



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου**  
**Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και**  
**Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων**  
**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων και Διατροφή του Ανθρώπου**

**Μεταπτυχιακή Ερευνητική Εργασία**



**Μελέτη της ξήρανσης του καρπού και του  
βλαστού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus-indica*)  
και επίδραση στα φυσικά χαρακτηριστικά τους**

**Παναγιώτης Χρ. Γιαννόπουλος**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:**

**Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α.**

**Αθήνα, 2017**



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου**  
**Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και**  
**Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων**  
**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων και Διατροφή του Ανθρώπου**

**Μεταπτυχιακή Ερευνητική Εργασία**

**Μελέτη της ξήρανσης του καρπού και του βλαστού**  
**φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus-indica*) και επίδραση στα**  
**φυσικά χαρακτηριστικά τους**

**Παναγιώτης Χρ. Γιαννόπουλος**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:**

**Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α.**

**Αθήνα, 2017**

## Μεταπτυχιακή Ερευνητική Εργασία

### Μελέτη της ξήρανσης του καρπού και του βλαστού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus-indica*) και επίδραση στα φυσικά χαρακτηριστικά τους

Παναγιώτης Χρ. Γιαννόπουλος

#### Εξεταστική Επιτροπή

##### Επιβλέπουσα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ι. Μαντάλα

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Καθηγητής Ν. Στοφόρος

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Επίκουρος Καθηγητής Α. Κουτίνας

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα διπλωματική μελέτη. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα της εργασίας, κ. Ιωάννα Μαντάλα για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξη και υπομονή της, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής αποτελούμενη από τους κ. Ν. Στοφόρο και κ. Α. Κουτίνα. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους διδάκτορες Σ. Πρωτονοταρίου και Π. Παξιμαδά για τις χρήσιμες συμβουλές τους και τη βοήθεια στην ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συμπαράσταση που μου έδειξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και τη δυνατότητα που μου πρόσφεραν να πραγματοποιήσω τις σπουδές μου με κάθε πολυτέλεια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υψηλή διατροφική αξία του φραγκόσυκου (*Opuntia ficus-indica*) τα τελευταία χρόνια έχει προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον. Οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στον καρπό ενώ υπάρχουν ενδείξεις για πλήρη εκμετάλλευση του φυτού. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης είναι η διερεύνηση των επιδράσεων της ξήρανσης στα φυσικά χαρακτηριστικά του βλαστού και του καρπού φραγκοσυκιάς έτσι ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα προϊόντα με αποδεκτά χαρακτηριστικά ώστε να διατηρούνται για μεγαλύτερο διάστημα και για πιθανή ενσωμάτωση σε τρόφιμα, όπως μπισκότα. Στόχος είναι η εύρεση τρόπων αξιοποίησης του φυτού αυτού, το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε πληθώρα διαφορετικών συνθηκών, και μάλιστα σε ξηρές περιοχές, όπως είναι το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ξήρανση του βλαστού και του καρπού με διάφορες μεθόδους ξήρανσης με σκοπό την επιλογή της καταλληλότερης. Στον βλαστό πραγματοποιήθηκαν ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα και λυοφιλίωση ενώ στον καρπό πραγματοποιήθηκαν ξήρανση με ψεκασμό και λυοφιλίωση. Στα άλευρα που προέκυψαν από κάθε μέθοδο ξήρανσης, προσδιορίστηκαν η σύσταση, το χρώμα, η διαλυτότητα, η πυκνότητα, η υγρασία και η ενεργότητα νερού και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά τους.

Στην ξήρανση του βλαστού, τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η μέθοδος της λυοφιλίωσης, η οποία δημιουργεί ένα ασφαλές μικροβιακά προϊόν υψηλής περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες που έχει διατηρήσει το χρώμα του. Η ξήρανση του καρπού έγινε με την προσθήκη μαλτοδεξτρίνης σε συγκεντρώσεις 25% και 35%. Τα προϊόντα λυοφιλίωσης του καρπού παρουσιάζουν καλύτερες φυσικές ιδιότητες από εκείνα της ξήρανσης με ψεκασμό με χαμηλότερη υγρασία και ενεργότητα νερού και καλύτερη διατήρηση του χρώματος, ενώ η διαλυτότητα είναι υψηλή σε όλα τα δείγματα. Ύστερα από ανασύσταση του χυμού με ενυδάτωση των αλεύρων παρατηρείται ότι το χρώμα δεν μεταβάλλεται, κάτι που υποδεικνύει την διατήρηση της χρωστικής.

Λέξεις - Κλειδιά: Ξήρανση, Μέθοδοι ξήρανσης, Λυοφιλίωση, Ξήρανση με ψεκασμό, Φραγκόσυκο, Άλευρα, Θερμοκρασία Υαλώδους Μετάπτωσης

## **Title: Drying of fruit and cladodes of *Opuntia ficus-indica* and the effect on their physical characteristics**

### **Abstract**

In recent years the high nutritional value of *Opuntia ficus-indica* has attracted research interest. Most studies concentrate on the fruit while there are indications of exploitation of the whole plant too. Purpose of this study was to investigate the effects of drying on the physical characteristics of the fruit and cladodes so as to produce dehydrated products with acceptable characteristics to maintain for a longer time and for possible use in foods, such as biscuits. The aim is to find ways to exploit this plant, which can grow in a variety of different conditions - especially in dry areas, such as a large part of Greece - whose cladodes is used in Greece only for animal feed so far.

Initially, drying of cladodes was carried out by various drying methods in order to select the most suitable one. Cladodes were dried by hot-air-drying and lyophilization methods, and fruits were dried by spray drying and lyophilization methods. Composition, colour, solubility, density, moisture and water activity and other physical characteristics of the flour produced were determined.

Best results in drying of cladodes were obtained by lyophilization, which creates a safe microbial product with high fiber content that has retained its colour. Drying of fruit was done by the addition of maltodextrin at concentrations of 25% and 35%. In drying of fruits, lyophilization products exhibit better physical properties than those of spray drying with lower moisture and water activity and better colour preservation while solubility has high values in all samples. After reconstitution of the juice, it is observed that the colour has not changed, indicating the preservation of pigments.

**Key Words:** Drying, Drying Methods, Freeze Drying, Spray Drying, Prickly Pear, Powders, Glass Transition

## Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
1.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΞΗΡΑΝΣΗΣ .....	10
1.1.1. Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα.....	10
1.1.2. Ξήρανση υπό κατάψυξη.....	12
1.1.3. Ξήρανση με ψεκασμό.....	14
1.2. Ξηραντικά μέσα (drying agents).....	17
1.3. Θερμοκρασία Υαλώδους Μετάπτωσης (glass transition).....	17
1.4. Το Φραγκόσυκο.....	19
1.4.1. Γενικό Πλαίσιο.....	19
1.4.2. Διατροφική αξία.....	20
1.4.3. Κατανομή και κατανάλωση σε ορισμένες χώρες.....	21
1.4.4. Φρούτα και βλαστός: λειτουργικές ιδιότητες.....	23
1.4.5. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία .....	24
1.4.6. Πιθανές χρήσεις .....	25
1.4.7. Χρήση των βλαστών σε προϊόντα τροφίμων .....	26
1.4.8. Η φραγκοσυκιά στην Ελλάδα .....	27
2. ΣΚΟΠΟΣ .....	27
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	28
3.1. Παρασκευή αλεύρου από καρπό.....	28
3.1.1. Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying) .....	29
3.1.2. Λυοφιλίωση (freeze drying) .....	29
3.2. Παρασκευή αλεύρου από βλαστό .....	30
3.2.1. Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα.....	30
3.3. Προσδιορισμός Υγρασίας.....	31
3.4. Προσδιορισμός ενεργότητας νερού ( $a_w$ ).....	31
3.5. Μέτρηση pH – Προσδιορισμός διαλυτών στερεών συστατικών ( $^{\circ}$ Brix) .....	32
3.6. Προσδιορισμός χρώματος.....	32
3.7. Προσδιορισμός πυκνότητας.....	33
3.8. Προσδιορισμός Διαλυτότητας.....	33
3.9. Προσδιορισμός Φυτικών Ινών .....	34
3.10. Προσδιορισμός σακχάρων .....	35
3.11. Προσδιορισμός θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης ( $T_g$ ) .....	35
3.12. Στατιστική Επεξεργασία .....	36

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	37
4.1. Προσδιορισμός Φυσικοχημικών ιδιοτήτων καρπού.....	37
4.2. Προσδιορισμός φυσικών ιδιοτήτων βλαστού .....	37
4.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων άλευρου από βλαστό .....	38
4.4. Προσδιορισμός Φυσικών ιδιοτήτων αλεύρου από καρπό .....	41
4.5. Προσδιορισμός χρώματος στα ανασυσταθέντα προϊόντα .....	46
4.6. Μορφολογία αλεύρων .....	46
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	48
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	49



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ξήρανση είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων και μία από τις πιο πολύπλοκες, καθώς περιλαμβάνει ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας, που απαιτούν ακριβή έλεγχο της διαδικασίας. Η ξήρανση τροφίμων είναι μία διαδικασία απομάκρυνσης του μεγαλύτερου μέρους του νερού, ώστε να σταματήσουν οι μικροβιακές δράσεις και η εμφάνιση ενζυμικής ή μη ενζυμικής αμαύρωσης. Αντί του όρου ξήρανση (drying) πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος αφυδάτωση (dehydration), αν και ο όρος αυτός αποδίδει καλύτερα την πλήρη απομάκρυνση νερού από το τρόφιμο, το οποίο δεν ξεπερνά το 2,5% σε υγρασία σε ξηρή βάση, ενώ η ξήρανση διαφέρει από τη συμπύκνωση (concentration) ως προς το τελικό περιεχόμενο νερού στο τρόφιμο, το οποίο είναι χαμηλότερο στην περίπτωση της ξήρανσης (Barbosa-Canovas, 1996).

Τα φρέσκα φρούτα, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό (γύρω στο 80% και άνω), αλλοιώνονται εξαιρετικά εύκολα όταν η συντήρησή τους δεν είναι σωστή. Η διεργασία της ξήρανσης εφαρμόζεται ευρέως στη Βιομηχανία Τροφίμων καθώς συμβάλλει στη συντήρηση και μακροχρόνια διατήρηση της δομής και θρεπτικής τους αξίας (Karam, 2016). Εκτός από την διατήρηση, η μείωση του βάρους και του όγκου των αποξηραμένων προϊόντων, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους για την συσκευασία, την αποθήκευση και τη διανομή (Barbosa-Canovas, 2005). Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη στην αγορά των αποξηραμένων τροφίμων, και κυρίως φρούτων, καθώς χρησιμοποιούνται στην ζαχαροπλαστική, την αρτοποιία, την παραγωγή αλκοολούχων ποτών κ.α. Οι περισσότερες εφαρμογές περιλαμβάνουν φρούτα ή λαχανικά σε σκόνη που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα, χρωστικές και αρωματικές ουσίες στην παρασκευή προϊόντων κατάλληλων για χρήση π.χ. μίγματα για κέικ, σούπες κ.α. (Karam, 2016; Camire, 2007). Τα αποξηραμένα βατόμουρα χρησιμοποιούνται στην αρτοποιία και σε γαλακτοκομικά προϊόντα, καθώς η σκόνη τους μπορεί να προστεθεί σε συνταγές για βελτίωση της γεύσης (Xu Si, 2016), ενώ έρευνες έχουν δείξει ότι η σκόνη από ακτινίδιο είναι μία σημαντική πηγή βιταμίνης C που μπορεί να βρει χρήση ως συστατικό για βελτίωση της θρεπτικής αξίας ενός προϊόντος (Caliskan, 2015).

Επιπλέον, οι φυτικές ίνες και τα βιοενεργά συστατικά χρησιμοποιούνται ευρέως ως λειτουργικά συστατικά στα επεξεργασμένα τρόφιμα. Η αγορά σε αυτό το πεδίο είναι ανταγωνιστική και η ανάπτυξη νέων τύπων ποιοτικών συστατικών είναι μια πρόκληση για τη βιομηχανία τροφίμων. Υπάρχει ενδιαφέρον όχι μόνο όσον αφορά τη διατροφική ποιότητα του συστατικού, αλλά και τη διανομή του, το κόστος του και άλλα οφέλη, καθώς η χρήση αυτών των συστατικών θα προσδώσει στο τρόφιμο προστιθέμενη αξία. (Bensadón et al, 2010)

## 1.1. ΜΕΘΟΔΟΙ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Η ξήρανση των τροφίμων περιλαμβάνει την εφαρμογή θερμότητας για την εξάτμιση του ελεύθερου και δεσμευμένου νερού από το εσωτερικό του τροφίμου στην ατμόσφαιρα (Karam, 2016). Ως εκ τούτου, είναι μία συνδιασμένη και ταυτόχρονη λειτουργία θερμότητας και μεταφοράς μάζας για την οποία πρέπει να παρέχονται ορισμένα ποσά ενέργειας.

Η επιλογή της μεθόδου ξήρανσης γίνεται με βάση τη φύση του τροφίμου (σύσταση, υγρασία, αρχική δομή, ικανότητα διάχυσης του νερού κτλ.), τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του προϊόντος (πχ. υγρασία), τις αναγκαίες συνθήκες ξήρανσης και το κόστος λειτουργίας, ενώ σημαντικό ρόλο στο ρυθμό της ξήρανσης παίζουν η θερμοκρασία, η πίεση, η σχετική υγρασία και η ταχύτητα του αέρα (Mujumdar, 2015; Karam, 2016). Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται ποικίλες διεργασίες ξήρανσης, όπως ξήρανση σε ρεύμα αέρα, ξήρανση υπό κατάψυξη, ξήρανση υπό κενό, ωσμωτική αφυδάτωση, ξήρανση με ψεκασμό, ξήρανση με τη βοήθεια μικροκυμάτων, ξήρανση με υπερήχους, ξήρανση χαμηλής πίεσης υπέρθερμου ατμού κ.α., ή και συνδιασμός αυτών με στόχο την παραγωγή προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας. Μεταξύ των παραπάνω μεθόδων, η ξήρανση σε ρεύμα αέρα, η ξήρανση υπό κατάψυξη ή αλλιώς λιοφιλλίωση και η ξήρανση με ψεκασμό, είναι αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο και περιγράφονται πιο αναλυτικά στη συνέχεια.

### 1.1.1. Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα

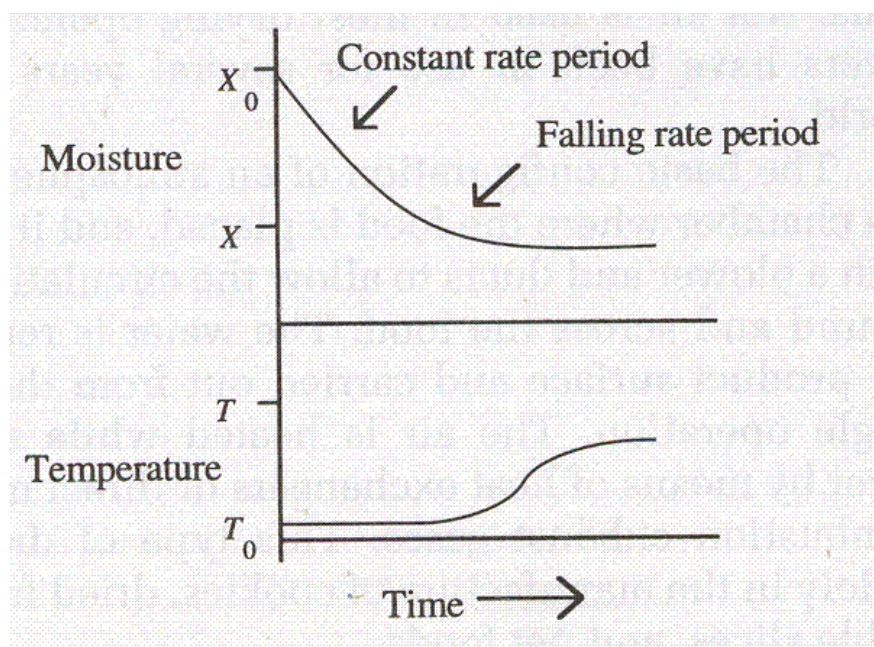
Η πιο διαδεδομένη μέθοδος ξήρανσης στη βιομηχανία τροφίμων είναι η ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα (Hot-Air-Drying) καθώς απαιτούνται μικρότερα ποσά ενέργειας για την εξάτμιση της υγρασίας και η διαδικασία είναι σχετικά απλή (Semenov, 2015). Ο αέρας έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του τροφίμου και μεταφέρει τη θερμότητα με αγωγή. Στη συνέχεια τα υγρά από το εσωτερικό μεταφέρονται στην επιφάνεια και εξατμίζονται λόγω συναγωγής του αέρα. Το δεσμευμένο νερό στο εσωτερικό του τροφίμου εξατμίζεται πιο δύσκολα και απαιτείται χρόνος και υψηλές θερμοκρασίες για την ολοκλήρωση της διαδικασίας.

Εκτός από το χαμηλό κόστος ως πλεονέκτημα της μεθόδου, η υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου είναι μεγάλη. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται αλλαγές στο χρώμα, λόγω των αντιδράσεων Maillard, όπως επίσης στο άρωμα, την υφή και την εμφάνιση. Η δομή παρουσιάζει φθορές λόγω της απομάκρυνσης του νερού, ενώ σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζεται μείωση θρεπτικών και αντιοξειδωτικών ουσιών (Karam, 2016).

Σήμερα η ξήρανση γίνεται συνήθως σε συσκευές που λέγονται ξηραντήρια. Η βασική δομή ενός ξηραντήρα με ρεύμα αέρα περιλαμβάνει έναν θάλαμο ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου (φούρνος), μέσα στο οποίο τοποθετείται το τρόφιμο σε δίσκους (ταψιά) και ένας ανεμιστήρας εξασφαλίζει την κίνηση του αέρα μέσα και γύρω από το τρόφιμο. Ο αέρας θερμαίνεται εισερχόμενος με εναλλάκτες θερμότητας. Αυτός ο

τύπος ξηραντήρα χρησιμοποιείται κυρίως για δημιουργία μπισκότων και αποξηραμένων φρούτων ή λαχανικών σε φέτες (Barbosa-Canovas, 1996).

Τα βασικά στάδια της ξήρανσης είναι δύο: Αρχικά το προϊόν ξηραίνεται σε σταθερό ρυθμό και στη συνέχεια ακολουθεί μία ή περισσότερες πτωτικές περιόδους ξήρανσης, ώσπου να επέλθει ισορροπία. Η πρώτη καλείται περίοδος σταθερού ρυθμού ξήρανσης (constant-rate period) και οι υπόλοιπες καλούνται περίοδοι μειούμενου ρυθμού ξήρανσης (falling-rate period). Κατά την περίοδο σταθερού ρυθμού ξήρανσης, οι εξωτερικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα του αέρα, η διεύθυνση ροής του αέρα, η σχετική υγρασία του μέσου, η φυσική μορφή του προϊόντος και η μέθοδος στηριξής του, είναι ουσιώδεις παράγοντες της διαδικασίας και ο μηχανισμός διάχυσης είναι η διάχυση της επιφάνειας. Προς το τέλος της περιόδου σταθερού ρυθμού, η υγρασία μεταφέρεται από το εσωτερικό του στερεού προς την επιφάνεια με τριχοειδείς δυνάμεις και ο ρυθμός ξήρανσης παραμένει σταθερός μέχρις ότου η περιεκτικότητα σε υγρασία φτάσει την κρίσιμη υγρασία (critical moisture content), οπότε εμφανίζονται στην επιφάνεια του στερεού ορισμένες περιοχές αποξηραμένες. Στη συνέχεια αρχίζει η πρώτη περίοδος μειούμενου ρυθμού, η οποία διαρκεί μέχρι την πλήρη αποξήρανση της επιφάνειας. Σε αυτή την περίοδο ξήρανσης, ο κυρίαρχος μηχανισμός διάχυσης, είναι η διάχυση υγρού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης υγρασίας. Όταν η επιφάνεια εξατμιστεί εξ ολοκλήρου, αρχίζει η δεύτερη χρονική περίοδος μειούμενου ρυθμού, στην οποία ο κύριος μηχανισμός διάχυσης είναι η διάχυση ατμού.



**Σχήμα 1.** Καμπύλη ξήρανσης και θερμοκρασίας (Barbosa-Canovas, 1996)

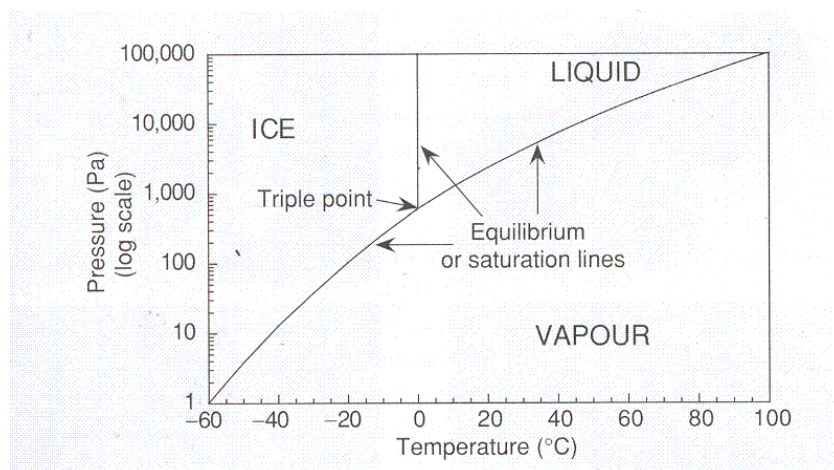
Γενικά, στα γεωργικά προϊόντα ή σε τρόφιμα υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία δεν παρατηρείται περίοδος σταθερού ρυθμού στις διεργασίες ξήρανσης και

το στάδιο του μειούμενου ρυθμού είναι αυτό που ελέγχει κυρίως τη συνολική διαδικασία (Erbay, 2010).

### 1.1.2. Ξήρανση υπό κατάψυξη

Η ξήρανση υπό κατάψυξη ή αλλιώς λυοφιλίωση (freeze drying or lyophilization) είναι μία διαδικασία ξήρανσης που χρησιμοποιείται συχνά, κυρίως σε θερμοευαίσθητα προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας που είναι επιρρεπή σε αντιδράσεις αμαύρωσης. Η λυοφιλίωση περιλαμβάνει την απομάκρυνση του νερού από ένα κατεψυγμένο προϊόν, με τη διαδικασία της εξάχνωσης, δηλαδή όταν το κατεψυγμένο υγρό περνάει κατευθείαν στην αέρια κατάσταση, χωρίς να διέρχεται από την υγρή φάση. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους ξήρανσης, το προϊόν που παράγεται έχει ελάχιστη συρρίκνωση και αμελητέα φθορά στη δομή του, ενυδατώνεται εύκολα, ενώ διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του (χρώμα, άρωμα κτλ.) (Karam, 2016). Τα αποξηραμένα υπό κατάψυξη τρόφιμα έχουν τη δυνατότητα να συντηρούνται μέχρι και 2-3 χρόνια όταν συνοδεύονται από κατάλληλη συσκευασία (Semenov, 2015).

Στη διαδικασία της λυοφιλίωσης ακολουθούνται τα εξής στάδια. Το τρόφιμο αρχικά καταψύχεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (συνήθως σε δίσκους), με αποτέλεσμα να σχηματίζονται κρύσταλλοι πάγου στο εσωτερικό και μία συμπηκνωμένη φάση των διαλυτών στερεών. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ελεγχόμενη θερμότητα κάτω από χαμηλή πίεση, σε συνθήκες που δεν υπερβαίνουν το τριπλό σημείο (η χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία στερεά και υγρή φάση συνυπάρχουν). (Σχήμα 2)



**Σχήμα 2.** Διάγραμμα φάσεων για το νερό, στο οποίο απεικονίζεται η εξάχνωση του πάγου.

Αυτό οδηγεί στην εξάχνωση των παγοκρυστάλλων (πρωτογενής ξήρανση) και έπειτα με αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται η απομάκρυνση του δεσμευμένου νερού (δευτερογενής ξήρανση). Η θερμοκρασία στο τρόφιμο πρέπει να διατηρείται πάντα κάτω από μία οριακή θερμοκρασία κατάρρευσης (collapse temperature),

χαρακτηριστική για κάθε προϊόν, η οποία σχετίζεται με την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, ώστε να διατηρηθεί η δομή και να ληφθεί ένα καλά λυοφιλιωμένο προϊόν. Η θερμοκρασία αυτή αυξάνεται όσο μειώνεται η υγρασία του τροφίμου. Πιο κάτω περιγράφονται πιο συγκεκριμένα τα στάδια της ξήρανσης κατά τη διαδικασία της λυοφιλίωσης.

### Αρχική ξήρανση

Αρχικά, η πίεση μειώνεται και οι κρύσταλλοι πάγου εξαχνώνονται από την επιφάνεια του υλικού με εφαρμογή θερμότητας. Κατά το στάδιο αυτό, απομακρύνεται περίπου το 85-95% του περιεχόμενου νερού. Ο πάγος αρχίζει να εξαχνώνεται όταν παρέχεται η απαιτούμενη λανθάνουσα θερμότητα. Ο ατμός που προκύπτει από την εξάχνωση απομακρύνεται από την επιφάνεια του υλικού χωρίς ο πάγος στο εσωτερικό να λιώνει, εξαιτίας της χαμηλής πίεσης. Η θερμοκρασία στη διεπιφάνεια εξάχνωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του πάγου ώστε να παρέχεται η θερμότητα εξάχνωσης αλλά όχι αρκετά υψηλή ώστε να προκαλείται τήξη σε κάποιο σημείο του υλικού. Για να πραγματοποιηθεί η εξάχνωση, θα πρέπει η πίεση των υδρατμών στη διεπιφάνεια κατάψυξης που σχηματίζουν οι κρύσταλλοι πάγου στο καταψυγμένο προϊόν να είναι μεγαλύτερη από την πίεση των υδρατμών στον υπόλοιπο χώρο ώστε να προάγεται η ροή ατμών από το εσωτερικό στην επιφάνεια του υλικού.

### Δευτερογενής ξήρανση

Το δεύτερο στάδιο ξεκινά όταν έχει απομακρυνθεί όλος ο πάγος από το υλικό και η υγρασία οφείλεται στο δεσμευμένο νερό. Στοχεύει στην εκρόφιση του εναπομείναντος νερού στο εσωτερικό του προϊόντος, η οποία επιτυγχάνεται με ελεγχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τρόπο ώστε η θερμοκρασία να διατηρείται κάτω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, και με μείωση της μερικής πίεσης των υδρατμών. Βασικό στοιχείο της ξήρανσης υπό κατάψυξη αποτελεί το σύστημα συμπύκνωσης, το οποίο συμπυκνώνει τους υδρατμούς που προκύπτουν από την εξάχνωση του πάγου. Ο συμπυκνωτής θα πρέπει να λειτουργεί αποτελεσματικά ώστε να μην επιστρέφουν οι υδρατμοί στο προϊόν αλλά και να μη φτάσουν στην αντλία κενού, καθώς θα προκαλέσουν διάβρωση της αντλίας αλλά και επιβράδυνση του ρυθμού εξάχνωσης λόγω μείωσης του κενού.

Τα ξηραντήρια στα οποία γίνεται η λυοφιλίωση αποτελούνται από ένα κυλινδρικό οριζόντιο μεταλλικό θάλαμο στιβαρής κατασκευής για να αντέχει στη διαφορά πίεσης μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου υπάρχουν ράφια κατασκευασμένα με διπλά τοιχώματα, έτσι ώστε να κυκλοφορεί στο εσωτερικό τους ζεστό νερό ως θερμαντικό μέσο του προϊόντος. Στο εσωτερικό του κυλίνδρου υπάρχει ακόμη ένας συμπυκνωτήρας, ο οποίος ψύχεται με ψυκτικό υγρό θερμοκρασίας  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  με τη βοήθεια ενός ψυκτικού συγκροτήματος. Το ξηραντήριο είναι εφοδιασμένο επίσης με μία αντλία κενού για

την απομάκρυνση του αέρα και τη δημιουργία της απαιτούμενης υποπίεσης (Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων, 2011).

Η ξήρανση με κατάψυξη παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Η απομάκρυνση του νερού με εξάχνωση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αφυδατωμένου προϊόντος το οποίο χαρακτηρίζεται από πλούσιο πορώδες σύστημα με εξαιρετικές ιδιότητες επανυδάτωσης που διατηρεί πλήρως το αρχικό του μέγεθος και σχήμα. Τα λυοφιλομένα προϊόντα διατηρούνται σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από εκείνα άλλων διεργασιών ξήρανσης που περιλαμβάνουν αντιδράσεις που σχετίζονται με υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι αντιδράσεις Maillard, και δεν εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση στην λυοφιλίωση. Έτσι το προϊόν διατηρεί το άρωμα, τη γεύση, το χρώμα και τη θρεπτική του αξία. Σε ρευστά τρόφιμα, όπως για παράδειγμα οι χυμοί φρούτων, ενδείκνυται η βραδεία κατάψυξη στην οποία σχηματίζονται μεγάλοι παγοκρύσταλλοι, οι οποίοι είναι ενωμένοι μεταξύ τους σε διάφορα σημεία. Αυτοί με την εξάχνωσή τους σχηματίζουν ένα πλούσιο πορώδες σύστημα μέσα από το οποίο διαχέονται προς τα έξω οι υδρατμοί που παραγονται κατά την εξάχνωση. Ταυτόχρονα το πορώδες αυτό σύστημα διευκολύνει την ανασύσταση του τελικού προϊόντος με την προσθήκη του νερού.

Σε γενικές γραμμές, η ποιότητα των αφυδατωμένων με κατάψυξη προϊόντων είναι πολύ ανώτερη από τις άλλες μεθόδους ξήρανσης, για τους λόγους που αναφέρθηκαν. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του εξοπλισμού, καθώς απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας και αργοί ρυθμοί ξήρανσης. Υπολογίζεται ότι το κόστος λυοφιλίωσης του ίδιου προϊόντος είναι πενταπλάσιο από το κόστος αφυδάτωσης με ψεκασμό (Μπλούκας, 2004). Το υψηλό κόστος λυοφιλίωσης περιορίζει την εφαρμογή της μεθόδου σε τρόφιμα με υψηλή εμπορική αξία, των οποίων η ποιότητα υποβαθμίζεται με άλλες μεθόδους ξήρανσης. Τέτοια προϊόντα είναι κατά κύριο λόγο ο στιγμιαίος καφές και το τσάι, αφυδατωμένα φρούτα όπως οι φράουλες, τα μούρα και σμέουρα που χρησιμοποιούνται κυρίως ως πρόσθετα υλικά σε δημητριακά, τα βότανα που χρησιμοποιούνται ως ροφήματα καθώς και οι ζωοτροφές. Η μέθοδος εφαρμόζεται επίσης σε προϊόντα τα οποία είναι δύσκολο να αφυδατωθούν με άλλες μεθόδους, όπως το νωπό και μαγειρεμένο κρέας (Μπλούκας, 2004; Oetjen, 2004).

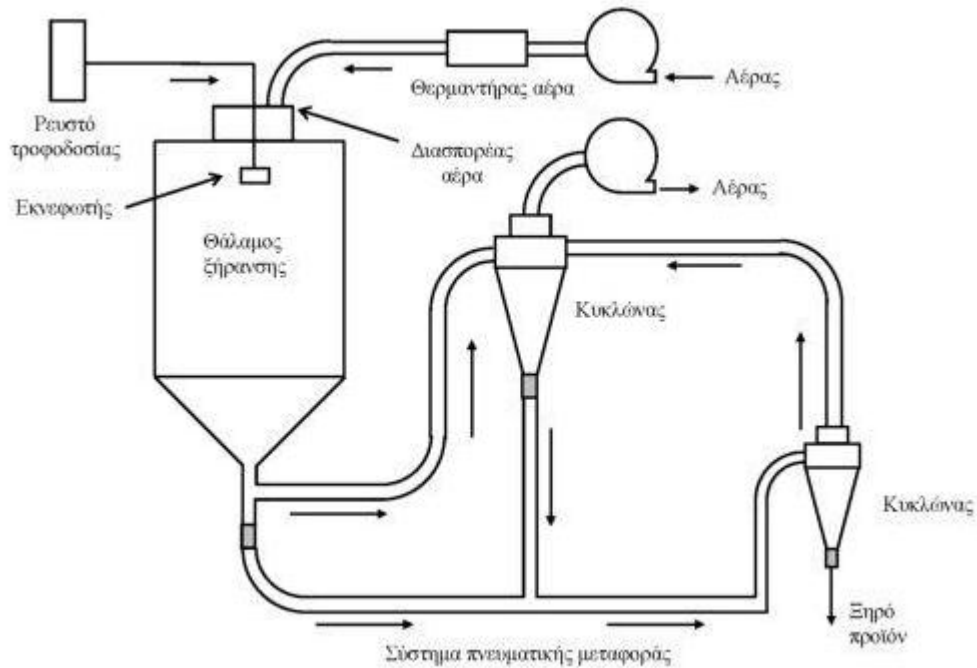
### 1.1.3. Ξήρανση με ψεκασμό

Η ξήρανση με ψεκασμό είναι μία τεχνική επεξεργασίας αιωρούμενων σωματιδίων, η οποία χρησιμοποιεί ψεκασμό υγρού για τη δημιουργία σταγονιδίων που ξηραίνονται όταν μετακινούνται σε ένα θερμό αέριο μέσο ξήρανσης, συνήθως αέρα. Πρόκειται για μία οικονομική, ευέλικτη, συνεχούς λειτουργίας τεχνική που παράγει σωματίδια υπό τη μορφή σκόνης, η μορφή της οποίας εξαρτάται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του υπό ξήρανση υλικού καθώς και από το σχεδιασμό και λειτουργία του ξηραντήρα. Είναι μία από τις σημαντικότερες μεθόδους ξήρανσης

υγρών τροφίμων, της οποίας η εξέλιξη της διαδικασίας συσχετίστηκε στενά με την γαλακτοκομική βιομηχανία και τη ζήτηση σκόνης γάλακτος (Mujumdar, 2015).

Μία τυπική μονάδα ξήρανσης με ψεκασμό, που ονομάζεται ξηραντήρας ψεκασμού (spray dryer) αποτελείται από το σύστημα καταιονισμού του προϊόντος με τη μορφή σταγόνων, το θάλαμο αφυδάτωσης (drying chamber), το σύστημα θέρμανσης του αέρα και κατεύθυνσης του στον θάλαμο αφυδάτωσης και το σύστημα διαχωρισμού και ανάκτησης του τελικού προϊόντος (Μπλούκας, 2004). Η διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό ακολουθεί τα εξής κύρια βήματα: Αρχικά γίνεται η υγρή τροφοδοσία του υπό ξήρανση υλικού που με τη βοήθεια ειδικών ακροφυσίων το προϊόν μετατρέπεται σε σταγόνες μικρής διαμέτρου που διασκορπίζονται ομοιόμορφα στον θάλαμο αφυδάτωσης. Παράλληλα με τις σταγόνες, εισέρχεται στον θάλαμο αφυδάτωσης το ρεύμα θερμού αέρα μέσω ενός θερμαντήρα και προκαλεί τη στιγμιαία εξάτμιση του νερού από την κάθε σταγόνα, λόγω της μεγάλης επιφάνειας εξάτμισης που έχουν οι σταγόνες ανά μονάδα όγκου. Έτσι, οι σταγόνες μετατρέπονται αμέσως σε κόκκους σκόνης, οι οποίοι κινούνται προς τα τοιχώματα και τον πυθμένα του θαλάμου αφυδάτωσης. Ο χρόνος ξήρανσης των σταγονιδίων είναι πολύ μικρός σε σχέση με άλλες μεθόδους ξήρανσης και εξαρτάται από τις συνθήκες της διεργασίας, όπως ο ρυθμός ροής του ρευστού, η θερμοκρασία του αέρα, η πίεση κ.α. (Krishnaiah, 2012). Μετά το πέρας της ξήρανσης, ο αέρας που έχει χάσει τη θερμότητά του και τα ξηρά σωματίδια διαχωρίζονται με τη βοήθεια κυκλώνων ή ειδικών φίλτρων. Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται ένα τυπικό σύστημα ξήρανσης με ψεκασμό. Το τυπικό σχήμα των παραγόμενων σωματιδίων είναι σφαιρικό και το μέσο μέγεθος κυμαίνεται από 10 nm έως 100 nm. Η μορφή των σωματιδίων καθορίζεται κυρίως από τις θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό του θαλάμου ξήρανσης, τη φύση του υπό ξήρανση υλικού και τις συνθήκες αερισμού της τροφοδοσίας. Όταν υπάρχει έντονος αερισμός ενδέχεται να δημιουργηθούν φυσαλίδες αέρα στο εσωτερικό των σωματιδίων. (Fang, 2010)

Τα προϊόντα στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί ξήρανση με ψεκασμό, ταξινομούνται σε δύο ομάδες, τα ανθεκτικά και τα κολλώδη. Τα κολλώδη προϊόντα, όπως είναι οι σκόνες χυμού φρούτων και λαχανικών ή οι σκόνες μελιού, γενικά είναι πολύ πιο δύσκολο να δώσουν ένα άριστο τελικό προϊόν. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, μπορούν να παραμείνουν ως σιρόπι, να κολλήσουν στα τοιχώματα του θαλάμου αφυδάτωσης ή να σχηματίσουν ανεπιθύμητα συσσωματώματα, γεγονός που μειώνει την απόδοση του προϊόντος και της λειτουργίας του ξηραντήρα (Krishnaiah, 2012).



**Σχήμα 3.** Τυπικό σύστημα ξήρανσης με ψεκασμό.

Σε αυτά τα προϊόντα, λόγω της παρουσίας υψηλής περιεκτικότητας σε ζάχαρη, η επιφάνεια των σταγονιδίων μπορεί να παραμείνει σε πλαστική κατάσταση λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του προϊόντος, η οποία γενικά προσεγγίζει την θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται. Η έκταση της κολλώδους κατάστασης και η δομή της σκόνης εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του προϊόντος και της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης ( $T_g$ ). Μπορεί να ισχυριστεί ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης δε θα πρέπει να φτάσει τους  $10-20\text{ }^\circ\text{C}$  πάνω από την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Goula and Adamopoulos, 2008).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της αφυδάτωσης με ψεκασμό είναι:

- Η παραγωγή ξηρού υλικού με ελεγχόμενο μέγεθος σωματιδίων, σχήμα, μορφή, περιεκτικότητα σε υγρασία (5-10%) και άλλες ιδιότητες ανεξάρτητα από τη χωρητικότητα του ξηραντήρα και την ευαισθησία στη θερμότητα.
- Ο στιγμιαίος χρόνος ξήρανσης (μερικά δευτερόλεπτα) που δεν επιτρέπει σημαντική αλλοίωση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών.
- Η συνεχής λειτουργία του ξηραντήρα που μπορεί να χειριστεί μεγάλη παραγωγή.
- Η άμεση μετατροπή του προϊόντος σε σκόνη χωρίς να απαιτείται στη συνέχεια άλεση.

Τα μειονεκτήματα της ξήρανσης με ψεκασμό αφορούν κυρίως το υψηλό κόστος εγκατάστασης καθώς και την κατανάλωση ενέργειας ή οποία ωστόσο είναι μικρότερη



από εκείνη της λυοφιλίωσης. Επίσης, είναι αισθητή η απώλεια αρωματικών ουσιών και χρώματος, ενώ πολλές φορές το παραγόμενο προϊόν παρουσιάζει δυσκολία στην ενυδάτωση στο νερό (Mujumdar, 2015; Μπλούκας 2004).

Βιομηχανικά η ξήρανση με ψεκασμό χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό σε πολλά τρόφιμα αλλά και σε χημικά σκευάσματα και σε παραγωγή φαρμάκων. Πιο συγκεκριμένα σε χημικές βιομηχανίες χρησιμεύει στην παραγωγή καταλύτων και γαλακτωμάτων καθώς και λιπασμάτων, απορρυπαντικών κ.α. Στη Βιομηχανία Τροφίμων παρουσιάζεται κυρίως στην παραγωγή σκόνης γάλακτος, αυγού και πρωτεΐνης σόγιας, αλλά και σε φρούτα και λαχανικά όπως για παράδειγμα μπανάνα, τομάτα, γάλα καρύδας κτλ. Η ξήρανση με ψεκασμό έχει την ικανότητα μικροενθλάκωσης ουσιών όπως οι χρωστικές. (Mujumdar, 2015).

## 1.2. Ξηραντικά μέσα (drying agents)

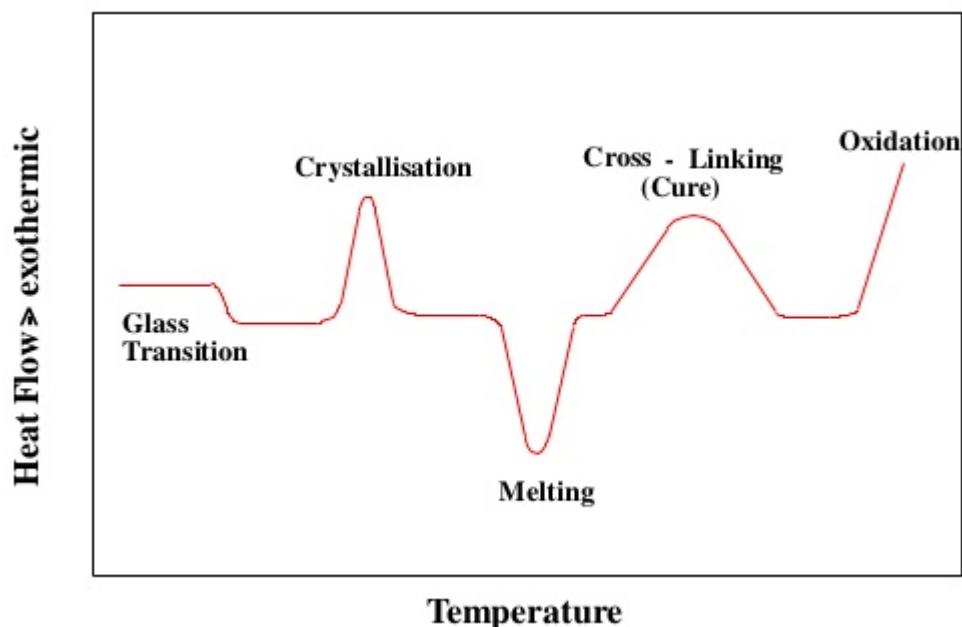
Τα αποξηραμένα προϊόντα είναι υγροσκοπικά και μπορούν εύκολα να υποστούν αλλαγές από το περιβάλλον και με το πέρασ του χρόνου να βρεθούν σε κολλώδη κατάσταση. Για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων και για την παραγωγή άλευρων με αξιόλογες ιδιότητες, χρησιμοποιούνται πρόσθετες ουσίες όπως η μαλτοδεξτρίνη, το αραβικό κόμμι, φωσφορικό ασφέςτιο κ.α. Αυτές οι ουσίες βελτιώνουν τη διαδικασία της ξήρανσης καθώς μειώνουν την υγραποίηση, αυξάνουν το ιξώδες και δεν δημιουργούνται συσσωματώματα κατά την αποθήκευση.

Οι μαλτοδεξτρίνες που είναι οι πιο κοινοί φορείς ξήρανσης καθώς το κόστος τους είναι πολύ μικρό, είναι σύνθετοι υδατάνθρακες που χρησιμοποιούνται στη Βιομηχανία Τροφίμων κυρίως σε υλικά που είναι δύσκολο να αφυδατωθούν, όπως οι χυμοί φρούτων ή οι αρωματικές και γλυκαντικές ουσίες, βελτιώνοντας τη σταθερότητα αυτών των προϊόντων, ενώ τα προστατεύουν από οξείδωση. Το αραβικό κόμμι χρησιμεύει επίσης στην διατήρηση των πτητικών ουσιών. (Gabas, 2007; Benlloch-Tinoco, 2013; Caliscan, 2015; Mosquera, 2010)

## 1.3. Θερμοκρασία Υαλώδους Μετάπτωσης (glass transition)

Στις περισσότερες συνθήκες ξήρανσης, σημαντική ποσότητα του ξηρού προϊόντος που αποτελείται από μικρού μοριακού βάρους συστατικά (π.χ. σάκχαρα) αλλά και τα πολυμερή των τροφίμων (πολυσακχαρίτες και πρωτεΐνες) συχνά απαντώνται στην άμορφη κατάσταση ως αποτέλεσμα κάποιας επεξεργασίας, κατά την οποία η θερμοκρασία μειώνεται σημαντικά και απότομα κάτω από το σημείο τήξης ή το νερό απομακρύνεται με εξάτμιση ή σχηματισμό παγοκρυστάλλων. Η θερμοκρασιακή περιοχή στην οποία παρατηρούνται δραστικές μεταβολές στις ιδιότητες των άμορφων υλικών είναι εκείνη όπου παρατηρείται μετάβαση από την υαλώδη στην ελαστοπλαστική κατάσταση, γνωστή ως υαλώδης μετάπτωση (glass transition). Η χαρακτηριστική αυτή περιοχή αποτελεί φυσική παράμετρο του τροφίμου. Κατά την υαλώδη μετάπτωση, οι πιο σημαντικές μεταβολές που

παρατηρούνται είναι η αύξηση της μοριακής κινητικότητας και η μείωση του ιξώδους που οδηγούν σε κατάρρευση της δομής του προϊόντος κατά την επεξεργασία και αποθήκευση. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης μελετάται συνήθως με τη μέθοδο της Διαφορικής Σαρωτικής Θερμιδομετρίας (DSC) που μελετά τη μεταβολή της ενέργειας που συμβαίνει σε κάποια μετάπτωση.



**Σχήμα 4.** Τυπική καμπύλη DSC που διακρίνει τις κύριες μεταβολές (υαλώδης μετάπτωση, κρυστάλλωση, τήξη)

Όταν ένα τρόφιμο επεξεργάζεται σε θερμοκρασίες μελαύτερες της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης, είναι πολύ πιθανό να συμβεί από μικρή έως ελάχιστη κατάρρευση της δομής, ελάττωση δηλαδή του συνολικού όγκου του τροφίμου και μείωση του πορώδους. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αλλαγή της εμφάνισης, της υφής, των ιδιοτήτων επανυδάτωσης, της δυνατότητας κατακράτησης της υγρασίας και των μηχανικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων ενός τροφίμου. Όσο μία διεργασία ξήρανσης βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο υαλώδους μετάπτωσης, η κατάρρευση της δομής είναι μικρότερη ενώ κάτω από το σημείο υαλώδους μετάπτωσης δεν υφίσταται καμία κατάρρευση. Αυτό συμβαίνει συνήθως κατά την διαδικασία της ξήρανσης με κατάψυξη. Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης εξαρτάται κυρίως από το μοριακό βάρος των πολυμερών των τροφίμων και από την υγρασία τους. Το νερό είναι το κύριο συστατικό που είναι υπεύθυνο για τη μειωμένη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των τροφίμων καθώς έχει τιμή  $-135\text{ }^{\circ}\text{C}$  και θεωρείται ισχυρός πλαστικοποιητής σε ένα σύστημα τροφίμου. Για την αύξηση της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης χρησιμοποιούνται υλικά πρόσθετα με μεγάλο μοριακό βάρος όπως είναι οι μαλτοδεξτρίνες (Bhandari, 1999).

## 1.4. Το Φραγκόσυκο

### 1.4.1. Γενικό Πλαίσιο

Το ενδιαφέρον για τη φραγκοσυκιά χρονολογείται πολλές χιλιάδες χρόνια πριν. Η καταγωγή και η ιστορία της σχετίζονται στενά με τους αρχαίους Μεσοαμερικανικούς πολιτισμούς και ιδιαίτερα με την κουλτούρα των Αζτέκων. Αρχαιολογικά στοιχεία επιβεβαιώνουν ότι τα φυτά αυτά καλλιεργήθηκαν πρώτα από αυτόχθονες πληθυσμούς που εγκαταστάθηκαν στις ημι-άνυδρες περιοχές της Κεντρικής Αμερικής.

Τα φραγκόσυκα και άλλα είδη κάκτων ήταν μάλλον ανάμεσα στα φυτά και ζώα που εισήχθησαν στην Ισπανία από τον Χριστόφορο Κολόμβο ως δείγματα της εξωτικής χλωρίδας και πανίδας του Νέου Κόσμου. Οι χρονικογράφοι εκείνης της εποχής, συμπεριλαμβανομένου του Fernández de Oviedo y Valdés, ενός από τους πρώτους Ισπανούς συγγραφείς που περιέγραψαν την Αμερική, αναφέρει στη Γενική και Φυσική Ιστορία των Ινδιών το 1535 ότι ο πληθυσμός κατανάλωνε τα φρούτα της φραγκοσυκιάς: «...τα οποία έτρωγαν με μεγάλη ευχαρίστηση καθώς ήταν η καλύτερη λιχουδιά που είχα όλο το χρόνο και δεν θα την αντικαθιστούσαν με τίποτα στον κόσμο...». Οι Νομαδικές φυλές έλκονταν από περιοχές όπου η φραγκοσυκιά εφύετο και η πρόσβαση σε ποσότητες του φρούτου έγινε αιτία για αυτές να αποκτήσουν μόνιμη κατοικία.

Παλιές ιστορίες αναφέρουν τη μεγάλη ποικιλία του γένους *Opuntia* και των χρήσεών του. Επιπλέον περιγράφεται η παρουσία του εντόμου κοχενίλλης ο οποίος τρέφεται με το σαρκώδη βλαστό του φυτού, και χρησιμοποιείται για την παραγωγή αυτού που μέχρι σήμερα αποτελεί μία από τις πιο πολύτιμες φυσικές χρωστικές – του καρμινίου. Το έντομο και η χρωστική ήταν ένα μυστικό κρυμμένο για πολλά χρόνια από τους Ισπανούς οι οποίοι είχαν μεγάλα κέρδη από την εμπορία του.

Στη Γενική Ιστορία της Νέας Ισπανίας, ο Fray Bernardino de Sagahún περιγράφει τις διάφορες χρήσεις της φραγκοσυκιάς. Γράφει: «Υπάρχουν κάποια δένδρα σε αυτή τη χώρα που ονομάζονται *nopalli*, που σημαίνει φραγκόσυκο ή δένδρο που παράγει φραγκόσυκα. Είναι ένα τεράστιο δένδρο του οποίου ο κορμός αποτελείται από φύλλα και τα παρακλάδια τους. Τα φύλλα είναι πλατιά και χονδρά, με άφθονο χυμό, είναι κολλώδη και έχουν αγκάθια. Τα φρούτα των δένδρων είναι ευχάριστα στη γεύση. Είναι ένα πολύτιμο φρούτο. Τα φύλλα αυτού του δένδρου τρώγονται ωμά ή μαγειρεμένα. Ορισμένα δένδρα παράγουν φραγκόσυκα τα οποία είναι κίτρινα εσωτερικά, ενώ άλλα κόκκινα ή ροζ. Άλλα δένδρα έχουν πράσινα φύλλα με κόκκινα σημάδια και φέρουν φρούτα που είναι μωβ εσωτερικά και εξωτερικά...»

Σε μια εντολή του 1620, ο βασιλιάς Φίλιππος ο Γ' της Ισπανίας αναφέρει ότι: «...ένα από τα πολυτιμότερα φρούτα που καλλιεργούνται στις Δυτικές Ινδίες είναι το φραγκόσυκο, προϊόν ίσης αξίας με το χρυσό και το ασήμι...». Οι φαρμακευτικές ιδιότητες του φυτού αναγνωρίστηκαν εξ αρχής, συμπεριλαμβανομένης της αξίας του ως αντιφλεγμονώδη, διουρητικό και αντισπασμωδικό παράγοντα. Η φραγκοσυκιά

αποτελεί εγγενές μέρος της ιστορίας του Μεξικού και της Κεντρικής Αμερικής. Για παράδειγμα, η καταγωγή της αντικατοπτρίζεται στην επίσημη ασπίδα του Μεξικού η οποία παριστάνει έναν αετό σκαρφαλωμένο πάνω σε μία φραγκοσυκιά.

Περεταίρω στοιχεία για τη γνώση και τη χρήση του φραγκόσυκου από τους Αρχαίους Μεξικάνους έχουν βρεθεί από τις ανασκαφές σε *Tamaulipas* και *Tehuacán* (Μεξικάνικη Πολιτεία της Πουέμπλα), όπου βρέθηκαν απολιθωμένα σπόροι και φλούδες από το φρούτο και ίνες από τα φύλλα, που εκτιμώνται να είναι 7000 ετών.

Σήμερα το φυτό εκτιμάται ιδιαίτερα για την προστασία και ανάπτυξη ξηρών και ημίξηρων περιοχών ανά τον κόσμο. Σχεδόν κυριολεκτώντας, το φυτό αποτελεί τη βάση για τη ζωή ανθρώπων που ζουν σε αυτές τις περιθωριακές περιοχές (FAO, 2013).

#### 1.4.2. Διατροφική αξία

Το φραγκόσυκο είναι ένα τροπικό φρούτο που συλλέγεται από διάφορα είδη του γένους *Opuntia* οικογ. Cactaceae και ευδοκimeί σε περιοχές με ξηροθερμικό κλίμα, όπως στην Κεντρική Αμερική και το Μεξικό από όπου προήλθε (Medina, 2007), χάρη στην ικανότητά του όμως να προσαρμόζεται σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, απαντάται σε πολλά μέρη του κόσμου και σε όλες τις Παραμεσόγειες χώρες (Lahsasni, 2004). Το περισσότερο γνωστό είδος στην Ευρώπη είναι το *Opuntia ficus-indica* που είναι διαδεδομένο στην Σικελία, ενώ στη χώρα μας απαντάται κυρίως στη Ν. Ελλάδα και την Κρήτη (Ginestra, 2009; Yahia, 2011).

Ο καρπός είναι χυμώδης, ωοειδούς σχήματος που περιβάλλεται από παχύ φλοιό με μικρά αγκάθια, ενώ στο εσωτερικό περιέχει μεγάλη ποσότητα σπόρων. Ανάλογα με την ποικιλία, το χρώμα του καρπού μπορεί να διαφέρει (Juimenez-Aguilar, 2014), και είναι διαθέσιμος από τον Αύγουστο μέχρι τον Δεκέμβριο (Piga, 2000). Η διατροφική αξία του φραγκόσυκου, είναι μεγάλη καθώς είναι πλούσιο σε Κάλιο, Ασβέστιο και Φώσφορο (Yahia, 2011), όπως επίσης περιέχει και μεγάλα ποσοστά σακχάρων (γλυκόζη, φρουκτόζη) και διαλυτές και αδιάλυτες φυτικές ίνες (El Kossori, 1998). Ο καρπός και τα φύλλα του δέντρου φαίνεται ότι έχουν επίσης πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες, καθώς εκτός των άλλων περιέχουν αντιοξειδωτικές ουσίες, φλαβονοειδή και βιταμίνη C. Έχουν ερευνηθεί ως πιθανή θεραπεία για ασθένειες όπως γαστρίτιδα, υπεργλυκαιμία, αρτηριοσκλήρωση, διαβήτη και υπερτροφία του προστάτη (Guevara-Figueroa, 2010; Ammar, 2014). Οι σπόροι στο εσωτερικό του καρπού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή βρώσιμου ελαίου (Sawaya, 1982).

Η χημική σύσταση του φραγκόσυκου περιγράφεται πιο αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες.

**Πίνακας 1.** Χημική σύσταση φραγκόσυκου (g/100g υγρής βάσης)

	<b>Pulp</b>	<b>Peel</b>	<b>Seeds</b>
<b>Protein</b>	0.5-5.3 <sup>a,b,c</sup>	8.3 <sup>a</sup>	11.8 <sup>a</sup>
<b>Lipids</b>	0.7-1 <sup>a,b,c</sup>	2.4 <sup>a</sup>	6.77 <sup>a</sup>
<b>Total fiber</b>	20.5 <sup>a</sup>	40.8 <sup>a</sup>	54.2 <sup>a</sup>
<b>Ash</b>	0.4-8.5 <sup>a,b,c</sup>	12.1 <sup>a</sup>	5.90 <sup>a</sup>
<b>Carbohydrates</b>			
<b>Sucrose</b>	0.2 <sup>a</sup>	2.3 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
<b>Glucose</b>	35 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
<b>Fructose</b>	29.6 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>

**Πίνακας 2.** Σύσταση φυτικών ινών (% του συνόλου των φυτικών ινών σε υγρή βάση)

	<b>Pulp</b>	<b>Peel</b>	<b>Seeds</b>
<b>Hemicellulose</b>	15.5	20.8	9.9
<b>Cellulose</b>	14.2	71.4	83.2
<b>Pectin</b>	70.3	7.7	6.69
<b>Lignin</b>	0.01	0.06	0.19

(El Kossori, 1998; Juimenez-Aguilar,2014)

#### 1.4.3. Κατανομή και κατανάλωση σε ορισμένες χώρες

Οι Οπούντιες βρίσκονται σε πολλές χώρες και είναι γνωστές από την αρχαιότητα για τις διάφορες χρήσεις τους και ιδιότητες τους. Χάρη στην έλλειψη άλλων τροφίμων, οι άνθρωποι βρήκαν τρόπους να συντηρούν τα φρούτα και να φτιάχνουν σιρόπια, τα οποία θα μπορούσαν να διατηρηθούν επ' αόριστον χωρίς να χαλάνε. Επιπλέον έφτιαχναν μια καραμέλα βράζοντας το χυμό του φραγκόσυκου, «τυρί» από φραγκόσυκο και αποξηραμένα φραγκόσυκα (λιαστά). Για τον εορτασμό της συγκομιδής τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, παρασκευάζεται ένα κρασί από την πούλπα του φρούτου. Αυτά τα προϊόντα καταναλώνονται μέχρι και σήμερα, αν και τα πιο δημοφιλή μέρη του φυτού για τροφή παραμένουν τα φρέσκα φρούτα και τα σαρκώδη και τρυφερούς βλαστούς.

Το φυτό βρίσκεται καλλιεργούμενο ή άγριο σε πολλές χώρες του κόσμου. Έχει αναφερθεί ότι η μεγαλύτερη περιοχή για παραγωγή φρούτου βρίσκεται στο Μεξικό, με περίπου 50.000 εκτάρια διαθέσιμα. Σύμφωνα με δεδομένα, εκτιμάται ότι 72.000 εκτάρια καλλιεργούνται για φρούτα και 10.500 εκτάρια για λαχανικά, χωρίς

να αναφερθούμε στα εκατομμύρια εκταρίων όπου μεγαλώνουν αυτοφυή φυτά. Το Περού έχει περίπου 35.000 εκτάρια αυτοφυών φυτών που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναπαραγωγή κοχενίλλη. Η Βραζιλία έχει περίπου 40.000 εκτάρια για ζωοτροφές, η Ιταλία 2.500 για φραγκόσυκα και η Χιλή περίπου 1.100. Στην Τυνησία καλλιεργούνται 400.000-500.000 εκτάρια.

Καθώς το φυτό είναι ευρέως διαδεδομένο, υπάρχουν λίγα επίσημα στατιστικά και οι πληροφορίες για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις και τη χρήση τους είτε δεν είναι διαθέσιμες είτε τείνουν να είναι αναξιόπιστες.

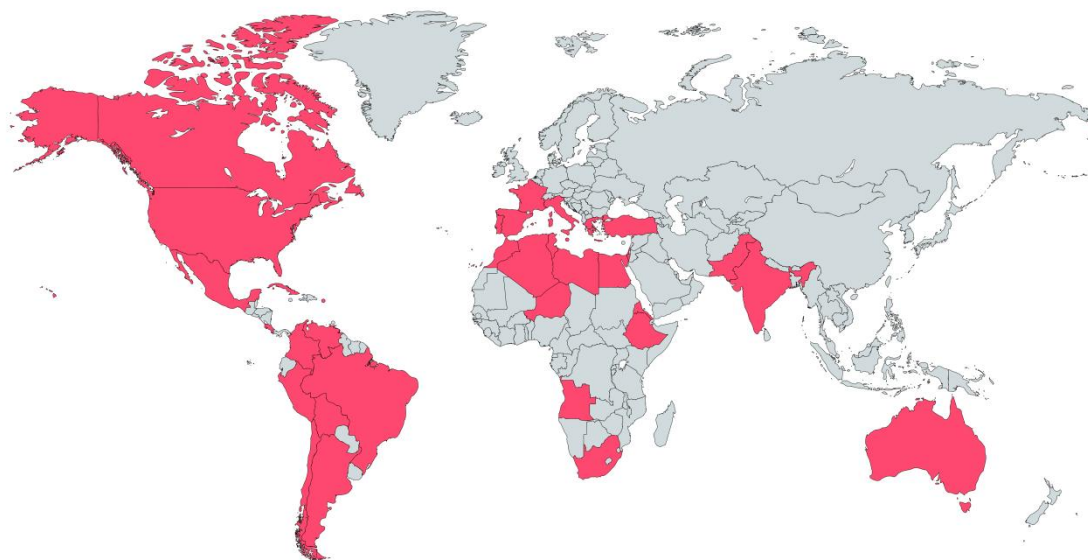
Πολλοί παραγωγικοί τομείς χρησιμοποιούν τα φραγκόσυκα και τους σαρκώδεις καρπούς τους ως βιομηχανική πρώτη ύλη για καλλυντικά, αλκοολούχα ποτά και πρόσθετα τροφίμων. Το φυτό έχει επίσης χρησιμοποιηθεί ως ζωντανός φράχτης σε κήπους και χωράφια και βοηθάει στην καταπολέμηση της ερημοποίησης (FAO, 2013).



**Σχήμα 5.** Καθαρισμένα φραγκόσυκα σε υπαίθρια αγορά

Η φραγκοσυκιά είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλη την Αμερική, από τον Καναδά ως τη Χιλή: στις νότιες ΗΠΑ, σε όλη την Κεντρική Αμερική και τις χώρες της Καραϊβικής και στις χώρες της Νοτίου Αμερικής όπως η Αργεντινή, η Βολιβία, η Βραζιλία, η Κολομβία, το Περού και η Βενεζουέλα. Άγρια και καλλιεργούμενα είδη *Opuntia spp.* υπάρχουν επίσης στην Αγκόλα, την Αυστραλία, την Ινδία και τη Νότιο Αφρική. Αυτές οι χώρες έχουν πάνω από 5 δισεκατομμύρια εκτάρια (ha) ξηρών και ημίξηρων περιοχών – τα πιο εκτενή ξηρά εδάφη του πλανήτη. Οι άνθρωποι που ζουν σε αυτές τις περιοχές ψάχνουν για είδη φυτών που να μπορούν να προσαρμοστούν, να αναπτυχθούν και να παρέχουν τρόφιμα και υλικά.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά χαρακτηριστικά της φραγκοσυκιάς είναι η ανατομία και η μορφολογία της, οι οποίες της επέτρεψαν να προσαρμοστεί σε εξαιρετικά στρεσογόνες συνθήκες ανάπτυξης, πράγμα που σημαίνει ότι αυτό το φυτό μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη λύση σε περιοχές όπου άλλα φυτά δεν επιβιώνουν (FAO, 2013).



**Σχήμα 6.** Η εξάπλωση της φραγκοσυκιάς ανά τον κόσμο.

#### **1.4.4. Φρούτα και βλαστός: λειτουργικές ιδιότητες**

Λειτουργικά συστατικά είναι αυτά που βοηθούν στην πρόληψη ασθενειών. Τα φρούτα και οι βλαστοί του φραγκόσκου αποτελούν πηγές αυτών των συστατικών, όπως οι διαιτητικές ίνες, τα υδροκολλοειδή, οι χρωστικές (βεταλαΐνες και καροτενοειδή), τα μέταλλα (ασβέστιο και κάλιο) και οι βιταμίνες με αντιοξειδωτική δράση, όπως η βιταμίνη C. Αυτές οι ουσίες εκτιμώνται για τη συμβολή τους στην υγιεινή διατροφή και ως συστατικά για το σχεδιασμό νέων τροφίμων.

Αυτές οι ουσίες μπορούν να εισαχθούν σε μια σειρά τροφίμων γνωστά ως λειτουργικά τρόφιμα, τα οποία είναι τρόφιμα ή ποτά που παρέχουν φυσιολογικά οφέλη. Ενισχύουν την υγεία, βοηθούν στην πρόληψη ή τη θεραπεία ασθενειών ή/και βελτιώνουν τη φυσική ή ψυχική απόδοση με την προσθήκη ενός ή περισσότερων λειτουργικών συστατικών ή με τις κατάλληλες βιοτεχνολογίες.

Από τις διαθέσιμες λειτουργικές ουσίες, οι φυτικές ίνες είναι από τις πιο μελετημένες. Έχει καθοριστεί η διατροφική τους αξία και η σχέση μεταξύ φυτικών ινών και υγείας (π.χ. ρύθμιση της χοληστερόλης και πρόληψη ασθενειών όπως ο διαβήτης και η παχυσαρκία) και οι περισσότεροι καταναλωτές είναι εξοικειωμένοι με αυτήν την πληροφορία.

Οι ίνες χαρακτηρίζονται ως διαλυτές ή αδιάλυτες στο νερό. Οι πρώτες αποτελούνται από κόλες, κόμμεα, πηκτίνες και ημικυτταρίνες, ενώ οι τελευταίες κυρίως από κυτταρίνη, λιγνίνη και ένα μεγάλο κλάσμα ημικυτταρινών. Αυτά τα κλάσματα των φυτικών ινών έχουν διαφορετικές φυσιολογικές επιδράσεις. Οι διαλυτές φυτικές ίνες σχετίζονται με τα μειωμένα επίπεδα γλυκόζης και χοληστερόλης και με τη σταθεροποίηση των γαστρικών κενώσεων. Οι αδιάλυτες φυτικές ίνες επιτείνουν την ικανότητα συγκράτησης νερού (αυξάνοντας το βάρος των κοπράνων), την ιονική ανταλλαγή και την απορρόφηση χολικών αλάτων, ανόργανων, βιταμινών και άλλων ουσιών, όπως επίσης και την αλληλεπίδραση με τη μικροβιακή χλωρίδα. Οι χρωστικές που βρίσκονται στα φρούτα είναι πολύτιμα αντιοξειδωτικά.

#### **1.4.5. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία**

Εκτός της χημικής σύστασης και της διατροφικής αξίας, υπάρχουν άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά του φραγκόσκου που παρουσιάζουν πρόσθετες προκλήσεις κατά την επεξεργασία του φρούτου. Οι υψηλές τιμές pH το κατατάσσουν στην κατηγορία των προϊόντων χαμηλής οξύτητας και σε συνδυασμό με το υψηλό περιεχόμενο διαλυτών στερεών κάνουν την πούλπα του ιδανικό μέσο ανάπτυξης μικροοργανισμών.

Παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα στην πούλπα, η πηκτίνη είναι εν μέρει υπεύθυνη για το ιξώδες και αποτελεί χρήσιμο συστατικό για την παραγωγή μαρμελάδων και ζελέ.

Το χρώμα των πορτοκαλί και μωβ φρούτων, που προκαλείται από τα καροτενοειδή και τις βεταλαΐνες αντίστοιχα είναι ένας σημαντικός λόγος για την επεξεργασία τους, καθώς δημιουργεί δυνατότητα παραγωγής προϊόντων διαφορετικά χρωματισμένων. Επιπλέον οι βεταλαΐνες παρουσιάζουν σχετική σταθερότητα κατά τις θερμικές επεξεργασίες και τις μεταβολές του pH.

Το ιξώδες της πούλπας επηρεάζεται από την παρουσία πηκτίνης και κόλας, λόγω της ικανότητάς τους να δεσμεύουν και να συγκρατούν νερό. Αφού εκχυλιστούν από την πούλπα, αυτές οι ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηκτικοί παράγοντες των τροφίμων.

Άλλες σημαντικές ουσίες είναι οι πτητικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για το άρωμα του φραγκόσκου και των προϊόντων του. Το λεπτό άρωμα μπορεί να επηρεαστεί από τις διεργασίες – ορισμένα προϊόντα παίρνουν την οσμή γρασιδιού όταν επεξεργάζονται με θέρμανση.



#### 1.4.6. Πιθανές χρήσεις

Η φραγκοσυκιά δίνει δυνατότητες για την επεξεργασία των φρούτων και των βλαστών. Όπως και τα άλλα φυτά, τα φρούτα και οι βλαστοί της φραγκοσυκιάς μπορούν να συντηρηθούν και να επεξεργαστούν, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες και πρακτικές. Μία πληθώρα παραδοσιακών τροφίμων παρασκευάζονται από τη φραγκοσυκιά: μαρμελάδες, χυμοί, νέκταρ, αποξηραμένα φρούτα, συμπυκνωμένοι χυμοί, σιρόπια, λικέρ, τουρσί.

Πολλά λειτουργικά συστατικά μπορούν να εκχυλιστούν και να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν και να εμπλουτίσουν νέα τρόφιμα. Αυτά περιλαμβάνουν φυσικά κόμμεα και χρωστικές με προοπτικές για τις βιομηχανίες τροφίμων, φαρμάκων και καλλυντικών. Προϊόντα πλούσια σε φυτικές ίνες μπορούν να παρασκευαστούν για τη ρύθμιση του διαβήτη και της παχυσαρκίας.

Η ολοκληρωμένη διαχείριση της φραγκοσυκιάς παρέχει δυνατότητες για την εγκαθίδρυση μιας κεντρικής ή ορισμένων αλληλοεξαρτώμενων βιομηχανιών, μικρής και μεγάλης κλίμακας, βιοτεχνίες ή και πιο εμπορικές. Σημεία-κλειδιά αποτελούν η προσφορά και η ζήτηση, η μεγιστοποίηση της απόδοσης της επένδυσης και η αποτελεσματική χρήση των πρώτων υλών. Αυτό βοηθά στην αύξηση των καθαρών αποδόσεων και στην αποφυγή της σπατάλης. Απόβλητα που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα υπονομεύουν τα κέρδη και εάν δεν απορριφθούν σωστά μπορεί να προκαλέσουν μόλυνση του περιβάλλοντος.

Πολλοί κλάδοι της βιομηχανίας μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση των *Opuntias*. Ορισμένα παραδείγματα είναι

- Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών (διάφορα τρόφιμα και αλκοολούχα και μη αλκοολούχα ποτά από το φρούτο και τους νεαρούς βλαστούς)
- Η βιομηχανία ζωοτροφών (συμπληρώματα και τροφές από βλαστούς και απόβλητα της επεξεργασίας των φρούτων, συμπεριλαμβανομένων του φλοιού και των σπόρων)
- Η βιομηχανία φαρμάκων (προστατευτικά του γαστρικού βλεννογόνου από εκχυλίσματα της κόλλας, δισκία και κάψουλες από σκόνη βλαστών και εκχυλισμάτων των ανθέων)
- Η βιομηχανία καλλυντικών (κρέμες, σαμπουάν και λοσιόν από βλαστό)
- Η βιομηχανία συμπληρωμάτων διατροφής (φυτικές ίνες και άλευρα από τα βλαστό)
- Η βιομηχανία φυσικών προσθέτων (κόμμεα και χρωστικές)
- Ο ενεργειακός τομέας (βιοαέριο από την πέψη βλαστών και απόβλητων των βιομηχανιών)
- Γεωργικές εισροές (εδάφη, οργανικά υλικά και βελτιωμένη αποστράγγιση)

Υπάρχει ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για τη χρήση διαφόρων μερών του φυτού.

Οι βλαστοί έχουν υψηλή περιεκτικότητα φυτικών ινών και αυτές μπορούν να ληφθούν με ξήρανση και άλεσή τους. Η προκύπτουσα σκόνη ή άλευρο χρησιμοποιείται σε τρόφιμα, σε συμπληρώματα διατροφής και στις βιομηχανίες φαρμάκων. Δισκία ή ταμπλέτες ινών από βλαστό είναι διαθέσιμες στη μεξικάνικη αγορά για πολλά χρόνια, όπου χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της παχυσαρκίας και του διαβήτη, αλλά οι μελέτες που έχουν γίνει δεν έχουν δείξει ξεκάθαρους μηχανισμούς για την αξία των βλαστών στη ρύθμιση του διαβήτη.

Παγκοσμίως λίγες είναι οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις εμπορικές φυτείες *Opuntia spp.* για παραγωγή καρπών. Αν και οι Οπούντιες καλλιεργούνται για τα φρούτα τους σε όλες τις ηπείρους, δεν διατίθενται στατιστικά στοιχεία από τις χώρες παραγωγούς: Αλγερία, Βραζιλία, Αίγυπτος, Ελλάδα, Ιορδανία, Μαρόκο, Περού, Ισπανία, Τυνησία και Τουρκία.

Το κύριο είδος που χρησιμοποιείται για παραγωγή καρπών παγκοσμίως είναι το *Opuntia ficus indica*. Το Μεξικό είναι ουσιαστικά η μόνη χώρα που καλλιεργεί *Opuntia spp.* για παραγωγή βλαστών, η πλειονότητα της οποίας πωλείται τοπικά ως φρέσκο προϊόν. Η προσφορά υπερβαίνει τη ζήτηση κατά την περίοδο αιχμής με επακόλουθο κορεσμό της αγοράς, προκαλώντας απώλειες μέχρι και 60% σε κάποιες περιόδους. Στο Μεξικό οι εμπορικές φυτείες φραγκόσυκου για παραγωγή λαχανικών καλύπτουν μια περιοχή 9710 εκταρίων με μια ετήσια παραγωγή 563443 τόνων. Η *Opuntia ficus-indica* είναι το βασικό εμπορικό είδος για παραγωγή λαχανικού στο Μεξικό (FAO, 2013).



**Σχήμα 6.**  
Εμπορικές  
ποικιλίες  
για  
λαχανικό  
και  
φρούτο

#### 1.4.7. Χρήση των βλαστών σε προϊόντα τροφίμων

Νέα προϊόντα που πρόσφατα εισήχθησαν στις Μεξικάνικες αγορές περιλαμβάνουν:

- Δημητριακά με βλαστό. Αυτό είναι ένα προϊόν σε μορφή πέλετ αποτελούμενο από μίγμα αλεύρου σιταριού με προσθήκη αφυδατωμένης σκόνης βλαστών και μαλτοδεξτρίνης που λειτουργεί σαν υδατοδιαλυτές φυτικές ίνες.

- Αλεύρι δημητριακών και βλαστών. Αυτό είναι ένα λεπτόκοκκο άλευρο που προκύπτει από την άλεση αφυδατωμένων βλαστών μαζί με σπόρους δημητριακών.

Το αλεύρι βλαστών λαμβάνεται με αφυδάτωση και άλεση πλυμένων και κομμένων βλαστών, αφού αυτά έχουν υποστεί αφαίρεση των αγκαθιών τους. Το άλευρο έχει εφαρμογές στη βιομηχανία αρτοποιίας, μπισκότων και ζυμαρικών και για την παραγωγή διαιτητικών ινών σε μορφή πέλετ. Οι φυτικές ίνες αποτελούν πολύτιμο προϊόν για τη βελτίωση της πέψης των διαλυτών ινών, που βοηθάει ανθρώπους που πάσχουν από δυσκοιλιότητα. Τα φύλλα του φραγκόσυκου αποτελούν σημαντική πηγή τέτοιων ινών.

#### 1.4.8. Η φραγκοσυκιά στην Ελλάδα

Η φραγκοσυκιά στην Ελλάδα βρίσκεται συχνά σε άγρια κατάσταση σε πολλούς φυσικούς – αυτοφυείς πληθυσμούς. Σε αυτές τις περιπτώσεις η περιποίηση από μέρους των ιδιοκτητών της είναι σπάνια και σχεδόν ανύπαρκτη (Στρατουδάκης, 2013).

Τελευταίως έχουν συσταθεί συνεταιρισμοί, αλλά η ζήτηση ξεπερνά την προσφορά με αποτέλεσμα να εισάγονται ποσότητες. Επιπλέον, μέχρι στιγμής η καλλιέργεια είναι προσανατολισμένη στην παραγωγή καρπού και οι βλαστοί χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές. Το φραγκόσυκο είναι φρούτο εξαιρετικά ευαίσθητο και διατηρείται μία εβδομάδα το πολύ αφού κοπεί από τον κορμό.

## 2. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης ήταν η διερεύνηση των επιδράσεων της ξήρανσης στα φυσικά χαρακτηριστικά του βλαστού και του καρπού φραγκοσυκιάς έτσι ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα προϊόντα με αποδεκτά χαρακτηριστικά ώστε να διατηρούνται για μεγαλύτερο διάστημα και για πιθανή ενσωμάτωση σε τρόφιμα, όπως μπισκότα. Στόχος είναι η εύρεση τρόπων αξιοποίησης του φυτού αυτού, το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε πληθώρα διαφορετικών συνθηκών, και μάλιστα σε ξηρές περιοχές, όπως είναι το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.

Οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την παραγωγή φραγκόσυκου σε σκόνη είναι ελάχιστες, καθώς η ξήρανση φρούτων είναι μία εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία λόγω των σακχάρων που περιέχουν και μέρος αυτού του κενού που υπάρχει στη βιβλιογραφία επιχειρεί να καλύψει η παρούσα μελέτη.

### 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την πραγματοποίηση του πειράματος αγοράστηκαν από τοπικές αγορές εμπορίας φρούτων και λαχανικών, 20 κιλά καρπού φραγκοσυκιάς (*Opuntia ficus indica*) πορτοκαλί χρώματος καθώς και νεαροί βλαστοί του φυτού. Οι καρποί αφού πλύθηκαν καλά με νερό για να φύγουν τα αγκάθια, αποφλοιώθηκαν και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη στους  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  μέχρι τη χρησιμοποίησή τους. Ομοίως, οι βλαστοί πλύθηκαν με νερό, αποφλοιώθηκαν, κόπηκαν σε μικρά κομμάτια ίδιου μεγέθους και αποθηκεύτηκαν σε κατάψυξη για να ακολουθήσει λυοφιλίωση. Μερική ποσότητα βλαστών χρησιμοποιήθηκε επι τόπου για ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως βοηθητικό μέσο ξήρανσης των καρπών ήταν η μαλτοδεξτρίνη (12-16 DE, Cargill, France).



Εικόνα 3.1. Φραγκόσυκα (*Opuntia ficus indica*)

#### 3.1. Παρασκευή άλευρου από καρπό

Οι αποφλοιωμένοι καρποί πολτοποιήθηκαν και περάστηκαν από κόσκινο ώστε να απομακρυνθούν τα κουκούτσια, που περιέχουν σε μεγάλο βαθμό. Στη συνέχεια έγινε φυγοκέντριση του πολτού σε 10,000 rpm για 10 λεπτά στους  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Sorval Lynx 6000 Centrifuge), για να απομακρυνθούν τελείως οι ίνες. Ο χυμός που προέκυψε ομογενοποιήθηκε με μαλτοδεξτρίνη, σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις, και ακολούθησε ξήρανση των δειγμάτων με δύο διαφορετικές μεθόδους, με σκοπό να διαπιστωθεί ποια από τις δύο δίνει τα καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στα άλευρα. Τα δείγματα που παρασκευάστηκαν περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1. Περιγραφή των δειγμάτων.

Κωδικός δείγματος	Μέθοδος ξήρανσης	Περιεκτικότητα μαλτοδεξτρίνης (%)
Φ <sub>25</sub>	Με ψεκασμό	25
Φ <sub>35</sub>	Με ψεκασμό	35
Α <sub>25</sub>	Λυοφιλίωση	25
Α <sub>35</sub>	Λυοφιλίωση	35

### 3.1.1. Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying)

Λόγω του ότι ο καρπός του φραγκόσυκου είναι πολύ υψηλός σε σάκχαρα και υπάρχει ο κίνδυνος προσκόλλησης στα τοιχώματα του θαλάμου αφυδάτωσης, η προσθήκη μαλτοδεξτρίνης κρίθηκε απαραίτητη. Το μίγμα του χυμού με την μαλτοδεξτρίνη τροφοδοτήθηκε στον ξηραντήρα ψεκασμού του εργαστηρίου (Edibon Spray dryer) (Εικόνα 3.2). Οι συνθήκες της λειτουργίας του μηχανήματος ορίστηκαν ως εξής: θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα 105 °C, πίεση αέρα 5 bar, ρυθμός τροφοδοσίας 10%. Σε προπειράματα δοκιμάστηκαν αρχικά υψηλότερες θερμοκρασίες χωρίς να υπάρχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το άλευρο που προέκυψε από τη διαδικασία αποθηκεύτηκε σε γυάλινα κλειστά δοχεία στο σκοτάδι, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.



**Εικόνα 3.2.** Ξηραντήρας ψεκασμού (Edibon)

### 3.1.2. Λυοφιλίωση (freeze drying)

Το μίγμα του χυμού με τη μαλτοδεξτρίνη αρχικά τοποθετήθηκε σε ταψάκια αλουμινίου και το κάθε ταψί περιείχε ακριβώς 100 g μίγματος, τα οποία στη συνέχεια καταψύχθηκαν στους -20 °C για 24 ώρες ώστε να ακολουθήσει η διαδικασία της λυοφιλίωσης. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε δίσκους στον λυοφιλιωτή του εργαστηρίου Γαλακτοκομίας (Virtis Unitop 600SL & FreezeMobile 21) και η θερμοκρασία του πάνω θαλάμου ρυθμίστηκε στους -45 °C με τουλάχιστον 0,9 bar. Μετά το πέρας της διαδικασίας, τα δείγματα αλέστηκαν και το άλευρο που προέκυψε από τη διαδικασία αποθηκεύτηκε σε γυάλινα κλειστά δοχεία στο σκοτάδι, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Για τη μελέτη της μικρογραφίας των αλεύρων έγινε χρήση οπτικού μικροσκοπίου. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε γυάλινα πλακίδια και χρησιμοποιήθηκε προπανόλη ως διαλύτης.



**Εικόνα 3.3.** Λυοφιλωτής (Virtis Unitop 600SL & FreezeMobile 21)

### **3.2. Παρασκευή άλευρου από βλαστό**

Οι αποφλοιωμένοι βλαστοί αποξηράνθηκαν με δύο μεθόδους ξήρανσης, με σκοπό να διαπιστωθεί ποια από τις δύο δίνει τα καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στα άλευρα. Αρχικά έγινε ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα και στη συνέχεια δείγματα που είχαν αποθηκευτεί σε κατάψυξη, χρησιμοποιήθηκαν για λυοφιλίωση με τις συνθήκες που υπήρχαν και στο μίγμα με το χυμό του φραγκόσκου (κεφ. 3.1.2.).

#### **3.2.1. Ξήρανση με ρεύμα θερμού αέρα**

Η ξήρανση σε ρεύμα αέρα πραγματοποιήθηκε στο φούρνο του εργαστηρίου (Memmert), αφού τοποθετήθηκαν οι αποφλοιωμένοι βλαστοί με αλουμινόχαρτο πάνω στα ράφια. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν όσο το δυνατόν σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Η ρύθμιση του φούρνου έγινε στους 45 °C ακολουθώντας την μέθοδο των Moreno-Alvarez et. al. (2009) με ταχύτητα αέρα 1,5 m/s για 48 ώρες. Στη συνέχεια, τα δείγματα αλέστηκαν και το άλευρο που προέκυψε από τη διαδικασία αποθηκεύτηκε σε γυάλινα κλειστά δοχεία στο σκοτάδι, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.



**Εικόνα 3.4.** Τα δείγματα προς ξήρανση σε φούρνο (Mettmert)

### 3.3. Προσδιορισμός Υγρασίας

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας στα δείγματα αλεύρων, στον καρπό και στο βλαστό του φραγκόσυκου χρησιμοποιήθηκε ο ξηραντήρας Memmert. Πρόκειται για έναν ξηραντήρα απλού τύπου που λειτουργεί με ρεύμα αέρα και χρησιμοποιείται κυρίως σε εργαστήρια και σε βιομηχανίες μικρής κλίμακας.

Η μέτρηση της υγρασίας έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο AACC 44-15 A, (1999). Αρχικά τοποθετούνται γυάλινα φυαλίδια ξήρανσης σε κλίβανο στους 105 °C για 3 ώρες, ώστε να απομακρυνθεί η υπάρχουσα υγρασία. Τα φυαλίδια ζυγίζονται σε ζυγό ακριβείας τριών δεκαδικών ψηφείων ώστε να προσδιοριστεί το απόβαρο. Στη συνέχεια ζυγίζονται 2 g δείγματος εντός των φυαλιδίων και τοποθέτησή τους στον ξηραντήρα για 3 ώρες. Έπειτα τα φυαλίδια τοποθετούνται σε ξηραντήριο μέχρι να κρυώσουν και ζυγίζονται.

Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις. Από την απώλεια βάρους υπολογίστηκε η περιεχόμενη υγρασία και εκφράστηκε ως % σε ξηρή βάση.

$$\text{υγρασία}(\%) = \frac{W_{\alpha\rho\chi} - W_{\tau\epsilon\lambda}}{W_{\alpha\rho\chi}} \times 100$$

### 3.4. Προσδιορισμός ενεργότητας νερού ( $a_w$ )

Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού έγινε με τη χρήση του οργάνου (Rotronic, Hygrolab, ...). Το όργανο προθερμάνθηκε για 2 ώρες τουλάχιστον μέχρι η θερμοκρασία του συστήματος να σταθεροποιηθεί. Ζυγίστηκαν σε μικρά πλαστικά δοχεία 2 g από το κάθε δείγμα. Η ποσότητα του δείγματος πρέπει να είναι ίση περίπου με τα 2/3 της περιεκτικότητας του δοχείου για να γίνει σωστά η μέτρηση. Τα

δοχεία τοποθετήθηκαν μέσα στην υποδοχή του οργάνου και λήφθηκε η μέτρηση στους 25 °C. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις.

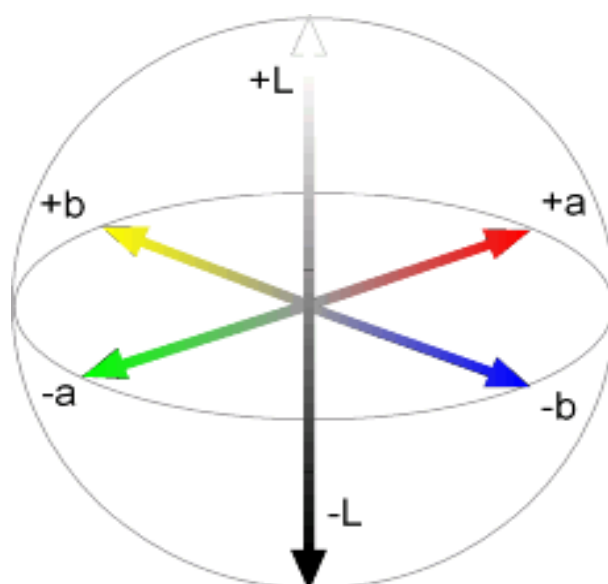
### 3.5. Μέτρηση pH - Προσδιορισμός διαλυτών στερεών συστατικών (°Brix)

Η μέτρηση του pH στον καρπό και το βλαστό έγινε με το (HANNA, HI 98150) ενώ τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά με ψηφιακό διαθλασίμετρο (SR-95, Medline) και εκφράστηκαν ως °Brix %. Για κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκαν 3 επαναλήψεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

### 3.6. Προσδιορισμός χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των άλευρων καρπού και βλαστού, καθώς και του χυμού έγινε με χρήση του χρωματόμετρου χειρός 3nh High-Quality Spectrophotometer NS800S (Shenzhen 3nh Technology Co., China).

Οι μετρήσεις του χρώματος βασίστηκαν στον προσδιορισμό των χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  του συστήματος CIE (1976). Το  $L^*$  εκφράζει τη φωτεινότητα με τιμή  $L^*=0$  να αντιστοιχεί στο μαύρο και τιμή  $L^*=100$  να αντιστοιχεί στο λευκό. Οι τιμές των  $a^*$ ,  $b^*$  είναι οι ορθογώνιες συντεταγμένες του χρώματος πάνω στο επίπεδο διατομής του χρώματος, κάθετο στον άξονα μαύρου-άσπρου. Η θετική τιμή για το  $a^*$  υποδεικνύει κόκκινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή πράσινο χρώμα. Η θετική τιμή για το  $b^*$  υποδεικνύει κίτρινο χρώμα, ενώ η αρνητική τιμή μπλε χρώμα. Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε μικρά πλαστικά και διαφανή ταψάκια. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν με χρήση λευκής και μαύρης πλάκας αναφοράς πριν από κάθε μέτρηση. Για κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον 3 επαναλήψεις.



Εικόνα 3.5. Ανάλυση χρωματικών παραμέτρων συστήματος CIE.



Τα δείγματα άλευρων καρπού στη συνέχεια επανυδατώθηκαν στην ίδια περιεκτικότητα σε υγρασία με τον αρχικό χυμό. Η ποσότητα του απεσταγμένου νερού ανά γραμμάριο άλευρου υπολογίστηκε έτσι ώστε κάθε επανυδατωμένο δείγμα να έχει τα °Brix του αρχικού χυμού. Έπειτα έγινε ξανά μέτρηση του χρώματος και η διαφορά σε σχέση με τον αρχικό χυμό υπολογίστηκε με την εξίσωση:

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

Όπου,  $L_0$ ,  $a_0$ ,  $b_0$  είναι οι χρωματικές παράμετροι του αρχικού χυμού και  $L$ ,  $a$ ,  $b$  οι χρωματικές παράμετροι του προϊόντος υπό ανασύσταση.

### 3.7. Προσδιορισμός πυκνότητας

Η μέτρηση έγινε τοποθετώντας τα άλευρα κάθε δείγματος μέσα σε προζυγισμένο ογκομετρικό κύλινδρο και χτυπώντας με το χέρι τον πάτο, μέχρι να συμπληρωθούν 10 ml (μέχρι τη χαραγή). Στη συνέχεια, έγινε ζύγιση και η πυκνότητα υπολογίστηκε από το λόγο της μάζας του υλικού προς τον όγκο του (g/ml). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 3 επαναλήψεις σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το πορώδες υπολογίζεται από την σχέση:

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\pi\rho} - \rho_{\varphi}}{\rho_{\pi\rho}}$$

Όπου  $\rho_{\pi\rho}$  η πραγματική πυκνότητα και  $\rho_{\varphi}$  η φαινόμενη πυκνότητα.

### 3.8. Προσδιορισμός Διαλυτότητας

Η μέτρηση της διαλυτότητας των άλευρων έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο των Ayadi et. al. (2009). Αρχικά ζυγίστηκαν 2,5 g δείγματος και διαλύθηκαν σε 30 ml απεσταγμένου νερού στους 90 °C με συνεχή ανάδευση για 15 min. Η πάστα που δημιουργήθηκε, αφέθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι να κρυώσει και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκε στις 3000 rpm για 10 min (Ecospin, Sorval Instruments). Το υπερκείμενο τοποθετήθηκε σε μικρές προζυγισμένες κάψες και έγινε εξάτμιση του στους 110 °C για 3 ώρες.

Η μέτρηση κάθε δείγματος έγινε σε 2 επαναλήψεις. Η διαλυτότητα (%) υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση :

$$\text{Διαλυτότητα(\%)} = \frac{Ws}{Wds} \times 100$$

Όπου  $Ws$ : το βάρος των διαλυμένων στερεών στο υπερκείμενο υγρό και  $Wds$ : βάρος ξηρών στερεών.

### 3.9. Προσδιορισμός Φυτικών Ινών

Η μέτρηση των φυτικών ινών στο αλεύρο του βλαστού έγινε σύμφωνα με την AOAC Method 991.42.

#### Αντιδραστήρια

- Αιθανόλη 95% v/v.
- Αιθανόλη 78% v/v.
- Ακετόνη.
- Ένζυμα ( $\alpha$ -Amylase, Protease, Amyloglucosidase) (Megazyme, Ireland).
- Celite<sup>®</sup> (Megazyme, Ireland) που χρησιμοποιείται ως βοήθημα διήθησης.
- MES/TRIS buffer 0,05M, pH 8,2 (Megazyme, Ireland) που χρησιμοποιείται ως ρυθμιστικός παράγοντας.
- Οξικό οξύ

Αρχικά ζυγίζονται ακριβώς 1 g δείγματος μέσα σε γυάλινο δοχείο και προστίθενται 40 ml του ρυθμιστικού παράγοντα MES/TRIS. Γίνεται ανάδευση μέχρι να διαλυθεί τελείως το μίγμα ώστε να μην υπάρχουν σβόλοι. Η διαδικασία πραγματοποιείται ταυτόχρονα σε 2 επαναλήψεις. Στη συνέχεια προστέθηκαν με μηχανική πιπέτα 50  $\mu$ L  $\alpha$ -Amylase και έγινε ανάδευση. Τα δοχεία τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 80 °C για 35 min με ανάδευση. Έπειτα με τη βοήθεια κρύου νερού, το νερό του υδατόλουτρο ρυθμίστηκε στους 60 °C, ενώ στα δοχεία προστέθηκαν 100  $\mu$ L Protease και συνεχίστηκε η ανάδευση μέσα στο υδατόλουτρο στους 60 °C για 30 min. Αφού βγήκαν από το υδατόλουτρο προστέθηκαν 5 ml οξικού οξέος ενώ αναδεύονταν ώστε να ρυθμιστεί το pH. Τέλος προστέθηκαν 200  $\mu$ L Amyloglucosidase και μπήκαν σε υδατόλουτρο στους 60 °C για 30 min για απομάκρυνση των συστατικών του αμύλου.

Η μέθοδος ακολουθείται από τη διαδικασία της διήθησης. Για την προαιτημασία των ηθμών διήθησης, ζυγίστηκε 1 g Celite<sup>®</sup> μέσα στους ηθμούς και τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 105 °C για όλη νύχτα. Στη συνέχεια οι ηθμοί αφού κρυώσουν μέσα σε ξηραντήριο, ζυγίζονται για να προσδιοριστεί το απόβαρο.

Για τον υπολογισμό των αδιάλυτων φυτικών ινών ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Οι ηθμοί βράχηκαν με λίγο απεσταγμένο νερό, ώστε να "πετρώσει" το Celite<sup>®</sup> και έπειτα έγινε η διήθηση του μίγματος με το δείγμα. Το ίζημα που μένει στους ηθμούς τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 105 °C για όλη νύχτα και την επόμενη μέρα ζυγίστηκε ώστε να υπολογιστούν οι αδιάλυτες φυτικές ίνες αφερώντας το απόβαρο. Το υγρό που κρατήθηκε από τη διήθηση τοποθετήθηκε σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσεως 600 ml και ζυγίστηκε για να υπολογιστούν οι διαλυτές φυτικές ίνες. Στο ποτήρι ζέσεως προστέθηκαν απιονισμένο νερό μέχρι το βάρος να γίνει 80 g και έπειτα προστέθηκαν 320 ml Αιθανόλης 95% v/v και αφέθηκε σε ηρεμία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 60 min.

Για τον υπολογισμό των διαλυτών φυτικών ινών ακολούθησε πάλι διήθηση. Το μίγμα στο ποτήρι ζέσεως διηθήθηκε μέσω των ηθμών και το ίζημα τοποθετήθηκε σε φούρνο στους 105 °C για όλη νύχτα και την επόμενη μέρα ζυγίστηκε ώστε να υπολογιστούν οι διαλυτές φυτικές ίνες αφερώντας το απόβαρο.

Στην μέθοδο είχε προηγηθεί μέτρηση τυφλών διαλυμάτων. Επομένως, ο προσδιορισμός των ολικών φυτικών ινών προκύπτει από την πρόσθεση των διαλυτών και των αδιάλυτων φυτικών ινών.

### 3.10. Προσδιορισμός σακχάρων

Η συγκέντρωση των σακχάρων προσδιορίστηκε με Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (Prominence, Shimadzu, Kyoto, Japan) εξοπλισμένη με μία στήλη Aminex HPX-87H (BioRad, Hercules, CA, USA), συνδεδεμένη με ένα διαφορικό διαθλασίμετρο (RID-10A, Shimadzu, Kyoto, Japan). Η κινητή φάση ήταν ένα υδατικό διάλυμα 10 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> με ταχύτητα ροής 0.6 mL min<sup>-1</sup>. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 3 επαναλήψεις, αρχικά στον χυμό στην αρχική του κατάσταση χωρίς επεξεργασία και στη συνέχεια στον χυμό που φυγοκεντρήθηκε για την απομάκρυνση των ινών.

### 3.11. Προσδιορισμός θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης (T<sub>g</sub>)

Η μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων και συγκεκριμένα της θερμοκρασίας υαλώδους μετάβασης (T<sub>g</sub>) γίνεται με τη χρήση της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC) προκειμένου να εκτιμηθούν οι κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης των αλεύρων, με τη βοήθεια της συσκευής διαφορικής θερμιδομετρίας σάρωσης που βρίσκεται στο εργαστήριο (TA Instruments Q100 DSC).

Αρχικά ζυγίζονται 10 mg δείγματος και τοποθετούνται σε καψύλλια αλουμινίου τα οποία σφραγίζονται ερμητικά με τη βοήθεια πρέσας συμπίεσης κι έπειτα τοποθετούνται στη συσκευή DSC. Για κάθε δείγμα χρησιμοποιείται αντίστοιχα και ένα άδειο καψύλλιο ως τυφλό δείγμα. Για τη μέτρηση ακολούθηθηκε η μέθοδος των Caliscan et.al. (2015) καθώς χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή για μέτρηση σε άλευρο από ακτινίδιο. Τα δείγματα θερμάνθηκαν από τη θερμοκρασία των -40 °C έως 120 °C, με ρυθμό 10 °C/min. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται με χρήση του λογισμικού TA Instruments Universal analysis. Το θερμογράφημα που προκύπτει από την DSC προσδιορίζει την έναρξη (onset), το μέσο (midpoint) και το καταληκτικό σημείο (endpoint). Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης υπολογίζεται ως το μέσο του αρχικού και του καταληκτικού σημείου.



**Εικόνα 3.6.** Συσκευή Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σάρωσης (DSC).

### **3.12. Στατιστική Επεξεργασία**

Για την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων εφαρμόστηκαν στατιστικά εργαλεία παραμετρικής ανάλυσης (ANOVA) για τον έλεγχο σημαντικότητας. Η στατιστική επεξεργασία έγινε με το πρόγραμμα Statgraphics 18 (Statgraphics, Rockville, Md, USA). Η μέθοδος Fisher LSD χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των σημαντικών διαφορών μεταξύ των δειγμάτων. Σημαντική θεωρήθηκε μια τιμή-  $p$  μικρότερη του 0,05.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1. Προσδιορισμός Φυσικοχημικών ιδιοτήτων καρπού

Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του καρπού-χυμού φραγκοσυκιάς παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

**Πίνακας 4.1.** Φυσικοχημικές ιδιότητες χυμού.

<sup>o</sup> Brix	11.06 ± 0.11
pH	6.24 ± 0.01
a <sub>w</sub>	0.97 ± 0.004
Νερό (%)	87.43 ± 0.12
<u>Σάκχαρα (g/L)</u>	
Γλυκόζη	36.61 ± 0.45
Φρουκτόζη	36.69 ± 0.37
Σουκρόζη	0.16 ± 0.02
<u>Χρώμα</u>	
L	20.9 ± 0.46
a	3.60 ± 0.92
b	6.73 ± 2.09

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις έγιναν μετά τη φυγοκέντριση του χυμού και την απομάκρυνση των ινών. Τα αποτελέσματα των τιμών του pH, της ενεργότητας νερού και της υγρασίας συμφωνούν με αυτά των *Medina et. al. (2007)* και *Vergara et. al. (2014)*, ενώ τα διαλυτά στερεά συστατικά παρουσιάζονται σε ελαφρώς μικρότερη ποσότητα ( $14.05 \pm 1.87$ ) λόγω της απουσίας των φυτικών ινών. Τα αποτελέσματα του προσδιορισμού των σακχάρων συμφωνούν περίπου με τους *El Kossori et. al. (1998)* και *Jimenez-Aguilar et. al. (2014)*, οι οποίοι βρήκαν ότι η ποσότητα είναι 0.2 g/L σουκρόζη, 35 g/L γλυκόζη και 29.6 g/L φρουκτόζη, ενώ για τις ιδιότητες του χρώματος δεν βρέθηκε κάποια παρόμοια μέτρηση σε χυμό φραγκόσυκου ίδιου χρώματος, παρά μόνο σε χυμό χρώματος κόκκινο-μωβ (*Rodriguez-Hernandez et. al. 2005*). Το χρώμα του χυμού θα μπορούσε να περιγραφεί ως πολύ σκούρο και ελκυστικό για τους καταναλωτές, πορτοκαλί-κόκκινο. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η πολύ υψηλή τιμή του pH και η παρουσία των σακχάρων, έχουν ως αποτέλεσμα ο χυμός-καρπός να είναι εξαιρετικά ευαίσθητος σε μικροοργανισμούς, επομένως θα πρέπει να καταναλώνεται φρέσκος ή να εφαρμόζεται κάποια θερμική επεξεργασία.

### 4.2. Προσδιορισμός φυσικών ιδιοτήτων βλαστού

Τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του βλαστού φραγκοσυκιάς παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

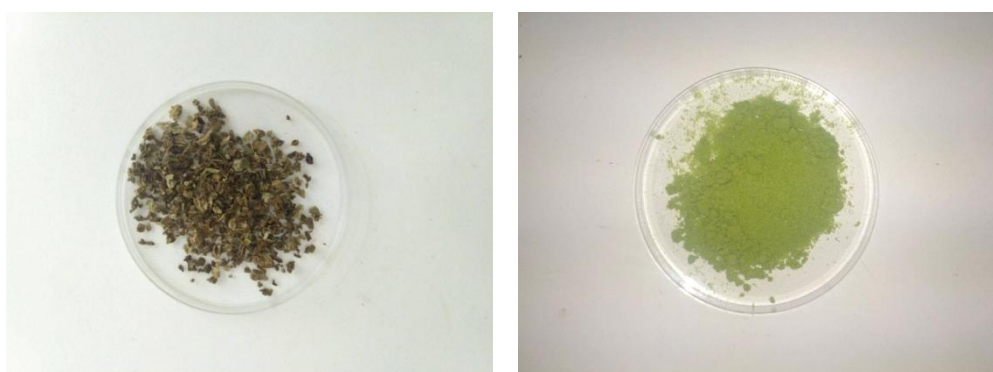
#### Πίνακας 4.2. Φυσικές ιδιότητες βλαστού.

pH	4.52 ± 0.005
Υγρασία (%)	92.63 ± 0.35
<u>Χρώμα</u>	
L	56.02 ± 1.41
a	-8.68 ± 2.13
b	31.40 ± 3.55

Τα αποτελέσματα των τιμών pH και υγρασίας συμφωνούν περίπου με τους *Ayadi et. al. (2009)* και *Moreno-Alvarez et. al. (2009)*, οι οποίοι βρήκαν pH 4.02 και 4.3 αντίστοιχα και υγρασία 91.04 και 88.66% αντίστοιχα. Οι λίγο υψηλότερες τιμές των αποτελεσμάτων σε σχέση με τη βιβλιογραφία ίσως οφείλεται στον καθαρισμό των βλαστών και την αποφλοιώση τους, κάτι που δεν έγινε στις παραπάνω μεθόδους. Για τις ιδιότητες του χρώματος δεν βρέθηκε κάποια παρόμοια μέτρηση πάνω σε βλαστούς, αλλά μόνο σε άλευρα βλαστού. Το χρώμα περιγράφεται ως ανοιχτό πράσινο-λαχανί όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις αρνητικές τιμές του a που αντιστοιχούν σε πράσινο και τις θετικές του b που αντιστοιχούν σε κίτρινο χρωματισμό. Η μέτρηση του χρώματος στο βλαστό, όπως και στον καρπό-χυμό έγινε για τη σύγκριση με τα άλευρα, έχοντας το χρώμα ως ποιοτικό παράγοντα.

#### 4.3. Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων άλευρου από βλαστό

Αρχικά γίνεται μία σύγκριση μεταξύ των μεθόδων ξήρανσης στο βλαστό, όσον αφορά κάποιες φυσικές ιδιότητες στα άλευρα, η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3.



**Εικόνα 4.1.** α) άλευρο βλαστού από ξήρανση θερμού αέρα. β) άλευρο βλαστού από λυοφιλίωση.

**Πίνακας 4.3.** Φυσικές ιδιότητες αλεύρων του βλαστού.\*

	H	F	V
$a_w$	$0.65 \pm 0.01^b$	$0.31 \pm 0.007^a$	-
Υγρασία (%)	$15.4 \pm 0.26^b$	$9.87 \pm 0.16^a$	-
<u>Χρώμα</u>			
L	$35.47 \pm 0.58^a$	$52.68 \pm 2.84^b$	$56.02 \pm 1.41^b$
a	$-2.90 \pm 0.04^b$	$-6.73 \pm 0.34^a$	$-8.68 \pm 2.13^a$
b	$22.12 \pm 0.98^a$	$31.54 \pm 0.46^b$	$31.40 \pm 3.55^b$

\*Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση; οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά ( $p < 0.05$ ). H= μέθοδος ξήρανσης με ρεύμα θερμού αέρα, F= μέθοδος ξήρανσης με λυοφιλίωση, V= βλαστός.

<sup>a</sup>: χαμηλότερες τιμές

<sup>b</sup>: υψηλότερες τιμές

Επίσης γίνεται σύγκριση στο χρώμα των αλεύρων σε σχέση με το βλαστό. Η ποιότητα του αλεύρου από ξήρανση θερμού αέρα είναι εμφανώς υποβαθμισμένη και δεν λήφθηκαν άλλες μετρήσεις από αυτό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων όσον αφορά την ενεργότητα νερού και την υγρασία, η οποία είναι πολύ μικρότερη με τη μέθοδο της λυοφιλίωσης. Η χαμηλή ενεργότητα νερού είναι απαραίτητη για τη σταθερότητα ενός προϊόντος κατά την αποθήκευση, καθώς περιορίζει την ποσότητα ελεύθερου νερού που χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξή τους. Τιμές  $a_w$  κάτω από 0.6 θεωρούνται μικροβιολογικά σταθερές, ενώ τιμές μεταξύ 0.2 και 0.4 εξασφαλίζουν τη σταθερότητα του προϊόντος και αποφεύγονται οι υδρολυτικές αντιδράσεις και η ενζυμική δραστηριότητα. Επομένως, το άλευρο που προέρχεται από λυοφιλίωση θα λέγαμε ότι είναι σχετικά ασφαλές.

Όσον αφορά το χρώμα, παρατηρείται στατιστικά σημαντική διαφορά σε όλες τις παραμέτρους μεταξύ των δύο μεθόδων, ενώ φαίνεται ότι η μέθοδος της λυοφιλίωσης δίνει προϊόντα που δεν διαφέρουν σε φωτεινότητα και δεν χάνεται το πράσινο χρώμα, δηλαδή διατηρείται αυτός ο ποιοτικός παράγοντας κατά την ξήρανση υπό κατάψυξη όπως αναφέρουν οι *Karam et. al. (2016)*.

Στον παρακάτω πίνακα 4.4, παρουσιάζονται κάποια περαιτέρω φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του προϊόντος λυοφιλίωσης, τα οποία θα συγκριθούν στη συνέχεια με άλευρα που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αρτοσκευάσματα.

**Πίνακας 4.4.** Φυσικοχημικές ιδιότητες άλευρου του βλαστού ως προϊόν λυοφιλίωσης.

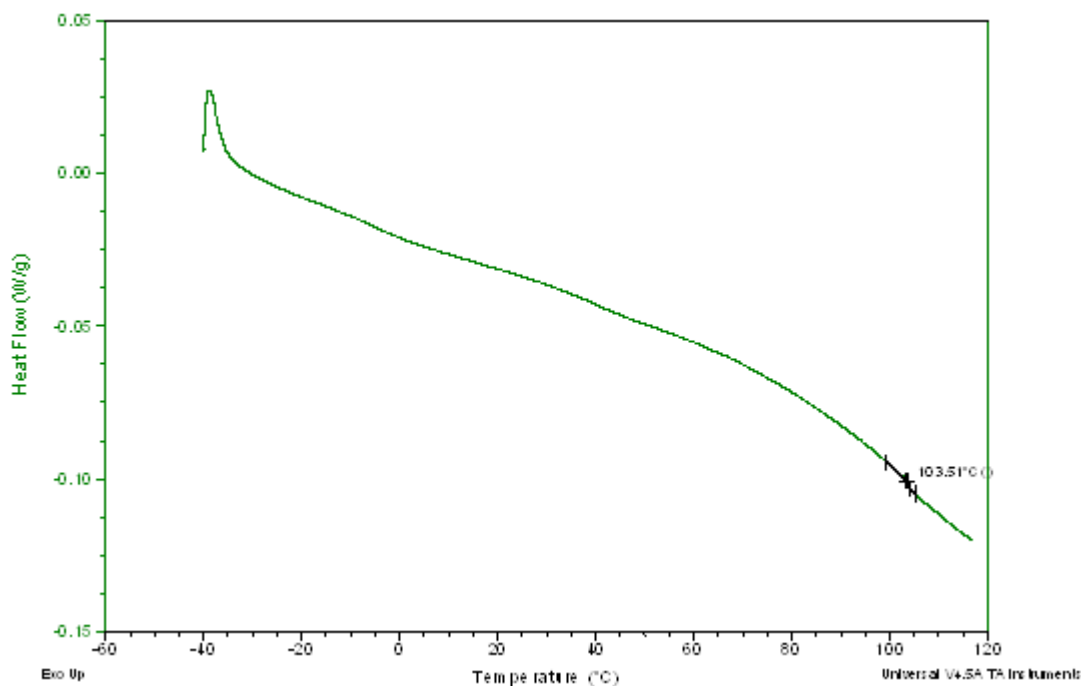
<u>Πυκνότητα (g/mL)</u>	
Πραγματική (στερεών)	0.149 ± 0.005
Φαινόμενη	0.100 ± 0.002
Διαλυτότητα (%)	27.2 ± 1.13
<u>Φυτικές ίνες (%)*</u>	53 ± 2.82
Διαλυτές	15 ± 2.82
Αδιάλυτες	38 ± 5.65

\* % των ολικών υδατανθράκων. Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος ± τυπική απόκλιση.

Οι έως τώρα μελέτες που έχουν γίνει για την παραγωγή άλευρου από το βλαστό της φραγκοσυκιάς, χρησιμοποιούσαν ως μοναδική μέθοδο ξήρανσης, την ξήρανση σε φούρνο με ρεύμα θερμού αέρα. Η πυκνότητα που μετρήθηκε ήταν 0.100 g/mL, ενώ σύμφωνα με τους *Ayadi et. al. (2009)* που χρησιμοποίησαν ξήρανση σε φούρνο, η πυκνότητα των άλευρων ήταν 0.647 g/mL, κάτι που είναι λογικό σύμφωνα με τους *Krokida et. al. (1997)*, οι οποίοι ανάμεσα σε πέντε μεθόδους ξήρανσης (συμβατική, υπό κενό, με μικροκύματα, λυοφιλίωση και ωσμωτική αφυδάτωση) σε μπανάνα, μήλο, καρότο και πατάτα, βρήκαν ότι η μέθοδος της λυοφιλίωσης δίνει την μικρότερη πυκνότητα. Η έννοια της πυκνότητας και του πορώδους στα τρόφιμα είναι ιδιαίτερα σημαντικές καθώς καθορίζουν τη συσκευασία και αποθήκευση, καθώς τα άλευρα με υψηλό πορώδες και μικρή πυκνότητα δημιουργούν αρκετά κενά μεταξύ των σωματιδίων που επιτρέπουν την παρουσία οξυγόνου και αντιδράσεων οξείδωσης.

Το αποτέλεσμα της διαλυτότητας είναι παρόμοιο με αυτό των *Ayadi et. al. (2009)*, οι οποίοι βρήκαν ποσοστό διαλυτότητας 27.84%. Η διαλυτότητα αναφέρεται στο ρυθμό στον οποίο τα συστατικά των σωματιδίων ενός άλευρου διαλύονται στο νερό και εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση του αλεύρου. Το ποσοστό φυτικών ινών είναι μεγαλύτερο από αυτό του *Saenz (1997)* ο οποίος παρήγαγε άλευρο βλαστού φραγκοσυκιάς με 42.99% φυτικές ίνες εκ των οποίων 14.54% διαλυτές και 28.45% αδιάλυτες.





**Διάγραμμα 4.1.** Θερμογράφημα DSC του άλευρου βλαστού.

Σύμφωνα με το θερμογράφημα προκύπτει ότι η θερμοκρασία ναλώδους μετάβασης στο άλευρο του βλαστού είναι 103.51 °C. Παρόμοιο σχετικά αποτέλεσμα (122 °C) έχουν βρει σε μελέτη πάνω σε βλαστούς φραγκόσκου και οι *Contreras-Pantilla et. al. (2011)*, οι οποίοι μάλιστα συγκρίνουν τα θερμογραφήματα των διαλυτών και αδιάλυτων ινών του βλαστού, ενώ οι *Leon-Martinez et. al. (2010)*, έχουν βρει την θερμοκρασία ναλώδους μετάβασης της κολλώδους ουσίας του βλαστού στους 45 °C. Για την ασφαλή αποθήκευση και σταθερότητα των αλεύρων, θα πρέπει αυτά να διατηρούνται σε θερμοκρασία κάτω από τη θερμοκρασία ναλώδους μετάπτωσης (*Caliskan et. al. 2015*).

#### 4.4. Προσδιορισμός Φυσικών ιδιοτήτων αλεύρου από καρπό



**Εικόνα 4.2.** (a)(b) άλευρα καρπού από ξήρανση με ψεκάσμο 25% και 35% μαλτοδεξτρίνη αντίστοιχα, (c)(d) άλευρα καρπού από λυοφιλίωση 25% και 35% μαλτοδεξτρίνη αντίστοιχα.

**Πίνακας 4.5.** Φυσικές ιδιότητες άλευρων του καρπού.\*

	$\Phi_{25}$	$A_{25}$	$\Phi_{35}$	$A_{35}$
$a_w$	$0.38 \pm 0.002^c$	$0.17 \pm 0.003^a$	$0.37 \pm 0.001^c$	$0.20 \pm 0.006^b$
Υγρασία (%)	$6.54 \pm 0.30^c$	$5.41 \pm 0.21^a$	$6.22 \pm 0.06^{bc}$	$5.97 \pm 0.02^b$
<u>Χρώμα</u>				
L	$87.76 \pm 0.30^c$	$69.03 \pm 0.05^a$	$88.64 \pm 0.46^d$	$71.69 \pm 0.10^b$
a	$2.95 \pm 0.03^a$	$8.69 \pm 0.21^b$	$3.15 \pm 0.03^a$	$9.68 \pm 0.02^c$
b	$6.84 \pm 0.13^b$	$12.10 \pm 0.12^c$	$4.63 \pm 0.05^a$	$12.26 \pm 0.04^c$
<u>Πυκνότητα</u>				
<u>(g/mL)</u>				
Πραγματική	$0.430 \pm 0.02^a$	$0.533 \pm 0.008^b$	$0.458 \pm 0.019^a$	$0.664 \pm 0.012^c$
Φαινόμενη	$0.283 \pm 0.011^a$	$0.447 \pm 0.012^b$	$0.284 \pm 0.005^a$	$0.568 \pm 0.013^c$
Πορώδες (%)	$34.07 \pm 0.02$	$16.18 \pm 0.00$	$37.89 \pm 0.01$	$14.40 \pm 0.00$
Διαλυτότητα (%)	$98.34 \pm 0.08^b$	$98.6 \pm 0.56^b$	$96.44 \pm 0.46^a$	$98.2 \pm 1.13^{ab}$

\*Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος  $\pm$  τυπική απόκλιση· οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά ( $p < 0.05$ ).  $\Phi_{25}$ = ξήρανση με ψεκασμό (25% μαλτοδεξτρίνη),  $A_{25}$ = λυοφιλίωση (25% μαλτοδεξτρίνη),  $\Phi_{35}$ = ξήρανση με ψεκασμό (35% μαλτοδεξτρίνη),  $A_{35}$ = λυοφιλίωση (35% μαλτοδεξτρίνη).

Τα αποτελέσματα των φυσικών ιδιοτήτων στα άλευρα του καρπού φραγκοσυκιάς παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5. Αρχικά, θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι όλες οι ιδιότητες πλην της διαλυτότητας, μεταξύ των δειγμάτων που ξηράνθηκαν με ψεκασμό και των λυοφιλωμένων δειγμάτων, όταν συγκρίνονται συνολικά όλα τα δείγματα μαζί, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Το ποσοστό διαλυτότητας είναι ιδιαίτερα υψηλό σε όλα τα δείγματα όπως είναι λογικό αφού περιλαμβάνουν μαλτοδεξτρίνη και διαλυτά σάκχαρα.

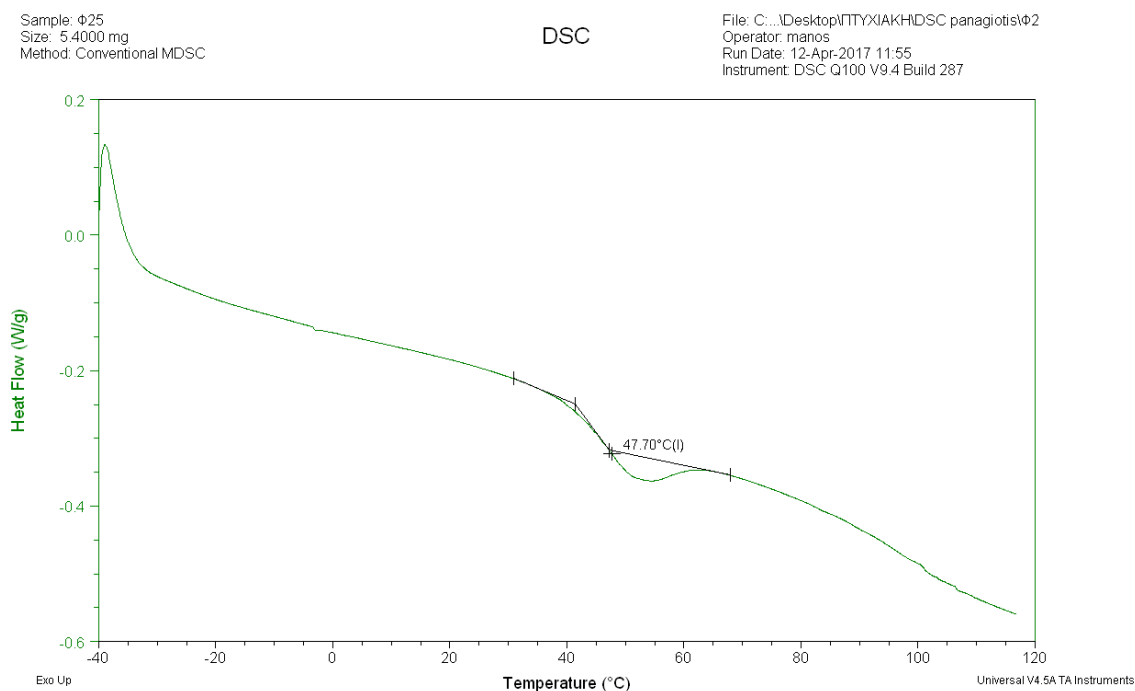
Η αύξηση της μαλτοδεξτρίνης στα δείγματα της ξήρανσης με ψεκασμό παρατηρούμε ότι προκαλεί μία μικρή μείωση στην ενεργότητα νερού και την υγρασία, όπως συμβαίνει και σύμφωνα με τους *Ruiz-Gutierrez et al. (2014)*, οι οποίοι όμως χρησιμοποίησαν διαφορετικό βοηθητικό φορέα ξήρανσης και βρήκαν ότι με την αύξηση του φορέα, παρατηρείται μείωση του  $a_w$  και αύξηση της πυκνότητας. Το ίδιο συμβαίνει σε άλευρο πεπονιού (*Quek et al. 2007*) και ακτινίδιου (*Caliskan et al. 2015*). Από τα αποτελέσματα προκύπτει επίσης ότι σύμφωνα με τις τιμές ενεργότητας νερού, τα δείγματα είναι σχετικά σταθερά μικροβιακά, ωστόσο λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σακχάρων που είναι πολύ υγροσκοπικά, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε τέτοιου είδους άλευρα στις συνθήκες αποθήκευσης τους.

Το χρώμα βλέποντας τις τιμές  $L^*$  του πίνακα 3.5 είναι πιο φωτεινό στα δείγματα των άλευρων που προέρχονται από ξήρανση με ψεκασμό, σε σχέση με αυτά της λυοφιλίωσης, το οποίο θα μπορούσε να δηλώσει ποιοτική υποβάθμιση λόγω της πολύ υψηλής θερμοκρασίας που απαιτεί η συγκεκριμένη μέθοδος ξήρανσης. Όπως θα δούμε όμως παρακάτω στα αποτελέσματα του ανασυσταμένου χυμού, οι χρωστικές διατηρούνται, επομένως η τιμή της φωτεινότητας οφείλεται στο χρώμα της μαλτοδεξτρίνης που είναι στην επιφάνεια και δημιουργεί το περίβλημα των κόκκων ( $L = 98.05 \pm 0.04$ ,  $a = 0.17 \pm 0.05$ ,  $b = 0.94 \pm 0.06$ ). Η διαφορά του χρώματος φαίνεται

και οπτικά στην Εικόνα 3.2 κατά την οποία τα  $\Phi_{25}$ ,  $\Phi_{35}$  δείγματα έχουν σχεδόν λευκό χρώμα, λόγω της υψηλής τιμής L, ενώ τα δείγματα λυοφιλίωσης  $A_{25}$ ,  $A_{35}$ , διατηρούν ένα πορτοκαλί-κίτρινο χρώμα, λόγω της υψηλής τιμής a και b. Επίσης παρατηρείται ότι οι τιμές  $a^*$  είναι υψηλότερες στα λυοφιλωμένα δείγματα και παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά, δηλαδή το χρώμα τους είναι πιο κοκκινωπό, καθώς επίσης και οι τιμές  $b^*$  δηλαδή το χρώμα τους πλησιάζει πιο πολύ στο κίτρινο.

Σε αντίθεση με τα  $\Phi_{25}$ ,  $\Phi_{35}$ , και στη βιβλιογραφία που αναφέρθηκε που αφορά τα άλευρα από ξήρανση με ψεκασμό, στον πίνακα 3.5 παρατηρείται ότι στα άλευρα λυοφιλίωσης, με την αύξηση της μαλτοδεξτρίνης, αυξάνονται η ενεργότητα νερού και η υγρασία, ενώ η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με τους *Oberoi et. al. (2015)* σε άλευρα πεπονιού και *Canuto et. al. (2014)* σε άλευρα παπάγιας, και μπορεί να οφείλεται στο υψηλό ποσοστό άμορφων σακχάρων που έχουν υψηλή υγροσκοπιμότητα και έτσι απορροφούν περισσότερο ελεύθερο νερό.

Όσον αφορά την πυκνότητα, παρατηρείται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων ξήρανσης, ενώ υπάρχει μία σχετική αύξηση της πυκνότητας, με την αύξηση της συγκέντρωσης της μαλτοδεξτρίνης. Η μικρότερη πυκνότητα στα δείγματα της ξήρανσης με ψεκασμό οφείλεται ίσως στην ταχύτερη εξάτμιση από τις υψηλές θερμοκρασίες της μεθόδου και το πολύ μικρότερο μέγεθος των σωματιδίων της σκόνης καθώς επίσης και στον σχηματισμό συσσωματωμάτων που έχει ως αποτέλεσμα το υψηλότερο ποσοστό πορώδους σε σχέση με τα άλευρα της λυοφιλίωσης.

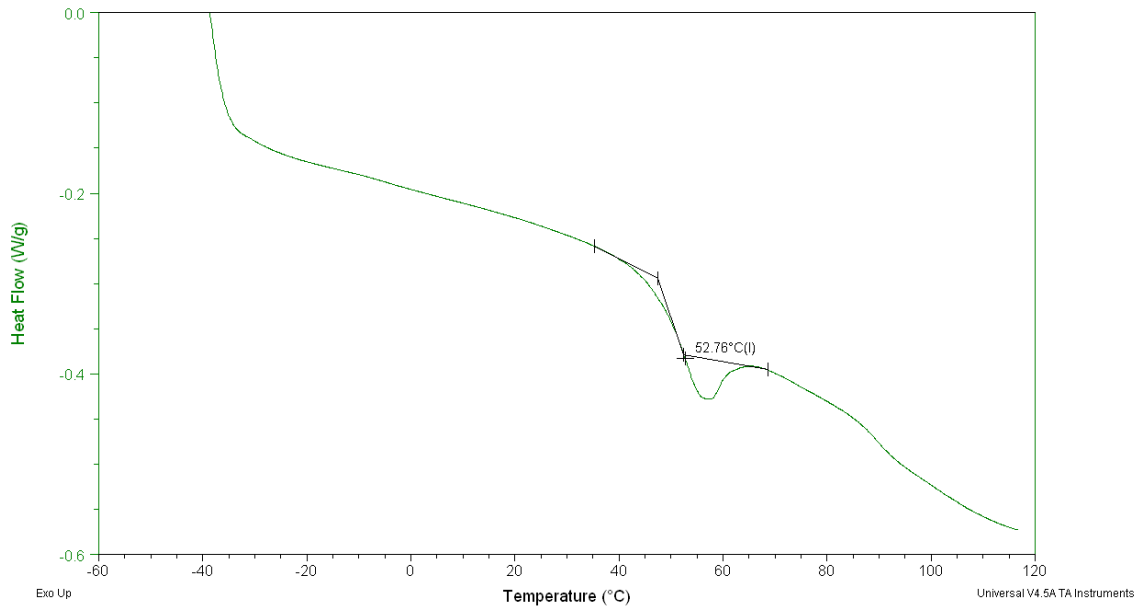


**Διάγραμμα 4.2.** Θερμογράφημα DSC του άλευρου καρπού ξήρανσης με ψεκασμό (25% μαλτοδεξτρίνη).

Sample: φ35  
Size: 5.4000 mg  
Method: Conventional MDSC

DSC

File: C:\...Desktop\ΠΤΥΧΙΑΚΗ\DSC panagiotis\φ3  
Operator: manos  
Run Date: 12-Apr-2017 13:01  
Instrument: DSC Q100 V9.4 Build 287

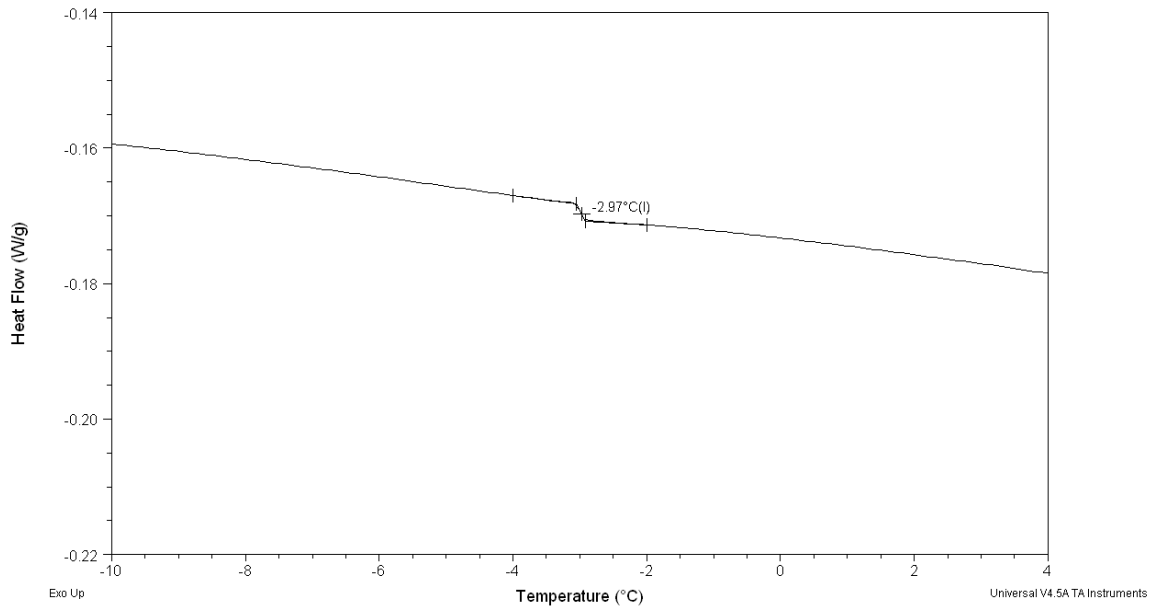


**Διάγραμμα 4.3.** Θερμογράφημα DSC του άλευρου καρπού ξήρανης με ψεκάσμο (35% μαλτοδεξτρίνη).

Sample: α  
Size: 5.7000 mg  
Method: Conventional MDSC

DSC

File: C:\...Desktop\ΠΤΥΧΙΑΚΗ\DSC panagiotis\α  
Operator: manos  
Run Date: 12-Apr-2017 14:20  
Instrument: DSC Q100 V9.4 Build 287

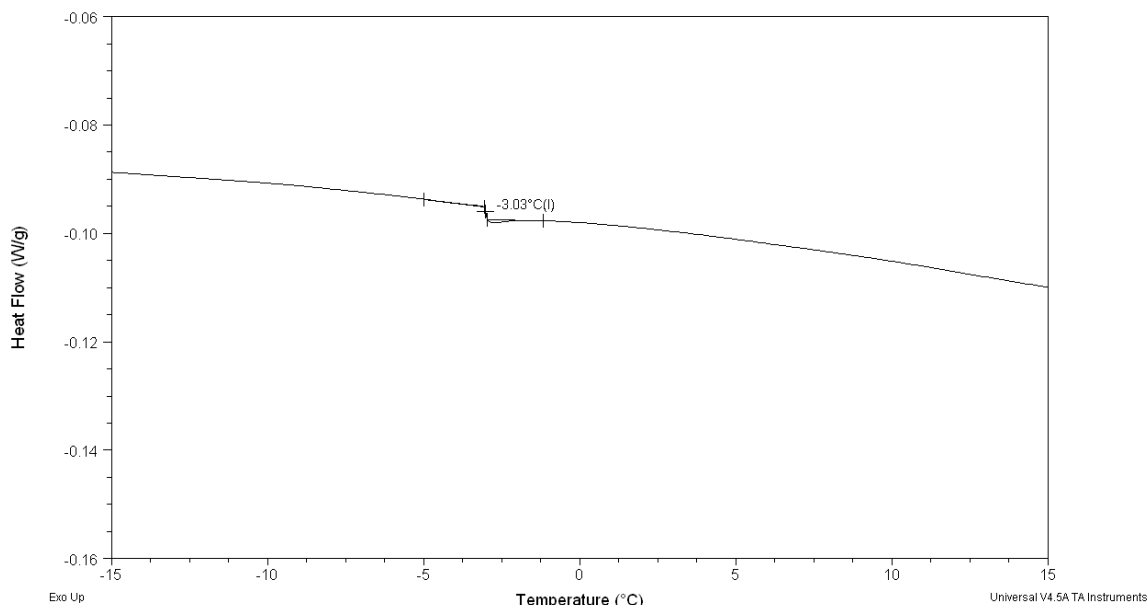


**Διάγραμμα 4.4.** Θερμογράφημα DSC του άλευρου καρπού ξήρανης με κατάψυξη (25% μαλτοδεξτρίνη).

Sample: β  
Size: 10.2000 mg  
Method: Conventional MDSC

DSC

File: C:\...Desktop\ΠΤΥΧΙΑΚΗ\DSC panagiotis\β  
Operator: manos  
Run Date: 12-Apr-2017 15:11  
Instrument: DSC Q100 V9.4 Build 287



**Διάγραμμα 4.5.** Θερμογράφημα DSC του άλευρου καρπού ξήρανης με κατάψυξη (35% μαλτοδεξτρίνη).

Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών υαλώδους μετάπτωσης στις δύο διαφορετικές μεθόδους ξήρανης, με δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις μαλτοδεξτρίνης. Στα δείγματα της ξήρανης με ψεκασμό, παρατηρείται ότι με την αύξηση της μαλτοδεξτρίνης, αυξήθηκε η τιμή T<sub>g</sub>, από 47.7 °C πήγε στους 52.76 °C, όπως είναι λογικό αφού η μαλτοδεξτρίνη που χρησιμοποιήθηκε έχει θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης μεταξύ 141 και 160 °C. Αντίθετα, στα λυοφιλωμένα δείγματα δεν παρατηρείται μεγάλη διαφορά, παρά μόνο μία μικρή μείωση από τους -2.97 °C στους -3.03 °C, το οποίο ίσως οφείλεται στην αύξηση της υγρασίας. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ενεργότητα νερού και η περιεκτικότητα σε υγρασία ενός υλικού, είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους *Welti-Chanes et. al. (1999)*, ισχύει ότι όσο αυξάνεται η ενεργότητα νερού, μειώνεται η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης. Ωστόσο, τα τρόφιμα είναι πολύπλοκα συστήματα που αποτελούνται από πολλά διαφορετικά συστατικά, το κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετική θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να κατανοηθεί και να εκτιμηθεί πλήρως η συγκεκριμένη έννοια. Χαρακτηριστικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο καρπός του φραγκόσκου αποτελείται κυρίως από σάκχαρα Γλυκόζης με T<sub>g</sub>= 31 °C, Φρουκτόζης με T<sub>g</sub>= 5 °C και Σουκρόζης με T<sub>g</sub>= 62 °C (*Bhandari, 1999*). Η μαλτοδεξτρίνη εξυπηρετεί κυρίως αυτόν τον σκοπό, να αυξήσει δηλαδή τη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης ενός υλικού, καθώς εάν το υλικό υπερβαίνει τη θερμοκρασία αυτή, τότε δημιουργούνται προβλήματα κολλώδους κατάστασης και δημιουργούνται

συσσωματώματα, επομένως η μαλτοδεξτρίνη συντελεί στη σταθερότητα του προϊόντος κατά την αποθήκευση.

#### 4.5. Προσδιορισμός χρώματος στα ανασυσταθέντα προϊόντα

Το χρώμα των ανασυσταθέντων προϊόντων που προέκυψαν ύστερα από ενυδάτωση των άλευρων του καρπού παρουσιάζεται στον πίνακα 4.6.

**Πίνακας 4.6.** Χρωματικές παράμετροι των ανασυσταθέντων προϊόντων.

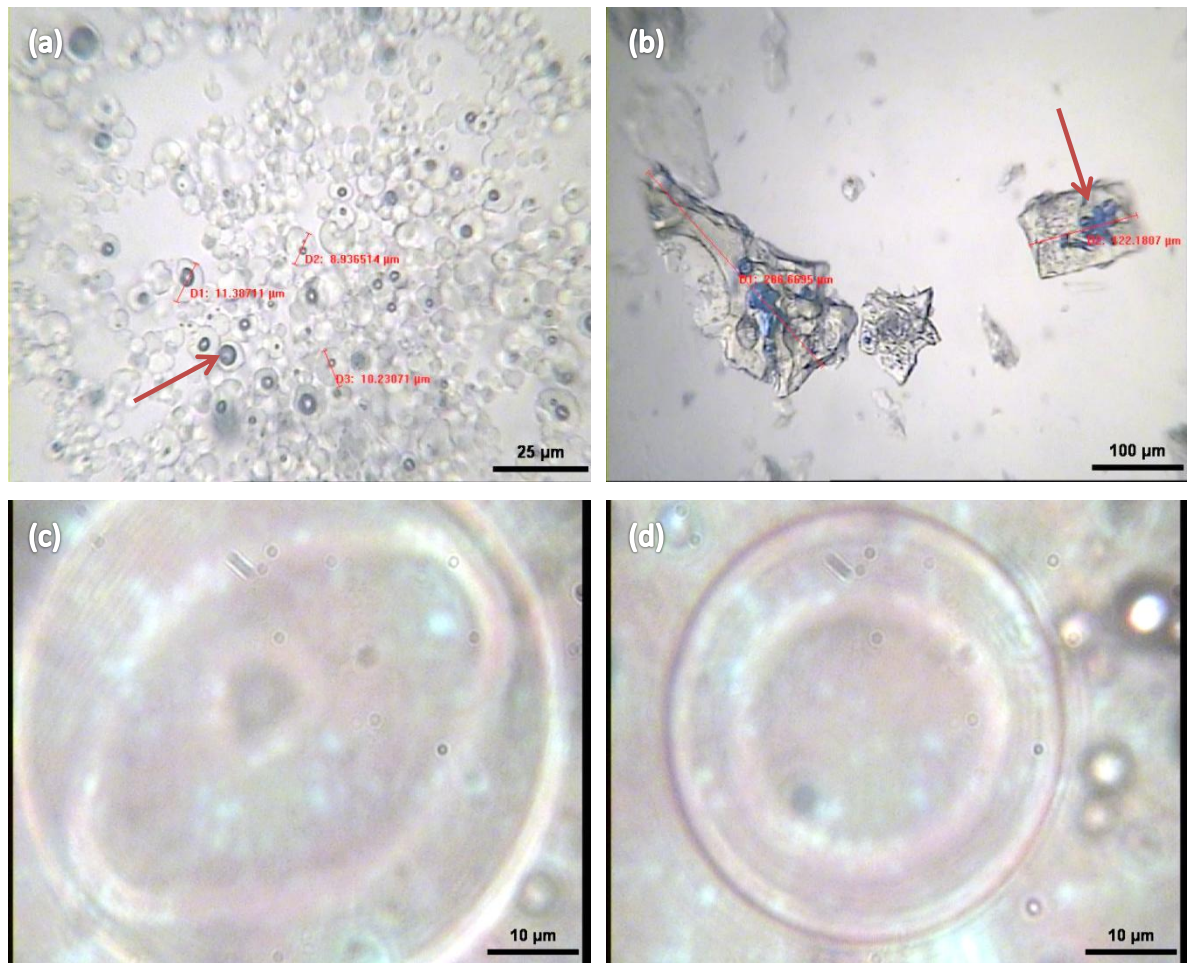
	Χυμός	Φ <sub>25</sub>	A <sub>25</sub>	Φ <sub>35</sub>	A <sub>35</sub>
<u>Χρώμα</u>					
L	20.9 ± 0.46 <sup>b</sup>	20.55 ± 0.17 <sup>ab</sup>	20.54 ± 0.34 <sup>ab</sup>	20.34 ± 0.20 <sup>a</sup>	20.25 ± 0.06 <sup>a</sup>
a	3.60 ± 0.92 <sup>a</sup>	3.52 ± 1.10 <sup>a</sup>	3.60 ± 1.65 <sup>a</sup>	3.37 ± 1.20 <sup>a</sup>	3.40 ± 1.10 <sup>a</sup>
b	6.73 ± 2.09 <sup>a</sup>	6.68 ± 2.19 <sup>a</sup>	7.42 ± 3.98 <sup>a</sup>	5.94 ± 1.03 <sup>a</sup>	5.93 ± 2.16 <sup>a</sup>
ΔΕ		0.72 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.91 ± 0.93 <sup>a</sup>	1.34 ± 0.68 <sup>a</sup>	1.11 ± 1.02 <sup>a</sup>

\*Οι τιμές είναι εκφρασμένες ως μέσος όρος ± τυπική απόκλιση· οι τιμές που έχουν διαφορετικά γράμματα στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά (p<0.05). Φ<sub>25</sub>= ξήρανση με ψεκασμό(25% μαλτοδεξτρίνη), A<sub>25</sub>= λυοφιλίωση (25% μαλτοδεξτρίνη), Φ<sub>35</sub>= ξήρανση με ψεκασμό (35% μαλτοδεξτρίνη), A<sub>35</sub>= λυοφιλίωση (35% μαλτοδεξτρίνη).

Από τον πίνακα προκύπτει ότι οι τιμές ΔΕ των δειγμάτων κυμαίνονται από 0.72 έως 1.91 και δεν είναι στατιστικά σημαντικές μεταξύ τους, επομένως η αλλαγή του χρώματος στο ανασυσταθέν προϊόν είναι πολύ μικρή και στις δύο μεθόδους που σημαίνει ότι οι χρωστικές ουσίες δεν έχουν χαθεί από τις διαδικασίες ξήρανσης, κάτι που παρατήρησαν και οι *Rodriguez-Hernandez et. al. (2005)* σε προϊόντα ανασύστασης άλευρων από ξήρανση με ψεκασμό, ενώ παρόμοια έρευνα δεν έχει πραγματοποιηθεί με προϊόντα λυοφιλίωσης. Στον πίνακα παρατηρείται επίσης μία στατιστικά σημαντική διαφορά στην παράμετρο L\* μεταξύ του αρχικού χυμού και των δειγμάτων με συγκέντρωση μαλτοδεξτρίνης 35%, το οποίο ίσως σημαίνει ότι η αύξηση της μαλτοδεξτρίνης μειώνει την φωτεινότητα του προϊόντος.

#### 4.6. Μορφολογία αλεύρων

Η εικόνα 4.3 παρουσιάζει τις οπτικές μικρογραφίες των αλεύρων καρπού που παράχθηκαν με τις δύο διαφορετικές μεθόδους ξήρανσης.



**Εικόνα 4.3.** Οπτική μικρογραφία των αλεύρων καρπού φραγκοσουκιάς: (a) ξήρανση με ψεκάσμο (40x), (b) ξήρανση με κατάψυξη (10x), (c)(d) μικροσωματίδιο αλεύρων ξήρανσης με ψεκάσμο (100x).

Σε πρώτη φάση παρατηρείται ότι τα μικροσωματίδια που παράγονται από την ξήρανση με ψεκάσμο είναι σφαιρικού σχήματος, χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου σύμφωνα με τους *Zotarelli et. al. (2017)* και σχηματίζουν συσσωματώματα, δηλαδή τα πρωτογενή σωματίδια συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγαλύτερα πορώδη σωματίδια, ενώ τα μικροσωματίδια που παράγονται από την λυοφιλίωση παρουσιάζουν ακανόνιστα σχήματα (εικ.4.3a,b). Επίσης, το μέγεθος των σωματιδίων είναι πολύ μικρότερο στα άλευρα από ξήρανση με ψεκάσμο (10.18μm) από εκείνα της λυοφιλίωσης (202.68μm). Το σχήμα και το μέγεθος των μικροσωματιδίων στις δύο μεθόδους ξήρανσης, εξηγεί τη διαφορά της πυκνότητας που όπως ειπώθηκε είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση της λυοφιλίωσης.

Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε στις παραπάνω εικόνες, την δημιουργία γαλακτωμάτων, όπως επισημαίνεται, τα οποία αποτελούνται από την μαλτοδεξτρίνη που περιβάλλει υγρούς υδατικούς πυρήνες που περιέχουν χρωστικές, έλαια και νερό. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρείται η παρουσία διπλού γαλακτώματος όπως διαφαίνεται καλύτερα στις εικ.4.3c,d. Το εξωτερικό περίβλημα των μικροσωματιδίων είναι λευκού χρώματος, το οποίο λόγω του υδρόφιλου χαρακτήρα της μαλτοδεξτρίνης

όταν έρχεται σε επαφή με νερό, διασπάται και απελευθερώνονται τα συστατικά που περιέχονται στο εσωτερικό των σωματιδίων. Με αυτό τον τρόπο ίσως μπορεί να εξηγηθεί το γεγονός ότι κατά την ανασύσταση του χυμού από τα άλευρα καρπού, δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες αλλαγές στο χρώμα σε σχέση με τον αρχικό χυμό. Γενικά, η μικροενθυλάκωση συστατικών μέσω διάφορων διεργασιών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και η ξήρανση με ψεκασμό και η λυοφιλίωση, χρησιμοποιείται συχνά στη Βιομηχανία Τροφίμων, αφού έτσι επιτυγχάνεται η σταθερότητα των εγκλεισμένων συστατικών και η ελεγχόμενη απελευθέρωση, επομένως βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα των πρόσθετων τροφίμων (Gouin, 2004). Παρόμοια διεργασία μικροενθυλάκωσης χρωστικής με ξήρανση με ψεκασμό πραγματοποιήσαν οι Osorio et. al. (2010), οι οποίοι κατάφεραν να απομονώσουν την ανθοκυανίνη από το τροπικό φρούτο *Bactris guineensis*.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η διερεύνηση επιδράσεων ξήρανσης στα φυσικά χαρακτηριστικά του βλαστού και του καρπού φραγκοσυκιάς έτσι ώστε να παραχθούν αφυδατωμένα προϊόντα με αποδεκτά χαρακτηριστικά ώστε να διατηρούνται για μεγαλύτερο διάστημα και για πιθανή ενσωμάτωση σε τρόφιμα. Οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την παραγωγή φραγκόσυκου σε σκόνη είναι ελάχιστες, καθώς η ξήρανση φρούτων είναι μία εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία, όμως η υψηλή διατροφική και φαρμακευτική αξία του φραγκόσυκου σε συνδιασμό με την ευκολία του φυτού να αναπτύσσεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα προσελκύει το ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια

Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα των φυσικών ιδιοτήτων του βλαστού και του καρπού φραγκοσυκιάς συμφωνούν με αντίστοιχα αποτελέσματα στη βιβλιογραφία. Όπως παρατηρήθηκε, η μέθοδος ξήρανσης επηρέασε τις ιδιότητες των αφυδατωμένων προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα,

- ❖ Η ενεργότητα νερού και η υγρασία είναι πολύ μικρότερη στα λυοφιλιωμένα άλευρα βλαστού από αυτά που αφυδατώθηκαν σε φούρνο με ρεύμα θερμού αέρα, ενώ οι ιδιότητες του χρώματος βρίσκονται πολύ κοντά στο χρώμα του νωπού βλαστού καθώς δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά στους δείκτες L και b. Τα λυοφιλιωμένα άλευρα έχουν υψηλή διατροφική αξία με μεγάλη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για υποκατάσταση άλλων πηγών φυτικών ινών.
- ❖ Για την παραγωγή άλευρων καρπού απαιτείται η απομάκρυνση των ινών και η προσθήκη βοηθητικών μέσων ξήρανσης όπως η μαλτοδεξτρίνη. Αυτό συντελεί στην παραγωγή προϊόντων όχι τόσο μεγάλης θρεπτικής αξίας, που όμως διατηρεί τη γεύση, το άρωμα και το χρώμα του φρούτου.



- ❖ Η ενεργότητα νερού, η υγρασία και το πορώδες είναι μεγαλύτερα στα προϊόντα ξήρανσης με ψεκασμό, ενώ οι δείκτες του χρώματος παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με των λυοφιλιωμένων.
- ❖ Η διαλυτότητα παρουσιάζει υψηλά ποσοστά και στις δύο μεθόδους ξήρανσης ανεξάρτητα συγκέντρωσης μαλτοδεξτρίνης, το οποίο είναι πολύ θετικό και ενθαρρυντικό για παραγωγή ροφημάτων.
- ❖ Η συγκέντρωση της μαλτοδεξτρίνης δεν φαίνεται να επηρεάζει τόσο σημαντικά τις φυσικές ιδιότητες των αλεύρων στην κάθε μέθοδο ξήρανσης.
- ❖ Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανασύστασης του χυμού παρατηρείται ότι το χρώμα δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά με το χρώμα του αρχικού χυμού, γεγονός που υποδεικνύει την διατήρηση και ενθυλάκωση της χρωστικής μέσω των διεργασιών ξήρανσης.

Συμπερασματικά, η ξήρανση με κατάψυξη του βλαστού φραγκοσυκιάς δίνει πολύ καλά αποτελέσματα αλεύρων ενώ η ξήρανση σε ρεύμα θερμού αέρα θα απαιτούσε ίσως χαμηλότερες θερμοκρασίες και περισσότερο χρόνο ξήρανσης. Στην ξήρανση του καρπού, και οι δύο μέθοδοι ξήρανσης δίνουν σχετικά καλά αποτελέσματα, ωστόσο η χαμηλή θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης των προϊόντων με υψηλά σάκχαρα καθιστά πολύ δύσκολη τη διαδικασία της ξήρανσης με ψεκασμό όπου εφαρμόζονται υψηλές θερμοκρασίες και για το λόγο αυτό η μέθοδος δεν προτείνεται ή απαιτείται περαιτέρω μελέτη σχετικά με τις θερμοκρασίες της διαδικασίας και τη συγκέντρωση της μαλτοδεξτρίνης.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Ammar**, I., Ennouri, M., Bali, O., & Attia, H. (2014). Characterization of two prickly pear species flowers growing in Tunisia at four flowering stages. *LWT-Food Science and Technology*, 59(1), 448-454.

**Ayadi**, M.A., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia, H. 2009. Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30 (1), 40-47.

**Barbosa-Canovas** G.V., Vega-Mercado H. (1996)., *Dehydration of Foods. Introduction to Dehydration of Food: Dryers*. pp: 4-6. International Thompson Publishing.

**Barbosa-Canovas** G.V., Ortega-Rivas E., Juliano P., Hong Y. (2005). *Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality*. pp: 217. Kluwer Academic/Plenum Publishers.

- Benlloch-Tinoco**, M., Moraga, G., del Mar Camacho, M., & Martínez-Navarrete, N. (2013). Combined drying technologies for high-quality kiwifruit powder production. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3544-3553.
- Bhandari**, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert, A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology*, 11(5), 1081-1092.
- Bhandari**, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.
- Caliskan**, G., Ergun, K., & Dirim, S. N. (2015). Freeze drying of kiwi (*Actinidia deliciosa*) puree and the powder properties. *Italian Journal of Food Science*, 27(3), 385-396.
- Caparino**, O. A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148.
- Camire**, M. E., Dougherty, M. P., & Briggs, J. L. (2007). Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chemistry*, 101(2), 765-770.
- Conceição**, M. C., Fernandes, T. N., & de Resende, J. V. (2016). Stability and microstructure of freeze-dried guava pulp (*Psidium guajava* L.) with added sucrose and pectin. *Journal of food science and technology*, 53(6), 2654-2663.
- Duru**, B., & Turker, N. (2005). Changes in physical properties and chemical composition of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) during maturation. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 7, 22-33.
- El Kossori**, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., & Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 52(3), 263-270.
- El-Samahy**, S. K., El-Mansy, H. A., Bahlol, H. E., El-Desouky, A. I., & Ahmed, A. E. (2008). Thermal process time and sensory evaluation for canned cactus pear nectar. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 10(1), 85-107.
- Erbay**, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 441-464.
- Fang**, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510-523.
- FAO**. 2013. Agro-industrial utilization of cactus pear. Rome.

- Fernandes**, F. A., Rodrigues, S., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2011). Drying of exotic tropical fruits: a comprehensive review. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 163-185.
- Feugang**, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front Biosci*, 11(1), 2574-2589.
- Gabas**, A. L., Telis, V. R. N., Sobral, P. J. A., & Telis-Romero, J. (2007). Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 246-252.
- Gandía-Herrero**, F., Jiménez-Atiénzar, M., Cabanes, J., García-Carmona, F., & Escribano, J. (2010). Stabilization of the bioactive pigment of *Opuntia* fruits through maltodextrin encapsulation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(19), 10646-10652.
- Ginestra**, G., Parker, M. L., Bennett, R. N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., ... & Waldron, K. W. (2009). Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(21), 10323-10330.
- Goula**, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*, 26(6), 726-737.
- Goula**, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
- Guevara-Figueroa**, T., Jiménez-Islas, H., Reyes-Escogido, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L. W., ... & de la Rosa, A. P. B. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525-532.
- Hernández-Urbiola**, M. I., Pérez-Torrero, E., & Rodríguez-García, M. E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1287-1295.
- Jinapong**, N., Suphantharika, M., & Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 194-205.
- Karam**, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E. B., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32-49.

- Krokida**, M. K., & Maroulis, Z. B. (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying technology*, 15(10), 2441-2458.
- Lahsasni**, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., & Jaouhari, J. T. (2004). Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61(2), 173-179.
- Lewicki**, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163.
- M Jimenez-Aguilar**, D., Mújica-Paz, H., & Welti-Chanes, J. (2014). Phytochemical characterization of prickly pear (*Opuntia* spp.) and of its nutritional and functional properties: a review. *Current Nutrition & Food Science*, 10(1), 57-69.
- Medina**, E. D., Rodríguez, E. R., & Romero, C. D. (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food chemistry*, 103(1), 38-45.
- Moßhammer**, M. R., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): a review of processing technologies and current uses. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 8, 1-25.
- Mosquera**, L. H., Moraga, G., & Martínez-Navarrete, N. (2010). Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 72-78.
- Moreno-Álvarez**, M. J., Hernández, R., Belén-Camacho, D. R., Medina-Martínez, C. A., Ojeda-Escalona, C. E., & García-Pantaleón, D. M. (2009). Making of bakery products using composite flours: Wheat and cactus pear (*Opuntia boldinghii* Britton et Rose) stems (cladodes). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 11, 78-87.
- Nadeem**, H. Ş., Torun, M., & Özdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Science and Technology*, 44(7), 1626-1635.
- Nassar**, A. G. (2008). Chemical composition and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) seeds flour and protein concentrate. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 3(1), 11-16.
- Oberoi**, D. P. S., & Sogi, D. S. (2015). Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172-178.
- Obón**, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red–purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471-479.

- Osorio, C., Acevedo, B., Hillebrand, S., Carriazo, J., Winterhalter, P., & Morales, A. L.** (2010). Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(11), 6977-6985.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P.** (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
- Peanparkdee, M., Iwamoto, S., & Yamauchi, R.** (2016). Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, 4, 56-65.
- Pereira Canuto, H. M., Rodrigues Amorim Afonso, M., & Correia da Costa, J. M.** (2014). Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrin. *Acta Scientiarum. Technology*, 36(1).
- Piga, A., D'Aquino, S., Agabbio, M., Emonti, G., & Farris, G. A.** (2000). Influence of storage temperature on shelf-life of minimally processed cactus pear fruits. *LWT-Food Science and Technology*, 33(1), 15-20.
- Ramadan, M. F., & Mörsel, J. T.** (2003). Oil cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.). *Food chemistry*, 82(3), 339-345.
- Ratti, C.** (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of food engineering*, 49(4), 311-319.
- Rodríguez-Hernández, G. R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera\*, M. A., & Abud-Archila, M.** (2005). Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*, 23(4), 955-973.
- Ruiz-Gutiérrez, M. G., Amaya-Guerra, C. A., Quintero-Ramos, A., de Jesús Ruiz-Anchondo, T., Gutiérrez-Urbe, J. A., Baez-González, J. G., ... & Campos-Venegas, K.** (2014). Effect of soluble fiber on the physicochemical properties of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) encapsulated using spray drying. *Food Science and Biotechnology*, 23(3), 755-763.
- Saéñz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P.** (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114(2), 616-622.
- Semenov, G. V., Krasnova, I. S., Suvorov, O. A., Shuvalova, I. D., & Posokhov, N. D.** (2015). Influence of freezing and drying on phytochemical properties of various fruit. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12(2), 1311-1320.

**Sepúlveda**, E., Sáenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68(4), 534-545.

**Sharma**, A., Jana, A. H., & Chavan, R. S. (2012). Functionality of milk powders and milk-based powders for end use applications—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), 518-528.

**Si**, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., & Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2055-2062.

**Vergara**, C., Saavedra, J., Sáenz, C., García, P., & Robert, P. (2014). Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. *Food chemistry*, 157, 246-251.

**WELTI-CHANES**, J. O. R. G. E., GUERRERO, J. A., BARCENAS, M. E., AGUILERA, J. M., VERGARA, F., & BARBOSA-CANOVAS, G. V. (1999). Glass transition temperature (T<sub>g</sub>) and water activity (a<sub>w</sub>) of dehydrated apple products. *Journal of food process engineering*, 22(2), 91-101.

**Zea**, L. P., Yusof, Y. A., Aziz, M. G., Ling, C. N., & Amin, N. A. M. (2013). Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. *Powder technology*, 247, 112-119.

**Zotarelli**, M. F., da Silva, V. M., Durigon, A., Hubinger, M. D., & Laurindo, J. B. (2017). Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology*, 305, 447-454.