου αποχρωματισμού και συνεπώς μεγάλης απενεργοποίησης των ελεύθερων ριζών.

Η ικανότητα απενεργοποίησης των ελεύθερων ριζών %RSA προσδιορίστηκε μέσω του παρακάτω τύπου:

$$\% \text{RSA} = 100 \cdot \left(1 - \frac{AE}{AD}\right) \quad (\text{Εξ. 5.7})$$

Όπου

AE: η απορρόφηση του αντιοξειδωτικού διαλύματος

AD: η απορρόφηση του δείγματος DPPH

Διαλύματα συγκεντρώσεων 1:2, 1:4, 1:8 και 1:16 mL δείγματος : mL διαλύτη φωτομετρήθηκαν προκειμένου να δημιουργηθεί μια καμπύλη βαθμονόμησης για κάθε διάλυμα η οποία συσχετίζει τη συγκέντρωση με την εναπομείνουσα ποσότητα DPPH. Η εναπομείνουσα ποσότητα DPPH (DPPHrem) υπολογίστηκε μέσω του εξής τύπου:

$$\text{DPPH rem\%} = \frac{[\text{DPPH}]_t}{[\text{DPPH}]_{t=0}} \cdot 100 \quad (\text{Εξ. 5.8})$$

Μέσω της καμπύλης βαθμονόμησης βρέθηκε η συγκέντρωση διαλύματος στην οποία καταστρέφεται το 50% του DPPH. Η συγκέντρωση αυτή αποτελεί την τιμή IC50 (Inhibition Concentration 50%). Όσο μικρότερη είναι η τιμή αυτή, τόσο μικρότερη ποσότητα εκχυλίσματος απαιτείται για την εξουδετέρωση των ελεύθερων ριζών και άρα τόσο μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα έχει το δείγμα (Rivero-Cruz et al., 2020).

5.5.7 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Τα φρέσκα, ωσμωτικά αφυδατωμένα καθώς και τα επικαλυμμένα με αλόη ωσμωτικά αφυδατωμένα με τις βέλτιστες συνθήκες δείγματα, αξιολογήθηκαν οργανοληπτικά από πενταμελή ομάδα εξεταστών. Τα δείγματα έλαβαν τυχαία αρίθμηση και τοποθετήθηκαν σε πιάτα και έλαβαν αξιολόγηση 1-9 (1-χαμηλό, 9-υψηλό), ως προς την εμφάνιση, την υφή, τη γεύση και το άρωμα. Η εμφάνιση αξιολογήθηκε ως προς το χρώμα, η υφή ως προς τη σκληρότητα (firmness), η γεύση ως προς τη στυφότητα, τη γλυκύτητα καθώς και αν ήταν ξινή ή πικρή ενώ το άρωμα αξιολογήθηκε ως προς την ένταση του ενώ. Στο τέλος ζητήθηκε η αξιολόγηση της μετάγευσης και της συνολικής αποδοχής.

Για να προσδιοριστεί η επίδραση των ωσμωτικών μέσων και της επικάλυψης στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων, πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση διασποράς (ANOVA) στο λογισμικό Statistica (Statistica Release 7, Statsoft Inc, Tulsa, OK, USA). Οι διαφορές θεωρήθηκαν σημαντικές όταν $p < 0,05$, όπου και σε αυτή την περίπτωση συμβολίστηκαν με διαφορετικό γράμμα.

Παρακάτω βρίσκεται το ερωτηματολόγιο το οποίο κλήθηκαν να συμπληρώσουν οι δοκιμαστές.

Πίνακας 3: Ερωτηματολόγιο οργανοληπτικού ελέγχου

Χαρακτηριστικά		Κωδικοί δειγμάτων								
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Control
Εμφάνιση	Χρώμα									
Υφή	Σκληρότητα									
Γεύση	Στυφή									
	Γλυκιά									
	Ξινή									
	Πικρή									
Άρωμα	Ένταση αρώματος									
Μετάγευση										
Συνολική αποδοχή										

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Αποτελέσματα

Αρχική υγρασία σμέουρων

Ωσμωτική αφυδάτωση

Βέλτιστες συνθήκες

Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων

6.1 Αρχική υγρασία σμέουρων

Η αρχική υγρασία υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης 5.1 και βρέθηκε ίση με 88.53%.

6.2 Ωσμωτική Αφυδάτωση

6.2.1 Απώλεια υγρασίας

Η απώλεια της υγρασίας από τα σμέουρα στο ωσμωτικό διάλυμα υπολογίστηκε μέσω της εξίσωσης 3.4 για κάθε δείγμα που υπέστη ωσμωτική κατεργασία. Για να πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί αυτοί ήταν απαραίτητο να προηγηθούν οι υπολογισμοί των παρακάτω παραγόντων:

$$W_{o(dry)} = W_o \cdot (100 - X_o) \quad (\text{Εξ. 6.1})$$

$$X_{OD} = \frac{W_{OD} - W_{final}}{W_{OD}} \cdot 100\% \quad (\text{Εξ. 6.2})$$

$$W_{ODdry} = W_{OD} \cdot (100 - X_{OD}) \quad (\text{Εξ. 6.3})$$

Όπου

X_o : η αρχική υγρασία του φρέσκου τροφίμου ($\frac{kg H_2O}{kg \text{ νωπού τροφίμου}}$)

$W_{o(dry)}$: το αρχικό ξηρό βάρος του τροφίμου (g)

W_o : το αρχικό βάρος του φρέσκου τροφίμου (g)

W_{OD} : το βάρος του τροφίμου μετά την ωσμωτική αφυδάτωση (g)

W_{ODdry} : το ξηρό βάρος του τροφίμου μετά την ωσμωτική αφυδάτωση (g)

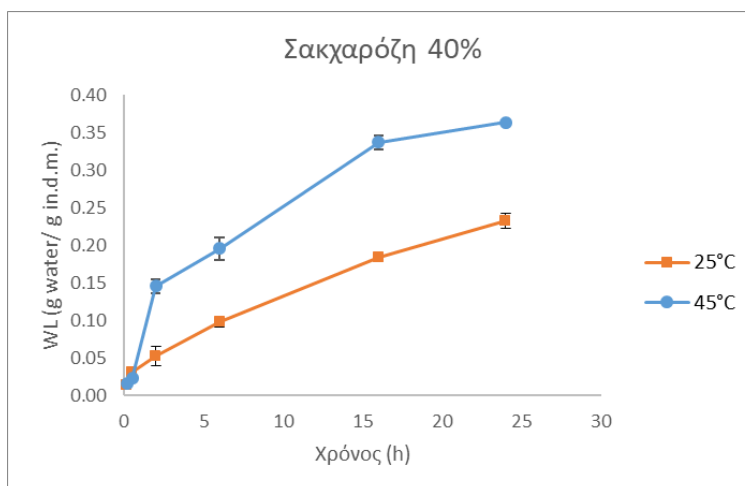
X_{OD} : η υγρασία του τροφίμου μετά την ωσμωτική αφυδάτωση ($\frac{kg H_2O}{kg \text{ νωπού τροφίμου}}$)

W_{final} : το βάρος του τροφίμου μετά τη ξήρανση του στο φούρνο (g)

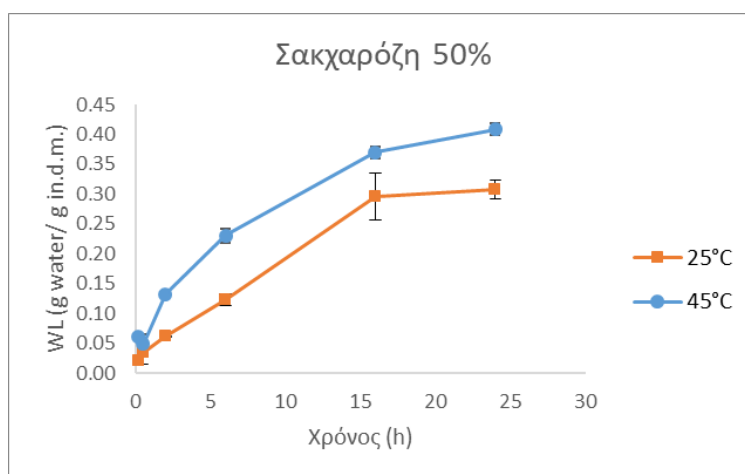
Για κάθε ωσμωτικό μέσο μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης και του χρόνου ώσμωσης στην απώλεια υγρασίας του τροφίμου, δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Σακχαρόζη

Στα διαγράμματα 1 και 2 φαίνεται η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου στους 25°C και 45°C για το ωσμωτικό διάλυμα σακχαρόζης συγκέντρωσης 40% (w/w) και 50% (w/w) αντιστοίχως.



Διάγραμμα 1: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 40% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C



Διάγραμμα 2: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 50% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η ωσμωτική αφυδάτωση ευνοείται από την αυξημένη θερμοκρασία.

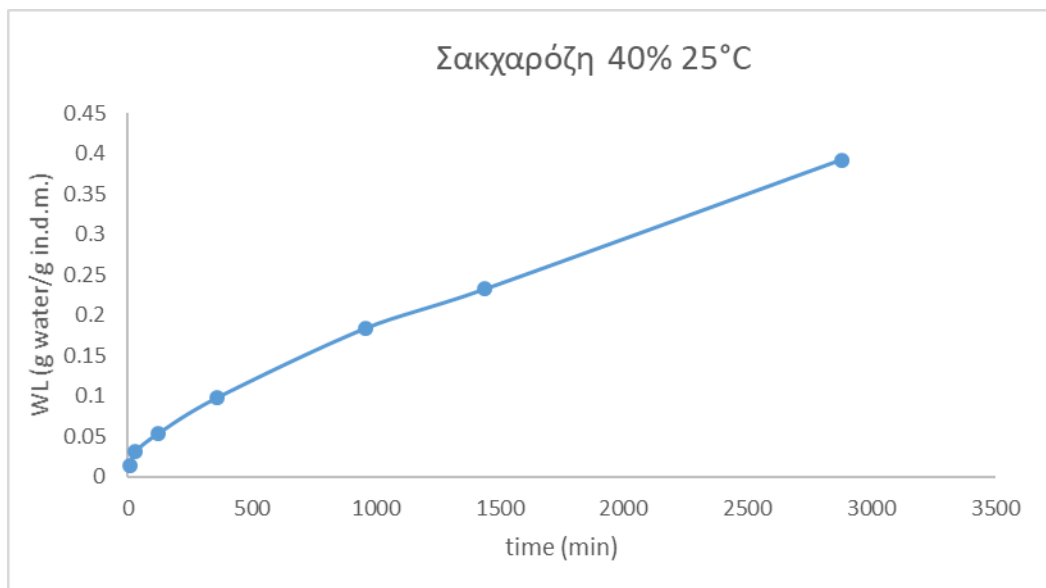
Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το διάλυμα 40% σακχαρόζης στους 25°C η μέγιστη απώλεια υγρασίας, η οποία παρατηρείται στις 24 h είναι 23,22% ενώ για τους 45°C ανέρχεται στο 36,32%.

Στο διάγραμμα 2 παρατηρείται ότι για το διάλυμα 50% σακχαρόζη, η απώλεια υγρασίας στους 25°C είναι 30,78% και στους 45°C είναι 40,82%. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με τα δεδομένα της βιβλιογραφίας για την επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Phisut N., 2012).

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 1 και 2 διαπιστώνεται πως η αυξημένη συγκέντρωση ωσμωτικού μέσου ευνοεί επίσης την απώλεια υγρασίας, με τις τιμές της απώλειας υγρασίας στη μεγαλύτερη συγκέντρωση

να είναι μεγαλύτερες από τις τιμές της απώλειας υγρασίας για τη σακχαρόζη 40% για την αντίστοιχη θερμοκρασία. Τα δεδομένα αυτά συμφωνούν επίσης με τη βιβλιογραφία (Tortoe, 2010).

Η κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης με 40% σακχαρόζη στους 25°C δεν φαίνεται να παρουσιάζει κάποια καμπή στην απώλεια υγρασίας που είναι αναμενόμενο μετά απο κάποιο χρόνο, αλλά συνεχίζει να αυξάνεται γραμμικά μέχρι και τις 24 h. Για το λόγο αυτο πραγματοποιήθηκε μέτρηση και στις 48 h, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 3: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για την σακχαρόζη 40% στους 25°C, έως τις 48 h

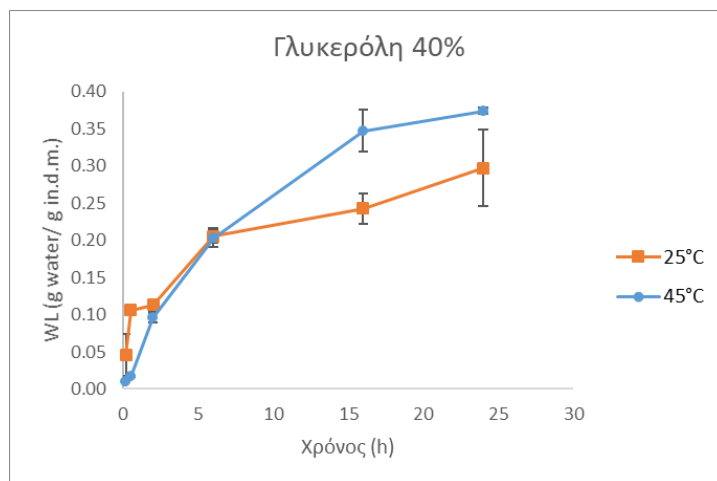
Όπως παρατηρείται, η καμπύλη δεν εμφανίζει πλατό. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην ευαίσθητη κυτταρική μεμβράνη των σμέουρων η οποία μετά αρκετό χρόνο ωσμωτικής επεξεργασίας διαρρηγνύεται με αποτέλεσμα να καταστρέφεται η δομή του δείγματος και να αποβάλει μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας. Αυτό συνεπάγεται κυρίως την αλλαγή στο σχήμα και την υφή του φρούτου. Κάτι τέτοιο είναι ανεπιθύμητο καθώς μειώνει την οργανοληπτική και τη διατροφική ποιότητα του και το καθιστά μη αποδεκτό στον καταναλωτή (Gribova et al., 2021).



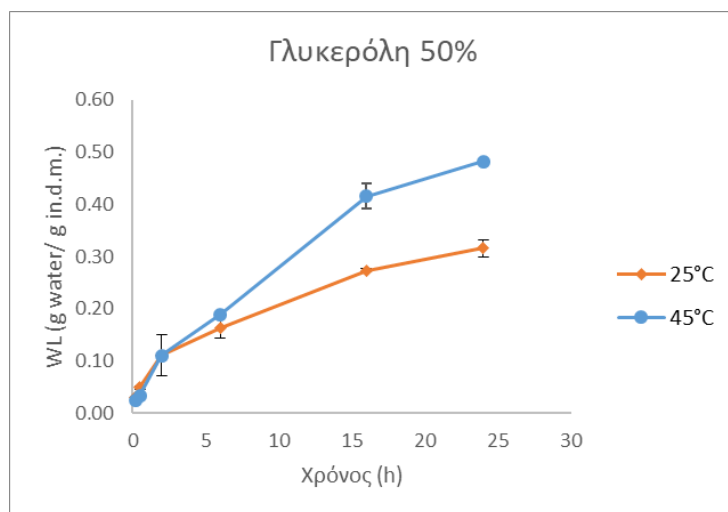
Εικόνα 19: Δείγματα σμέουρων των οποίων έχει καταστραφεί η δομή

Γλυκερόλη

Στα διαγράμματα 4 και 5 φαίνεται η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου στους 25°C και 45°C για ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης συγκέντρωσης 40% (w/w) και 50% (w/w) αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 40% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C



Διάγραμμα 5: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με 50% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ξανά πως η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση στην απώλεια υγρασίας. Στην περίπτωση της συγκέντρωσης γλυκερόλης 40% το δείγμα παρουσίασε μέγιστη απώλεια υγρασίας 37,35% στους 45°C και 29,69% στους 25°C. Στην περίπτωση της

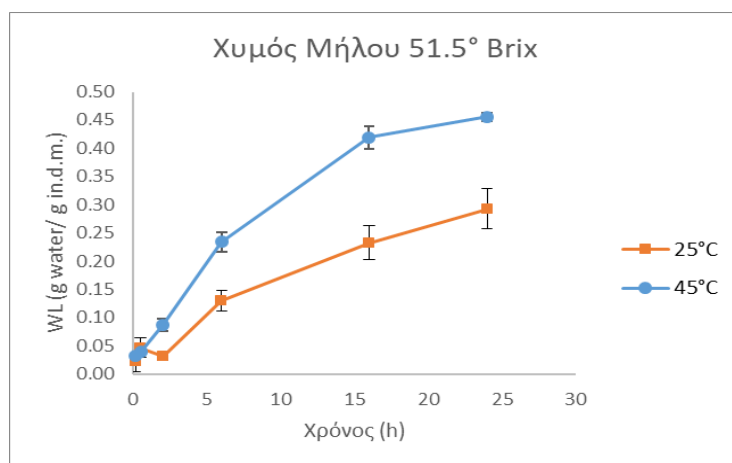
ωσμωτικής αφυδάτωσης με διάλυμα γλυκερόλης 50%, η απώλεια υγρασίας παρουσίασε μέγιστη τιμή 48,17% για τους 45°C και 31,54% για τους 25°C.

Παρατηρείται επίσης ότι η αύξηση της συγκέντρωσης βελτιώνει την απώλεια υγρασίας στους 45°C. Στους 25°C δεν παρατηρείται κάποια βελτίωση στο ποσοστό απωλειών ανάμεσα στις δύο συγκεντρώσεις της ωσμωτικής ουσίας. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην αύξηση του ιξώδους του διαλύματος που προκαλείται από την αύξηση της συγκέντρωσης γλυκερόλης, γεγονός το οποίο δεν ευνοεί τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Yadav and Singh 2014).

Η απώλεια υγρασίας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση μέχρι και τις 16 h και στη συνέχεια η αύξηση είναι μικρότερη μέχρι τις 24 h. Όμοια περίπτωση στις 16 h έχει παρατηρηθεί και σε μετρήσεις απώλειας υγρασίας σε διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης δείγματος πεπονιού για 24 h με ωσμωτικό διάλυμα σακχαρόζης, σορβιτόλης και μαλιτόλης (P. Naknean and Rattanawadee Maneyam, 2012).

Χυμός μήλου

Μελετήθηκε επίσης η κινητική απώλειας υγρασίας κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης με συμπυκνωμένο χυμό μήλου. Η απώλεια υγρασίας μετρήθηκε στους 25°C και 45°C και απεικονίζεται στο διάγραμμα 6.



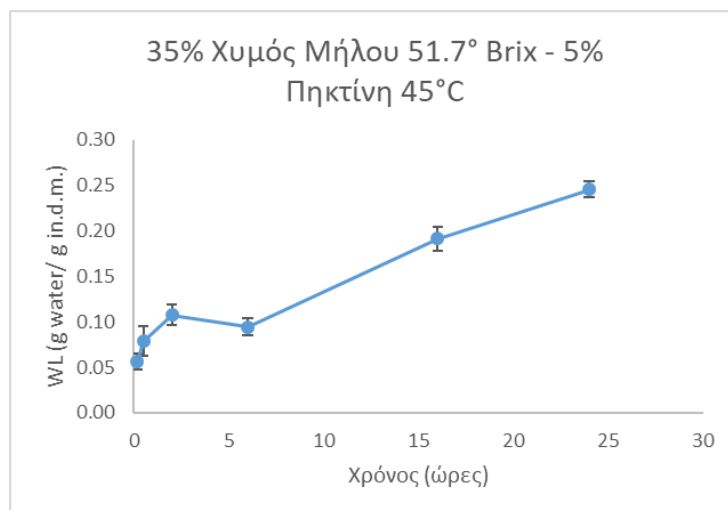
Διάγραμμα 6: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με χυμό μήλου 51.5° Brix στους 25°C και 45°C

Από τη μελέτη της κινητικής επιβεβαιώνεται πως η αυξημένη θερμοκρασία οδηγεί σε αύξηση της απώλειας υγρασίας. Επίσης παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένο ποσοστό απώλειας υγρασίας, με το δείγμα να αποβάλλει το 29,26% στους 25°C και το 45,54% στους 45°C στις 24 h.

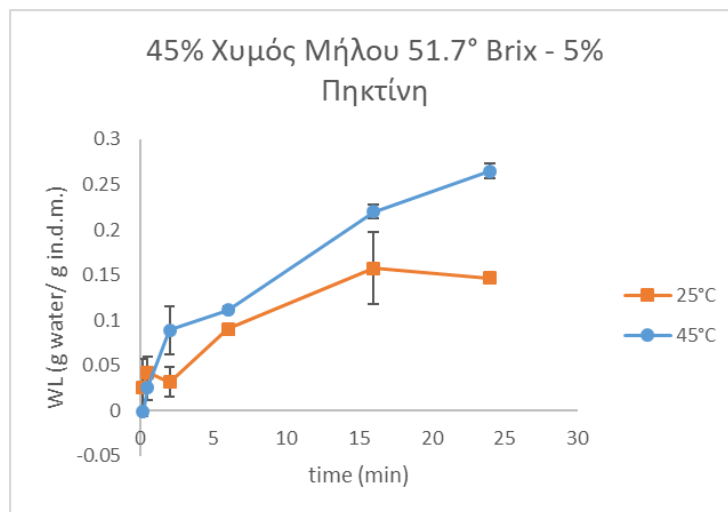
Επίσης, διαπιστώνεται πως η απώλεια της υγρασίας συνεχίζεται μέχρι και τις 24 h σε σημαντικό βαθμό, γεγονός το οποίο δείχνει πως η αραίωση στα περίπου 50° Brix του χυμού μήλου που επιλέχθηκε επιτρέπει τη μεταφορά μορίων νερού (Akbarian, Ghasemkhani and Fatemeh Moayedi, 2013).

Χυμός μήλου – Πηκτίνη

Πραγματοποιήθηκε επιπλέον ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα χυμού μήλου και πηκτίνης, ώστε να διαπιστωθεί εάν η προσθήκη πηκτίνης μπορεί να ευνοήσει τα φαινόμενα μεταφοράς και να υποκαταστήσει κάποια ποσότητα του χυμού μήλου. Για το σκοπό αυτό, μελετήθηκε η απώλεια υγρασίας σε ωσμωτικό διάλυμα 35% χυμού μήλου 51,7° Brix και 5% πηκτίνης στους 45°C (Διάγραμμα 7) καθώς και σε ωσμωτικό διάλυμα 45% χυμού μήλου 51,7° Brix και 5% πηκτίνης στους 25°C και 45°C (Διάγραμμα 8).



Διάγραμμα 7: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 35% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 45°C



Διάγραμμα 8: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 45% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 25°C και 45°C

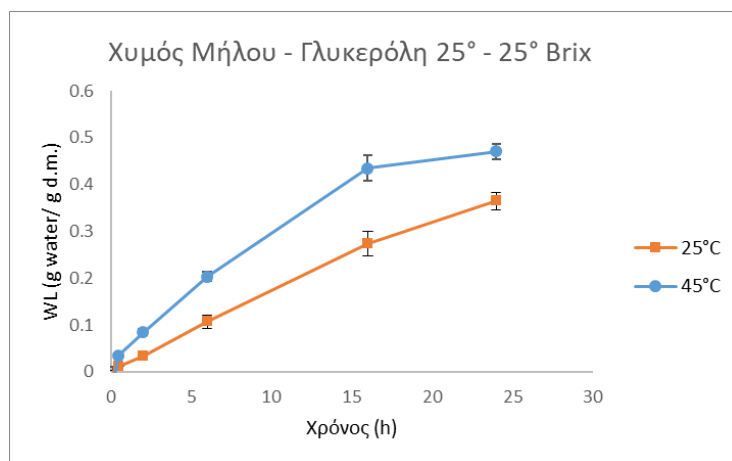
Από τις συγκεκριμένες μετρήσεις παρατηρείται πως η προσθήκη πηκτίνης δεν ευνοεί την κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης, καθώς τα ποσοστά απώλειας υγρασίας που παρατηρούνται, με μέγιστο το 26,49% για το διάλυμα με 45% χυμό μήλου και 5% πηκτίνη στους 45°C, είναι αρκετά μικρότερα σε σχέση με τα αντίστοιχα για το χυμό μήλου (45,54% στους 45°C). Ιδιαίτερα στους 25°C η απώλεια υγρασίας για το διάλυμα 45% χυμός μήλου και 5% πηκτίνη είναι πολύ μικρή, με το μέγιστο ποσοστό απώλειας νερού ανά g ξηρής μάζας να είναι 15,71%.

Επιπλέον η αύξηση στη συγκέντρωση του χυμού μήλου από 35% σε 45% στους 45°C επιφέρει επίσης πολύ μικρή αύξηση στο ποσοστό απώλειας υγρασίας, με το μέγιστο στη συγκέντρωση 35% να είναι 24,58% και στη συγκέντρωση 45% να είναι 26,49%.

Τα παραπάνω δεδομένα καταδεικνύουν πως δεν ευνοήθηκαν τα φαινόμενα μεταφοράς και ιδιαίτερα η απομάκρυνση νερού από το δείγμα προς το διάλυμα. Κάτι τέτοιο πιθανώς μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση του ιξώδους του διαλύματος που προκάλεσε η προσθήκη πηκτίνης το οποίο με τη σειρά του αυξάνει την αντίσταση στη μεταφορά μάζας (Phisut N., 2012).

Χυμός μήλου – γλυκερόλη

Τέλος, μελετήθηκε ο συνδυασμός χυμού μήλου και γλυκερόλης σε ένα διάλυμα που η κάθε ουσία συνείσφερε από 25° Brix, οδηγώντας σε ένα διάλυμα συνολικών 50° Brix. Στο διάγραμμα 9 απεικονίζεται η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου στους 25°C και 45°C.



Διάγραμμα 9: Απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης 25° - 25° Brix στους 25°C και 45°C

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως ο συνδυασμός του χυμού μήλου με τη γλυκερόλη βελτιώνει την απώλεια υγρασίας σε σχέση με το διάλυμα του χυμού μήλου. Μάλιστα στους 25°C τα δείγματα παρουσιάζουν στις 24 h ποσοστό απώλειας υγρασίας 36,43%, το οποίο είναι μέγιστο σε σχέση με τα άλλα ωσμωτικά διαλύματα που μελετήθηκαν στη θερμοκρασία αυτή, ενώ στους 45°C παρουσιάζει ποσοστό 47,04%.

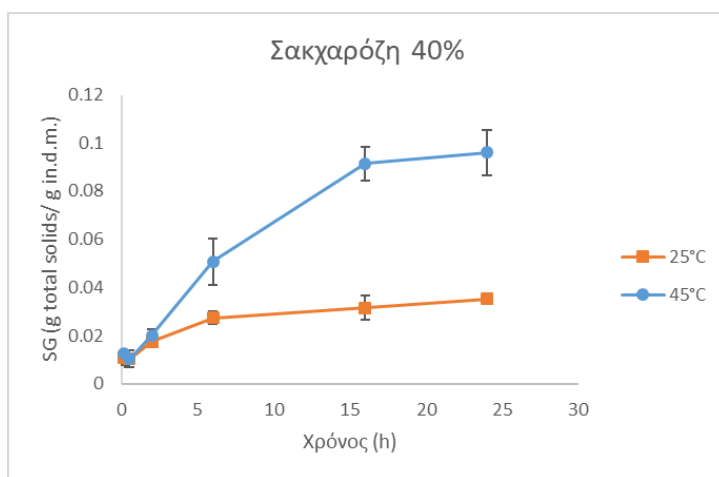
6.2.2 Πρόσληψη στερεών

Η πρόσληψη στερεών μετρήθηκε μέσω της Εξ. 3.5 για την οποία χρειάστηκε να υπολογιστούν το αρχικό και τελικό ξηρό βάρος των δειγμάτων, μέσω των εξισώσεων 6.1 και 6.3.

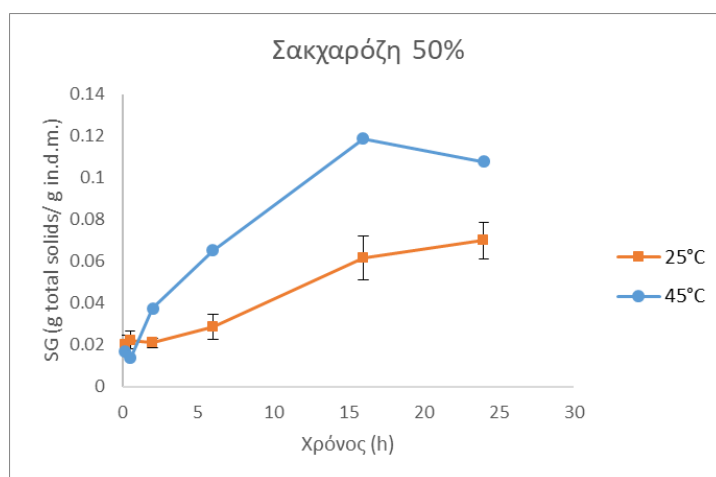
Για κάθε ωσμωτικό μέσο μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης και του χρόνου ώσμωσης στην πρόσληψη στερεών, δεδομένα τα οποία παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Σακχαρόζη

Στα διαγράμματα 10 και 11 φαίνεται η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου στους 25°C και 45°C για ωσμωτικό διάλυμα σακχαρόζης συγκέντρωσης 40% (w/w) και 50% (w/w) αντιστοίχως.



Διάγραμμα 10: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 40% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C



Διάγραμμα 11: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 50% σακχαρόζη στους 25°C και 45°C

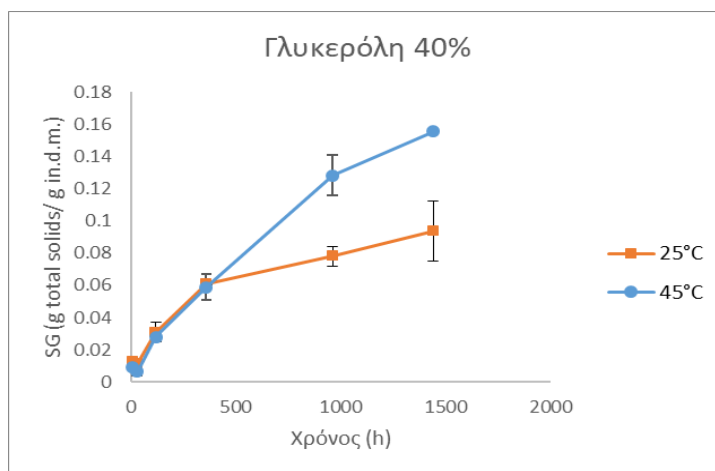
Όπως ήταν αναμενόμενο από τη βιβλιογραφία (Akbarian et al., 2013), η πρόσληψη στερεών είναι αυξημένη στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες και για τις δύο μελετώμενες συγκεντρώσεις.

Παρομοίως, η αύξηση της συγκέντρωσης του ωσμωτικού μέσου στο διάλυμα δείχνει να αυξάνει την πρόσληψη στερεών. Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, φαίνεται πως στους 25°C το μέγιστο ποσοστό πρόσληψης στερεών είναι 3,52% για τη συγκέντρωση 40% σακχαρόζης ενώ 6,99% για τη συγκέντρωση 50% σακχαρόζης. Αντίστοιχα, στους 45°C το μέγιστο ποσοστό πρόσληψης στερεών που παρατηρείται για τη σακχαρόζη 40% είναι 9,61% ενώ για τη σακχαρόζη 50% είναι 11,87%.

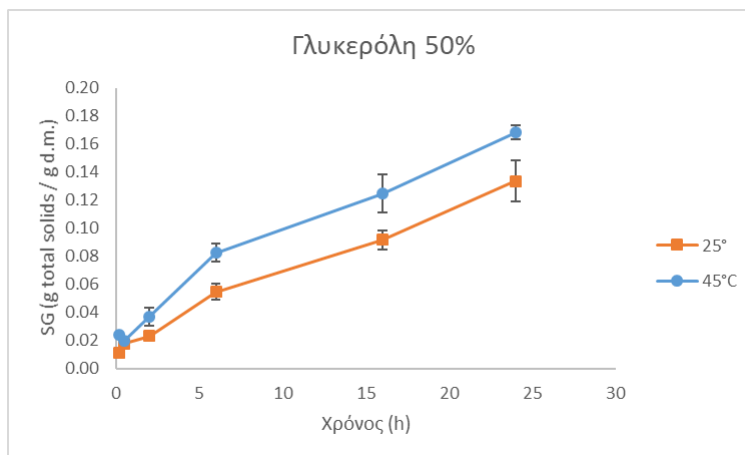
Τα ποσοστά πρόσληψης στερεών φαίνεται να αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, με εξαίρεση την περίπτωση του διαλύματος σακχαρόζης 50% στους 45°C, όπου μετά τις 16 h παρουσιάζει πτώση. Πτώση στην πρόσληψη στερεών με το χρόνο έχει παρατηρηθεί και σε ωσμωτική αφυδάτωση σε φράουλες όπου το ποσοστό της πρόσληψης στερεών έχει την τάση να πέφτει μετά τις 3 h ωσμωτικής επεξεργασίας με γλυκόζη, φρουκτόζη και σακχαρόζη (Taiwo et al., 2003).

Γλυκερόλη

Στα διαγράμματα 10 και 11 παρουσιάζεται η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου στους 25°C και 45°C για ωσμωτικό διάλυμα γλυκερόλης συγκέντρωσης 40% (w/w) και 50% (w/w) αντιστοίχως.



Διάγραμμα 12: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 40% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C



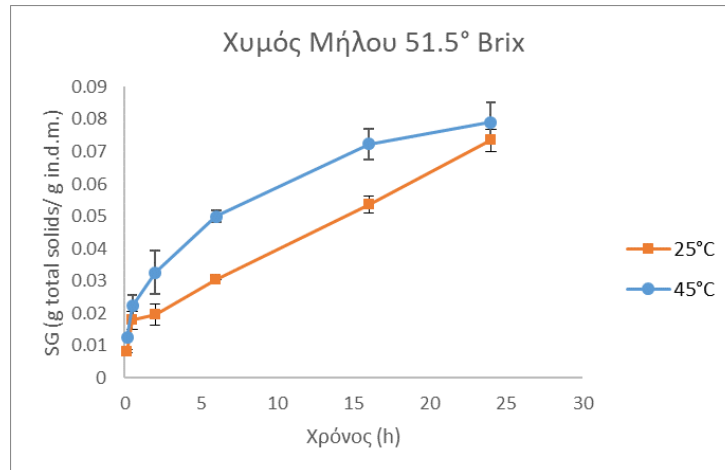
Διάγραμμα 13: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με 50% γλυκερόλη στους 25°C και 45°C

Όπως και στην περίπτωση της σακχαρόζης, η ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης φαίνεται να ευνοείται από την αυξημένη θερμοκρασία και για τις δύο συγκεντρώσεις. Ιδιαίτερα στο διάγραμμα 6.11 η θερμοκρασία των 45°C παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένο ποσοστό απώλειας υγρασίας.

Η αύξηση της συγκέντρωσης οδηγεί σε υψηλότερο ποσοστό πρόσληψης στερεών και για τις δύο θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, για τους 25°C η πρόσληψη στερεών για το διάλυμα γλυκερόλης 40% παρουσιάζει μέγιστο ποσοστό 9,38% και για το διάλυμα γλυκερόλης 50% μέγιστο ποσοστό 13,34%. Για το διάλυμα γλυκερόλης 50% τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 15,55% και 16,82%.

Χυμός μήλου

Η πρόσληψη στερεών σε διεργασία ωσμωτικής αφυδάτωσης με διάλυμα χυμού μήλου 51,5° Brix μετρήθηκε στους 25°C και 45°C και απεικονίζεται στο διάγραμμα 14.

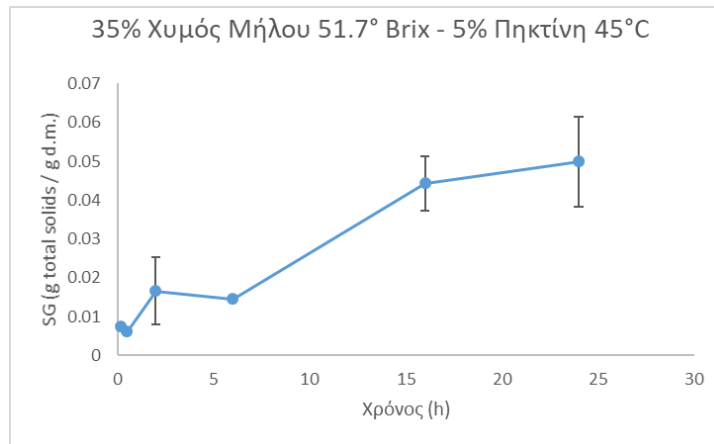


Διάγραμμα 14: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με χυμό μήλου 51.5° Brix στους 25°C και 45°C

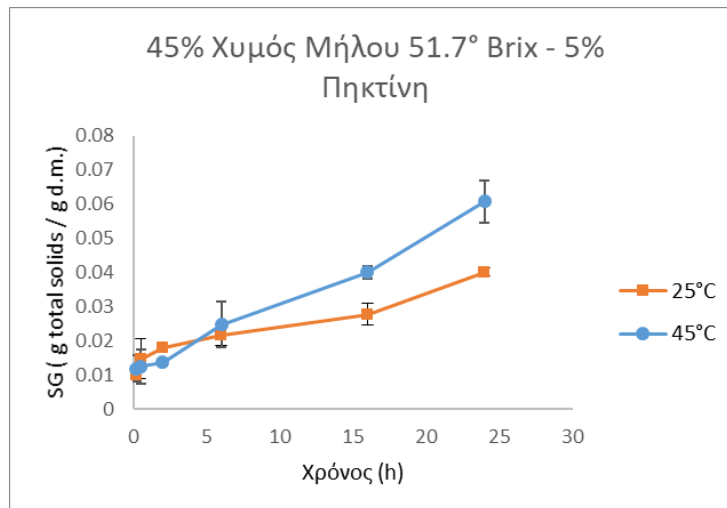
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως η τελική πρόσληψη στερεών κατά τις 24 h ωσμωτικής αφυδάτωσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία, παρόλο που η κινητική της διεργασίας είναι μεγαλύτερη για τους 45°C. Ιδιαίτερα στις 24 h το ποσοστό πρόσληψης στερεών στις δύο θερμοκρασίες που παρατηρήθηκε είναι 7,91% για τους 45°C και 7,36% για τους 25°C. Επιπλέον τα ποσοστά αυτά δείχνουν να είναι μειωμένα σε σχέση με τα αντίστοιχα για τα ωσμωτικά διαλύματα με σακχαρόζη και γλυκερόλη. Αυτό είναι ιδιαίτερα επιθυμητό καθώς το ωσμωτικό διάλυμα χυμού μήλου παρουσιάζει αύξηση της απώλειας υγρασίας με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά όχι αύξηση στην πρόσληψη στερεών και ιδιαίτερα σακχάρων, τα οποία είναι ανεπιθύμητα για πολλούς καταναλωτές (Yadav and Singh, 2013).

Χυμός μήλου – Πηκτίνη

Μελετήθηκε η πρόσληψη στερεών σε ωσμωτικό διάλυμα 35% χυμού μήλου 51,7° Brix και 5% πηκτίνης στους 45°C (Διάγραμμα 15) καθώς και σε ωσμωτικό διάλυμα 45% χυμού μήλου 51,7° Brix και 5% πηκτίνης στους 25°C και 45°C (Διάγραμμα 16).



Διάγραμμα 15: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 35% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 45°C



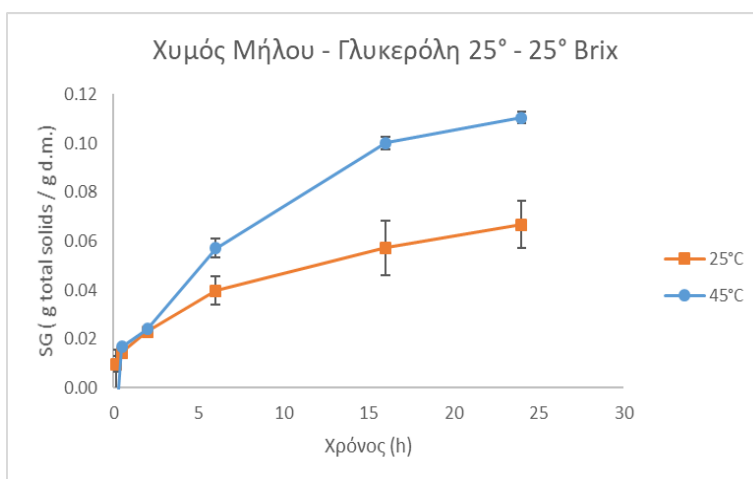
Διάγραμμα 16: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα 45% χυμού μήλου 51.7° Brix και 5% πηκτίνης στους 25°C και 45°C

Μελετώντας την κινητική της πρόσληψης στερεών για το διάλυμα χυμού μήλου με προσθήκη πηκτίνης συμπεραίνεται, όπως και με την κινητική της απώλειας υγρασίας, πως τα φαινόμενα μεταφοράς για το διάλυμα αυτό είναι ιδιαίτερα χαμηλά, πιθανώς λόγω της αύξησης του ιξώδους που προκαλεί η προσθήκη της πηκτίνης, η οποία εμποδίζει τη μεταφορά μάζας.

Παρόλα αυτά διαπιστώνεται αύξηση της πρόσληψης στερεών με την αύξηση στη συγκέντρωση του χυμού μήλου, όπως ήταν αναμενόμενο από τη βιβλιογραφία (Phisut N., 2012), με το μέγιστο ποσοστό πρόσληψης g ολικών στερεών ανά g ξηρής μάζας να είναι 4,99% για το διάλυμα με 35% χυμό μήλου στους 45°C και 6,08% για το διάλυμα με 45% χυμό μήλου στην ίδια θερμοκρασία. Επιπλέον, στο διάγραμμα 16 διαπιστώνεται αύξηση του ποσοστού πρόσληψης στερεών με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Χυμός μήλου – γλυκερόλη

Τέλος, μελετήθηκε η πρόσληψη στερεών για το συνδυασμό χυμού μήλου και γλυκερόλης σε διάλυμα συνολικών βαθμών 50° Brix. Στο διάγραμμα 17 απεικονίζεται η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου στους 25°C και 45°C.



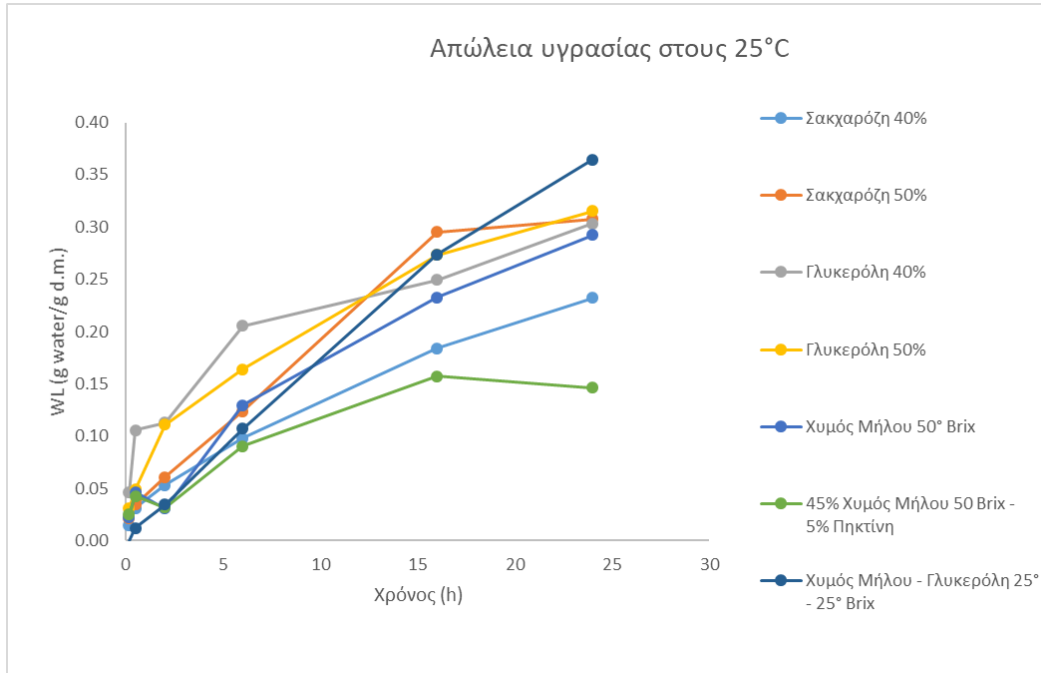
Διάγραμμα 17: Πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου με διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης 25° - 25° Brix στους 25°C και 45°C

Στο διάγραμμα 17 επιβεβαιώνεται πως η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί και σε αυξημένη πρόσληψη στερεών. Ο συνδυασμός της γλυκερόλης με το χυμό μήλου οδηγεί σε αρκετά πιο χαμηλά ποσοστά πρόσληψης στερεών σε σχέση με τα διαλύματα γλυκερόλης συγκέντρωσης 40% και 50%. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στους 45°C η γλυκερόλη παρουσιάζει μέγιστα ποσοστά πρόσληψης στερεών 15,55% και 16,82% για τις δύο συγκεντρώσεις αντίστοιχα, το διάλυμα γλυκερόλης με χυμό μήλου παρουσιάζει μέγιστο ποσοστό 11,04% στην ίδια θερμοκρασία. Παρόμοια δεδομένα λαμβάνονται και για την πρόσληψη στερεών στους 25°C, με τη γλυκερόλη να παρουσιάζει μέγιστα ποσοστά 9,38% και 13,34% για τις συγκεντρώσεις 40% και 50% και το συνδυασμό του χυμού μήλου με τη γλυκερόλη να παρουσιάζει 6,68%, ποσοστό ακόμα χαμηλότερο και από αυτό που προκύπτει κατά την ωσμωτική επεξεργασία με χυμό μήλου 50° Brix στους 25°C (7,35%). Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, το διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης αποτελεί ένα ωσμωτικό διάλυμα το οποίο, παρόλο που παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή απώλεια υγρασίας, διατηρεί σχετικά χαμηλή την πρόσληψη στερεών.

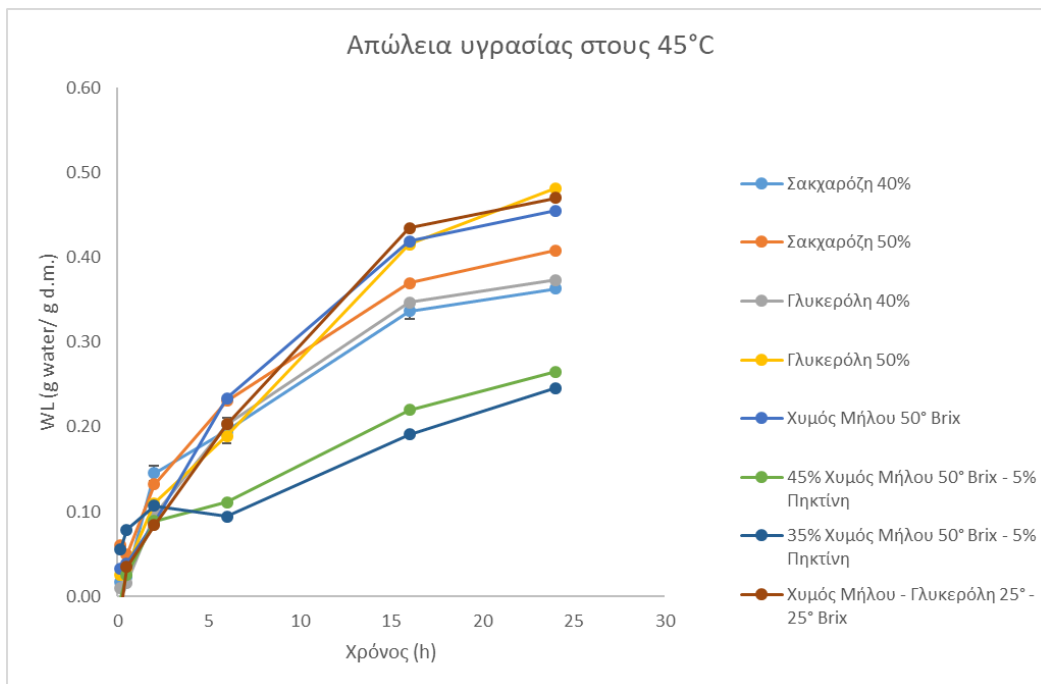
6.3 Βέλτιστες συνθήκες

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης συγκρίνονται μεταξύ τους οι καμπύλες απώλειας υγρασίας και πρόσληψης στερεών.

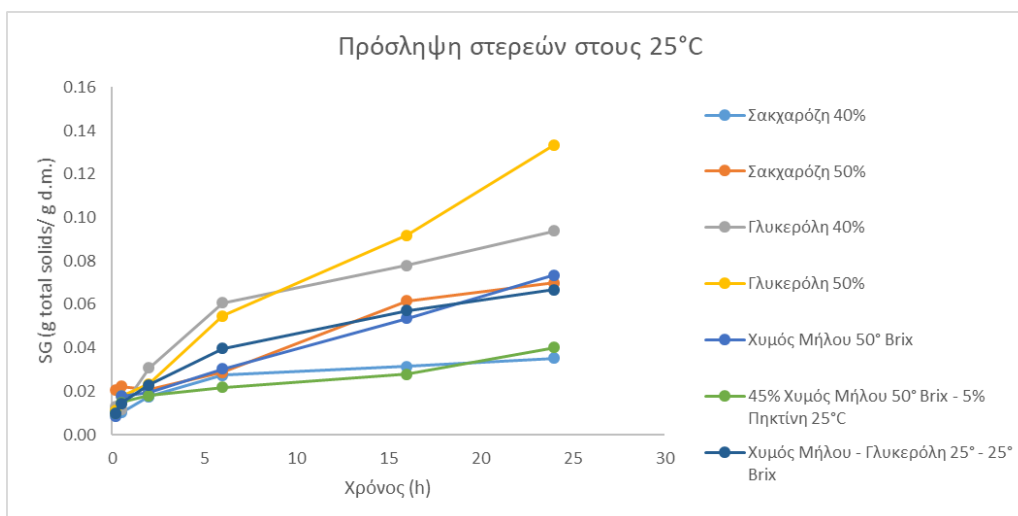
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η σύγκριση των κινητικών της απώλειας υγρασίας και πρόσληψης στερεών μεταξύ τους, προκειμένου να προσδιοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης για τους 25°C και 45°C.



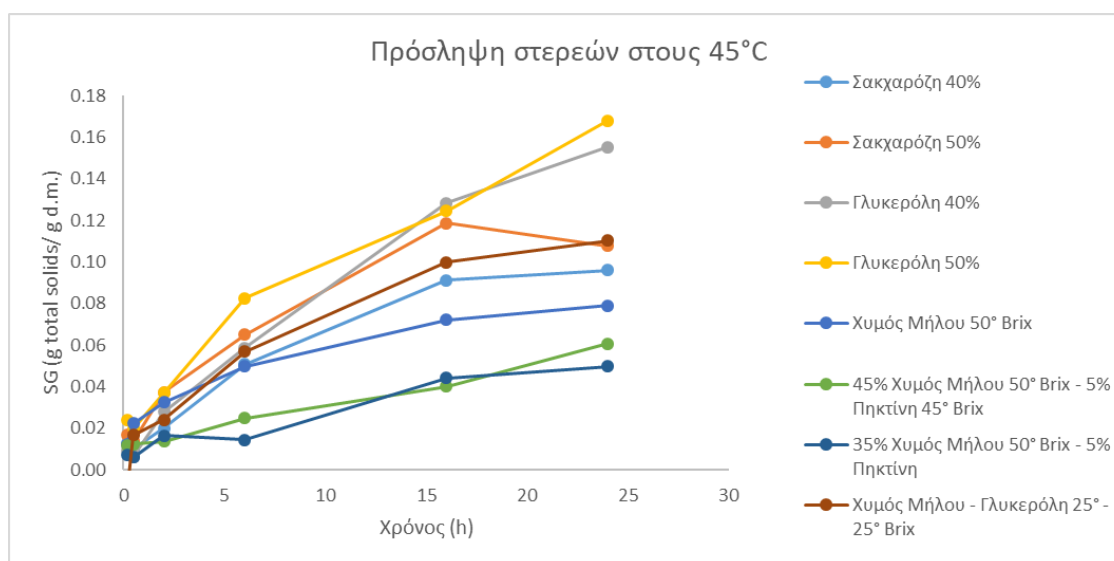
Διάγραμμα 18: Η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 25°C



Διάγραμμα 19: Η απώλεια υγρασίας συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 45°C



Διάγραμμα 20: Η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 25°C



Διάγραμμα 21: Η πρόσληψη στερεών συναρτήσει του χρόνου για κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε στους 25°C

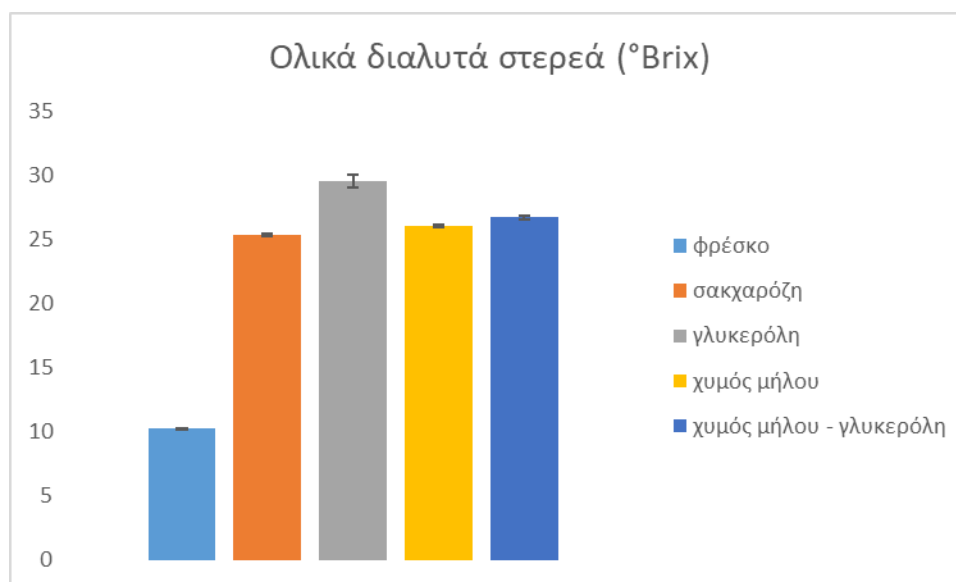
Η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη της γλυκερόλης είναι μεγαλύτερες από των υπολοίπων ωσμωτικών μέσων σε κάθε θερμοκρασία. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο μοριακό βάρος της γλυκερόλης σε σχέση με αυτό της σακχαρόζης και της φρουκτόζης. Οι ουσίες με μεγαλύτερο μοριακό βάρος προκαλούν χαμηλότερη ωσμωτική πίεση, η οποία οδηγεί σε χαμηλότερες κινητικές παραμέτρους και μικρότερη διείσδυση των ουσιών αυτών στο τρόφιμο (Cichowska and Žubernik, 2018).

Με δεδομένο πως στη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης φρέσκων φρούτων είναι επιθυμητή η αυξημένη απώλεια υγρασίας και η μειωμένη πρόσληψη σακχάρων (Yadav and Singh, 2013), τα οποία αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των στερεών που προσλαμβάνονται, αναζητούνται τα ωσμωτικά μέσα τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας συνδυάζοντας σχετικά χαμηλή πρόσληψη στερεών. Για το λόγο αυτό, ως βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης επιλέχθηκαν το α) **διάλυμα σακχαρόζης 50% στους 45°C**, β) το **διάλυμα χυμού μήλου 50°Brix στους 45°C**, γ) το **διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης στους 45°C** και δ) το **διάλυμα της γλυκερόλης 50% στους 45°C**, το οποίο παρόλο που παρουσίασε ιδιαίτερα αυξημένη πρόσληψη στερεών, είχε και το υψηλότερο ποσοστό απώλειας υγρασίας. Τα δείγματα που προέκυψαν από την ωσμωτική επεξεργασία στις συγκεκριμένες συνθήκες μελετήθηκαν ως προς τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.

6.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων βέλτιστων συνθηκών ωσμωτικής αφυδάτωσης

6.4.1 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών

Τα δείγματα σμέουρων που προέκυψαν από κάθε συνθήκη ωσμωτικής αφυδάτωσης που παρουσίασε τα βέλτιστα αποτελέσματα, αξιολογήθηκαν ως προς το ποσό ολικών διαλυτών στερεών στο χυμό του, εκφρασμένο σε °Brix. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι τιμές που προσδιορίστηκαν για το φρέσκο δείγμα καθώς και για τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση.

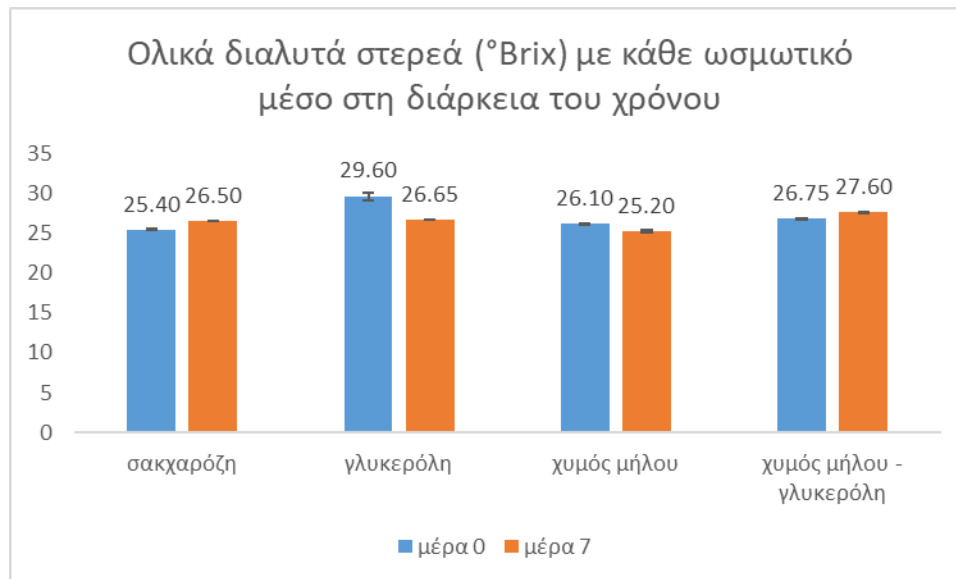


Διάγραμμα 22: Ολικά διαλυτά στερεά (°Brix) των δειγμάτων σμέουρων μετά από ωσμωτική επεξεργασία στις βέλτιστες συνθήκες κάθε ωσμωτικού μέσου

Στο διάγραμμα 22 παρατηρείται πως τα ολικά διαλυτά στερεά των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων είναι αυξημένα σε σχέση με αυτά του φρέσκου δείγματος (10,25° Brix). Τη μεγαλύτερη αύξηση παρουσίασε το δείγμα που είχε επεξεργαστεί με γλυκερόλη με τιμή 29,6° Brix, ενώ η σακχαρόζη και ο χυμός μήλου έχουν τις χαμηλότερες τιμές, 25,4° Brix και 26,1° Brix αντίστοιχα. Η τιμή της μέτρησης για το διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης ανέρχεται στους 26,75° Brix. Η τιμή αυτή επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι το συγκεκριμένο διάλυμα είναι πολύ ικανοποιητικό για ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς η

μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών του, παρουσιάζει μεν μια μικρή αύξηση σε σχέση με το χυμό μήλου, είναι όμως αρκετά μικρότερη σε σχέση με την τιμή της γλυκερόλης.

Στο διάγραμμα 23 απεικονίζεται η μεταβολή των ολικών διαλυτών στερεών των δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση, κατά την αποθήκευσή τους σε ψυγείο για διάρκεια 7 ημερών.

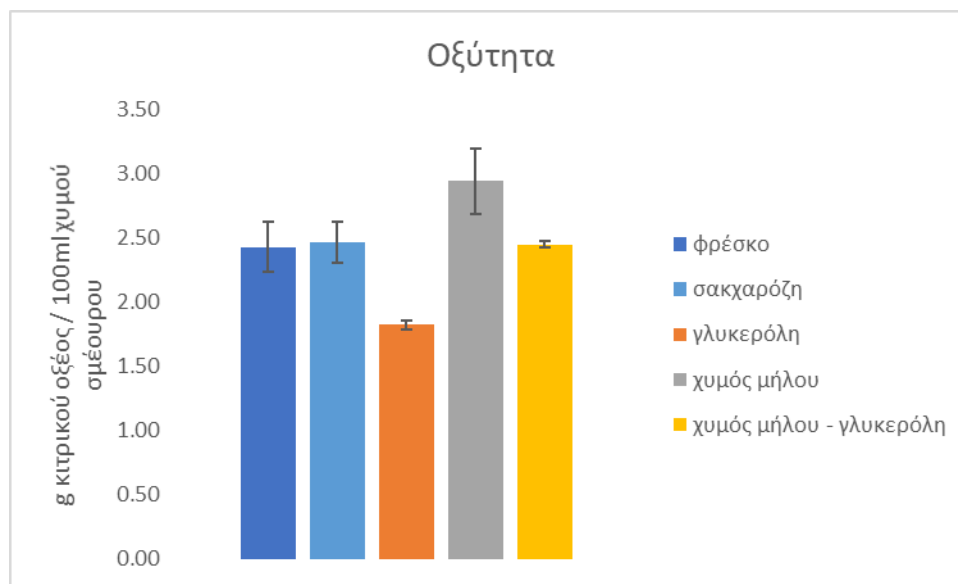


Διάγραμμα 23: Ολικά διαλυτά στερεά με κάθε ωσμωτικό μέσο στη διάρκεια του χρόνου

Κατά την αποθήκευση του τροφίμου, αυτό ωριμάζει με αποτέλεσμα οι υδατάνθρακες που περιέχει να μετατρέπονται σε σάκχαρα (Palmer et al., 2010). Στο Διάγραμμα 23 παρατηρείται πως τα δείγματα σμέουρων στα οποία πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης και χυμό μήλου παρουσίασαν πτώση στην περιεκτικότητα σακχάρων με την πάροδο του χρόνου, ενώ τα διαλύματα σακχαρόζης και χυμού μήλου – γλυκερόλης παρουσίασαν μικρή αύξηση. Γενικά, κατά την αποθήκευση των τροφίμων πραγματοποιείται μετατροπή των υδατανθράκων σε σάκχαρα, κάτι το οποίο δικαιολογεί την αύξηση της τιμής των ολικών διαλυτών στερεών (Amal et al., 2010). Σύμφωνα με τους Harker et al. (2002), διαφορές στους βαθμούς Brix μικρότερες του 1 δεν εντοπίζονται οργανοληπτικά από τον καταναλωτή. Τέτοιες μικρές διαφορές εντοπίζονται στο διάλυμα με χυμό μήλου και με χυμό μήλου-γλυκερόλη.

6.4.2 Προσδιορισμός της ολικής οξύτητας

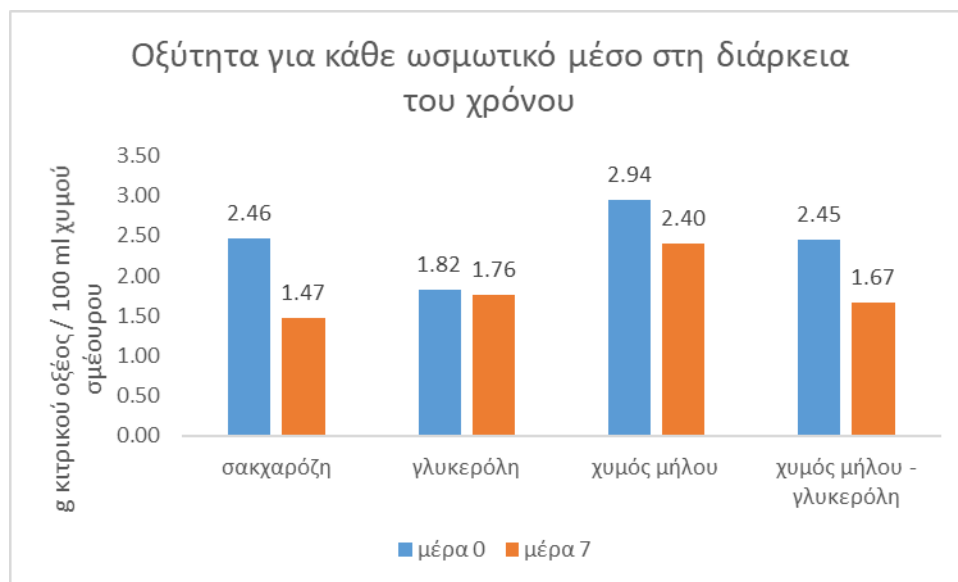
Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζονται οι τιμές που προέκυψαν από τη μέτρηση της ολικής οξύτητας δειγμάτων φρέσκων και ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων, με τη μέθοδο της τιτλοδότησης.



Διάγραμμα 24: Οξύτητα των φρέσκων και ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων σμέουρων

Το δείγμα φρέσκων σμέουρων βρέθηκε να περιέχει 2,43g κίτρικού οξέος ανά 100 mL χυμού του δείγματος. Η μέτρηση αυτή είναι μέσα στο εύρος τιμών που βρέθηκε για διάφορες ποικιλίες σμέουρων από τους Riaz και Bushway (1996). Τα ωσμωτικά διαλύματα σακχαρόζης και χυμού μήλου - γλυκερόλης φαίνεται να διατηρούν την οξύτητα σχεδόν ίδια με το φρέσκο δείγμα (2,46 και 2,45g κίτρικού οξέος / 100 mL χυμού). Αντίθετα, το διάλυμα γλυκερόλης παρουσιάζει ιδιαίτερη μείωση, με τιμή οξύτητας 1,82g, ενώ ο χυμός μήλου παρουσιάζει αύξηση, με τιμή οξύτητας 2,94g κίτρικού οξέος / 100 mL χυμού.

Το φρούτο, ως βιολογικά ενεργό σύστημα, αναπνέει ακόμη και μετά τη συγκομιδή του από το δέντρο όπως επίσης και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Έτσι, καταναλώνονται τα οργανικά οξέα, όπως το κίτρικό, και ως εκ τούτου μειώνουν την τιτλοδοτούμενη οξύτητα του φρούτου (Ghafir et al., 2009). Στο διάγραμμα 25 παρουσιάζεται η μεταβολή της οξύτητας των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου, μετά την αποθήκευση των 7 ημερών.



Διάγραμμα 25: Οξύτητα δειγμάτων σμέουρων για κάθε ωσμωτικό μέσο στη διάρκεια του χρόνου

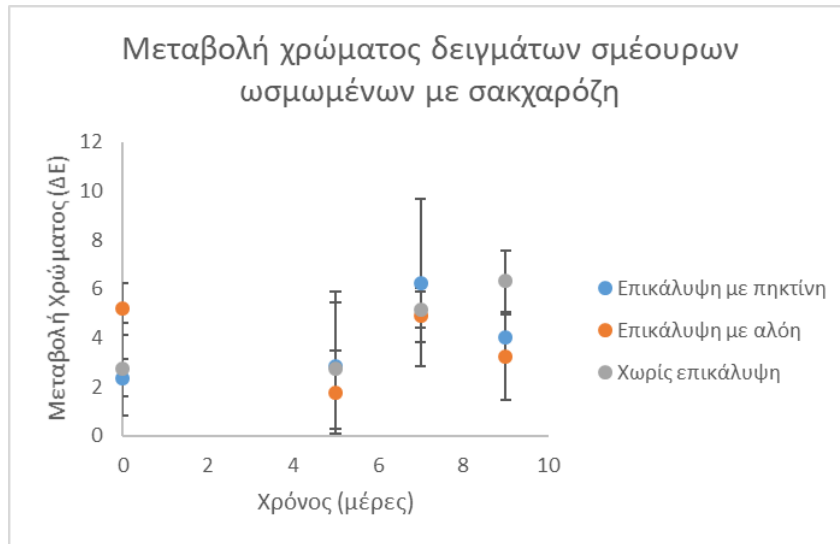
Παρατηρώντας το διάγραμμα 25 διαπιστώνεται πως τη μεγαλύτερη μείωση της οξύτητας στη διάρκεια του χρόνου παρουσιάζει η σακχαρόζη, με μεταβολή της τάξης του 40,26%. Ακολουθούν τα διαλύματα χυμού μήλου – γλυκερόλης και χυμού μήλου με ποσοστά μεταβολής 32,17% και 18,48% αντιστοίχως. Τη μικρότερη μεταβολή παρουσιάζει η γλυκερόλη, με ποσοστό της τάξης του 3,51%.

6.5 Αξιολόγηση της εδώδιμης επικάλυψης

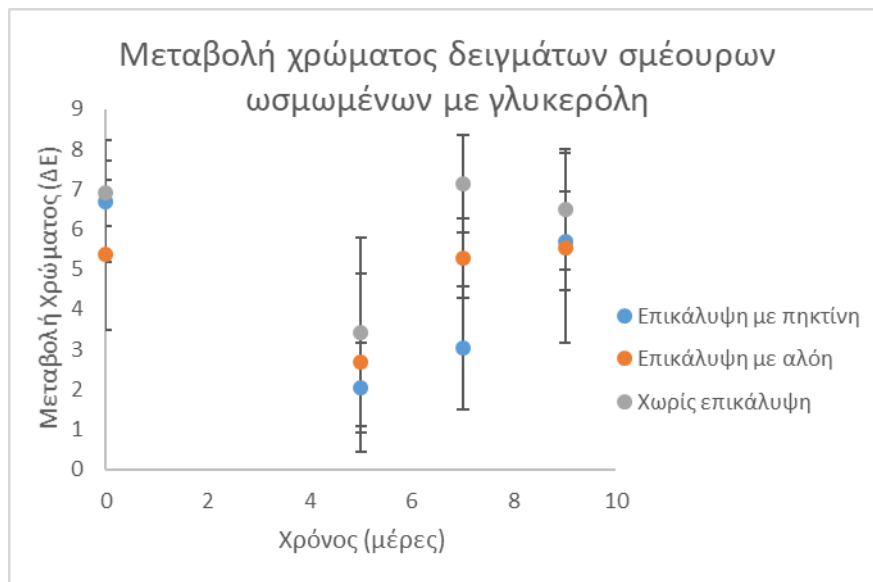
Δείγματα σμέουρων υπέστησαν επεξεργασία με τις βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης και στη συνέχεια εφαρμόστηκε σε αυτά εδώδιμη επικάλυψη με δύο διαφορετικά μέσα, πηκτίνη και αλόη. Τα επικαλυμμένα δείγματα αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο για 9 ημέρες. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ποιοτικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν.

6.5.1 Μεταβολή του χρώματος

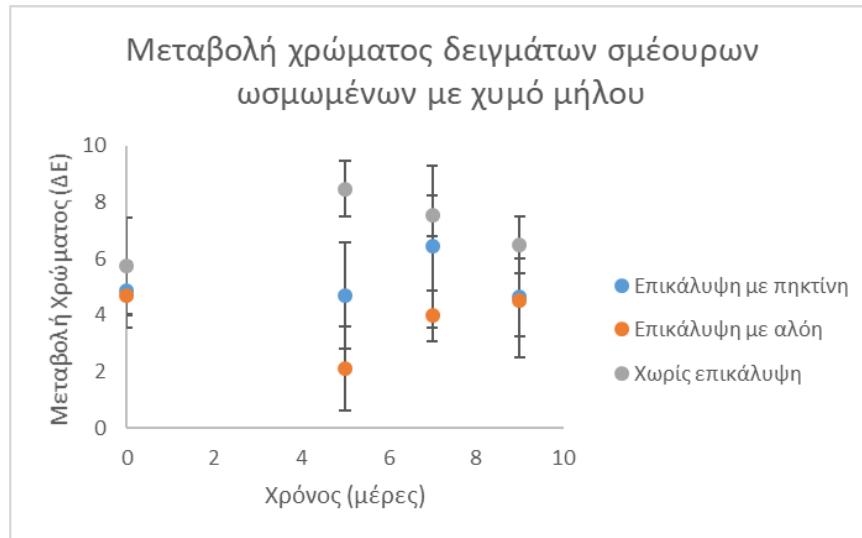
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μεταβολές του χρώματος για κάθε ωσμωτικό μέσο, με ή χωρίς επικάλυψη, συγκριτικά με το φρέσκο δείγμα, στη διάρκεια του χρόνου.



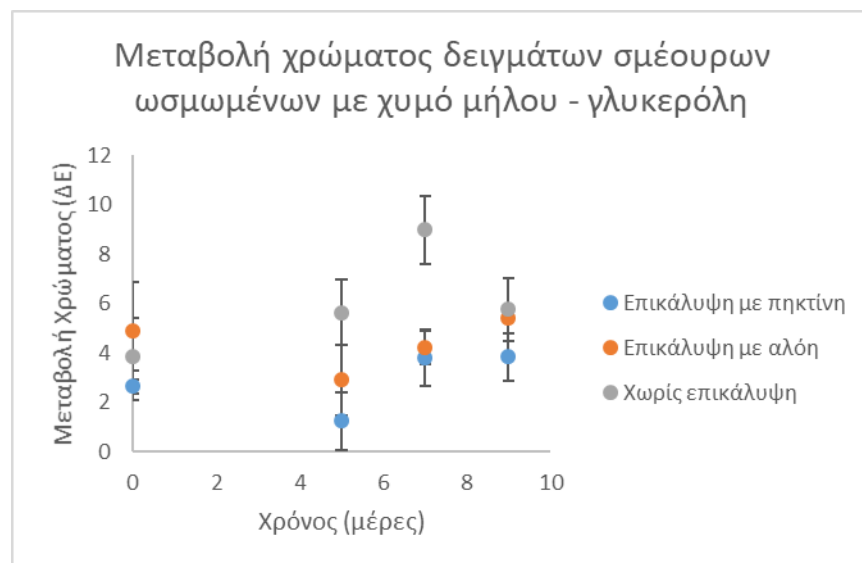
Διάγραμμα 26: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων με σακχαρόζη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 27: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμωτικά αφυδατωμένων σμέουρων με γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 28: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμητικά αφυδατωμένων σμέουρων με χυμό μήλου στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 29: Μεταβολή του χρώματος δείγματος ωσμητικά αφυδατωμένων σμέουρων με χυμό μήλου - γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου

Στην ωσμητική αφυδάτωση με σακχαρόζη, η πηκτίνη φαίνεται να διατηρεί το χρώμα σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα τις μέρες 0 και 9. Τις ημέρες 5 και 7, η μεταβολή του χρώματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του ωσμητικά αφυδατωμένου δείγματος, με τιμές 2,86 και 6,25 έναντι 2,75 και 5,16 του μη επικαλυμμένου. Η αλόη διατηρεί επίσης το χρώμα το χρώμα. Οι επικάλυσεις μπορούν να δημιουργούν μια τροποποιημένη ατμόσφαιρα γύρω από το τρόφιμο, η οποία οδηγεί σε περιορισμό της διέλευσης μορίων οξυγόνου από αυτή. Όσο μειώνεται η περιεκτικότητα σε οξυγόνο και αυξάνεται αυτή του

διοξειδίου του άνθρακα, αποτρέπεται η διάσπαση της χλωροφύλλης, με αποτέλεσμα τη διατήρηση του χρώματος του φρούτου (Maftoonazad and Ramaswamy 2019).

Σε ό,τι αφορά στην ωσμωτική αφυδάτωση με γλυκερόλη, η πηκτίνη και η αλόη παρουσιάζουν μικρότερη μεταβολή χρώματος σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα. Τα βέλτιστα αποτελέσματα παρουσιάζει η πηκτίνη τη 7^η ημέρα με μεταβολή χρώματος 3,04.

Στο διάγραμμα 28, στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου για ωσμωτικό διάλυμα χυμού μήλου 50° Brix, διαπιστώνεται πως και οι δύο επικαλύψεις είναι αποτελεσματικές στην διατήρηση του χρώματος για όλες τις ημέρες. Παρ'όλα αυτά, η επικάλυψη της αλόης φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική σε σχέση με την πηκτίνη καθώς παρουσιάζει τη μικρότερη μεταβολή του χρώματος.

Τέλος, για την ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης, οι δύο επικαλύψεις παρουσιάζουν επίσης μικρότερη μεταβολή χρώματος σε σχέση με το μη επικαλυμμένο ωσμωτικά αφυδατωμένο δείγμα για όλες τις μέρες. Σε αντίθεση με το διάλυμα του χυμού μήλου, εδώ η πηκτίνη είναι αυτή που παρουσιάζει τη μικρότερη μεταβολή χρώματος σε σχέση με την αλόη, η οποία όμως παραμένει αποτελεσματική.

Οι μετρήσεις των παραμέτρων χρώματος των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με ωσμωτική αφυδάτωση και εδωδιμη επικάλυψη παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 4: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο τη σακχαρόζη

Είδος επικάλυψης	Ημέρα αποθήκευσης	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
πηκτίνη	0	20,65±0,48	11,02±0,50	4,73±0,34
	5	20,12±1,58	11,83±1,87	4,24±0,79
	7	19,75±1,35	10,14±2,99	4,21±1,00
	9	22,9±0,51	12,71±0,65	5,18±0,40
αλόη	0	20,51±0,69	8,25±0,65	3,77±0,50
	5	17,34±0,26	12,16±1,60	4,06±0,52
	7	18,87±0,37	11,56±0,67	4,95±0,80
	9	21,44±1,63	12,71±0,60	5,43±0,15

Πίνακας 5: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο τη γλυκερόλη

Είδος επικάλυψης	Ημέρα αποθήκευσης	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
πηκτίνη	0	20,86±0,80	6,92±1,16	3,04±0,54
	5	19,92±0,61	13,05±0,78	4,13±0,51
	7	20,65±0,15	13,10±1,08	5,36±1,08
	9	21,93±0,82	10,49±0,86	4,23±0,34
αλόη	0	20,33±0,98	7,90±1,49	4,55±0,58
	5	17,68±1,54	11,20±1,48	4,95±0,59
	7	19,80±0,44	10,83±0,84	6,08±0,29
	9	20,86±0,83	10,19±1,99	5,70±1,00

Πίνακας 6: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο το χυμό μήλου

Είδος επικάλυψης	Ημέρα αποθήκευσης	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
πηκτίνη	0	19,27±0,56	8,53±0,55	4,02±0,25
	5	15,78±0,90	9,71±1,61	3,57±0,37
	7	18,81±0,35	10,02±2,67	4,64±1,01
	9	19,06±0,64	11,30±1,11	5,00±0,56
αλόη	0	19,49±0,34	8,72±1,09	3,76±0,17
	5	19,83±0,49	12,71±1,39	4,63±0,37
	7	20,60±0,30	12,21±0,80	5,07±0,31
	9	20,05±0,68	11,31±1,66	4,84±0,85

Πίνακας 7: Παράμετροι χρώματος των επικαλυμμένων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου με ωσμωτικό μέσο διάλυμα χυμού μήλου - γλυκερόλης

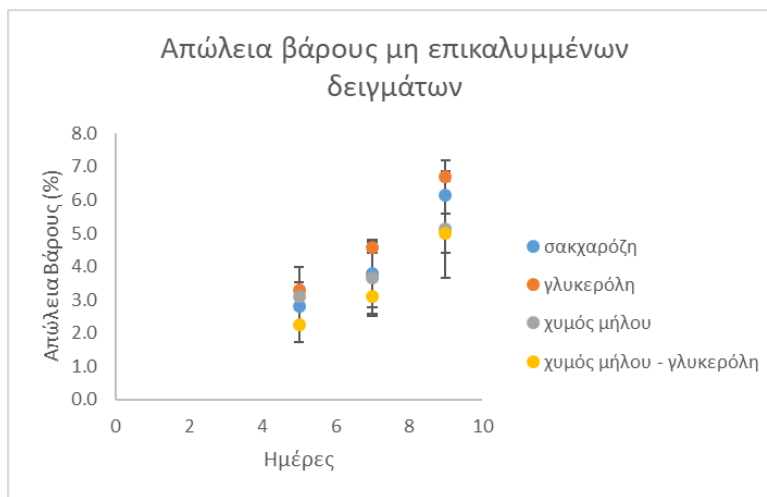
Είδος επικάλυψης	Ημέρα αποθήκευσης	<i>L</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
πηκτίνη	0	20,23±0,45	10,59±0,40	4,71±0,12
	5	19,24±1,08	13,53±0,41	4,36±0,22
	7	20,35±0,38	12,25±0,59	5,74±0,90
	9	19,89±0,25	11,89±0,21	5,33±0,90
αλόη	0	20,15±0,56	8,45±1,81	3,97±0,54
	5	19,52±0,52	11,31±1,22	3,94±0,50
	7	20,21±0,51	12,01±0,40	4,97±0,20
	9	21,16±1,12	10,48±1,07	4,63±0,37

Παρατηρώντας τους παραπάνω πίνακες, διαπιστώνεται πως η παράμετρος της φωτεινότητας *L* έχει την τάση να μειώνεται την 5^η μέρα της αποθήκευσης και στη συνέχεια να αυξάνεται την 7^η και την 9^η ημέρα. Αυτό είναι κάτι που έχει παρατηρηθεί και κατά την αποθήκευση φρέσκων σμέουρων (Gomes et al., 2016). Η μείωση της τιμής *L* συνδέεται συνήθως με τη μη ενζυμική αμαύρωση του φρούτου (Eyiz, Tontul

and Türker, 2020) και την ικανότητα των εδώδιμων επικαλύψεων να καθυστερούν τη σύνθεση καρροτενοειδών (Ullah et al., 2017). Διαπιστώνεται, επίσης, μια τάση για αύξηση των τιμών b και a . Η αύξηση της τιμής b περιγράφει την απώλεια κόκκινου χρώματος και το σχηματισμό λυκοπενίου και β-καροτένης λόγω της ωρίμανσης του φρούτου κατά την αποθήκευση (Nyalala and Wainwright, 2019).

6.5.3 Απώλεια βάρους

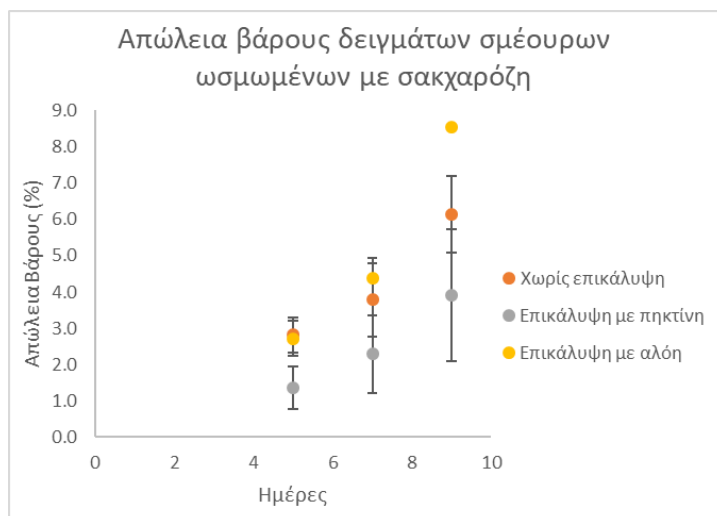
Στο διάγραμμα 30 παρουσιάζεται η απώλεια βάρους των μη επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου. Οι μετρήσεις έγιναν την ημέρα 0 καθώς και την 5^η, 7^η και 9^η ημέρα.



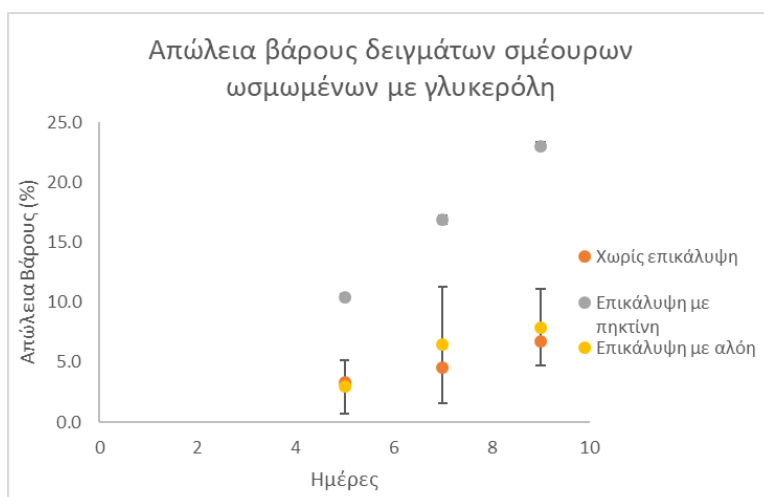
Διάγραμμα 30: Απώλεια βάρους των μη επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως η απώλεια βάρους των μη επικαλυμμένων δειγμάτων αυξάνεται με το χρόνο. Τη μεγαλύτερη απώλεια παρουσιάζουν τα δείγματα που έχουν επεξεργαστεί με γλυκερόλη, με το ποσοστό απώλειας βάρους να βρίσκεται ίσο με 6,72% την 9^η ημέρα. Αντίθετα, την βέλτιστη εικόνα έχουν τα δείγματα που επεξεργάστηκαν με διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης με απώλεια βάρους 5,01% καθώς και με χυμό μήλου με απώλεια 5,12% την 9^η ημέρα.

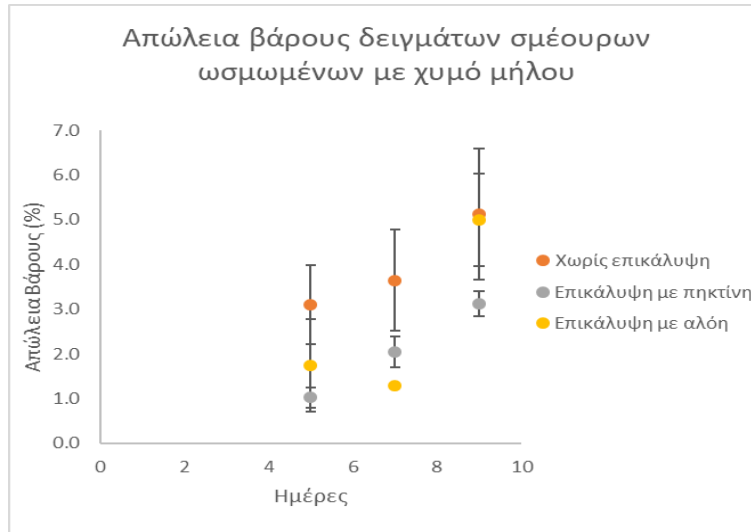
Ακολουθούν τα διαγράμματα που παρουσιάζουν την απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων για κάθε ωσμωτικό μέσο στη διάρκεια του χρόνου.



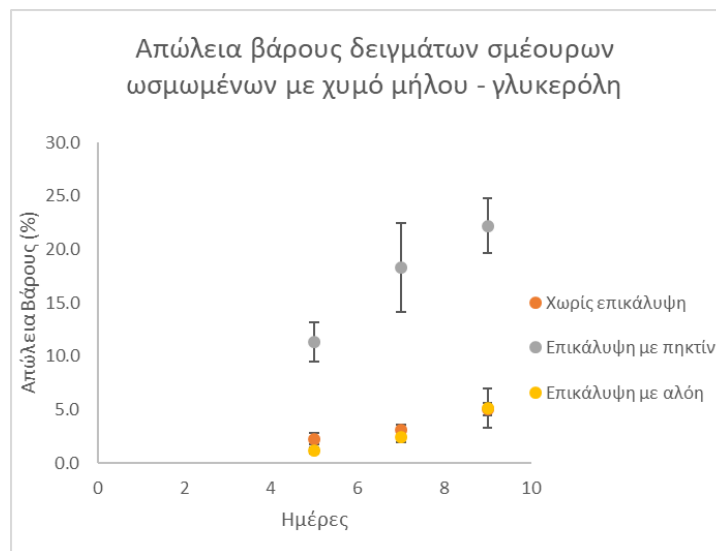
Διάγραμμα 31: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 32: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 33: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου στη διάρκεια του χρόνου



Διάγραμμα 34: Απώλεια βάρους των επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου – γλυκερόλη στη διάρκεια του χρόνου

Η εδωδιμη επικάλυψη παρέχει ένα ημιπερατό φράγμα και στοχεύει στην παράταση της διάρκειας ζωής του φρούτου μειώνοντας την υγρασία και την απώλεια των διαλυμένων ουσιών, την ανταλλαγή αερίων, τους ρυθμούς οξειδωτικής αντίδρασης και την αναπνοή (Raghan, Nidhi Agarwal and Mitu Saini, 2016).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της απώλειας βάρους φέρουν διαφορές μεταξύ τους. Στο διάγραμμα 31 διαπιστώνεται πως για δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη, η πηκτίνη είναι αρκετά αποτελεσματική στη διατήρηση του βάρους για όλες τις μέρες, με το ποσοστό απώλειας βάρους να είναι 3,91% την 9^η ημέρα έναντι του 6,14% για το ωσμωτικά αφυδατωμένο δείγμα. Αντίθετα,

η αλόη παρουσιάζει μεγαλύτερη απώλεια βάρους από μη επικαλυμμένο δείγμα με ποσοστό 8,54% καθιστώντας μη αποτελεσματική.

Στην περίπτωση των δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία με γλυκερόλη, καμία από τις δύο επικαλύψεις δεν παρουσιάζει βελτιωμένη απώλεια βάρους, με μόνη εξαίρεση το δείγμα επικαλυμμένο με αλόη την 5^η ημέρα. Μάλιστα, τα δείγματα επικαλυμμένα με πηκτίνη παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένη απώλεια βάρους.

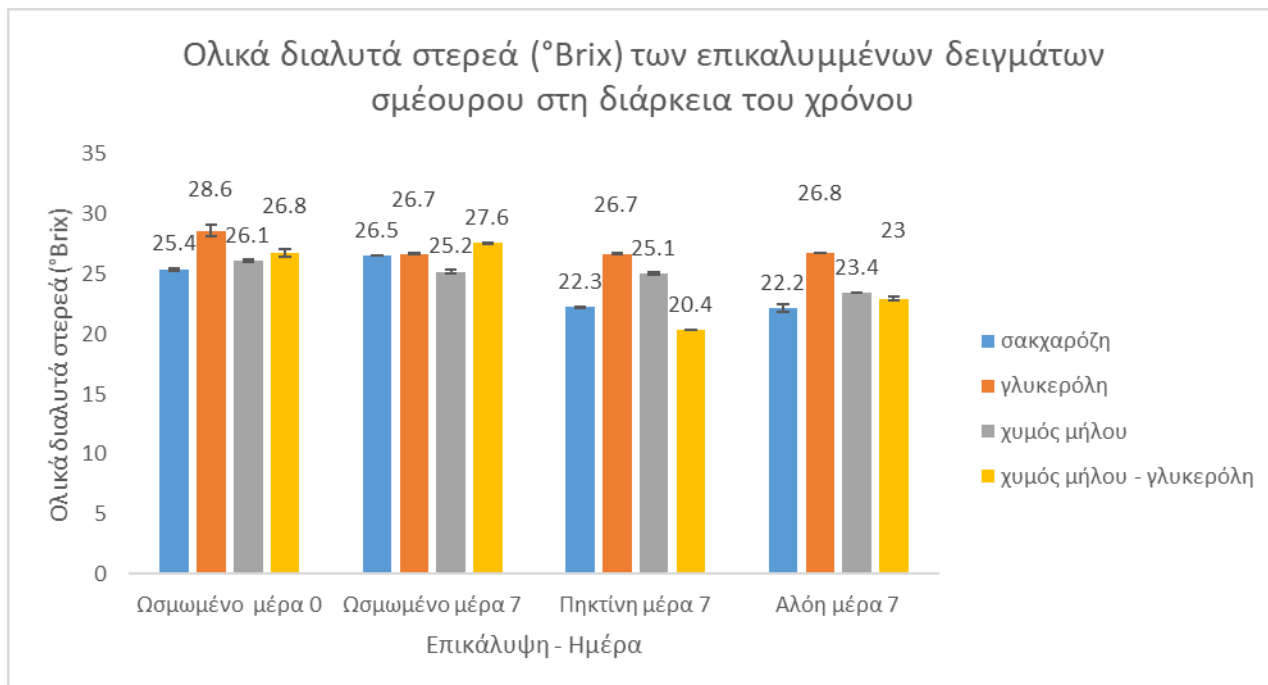
Για την ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου, φαίνεται να είναι αποτελεσματικές και οι δύο επικαλύψεις, με την πηκτίνη να παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα. Η αλόη παρόλο που τις μέρες 5 και 7 παρουσιάζει απώλεια βάρους αρκετά μικρότερη σε σχέση με αυτή που παρουσιάζει το μη επικαλυμμένο δείγμα, την 9^η ημέρα έχει απώλεια βάρους 5% η οποία είναι σχεδόν ίδια με του επικαλυμμένου δείγματος (5,12%). Αντίθετα, την ίδια ημέρα η επικάλυψη της πηκτίνης παρουσιάζει απώλεια βάρους ίση με 3,12%.

Τέλος, σε ό,τι αφορά στο ωσμωτικό διάλυμα χυμού – μήλου γλυκερόλης οι επικαλύψεις δεν δείχνουν να είναι αποτελεσματικές. Τα επικαλυμμένα δείγματα με πηκτίνη, παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγαλύτερη απώλεια βάρους σε σχέση με το επικαλυμμένο δείγμα, κάτι το οποίο είναι ανεπιθύμητο. Η επικάλυψη με αλόη αντίθετα, αν και δεν βελτιώνει ουσιαστικά την απώλεια βάρους, έχει όμοια αποτελέσματα με αυτά του μη επικαλυμμένου δείγματος.

Η μη αποτελεσματικότητα των επικαλύψεων να διατηρήσουν το βάρος ή η αύξηση στην απώλεια που μπορεί να οδηγούν είναι κάτι το οποίο έχει διαπιστωθεί και στην αποθήκευση σμέουρων επικαλυμμένων με αλγινικά άλατα και αιθέρια έλαια. Τα επικαλυμμένα δείγματα παρουσίασαν σε κάθε επικάλυψη αυξημένη απώλεια βάρους σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα. Αυτό είναι κάτι το οποίο πιθανώς οφείλεται στη φθορά της επιδερμίδας του φρούτου, λόγω της μείωσης του ενδογενούς οξυγόνου, που οδηγεί στην παραγωγή ζυμωτικών ουσιών, όπως οι αλκοόλες, και στην υπερβολική ενυδάτωση της επιδερμίδας που προκαλείται από τις επιστρώσεις (Gomes et al., 2016).

6.5.4 Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών

Στο διάγραμμα 35 παρουσιάζεται η ποσότητα των ολικών διαλυτών στερεών για τα ωσμωτικά αφυδατωμένα μη επικαλυμμένα και επικαλυμμένα δείγματα μετά από 7 μέρες και συγκρίνεται με αυτή του ωσμωτικά αφυδατωμένου δείγματος την ημέρα 0.



Διάγραμμα 35: Μεταβολή της περιεκτικότητας των επικαλυμμένων δειγμάτων σμέουρων στη διάρκεια του χρόνου

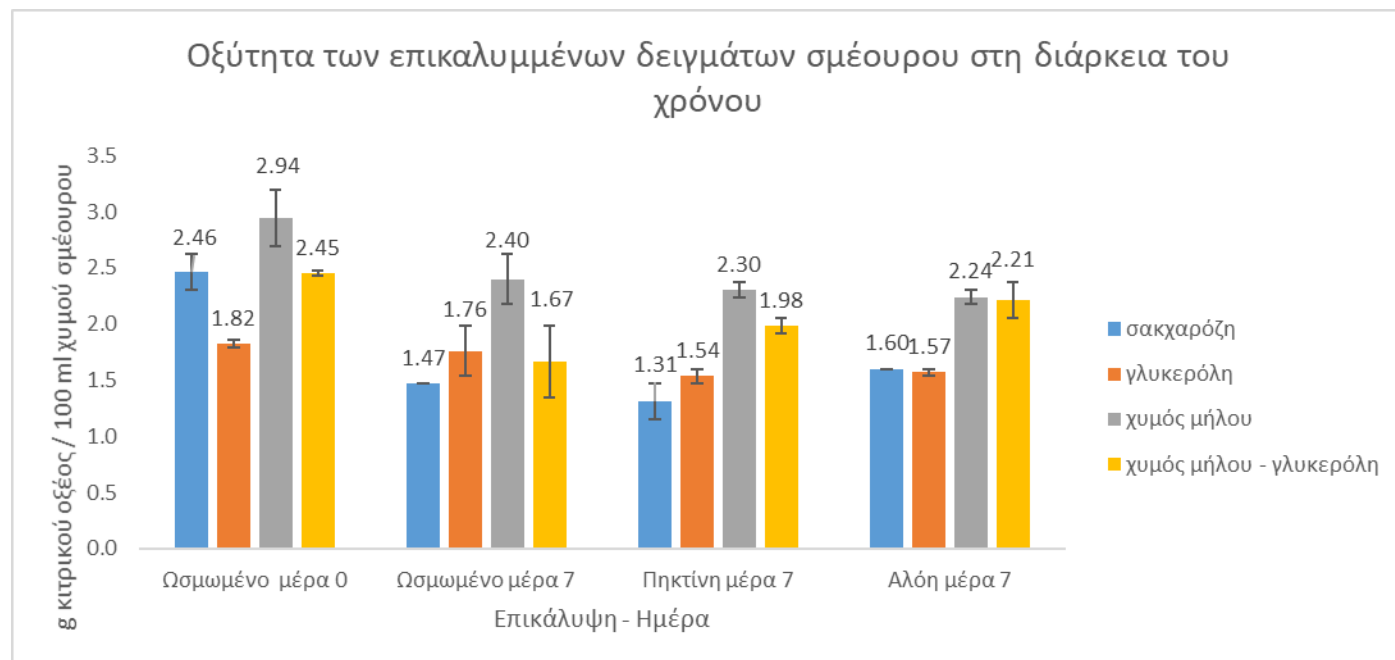
Συγκρίνοντας τα ωσμωμένα δείγματα την ημέρα 0 με τα ίδια δείγματα την 7^η μέρα, διαπιστώνεται πως στην περίπτωση της ωσμωτικής αφυδάτωσης με σακχαρόζη και χυμό μήλου – γλυκερόλη υπάρχει αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών. Αντίθετα, στην περίπτωση της γλυκερόλης και του χυμού μήλου, παρουσιάζεται πτώση της τάξης των 0,9 °Brix και για τα δύο δείγματα.

Στην περίπτωση της σακχαρόζης, η επικάλυψη της πηκτίνης και της αλόης μειώνουν τα ολικά διαλυτά στερεά, οδηγώντας μάλιστα σε πολύ παραπλήσιες τιμές, σε αντίθεση με το μη επικαλυμμένο δείγμα το οποίο αυξάνει την περιεκτικότητα σε στερεά. Η γλυκερόλη παρουσιάζει τις ίδιες σχεδόν τιμές την 7^η ημέρα για όλα τα δείγματα, 26,7 °Brix για το μη επικαλυμμένο δείγμα και το επικαλυμμένο με πηκτίνη και 26,8 °Brix για το επικαλυμμένο με αλόη, οι οποίες είναι μειωμένες σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα τη ημέρα 0. Σε ό,τι αφορά στα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου, τα επικαλυμμένα δείγματα, όπως και τα μη επικαλυμμένα, παρουσιάζουν μείωση στα ολικά διαλυτά στερεά. Η μεγαλύτερη μείωση εντοπίζεται στην επικάλυψη με αλόη, στην τάξη των 2,7 °Brix. Τέλος, στην περίπτωση του ωσμωτικού διαλύματος χυμού μήλου – γλυκερόλης εντοπίζονται οι πιο μεγάλες διαφορές στα ολικά διαλυτά στερεά με την επικάλυψη της πηκτίνης να παρουσιάζει 6,4 °Brix διαφορά από το μη επικαλυμμένο δείγμα τη μέρα 0 και 7,2° Brix την 7^η μέρα.

Με δεδομένο ότι τα ολικά διαλυτά στερεά αποτελούν δείκτη της ωρίμανσης του φρούτου, οι χαμηλότερες τιμές είναι επιθυμητές (Silva, Finkler and Finkler, 2018). Άρα ως βέλτιστη επικάλυψη μπορεί να θεωρηθεί η επικάλυψη της πηκτίνης. Η πτώση που παρατηρήθηκε στην τιμή των ολικών διαλυτών στερεών μετά τις 7 μέρες αποθήκευσης έχει παρατηρηθεί ξανά σε σμέουρα επικαλυμμένα με αλόη μετά από 8 μέρες αποθήκευσης (Hassanpour, 2015).

6.5.5 Προσδιορισμός της ολικής οξύτητας

Μελετήθηκε επιπλέον η ολική οξύτητα των επικαλυμμένων δειγμάτων σμέουρων την 7^η ημέρα αποθήκευσης ώστε να συγκριθεί με αυτή των μη επικαλυμμένων δειγμάτων την ίδια μέρα.



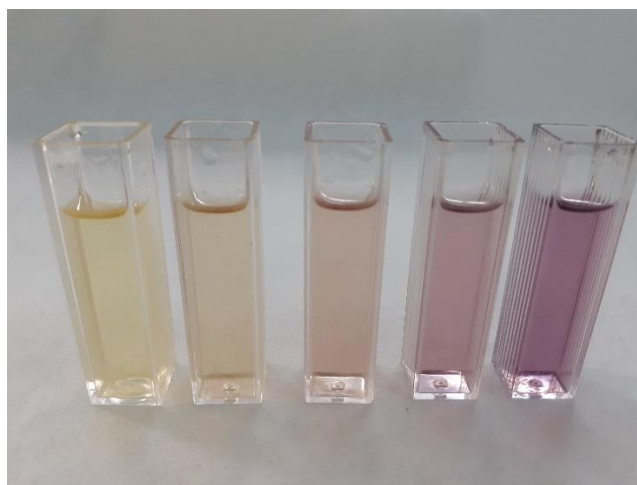
Διάγραμμα 36: Μεταβολή της οξύτητας των επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου

Στο διάγραμμα 36 παρατηρείται πως για όλα τα δείγματα η ολική οξύτητα μειώνεται την 7^η ημέρα. Η μείωση της οξύτητας μπορεί να αποδοθεί στη χρήση των οργανικών οξέων ως αναπνευστικά υποστρώματα και ως σκελετό άνθρακα για τη σύνθεση νέων ενώσεων κατά την ωρίμανση (Fan et al., 2009).

Γενικά δεν διαπιστώνεται κάποια βελτίωση στη μείωση της οξύτητας την 7^η ημέρα στα επικαλυμμένα δείγματα. Εξάιρεση αποτελούν τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική επεξεργασία με διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης, τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερη οξύτητα την 7^η μέρα σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα και με τις δύο επικαλύψεις. Οι μετρήσεις αυτές συμφωνούν με τα δεδομένα για σμέουρα επικαλυμμένα με αλόη, τα οποία την 8^η ημέρα αποθήκευσής τους δεν παρουσιάζουν κάποια διαφορά στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα (Hassanpour, 2015).

6.5.6 Προσδιορισμός της αντιοξειδωτικής δράσης

Ένας ακόμα ποιοτικός παράγοντας που μελετήθηκε για τα επικαλυμμένα δείγματα είναι η αντιοξειδωτική δράση. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε χυμό σμέουρων ο οποίος παραλήφθηκε όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.4.3. Στους πίνακες περιλαμβάνεται και η προσαρμογή R^2 των δεδομένων στη γραμμική εξίσωση κάθε καμπύλης του DPPHrem που χαρακτήρισε συναρτήσεως της συγκέντρωσης για να υπολογιστεί το IC50.



Εικόνα 20: Αποχρωματισμός του χυμού σμέουρων μετά την εφαρμογή της μεθόδου DPPH

Πίνακας 8: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα σακχαρόζης

Επικάλυψη - Ημέρα	IC50 (mL/mL)	R ²
χωρίς επικάλυψη μέρα 0	0.26	0.92
χωρίς επικάλυψη μέρα 7	0.23	0.86
πηκτίνη μέρα 7	0.26	0.99
αλόη μέρα 7	0.17	0.85

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η επίδραση των επικαλύψεων στην αντιοξειδωτική δράση των δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη. Διαπιστώνεται πως το μη επικαλυμμένο δείγμα και το δείγμα επικαλυμμένο με αλόη έχουν βελτιωμένη αντιοξειδωτική δράση, με την αλόη να έχει την χαμηλότερη τιμή IC50. Αντίθετα, το δείγμα επικαλυμμένο με πηκτίνη έχει την ίδια αντιοξειδωτική δράση με το μη επικαλυμμένο δείγμα την ημέρα 0. Αυξημένη αντιοξειδωτική δράση έχει διαπιστωθεί και σε μύρτιλα επικαλυμμένα με αλόη κατά την αποθήκευσή τους (Arrubla Vélez et al., 2021).

Πίνακας 9: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης

Επικάλυψη - Ημέρα	IC50 (mL/mL)	R ²
χωρίς επικάλυψη μέρα 0	0.29	0.82
χωρίς επικάλυψη μέρα 7	0.23	0.73
πηκτίνη μέρα 7	0.08	0.88
αλόη μέρα 7	0.08	0.84

Σε ό,τι αφορά στη γλυκερόλη, και οι δύο επικαλύψεις οδηγούν σε δραματική μείωση της τιμής IC50 και συνεπώς αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης. Οι δύο επικαλύψεις οδηγήσαν σε πολύ καλύτερα αποτελέσματα από το δείγμα αναφοράς, δηλαδή το ωσμωτικά αφυδατωμένο μη επικαλυμμένο δείγμα την 7^η ημέρα, το οποίο παρουσίασε μια μικρή βελτίωση η οποία όμως είναι πολύ μικρότερη από τη διαφορά που παρουσίασαν τα επικαλυμμένα δείγματα. Αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης κατά την αποθήκευση έχει διαπιστωθεί και σε δαμάσκηνα επικαλυμμένα με πηκτίνη (Panahirad, Naghshiband-Hassani and Mahna, 2020).

Πίνακας 10: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα χυμού μήλου

Επικάλυψη - Ημέρα	IC50 (mL/mL)	R ²
χωρίς επικάλυψη μέρα 0	0.27	0.97
χωρίς επικάλυψη μέρα 7	0.16	0.82
πηκτίνη μέρα 7	0.29	0.91
αλόη μέρα 7	0.20	0.91

Μελετώντας τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου παρατηρείται πως βελτιωμένη αντιοξειδωτική δράση παρουσιάζουν το μη επικαλυμμένο δείγμα καθώς και το επικαλυμμένο με αλόη, με το πρώτο να έχει τη χαμηλότερη τιμή IC50. Το δείγμα που είναι επικαλυμμένο με πηκτίνη διαθέτει χαμηλότερη αντιοξειδωτική δράση σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα την ημέρα 0.

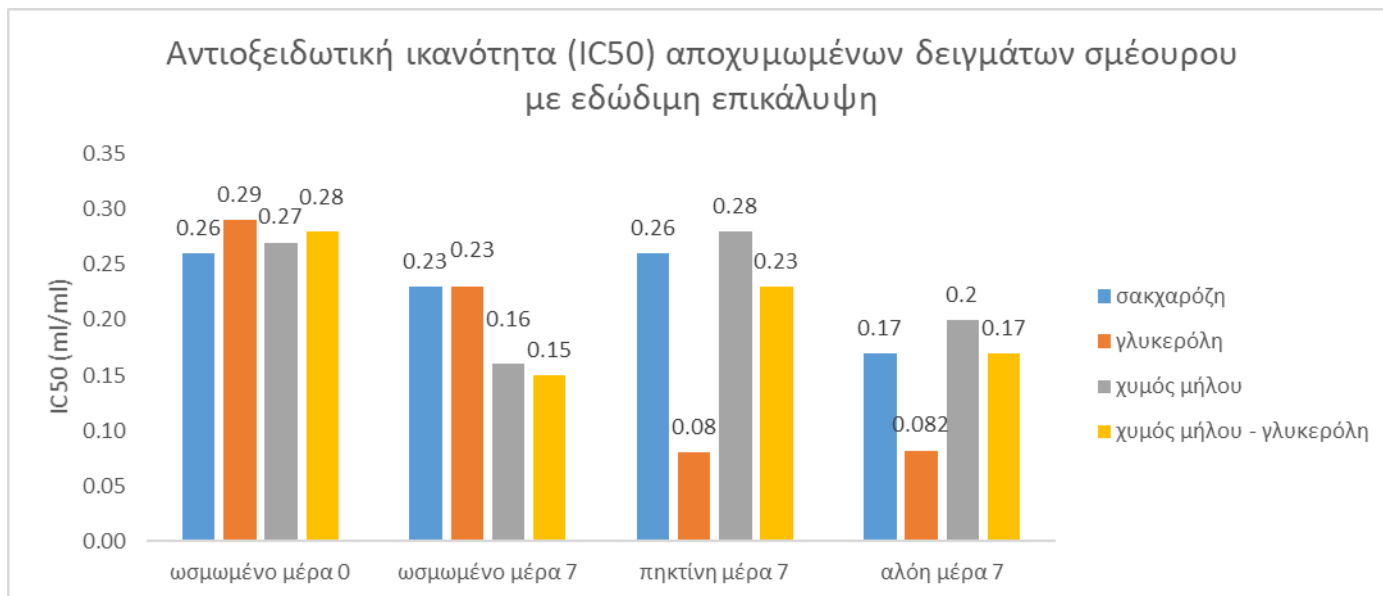
Πίνακας 11: Αντιοξειδωτική ικανότητα χυμού σμέουρων (IC50 (mL/mL)) επικαλυμμένων δειγμάτων που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα χυμού μήλου - γλυκερόλης

Επικάλυψη - Ημέρα	IC50 (ml/ml)	R ²
ωσμωμένο μέρα 0	0.28	0.92
ωσμωμένο μέρα 7	0.15	0.94
πηκτίνη μέρα 7	0.23	0.91
αλόη μέρα 7	0.17	0.88

Τέλος, για τα δείγματα που έχουν επεξεργαστεί ωσμωτικά με διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης, παρόλο που τα επικαλυμμένα δείγματα παρουσιάζουν βελτιωμένη αντιοξειδωτική δράση σε σχέση με το μη επικαλυμμένο δείγμα τη μέρα 0, δεν είναι όσο βελτιωμένη όσο αυτή του μη επικαλυμμένου δείγματος την 7^η ημέρα. Αξίζει να σημειωθεί όμως πως το επικαλυμμένο δείγμα με αλόη έχει χαμηλότερη τιμή IC50 από της πηκτίνης και πολύ κοντινή με αυτή του μη επικαλυμμένου δείγματος την 7^η ημέρα.

Υπάρχουν αναφορές για αύξηση των αντιοξειδωτικών κατά την αποθήκευση σμέουρων, φραουλών και μύρτιλων (Hassanpour, 2015). Η αύξηση αυτή μπορεί να οφείλεται στη συνεχιζόμενη βιοσύνθεση των φαινολικών ενώσεων μετά συγκομιδή, η οποία σχετίζεται με τις διαδικασίες ωρίμανσης (Gomes et al., 2016).

Ακολουθεί το διάγραμμα 37 στο οποίο παρουσιάζονται συνοπτικά οι τιμές IC50 του χυμού σμέουρων με κάθε επικάλυψη στη διάρκεια του χρόνου. Παρατηρείται πως τα επικαλυμμένα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με γλυκερόλη παρουσιάζουν την καλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα από όλα τα δείγματα. Επιπλέον, σε ό,τι αφορά και στις δύο επικάλυψεις, τα ωσμωτικά αφυδατωμένα με χυμό μήλου δείγματα παρουσίασαν τη μικρότερη αντιοξειδωτική ικανότητα, με τις τιμές όμως την επικάλυψης της αλόης να είναι γενικά καλύτερες από αυτές της πηκτίνης. Γενικά οι τιμές των επικαλυμμένων με αλόη ήταν καλύτερες από αυτές της πηκτίνης. Μελέτη σε σμέουρα επικαλυμμένα με αλόη έχει παρατηρήσει όμοια αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης των δειγμάτων (Hassanpour, 2015).



Διάγραμμα 37: Μεταβολή της οξύτητας των επικαλυμμένων δειγμάτων στη διάρκεια του χρόνου

Οι Iso, Hu και Xu (2005) απέδειξαν ότι η γέλη αλόης μπορεί να αυξήσει την αντίσταση των ιστών στην αποσύνθεση μέσω της ενίσχυσης του αντιοξειδωτικού τους συστήματος και της ικανότητας καταστροφής των ελεύθερων ριζών. Έχει αναφερθεί επίσης, ότι η από του στόματος λήψη της Αλόης βέρα παρουσιάζει ιδιαίτερη αντιφλεγμονώδη δράση, λόγω των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων της (Langmead et al., 2004). Ο αριθμός ενώσεων που έχει εντοπιστεί στη σύνθεση της γέλης Αλόης βέρα είναι μεγάλος (Ni et al., 2004), αλλά η αλόη-εμοδίνη είναι αυτή που θεωρείται το κύριο συστατικό που συμβάλλει στην αντιοξειδωτική δράση. Η αντιοξειδωτική δράση της αλόης λοιπόν, αιτιολογεί την αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης των επικαλυμμένων δειγμάτων.

Η επικάλυψη της πηκτίνης από την άλλη, λειτουργεί σαν φράγμα στη διέλευση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. Η ικανότητα της επικάλυψης της πηκτίνης να διατηρεί το ασκορβικό οξύ, τις φαινολικές ενώσεις, τις ανθοκυανίνες και τα φλαβονοειδή είναι πιθανώς ο κύριος λόγος για την ενίσχυση της συνολικής αντιοξειδωτικής ικανότητας των επικαλυμμένων με πηκτίνη δειγμάτων (Panahirad, Naghshiband-Hassani and Mahna, 2020).

6.5.7 Οργανοληπτικός έλεγχος

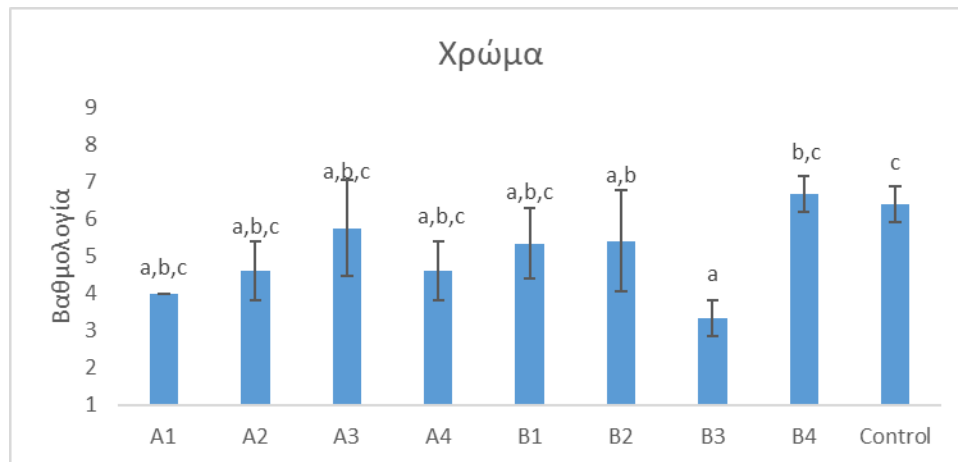
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι βαθμολογίες που δόθηκαν από τους δοκιμαστές στα δείγματα για κάθε χαρακτηριστικό που ζητήθηκε να αξιολογήσουν. Ακολουθεί πίνακας με την κωδικοποίηση των δειγμάτων.

Πίνακας 12: Κωδικοποίηση των δειγμάτων

Κωδικός	Ωσμωτικό μέσο - επικάλυψη
A1	Σακχαρόζη
A2	Γλυκερόλη
A3	Χυμός μήλου
A4	Χυμός μήλου - γλυκερόλη
B1	Σακχαρόζη+Αλόη
B2	Γλυκερόλη+Αλόη
B3	Χυμός μήλου+Αλόη
B4	Χυμός μήλου - γλυκερόλη+Αλόη
Control	Φρέσκο

Εμφάνιση

Η εμφάνιση αξιολογήθηκε από τους δοκιμαστές μέσω της βαθμολόγησης του χρώματος.

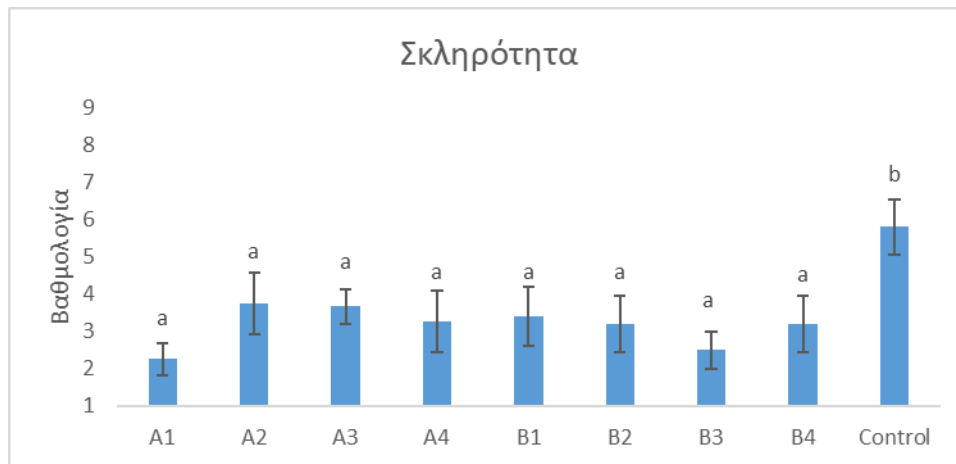


Διάγραμμα 38: Βαθμολογία του χρώματος των δειγμάτων σμέουρων από τους δοκιμαστές

Καλύτερα αξιολογήθηκε το χρώμα του δείγματος B4, δηλαδή το επικαλυμμένο δείγμα με αλόη που έχει υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με συνδυασμό χυμού μήλου – γλυκερόλης ενώ τη χαμηλότερη βαθμολογία είχε το A1 δηλαδή το μη επικαλυμμένο δείγμα αφυδατωμένο με σακχαρόζη. Οι τιμές του φρέσκου δείγματος (control), αν και ελαφρώς καλύτερη από τη βαθμολογία των περισσότερων δειγμάτων, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη διαφορά.

Υφή

Η υφή των δειγμάτων αξιολογήθηκε μέσω της σκληρότητας.

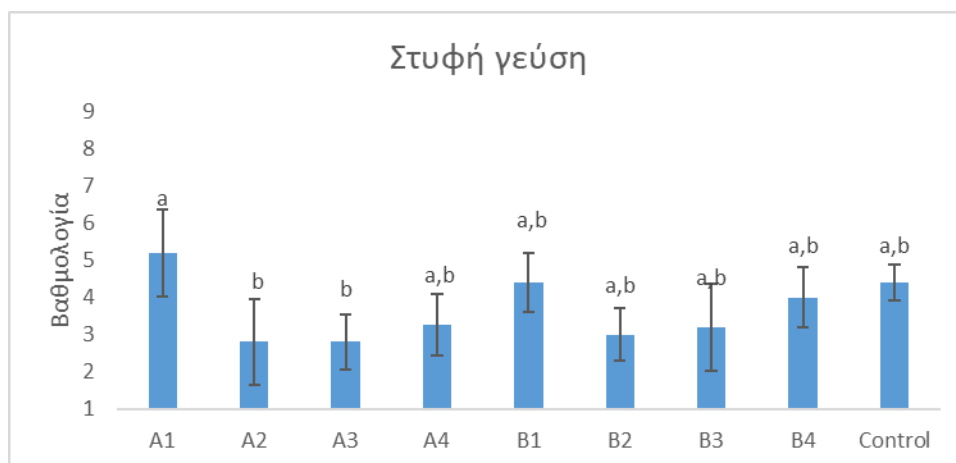


Διάγραμμα 39: Βαθμολογία της σκληρότητας των δειγμάτων σμέουρων από τους δοκιμαστές

Γενικά οι βαθμολογίες που δόθηκαν ήταν χαμηλότερες από αυτή του φρέσκου δείγματος, γεγονός το οποίο σηματοδοτεί πως οι δοκιμαστές δεν προτιμούν την υφή των επεξεργασμένων δειγμάτων. Την υψηλότερη βαθμολογία έλαβε το δείγμα A2, δηλαδή το μη επικαλυμμένο δείγμα αφυδατωμένο με γλυκερόλη, ενώ τη χαμηλότερη το δείγμα A1, δηλαδή το μη επικαλυμμένο δείγμα που έχει υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη.

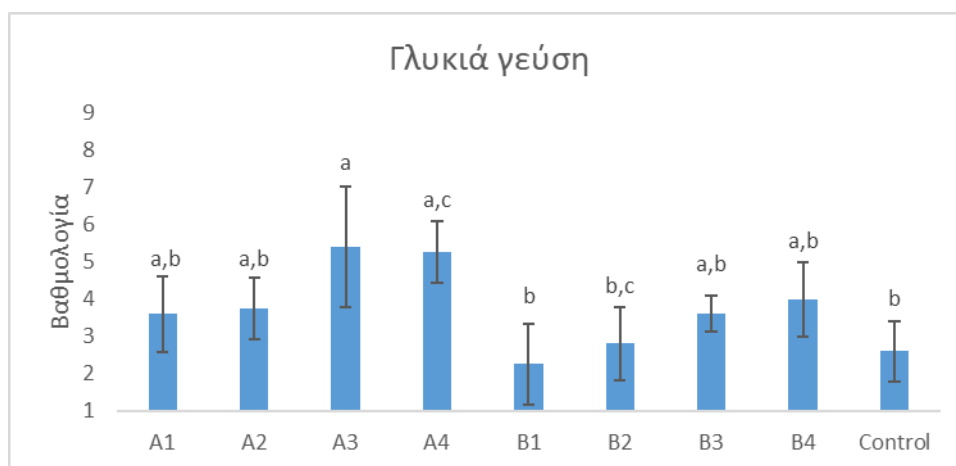
Γεύση

Η γεύση αξιολογήθηκε ως προς το πόσο στυφή, γλυκιά, ξινή και πικρή βρέθηκε από τους δοκιμαστές.



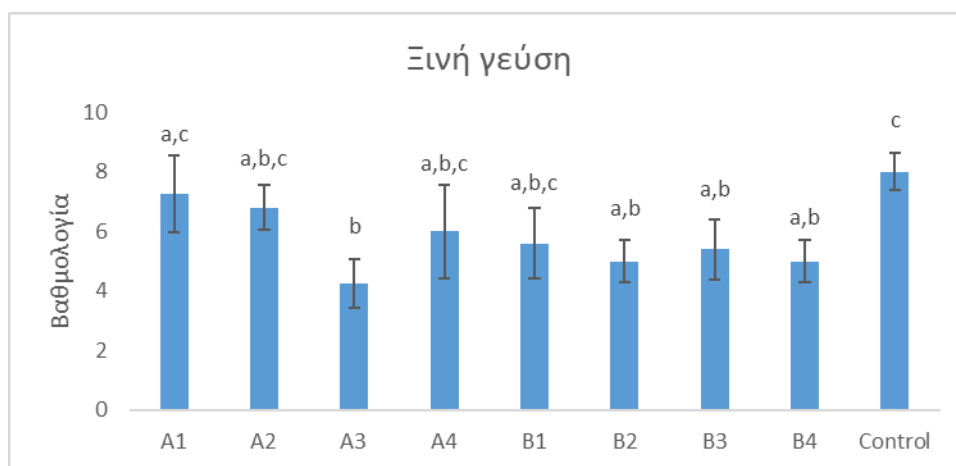
Διάγραμμα 40: Βαθμολογία της στυφής γεύσης των δειγμάτων σμέουρων από τους δοκιμαστές

Ιδιαίτερα στυφή γεύση βρέθηκε να έχει το δείγμα A1, δηλαδή το δείγμα αφυδατωμένο με σακχαρόζη, με το δείγμα B1 να ακολουθεί. Τη χαμηλότερη βαθμολογία δέχτηκε το δείγμα A2, δηλαδή το μη επικαλυμμένο δείγμα, ωσμωτικά αφυδατωμένο με γλυκερόλη. Παρατηρείται πως, ανεξάρτητα από την επικάλυψη, την υψηλότερη βαθμολογία στη στυφή γεύση έλαβαν τα δείγματα που έχουν αφυδατωθεί ωσμωτικά με σακχαρόζη καθώς και με χυμό μήλου – γλυκερόλη (A1, A4, B1, B4). Τα δείγματα παρ'όλα αυτά, δείχνουν να έχουν ίδια ή χαμηλότερη βαθμολογία στυφής γεύσης σε σχέση με το δείγμα control.



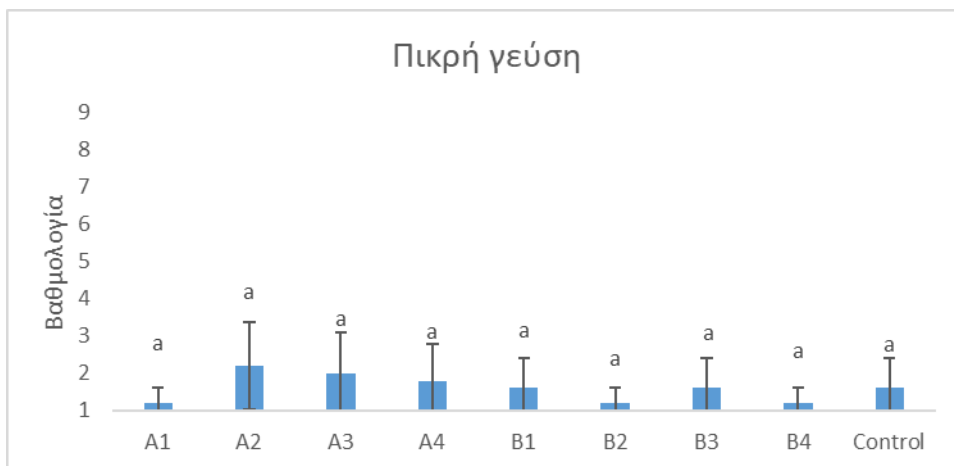
Διάγραμμα 41: Βαθμολογία της γλυκιάς γεύσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές

Όσον αφορά στη γλυκιά γεύση, στο διάγραμμα παρατηρείται πως τα μη επικαλυμμένα δείγματα παρουσιάζουν υψηλότερη βαθμολογία σε σχέση με τα αντίστοιχα επικαλυμμένα. Την υψηλότερη βαθμολογία (5,4), φαίνεται να την παρουσιάζει το δείγμα A3, δηλαδή το δείγμα αφυδατωμένο με χυμό μήλου. Τα επεξεργασμένα δείγματα παρουσιάζουν αυξημένη γλυκύτητα σε σχέση με το δείγμα control.



Διάγραμμα 42: Βαθμολογία της ξινής γεύσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές

Γενικά η ξινή γεύση βαθμολογήθηκε σχετικά υψηλά, κάτι που οφείλεται στη φυσικά ξινή γεύση των σμέουρων λόγω της περιεκτικότητά τους σε κιτρικό οξύ (Riaz and Bushway, 1996). Όλα τα δείγματα όμως παρουσίασαν χαμηλότερη ξινή γεύση σε σχέση με το φρέσκο δείγμα. Το δείγμα A1, δηλαδή το αφυδατωμένο με σακχαρόζη, ήταν αυτό που παρουσίασε την υψηλότερη τιμή, 7,25, η οποία όμως είναι μικρότερη της τιμής 8 για το δείγμα control.

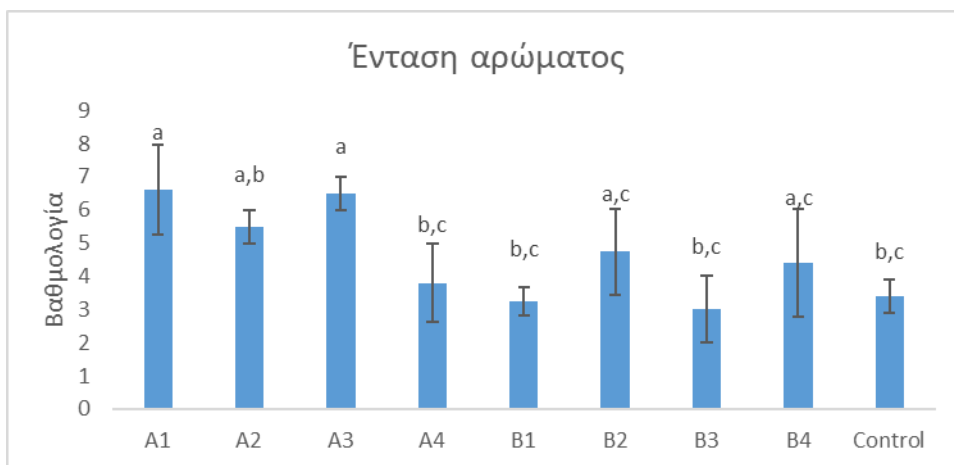


Διάγραμμα 43: Βαθμολογία της πικρής γεύσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές

Η πικρή γεύση βαθμολογήθηκε πολύ χαμηλά για όλα τα δείγματα. Λίγο υψηλότερη παρουσιάζουν τα δείγματα A2 και A3, δηλαδή τα δείγματα αφυδατωμένα με γλυκερόλη και χυμό μήλου, των οποίων όμως οι τιμές παραμένουν αρκετά χαμηλές (2,2 και 2).

Άρωμα

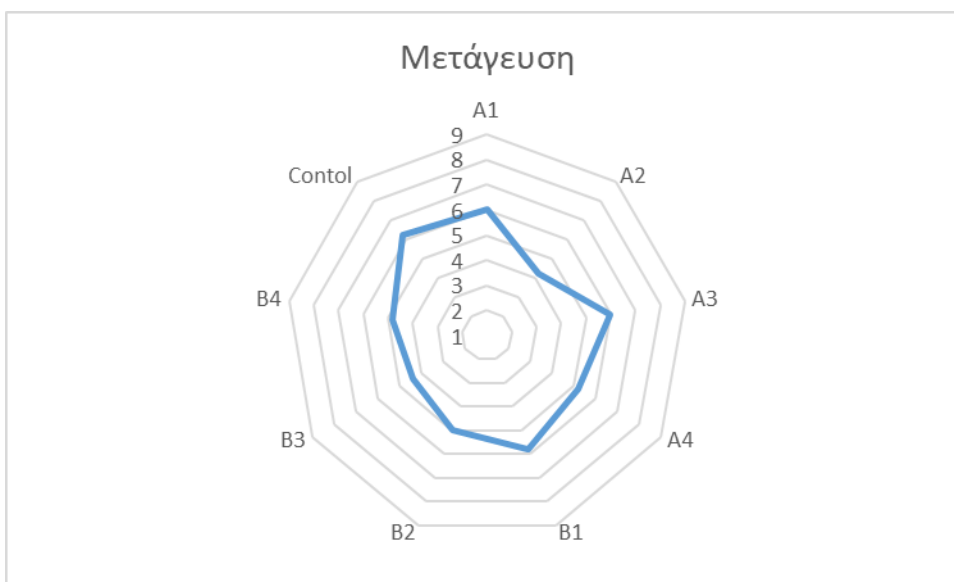
Το άρωμα των δειγμάτων αξιολογήθηκε και βαθμολογήθηκε από τους δοκιμαστές ως προς την έντασή του.



Διάγραμμα 44: Βαθμολογία της έντασης αρώματος των δειγμάτων από τους δοκιμαστές

Γενικά η ένταση αρώματος βρέθηκε σχετικά υψηλότερη για τα μη επικαλυμμένα δείγματα, σε σχέση με τα επικαλυμμένα. Την υψηλότερη τιμή παρουσιάζει το δείγμα A1, δηλαδή το δείγμα ωσμωτικά αφυδατωμένο με σακχαρόζη. Η ένταση του αρώματος φαίνεται βελτιωμένη για τα επεξεργασμένα δείγματα.

Μετάγευση



Διάγραμμα 45: Βαθμολογία της μετάγευσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές

Στο διάγραμμα 45 παρουσιάζεται η αξιολόγηση της μετάγευσης των δειγμάτων από τους δοκιμαστές. Το δείγμα A1, δηλαδή το δείγμα αφυδατωμένο με σακχαρόζη, καθώς και το δείγμα A3, δηλαδή το δείγμα αφυδατωμένο με χυμό μήλου, παρουσιάζουν την καλύτερα βαθμολογημένη μετάγευση από τα επεξεργασμένα δείγματα η οποία είναι λίγο χαμηλότερη από του δείγματος control.

Συνολική αποδοχή



Διάγραμμα 46: Βαθμολογία της συνολικής αποδοχής των δειγμάτων από του δοκιμαστές

Φαίνεται ότι το δείγμα A3, δηλαδή το δείγμα ωσμωτικά αφυδατωμένο με χυμό μήλου, παρουσιάζει την καλύτερη αποδοχή από τους δοκιμαστές με βαθμολογία 6,4. Ακολουθεί το δείγμα B2, δηλαδή το δείγμα αφυδατωμένο με γλυκερόλη και επικαλυμμένο με αλόη, με βαθμολογία 6 και το δείγμα B4, δηλαδή το αφυδατωμένο με χυμό μήλου και γλυκερόλη και επικαλυμμένο με αλόη δείγμα. Η χαμηλότερη αποδοχή διαπιστώνεται στο δείγμα A4, δηλαδή το ωσμωτικά αφυδατωμένο με χυμό μήλου και γλυκερόλη δείγμα, με βαθμολογία 5,2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συζήτηση

Συμπεράσματα
Μελλοντικές ενέργειες

7.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε η ωσμωτική αφυδάτωση σμέουρων σε συνδυασμό με την εδώδιμη επικάλυψη. Ως ωσμωτικά μέσα αξιολογήθηκαν η σακχαρόζη, η γλυκερόλη, ο χυμός μήλου και ο συνδυασμός χυμού μήλου – γλυκερόλης και χυμού μήλου – πηκτίνης, ενώ σε ό,τι αφορά στις συνθήκες της ωσμωτικής αφυδάτωσης μελετήθηκαν η συγκέντρωση, η θερμοκρασία και ο χρόνος. Διαπιστώθηκε πως αυτές οι παράμετροι είχαν σημαντική επίδραση στην απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών των δειγμάτων. Η **αύξηση της συγκέντρωσης** οδήγησε σε αύξηση της απώλειας υγρασίας για τα ωσμωτικά διαλύματα της σακχαρόζης, γλυκερόλης και του χυμού μήλου. Εξαιρέση αποτελεί το ωσμωτικό διάλυμα χυμού μήλου – πηκτίνης, καθώς η αύξηση της περιεκτικότητας σε χυμό μήλου από 35:5% σε 45:5%, παρουσίασε μεν κάποια αύξηση, η οποία ήταν όμως αμελητέα. Αυτό είναι πιθανώς κάτι που οφείλεται στο υψηλό ιξώδες που προσδίδει η πηκτίνη στο διάλυμα και εμποδίζει τα φαινόμενα μεταφοράς. Η **αύξηση της θερμοκρασίας** ευνόησε τα φαινόμενα μεταφοράς υγρασίας σε κάθε ωσμωτικό μέσο που μελετήθηκε.

Σε ό,τι αφορά στην πρόσληψη στερεών τα αποτελέσματα είναι όμοια με αυτά της απώλειας υγρασίας, με την αύξηση της συγκέντρωσης, της θερμοκρασίας και του χρόνου ωσμωτικής επεξεργασίας, να οδηγούν σε αυξημένη πρόσληψη στερεών. Μια διαφορά που παρατηρείται, είναι πως παρόλο που το διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης παρουσιάζει αρκετά βελτιωμένη απώλεια υγρασίας, η πρόσληψη στερεών παραμένει χαμηλή σε σχέση με αυτή των άλλων ωσμωτικών μέσων. Αυτό κρίνεται θετικό, καθώς το ωσμωτικό διάλυμα χυμού μήλου – γλυκερόλης μπορεί να οδηγήσει σε αποτελεσματική αφυδάτωση χωρίς όμως να προσδίδει επιπλέον σάκχαρα και συνεπώς θερμίδες στο δείγμα.

Στον πίνακα 11 παρουσιάζεται συνοπτικά η επίδραση των παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών για κάθε ωσμωτικό μέσο.

Πίνακας 13: Επίδραση των παραμέτρων της ωσμωτικής αφυδάτωσης στην απώλεια υγρασίας και την πρόσληψη στερεών για κάθε ωσμωτικό μέσο

Ωσμωτικό μέσο	Παράμετρος	Απώλεια υγρασίας	Πρόσληψη στερεών
Σακχαρόζη	Συγκέντρωση	↑	-
	Θερμοκρασία	↑↑	↑↑↑
	Χρόνος	↑↑	↑
Γλυκερόλη	Συγκέντρωση	-	↑
	Θερμοκρασία	↑↑	↑↑
	Χρόνος	↑↑	↑↑↑
Χυμός μήλου	Θερμοκρασία	↑↑	-
	Χρόνος	↑↑	↑↑
Χυμός μήλου - πηκτίνη	Συγκέντρωση	-	-
	Θερμοκρασία	↑	↑
	Χρόνος	↓	↑↑
Χυμός μήλου - γλυκερόλη	Θερμοκρασία	↑	↑↑
	Χρόνος	↑↑	↑↑

Εξετάζοντας τα παραπάνω δεδομένα, επιλέχθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης οι οποίες είναι οι εξής:

- 50% (w/w) σακχαρόζη, 45°C, 24 h
- 50% (w/w) γλυκερόλη, 45°C, 24 h
- Χυμός μήλου 50° Brix, 24 h
- Χυμός μήλου – γλυκερόλη, 25°-25° Brix, 24 h

Η πηκτίνη, παρόλο που μελετήθηκε ως ωσμωτικό μέσο σε συνδυασμό με το χυμό μήλου, δεν μελετήθηκε περαιτέρω καθώς οι τιμές της απώλειας υγρασίας που παρουσίασαν τα δείγματα ήταν ιδιαίτερα χαμηλές κάτι που σημαίνει πως δεν αφυδατώνονταν επαρκώς.

Να σημειωθεί ότι η αναλογία δείγματος και διαλύματος που μελετήθηκε για όλες τις περιπτώσεις ήταν 1:5.

Οι παράγοντες που μελετήθηκαν για τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με τις παραπάνω βέλτιστες συνθήκες, ήταν τα ολικά διαλυτά στερεά και η ολική οξύτητα. Διαπιστώθηκε πως τα ολικά διαλυτά στερεά των ωσμωτικά αφυδατωμένων δειγμάτων είναι αυξημένα σε σχέση με αυτά του φρέσκου δείγματος με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρουσιάζει το δείγμα που είχε επεξεργαστεί με γλυκερόλη. Τα δείγματα σμέουρων στα οποία πραγματοποιήθηκε ωσμωτική αφυδάτωση με διάλυμα γλυκερόλης και χυμό μήλου παρουσίασαν πτώση στην περιεκτικότητα σακχάρων με την πάροδο του χρόνου, ενώ τα διαλύματα σακχαρόζης και χυμού μήλου – γλυκερόλης παρουσίασαν μια μικρή αύξηση. Στη μέτρηση της οξύτητας το δείγμα φρέσκων σμέουρων βρέθηκε να περιέχει 2,43 g κιτρικού οξέος ανά 100 mL χυμού του δείγματος. Τα ωσμωτικά διαλύματα σακχαρόζης και χυμού μήλου – γλυκερόλης φαίνεται να διατηρούν την οξύτητα σχεδόν ίδια με το φρέσκο δείγμα, το διάλυμα γλυκερόλης παρουσίασε ιδιαίτερη μείωση, ενώ ο χυμός μήλου παρουσίασε αύξηση.

Στον πίνακα 12 παρουσιάζεται συνοπτικά η επίδραση των ωσμωτικών μέσων στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων σμέουρου.

Πίνακας 14: Επίδραση των ωσμωτικών μέσων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων σμέουρου

Ωσμωτικό Μέσο	Ολικά Διαλυτά Στερεά	Οξύτητα
Σακχαρόζη	↑	-
Γλυκερόλη	↑↑	↓↓
Χυμός μήλου	↑	↑↑
Χυμός μήλου – γλυκερόλης	↑	-

Σε δείγματα σμέουρων τα οποία έχουν αφυδατωθεί ωσμωτικά με τις βέλτιστες συνθήκες εφαρμόστηκε και εδώδιμη επικάλυψη με πηκτίνη και γέλη *Aloe Vera*. Τα δείγματα αυτά αποθηκεύτηκαν 7 ημέρες και στη συνέχεια μελετήθηκαν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η μεταβολή του χρώματος, του βάρους, των ολικών διαλυτών στερεών και της οξύτητας. Για το ίδιο διάστημα μελετήθηκε και η μεταβολή της αντιοξειδωτικής δράσης.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η επίδραση των επικαλύψεων στη μεταβολή του χρώματος, την απώλεια βάρους, τα ολικά διαλυτά στερεά και την οξύτητα.

Πίνακας 15: Επίδραση των επικαλύψεων στα χαρακτηριστικά των σμέουρων την 7^η ημέρα

Ωσμωτικό Μέσο	Επικάλυψη	Μεταβολή Χρώματος	Απώλεια Βάρους	Ολικά διαλυτά στερεά	Οξύτητα
Σακχαρόζη	Πηκτίνη	+	+	-	-
	Αλόη	++	+++	-	-
Γλυκερόλη	Πηκτίνη	++	+++	0	--
	Αλόη	+	++	0	--
Χυμός μήλου	Πηκτίνη	+	++	-	--
	Αλόη	++	++	-	--
Χυμός μήλου - γλυκερόλης	Πηκτίνη	++	+++	---	---
	Αλόη	+	+	--	-

Διαπιστώνεται πως σε ό,τι αφορά στη μεταβολή του χρώματος, η πηκτίνη οδηγεί σε μικρότερη μεταβολή για τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη και χυμό μήλου, ενώ στην περίπτωση της γλυκερόλης και του χυμού μήλου – γλυκερόλης ήταν η αλόη που οδήγησε σε μικρότερη μεταβολή. Η απώλεια βάρους ήταν μικρότερη για τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με σακχαρόζη επικαλυμμένα με πηκτίνη και αυτά που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου – γλυκερόλη και επικάλυψη με αλόη. Τα ολικά διαλυτά στερεά μειώθηκαν ελαφρώς για όλα τα ωσμωτικά μέσα και τις επικαλύψεις. Εξαιρεση αποτελούν τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου – γλυκερόλη καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη πτώση στα ολικά διαλυτά στερεά, καθώς και τα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με γλυκερόλη τα οποία δεν παρουσίασαν κάποια ιδιαίτερη διαφορά. Τέλος, όλα τα δείγματα παρουσίασαν πτώση στην οξύτητα, με τη μεγαλύτερη πτώση να εμφανίζεται στα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου – γλυκερόλη και επικάλυψη με πηκτίνη, ενώ τη μικρότερη πτώση εμφανίζουν τα δείγματα ωσμωμένα με σακχαρόζη με κάθε επικάλυψη.

Στον πίνακα 14 συνοψίζεται η επίδραση της επικάλυψης με πηκτίνη ή αλόη, για κάθε ωσμωτικό μέσο, στην αντιοξειδωτική δράση των δειγμάτων.

Πίνακας 16: Επίδραση των επικαλύψεων στην αντιοξειδωτική δράση των αφυδατωμένων δειγμάτων την 7^η μέρα

Ωσμωτικό Μέσο	Επικάλυψη	Αντιοξειδωτική δράση
Σακχαρόζη	Πηκτίνη	0
	Αλόη	+
Γλυκερόλη	Πηκτίνη	+++
	Αλόη	+++
Χυμός μήλου	Πηκτίνη	-
	Αλόη	+
Χυμός μήλου - γλυκερόλης	Πηκτίνη	+
	Αλόη	++

Διαπιστώνεται στον παραπάνω πίνακα πως η μεγαλύτερη αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης συναντάται στα δείγματα που είναι ωσμωτικά αφυδατωμένα με γλυκερόλη και επικαλυμμένα με πηκτίνη και αλόη. Αρκετά θετικά αποτελέσματα διαπιστώθηκαν και στα δείγματα που έχουν υποστεί ωσμωτική αφυδάτωση με χυμό μήλου και γλυκερόλη και έχουν επικαλυφθεί με αλόη, ενώ πτώση στην αντιοξειδωτική δράση συναντάται στα δείγματα που είναι αφυδατωμένα με χυμό μήλου και επικαλυμμένα με πηκτίνη.

Τέλος, στην οργανοληπτική δοκιμή που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε πως οι βέλτιστες συνθήκες ωσμωτικής αφυδάτωσης, με ή χωρίς εδώδιμη επικάλυψη αλόης, επηρεάζουν την εμφάνιση και την υφή του δείγματος, αλλά όχι σε βαθμό που να το καθιστά μη αποδεκτό. Η επεξεργασία βελτίωσε τη γλυκιά γεύση των δειγμάτων και μείωσε την ξινή γεύση. Τα επεξεργασμένα δείγματα βρέθηκαν επίσης πιο μαλακά από το φρέσκο, γεγονός όμως το οποίο δεν ήταν ικανό να τα καταστήσει μη αποδεκτά στους δοκιμαστές.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, ως βέλτιστοι συνδυασμοί ωσμωτικού μέσου και επικάλυψης, κρίνονται το **διάλυμα χυμού μήλου και γλυκερόλης** σε συνδυασμό **με επικάλυψη αλόης** καθώς και το ωσμωτικό **διάλυμα γλυκερόλης** επίσης **με επικάλυψη αλόης**. Οι δύο αυτές συνθήκες επιλέχθηκαν καθώς παρουσιάζουν αποτελεσματική απώλεια υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, διατηρούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την αποθήκευση, βελτιώνουν την αντιοξειδωτική δράση του δείγματος και προσδίδουν πολύ καλά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

7.2 Μελλοντικές ενέργειες

Οι μελλοντικές ενέργειες που κρίνεται καλό να πραγματοποιηθούν είναι

- Προσθήκη βιοδραστικών ουσιών στο ωσμωτικό διάλυμα
- Συνδυασμός της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης με άλλες τεχνικές ξήρανσης
- Ενσωμάτωση αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών ενώσεων στο διάλυμα της επικάλυψης της πηκτίνης
- Μελέτη του μικροβιακού φορτίου των δειγμάτων
- Μελέτη του περιεχομένου σε φαινολικά και ανθοκυανίνες
- Μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών για μεγαλύτερους χρόνους αποθήκευσης

Βιβλιογραφία

- Κ.Τζιά Π.Ταούκης. 2020. “Χημεία, Μικροβιολογία και Αρχές Συντήρησης Τροφίμων.”, Βιβλίο Σημειώσεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Οικονομοπούλου, Βασιλική Π. 2014. “Ανάπτυξη Τροφίμων Πορώδους Δομής.”, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μαύρος Π. “Στοιχεία Φυσικών Διεργασιών” 2009, Βιβλίο Σημειώσεων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N. and Fatemeh Moayedi (2013). *Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. International Journal of Biosciences (IJB)* 3(12), pp.1–16.
- Akharume, F., Kaushlendra Tingi and Litha Sivanandan (2016). *Characteristics of apple juice and sugar infused fresh and frozen blueberries.*
- Alakali, J., Ariaahu, C. and Nkpa, N., 2006. Kinetics of Osmotic Dehydration of Mango. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(5), pp.597-607.
- Almajano, M.P., Carbó, R., Jiménez, J.A.L. and Gordon, M.H. (2008). Antioxidant and antimicrobial activities of tea infusions. *Food Chemistry*, 108(1), pp.55–63.
- A.L Raoult-Wack, 1994. Recent advances in the osmotic dehydration of foods, *Trends in Food Science & Technology*, 5(8), pp.255-260.
- Amal, S. H., M. M. El-Mogy, H. E. Aboul-Anean, and B. W. Alsanius. 2010. “Improving Strawberry Fruit Storability by Edible Coating as a Carrier of Thymol or Calcium Chloride.” *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants* 2(3), pp.88–97.
- Andrade Pizano, R., Pérez Cervera, C. and Lujan Rhenals, D., 2016. Development and application of edible coatings in minimally processed fruit. *Revista Vitae*, 23(1).
- Arrubla Vélez, J., Guerrero Álvarez, G., Vargas Soto, M., Cardona Hurtado, N., Pinzón, M. and Villa, C., 2021. Aloe Vera Gel Edible Coating for Shelf Life and Antioxidant Proprieties Preservation of Andean Blackberry. *Processes*, 9(6), p.999.
- Arvanitoyannis I., Gorris, L. G. M., 1999. *Edible and Biodegradable Polymeric Materials for Food Packaging or Coating. : Processing Foods: Quality Optimization and Process Assessment*, pp.357–371.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 17. ed. Washington: AOAC, 2000.
- Aversa, M., Curcio, S., Calabrò, V. and Iorio, G., 2007. An analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. *Journal of Food Engineering*, 78(3), pp.922-932.
- Barone, J.R., Schmidt, W.F. and Liebner, C.F.E. (2005). Thermally processed keratin films. *Journal of Applied Polymer Science*, 97(4), pp.1644–1651.
- Barrett, D., Beaulieu, J. and Shewfelt, R., 2010. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), pp.369-389.

Beekwilder, J., Jonker, H., Meesters, P., Hall, R., van der Meer, I. and Ric de Vos, C., 2005. Antioxidants in Raspberry: On-Line Analysis Links Antioxidant Activity to a Diversity of Individual Metabolites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), pp.3313-3320.

Beekwilder, Jules, Hall, Robert D., and de Vos, C.H. Ric. 'Identification and Dietary Relevance of Antioxidants from Raspberry'. 1 Jan. 2005 : pp.197 – 205. Print.

Benítez, S., Achaerandio, I., Pujolà, M. and Sepulcre, F. (2015). Aloe vera as an alternative to traditional edible coatings used in fresh-cut fruits: A case of study with kiwifruit slices. *LWT - Food Science and Technology*, 61(1), pp.184–193.

Berk, Z., 2009. Dehydration. *Food Process Engineering and Technology*, pp.459-510.

Berk, Z., 2018. *Food Process Engineering and Technology*. 3rd ed. Academic Press, pp.513-566.

Bialik, M., Wiktor, A., Latocha, P. and Gondek, E. (2018). Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Kiwiberry: Experimental and Mathematical Modelling Studies. *Molecules*, 23(5), p.1236.

Bolin, H., Huxsoll, C., Jackson, R. and NG, K., 1983. Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. *Journal of Food Science*, 48(1), pp.202-205.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. and Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), pp.25-30.

Brouillet, Luc, 2014. "*Rosaceae (subfam. Rosoideae) tribe Rubeae*". In Flora of North America Editorial Committee (ed.). *Flora of North America North of Mexico (FNA)*.

Burton-Freeman, B., Sandhu, B. and Edirisinghe, I., 2016. Red Raspberries and Their Bioactive Polyphenols: Cardiometabolic and Neuronal Health Links. *Advances in Nutrition*, 7(1), pp.44-65.

Cánovas Barbosa and H. G.V y Vega Mercado. 1996. Dehydration of Foods Dehydration of Foods Series Editor.

Chandra, S. and Kumari, D., 2014. Recent Development in Osmotic Dehydration of Fruit and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4), pp.552-561.

Chavan, U. and Amarowicz, R., 2012. Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2).

Cichowska, J. and Żubernik, J., 2018. Efficiency of Osmotic Dehydration of Apples in Polyols Solutions. *Molecules*, 23(2), p.446.

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

CPMA, (2014). Fresh fruits for industry: protective coating

Daniel Valero and María Serrano, 2013. Growth and ripening stage at harvest modulates postharvest quality and bioactive compounds with antioxidant activity. *Stewart Postharvest Review*, 9(3), pp.1-8.

Debeaufort, F., Martin-Polo, M. and Voilley, A. (1993). Polarity Homogeneity and Structure Affect Water Vapor Permeability of Model Edible Films. *Journal of Food Science*, 58(2), pp.426–429.

Dermesonlouoglou, E.K. and Giannakourou, M.C. (2018). Evaluation and modelling of osmotic pre-treatment of peach using alternative agents in a multiple-component solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), pp.1240–1249.

Demirhan, E. and Özbek, B., 2009. Color Change Kinetics of Microwave-Dried Basil. *Drying Technology*, 27(1), pp.156-166.

Dick, M., Henrique Pagno, C., Haas Costa, T.M., Gomaa, A., Subirade, M., de Oliveira Rios, A. and Hickmann Flôres, S. (2015). Edible films based on chia flour: Development and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2),

Donhowe, I.G. and Fennema, O., 1993. The Effects of Plasticizers on Crystallinity, Permeability, and Mechanical Properties of Methylcellulose Films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17(4), pp.247–257.

Dorota Konopacka, Katarzyna Jesionkowska, Mieszcakowska-Fraç, M. and Witold Plochanski (2008). *The usefulness of natural concentrated fruit juice as osmotic agent for osmo-dehydrated dried fruit production.*

Dossett, M., Lee, J. and Finn, C., 2011. Characterization of a novel anthocyanin profile in wild black raspberry mutants: An opportunity for studying the genetic control of pigment and color. *Journal of Functional Foods*, 3(3), pp.207-214.

EFSA Journal, 2011. Guidance on the scientific requirements for health claims related to antioxidants, oxidative damage and cardiovascular health. 9(12), p.2474.

Eyiz, V., Tontul, İ. and Türker, S. (2020). The effect of edible coatings on physical and chemical characteristics of fruit bars. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(3), pp.1775–1783.

Falade, K. and Igbeka, J., 2007. Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. *Food Reviews International*, 23(4), pp.373-405.

Fan, Y., Xu, Y., Wang, D., Zhang, L., Sun, J., Sun, L. and Zhang, B. (2009). Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria×ananassa*) preservation quality. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1-2), pp.84–90.

Galindez, A., Daza, L.D., Homez-Jara, A., Eim, V.S. and Váquiro, H.A. (2019). Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature. *Carbohydrate Polymers*, 215, pp.143–150.

Gennadios, A., McHugh, T. H., Weller, C. L. and Krochta, J. M. 1994. “Edible coating and films based on protein”. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*, Edited by: Krochta, J. M., Balwin, E. A. and Niperos-Carriedo, M. O. pp.201–277.

Ghafir, S. A. M., S. O. Gadalla, B. N. Murajei and M. F. El-Nady (2009). “Physiological and anatomical comparison between four different apple cultivars under cold-storage conditions”. *Afri. J. Pl. Sci.* (3), pp.133-138.

Gomes, M. de S., Cardoso, M. das G., Guimarães, A.C.G., Guerreiro, A.C., Gago, C.M.L., Vilas Boas, E.V. de B., Dias, C.M.B., Manhita, A.C.C., Faleiro, M.L., Miguel, M.G.C. and Antunes, M.D.C. (2016). Effect of edible

coatings with essential oils on the quality of red raspberries over shelf-life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), pp.929–938.

González-Barrio, R., Borges, G., Mullen, W. and Crozier, A., 2010. Bioavailability of Anthocyanins and Ellagitannins Following Consumption of Raspberries by Healthy Humans and Subjects with an Ileostomy†. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), pp.3933-3939.

González-Pérez, J.E., Ramírez-Corona, N. & López-Malo, A., 2021. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: Process Factors and Non-Thermal Methods. *Food Engineering Reviews*.

Gribova, N.A., Perov, V.I., Eliseeva, L.G., Berketova, L.V., Nikolayeva, M.A. and Soltaeva, N.L. (2021). Innovative technology of processing berries by osmotic dehydration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, p.012119

Guilbert, S. 1986. “Technology and application of edible protective films”. In *Food Packaging and Preservation*, Edited by: Mathlouthi, M. pp.371–394.

Guilbert, S., Gontard, N. and Gorris, L.G.M. 1996. Prolongation of the Shelf-life of Perishable Food Products using Biodegradable Films and Coatings. *LWT - Food Science and Technology*, 29(1-2), pp.10–17.

Guimarães, I.C., Menezes, E.G.T., Abreu, P.S. de, Rodrigues, A.C., Borges, P.R.S., Batista, L.R., Cirilo, M.A. and Lima, L.C. de O. (2013). Physicochemical and microbiological quality of raspberries (*Rubus idaeus*) treated with different doses of gamma irradiation. *Food Science and Technology*, 33(2), pp.316–322.

Halvorsen, B. L.; Holte, K.; Myhrstad, M. C. W.; Barikmo, I.; Hvattum, E.; Remberg, S. F.; Wold, A. B.; Haffner, K.; Bauger-Åd, H.; Andersen, L. F.; Moskaug, O.; Jacobs, D. R., Jr.; Blomhoff, R. A systematic

Harker, F.R., Marsh, K.B., Young, H., Murray, S.H., Gunson, F.A. and Walker, S.B. (2002). Sensory interpretation of instrumental measurements 2: sweet and acid taste of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 24(3), pp.241–250.

Hassanpour, H. (2015). Effect of Aloe vera gel coating on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activities and decay in raspberry fruit. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), pp.495–501.

Han J. & Gennadios A. (2005). Edible Films and Coatings: A Review. In J. Han (Ed.), *Innovations in Food Packaging* (pp. 239–262), Elsevier screening of total antioxidants in dietary plants J. Nutr. 2002, 132, pp.461-71

Hangun-Balkir, Y. and McKenney, M., 2012. Determination of antioxidant activities of berries and resveratrol. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 5(2), pp.147-153.

Harris, L.J., Farber, J.N., Beuchat, L.R., Parish, M.E., Suslow, T.V., Garrett, E.H. and Busta, F.F. (2003). Outbreaks Associated with Fresh Produce: Incidence, Growth, and Survival of Pathogens in Fresh and Fresh-Cut Produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(s1), pp.78–141.

Hu, Q., Hu, Y. and Xu, J. (2005). Free radical-scavenging activity of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) extracts by supercritical carbon dioxide extraction. *Food Chemistry*, 91(1), pp.85–90.

Hung, P.V. and Morita, N. (2005). Physicochemical properties and enzymatic digestibility of starch from edible canna (*Canna edulis*) grown in Vietnam. *Carbohydrate Polymers*, 61(3), pp.314–321.

Irzyniec, Z., Klimczak, J. and Michalowski, S., 1995. Freeze-Drying of the Black Currant Juice. *Drying Technology*, 13(1-2), pp.417-424.

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

Jayaprakasam B, Vareed SK, Olson LK, Nair MG. Insulin secretion by bioactive anthocyanins and anthocyanidins present in fruits. *J Agric Food Chem*. 2005;53(1), pp.28-31

Jayas, D., 2016. Food Dehydration. *Reference Module in Food Science*,.

Jamie, 2012. *Antimicrobial Efficacy of Edible Soy Protein Isolate Films and Coatings Incorporated with Hop Ethanol Extract and the Influence on Shelf-Life and Sensory Attributes of Bologna*. UKnowledge.

J Hoorfar (2014). *Global safety of fresh produce a handbook of best practice, innovative commercial solutions and case studies*. Cambridge Woodhead Publ.

Karathanos, V.T., Kostaropoulos, A.E. and Saravacos, G.D.,2007. *Air-Drying Kinetics of Osmotically Dehydrated Fruits*. Drying Technology.

Katsoufi, S., Lazou, A.E., Giannakourou, M.C. and Krokida, M.K. (2017). Mass transfer kinetics and quality attributes of osmo-dehydrated candied pumpkins using nutritious sweeteners. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), pp.3338–3348.

Kester, J.J. and Fennema, O.R., Edible films and coatings: a review (1986) *Food Technology*.

Knorr, D. and Angersbach, A., 1998. Impact of high-intensity electric field pulses on plant membrane permeabilization. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), pp.185-191.

Krokida, M., Karathanos, V., Maroulis, Z. and Marinos-Kouris, D., 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*, 59(4), pp.391-403.

Krüger, E., Dietrich, H., Schöpplein, E., Rasim, S. and Kürbel, P. (2011). Cultivar, storage conditions and ripening effects on physical and chemical qualities of red raspberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 60(1), pp.31–37.

Kumar S. and Bhatnagar T., 2004. Studies to enhance the shelf life of fruits using Aloe vera based herbal coating: A Review, Noida Int. Uni., Greater Noida, and U.P.

Kumari, M., Mahajan, H., Joshi, R. and Gupta, M., 2017. Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, pp.42-50.

Langmead, L., Makins, R.J. and Rampton, D.S. (2004). Anti-inflammatory effects of aloe vera gel in human colorectal mucosa in vitro. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 19(5), pp.521–527.

Laura Bravo, Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance, *Nutrition Reviews*, 56(11), November 1998, pp.317–333

Lewicki, P., 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: A review. *International Journal of Food Properties*, 1(1), pp.1-22.

- Lin, D. and Zhao, Y. (2007). Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), pp.60–75.
- Maftoonazad, N. and Ramaswamy, H.S. (2019). Application and Evaluation of a Pectin-Based Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-Life Extension of Lime Fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*, 9(5), p.285.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., GarcíaM.A., Martino, M.N. and Zaritzky, N.E. (2005). Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1), pp.157–164.
- Mayachiew, P. and Devahastin, S. (2010). Effects of drying methods and conditions on release characteristics of edible chitosan films enriched with Indian gooseberry extract. *Food Chemistry*, 118(3), pp.594–601.
- McDougall GJ, Shpiro F, Dobson P, Smith P, Blake A, Stewart D. (2005). Different polyphenolic components of soft fruits inhibit alpha-amylase and alpha-glucosidase. *J Agric Food Chem.*;53(7), pp.2760-2766
- Meritaine da Rocha, de Souza, M. and Prentice, C., 2018. Biodegradable Films: An Alternative Food Packaging. *Food Packaging and Preservation*, pp.307-342.
- Morimoto C, Satoh Y, Hara M, Inoue S, Tsujita T, Okuda H. Anti-obese action of raspberry ketone. *Life Sci*. 2005;77(2), pp.194-204.
- Mujumdar, A.S. ed., (2006). *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press.
- Muñiz-Becerá, S., Méndez-Lagunas, L. and Rodríguez-Ramírez, J., 2017. Solute Transfer in Osmotic Dehydration of Vegetable Foods: A Review. *Journal of Food Science*, 82(10), pp.2251-2259.
- Ni, Y., Turner, D., Yates, K.M. and Tizard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of Aloe vera L. leaf pulp. *International Immunopharmacology*, 4(14), pp.1745–1755.
- Niloufar Sharif, MirKhalil Pirouzifard, Mohammad Bagher Alizadeh and Mohsen Esmaili (2013). *Concentrated fruit juice as an osmotic solution in production of candied apple*.
- Nyalala, S.P.O. and Wainwright, H. (2019). *The shelf life of tomato cultivars at different storage temperatures*. TROPICAL SCIENCE.
- Olivas, G.I.I. and Barbosa-Cánovas, G. (2009). Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. *Edible Films and Coatings for Food Applications*, pp.211–244.
- P. Naknean and Rattanawedee Maneyam (2012). Effect of Different Osmotic Agents on the Physical , Chemical and Sensory Properties of Osmo-Dried Cantaloupe.
- Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T. and Maroulis, Z.B., 1999. Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 17(1-2), pp.175-189.
- Panagiotou, N., Karathanos, V. and Maroulis, Z., 1998. Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science & Technology*, 33(3), pp.267-284.

- Panahirad, S., Naghshiband-Hassani, R. and Mahna, N. (2020). Pectin-based edible coating preserves antioxidative capacity of plum fruit during shelf life. *Food Science and Technology International*, 26(7), pp.583–592.
- Palmer, J.W., Harker, F.R., Tustin, D.S. and Johnston, J. (2010). Fruit dry matter concentration: a new quality metric for apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, [online] 90(15), pp.2586–2594.
- Pereira X, Souza F, Guedes JR, Tolentino de Lima J, de Araújo LA, Quintans LJ, Barbosa JM (2012) Chapter 1: biological oxidations and antioxidant activity of natural products, phytochemicals as nutraceuticals. In: Rao V (ed) *Global approaches to their role in nutrition and health*: InTech.
- Phisut, N., 2012. “Minireview- Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits,” *International Food Research Journal*, 19(1), pp.7-18.
- Prabhakar, K. and Mallika, E., 2014. Dried Foods. *Encyclopedia of Food Microbiology*, pp.574-576.
- Pritts, M.P. (2003). Raspberries and Related Fruits. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, pp.4916–4921.
- Raghav, P.K., Nidhi Agarwal and Mitu Saini (2016). *Edible Coating of Fruits And Vegetables: A Review*.
- Ramya, V. and Jain, N., 2016. A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), pp.12440.
- Rao, A. and Snyder, D., 2010. Raspberries and Human Health: A Review†. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), pp.3871-3883.
- Raoult-Wack, A., Rios, G. and Guilbert, S., 1995. Sucrose and osmotic dehydration. *Sucrose*, pp.279-290.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., Niranjana, K. and Knorr, D., 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13(2), pp.48-59.
- Ratti, C., 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), pp.311-319.
- Riaz, M.N. and Bushway, A.A. (1996). Compositional Analysis of Four Red Raspberry Cultivars Grown in Maine. *Journal of Food Quality*, 19(6), pp.457–465.
- Rivero-Cruz, J., Granados-Pineda, J., Pedraza-Chaverri, J., Pérez-Rojas, J., Kumar-Passari, A., Diaz-Ruiz, G. and Rivero-Cruz, B., 2020. Phytochemical Constituents, Antioxidant, Cytotoxic, and Antimicrobial Activities of the Ethanolic Extract of Mexican Brown Propolis. *Antioxidants*, 9(1), p.70.
- Robinson, J.E., Browne, K.M. and Burton, W.G. (1975). Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Annals of Applied Biology*, [online] 81(3), pp.399–408.
- Ruiz-López, I.I., Ruiz-Espinosa, H., Herman-Lara, E. and Zárate-Castillo, G. (2011). Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. *Journal of Food Engineering*, 104(2), pp.218–226.
- Sasaki R, Nishimura N, Hoshino H, Isa Y, Kadowaki M, Ichi T, Tanaka A, Nishiumi S, Fukuda I, Ashida H, Horio F, Tsuda T. Cyanidin 3-glucoside ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity due to

downregulation of retinol binding protein 4 expression in diabetic mice. *Biochem Pharmacol.* 2007 Dec 3;74(11), pp.1619-27.

Sharma, R. and Ghoshal, G., 2018. Emerging trends in food packaging. *Nutrition & Food Science*, 48(5), pp.764-779.

Shi, J. and Le Maguer, M., 2002. Osmotic Dehydration of Foods: Mass Transfer and Modeling Aspects. *Food Reviews International*, 18(4), pp.305-335.

Silva, F.A., Finkler, L. and Finkler, C.L.L. (2018). Effect of edible coatings based on alginate/pectin on quality preservation of minimally processed “Espada” mangoes. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), pp.5055–5063.

Silva, K.S., Fernandes, M.A. and Mauro, M.A. (2013). Osmotic Dehydration of Pineapple with Impregnation of Sucrose, Calcium, and Ascorbic Acid. *Food and Bioprocess Technology*, 7(2), pp.385–397.

Silvia A.V.C., Luis P., Miguel A., Del R. Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: A review (2011).

Tajkarimi, M.M., Ibrahim, S.A. and Cliver, D.O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*, 21(9), pp.1199–1218.

Taiwo, K.A., Eshtiaghi, M.N., Ade-Omowaye, B.I.O. and Knorr, D. (2003). Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *International Journal of Food Science and Technology*, [online] 38(6), pp.693–707.

Tapia-Blácido, D., Sobral, P.J. and Menegalli, F.C. (2005). Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), pp.215–223.

Timkin, V.A., Lazarev, V.A, 2015. Determination of the osmotic pressure of multicomponent solutions in the food industry. *Petroleum Chemistry* 55, pp.301–307

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

Tóth, A. and Halász, K. (2019). Characterization of edible biocomposite films directly prepared from psyllium seed husk and husk flour. *Food Packaging and Shelf Life*, 20, p.100299.

Tsuda T, Ueno Y, Aoki H, et al. Anthocyanin enhances adipocytokine secretion and adipocyte-specific gene expression in isolated rat adipocytes. *Biochem Biophys Res Commun.* 2004;316(1), pp.149-157.

Ullah, A., Abbasi, N.A., Shafique, M. and Qureshi, A.A. (2017). Influence of Edible Coatings on Biochemical Fruit Quality and Storage Life of Bell Pepper cv. “Yolo Wonder.” *Journal of Food Quality*, 2017, pp.1–11.

Vainio H, Bianchini F. Definitions and classifications for fruit and vegetables. Vol.8. In: *IARC handbooks of cancer prevention: fruit and vegetables*. Vainio H, Bianchini F. editors. Lyon, France: IARC Press;2003. p. 1–19.

Valverde, J., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S. and Serrano, M., 2005. Novel Edible Coating Based on Aloe vera Gel To Maintain Table Grape Quality and Safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), pp.7807-7813.

- Valenzuela B, A., Sanhueza, J. and Nieto, S. (2003). Natural antioxidants in functional foods: from food safety to health benefits. *Grasas y Aceites*, 54(3).
- Van Nieuwenhuijzen, N., Zareifard, M. and Ramaswamy, H., 2001. Osmotic Drying Kinetics of Cylindrical Apple Slices of Different Sizes. *Drying Technology*, 19(3-4), pp.525-545.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. and González-Martínez, C., 2008. Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(6), pp.496-511.
- Verri, W., Vicentini, F., Baracat, M., Georgetti, S., Cardoso, R., Cunha, T., Ferreira, S., Cunha, F., Fonseca, M. and Casagrande, R., 2012. Flavonoids as Anti-Inflammatory and Analgesic Drugs: Mechanisms of Action and Perspectives in the Development of Pharmaceutical Forms. *Bioactive Natural Products*, pp.297-330.
- Viana, R., Sá, N., Barros, M., Borges, M. and Azeredo, H., 2018. Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. *Carbohydrate Polymers*, 196, pp.27-32.
- Vicente, S., Nieto, A.B., Hodara, K., Castro, M.A. and Alzamora, S.M. (2011). Changes in Structure, Rheology, and Water Mobility of Apple Tissue Induced by Osmotic Dehydration with Glucose or Trehalose. *Food and Bioprocess Technology*, [online] 5(8), pp.3075–3089.
- Waghmare, R., Perumal, A., Moses, J. and Anandharamakrishnan, C., 2021. Recent Developments in Freeze Drying of Foods. *Innovative Food Processing Technologies*, pp.82-99.
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. and Hu, X., 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), pp.39-46.
- Who.int. 2021. *Obesity and overweight*. [online] Available at: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>> [Accessed 10 February 2021].
- Wilson, C. and Wisniewski, M., 1989. Biological Control of Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables: An Emerging Technology*. *Annual Review of Phytopathology*, 27(1), pp.425-441.
- Wool, R. P., & Sun, X. S. (2005). *Bio-based polymers and composites*. Academic Press.
- Yadav, A. and Singh, S., 2014. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), pp.1654-1673.