



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΤΟΥ
ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ενσωμάτωση ενθυλακωμένων χρωστικών φραγκόσυκου
σε γέμιση μπισκότου

Βασιλική Γ. Αντωνίου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ
2020

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ενσωμάτωση ενθυλακωμένων χρωστικών φραγκόσυκου
σε γέμιση μπισκότου

Incorporation of encapsulated prickly pear pigments in biscuit filling

Βασιλική Γ. Αντωνίου

Εξεταστική Επιτροπή:

Ιωάννα Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Νικόλαος Στοφόρος, Καθηγητής ΓΠΑ

Απόστολος Κουτίνας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Ενσωμάτωση ενθυλακωμένων χρωστικών φραγκόσυκου σε γέμιση μπισκότου

*ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων & Διατροφή του Ανθρώπου
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Μηχανικής & Επεξεργασίας Τροφίμων*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βηταλαΐνες είναι μία ομάδα φυσικών χρωστικών και έχουν κερδίσει το ενδιαφέρον έναντι των τεχνητών καθώς παρουσιάζουν υψηλή αντιοξειδωτική δράση και σταθερότητα στο χρώμα. Πραγματοποιήθηκε μελέτη του φραγκόσυκου ως χρωστική σε γέμιση μπισκότων.

Με την τεχνική του spray drying έγινε δυνατή η ενθυλάκωση των χρωστικών και η παραγωγή σκόνης φραγκόσυκου από το χυμό του για έπειτα χρήση ως χρωστική στην τελική συνταγή. Ποσότητα σκόνης του φρούτου συγκεντρώθηκε σε φιαλίδια και αποθηκεύτηκε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες των 25°C, 40°C και 60°C για διάρκεια 6 μηνών.

Στη πορεία παρασκευάστηκε η κρέμα με συνταγή που παραχωρήθηκε από την εταιρία ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ. Συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν έξι συνταγές, μια που αποτελούσε τον μάρτυρα, η επίσημη συνταγή με σκόνη λεμονιού, και άλλες πέντε με διαφορετική αναλογία σκόνης φραγκόσυκου 0,1%, 0,5%, 1%, 3% και 6%. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασίες των 25°C και 40°C για διάρκεια 75 ημερών με σκοπό την μελέτη των χρωστικών, των ρεολογικών χαρακτηριστικών και την υφή των προϊόντων.

Τα τελικά δείγματα επιβεβαίωσαν ότι η περιεκτικότητα των βηταλαϊνών παραμένει σε υψηλά επίπεδα και καθιστά το φραγκόσυκο μια επαρκή πηγή ενναλακτικών χρωστικών στα τρόφιμα.

Τα αποτελέσματα του χρωματόμετρου και στις δυο θερμοκρασίες έδειξαν τη σταθερότητα των χρωστικών με τις τιμές L να μην παρουσιάζουν διαφορές. Η ανάλυση υφής παρουσιάζει αύξηση της σκληρότητας του προϊόντος κατά την αποθήκευση.

Οι ρεολογικές δοκιμές έδειξαν πως στη θερμοκρασία των 25 °C το ιξώδες σε όλες τις κρέμες ταυτίζεται. Οι συντελεστές αποθήκευσης G' και G'' αυξάνονται και βρέθηκαν $G' > G''$, αυτό έχει ως συνέπεια μείωση της γωνίας δ από τις 45° και το προϊόν αποκτά πιο συμπαγή χαρακτήρα.

Επιστημονική Περιοχή: Χρωστικές ουσίες

Λέξεις κλειδιά: φραγκόσυκο, ενσωμάτωση χρωστικών, ενθυλάκωση χρωστικών, ρεολογικές ιδιότητες

Incorporation of encapsulated prickly pear pigments in biscuit filling

*MSc Food Science & Technology & Human Nutrition
Department of Food Science & Human Nutrition
Laboratory of Food Engineering & Processing*

ABSTRACT

Betalains are a group of physical coloring substances; which in the past years have gained more interest against artificial coloring substances because they result in higher antioxidant behavior and better color stability. In the present project, research was conducted on the coloring substance in the biscuit filling from prickly pears.

Spray drying technique was used for the encapsulation of the coloring substances and the production of the powder from prickly pears, which was later used as the color substance in the final recipe. A proportion of the powder was stored in vials in three different temperatures of 25°C, 40°C, and 60°C for six months.

The filling of the biscuits was prepared according to a recipe provided by Papadopoulos A.E. Specifically, six recipes were prepared; the first one was the “control”, the official recipe with lemon powder, and five more with different ratio of prickly pear powder 0.1%, 0.5%, 1%, 3%, and 6%. The samples were stored in two different temperatures of 25°C and 40°C for 75 days studying the coloring substances, the rheological traits, and the texture of the products.

The final samples confirmed that the rate of betalains remains at high levels and makes it possible for prickly pears to be a sufficient alternative coloring substance in the food industry.

The chromatographer’s results in both temperatures (25°C and 40°C) showed the stability of the coloring substances as no difference was shown in the L values. The texture analysis showed an increase in the product’s stiffness during the storage of the product.

Rheological tests showed that in 25°C the viscosity was the same in all the filling samples. The modulus G' and G'' are increasing with $G' > G''$, which results in a decrease of the angle δ below 45° leading to a more compact product.

Scientific area: Pigments

Keywords: prickly pear, incorporation of pigments, encapsulation of pigments, rheological properties

Περιεχόμενα

1. ΦΡΑΓΚΟΣΥΚΟ	6
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	6
1.2 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ.....	7
2. ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ	9
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	9
2.2 ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ	10
2.3 ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΕΣ.....	11
2.4 ΒΗΤΑΛΑΙΝΕΣ	13
2.5 ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ.....	15
3. ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗ	16
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	16
3.2 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ.....	17
3.3 ΜΑΛΤΟΔΕΞΤΡΙΝΗ.....	17
3.4 ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ.....	19
3.5 ΠΡΩΤΕΙΝΗ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	20
3.6 ΛΙΠΙΔΙΑ.....	21
4. ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ-SPRAY DRYING	23
5. ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΠΕΡΙΦΟΡΑ	25
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	25
5.2 ΙΞΩΔΕΣ.....	25
5.3 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	27
6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΗΣ	28
7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ	29
7.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΟΝΗΣ ΦΡΑΓΚΟΣΥΚΟΥ - ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ	29
7.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΟΝΗΣ	30
7.3 ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΗΤΑΛΑΙΝΩΝ-ΦΩΤΟΜΕΤΡΟ	30
7.4 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΓΕΜΙΣΗΣ ΜΠΙΣΚΟΤΩΝ	30
7.5 ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ.....	31
7.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΗΣ	32
7.7 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	32
7.8 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	33
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	34
8.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΟΝΗΣ	34
8.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΗΤΑΛΑΙΝΩΝ-ΦΩΤΟΜΕΤΡΟ	34
8.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	36
8.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΗΣ	39
8.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	40
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	47

1.ΦΡΑΓΚΟΣΥΚΟ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η φραγκοσυκιά (*Opuntia ficus-indica*) ανήκει στην υποοικογένεια των *Opuntioideae*, στην οικογένεια των *Cactaceae*. Περιλαμβάνονται 1500 είδη μεταξύ των τεσσάρων υποοικογενειών και συναντάται σε μεγάλη ποικιλία κυρίως στο Μεξικό. Στην Ευρώπη διαδόθηκε από τους Ισπανούς εξερευνητές -εικάζεται με την επιστροφή του Χριστόφορου Κολόμβου- με αποτέλεσμα τη εμφάνισή της στην Μεσόγειο. Αναπτύσσεται σε ξηρές και ημιάνυδρες περιοχές σε Αμερική, Μεσόγειο Αυστραλία, και Αφρική.

Η φραγκοσυκιά έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει στους ιστούς της μεγάλες ποσότητες νερού για αυτό και αναπτύσσεται σε ζεστά κλίματα (Cota-Sánchez, 2015) και αποτελεί βασική πηγή διατροφής και νερού για ανθρώπους και ζώα (Russell & Felker, 1987) σε περιοχές με μεγάλη ξηρασία και σε περιοχές με δυσκολία στην καλλιέργεια κοινών φρούτων και λαχανικών. Σήμερα, αναπτύσσεται σε Μεξικό, Μάλτα, Ισπανία, Σικελία, Ιταλία, Ελλάδα, Λιβύη, Τυνησία, Μαρόκο, Αλγερία, Λίβανο, Συρία, Αίγυπτο, Σαουδική Αραβία, Υεμένη, Ισραήλ, Χιλή, Βραζιλία, Τουρκία, Γαλλία, Βουλγαρία, Πορτογαλία, Αλβανία, Κύπρο και Ηνωμένες Πολιτείες (Kumar, 2019).

Το γένος *Opuntia* είναι ένας πολυετής, παχύφυτος κάκτος με πεπλατυσμένα κλαδώδια ή στελέχη. Το στέλεχος είναι σκούρο καφέ, πράσινο ή γκρι με ύψος 45 cm και με διάμετρο έως 20 cm. Τα κλαδώδια συνήθως είναι ελλειπτικά σε σχήμα αλλά και αμφιβληστροειδή, επιμήκη, κυκλικά είτε ρομβικά ηλικίας 2-3 ετών με μήκος 32-43 cm, πλάτος 18-25 cm, πάχος 1,8-2,3 cm και επιφάνεια 462-796 cm² και ποικίλου σε χρώμα από ανοιχτό σε σκούρο πράσινο. Ο βλαστός φέρει μικρά εξογκώματα πάνω στα οποία μεγαλώνουν αγκάθια δύο ειδών μικροσκοπικά (γλοχίδια) και μεγάλα Τα άνθη του δημιουργούνται μέχρι 10 ανά κλαδώδιο και συνήθως στη κορυφή του πεπλατυσμένου βλαστού, έχουν οβάλ ή κωνικό σχήμα (Reyes-Agüero et al., 2005).

Το φραγκόσυκο, είναι ένα ωοειδές και επίμηκες σε σχήμα φρούτο, καλύπτεται από ένα παχύ περικάρπιο με λεπτούς, αγκαθωτούς σπονδύλους. Το βάρος του κυμαίνεται μεταξύ 83-216g (Stintzing et al., 2001) και έχει μικρή διάρκεια ζωής 2-3 έως 4 εβδομάδες πριν την αποσύνθεση.

Το χρώμα του κυμαίνεται μεταξύ των εξής αποχρώσεων: κίτρινο, πορτοκαλί, κόκκινο, μωβ και πιο σπάνια πράσινο. Ο πολτός της σάρκας του φρούτου είναι το ίδιο χρώμα με το εξωτερικό του, είναι ζουμερός με 150 300 σπόρους. Η περιεκτικότητα σε χρωστικές βηταλαΐνες είναι υπεύθυνη για την ποικιλία και την ένταση των χρωμάτων που παρουσιάζει (Cota-Sánchez, 2015).

1.2 ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ

Η κατανάλωση του φραγκόσουκου χωρίζεται σε τρία τμήματα τους σπόρους, την φλούδα και τον πολτό. Γενικά, αποτελείται από περίπου 90% νερό και οι σπόροι του έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε πρωτεΐνες, λιπίδια και φυτικές ίνες. Ο πολτός του φρούτου έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες και κυρίως γλυκόζη και φρουκτόζη, ενώ η φλούδα περιέχει μεγάλο ποσοστό σε μέταλλα και κυρίως σε ασβέστιο (Lamghari et al., 1998). Η κατανάλωση ολόκληρου του φρούτου φαίνεται να είναι μεγαλύτερης θρεπτικής αξίας λόγω της κατανομής των θρεπτικών συστατικών (Cota-Sánchez, 2015).

Είναι ένα τρόφιμο χαμηλής οξύτητας με τιμές pH να κυμαίνονται μεταξύ 5,8-6,4 και ολικά διαλυτά στερεά από 12°-17°Bx (Stintzing et al., 2001). Χαρακτηρίζεται από μεγάλη περιεκτικότητα σε ελεύθερα αμινοξέα και κυρίως προλίνη και ταυρίνη στον πολτό του. Παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις σε βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ:) και E (τοκοφερόλη:) καθώς και β-καροτένιο. Επίσης, είναι πλούσιο σε μέταλλα με το ασβέστιο και το μαγνήσιο να κυριαρχούν στον πολτό (Guaadaoui, 2014; Stintzing & Carle, 2005).

Το φραγκόσουκο παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία σε θρεπτικά συστατικά με ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, πλούσιο σε βηταλαΐνες, αμινοξέα, πολυφαινόλες, βιταμίνες, καροτενοειδή και μέταλλα (**Πίνακας 1**) (Barba et al., 2017), αποτελεί σημαντική πηγή διατροφής.

Καταναλώνεται ως φρέσκο φρούτο, λαχανικό, χυμό, γλυκό. Η περιεκτικότητα σε βηταλαΐνες το καθιστούν χρήσιμο για τη Βιομηχανία Τροφίμων, γίνεται όμως και περαιτέρω χρήση του από την Βιομηχανία Καλλυντικών.

Έχει γίνει αναφορά και στις φαρμακευτικές του ιδιότητες. Συγκεκριμένα, στη δράση του ως αντιοξειδωτικό, αντιφλεγμονώδες, αναλγητικό, αντιϊκό, κατά του διαβήτη, μείωση της χοληστερίνης, διουρητικό κ.α. (Stintzing & Carle, 2005).

Πίνακας 1: Θρεπτικά και αντιοξειδωτικά συστατικά φραγκόσουκου (Barba et al., 2017)

Συστατικά	Αξία ανά 100g
Νερό	87,55 g
Ενέργεια	41 kcal
Πρωτεΐνη	0,73 g
Λιπίδια	0,51 g
Τέφρα	1,64 g
Υδατάνθρακες	9,57 g
Φυτικές ίνες	3,60 g
Ασβέστιο	56 mg
Μαγνήσιο	85 mg
Κάλιο	220 mg
Φώσφορο	24 mg
Βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ)	14 mg
Νιασίνη	0,46 mg
Βιταμίνη B-6	0,06 mg
Φολικό	6 µg
Βιταμίνη A, RAE	2 µg
Βιταμίνη A, IU	43 µg
β-καροτένιο	25 µg

2. ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι χρωστικές αποτελούν χημικές ενώσεις που απορροφούν φως σε μήκος κύματος στην περιοχή του ορατού. Το χρώμα που παράγεται οφείλεται στο χρωμοφόρο μόριο που συλλέγει την ενέργεια και προκαλείται διέγερση ηλεκτρονίου από ένα εξωτερικό τροχιακό σε ένα υψηλότερο. Η ενέργεια που δεν απορροφάται, αντανακλάται ή/και διαθλάται και γίνεται αντιληπτή στο μάτι. Οι παραγόμενοι νευρικοί παλμοί μεταδίδονται στον εγκέφαλο και εκφράζονται ως χρώμα (Delgado-Vargas et al., 2000).

Ένα τρόφιμο κρίνεται από την γεύση, την υφή και το χρώμα. Το χρώμα δημιουργεί την πρώτη αίσθηση για την δοκιμή ενός προϊόντος. Είναι ο πρώτος παράγοντας που χαρακτηρίζει ένα τρόφιμο ελκυστικό. Γενικά, το χρώμα στα τρόφιμα είναι ένδειξη για την ποιότητα του τροφίμου όπως για παράδειγμα στα λαχανικά και στο κρέας.

Στους λόγους για τους οποίους είναι επιθυμητή η χρήση χρωστικών συγκαταλέγονται τα εξής:, επαναφορά αρχικού χρώματος σε τυχόν μεταβολές που έχουν προκύψει κατά τη διάρκεια επεξεργασία και αποθήκευσης ενός τροφίμου, εξασφαλίζουν χρωματική ομοιομορφία σε εποχικές διακυμάνσεις, εντείνουν το ήδη υπάρχον χρώμα σε τρόφιμα που ο καταναλωτής το συνδέει με την ποιότητα του τροφίμου, προστατεύουν την γεύσή και τις φωτοευαίσθητες βιταμίνες, προσδίνουν στο τρόφιμο ελκυστική εμφάνιση και τέλος, διατηρούν την ταυτότητα και τον χαρακτήρα του τροφίμου.

Οι συνθετικές χρωστικές πλεονεκτούν σε σχέση με τις φυσικές χρωστικές είναι πιο αποτελεσματικές, πιο οικονομικές και παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την αποθήκευση και την επεξεργασία. Φαίνεται όμως να προσδίδουν ανεπιθύμητη γεύση και έχουν ενοχοποιηθεί για προβλήματα υγείας όπως για παράδειγμα, αλλεργικές αντιδράσεις και δυσανεξίες.

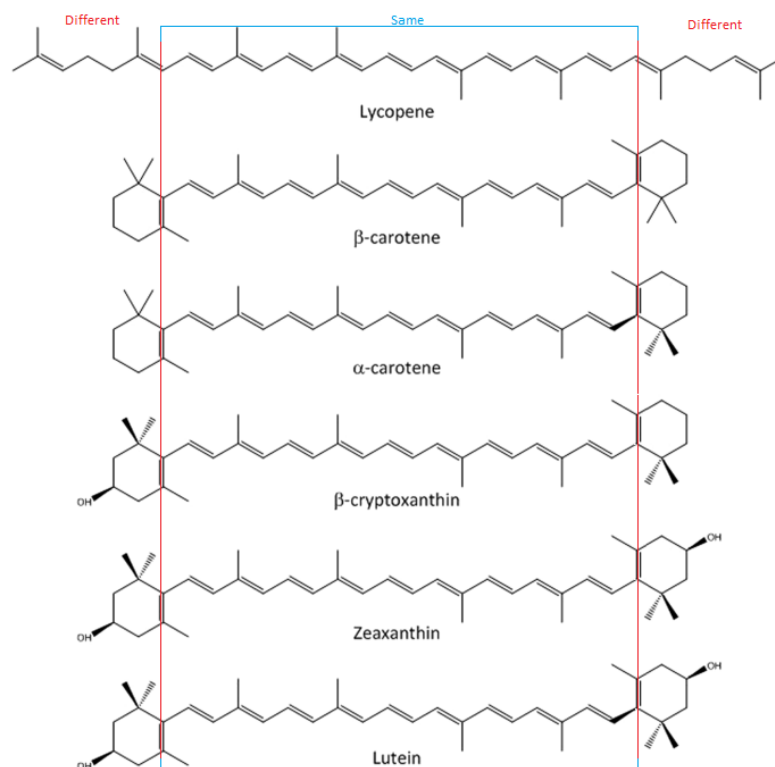
Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαθεσιμότητας και της χρήσης των φυσικών χρωστικών. Σε αυτό έχει συμβάλει η αντίληψη του καταναλωτικού κοινού, που επιλέγει φυσικά χρωστικά πρόσθετα αφού είναι πιο υγιεινά και καλύτερης ποιότητας, καθώς και τα νομοθετικά πλαίσια που συνεχίζουν να απορρίπτουν εγκεκριμένες τεχνικές χρωστικές (Rymbai et al., 2011).

Στις φυσικές χρωστικές που συναντώνται στη φύση (φυτικό και ζωικό βασίλειο) συγκαταλέγονται παράγωγα Τετραπυρρόλης, παράγωγα Ισοπρενοειδών, N-Ετεροκυκλικές ενώσεις, παράγωγα Βενζοπυρανίου, κουϊονίνες και μελανίνες. Οι κύριες κατηγορίες των χρωστικών που προέρχονται από φυτά είναι τα καροτενοειδή, οι ανθοκυανίνες και η βηταλαΐνες (Delgado-Vargas et al., 2000).

2.2 ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ

Τα καροτενοειδή θεωρούνται παράγωγα του λυκοπενίου και γενικά, αποτελούνται από οχτώ μονάδες ισοπρενίου των οποίων η σειρά είναι ανεστραμμένη στο κέντρο του μορίου. Η ταξινόμηση των καροτενοειδών με βάση της χημική τους δομή γίνεται, σε (1) καροτένια που είναι υδρογονάνθρακες και (2) οξυκαρβοκαροτενοειδή ή ξανθοφύλλες που είναι οξυγονωμένοι υδρογονάνθρακες.

Επίσης, ταξινομούνται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Τα πρωτογενή είναι απαραίτητα κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (π.χ., β-καροτένιο, βιλαξανθίνη και νεοξανθίνη), τα δευτερογενή απαντώνται σε φρούτα και άνθη (π.χ., α-καροτένιο, β-κρυπτοξανθίνη, ζεαξανθίνη, ανθεραξανθίνη και καψανθίνη).



Εικόνα 1: Στην φωτογραφία φαίνεται η σύγκριση διαφόρων καροτενοειδών. Όπως γίνεται αντιληπτό το κεντρικό τμήμα είναι κοινό, ενώ η απολήξεις διαφέρουν προδίδοντας και τις διαφορετικές ιδιότητες στα καροτενοειδή.

Στη φύση συναντώνται σε φωτοσυνθετικού και μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Συγκεκριμένα, σε ανώτερα φυτά, άλγη, βακτήρια, μύκητες. Είναι υπεύθυνα για ποικιλία αποχρώσεων, κόκκινο, πορτοκαλί και κίτρινο. Κάποιες χρήσεις των καροτενοειδών είναι ότι παίζουν σημαντικό ρόλο κατά την αναπαραγωγή αφού παρέχουν χρώμα σε λουλούδια, σπόρους και φρούτα, έτσι προσελκύει τα ζώα μεταφέρεται η γύρη, οι σπόροι και τα σπόρια.

Είναι η κύρια χρωστική που συναντάται στην φωτοσυνθετική διαδικασία καθώς συμβάλει στην συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας και λειτουργεί έναντι των οξειδωτικών βλαβών.

Χρησιμοποιούνται ως χρωστικές τροφίμων. Έχουν αντιοξειδωτική δράση και χρησιμοποιούνται φαρμακευτικά έναντι ασθενειών που περιλαμβάνουν οξειδωτικές διαδικασίες, όπως ο καρκίνος και τα εγκεφαλικά (Delgado-Vargas et al., 2000; Morais et al., 2006).

2.3 ANΘΟΚΥΑΝΙΝΕΣ

Οι ανθοκυανίνες (ανθός+κυανιδίνη) είναι γλυκοζίτες των ανθοκυανιδών και ανήκουν στην κατηγορία των φλαβονοειδών. Τα φλαβονοειδή είναι κατηγορία πολυφαινολικών ενώσεων και εντοπίζονται ευρέως στα λαχανικά, προσφέροντας μπλε, μωβ, κόκκινο, πορτοκαλί χρώμα στα λουλούδια και τα φυτά.

Οι ποικιλία των ανθοκυανιδών που έχουν βρεθεί στα φυτά είναι αποτέλεσμα υποκατάστασης του γλυκοζιτικού δεσμού στις θέσεις τρία και πέντε αλλά και την πιθανή ακυλίωση υπολειμμάτων σακχάρων με οργανικά οξέα.

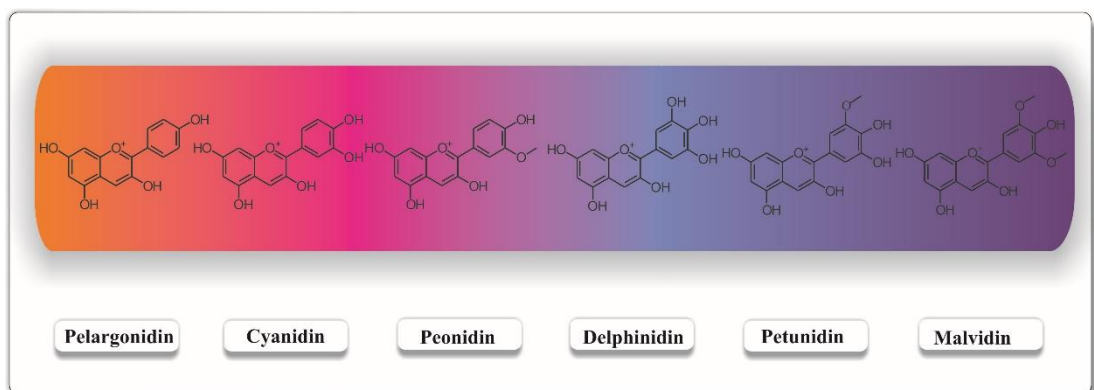
Στα φρούτα, όπως σε σταφύλια, μούρα και φράουλες, έχουν βρεθεί είτε ένας τύπος ανθοκυανινών είτε ομάδα ανθοκυανινών, από τις οποίες οι πιο κοινές είναι: κυανιδίνη-(κόκκινο-μωβ), δελφινιδίνη-(μπλε-μωβ), μαλβιδίνη-(βαθύ μωβ), πεονιδίνη-(κόκκινο), πετουνδίνη-(μωβ) και πελαργονιδίνη-(πορτοκαλί-κόκκινο).

Οι ανθοκυανίνες είναι η κυριότερη κατηγορία χρωστικών φλαβονοειδών και κατά συνέπεια παρουσιάζουν ίδιες ιδιότητες με αυτά. Στα φυτά ενισχύουν τους μηχανισμούς αναπαραγωγής όπως την επικονίαση, την διασπορά των πόρων και αποτρέπουν την κατανάλωση τους από έντομα και ζώα. Επίσης, βρίσκουν χρήση ως βακτηριοκτόνα, αντιϊικά, και μυκητοστατικά. Στη Βιομηχανία Τροφίμων καταλαμβάνουν τη βασική πηγή χρωστικών.



Εικόνα 2: Οι ανθοκυανίνες, που ανήκουν στην κατηγορία των φλαβονοειδών, είναι υπεύθυνες για την μωβ, κόκκινη, μπλε και πορτοκαλί απόχρωση στα φυτά, μέσω υποκατάστασης του γλυκοζιτικού δεσμού

Τέλος, σημαντική είναι η φαρμακευτική τους δράση, έχουν ισχυρή αντιοξειδωτική δράση και εμποδίζει την οξείδωση του ασκορβικού οξέος, παρέχει προστασία έναντι των ελεύθερων ριζών και οξειδωτικών ενζύμων. Επίσης, δρουν και έναντι των φλεγμονών και σε ασθένειες όπως ο καρκίνος και οι καρδιοπάθειες (Delgado-Vargas et al., 2000; Hari et al., 1994; Rymbai et al., 2011).



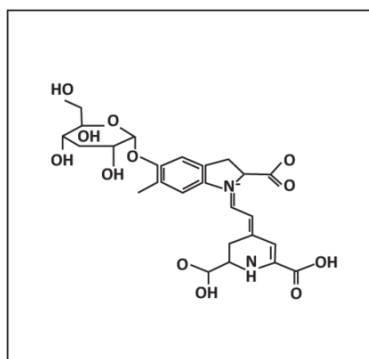
Εικόνα 3: Φάσμα χρωμάτων που προσδίδεται από τα διάφορα φλαβονοειδή

2.4 ΒΗΤΑΛΑΙΝΕΣ

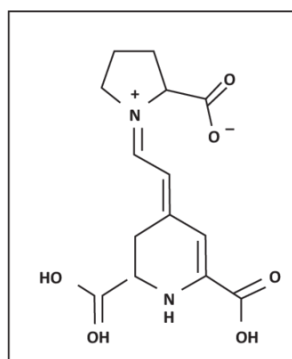
Οι βηταλαΐνες είναι υδατοδιαλυτές αζωτούχες χρωστικές ενώσεις που συντίθενται από το αμινοξύ τυροσίνη σε φυτά της τάξης των Καρυοφυλλωδών (Caryophyllales). Συναντώνται σε ιστούς, καρπούς και άνθη, αντικαθιστούν τις χρωστικές ανθοκυανίνες και δεν έχουν εντοπιστεί ποτέ από κοινού στη φύση (Khan, 2016; Strack et al., 2003).

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις βητακυανίνες που προσδίδουν αποχρώσεις μεταξύ κόκκινου-μωβ, και της βηταξανθίνες που είναι υπεύθυνες για αποχρώσεις μεταξύ κίτρινου-πορτοκαλί (Azeredo, 2009a; Karabagias et al., 2019). Η μέγιστη απορρόφηση κυμαίνεται στα 480nm για της βηταξανθίνες (κίτρινο) και στα 540nm για τις βητακυανίνες (βιολετί) (Guaadaoui, 2014).

Betanine



Indicaxanthine



Εικόνα 4: Ενδεικτικές χημικές δομές των βηταλαϊνών

Το κοινό χρωμοφόρο όλων των βηταλαϊνών είναι το βηταλαϊνικό οξύ. Οι βηταξανθίνες είναι παράγωγα του ιμμωνίου το βηταλαϊνικού οξέος με διάφορες αμίνες και αμινοξέα ενώ στις βητακυανίνες το βηταλαϊνικό οξύ είναι συνδεδεμένο με κυκλο-διυδροξυφαινυλαλανίνη (cyclo-DOPA). Στο φραγκόσυκα στις βηταξανθίνες συγκαταλέγονται η ινδικαξανθίνη, μιραξανθίνη I και II, ενώ στις βητακυανίνες η βητανίνη και νεοβητανίνη (Stintzing et al., 2001, 2003).

Η πιο σημαντική παράμετρος για τη χρήση των βηταλαϊνών ως χρωστικές στα τρόφιμα είναι σταθερότητα του χρώματος. Οι παράγοντες που ορίζουν την υποβάθμιση του χρώματος είναι το pH, η δομή-σύσταση, το οξυγόνο, το φως, η ενεργότητα νερού, η θερμοκρασία, κάποια μέταλλα και τα αντιοξειδωτικά πρόσθετα (Azeredo, 2009b; Kirsten M. Herbach et al., 2006):

- pH:** οι βηταλαϊνες είναι σταθερές σε τιμές pH μεταξύ 3-7 το οποίο τις καθιστά κατάλληλες για τρόφιμα χαμηλής οξύτητας.

- Δομή:** οι βητακυανίνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα από τις βηταξανθίνες σε θερμοκρασία δωματίου.

- Οξυγόνο:** τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου κατά την αποθήκευση των βηταλαϊνών φαίνεται να έχουν ως αποτέλεσμα μια μειωμένη υποβάθμιση της χρωστικής σε σχέση με την ατμόσφαιρα του αέρα. Τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου βοηθού στην ανάκτηση της χρωστικής έπειτα από την υποβάθμιση. Η σταθερότητα των βηταλαϊνών είναι βελτιωμένη σε ατμόσφαιρα αζώτου.

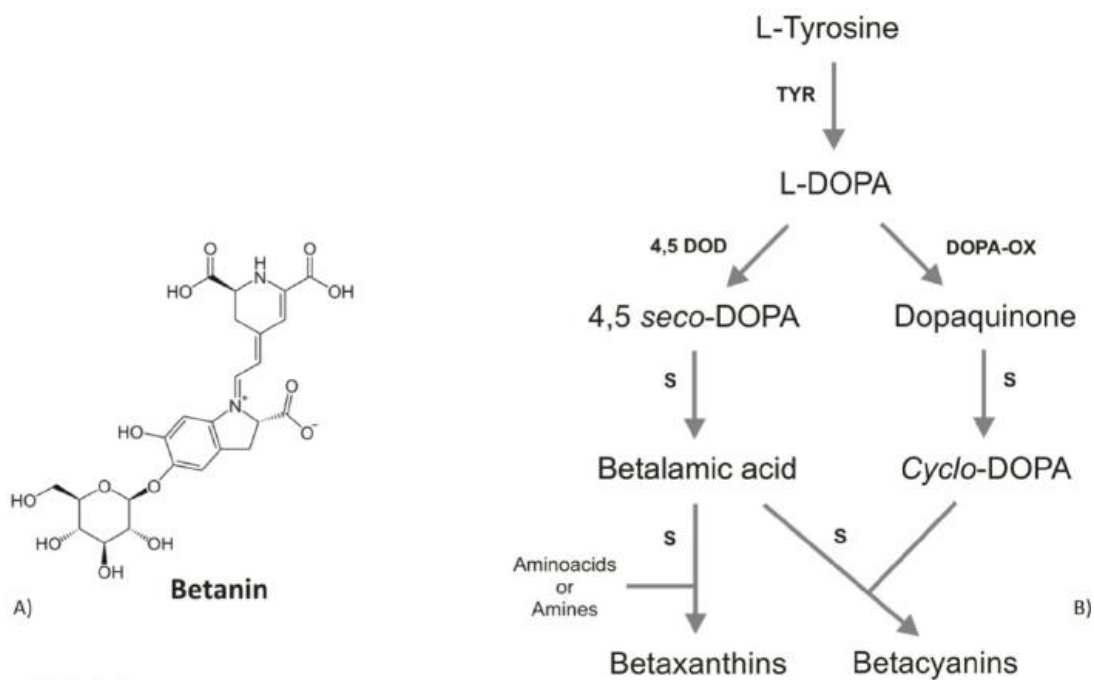
- Φως:** η έκθεση σε φως φαίνεται να επηρεάζει την σταθερότητα των βηταλαϊνών και παρουσιάζουν μια αντίστροφη σχέση μεταξύ τους. η υποβάθμιση παρουσία φωτός εξαρτάται και από την παρουσία οξυγόνου καθώς είναι αμελητέα υπό αναερόβιες συνθήκες.

- Ενεργότητα νερού:** η χαμηλή ενεργότητα νερού είναι σημαντικός παράγοντας για την αύξηση της σταθερότητας των χρωστικών των βηταλαϊνών

- Θερμοκρασία:** η θερμοκρασία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντάς για την υποβάθμιση των βηταλαϊνών κατά τη επεξεργασία και την αποθήκευση. Η υψηλή θερμοκρασία φαίνεται να ενισχύει την υποβάθμιση των βηταλαϊνών και ο ρυθμός της υποβάθμισης αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου παραμονής.

- Μέταλλα:** κατιόντα μετάλλου όπως σίδηρος, χαλκός, κασσίτερος και αλουμίνιο αναφέρεται να ενισχύουν την υποβάθμιση, ενώ οι παράγοντες ζελατινοποίησης φαίνεται να σταθεροποιούν την προκαλούμενη υποβάθμιση από μέταλλα.

- Αντιοξειδωτικά πρόσθετα:** τα αντιοξειδωτικά παρουσιάζουν βελτίωσης στη σταθερότητα των βηταλαϊνών. Συγκεκριμένα παρουσία ασκορβικού και ισοασκορβικού οξέος ενισχύεται η σταθερότητα των βηταλαϊνών.



Betalains

Εικόνα 5: Σύγκριση της βητανίνης, της πιο ευρέως μελετημένης βηταλαΐνης, με την βηταξανθίνη και την βητακυανίνη

2.5 ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

Ένας σημαντικός παράγοντας για την ποιοτική υποβάθμιση των τροφίμων, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι το χρώμα το οποίο συνδέεται άμεσα με την εμφάνιση του τρόφιμου και αποτελεί δείκτη της ποιότητάς του για τον καταναλωτή. Κατά τη αποθήκευση των τροφίμων, η μεταβολή στο χρώμα τους οφείλεται σε διεργασίες όπως οι αντιδράσεις μη ενζυμικής αμαύρωσης, ενζυμικής αμαύρωσης ή στην απώλεια κάποιων χρωστικών. Η μέτρηση του χρώματος μπορεί να μετρηθεί υποκειμενικά με την όραση ή αντικειμενικά με χρήση κατάλληλου οργάνου, χρωματόμετρου ή υπολογιστή (Wu & Sun, 2013).

Στη μηχανική των τροφίμων γίνεται συνηθέστερα χρήση του μοντέλου L^* , a^* , b^* για την αξιολόγηση του χρώματος. Οι παράμετροι L^* , a^* , b^* είναι οι 3 παράγοντες που περιγράφουν το χρώμα. Συγκεκριμένα, οι παράμετρος L^* ορίζει τη φωτεινότητα του τρόφιμου και παίρνει τιμές από 0-100 καλύπτοντας το χρωματικό φάσμα από μαύρο-λευκό, αντίστοιχα. Οι παράμετροι a^* και b^* αναφέρονται σε συντεταγμένες χρώματος.

Τέλος, η παράμετρος C^* προσδιορίζει την διαφορά , μιας απόχρωσης σε σύγκριση με ένα γκρι χρώμα της ίδιας φωτεινότητας, αποτελεί την ποσοτική έκφραση της πολυχρωμίας και ορίζεται ως (Pathare et al., 2013), $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$.

3. ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Όπως ήδη αναφέρθηκε και παραπάνω τα φυτά είναι πλούσια σε βιοενεργά συστατικά και αντιοξειδωτικά που αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την καλή υγεία και παρουσιάζουν καλές ιδιότητες ενάντια σε διάφορες ασθένειες. Τα φυσικής προέλευσης βιοενεργά συστατικά παρουσιάζουν χημική αστάθεια και σημαντική υποβάθμιση. Με την τεχνική της ενθυλάκωσης καθίσταται ευκολότερη η χρήση τους από τη Βιομηχανία Τροφίμων και Φαρμάκων.

Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία της ενθυλάκωσης τα επιθυμητά ενεργά συστατικά επικαλύπτονται από το υλικό φορέα προς το σχηματισμό σωματιδίων ή καψουλών σε κλίμακα μικρομέτρου ή νανομέτρου. Τα υλικά που επικαλύπτονται αναφέρονται και ως πυρήνας, γέμιση ή εσωτερική φάση, ενώ τα υλικά που επικαλύπτουν ως τοίχωμα, μεμβράνη, κάψουλας, κέλυφος, μήτρα ή εξωτερική φάση.

Η επικάλυψη βιοενεργών συστατικών όπως πολυφαινόλες, μικροθρεπτικά συστατικά, ένζυμα και αντιοξειδωτικά έχει ως αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της υποβάθμισης των συστατικών από τη έκθεση σε μη κατάλληλες συνθήκες φωτός, οξυγόνου, pH, υγρασίας και θερμότητας (Devi et al., 2017).

Έτσι, προσφέρεται βελτίωση της σταθερότητας και δραστηριότητας των ενεργών συστατικών, αύξηση της διάρκειας ζωής τους, μείωση της πτητικότητας και εξάτμισης και επικάλυψη ανεπιθύμητων οσμών (de Souza Simões et al., 2017).

Οι δύο βασικοί παράμετροι για την διαδικασία της ενθυλάκωσης είναι η επιλογή των υλικών για το κατάλληλο σύστημα ενθυλάκωσης (μήτρα) και της τεχνικής της ενθυλάκωσης. Συστήματα ενθυλάκωσης αποτελούν οι πολυσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια (**Πίνακας 2**). Για την επιλογή υλικού ως μήτρα λαμβάνονται υπόψιν οι εξής ιδιότητες,

- ιδιότητες γαλακτωματοποιητή,
- χαμηλό ιξώδες σε υψηλή συγκέντρωση,
- υψηλή διαλυτότητα (σχηματισμό δικτύων),
- αποφυγή χημικών αλληλεπιδράσεων με τα βιοενεργά συστατικά (με σκοπό τη διατήρησή τους κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση),

- εξειδικευμένα για την όξινη και ενζυμική λειτουργία του στομάχου,
- προσκόλληση και παραμονή των συστατικών στο γαστρεντερικό σωλήνα (με σκοπό τη σωστή απορρόφηση από τον οργανισμό).

Εξίσου σημαντική είναι κ η επιλογή της τεχνικής της ενθυλάκωσης. Τα συστήματα της ενθυλάκωσης χωρίζονται σε δύο προσεγγίσεις, η πρώτη αφορά το σύστημα από πάνω προς τα κάτω (top-down) και η δεύτερη από κάτω προς τα επάνω (bottom-up).

Η πρώτη προσέγγιση αφορά την μεταβολή της δομής των υλικών από μεγάλη σε μικρή μέσω εξωτερικών μηχανικών δυνάμεων με μείωση του μεγέθους και διαμόρφωση της δομής. Περιλαμβάνει τεχνικές γαλακτωματοποίησης, γαλακτωματοποίησης- εξάτμισης διαλύτη και εξώθησης. Είναι κατάλληλο για εγκλεισμό υδρόφιλων και υδρόφοβων ενώσεων και απαιτεί εξειδικευμένα εργαλεία. Προσφέρει όμως, σωματίδια όχι καλά ελεγχόμενα ως προς το μέγεθος και τη δομή και είναι εφαρμόσιμη σε συγκεκριμένους τύπους μήτρας.

Η δεύτερη προσέγγιση δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων και μικρών σωματιδίων μέσω σύνδεσης μορίων και αυτό-οργάνωσης μορίων αντίστοιχα. Στην περίπτωση των μικρών σωματιδίων είναι σημαντική η επίδραση των παραμέτρων pH, θερμοκρασίας, συγκέντρωσης, ιοντικής ισχύς και απαιτούν περαιτέρω κατεργασία.

Στην προσέγγιση αυτή αντιστοιχούν τεχνικές όπως, η ξήρανση με ψεκασμό, υπερκρίσιμο ρευστό, συμπλοκοποίηση εγκλεισμού, συσσωμάτωση, νανοκαθίζηση και ηλεκτροσπορά. Αυτή η τεχνική πλεονεκτεί σε σχέση με την πρώτη καθώς καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, προσφέρουν μεγαλύτερο έλεγχο ως προς το μέγεθος, τη δομή και τη μορφολογία των παραγόμενων σωματιδίων.

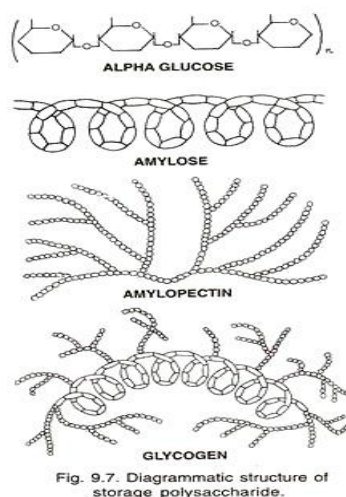
3.2 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ

Οι πολυσακχαρίτες είναι μεγάλα μόρια υδατάνθρακα, δηλαδή μεγάλα πολλαπλά σάκχαρα με δομή σαν αλυσίδα ή διακλαδωμένη από πολλές μονάδες μονοσακχαριτών που ενώνονται μεταξύ τους με αντιδράσεις συμπύκνωσης. Σημαντικότεροι πολυσακχαρίτες είναι το άμυλο, η κυτταρίνη και το γλυκογόνο.

3.3 ΜΑΛΤΟΔΕΞΤΡΙΝΗ

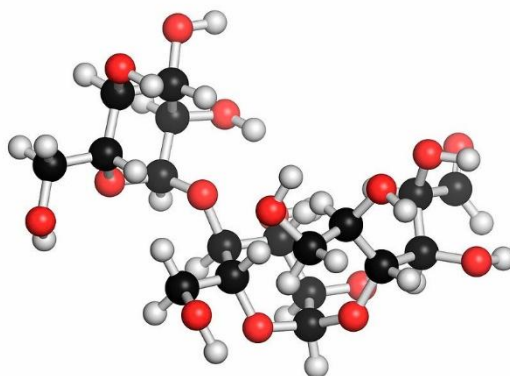
Οι μαλτοδεξτρίνες κατατάσσονται σύμφωνα με το ισοδύναμο δεξτρόζης, με την τιμή DE (dextrose equivalent) μεταξύ 3 και 20. Για υψηλότερη τιμή DE προκύπτουν μικρότερες αλυσίδες γλυκόζης, υψηλότερη γλυκύτητα, μεγαλύτερη διαλυτότητα και

χαμηλότερη αντοχή στη θερμότητα. Για τιμή DE > 20 αποκαλείται σιρόπι γλυκόζης και για τιμή DE ίση ή μεγαλύτερη του 10 κατατάσσονται ως δεξτρίνες. Αποτελούν ένα υδρολυόμενο άμυλο, με υψηλή υδατοδιαλυτότητα (70%) και χαμηλό ιξώδες. Τα χαρακτηριστικά αυτά διευκολύνουν τις διεργασίες συγκόλλησης και συσσωμάτωσης.



Εικόνα 6: Διαγραμματική δομή πολυσακχαριτών

Όσο υψηλότερη είναι η τιμή DE συνεπάγεται μεγαλύτερη διαλυτότητα, χαμηλότερο μοριακό βάρος αλλά και μεγαλύτερη περιεκτικότητα υγρασίας στο τελικό προϊόν που οφείλεται στην ύπαρξη περισσότερων υδρόφιλων μορίων (Cai & Corke, 2000). Για βέλτιστη λειτουργικότητα χρησιμοποιείται μαλτοδεξτρίνη DE 10.



Εικόνα 7: Μοριακή απεικόνιση μαλτοδεξτρίνης. Με λευκά σφαιρίδια απεικονίζεται το υδρογόνο (H), με μαύρα ο άνθρακας (C) και με κόκκινα το οξυγόνο (O)

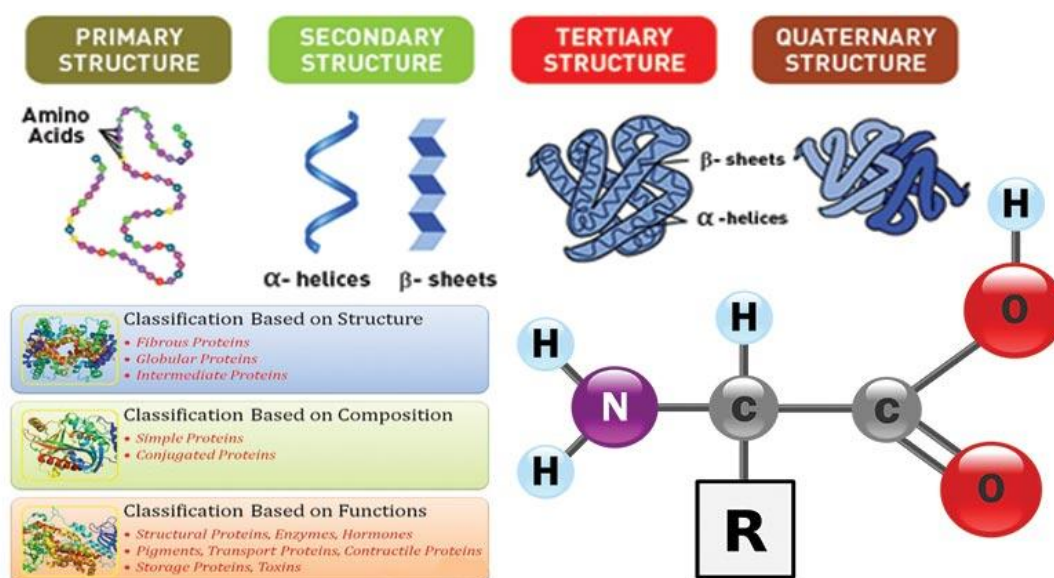
Η χρήση τους από τη Βιομηχανία Τροφίμων και Φαρμάκων είναι ευρεία καθώς χαρακτηρίζονται από καλές ιδιότητες διόγκωσης και επικάλυψης, δέσμευση λίπους και γεύσης, και μείωση της διαπερατότητας του οξυγόνου. Επίσης, ως μήτρα προσφέρει προστασία κατά της οξείδωσης και της θερμικής αποικοδόμησης των

θρεπτικών συστατικών, χρωμάτων, αντιοξειδωτικών και βιοενεργών συστατικών κατά τις διεργασίες ξήρανσης και αποθήκευσης.

Στην καλύτερη λειτουργία της ενθυλάκωσης συμβάλει η ανάμιξη μαλτοδεξτρίνης με κόμμεα, πηκτίνες, καλλίνικό και πρωτεΐνη ορού γάλακτος βελτιώνοντας τα χαρακτηριστικά γαλακτωματοποίησης (Islam Shishir et al., 2016).

3.4 ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ

Οι πρωτεΐνες αποτελούν τα πιο διαδεδομένα και πολυδιάστατα, τόσο στη μορφή όσο και στη λειτουργία τους, μακρομόρια. Ακόμη και σε ένα απλό κύτταρο των βακτηρίων εντοπίζονται εκατοντάδες διαφορετικές πρωτεΐνες με την καθεμία εξ αυτών να έχει ιδιαίτερο ρόλο.



Εικόνα 6: Πορεία της πρωτεΐνης από την πρωτοταγή δομή των αμινοξέων στην τεταρτοταγή δομή της πρωτεΐνης

Οι πρωτεΐνες αποτελούν είτε δομικά συστατικά των μεμβρανών του κυττάρου, είτε συνεργούν σε κάποια συγκεκριμένη λειτουργία, όπως η δημιουργία πρωτεϊνικών συμπλόκων. Είναι μεγάλα σύνθετα βιομόρια, αποτελούμενα από αμινοξέα, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς σχηματίζοντας μια γραμμική αλυσίδα, καλούμενη αλυσίδα πολυπεπτιδίων. Όλες οι πρωτεΐνες περιέχουν άνθρακα, οξυγόνο και άζωτο και οι περισσότερες εξ αυτών και θείο και υδρογόνο, αφού στα αμινοξέα περιέχονται αυτά τα στοιχεία.

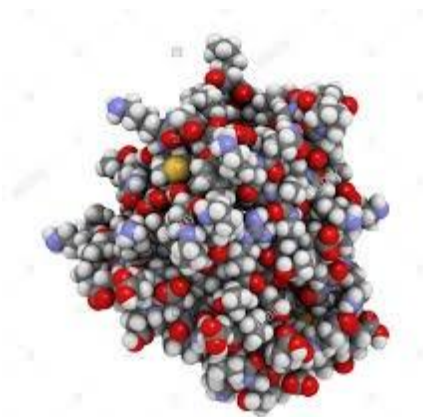
3.5 ΠΡΩΤΕΙΝΗ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Οι πρωτεΐνες είναι ζωικής ή φυτικής προέλευσης και χαρακτηρίζονται ως γενικά ασφαλή υλικά (GRAS). Χαρακτηρίζονται ως υψηλής διατροφικής αξίας, είναι αδιάλυτες σε όξινο pH ενώ διαλύονται εύκολα σε αλκαλικό pH.

Κατέχουν εξαιρετικές ιδιότητες σχηματισμού υμενίων, ζελατινοποίησης, γαλακτώματα αφρού και συγκράτησης νερού. Οι πρωτεΐνες χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά ως φορείς για βιοενεργά συστατικά, λίπη, έλαια, λιπαρά οξέα και γεύσεις (Lingyun Chen et al., 2006). Κατά τη διαδικασία της ενθυλάκωσης οι πιο κοινές πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης είναι η πρωτεΐνη ορού, καζεΐνη, ζελατίνη και το κολλαγόνο, ενώ φυτικής προέλευσης η πρωτεΐνη σόγιας, ζεΐνη και γλιαδίνη. Οι φυτικές πρωτεΐνες παρουσιάζουν υδρόφοβο χαρακτήρα σε σχέση με τις ζωικές, είναι μη τοξικές και θεωρούνται λιγότερο αλλεργιογόνες και πιο οικονομικές (Tarhini et al., 2017).

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος κατέχουν ιδιαίτερες ιδιότητες πηκτωματοποίησης και γαλακτωματοποίησης. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ως υδρογέλες για την ανάπτυξη συστημάτων νανοσωματιδίων και σύνθετων συντεταγμένων με αρκετούς πολυσακχαρίτες (Devi et al., 2017). Για τους σκοπούς της ενθυλάκωσης, δύο κύριες πρωτεΐνες ορού αποτελούν η β-λακτοσφαιρίνη και η α-γαλακτωλευκωματίνη.

Πιο συγκεκριμένα, η β-λακτοσφαιρίνη χρησιμοποιήθηκε για ενθυλάκωση ανθοκυανινών βύσσινων με τις εξής παραλλαγές: χωρίς να υποστεί κατεργασία, προθερμασμένη επεξεργασία και με διασυνδεδεμένη πρωτεΐνη. Μέγιστη απόδοση ενθυλάκωσης παρουσίασε η σταυροσυνδεδεμένη μήτρα, ενώ υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση παρουσίασε η πρωτεΐνη που έχει υποστεί προθερμασμένη επεξεργασία.



Εικόνα 7: Μοριακή απεικόνιση μίας πρωτεΐνης ορού.

Πίνακας 2: Κατηγορίες υλικών μήτρας-ενθυλάκωσης (Shishir et al., 2018).

Κατηγορίες	
<u>Πολυσακχαρίτες:</u>	<p>Άμυλα (Δεξτρίνες, Μαλτοδεξτρίνες, Κυκλοδεξτρίνες)</p> <p>Κυταρίνες (Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, Μεθυλοκυτταρίνη, Αιθέρες κυτταρίνης, Υδροξυπροπυλοκυτταρίνες)</p> <p>Πηκτίνες</p> <p>Χιτοζάνη</p> <p>Άλας αλγινικού οξέος</p> <p>Κόμμεα</p>
<u>Πρωτεΐνες:</u>	<p>Ορού γάλακτος</p> <p>Κασεΐνη</p> <p>Ζελατίνες</p> <p>Σόγιας</p> <p>Δημητριακών- προλαμίνη, πατάτας, Amaranth (Amaranthus hypochondriacus)</p> <p>Όσπρια- μπιζέλια, ρεβίθια, φακές, φασόλια, λούπινα</p>
<u>Λιπίδια:</u>	<p>Έλαια</p> <p>Λίπη</p>

4. ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ-SPRAY DRYING

Η ξήρανση με ψεκασμό αποτελεί μια απλή, γρήγορη και σχετικά χαμηλού κόστους τεχνική μικροενθυλάκωσης. Οι βασικές αρχές της τεχνικής είναι η υγρή τροφοδοσία μικροσκοπικών σταγονιδίων βιοενεργών συστατικών στο θάλαμο ξήρανσης, παροχή ζεστού αέρα στο θάλαμο ξήρανσης, σχηματισμός μικροκαψουλών και ο διαχωρισμός αυτών μέσω ανάκτησης κυκλώνων (Ray et al., 2016; Shishir & Chen, 2017).

Έλαιο σπόρου κολοκύθας ενθυλακώθηκε με διάφορους τρόπους, ξήρανση με ψεκασμό μη ομογενούς γαλακτώματος σε θερμοκρασίες εισόδου 180°C και 130°C, ξήρανση με ψεκασμό ομογενούς γαλακτώματος σε θερμοκρασία εισόδου 130°C, καθώς και ξήρανση με ψύξη ομογενοποιημένου γαλακτώματος.

Η πιο αποτελεσματική τεχνική για την ενθυλάκωση σπορέλαιου κολοκύθας αποδείχθηκε η ξήρανση με ψεκασμό μη ομογενοποιημένου γαλακτώματος επειδή είχε ως αποτέλεσμα την μικρότερη αλλαγή των φυσικών ενώσεων και καλύτερη οξειδωτική σταθερότητα (Ogrodowska et al., 2017).



Εικόνα 9: Μηχάνημα ξήρανσης ψεκασμού, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές δοκιμές

Η ενθυλάκωση εκχυλισμάτων *Agaricus bisporus* με ξήρανση με ψεκασμό με φορέα σταυροσυνδεδεμένη μαλτοδεξτρίνη με κιτρικό οξύ έδωσαν καλά αποτελέσματα παροχής βιοδραστικών ιδιοτήτων και προφίλ ελεγχόμενης απελευθέρωσης (Francisco et al., 2018). Η διαδικασία της ενθυλάκωσης είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση των φυσικών χαρακτηριστικών των ενθυλακωμένων ενώσεων.

Για παράδειγμα, οι πτητικές ενώσεις και οι ευαίσθητες σε θερμοκρασία ενώσεις μπορούν να αποικοδομηθούν σε υψηλές θερμοκρασίες ξήρανση. Επίσης, η ξήρανση με ψεκασμό παρουσιάζει μικρότερο έλεγχο στο μέγεθος των σωματιδίων και μικρότερη απόδοση λόγω δημιουργίας κολλώδους. Επομένως η διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό απαιτεί βελτιστοποίηση διεργασίας (Islam Shishir et al., 2016; Ogradowska et al., 2017; Toledo-Madrid et al., 2018).

Έχουν παρουσιαστεί αρκετές προσπάθειες για την βελτιστοποίηση της τεχνικής, όπως η ενθυλάκωση βιοενεργών συστατικών από μύρτιλα με ξήρανση με ψεκασμό υποβοηθούμενο με υπερήχους, και έδειξε καλύτερο έλεγχο στο μέγεθος και το σχήμα των μικροκαψουλών έναντι των συμβατικών τεχνικών ξήρανσης με ψεκασμό ή ψύξη. Η εφαρμογή των υπερήχων είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση κατακράτησης φαινολικών ενώσεων, ανθοκυανινών και σταθερότητας κατά την αποθήκευση (Tatar Turan et al., 2015, 2016).

Το υποβοηθούμενο σύστημα με υπερήχους παράγει ηχητικά κύματα ή δονήσεις υψηλής συχνότητας από πιεζοηλεκτρικούς μετατροπείς κατά τη διάρκεια του ψεκασμού του υγρού και παράγει υγρά σταγονίδια με ομοιόμορφο μέγεθος. Οι δονήσεις των υπερήχων προσφέρουν λιγότερη μηχανική καταπόνηση και μειώνουν την μηχανική αποικοδόμηση των βιοενεργών συστατικών (Shishir et al., 2018).

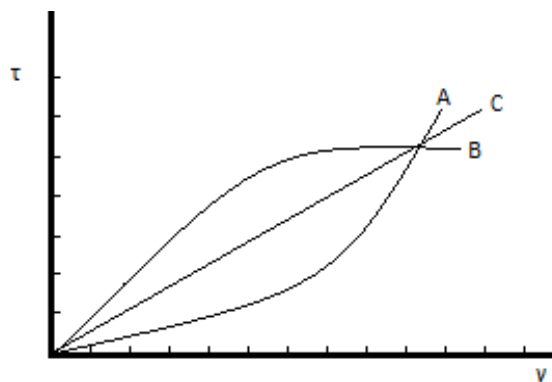
Βελτίωση παρατηρήθηκε και με την εφαρμογή θαλάμου κενού για ξήρανση αντί για θάλαμο υψηλής ξήρανσης στην διατήρηση ενώσεων ευαίσθητων στη θερμότητα όπως, ασκορβικό οξύ, φλαβονοειδή και φαινολικά. Αυτό είναι συνέπεια ότι η μέθοδος κάνει χρήση χαμηλών θερμοκρασιών (40-60°C) και περιορίζεται η αποικοδόμηση των βιοενεργών συστατικών (Shishir & Chen, 2017).

Ομοίως, έχει αναφερθεί η διατήρηση των προβιοτικών κυττάρων με ξήρανση με ψεκασμό υπό κενό με υπερήχους Semyonov et al. (2011) επιτυχής έχει αποδειχθεί και η ξήρανση με νάνο-σπρέι για την εφαρμογή ενθυλάκωσης σωματιδίων σε κλίμακα μεγέθους νάνο, με βελτιωμένη σταθερότητα του φολικού οξέος και βιοδιαθεσιμότητας της κουρκουμίνης (Connor et al., 2012; Pérez-masiá et al., 2015).

5. ΡΕΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΠΕΡΙΦΟΡΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η επιστήμη της ρεολογίας στη μηχανική των τροφίμων αποκαλύπτει την ανταπόκριση της δομής ενός τρόφιμου σε εφαρμογή κάποιας δύναμης ή παραμόρφωσης και καθορίζει τον έλεγχο των πρώτων υλών καθώς και στο σχεδιασμό των διεργασιών επεξεργασίας τροφίμων.

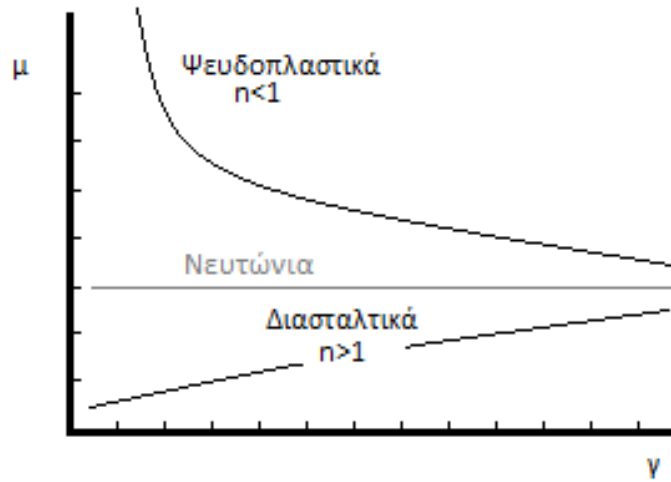


Εικόνα 10: Διατμητική τάση (τ) συναρτήσει του ρυθμού διάτμησης (γ) για ψευδοπλαστικά (A), διασταλτικά (B) και Νευτώνια ρευστά (C)

Οι ρεολογικές ιδιότητες και η υφή των τροφίμων αποτελούν βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση της ποιότητας των τροφίμων και για την αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό. Έτσι, καθίσταται σημαντική η μελέτη των ιδιοτήτων αυτών μέσω οργανοληπτικής αξιολόγησης είτε/και με τη χρήση κατάλληλων οργάνων (Fischer & Windhab, 2011).

5.2 ΙΞΩΔΕΣ

Το ιξώδες (η) αποτελεί την πιο σημαντική ρεολογική ιδιότητα και εκφράζει την αντίσταση των ρευστών σε συνεχή παραμόρφωση, αποτελεί το μέτρο έκφρασης της εσωτερικής τριβής (Darby, S. ; Thorne, 1996). Το ιξώδες ορίζεται ως η παραμόρφωση που προκαλείται από μια επιβαλλόμενη δύναμη F σε μια επιφάνεια A συναρτήσει του χρόνου t και συσχετίζει την διατμητική τάση (shear stress) που εφαρμόζεται με την με το ρυθμό διάτμησης (shear rate).



Εικόνα 11: Μεταβολή του ιξώδους (μ) συναρτήσει του ρυθμού διάτμησης (γ) για Νευτώνια, διασταλτικά και ψευδοπλαστικά ρευστά

Ανάλογα με τη συμπεριφορά που παρουσιάζουν τα ρευστά στην εφαρμογή διατμητικής τάσης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, στα Νευτώνια και τα μη Νευτώνια ρευστά.

Στην πρώτη κατηγορία το ιξώδες είναι ανεξάρτητο του ρυθμού διάτμησης και η διατμητική τάση είναι ανάλογη του ρυθμού διάτμησης, ενώ στη δεύτερη κατηγορία των μη Νευτώνειων ρευστών ο λόγος της διατμητικής τάσης προς τον ρυθμό διάτμησης δεν είναι σταθερός (Bourne, 2002).

Στα μη Νευτώνια ρευστά ανήκουν αιωρήματα, πήκτες ή γαλακτώματα και χωρίζονται στα ρευστά που η ροή τους είναι ανεξάρτητη ή εξαρτώμενη του χρόνου. Η ρεολογική συμπεριφορά των μη-Νευτώνειων υγρών τροφίμων περιγράφεται από τη σχέση (Steffe, 1996):

$$\eta_a = k \cdot \dot{\gamma}^{(n-1)},$$

όπου το η_a είναι το φαινομενικό ιξώδες σε Pa·s, $\dot{\gamma}$ είναι η ρυθμός διάτμησης σε s^{-1} , n είναι ο δείκτης συμπεριφοράς ροής και k είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας σε Pa·sn.

Η θερμοκρασία και η συγκέντρωση αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για το ιξώδες (Cohen & Weihs, 2010). Με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση στον ελεύθερο διαθέσιμο όγκο του συστήματος με συνέπεια την ευκολότερη κίνηση των μορίων και τη μείωση του ιξώδους (Sun et al., 2006).

Όσον αφορά τη συγκέντρωση, όταν είναι πολύ μικρή η αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων είναι αμελητέα και το σύστημα τείνει σε νευτωνική συμπεριφορά (Barba et al., 2017; Elmashad et al., 2005).

Όταν η συγκέντρωση αυξηθεί σε μια μέγιστη τιμή, οδηγεί σε έντονη μοριακή αλληλεπίδραση και κατ'επέκταση παρατηρείται αύξηση στο σχετικό ιξώδες. Σε διάλυμα σακχαρόζης προκύπτει μεγαλύτερο ιξώδες έναντι διαλυμάτων φρουκτόζης ή γλυκόζης ίδιας συγκέντρωσης, λόγω του μεγαλύτερου μοριακού βάρους της σακχαρόζης (Wrolstad, 2013).

5.3 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Η πιο κατάλληλη μέθοδος για την περιγραφή συμπεριφοράς ιξωδοελαστικών συστημάτων αποτελούν τα πειράματα μεταβολής της τάσης με το χρόνο. Στο δείγμα επιβάλλεται μια στιγμιαία παραμόρφωση και προσδιορίζεται η μεταβολή της τάσης συναρτήσει του χρόνου (Karathanos et al., 1994; Telis et al., 2005).

Δοκιμές που χρησιμοποιούνται για την μελέτη της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς αποτελούν οι μέθοδοι μη σταθερής διάτμησης, είτε δοκιμή αιφνίδιας μεταβολής της τάσης (Transient Tests) είτε ροή διάτμησης με ταλάντωση (Oscillatory Shear Flow). Η πιο συχνή τεχνική μικρής παραμόρφωσης για μελέτη ιξωδοελαστικότητας των τροφίμων είναι η διάτμηση μικρού πλάτους ταλάντωσης (Small Amplitude Oscillatory Shear-SAOS).

Από τη συγκεκριμένη δοκιμή προκύπτουν οι ρεολογικοί παράμετροι: G' (συντελεστής αποθήκευσης), G'' (συντελεστής απώλειας), $\tan\delta$ (εφαπτόμενη απώλειας) ισούται με το λόγο G''/G' και η (ιξώδες-μέτρο της εσωτερικής τριβής).

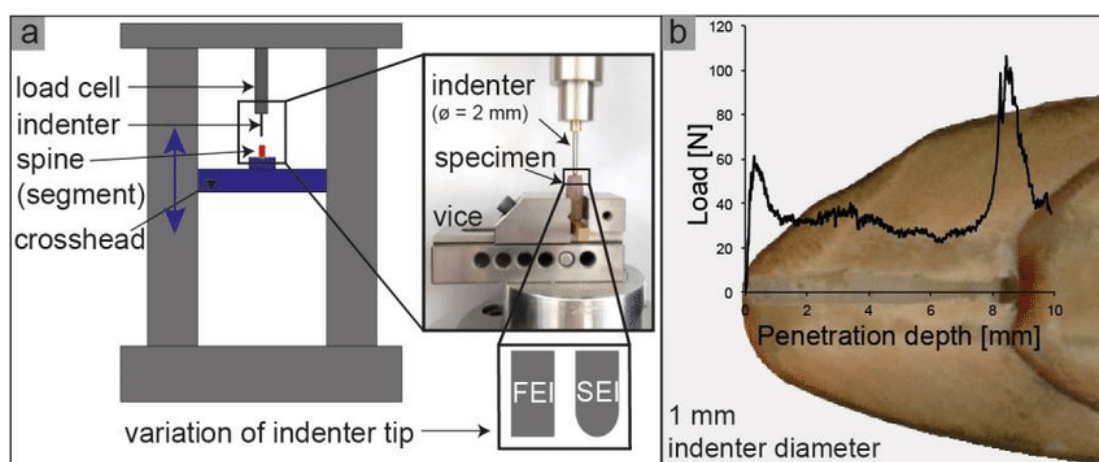
Ως συντελεστής G' ορίζεται η ενέργεια που ανακτάται ανά κύκλο παραμόρφωσης και εκφράζει τον ελαστικό χαρακτήρα ενός υλικού, όσο μεγαλύτερη η τιμή του το υλικό τείνει σε συμπεριφορά στερεού, ενώ παίρνει μηδενική τιμή σε υγρό. Ο συντελεστής G'' ορίζεται ως η απώλεια της ενέργειας ανά κύκλο παραμόρφωσης και εκφράζει την ιξώδη συμπεριφορά, όσο μεγαλύτερη η τιμή του το υλικό τείνει σε συμπεριφορά υγρού, ενώ λαμβάνει μηδενική τιμή σε τελείως ελαστικά στερεά.

Η εφαπτόμενη της γωνίας διαφοράς φάσης, $\tan\delta$, είναι ο λόγος της απώλειας της ενέργειας προς την ενέργεια που αποθηκεύεται ανά κύκλο παραμόρφωσης. Λαμβάνει μηδενική τιμή όταν η τάση κ η παραμόρφωση βρίσκονται σε φάση και αντιστοιχεί σε πλήρως ελαστικό στερεό, ενώ η γωνία φάσης 90° αντιστοιχεί σε υγρό (Ahmed et al., 2005).

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΗΣ

Η υφή των προϊόντων αποτελεί μια βασική παράμετρο για την αξιολόγηση της ποιότητας των τροφίμων με τον προσδιορισμό μηχανικών ιδιοτήτων που αφορούν την εσωτερική μικρο-δομή τους, όπως η σκληρότητα, η θραυστότητα, η συνεκτικότητα, η κολλητικότητα κ.α. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της κρυστάλλωσης όπου παρατηρείται αύξηση της σκληρότητας (Krupa-Kozak et al., 2012).

Στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των τροφίμων συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων και τεχνικές διάτρησης, συμπίεσης, διάτμησης εφελκυσμού, ακουστικές διεργασίες και οργανοληπτικές δοκιμές (Van Vliet & Primo-Martin, 2011). Η χρήση των ενόργανων μεθόδων προσφέρει πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα (Lan Chen & Opara, 2013; Oraguzie et al., 2009).



Εικόνα 12: Διάγραμμα λειτουργίας μηχανήματος διάτρησης

Οι πιο συνήθεις μέθοδοι είναι οι τεχνικές συμπίεσης και διάτρησης, εφαρμόζονται σε στερεά και ημιστερεά υλικά, τμηματικά ή σε όλη την επιφάνεια. Συγκεκριμένα, η δύναμη που απαιτείται για δεδομένη παραμόρφωση του τροφίμου ορίζεται ως σκληρότητα.

Η δύναμη που απαιτείται για να σπάσει/θρυμματιστεί το τρόφιμο, δηλαδή να υποστεί κατάρρευση της δομής του εκφράζει τη θραυστότητα. Και η δύναμη που απαιτείται ώστε να προκληθεί συμπίεση ή παραμόρφωση στο τρόφιμο χωρίς να σπάσει εκφράζει τη συνεκτικότητα (Gilbert & Hammond, 1988; Szczesniak, 2002).

7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

7.1 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΟΝΗΣ ΦΡΑΓΚΟΣΥΚΟΥ - ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΕ ΨΕΚΑΣΜΟ

Για την έρευνα συλλέχθηκαν φραγκόσυκα μωβ ποικιλίας (*Oruntia spp.*) από την Αττική. Τα φραγκόσυκα αποφλοιώθηκαν και στη συνέχεια παραλήφθηκε ο χυμός τους με πίεση του καθαρισμένου καρπού σε τούλι.

Για τη παρασκευή της σκόνης πραγματοποιήθηκε ανάμειξη 100 g χυμού με 9,8 g μαλτοδεξτρίνη (MD, DE 17) και 9,8 g πρωτεΐνη ορού γάλακτος (WPI) με αναλογία στερεών χυμών: MD:WPI να είναι 1:1:1. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της σκόνης ήταν η ξήρανση με ψεκασμό (Edibon).



Εικόνα 13: Το μηχάνημα ξήρανσης ψεκασμού (spray-dryer) που χρησιμοποιήθηκε στην εργαστηριακή έρευνα EEdibon

Έγινε παροχή του μείγματος στο θάλαμο ξήρανσης με θερμοκρασία εισόδου 150°C, θερμοκρασία εξόδου 65-70°C, ρυθμός παροχής 17ml/min, ροή αέρα 39m³/h και πίεση 5bar. Ποσότητα σκόνης 0,1 g σε φιαλίδια και αποθηκεύτηκε σε θερμοκρασίες των 25°C, 40°C και 60°C για χρονικό διάστημα 15 εβδομάδων με σκοπό την μελέτη της ποιοτικής υποβάθμισης, των χρωστικών.

7.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΟΝΗΣ

Η υγρασία της σκόνης προσδιορίστηκε βάση της πρότυπης μεθόδου 44-15.2 (AACC, 2012). Η ενεργότητα νερού (a_w) προσδιορίστηκε με κατάλληλη εργαστηριακή συσκευή.

7.3 ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΗΤΑΛΑΙΝΩΝ-ΦΩΤΟΜΕΤΡΟ

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των βηταλαϊνών παρασκευάστηκε ρυθμιστικό διάλυμα McIlvaine pH 6.5 με σκοπό παρασκευή διαλυμάτων από σκόνη φραγκόσυκου και την αραίωση αυτών για να ληφθούν οι τιμές απορρόφησης.

Το περιεχόμενο των βηταλαϊνών προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$BC(mg/l) = \frac{A \times DF \times MW \times 1000}{\epsilon \times L}$$

όπου A η απορρόφηση, DF ο παράγοντας αραίωσης, MW το μοριακό βάρος (g/mol), L το μήκος της κυβελίδας (cm) και ϵ η μοριακή απορρόφηση (L/mol*cm) (Cai & Corke, 2000). Εφαρμόστηκαν οι συντελεστές γραμμομοριακής απόσβεσης για τις βητανίνες ($\epsilon=60.000$ L/mol*cm σε H₂O, MW= 550 g/mol) και τις ινδιξανθίνες ($\epsilon=48.000$ L/mol*cm H₂O MW=308 g/mol) (Stintzing et al., 2003)

7.4 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΓΕΜΙΣΗΣ ΜΠΙΣΚΟΤΩΝ

. Συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν 6 συνταγές (Πίνακας 3) με διαφορετική περιεκτικότητα σκόνης σε φραγκόσυκο (0,1%, 0,5%, 1%, 3% και 6%) και την αντίστοιχη υποκατάσταση σε ζάχαρη. Η ποσότητα φοινικέλαιου αναμίχθηκε με τη λεκιθίνη και παρέμειναν υπό ανάδευση για 5 λεπτά στους 45°C.

Στη συνέχεια προστίθενται με τη σειρά η σκόνη φραγκόσυκου, η ζάχαρη και το άμυλο αραβοσίτου και αναδεύονται μέχρι να επέλθει ομογενοποίηση του μίγματος. Οι κρέμες αποθηκεύτηκαν για χρονικό διάστημα 15 εβδομάδων στους 25°C με σκοπό τη μελέτη των χρωστικών καθώς και της ρεολογικής συμπεριφοράς και της υφής τους.

Πίνακας 3: Συνταγή κρέμας

Υλικά	Ποσότητα (% w/w)					
	Μάρτυρας	6%	3%	1%	0,5%	0,1%
Ζάχαρη άχνη	57,5	57,5	60,5	62,5	63	63,4
Λιπαρά	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Σκόνη φρούτου	6,0	6,0	3	1	0,5	0,1
Άμυλο αραβοσίτου	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Λεκιθίνη	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

7.5 ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

Στις εργαστηριακές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα χρωματομέτρησης 3nh High-Quality Spectrophotometer NS800S (SHENZHEN 3NH TECHNOLOGY CO., LTD., COLORCONTROLLER HK LIMITED, Xili, NanshanDistrict, Shenzhen, China).



Εικόνα 14: Το μηχάνημα χρωματομέτρησης (High-Quality Spectrophotometer NS800S) που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές μετρήσεις

7.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΗΣ

Οι μετρήσεις της υφής των κρεμών (σκληρότητα) πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του Instron model 3343 (Instron, Nordwood, MA, USA), εφαρμόζοντας δοκιμές διάτρησης με επίπεδο καθετήρα διαμέτρου 15mm, με ρυθμό διάτρησης 1mm/s σε απόσταση 15mm. Τέσσερις διατρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δείγμα.

Μετρήθηκε η μέγιστη δύναμη διάτρησης (N) ως η δύναμη που απαιτείται για να προκληθεί η συγκεκριμένη παραμόρφωση στο υλικό δίνοντας τη σκληρότητα του υλικού. Οι κρέμες αποθηκεύτηκαν για χρονικό διάστημα 75 ημερών και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την ημέρα της παρασκευής(ημέρα μηδέν) και την 75^η ημέρα.



Εικόνα 15: Το μηχάνημα διάτρησης (Instron model 3343) που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές έρευνες

7.7 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι ρεολογικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ρεομέτρου Discovery HR-3 Hybrid Rheometer (TA Instruments, New Castle, DE, USA) με πλάκα διαμέτρου 40mm. Η ρεολογική συμπεριφορά των κρεμών μελετήθηκε σε σταθερή θερμοκρασία των 25(+0,1)°C με ρυθμό διάτμησης ($\dot{\gamma}$) από 0,10 μέχρι 100s⁻¹, σε διάστημα 1mm.

Η ιξωδοελαστική συμπεριφορά μελετήθηκε με διάτμηση μικρούς πλάτους ταλάντωσης συχνότητας από 0,1 – 16 Hz με ένταση από 0,05%, με σταθερή θερμοκρασία των 25(+0,1)°C και ανακτήθηκαν οι τιμές των συντελεστών αποθήκευσης G' και απώλειας G'' , η γωνία απώλειας $\tan\delta$ και το ιξώδες (η).



Εικόνα 16: Το ρεόμετρο που χρησιμοποιήθηκε στις εργαστηριακές μελέτες

7.8 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με χρήση του προγράμματος Statgraphics Centurion XV (Statgraphics, Rockville, MD, USA). Για την σύγκριση των μέσω τιμών των αποτελεσμάτων στα δείγματα της κρέμας χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση διακύμανσης ANOVA Fisher's LSD σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΟΝΗΣ

Με χρήση ογκομετρικού κυλίνδρου προσδιορίστηκε η πυκνότητα της σκόνης p , 0,29 g/ml. Το ποσοστό υγρασίας βρέθηκε να αντιστοιχεί στα 17,01% και η ενεργότητα νερού της σκόνης (a_w) ταυτοποιήθηκε στα 0,34.

8.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΗΤΑΛΑΙΝΩΝ-ΦΩΤΟΜΕΤΡΟ

Η περιεκτικότητα των βητακυανίνες κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης αποδείχθηκε ότι παρουσιάζει ελάχιστη μείωση για των θερμοκρασίες 25°C και 40°C και συγκεκριμένα από την αρχική ποσότητα 246,13 mg/100 g_{sample} η τελική ποσότητα προσδιορίστηκε στα 242,46 mg/100 g_{sample} και 242,69 mg/100 g_{sample} . Όσον αφορά αυτές τις δυο θερμοκρασίες, φαίνεται η επίδραση στην περιεκτικότητα των βητακυανινών να είναι αμελητέα για το διάστημα της αποθήκευσης και διατηρούνται σε ποσοστό 98%.

Σε έρευνα που έγινε σύγκριση μεταξύ των συστημάτων CP-SPI-I και CP-SPI-MD, (CP:cactus pear, SPI:soybean protein isolate, MD:maltodextrin and I:inulin), τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ενσωμάτωση πολυσακχαριτών αύξησαν την σταθερότητα των βηταλαινών, πιθανά επειδή προσφέρουν καλύτερες ιδιότητες σχηματισμού φιλμ.

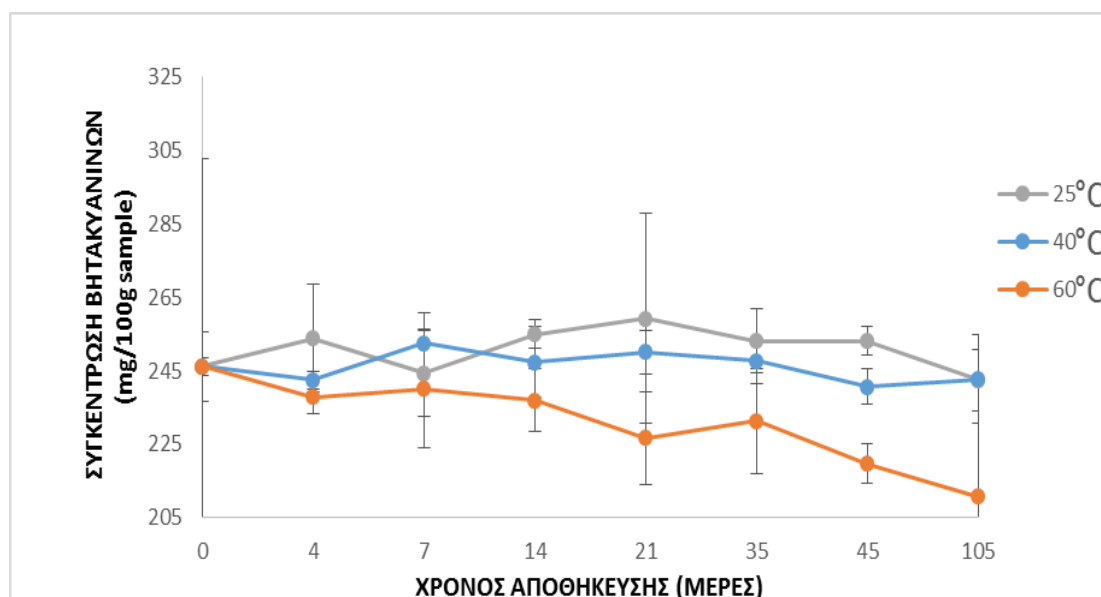
Το σύστημα CP-SPI-MD παρουσιάζει διατήρηση των χρωστικών σε ποσοστό 93% έναντι του συστήματος CP-SPI-I με ποσοστό διατήρησης 85% (Robert et al., 2015). Αντίθετα, στη θερμοκρασία των 60°C παρουσιάζεται μεγαλύτερη πτώση των βητακυανινών σε ποσοστό 15% και συγκεκριμένα, από αρχική τιμή 246,13 mg/100 g_{sample} προκύπτει η τελική τιμή 210,83 mg/100 g_{sample} . Γίνεται αντιληπτό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει αρνητική επίδραση στη διατήρηση των βηταλαινών.

Η περιεκτικότητα των βηταξανθινών παρουσιάζει αύξηση και στις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Με την μεγαλύτερη αύξηση βηταξανθινών να παρουσιάζεται στα δείγματα που αποθηκεύτηκαν στους 60°C και παρουσίασαν την μεγαλύτερη πτώση σε βητακυανίνες. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία αποθήκευσης τόσο μεγαλύτερη και η αύξηση των βηταξανθινών.

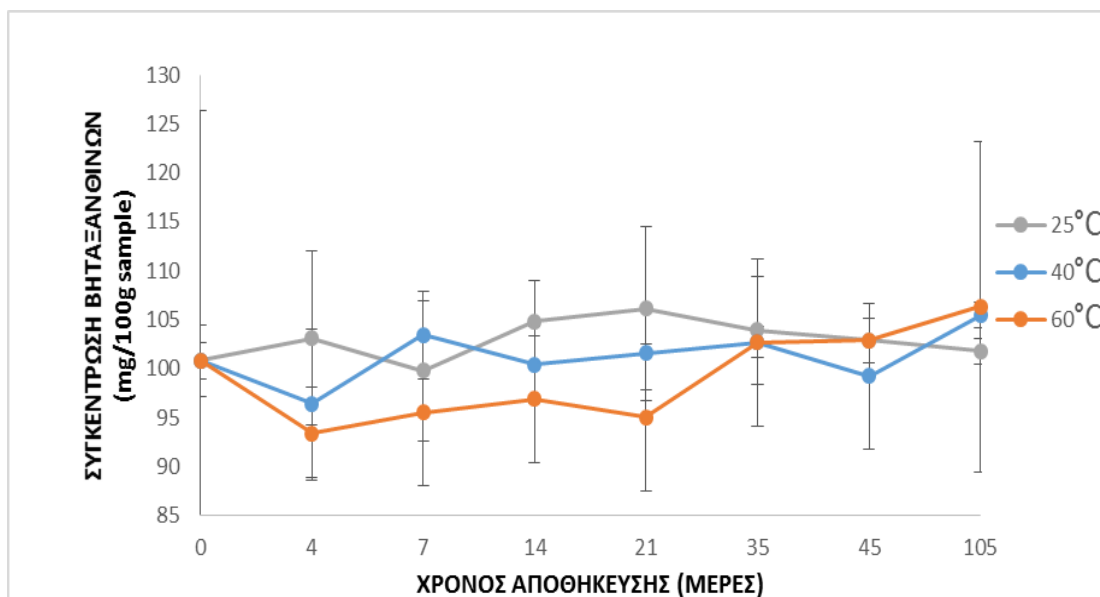
Πιο συγκεκριμένα από την αρχική τιμή της περιεκτικότητας σε βηταξανθίνες 100,83 mg/100 g_{sample} προκύπτουν οι τιμές 101,75 mg/100 g_{sample} , 105,42 mg/100 g_{sample} , και 106,33 mg/100 g_{sample} για τις θερμοκρασίες 25°C, 40°C, 60°C αντίστοιχα.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την επίδραση της θερμοκρασίας στις βηταλαΐνες, (K.M. Herbach et al., 2006), αναφέρεται πως με αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου αποθήκευσης οι βητακυανίνες μειώνονται και η βηταξανθίνες αυξάνονται. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται αύξηση της νεομπετανίνης η οποία προσδίδει πιο κίτρινες αποχρώσεις και η βουλγαξανθίνη δεν ανιχνεύεται καθόλου στο τέλος της αποθήκευσης.

Οι κίτρινες χρωστικές παρουσιάζουν αντίσταση στη θερμική επεξεργασία σε σχέση με τις κόκκινες. Αυτό εξηγεί και την αύξηση των βηταξανθίνων στα δείγματα των κρεμών αφού με τη αύξηση της θερμοκρασίας (60°C) τείνουν να αυξάνονται ουσίες που δίνουν πιο κίτρινες αποχρώσεις.



Εικόνα 16: Διάγραμμα της περιεκτικότητας των βητακυανινών συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 25°C, 40°C, και 60°C



Εικόνα 17: Διάγραμμα της περιεκτικότητας των βητακυανινών συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 25°C, 40°C, και 60°C

8.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Οι μετρήσεις του χρωματόμετρου δείχνουν ότι δεν υπάρχει διαφορά στο χρώμα σε όλες τις κρέμες κατά την αποθήκευση με την τιμή L δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά και στις δύο θερμοκρασίες των 25°C και 40°C (Πίνακας 4, 5).

Το δείγμα ελέγχου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή L (80,74) αφού χρωματικά πλησιάζει τη λευκή απόχρωση. Στις υπόλοιπες συνταγές φαίνεται η τιμή L να μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα της περιεκτικότητας σε σκόνη φραγκόσυκου αφού το χρώμα γίνεται πιο σκούρο. Οι διαφορές των δειγμάτων μεταξύ των δύο μετρήσεων είναι περίπου 2 μονάδες. Οι παράμετροι a και b αυξάνονται ελάχιστα, παρουσιάζεται δηλαδή, μια μικρή τάση το χρώμα να γίνει πιο σκούρο και να αποκτήσουν μεγαλύτερη ένταση οι αποχρώσεις του κόκκινου (αύξηση a) και του μπλε (μείωση b).

Οι παράγοντες που συνέβαλαν στη σταθερότητα που παρουσιάζουν τα δείγματα είναι η τεχνική μικροενθυλάκωσης που πραγματοποιήθηκε για την παρασκευή της σκόνης, η απουσία φωτός και τα συστατικά της κρέμας που λειτούργησαν προστατευτικά

Σε χρήση των βηταξανθινών (κίτρινη απόχρωση) για παρασκευή αναψυκτικού και γιαουρτιού έδειξαν ότι το γιαούρτι παρουσίασε μικρότερη χρωματική υποβάθμιση έναντι του αναψυκτικού, παρουσία ή μη φωτός, λόγω των συστατικών, καθώς και

μικρότερη υποβάθμιση παρουσίασαν τα δείγματα αναψυκτικού απουσία φωτός (Fernández-López et al., 2018).

Πίνακας 4 :Οι παράμετροι L,a,b για κάθε συνταγή σε θερμοκρασία 25°C

μάρτυρας	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	80,74	3,71	a	-1,24	0,10	a	9,93	0,78	a
day75	84,68	1,08	a	-0,31	0,24	b	10,98	0,61	a
filling 6%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	40,24	1,12	a	37,00	1,01	a	-16,02	0,40	a
day75	41,58	0,10	a	39,84	0,25	b	-17,41	0,09	b
filling 3%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	46,08	0,74	a	35,16	0,89	a	-16,70	0,50	a
day75	47,54	0,58	a	37,62	0,34	b	-17,78	0,11	b
filling 1%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	57,43	3,18	a	27,92	1,64	a	-14,45	0,64	a
day75	60,87	1,43	a	28,59	0,75	a	-14,47	0,58	a
filling 0,5%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	69,20	2,68	a	19,06	0,83	a	-9,35	0,29	a
day75	71,14	1,45	a	19,40	1,36	a	-9,16	0,60	a
filling 0,1%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	77,41	2,93	a	8,33	0,61	a	-1,21	0,13	a
day75	79,70	0,56	a	8,24	0,15	a	-0,83	0,09	b

*Παρουσιάζονται οι μέσες τιμές (mean) και οι τυπικές αποκλίσεις (standard deviation) τριών επαναλήψεων. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές (p≤0.05)

Πίνακας 5 : Οι παράμετροι L,a,b για κάθε συνταγή σε θερμοκρασία 40°C

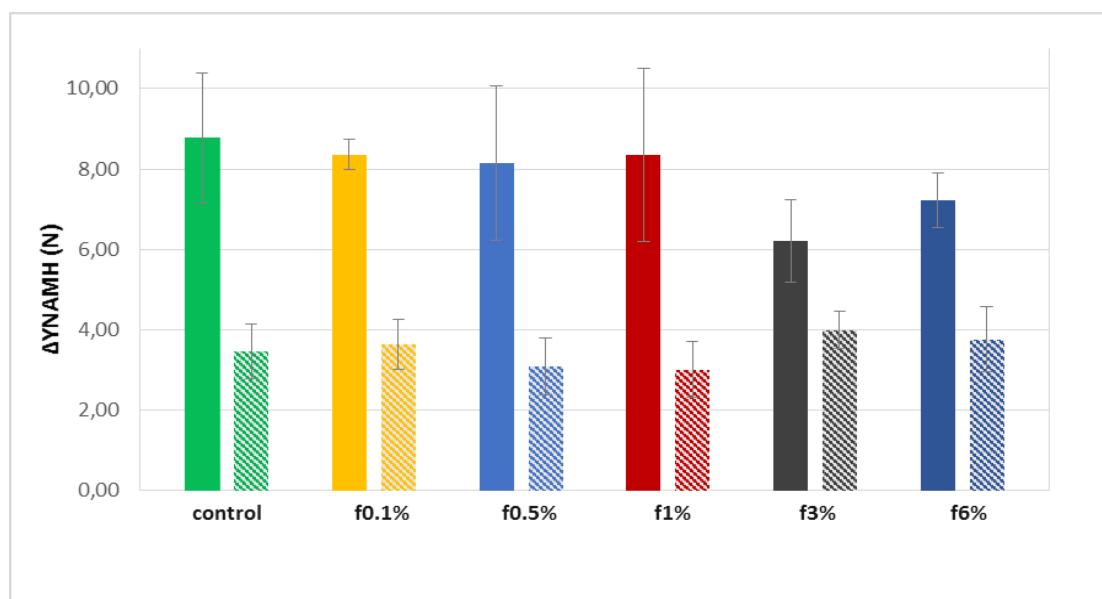
μάρτυρας	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	79,72	2,92	a	-1,08	0,34	a	10,11	0,58	a
day75	80,67	0,13	a	0,84	0,15	b	14,26	0,64	b
filling 6%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	39,45	2,59	a	37,74	1,89	a	-16,00	0,87	a
day75	41,56	0,69	a	38,51	0,25	a	-14,62	0,30	a
filling 3%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	46,26	1,80	a	35,71	2,10	a	-16,55	0,98	a
day75	46,73	0,70	a	38,50	1,38	a	-16,09	0,13	a
filling 1%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	56,99	2,84	a	28,29	1,95	a	-14,38	0,55	a
day75	58,03	0,75	a	28,89	0,60	a	-13,96	0,17	a
filling 0,5%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	66,80	0,63	a	20,67	2,25	a	-9,90	0,74	a
day75	67,91	0,73	a	22,49	0,16	a	-9,46	0,18	a
filling 0,1%	L			a			b		
	Mean	St.dev		Mean	St.dev		Mean	St.dev	
product day	76,47	2,14	a	8,48	0,84	a	-1,20	0,15	a
day75	77,90	0,24	a	8,80	0,35	a	-0,91	0,20	a

*Παρουσιάζονται οι μέσες τιμές (mean) και οι τυπικές αποκλίσεις (standard deviation) τριών επαναλήψεων. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν σημαντικές διαφορές (p≤0.05)

8.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΗΣ

Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε φιαλίδια στους 25°C και οι μετρήσεις σκληρότητας πραγματοποιήθηκαν την ημέρα της παρασκευής και μετά το πέρας 75 ημερών. Έχει αναφερθεί πως με μείωση της περιεκτικότητας σε ζάχαρη προκύπτει μείωση της απαιτούμενης δύναμης διάτρησης (Laguna et al., 2013).

Στη περίπτωση των δειγμάτων κρέμας με μικρή υποκατάσταση ζάχαρης από σκόνη φραγκόσουκου δεν παρατηρείται μείωση της δύναμης που να σχετίζεται με το ποσοστό της ζάχαρης. Η παρουσία ζάχαρης έχει αποδειχθεί πως περιορίζει την περιεκτικότητα σε στερεά λιπαρά και καταστέλλει την ανάπτυξη κρυστάλλων λίπους αλλά αυξάνει το στερεό χαρακτήρα του φοινικέλαιου (West & Rousseau, 2016). Όλα τα δείγματα της έρευνας παρουσίασαν πτώση της σκληρότητας (**Εικόνα 18**). Πιθανώς, η πτώση να οφείλεται στα υπόλοιπα υλικά της κρέμας, ακόμη και η παρουσία μικρής ποσότητας μαλτοδεξτρίνης και πρωτεΐνης ορού από τη σκόνη και πρέπει να γίνει περαιτέρω διερεύνηση.



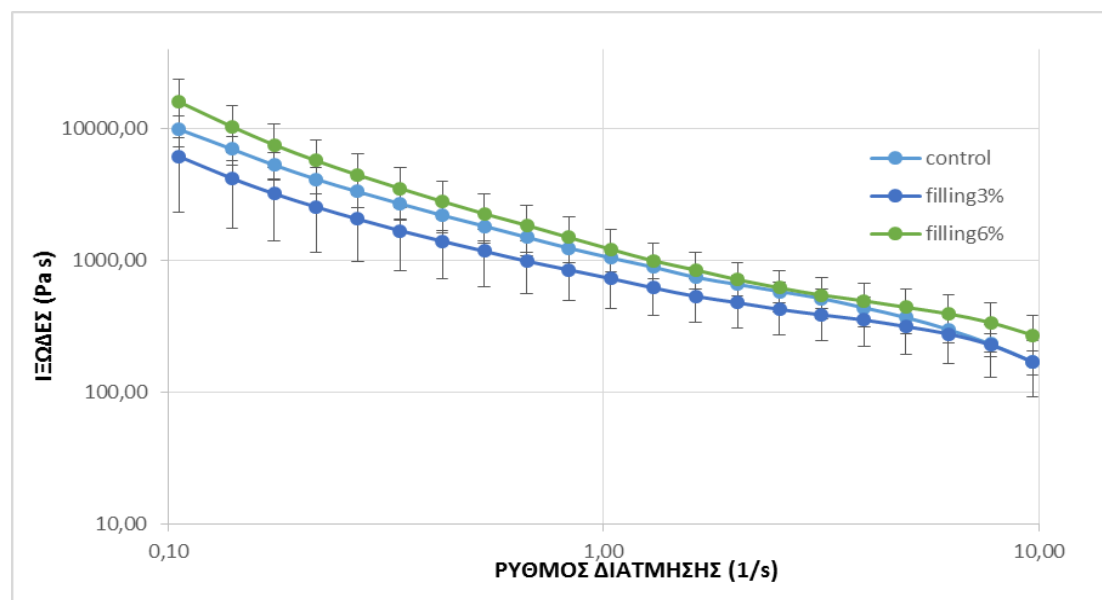
Εικόνα 18: Διάγραμμα που απεικονίζει την σκληρότητα (N) την ημέρα παρασκευής-ημέρα μηδέν(συμπαγείς ράβδοι) και την 75η ημέρα-τέλος αποθήκευσης(διακεκομμένοι ράβδοι) για την κρέμα ελέγχου(πράσινο), και τις κρέμες φραγκόσουκου 0,1%(κίτρινο), 0,5%(μπλε ανοιχτό, 1%(κόκκινο), 3%(μαύρο) και 6%(μπλε σκούρο

8.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

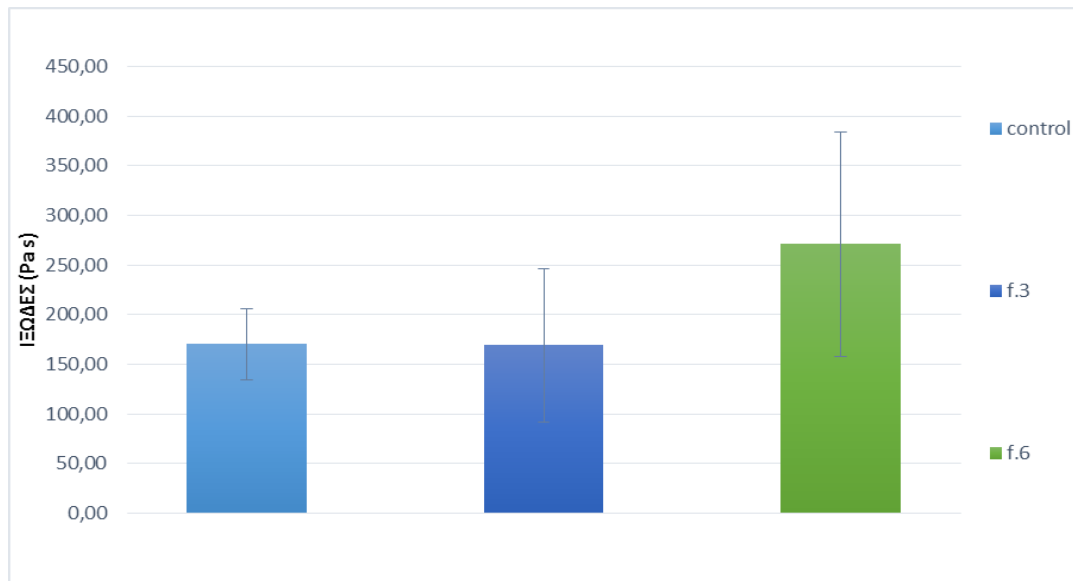
Το πλήρως λιωμένο φοινικέλαιο είναι καθαρά ιξώδες σύστημα και η γωνία δ ισούται με 90°C . Με την ανάπτυξη των κρυστάλλων αυξάνεται ο στερεός χαρακτήρας του ελαίου και η γωνία δ μειώνεται. Για τιμές της γωνίας δ πάνω από 45° εμφανίζει κυρίως ρευστό χαρακτήρα ενώ για τιμές κάτω των 45° επικρατεί ο συμπαγής χαρακτήρας. Σε ένα πλήρως κρυσταλλωμένο σύστημα η γωνία δ πλησιάζει το μηδέν (De Graef et al., 2006).

Σε έρευνα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί τύποι φοινικέλαιου παρουσία η μη ζάχαρης, στο μίγμα λίπους-ζάχαρης, η ζάχαρη καταλαμβάνει όγκο στις διασπορές και το αναπτυσσόμενο δίκτυο κρυστάλλων λίπους αναγκάζεται να αναπτυχθεί στον υπολειπόμενο όγκο με αποτέλεσμα πιο συμπαγείς κρυσταλλικές διασπορές, η παρουσία ζάχαρης μειώνει την περιεκτικότητα σε στερεά λιπαρά αλλά αυξάνει τον στερεό χαρακτήρα τους.

Παρατηρήθηκε αύξηση τόσο του G' όσο και του G'' συναρτήσει της αποθήκευσης, αύξηση των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων στις κρέμες ελέγχου. Οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες των κρεμών επιβεβαίωσαν ότι οι ρεολογικές αλλαγές που παρατηρούνται εξαρτώνται κυρίως από το έλαιο και όχι από τη παρουσία ζάχαρης (West & Rousseau, 2016).

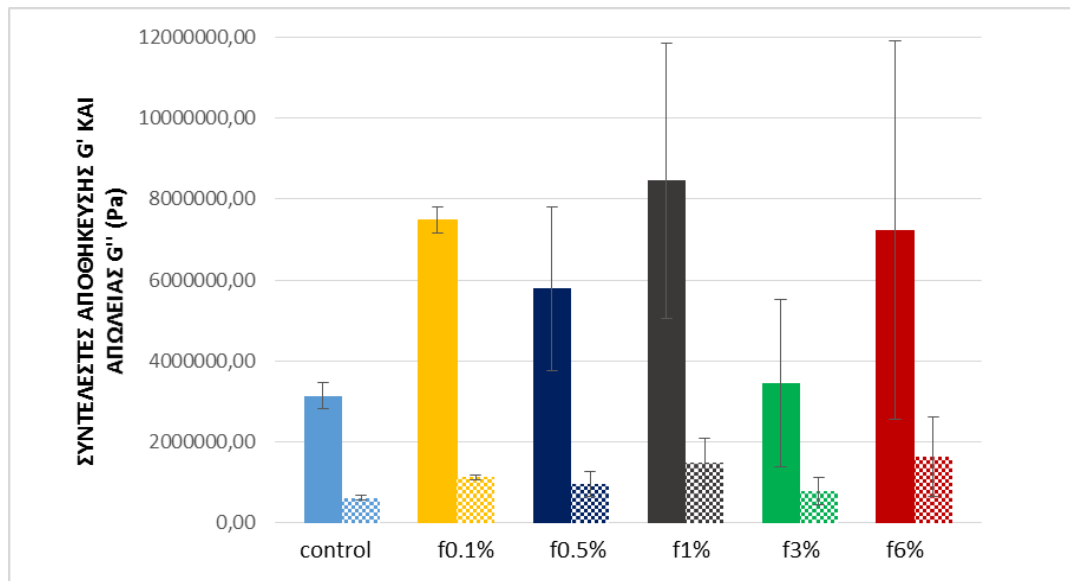


Εικόνα 19: Διάγραμμα του ιξώδους συναρτήσει του ρυθμού διάτμησης για την κρέμα ελέγχου(μπλε ανοιχτό), κρέμα φραγκόσκου 3%(μπλε σκούρο) και 6%(πράσινο)



Εικόνα 20: Διάγραμμα του ιξώδους σε συγκεκριμένο ρυθμό διάτμησης 10 s^{-1} για την κρέμα ελέγχου(μπλε ανοιχτό) και τις κρέμες φραγκόσκουκου 0,1%(γκρι), 0,5%(κίτρινο), 3%(μπλε σκούρο) και 6%(πράσινο)

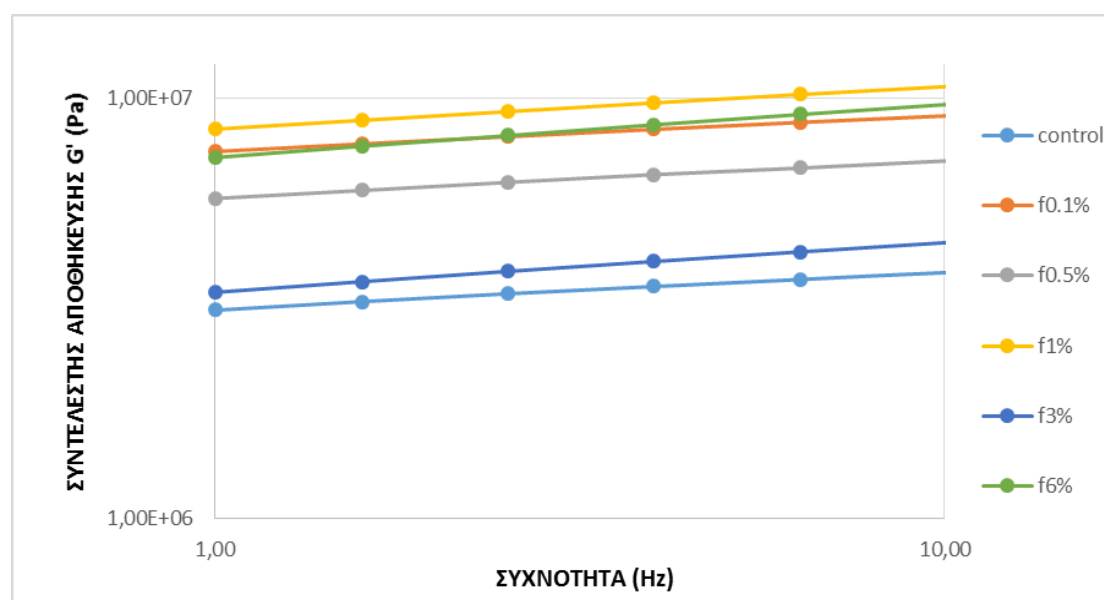
Από τη σύγκριση του ιξώδους (**Εικόνα 19**) για την κρέμα ελέγχου και τις κρέμες με υποκατάσταση 3% και 6% φαίνεται το ιξώδες να μην παρουσιάζει διαφορά και μειώνεται με την αύξηση του ρυθμού διάτμησης. Συγκεκριμένα, η κρέμα ελέγχου και η κρέμα με 3% υποκατάσταση σε συγκεκριμένο ρυθμό διάτμησης 10 s^{-1} , παρουσιάζουν την ίδια τιμή ιξώδους. (**Εικόνα 20**).



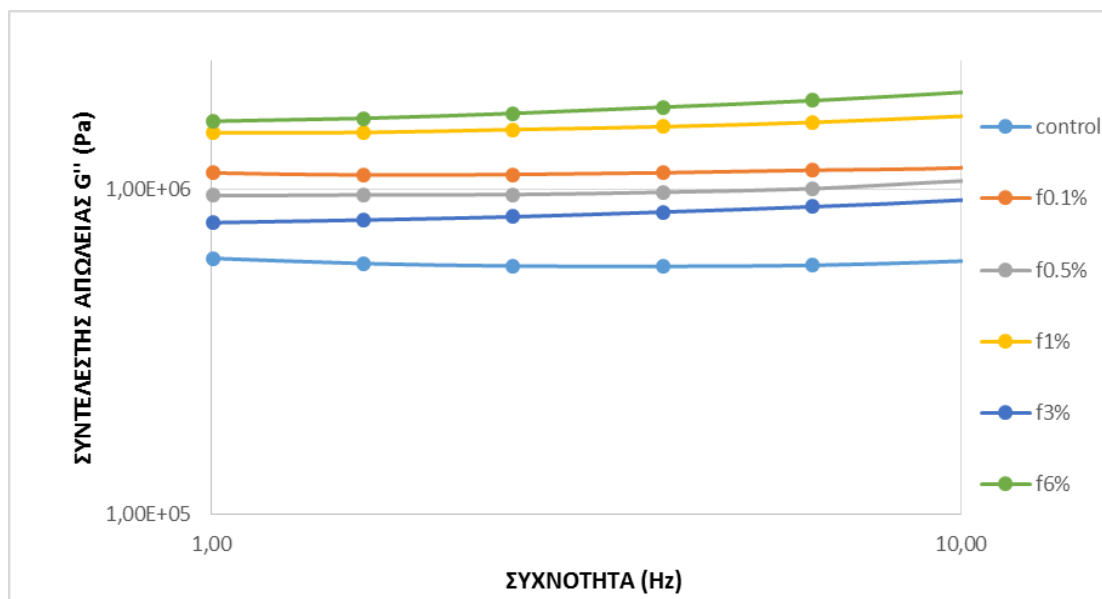
Εικόνα 21: Διάγραμμα των συντελεστών αποθήκευσης G' (συμπλεγείς ράβδοι) και απώλειας G'' (διακεκομμένοι ράβδοι) σε συχνότητα 10 Hz, για την κρέμα ελέγχου (μπλε ανοιχτό) και τις κρέμες φραγκόσκου 0,1% (κίτρινο), 0,5% (μπλε σκούρο), 1% (μαύρο), 3% (πράσινο) και 6% (κόκκινο)

Από τη δοκιμή διάτμησης μικρού πλάτους ταλάντωσης προκύπτουν οι συντελεστές αποθήκευσης G' και απώλειας G'' . Από τα αποτελέσματα φαίνονται και οι δύο συντελεστές να αυξάνονται (**Εικόνα 22-23**) με τον συντελεστή αποθήκευσης G' πάντα μεγαλύτερο του συντελεστή απώλειας G'' (**Εικόνα 21**) και συνεπάγεται αύξηση των ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων.

Αυτό σημαίνει ότι η γωνία $\tan\delta$ ($=G''/G'$) παίρνει μικρότερες τιμές και οι κρέμες τείνουν σε συμπεριφορά ελαστικού στερεού. Ο γρήγορος ρυθμός ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό πολλών μικρών κρυστάλλων και υψηλές τιμές G' ενώ ο αργός ρυθμός ψύξης προκαλεί τον σχηματισμό λιγότερων αλλά μεγαλύτερων σε μέγεθος κρυστάλλων και μικρότερες τιμές G' .



Εικόνα 22: Διάγραμμα του συντελεστή αποθήκευσης G' συναρτήσει της συχνότητας (Hz) για την κρέμα ελέγχου(μπλε ανοιχτό), και τις κρέμες φραγκόσκουκου 0,1%(πορτοκαλί), 0,5%(γκρι), 1%(κίτρινο), 3%(μπλε σκούρο) και 6%(πράσινο)



Εικόνα 23: Διάγραμμα του συντελεστή αποθήκευσης G'' συναρτήσει της συχνότητας (Hz) για την κρέμα ελέγχου(μπλε ανοιχτό), και τις κρέμες φραγκόσκου 0,1%(πορτοκαλί), 0,5%(γκρι), 1%(κίτρινο), 3%(μπλε σκούρο) και 6%(πράσινο)

9.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της έρευνας φαίνεται πως η σκόνη του φραγκόσυκου στις θερμοκρασίες των 25°C και 40°C παρουσιάζει καλή σταθερότητα των χρωστικών βηταλαινών κατά την αποθήκευση και την καθιστά ένα κατάλληλο προϊόν για χρήση ως χρωστική σε τρόφιμα που δεν υπόκεινται σε θερμική επεξεργασία μεγαλύτερη των 40°C. Στη θερμοκρασία των 60°C αρχίζει να παρουσιάζεται πτώση των βητακυανινών και τάση να αυξηθούν οι κίτρινες αποχρώσεις.

Προέκυψε πως όλες οι κρέμες που δημιουργήθηκαν, και η κρέμα ελέγχου, παρουσιάζουν μείωση της σκληρότητας στις 75 ημέρες. Περαιτέρω πρέπει να διερευνηθούν οι παράγοντες που συμβάλουν στην μείωση της σκληρότητας αλλά και το διάστημα στο οποίο σταθεροποιείται.

Οι κρέμες παρουσίασαν την τάση να αποκτούν ένα πιο συμπαγή χαρακτήρα και να αυξάνονται οι ιξωδοελαστικές τους ιδιότητες (αύξηση των συντελεστών G' και G''). Η κρέμα με 3% σκόνη φραγκόσυκου είναι αυτή που πλησιάζει περισσότερο τα ρεολογικά χαρακτηριστικά και την υφή της κρέμας ελέγχου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., & Ngadi, M. O. (2005). Rheological Characteristics of Arabic Gum in Combination With Guar and Xanthan Gum Using Response Surface Methodology: Effect of Temperature and Concentration. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 179–192. <https://doi.org/10.1081/JFP-200060234>

Azeredo, H. M. C. (2009a). Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>

Azeredo, H. M. C. (2009b). Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>

Barba, F. J., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Poojary, M. M., Roohinejad, S., Lorenzo, J. M., & Koubaa, M. (2017). Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 260–270. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.012>

Bourne, M. C. (2002). Texture, Viscosity, and Food. In *Food Texture and Viscosity* (Vol. 11, Issue 4, pp. 1–32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50001-2>

Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65(7), 1248–1252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>

Chen, Lan, & Opara, U. L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Research International*, 51(2), 823–835. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.046>

Chen, Lingyun, Remondetto, G. E., & Subirade, M. (2006). Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 17(5), 272–283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.011>

Cohen, I., & Weihs, D. (2010). Rheology and microrheology of natural and reduced-calorie Israeli honeys as a model for high-viscosity Newtonian liquids. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.023>

Connor, M. O., Harris, H. M. B., Coakley, M., Lakshminarayanan, B., Sullivan, O. O., Fitzgerald, G. F., Deane, J., Connor, M. O., Harnedy, N., Connor, K. O., Mahony, D. O., Sinderen, D. Van, Wallace, M., Brennan, L., Stanton, C., Marchesi, J. R., Fitzgerald, A. P., Shanahan, F., Hill, C., ... Toole, P. W. O. (2012). *Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly*. <https://doi.org/10.1038/nature11319>

Cota-Sánchez, J. H. (2015). Nutritional Composition of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Fruit. In *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00028-3>

Darby, S. ; Thorne, C. (1996). *darby.pdf*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA Publication country United States. <https://doi.org/3224096>

de Carvalho, C., & Caramujo, M. (2018). The Various Roles of Fatty Acids. *Molecules*, 23(10), 2583. <https://doi.org/10.3390/molecules23102583>

De Graef, V., Dewettinck, K., Verbeken, D., & Foubert, I. (2006). Rheological behavior of crystallizing palm oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(10), 864–870. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600102>

de Souza Simões, L., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Ramos, Ó. L. (2017). Micro- and nano bio-based delivery systems for food applications: In vitro behavior. *Advances in Colloid and Interface Science*, 243, 23–45. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.02.010>

Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., & Paredes-López, O. (2000). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(3), 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>

Devi, N., Sarmah, M., Khatun, B., & Maji, T. K. (2017). Encapsulation of active ingredients in polysaccharide–protein complex coacervates. *Advances in Colloid and Interface Science*, 239, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.05.009>

Elmashad, H., VANLOON, W., ZEEMAN, G., & BOT, G. (2005). Rheological properties of dairy cattle manure. *Bioresource Technology*, 96(5), 531–535. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.020>

Faridi Esfanjani, A., Jafari, S. M., & Assadpour, E. (2017). Preparation of a multiple emulsion based on pectin-whey protein complex for encapsulation of saffron extract nanodroplets. *Food Chemistry*, 221, 1962–1969.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.149>

Fernández-López, J. A., Roca, M. J., Angosto, J. M., & Obón, J. M. (2018). Betaxanthin-Rich Extract from Cactus Pear Fruits as Yellow Water-Soluble Colorant with Potential Application in Foods. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(2), 146–153. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0664-3>

Fischer, P., & Windhab, E. J. (2011). Rheology of food materials. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 16(1), 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.07.003>

Francisco, C. R. L., Heleno, S. A., Fernandes, I. P. M., Barreira, J. C. M., Calhella, R. C., Barros, L., Gonçalves, O. H., Ferreira, I. C. F. R., & Barreiro, M. F. (2018). Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid. *Food Chemistry*, 245(November 2017), 845–853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>

Fuciños, C., Míguez, M., Fuciños, P., Pastrana, L. M., Rúa, M. L., & Vicente, A. A. (2017). Creating functional nanostructures: Encapsulation of caffeine into α -lactalbumin nanotubes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 40, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.030>

Gilbert, S., & Hammond, J. (1988). Engineering properties of foods. *The Chemical Engineering Journal*, 39(1), B7. [https://doi.org/10.1016/0300-9467\(88\)80095-9](https://doi.org/10.1016/0300-9467(88)80095-9)

Guaadaoui, A. (2014). Betalains, Polyacetylenes and Tocols as Biocompoundactives: A Concise Review for Enriching the Bioactivity Concept. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 230. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140304.11>

Hari, R. K., Patel, T. R., & Martin, A. M. (1994). An overview of pigment production in biological systems: Functions, biosynthesis, and applications in food industry. *Food Reviews International*, 10(1), 49–70. <https://doi.org/10.1080/87559129409540985>

Herbach, K.M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Impact of Thermal Treatment on Color and Pigment Pattern of Red Beet (*Beta vulgaris* L.) Preparations. *Journal of Food Science*, 69(6), C491–C498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x>

Herbach, Kirsten M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Betalain Stability and Degradation? Structural and Chromatic Aspects. *Journal of Food Science*, 71(4), R41–

R50. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x>

Islam Shishir, M. R., Taip, F. S., Aziz, N. A., Talib, R. A., & Hossain Sarker, M. S. (2016). Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Food Science and Biotechnology*, 25(2), 461–468. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0064-0>

Karabagias, V. K., Karabagias, I. K., Gatzias, I., & Riganakos, K. A. (2019). Characterization of prickly pear juice by means of shelf life, sensory notes, physicochemical parameters and bio-functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3646–3659. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03797-4>

Karathanos, V. T., Kostaropoulos, A. E., & Saravacos, G. D. (1994). Viscoelastic properties of raisins. *Journal of Food Engineering*, 23(4), 481–490. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90106-6](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90106-6)

Khan, M. I. (2016). Plant Betalains: Safety, Antioxidant Activity, Clinical Efficacy, and Bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 316–330. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12185>

Krupa-Kozak, U., Altamirano-Fortoul, R., Wronkowska, M., & Rosell, C. M. (2012). Breadmaking performance and technological characteristic of gluten-free bread with inulin supplemented with calcium salts. *European Food Research and Technology*, 235(3), 545–554. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1782-z>

Kumar, K. (2019). *Cactus pear : Cultivation and uses* (Issue January).

Laguna, L., Vallons, K. J. R., & Jurgens, A. (2013). *Understanding the Effect of Sugar and Sugar Replacement in Short Dough Biscuits*. 3143–3154. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0968-5>

Lamghari, R., Kossori, E. L., Villaume, C., Boustani, E. E. L., Sauvaire, Y., & Méjean, L. U. C. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Hum Nutr*, 52, 263–270. <https://doi.org/10.1023/A:1008000232406>

Morais, H., Abram, A., & Ferreira, F. (2006). Carotenoids biosynthesis -a review. *Revista Lusófona de Humanidades e Tecnologias*, 1(10), 22–42. <http://revistas.ulusofona.pt/index.php/rhumanidades/article/view/1270>

Oancea, A.-M., Aprodu, I., Ghinea, I. O., Barbu, V., Ioniță, E., Bahrim, G., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2017). A bottom-up approach for encapsulation of sour cherries anthocyanins by using β -lactoglobulin as matrices. *Journal of Food Engineering*, 210, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.03>

Ogrodowska, D., Tańska, M., & Brandt, W. (2017). The Influence of Drying Process Conditions on the Physical Properties, Bioactive Compounds and Stability of Encapsulated Pumpkin Seed Oil. *Food and Bioprocess Technology*, *10*(7), 1265–1280. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1898-z>

Oraguzie, N., Alspach, P., Volz, R., Whitworth, C., Ranatunga, C., Weskett, R., & Harker, R. (2009). Postharvest assessment of fruit quality parameters in apple using both instruments and an expert panel. *Postharvest Biology and Technology*, *52*(3), 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.01.004>

Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-said, F. A. (2013). *Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review*. 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>

Pérez-masiá, R., López-nicolás, R., Jesús, M., Ros, G., & Lagaron, J. M. (2015). Encapsulation of folic acid in food hydrocolloids through nanospray drying and electrospraying for nutraceutical applications. *168*, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.051>

Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, *13*, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009>

Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., & Hernández, H. M. (2005). Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) mill. (Cactaceae). *Agrociencia*, *39*(4), 395–408.

Robert, P., Torres, V., García, P., Vergara, C., & Sáenz, C. (2015). The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. *LWT - Food Science and Technology*, *60*(2), 1039–1045. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.038>

Russell, C. E., & Felker, P. (1987). The prickly-pears (*Opuntia* spp., Cactaceae): A source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botany*, *41*(3), 433–445. <https://doi.org/10.1007/BF02859062>

Rymbai, H., Sharma, R. R., & Srivastav, M. (2011). Sbiocolorants and its implications in health and food industry - a review. *International Journal of PharmTech Research*, *3*(4), 2228–2244.

Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, *65*, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>

Stintzing, F. C., & Carle, R. (2005). Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49(2), 175–194. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200400071>

Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2001). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*, 212(4), 396–407. <https://doi.org/10.1007/s002170000219>

Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology*, 216(4), 303–311. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0657-0>

Strack, D., Vogt, T., & Schliemann, W. (2003). Recent Advances in Betalain Research. *ChemInform*, 34(19). <https://doi.org/10.1002/chin.200319225>

Sun, Y., Wang, Z. J., & Liu, Y. (2006). Spectral (finite) volume method for conservation laws on unstructured grids VI: Extension to viscous flow. *Journal of Computational Physics*, 215(1), 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2005.10.019>

Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)

Tarhini, M., Greige-Gerges, H., & Elaissari, A. (2017). Protein-based nanoparticles: From preparation to encapsulation of active molecules. *International Journal of Pharmaceutics*, 522(1–2), 172–197. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.01.067>

Tatar Turan, F., Cengiz, A., & Kahyaoglu, T. (2015). Evaluation of ultrasonic nozzle with spray-drying as a novel method for the microencapsulation of blueberry's bioactive compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.011>

Tatar Turan, F., Cengiz, A., Sandıkçı, D., Dervisoglu, M., & Kahyaoglu, T. (2016). Influence of an ultrasonic nozzle in spray-drying and storage on the properties of blueberry powder and microcapsules. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(12), 4062–4076. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7605>

Telis, V. R. N., Telis-Romero, J., & Gabas, A. L. (2005). Solids rheology for

dehydrated food and biological materials. *Drying Technology*, 23(4), 759–780.
<https://doi.org/10.1081/DRT-200054190>

Toledo-Madrid, K., Gallardo-Velázquez, T., & Osorio-Revilla, G. (2018). Microencapsulation of purple cactus pear fruit (*Opuntia ficus indica*) extract by the combined method W/O/W double emulsion-spray drying and conventional spray drying: A comparative study. *Processes*, 6(10), 1–18.
<https://doi.org/10.3390/pr6100189>

Van Vliet, T., & Primo-Martin, C. (2011). INTERPLAY BETWEEN PRODUCT CHARACTERISTICS, ORAL PHYSIOLOGY AND TEXTURE PERCEPTION OF CELLULAR BRITTLE FOODS. *Journal of Texture Studies*, 42(2), 82–94.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2010.00273.x>

West, R., & Rousseau, D. (2016). Crystallization and rheology of palm oil in the presence of sugar. *FRIN*, 85, 224–234. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.010>

Wrolstad, R. E. (2013). Classifying, Identifying, Naming, and Drawing Sugars and Sugar Derivatives. In *Food Carbohydrate Chemistry* (Vol. 6, Issue 10, pp. 1–21). John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118688496.ch1>

Wu, D., & Sun, D. (2013). *Colour measurements by computer vision for food quality control e A review*. 29. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.08.004>