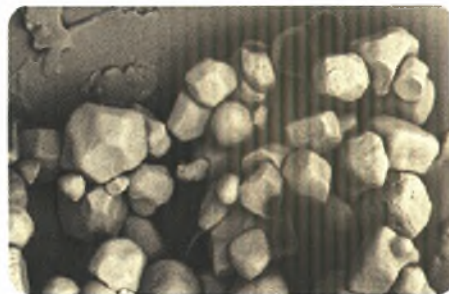
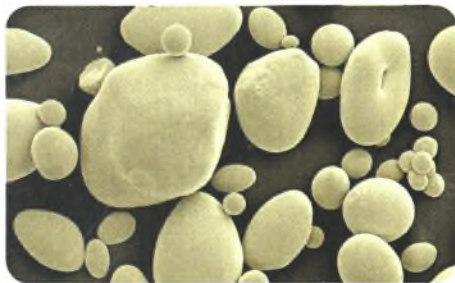




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Ο ρόλος του αμόλου στη συντήρηση & επεξεργασία των τροφίμων



Επιμέλεια: Τζιαστούδη Αγγελική

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Γιαννούλη Περσεφόνη
Επίκουρος Καθηγήτρια

Βόλος 2012



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 11208/1
Ημερ. Εισ.: 07-12-2012
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2012
ΤΣΙ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΓΙΑΝΝΟΥΛΗ ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ (ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ)

Επίκουρος Καθηγήτρια, Διευθύντρια Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας και Ασφάλειας Τροφίμων

ΝΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής, Διευθυντής Εργαστηρίου Δενδροκομίας

ΦΟΥΝΤΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

Επίκουρος Καθηγητής (Γεωργική Μηχανολογία)

Ευχαριστίες

Σαν ελάχιστο δείγμα εκτίμησης και ευγνωμοσύνης απευθύνω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα της πτυχιακής μου διατριβής κ. Γιαννούλη Περσεφόνη, Επίκουρο Καθηγήτρια, Διευθύντρια Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας και Ασφάλειας Τροφίμων του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την έμπρακτη υποστήριξη και βοήθεια της, το αμέριστο ενδιαφέρον της και τη συμβολή της στο σχεδιασμό και στη διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς και στην τελική διαμόρφωση και διόρθωση του κειμένου της εργασίας, της οποίας υπήρξε εμπνευστής.

Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Νάνο Γεώργιο, Αναπληρωτή Καθηγητή Δενδροκομίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και στον κ. Φουντά Σπύρο, Επίκουρο Καθηγητή Γεωργικής Μηχανολογίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέλη της τριμελούς επιτροπής, για τις εποικοδομητικές τους παρατηρήσεις στη συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Ευχαριστίες οφείλω για την πολύτιμη βοήθεια της στην κ. Άννα Σπανού, υποψήφια διδάκτωρ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση της και ιδιαιτέρως την αδερφή μου Δήμητρα για την καθοριστική της βοήθεια κατά τα 2 τελευταία χρόνια της φοίτησής μου.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τη συμφοιτήτρια αλλά πάνω από όλα φίλη μου Γεωργουδάκη Τριανταφυλλιά για την πολύτιμη βοήθεια της στην παρούσα διατριβή και την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφερε μέχρι την παράδοση της.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
1. Εισαγωγή	4
1.1 Χημική σύσταση τροφίμων	5
1.1.1 Ταξινόμηση πρωτεϊνών	5
1.1.2 Ταξινόμηση λιποειδών	7
1.1.3 Ταξινόμηση υδατανθράκων	7
Θεωρητικό μέρος	8
2. Υδατάνθρακες	9
2.1 Ορισμός	9
2.2 Μονοσακχαρίτες	9
2.2.1 Ιδιότητες Μονοσακχάρων	10
2.2.2 Διάφορα μέλη	12
2.3 Ολιγασακχαρίτες	13
2.3.1 Ορισμός	13
2.3.2 Δισακχαρίτες	13
2.3.3 Διάφορα Μέλη	14
2.4 Πολυσακχαρίτες	14
2.4.1 Κατηγορίες Πολυσακχαριτών	14
2.4.1.1 Ομοπολυσακχαρίτες	15
2.4.1.1.1 Άμυλο	15
2.4.1.1.1.1 Χημική σύσταση αμύλου	15
2.4.1.1.1.1.α Αμυλόζη	16
2.4.1.1.1.1.β Αμυλοπηκτίνη	17
2.4.1.1.1.2 Τύποι αμύλου	18
2.4.1.1.1.3 Ζελατινοποίηση αμύλου	19
2.4.1.1.1.4 Παράγωγα αμύλου	20
3. Συντήρηση - Επεξεργασία	21
3.1 Ορισμός	21
3.2 Ψύξη	21
3.2.1 Συντήρηση των τροφίμων υπό ψύξη	22
3.3 Κατάψυξη	23
3.3.1 Μεταβολές κατά την κατάψυξη	24

3.3.2 Μέθοδοι κατάψυξης	24
3.3.3 Διαφορά μεταξύ ψύξης – κατάψυξης	24
3.4 Θέρμανση με μικροκύματα	25
3.4.1 Μηχανισμός θέρμανσης με μικροκύματα	25
3.4.2 Φούρνος μικροκυμάτων	27
4. Ρεολογία	28
4.1 Ορισμός	28
4.2 Ελαστική συμπεριφορά (Νόμος του Hooke)	29
4.3 Ιξώδης συμπεριφορά (Νόμος Newton)	30
4.4 Ιξωδοελαστική συμπεριφορά	30
Σκοπός	31
Πειραματικό μέρος	32
Μέρος Α΄	33
Μέρος Β΄	33
5.1 Υλικά και Μέθοδοι	33
5.1.1 Υλικά	33
5.1.2 Παρασκευή διαλυμάτων	33
5.1.3 Μέθοδος	34
6. Αποτελέσματα	35
Μέρος Α΄	35
Μέρος Β΄	36
6.1 2% w/w Άμυλο Αραβοσίτου	36
6.1.1. Κατάψυξη και απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος	36
6.1.2. Κατάψυξη και απόψυξη σε μικροκύματα	37
6.2 0,5% w/w Άμυλο Αραβοσίτου	29
6.2.1. Κατάψυξη και απόψυξη σε μικροκύματα	39
6.2.2. Ψύξη	40
7. Συζήτηση	42
8. Συμπεράσματα	45
9. Βιβλιογραφία	46
10. Παράρτημα	49

Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε ο ρόλος του αμύλου στη συντήρηση και επεξεργασία των τροφίμων. Στο πρώτο μέρος της διατριβής μελετήθηκε η σύσταση ως προς το είδος του αμύλου 215 προϊόντων του εμπορίου που περιείχαν άμυλο. Στο δεύτερο μέρος μελετήθηκε ο ρόλος του αμύλου στη συντήρηση των τροφίμων κατά την αποθήκευση του στη ψύξη, την κατάψυξη και την επεξεργασία με μικροκύματα. Προετοιμάστηκαν 2 σειρές υδατικών διαλυμάτων αμύλου αραβοσίτου σε δυο διαφορετικές συγκεντρώσεις 2% w/w και 0,5% w/w. Αυτά τα πρότυπα διαλύματα προετοιμάστηκαν για να δούμε τη συμπεριφορά τους χωρίς την ύπαρξη άλλων συστατικών. Το άμυλο αραβοσίτου χρησιμοποιείται πιο πολύ στη βιομηχανία τροφίμων λόγω των λειτουργικών του ιδιοτήτων σε σχέση με τα υπόλοιπα άμυλα, ενώ παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στα δομικά χαρακτηριστικά των διαλυμάτων αμύλου αραβοσίτου ανάλογα με τη θερμοκρασία αποθήκευσης (θερμοκρασία περιβάλλοντος, ψύξης και κατάψυξης) και τον τρόπο επεξεργασίας τους στα μικροκύματα.

1.Εισαγωγή

Τρόφιμα χαρακτηρίζονται οι ουσίες ή τα σύνολα των ουσιών, φυσικών ή συνθετικών ή τεχνητών, τα οποία καταναλώνονται από τους ζωντανούς οργανισμούς και διαμέσου της πέψης παρέχουν στον οργανισμό τα κατάλληλα συστατικά και την απαραίτητη ενέργεια για τη διατήρηση της ζωής και την ανάπτυξη του οργανισμού. (Ανδρικόπουλος, 2010)

Ποιότητα τροφίμων είναι το σύνολο των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος ή υπηρεσίας, που ικανοποιούν τις ανάγκες και καθορίζουν το βαθμό αποδεκτικότητας του καταναλωτή. Αν και η αποδεκτικότητα γίνεται αντιληπτή με τις αισθήσεις, εν τούτοις εκτός από τις οργανοληπτικές ιδιότητες στην αποδεχόμενη ποιότητα ενός προϊόντος συνεισφέρει ένας αριθμός συντελεστών. Η μικροβιολογική ακεραιότητα, άλλοι συντελεστές ασφάλειας και το θρεπτικό περιεχόμενο είναι όλα πολύ σημαντικά. Η εικόνα με το σήμα/μάρκα, η τιμή και η ανταγωνιστική τοποθέτηση του προϊόντος επηρεάζουν όλα μαζί την αποδοχή αυτού από τον καταναλωτή. Τα κύρια κριτήρια ποιότητας των τροφίμων είναι:

- εμφάνιση
- υφή – δομή
- οσμή
- γεύση
- διατροφική αξία

Τα συνήθη ποιοτικά χαρακτηριστικά που αναφέρονται στις προδιαγραφές των τροφίμων είναι:

- η απουσία τοξικών ουσιών, όπως ορμόνες, βαρέα μέταλλα, αρωματικές ενώσεις κ.τ.λ
- η απουσία παθογόνων μικροοργανισμών
- η χρήση κατάλληλων υλικών συσκευασίας
- η κατάλληλη χημική σύνθεση
- η θρεπτική και ενεργειακή αξία του προϊόντος
- οι επιθυμητές οργανοληπτικές ιδιότητες
- η ικανοποιητική εμφάνιση και συσκευασία
- η αναμενόμενη διάρκεια ζωής
- η διαμορφούμενη τιμή σε σχέση με την ποιότητα του (Αρβανιτογιάννης, 2001).

Επειδή η σύσταση των τροφίμων είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων και της συντήρησής τους γενικότερα, για αυτό και σε αυτή την έρευνα μελετήσαμε το ρόλο ενός πολύ βασικού συστατικού, το άμυλο στη συντήρηση και επεξεργασία τροφίμων.

1.1 Χημική σύσταση τροφίμων

Οι τρεις κύριες θρεπτικές κατηγορίες που μπορεί να περιέχει ένα τρόφιμο είναι: 1) οι **πρωτεΐνες**, 2) οι **υδατάνθρακες** και 3) τα **λιποειδή**. Ωστόσο, περιέχονται σε μικρές ποσότητες, το **νερό**, οι **βιταμίνες** και τα **ανόργανα άλατα** ή ανόργανα οξείδια καθώς και οι **φυτικές ίνες** (Ανδρικόπουλος, 2010).

1.1.1 Ταξινόμηση πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες είναι μεγαλομοριακές ενώσεις πολυπεπτιδίων που μπορεί να περιέχουν πολλές εκατοντάδες ή και πολλές χιλιάδες αμινοξέων συνδεδεμένα σαν αλυσίδα, ανάλογα με το είδος της πρωτεΐνης (Ανδρικόπουλος, 2010).

Η ταξινόμηση των πρωτεϊνών γίνεται σε κατηγορίες. Η κάθε κατηγορία περιλαμβάνει μέλη που έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες. Οι βασικές κατηγορίες είναι τέσσερις (πίνακα 1.1):

- α) διάκριση ανάλογα με τη φύση των προϊόντων υδρόλυσης
 - β) διάκριση ανάλογα με τη διαλυτότητα τους
 - γ) διάκριση ανάλογα με τη δομή και τις χημικές ιδιότητες
 - δ) διάκριση ανάλογα με το βιολογικό τους ρόλο
- (Ανδρικόπουλος, 2010)

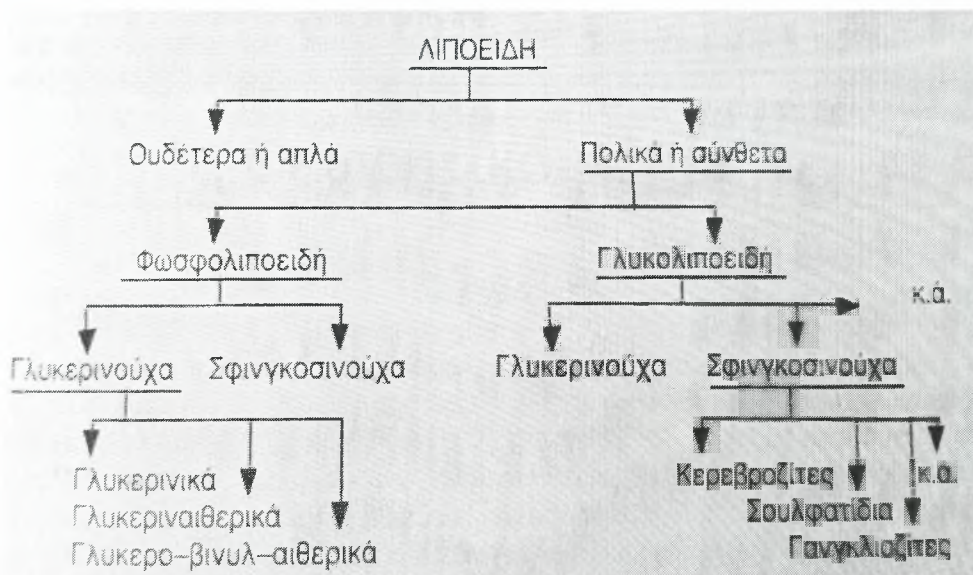
Πίνακας 1.1
Ταξινόμηση των πρωτεϊνών

<p><u>Κατηγορία I: Διάκριση ανάλογα με τη φύση των προϊόντων υδρόλυσης σε:</u></p> <p>Iα: Απλές πρωτεΐνες</p> <p>Iβ: Σύνθετες πρωτεΐνες, οποίες διακρίνονται σε:</p> <p>Ομάδα 1: Νουκλεοπρωτεΐνες = πρωτεΐνη + νουκλεϊκά οξέα</p> <p>Ομάδα 2: Φωσφοπρωτεΐνες = πρωτεΐνη + H_3PO_4</p> <p>Ομάδα 3: Γλυκοπρωτεΐνες = πρωτεΐνη + σάκχαρο ή αμινοπαραγωγό</p> <p>Ομάδα 4: Χρωμοπρωτεΐνες = πρωτεΐνη + χρωστική ουσία</p> <p>Ομάδα 5: Λιποπρωτεΐνες = πρωτεΐνη + λιποειδές</p>
<p><u>Κατηγορία II: Διάκριση ανάλογα με την διαλυτότητα τους σε:</u></p> <p>Ομάδα 1: Πρωταμίνες</p> <p>Ομάδα 2: Ιστόνες</p> <p>Ομάδα 3: Αλβουμίνες ή λευκοματίνες</p> <p>Ομάδα 4: Γλοβουλίνες ή σφαιρίνες</p> <p>Ομάδα 5: Γλουτενοπρωτεΐνες</p> <p>Ομάδα 6: Σκληροπρωτεΐνες ή ινώδεις στηρικτικές πρωτεΐνες</p>
<p><u>Κατηγορίες III: Διάκριση ανάλογα με τη δομή και τις γημικές ιδιότητες σε:</u></p> <p>IIIα: Σκληροπρωτεΐνες</p> <p>IIIβ: Γλοβουλίνες</p> <p>IIIγ: Πρωτεΐδες = πρωτεΐνη + προσθετική ομάδα.</p>
<p><u>Κατηγορία IV: Διάκριση ανάλογα με τον βιολογικό τους ρόλο σε:</u></p> <p>IVα: Δομικές πρωτεΐνες</p> <p>IVβ: Λειτουργικές πρωτεΐνες, οι οποίες διακρίνονται σε:</p> <p>Ομάδα 1: Καταλυτικές πρωτεΐνες</p> <p>Ομάδα 2: Πρωτεΐνες των συστατικών συστημάτων</p> <p>Ομάδα 3: Ρυθμιστικές πρωτεΐνες</p> <p>Ομάδα 4: Μεταφέρουσες πρωτεΐνες</p> <p>Ομάδα 5: Αμυντικές πρωτεΐνες</p> <p>Ομάδα 6: Αποθηκευτικές πρωτεΐνες</p>

1.1.2 Ταξινόμηση λιποειδών

Τα λιποειδή αποτελούν μία ετερογενή ομάδα που συνίσταται από διαφορετικές τάξεις ενώσεων και βρίσκονται ευρύτατα διαδεδομένα στην φύση, με κύριο κοινό χαρακτηριστικό το ότι είναι διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες. Τα περισσότερα λιποειδή είναι παράγωγα λιπαρών οξέων, όπως π.χ. τα γλυκερίδια και τα στεροειδή, τα τελευταία χωρίς να έχουν λιπαρά οξέα και με μόριο γενικά αρκετά διαφορετικό από τις άλλες τάξεις λιποειδών (Ανδρικόπουλος, 2010).

Τα λιποειδή διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα ουδέτερα και τα πολικά. Οι κατηγορίες αυτές διακρίνονται σε υποκατηγορίες και τάξεις, όπως φαίνεται στο (σχήμα 1.1) (Ανδρικόπουλος, 2010).



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα ταξινόμησης των λιποειδών

1.1.3 Ταξινόμηση υδατανθράκων

Οι υδατάνθρακες είναι πολυϋδροξυ-αλδεΐδες ή πολύ-υδροξυ-κετόνες και έχουν τον εμπειρικό τύπο $C_x(H_2O)_y$ από όπου πήραν και το όνομα τους. Οι υδατάνθρακες διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τους μονοσακχαρίτες, τους ολιγοσακχαρίτες και τους πολυσακχαρίτες. Η ανάλυση τους παρατίθεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Θεωρητικό μέρος

2. Υδατάνθρακες

2.1 Ορισμός

Οι υδατάνθρακες ονομάστηκαν έτσι επειδή αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο και εκφράζονται με το γενικό τύπο $C_\chi(H_2O)_\psi$, όπου χ και ψ ακέραιοι αριθμοί. Στον τύπο αυτό οι υδατάνθρακες εμφανίζονται ως ενώσεις νερού και άνθρακα και σε αυτό οφείλεται η ονομασία τους (Πανέρας, 1996).

Οι υδατάνθρακες είναι μια κατηγορία ενώσεων με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη διατροφή του ανθρώπου. Από τις ιδιότητες των ενώσεων αυτών εξαρτάται η οσμή και η ποιότητα ενός μεγάλου αριθμού προϊόντων όπως προϊόντα ζαχαροπλαστικής και αρτοποιίας, υλικά επικάλυψης, πηκτές, κόνεις για στιγμιαία παρασκευάσματα (Μπόσκος, 2004).

Οι υδατάνθρακες που υπάρχουν στα φυτικά ή ζωϊκά προϊόντα, ανήκουν στους *μονοσακχαρίτες*, τους *ολιγοσακχαρίτες* και τους *πολυσακχαρίτες*. Από αυτούς ένας αριθμός πολυσακχαριτών και ολιγοσακχαριτών (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, πηκτίνες, πεντοζάνες, χιτίνη κ.α.) είναι άπεπτοι και επίσης χαρακτηρίζονται και ως διαιτητικές ίνες. Γενικά από διατροφική άποψη, είναι επιθυμητό να περιλαμβάνεται μια ποσότητα υδατανθράκων στο σιτηρέσιο για να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση των πρωτεϊνών σε μεγάλο βαθμό για ενεργειακούς σκοπούς (Πανέρας, 1996, Μπόσκος, 2004).

2.2 Μονοσακχαρίτες

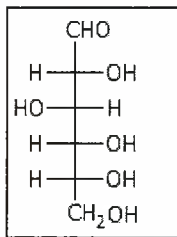
Οι μονοσακχαρίτες που υπάρχουν στη φύση αποτελούνται από 3 έως 8 άτομα άνθρακα. Είναι αλειφατικές πολυυδροξυ-αλδεύδες και κετόνες του τύπου $HO-(CHOH)_n-CHO$ και $HO-CH_2-(CHOH)_{n-1}-CO-CH_2OH$ (αλδόζη, κετόζη). Ωστόσο, τόσο στη στερεή κατάσταση όσο και σε μεγάλο βαθμό στα διαλύματα επικρατεί ο κυκλικός τύπος της ημιακετάλης (Πανέρας, 1996, Μπόσκος, 2004).

2.2.1 Ιδιότητες Μονοσακχάρων

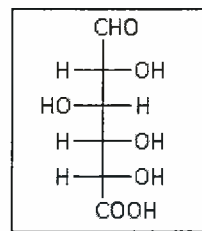
Οξείδωση

Η αλδεϋδική ομάδα μιας αλδόζης μπορεί να οξειδωθεί προς καρβοξυλική, οπότε προκύπτουν τα αλδονικά οξέα (Μπόσκος, 2004).

Ένα άλλο προϊόν οξείδωσης των αλδοζών είναι τα ουρανικά οξέα. Σχηματίζονται με οξείδωση της ακραίας πρωτοταγούς υδροξυλικής ομάδας. Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται ενζυμικά. Ουρανικά οξέα βρίσκονται στη φύση ως συστατικά πολλών ετερογλυκανών. Το γαλακτουρινικό οξύ αποτελεί συστατικό των πηκτικικών υλών των φρούτων και των φυτικών κόμμεων. Το D-μαννουρικό οξύ είναι συστατικό του αλγινικού οξέος (Μπόσκος, 2004).



Εικόνα 1.1: D-γλυκονικό οξύ



Εικόνα 2.2: D-γλυκουρικό οξύ

Οξείδωση των δύο άκρων και των δύο άκρων του μορίου της αλδόζης δίνει τα **αλδαρικά** ή **σακχαρικά οξέα**. Η αντίδραση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση της γαλακτόζης από τα άλλα μονοσάκχαρα γιατί το αντίστοιχο οξύ, το βελλονικό οξύ, είναι αδιάλυτο σε οξέα αντίθετα με τα σακχαρικά οξέα που προκύπτουν από την οξείδωση των άλλων ισομερών. Το βλεννικό οξύ απαντά και σε φυτικά προϊόντα. (Μπόσκος, 2004)

Αναγωγή

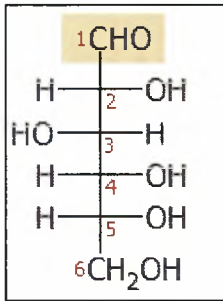
Η αναγωγή του καρβονυλίου των μονοσακχαριτών δίνει αλκοόλες, τις αλδιτόλες, όπως η D-σορβιτόλη, D-μαννιτόλη. Οι πολυυδροξυλιωμένες αυτές αλκοόλες είναι ενώσεις διαλυτές στο νερό και έχουν γλυκιά γεύση (Μπόσκος, 2004).

Η D-σορβιτόλη είναι η πιο διαδεδομένη στη φύση πολυόλη. Βρίσκεται κυρίως στα φρούτα. Η μαννιτόλη απαντά στους φυτικούς ιστούς. Οι δυο αυτές αλκοόλες παρασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες και χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία

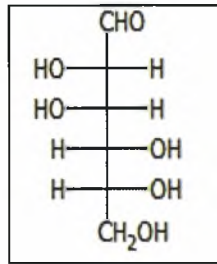
τροφίμων λόγω της γλυκείας γεύσης τους και της υγροσκοπικότητας τους. Εφαρμόζονται σε διαιτητικά τρόφιμα και οδοντόπαστες (Μπόσκος, 2004).

Επίδραση αλκαλίων

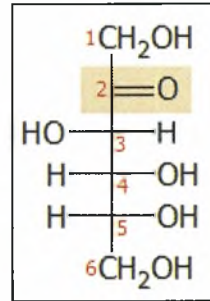
Η επίδραση των αλκαλίων προκαλεί άνοιγμα του δακτυλίου και ενολοποίηση. Ο σχηματισμός της εν-διόλης καταστρέφει την ασυμμετρία στο άτομο άνθρακα 2. Για το λόγο αυτό η γλυκόζη, η μαννόζη και η φρουκτόζη σχηματίζουν το ίδιο άλας ενδιόλης (Μπόσκος, 2004).



Εικόνα 2.3: D-γλυκόζη



Εικόνα 2.4: D-μαννόζη



Εικόνα 2.5: D-φρουκτόζη

Επίδραση οξέων

Αραιά διαλύματα οξέων έχουν μικρή επίδραση στα απλά σάκχαρα. Όταν όμως ένας μονοσακχαρίτης θερμανθεί έντονα σε ισχυρά όξινο περιβάλλον γίνεται αφυδάτωση και σχηματίζονται φουρανικά παράγωγα, από τις πεντόζες φουρφοουράλη και από τις εξόζες ω-υδροξυμεθυλο-φουρφοουράλη (Μπόσκος, 2004).

Η διάσπαση της υδροξυφουρφοουράλης δίνει λεβουλνικό οξύ και μυρμηκικό οξύ. Οι φορφοουράλες αντιδρούν προς σχηματισμό καστανών χρωμάτων και σε τέτοιου είδους αντιδράσεις οφείλεται πιθανόν η αμαύρωση των τροφίμων κατά την επεξεργασία (Μπόσκος, 2004).

Γλυκοζίτες

Οι γλυκοζίτες είναι προϊόντα συμπύκνωσης ενός σακχάρου με ένα άλλο συστατικό. Σχηματίζονται από το υδρογόνο του ημιακεταλικού υδροξυλίου. Οι ολιγοσακχαρίτες ή πολυσακχαρίτες είναι επίσης γλυκοζίτες. Γενικά γλυκοζίτες

θεωρούνται οι ακετάλες που εκτός από το σάκχαρο έχουν στο μόριο τους και ένα άλλο συστατικό (αγλυκόνη) (Μπόσκος, 2004).

Οι γλυκοζίτες επηρεάζουν την ποιότητα του τροφίμου για πολλούς και διάφορους λόγους. Τα γλυκο-αλκαλοειδή π.χ της πατάτας έχουν βιολογική δράση. Αυτοί οξειδώνονται εύκολα ή αντιδρούν προς σχηματισμό ενώσεων με δυσάρεστο σκούρο χρώμα. Οι σαπωνίνες δημιουργούν αφρό, ενώ άλλοι είναι φυσικές χρωστικές ή έχουν πικρή γεύση (Μπόσκος, 2004).

2.2.2 Διάφορα μέλη

Πεντόζες

Οι πεντόζες είναι ευρύτατα διαδεδομένες στη φύση και περιλαμβάνουν μονοσακχαρίτες με πέντε άτομα άνθρακα. Οι πιο γνωστές πεντόζες είναι η ξυλόζη, η αραβινόζη, η ραμνόζη και η ριβόζη (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Εξόζες

Είναι ενώσεις πολύ διαδεδομένες στη φύση. Οι πιο γνωστές είναι η γλυκόζη, η φρουκτόζη, η γαλακτόζη και η μαννόζη (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Η γλυκόζη βρίσκεται στη φύση είτε ελεύθερη είτε ως συστατικό πολλών ολιγοσακχαριτών, πολυσακχαριτών και γλυκοζιτών. Ο εμπειρικός της τύπος είναι $C_6H_{12}O_6$. Είναι στερεά ουσία με γλυκιά γεύση και σημείο τήξης $145\text{ }^\circ\text{C}$. Συναντάται στα κρεμμύδια, τις ώριμες πατάτες και στο μέλι. (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996)

Η φρουκτόζη βρίσκεται σε φρούτα με γλυκιά γεύση, στο μέλι και τη μελάσα. Ελευθερώνεται από την σακχαρόζη με όξινη ή ενζυμική υδρόλυση. Απαντάται σε δύο μορφές ως φρουκτοπυραζόνη και φουκτοραζόνη (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Η γαλακτόζη είναι συστατικό ολιγοσακχαριτών και πολυσακχαριτών και βρίσκεται κυρίως σε φυσικά προϊόντα, όπως σταφύλια, ελιές (Μπόσκος, 2004).

Η μαννόζη βρίσκεται σε εσπεριδοειδή, μελάσες, ελιές. Απαντά κυρίως ως μαννοζάνη και επίσης διαδεδομένη στη φύση είναι η αντίστοιχη αλκοόλη, η μαννιτόλη (Μπόσκος, 2004).

2.3 Ολιγασακχαρίτες

2.3.1 Ορισμός

Είναι χημικές ενώσεις που προέρχονται από την ένωση δύο, τριών, τεσσάρων κ.ο.κ. μορίων μονοσακχαριτών και χαρακτηρίζονται αντίστοιχα ως δισακχαρίτες, τρισακχαρίτες, τετρασακχαρίτες κ.ο.κ. Είναι σώματα κρυσταλλικά, άχρωμα, με γλυκιά γεύση, διαλυτά στο νερό. Μερικοί από αυτούς παρουσιάζουν τις αναγωγικές ιδιότητες των μονοσακχάρων, ενώ άλλοι όχι.

2.3.2 Δισακχαρίτες

Οι δισακχαρίτες αποτελούνται από δύο μόρια μονοσακχαριτών τα οποία ενώνονται με γλυκοσιδικό δεσμό. Δημιουργούνται πολύ εύκολα στη φύση, παρά στο εργαστήριο. Οι πιο γνωστοί είναι η σακχαρόζη, η μαλτόζη, η λακτόζη και η κελλοβιόζη (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Η σακχαρόζη είναι η κοινή ζάχαρη. Αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και ένα μόριο φρουκτόζης. Είναι ευρύτερα διαδεδομένη στη φύση. Απαντάται σε διάφορα φυτικά προϊόντα, όπως φρούτα, χυμό ορισμένων δένδρων, τα σακχαρότευτλα, το μέλι, το γλεύκος. Αποτελεί την κύρια γλυκαντική ουσία η οποία χρησιμοποιείται για τη διατροφή του ανθρώπου (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Η μαλτόζη αποτελείται από δύο μόρια γλυκόζης που συνδέονται με $\alpha(1\rightarrow4)$ γλυκοσιδικό δεσμό. Παρουσιάζει αναγωγικές ιδιότητες που οφείλονται στην ελεύθερη καρβονυλική ομάδα της μιας μονάδας γλυκόζης, ενώ η αναγωγική ομάδα της άλλης μονάδας γλυκόζης συμμετέχει στο γλυκοσιδικό δεσμό (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Η λακτόζη βρίσκεται στο γάλα. Αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και ένα μόριο γαλακτόζης. Υπάρχει σε δύο μορφές την α -λακτόζη και τη β -λακτόζη. Σε καθαρή μορφή είναι λευκή, κρυσταλλική ουσία κοκκώδους εμφάνισης, με ελαφρώς γλυκιά γεύση. Έχει την ιδιότητα να απορροφά οσμές και φυσικά χρώματα και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων ως μεταφορέας αρωμάτων (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

Η κελλοβιόζη αποτελείται από δύο μονάδες γλυκόζης οι οποίες συνδέονται με γλυκοσιδικό δεσμό $\beta(1\rightarrow4)$. Σε καθαρή μορφή είναι λευκή, κρυσταλλική ουσία, η οποία παρουσιάζει αναγωγικές ιδιότητες. Δεν βρίσκεται στη φύση σε ελεύθερη κατάσταση αλλά παραλαμβάνεται με μερική υδρόλυση της κυτταρίνης (Πανέρας, 1996).

2.3.3 Διάφορα Μέλη

Οι ολιγοσακχαρίτες περιέχουν μέχρι πέντε μόρια απλών σακχάρων. Μικρές ποσότητες ραφινόζης και σταχυόζης απαντούν στα λαχανικά. Η ραφινόζη είναι σπουδαίος τρισακχαρίτης και βρίσκεται στη σόγια, στα ζαχαρότευτλα καθώς και στο περίβλημα του βαμβακόσπορου. Απαρτίζεται από τρεις μονοσακχαρίτες, τη γαλακτόζη, τη γλυκόζη και τη φρουκτόζη (Μπόσκος, 2004, Πανέρας, 1996).

2.4 Πολυσακχαρίτες

Χαρακτηρίζονται οι υδατάνθρακες που έχουν πάνω από δέκα μονάδες μονοσακχάρων. Είναι ουσίες, χωρίς γλυκιά γεύση. Οι πιο συνηθισμένοι πολυσακχαρίτες που απαντούν στη φύση έχουν μεγάλο μοριακό βάρος και το μόριό τους αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες μόρια μονοσακχαριτών. Οι πολυσακχαρίτες είναι πολύ διαφορετικοί από τις βασικές δομικές μονάδες, που τους αποτελούν. Μακροσκοπικά και μικροσκοπικά εμφανίζονται άμορφοι, αλλά εξεταζόμενοι με ακτίνες Χ αποκαλύπτουν μικροκρυσταλλική δομή. Δεν έχουν γλυκιά γεύση και δεν ανάγουν το φελίγγειο υγρό. Με όξινη ή ενζυμική υδρόλυση οι πολυσακχαρίτες διασπώνται στα βασικά δομικά τους συστατικά (Μπόσκος, 2004).

2.4.1 Κατηγορίες Πολυσακχαριτών

Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση οι πολυσακχαρίτες διακρίνονται σε **ομοπολυσακχαρίτες** (άμυλο, κυτταρίνη, γλυκογόνο) όταν το μόριό τους αποτελείται από ένα είδος απλού σακχάρου, και σε **ετεροπολυσακχαρίτες** (ημικυτταρίνες, πηκτινικές ύλες, κόμμεα) όταν το μόριό τους αποτελείται από δύο ή περισσότερα συστατικά. Το συστηματικό τους όνομα προκύπτει από το όνομα του μονοσακχαρίτη από τον οποίο προέρχονται με αντικατάσταση της καταλήξεως -όζη από την

κατάληξη -ανη. Π.χ. πεντόζη-πεντοζάνη, μαννόζη-μαννάνη, γλυκόζη-γλυκάνη (Μπόσκος, 2004).

2.4.1.1 Ομοπολυσακχαρίτες

2.4.1.1.1 Άμυλο

Είναι η κύρια πηγή θερμίδων στο διαιτολόγιο των περισσότερων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο. Η σημερινή παραγωγή αμύλου καλύπτεται από ένα περιορισμένο φάσμα καλλιεργειών, όπως είναι οι πατάτες, το καλαμπόκι, το σιτάρι και η ταπιόκα. Από τα σιτηρά ενδιαφέρον παρουσιάζει το σιτάρι (ψωμί, αρτοσκευάσματα, κέικ, μπισκότα, μακαρόνια), η σίκαλη (ψωμί), το κριθάρι (βύνη, μπίρα οينوπνευματώδη), ο αραβόσιτος (νισεστέ, γλυκόζη), το ρύζι (κρέμες από ρυζάλευρο) και η βρώμη. Από τα όσπρια καλές πηγές αμύλου είναι όλα εκτός από τη σόγια, από τα ριζώματα οι βλαστοκόνδυλοι της πατάτας και οι ριζοκόνδυλοι της γλυκοπατάτας (Ανδρικόπουλος, 2010, Ellis et al., 1998).

Βιομηχανική παραγωγή αμύλου γίνεται κυρίως από τον αραβόσιτο, το ρύζι, την πατάτα και τέλος ως υποπροϊόν της βιομηχανίας παραγωγής ενεργού ξηράς γλουτένης από το σιτάλευρο (Πανέρας, 1996).

2.4.1.1.1.1 Χημική σύσταση αμύλου

Το φυσικό άμυλο έχει μία σύνθετη δομή. Είναι πολυμερές της γλυκόζης με εμπειρικό τύπο $(C_6H_{12}O_5)_n$. Οι μονάδες της γλυκόζης οι οποίες απαρτίζουν το μόριο του αμύλου συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοσιδικούς δεσμούς $\alpha(1\rightarrow4)$ και $\alpha(1\rightarrow6)$ (Ανδρικόπουλος, 2010, Kurpad and Sheela, 1992).

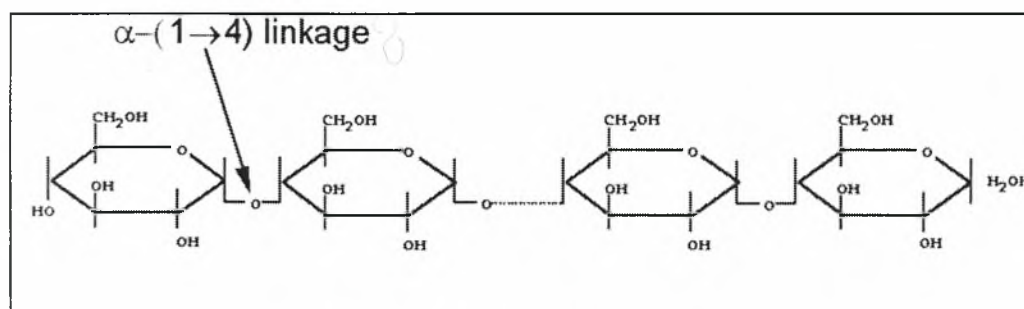
Το άμυλο που περιέχεται στους αμυλόκοκκους αποτελείται από την **αμυλόζη** και την **αμυλοπηκτίνη**. Το ποσοστό της περιεχόμενης αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης σε κάθε άμυλο ποικίλει ευρέως, ανάλογα με την προέλευση του. Κατά κανόνα, το ποσοστό της αμυλοπηκτίνης είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό της αμυλόζης. Τέλος, παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες (Ανδρικόπουλος, 2010, Ronda et al., 2008, Sandhu et al., 2004).

Το άμυλο υπάρχει με τη μορφή κόκκων (*granules*) που είναι χαρακτηριστικοί ως προς το σχήμα και το μέγεθος για κάθε φυτικό είδος. Αυτοί συντίθενται στους χλωροπλάστες των φύλλων και στους αμυλοπλάστες των αποθηκευτικών οργάνων,

όπως είναι οι σπόροι και οι κόνδυλοι. Οι κόκκοι του αμύλου ανάλογα με την προέλευσή τους διαφέρουν ως προς το μέγεθος και τη μορφή, πράγμα που επιτρέπει τη μικροσκοπική αναγνώριση του αμύλου διαφόρων προελεύσεων. Η δομή του κόκκου είναι ψευδοκρυσταλλική, δεν υπάρχει δηλαδή μια σαφής επαναλαμβανόμενη συμμετρία αλλά εμφανίζει περισσότερο τη μορφή ενός θυσάνου από στενά «πλεγμένους» έλικες αμυλόζης και μόρια αμυλοπηκτίνης με ένα κεντρικό σημείο έναρξης. Στα σιτηρά υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι κόκκων από τους οποίους οι τρεις περιλαμβάνουν όλα τα καλλιεργούμενα είδη (Ανδρικόπουλος, 2010, Roger et al., 1998).

2.4.1.1.1.α Αμυλόζη

Η αμυλόζη αποτελεί ανάλογα με την προέλευση του αμύλου ένα σημαντικό ποσοστό. Είναι ένα γραμμικό πολυμερές που αποτελείται από πολλά μόρια γλυκόζης (μέχρι 200), συνδεδεμένα με α -D-1 \rightarrow 4 γλυκοζιτικό δεσμό. Τα μόρια της αμυλόζης βρίσκονται διάσπαρτα μεταξύ των μορίων της αμυλοπηκτίνης. Το ελεύθερο μόριο της είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και παρουσιάζεται στο χώρο με τη μορφή τυχαίου σπειράματος. Το μοριακό βάρος της αμυλόζης κυμαίνεται μεταξύ 10^5 και 10^6 περίπου (Μπόσκος, 2004, Kurpad and Sheela, 1992).



Εικόνα 2.6: Τμήμα μορίου αμυλόζης

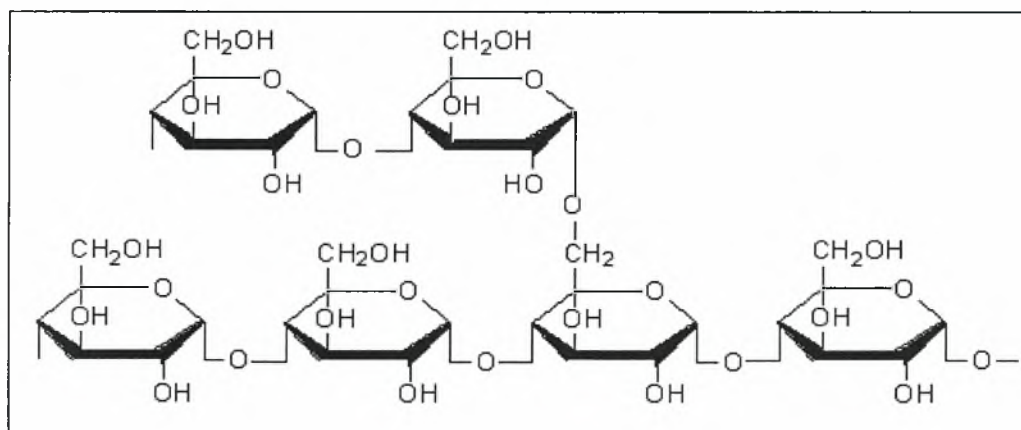
Όταν η αμυλόζη συναντήσει οργανικές ή ανόργανες ουσίες μικρού μοριακού βάρους έχει την ιδιότητα να τις εγκλωβίζει αποκτώντας σταθερή μορφή α -έλικα. Η αμυλόζη με το ίδιο σχηματίζει σύμπλοκο με έντονο κυανό χρώμα. Άλλη χαρακτηριστική ιδιότητα της αμυλόζης είναι η ικανότητα της να σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα με αλκοόλες ή λιπαρά οξέα. Έτσι, αν προστεθεί αιθανόλη σε διάλυμα

αμύλου, η αμυλόζη κατακρημνίζεται ως μικροκρυσταλλικό σύμπλοκο (Πανέρας, 1996).

2.4.1.1.1.β Αμυλοπηκτίνη

Η αμυλοπηκτίνη είναι ένα από τα μεγαλύτερα μόρια στη φύση. Είναι το κύριο συστατικό στην πλειοψηφία των αμύλων και ίσως το πιο σημαντικό από την άποψη των λειτουργικών ιδιοτήτων της. Σημαντική πρόοδο στην διερεύνηση της δομής της αμυλοπηκτίνης έχει καταστεί δυνατή με την χρήση των αμυλολυτικών ενζύμων (Paredes-Lopez et al., 1994).

Η αμυλοπηκτίνη είναι πολυδιακλαδισμένο πολυμερές της γλυκόζης. Κάθε διακλάδωση έχει περίπου 15-25 μόρια γλυκόζης. Ο γλυκοζιτικός δεσμός στην αλυσίδα είναι α -1 \rightarrow 4, η διακλάδωση όμως συνδέεται με την αλυσίδα με δεσμό α -1 \rightarrow 6. Το μέσο μοριακό βάρος της αμυλοπηκτίνης είναι 1.000.000 (Μπόσκος, 2004).



Εικόνα 2.7: Δομή αμυλοπηκτίνης

Το μόριο της αμυλοπηκτίνης έχει τη μορφή βότρυος και αποτελείται από πολλές αλυσίδες μονάδων γλυκόζης που συνδέονται μεταξύ τους με α (1 \rightarrow 6) δεσμούς. Κάθε μια από αυτές τις αλυσίδες απαρτίζεται από 10 έως και πάνω από 100 μονάδες γλυκόζης και ανά δύο σχηματίζουν διπλές έλικες στις οποίες οφείλεται η κρυσταλλικότητα της δομής του αμύλου (Πανέρας, 1996).

Η αμυλοπηκτίνη υπό την επίδραση ιωδίου δίνει ερυθροκαστανό χρώμα. Εν αντιθέσει με την αμυλόζη, η αμυλοπηκτίνη διογκώνεται εύκολα και δεν σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα με αλκοόλες ή λιπαρά οξέα (Πανέρας, 1996).

Κατά τη βιοσύνθεση του αμύλου, η αμυλόζη και η αμυλοπηκτίνη εναποτίθενται δίπλα – δίπλα και σχηματίζουν διαδοχικές ομόκεντρες στοιβάδες υψηλής πυκνότητας εναλλάξ με ομόκεντρες στοιβάδες χαμηλής πυκνότητας. Οι στοιβάδες υψηλής πυκνότητας σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ της χαμηλής πυκνότητας κατά τη διάρκεια της νύκτας. Η εξωτερική στοιβάδα των άθικτων αμυλόκκοκων είναι στοιβάδα υψηλής πυκνότητας και δεν επιτρέπει τη δράση των αμυλολυτικών ενζύμων ενώ παράλληλα περιορίζει και την είσοδο του νερού. Εφόσον τραυματισθεί ο αμυλόκκοκος και αποκαλυφθούν οι στοιβάδες χαμηλής πυκνότητας, είναι δυνατή η είσοδος και δράση των αμυλολυτικών ενζύμων καθώς και η εντυπωσιακή αύξηση της ενυδάτωσης των αμυλόκκοκων (Πανέρας, 1996, Sterling, 1978).

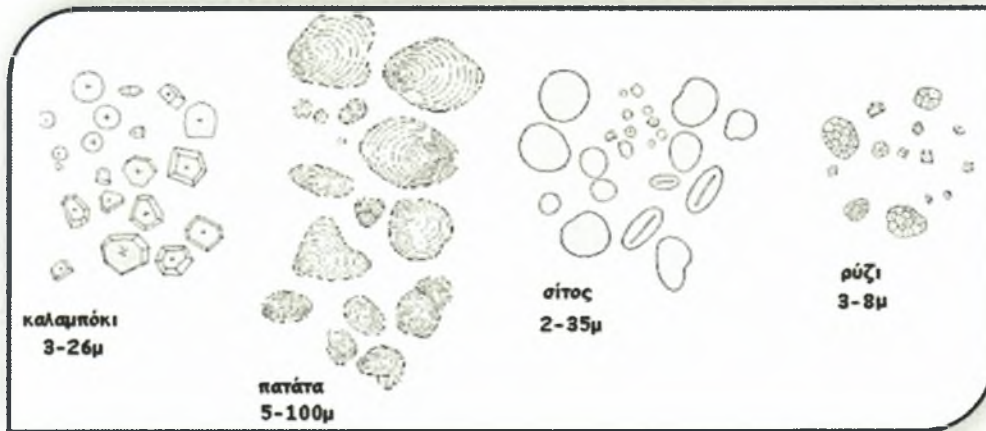
2.4.1.1.1.2 Τύποι αμύλου

Οι κύριες πηγές αμύλου είναι ο αραβόσιτος, η πατάτα, το ρύζι και το σιτάρι. Αυτοί οι τέσσερις τύποι αμύλου διαφέρουν σημαντικά ως προς τη σύνθεση και τη μορφολογία. Η συμπεριφορά του αμύλου εξαρτάται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των κόκκων αμύλου, όπως το μέσο μέγεθος κόκκου, την κατανομή μεγέθους του κόκκου, την αναλογία αμυλόζης / αμυλοπηκτίνης και το ανόργανο περιεχόμενο. Η περιεκτικότητα σε αμυλόζη των κόκκων αμύλου ποικίλει ανάλογα με την βοτανική πηγή του αμύλου.

- *Άμυλο αραβόσιτου:* Η περιεκτικότητα σε αμυλόζη κυμαίνεται από 24 έως 28 % και σε αμυλοπηκτίνη περίπου 75%. Το μέσο μέγεθος των κόκκων του αμύλου μπορεί να είναι από 1 έως 7 mm για τους μικρούς και 15 έως 20 mm για τους μεγάλους κόκκους. Οι κόκκοι είναι σφαιρικοί ή γωνιώδεις, έχουν ομοιόμορφο μέγεθος και είναι συνήθως μικροί.
- *Άμυλο πατάτας:* Η περιεκτικότητα της αμυλόζης είναι περίπου 20% και της αμυλοπηκτίνης 80%. Οι κόκκοι είναι οβάλ και έχουν ακανόνιστο ή κυβοειδές σχήμα.
- *Άμυλο ρυζιού:* Η περιεκτικότητα σε αμυλόζη είναι 22% και της αμυλοπηκτίνης 78%. Οι κόκκοι του αμύλου μπορεί να είναι από 3 - 5 mm σε μέγεθος. Οι αμυλόκοκοι είναι πάντοτε σύνθετοι και αποτελούνται από μεγάλο αριθμό μικρών επιμέρους αμυλόκοκκων.

➤ *Άμυλο σίτου*: Η περιεκτικότητα σε αμυλόζη κυμαίνεται από 25 έως 26% και σε αμυλοπηκτίνη περίπου 75%. Αποτελούνται από μεγάλους αμυλόκοκκους σχήματος φακής και από μικρούς που είναι σφαιρικοί.

(Singh et al., 2003, Zhang and Simsek, 2009, Πανέρας, 1996)



Εικόνα 2.8: Κόκκοι αμύλου από διάφορες πηγές

2.4.1.1.1.3 Ζελατινοποίηση αμύλου (gelatinization)

Στα φυτά το άμυλο βρίσκεται σε μόρια κοκκιδίων διαστάσεων 2-100μ. Τα κοκκίδια συνίσταται από μόρια αμύλου ακτινοειδώς διευθετημένα στο χώρο με τις γραμμικές και διακλαδισμένες αλυσίδες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το άμυλο να είναι αδιάλυτο στο κρύο νερό (Μπόσκος, 2004, Ronda and Roos, 2008).

Η ζελατινοποίηση είναι η κατάρρευση της μοριακής τάξης εντός του κόκκου αμύλου που εκδηλώνεται με μη αναστρέψιμες αλλαγές στις ιδιότητες. Όταν με τη θέρμανση παρέχεται ενέργεια για τη διάσπαση των δεσμών μεταξύ των κρυσταλλικών μυκηλίων, ο κόκκος αρχίζει να εδυνατώνεται και να εξογκώνεται. Το άμυλο, κυρίως η αμυλόζη αρχίζει να διαλυτοποιείται, το ιξώδες αυξάνεται και οι κόκκοι χάνουν τη διπλοθλαστικότητά τους. Ο βαθμός της ενυδάτωσης εξαρτάται από το pH, τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση και τη διάτμηση (Μπόσκος, 2004, Sandhu et al., 2007).

Κάθε είδος αμύλου χαρακτηρίζεται από την θερμοκρασία ζελατινοποίησης του η οποία μπορεί και να μεταβληθεί με τις συνθήκες επεξεργασίας και τη σύνθεση του τροφίμου.

Πίνακας 2.1

Θερμοκρασίες ζελατινοποίησης των αμύλων

Θερμοκρασία ζελατινοποίησης	
Αραβόσιτος	61-72 °C
Πατάτα	62-68 °C
Σιτάρι	53-64 °C
Ρύζι	65-73 °C

2.4.1.1.1.4 Παράγωγα αμύλου

Εκτός από το φυσικό άμυλο διατίθενται στην αγορά και το **φυσικώς ή χημικώς τροποποιημένο άμυλο**. Αυτά είναι εδώδιμα άμυλα στα οποία έχουν μεταβληθεί ορισμένα χαρακτηριστικά με επεξεργασία που ακολουθεί τους κανόνες της ορθής βιομηχανικής πρακτικής (Πανέρας, 1996, Μπόσκος, 2004).

Στα φυσικώς τροποποιημένα άμυλα περιλαμβάνεται το προζελατινοποιημένο άμυλο, το οποίο διογκώνεται κατά την ανάμειξη του με κρύο νερό σχηματίζοντας εδώδιμα πηκτώματα ή αυξάνοντας απλώς το ιξώδες ενός υγρού προϊόντος, ανάλογα με τη συγκέντρωση του αμύλου, χωρίς την ανάγκη θέρμανσης. Συνήθως παράγεται με τη ξήρανση ενός αιωρήματος αμύλου σε ξηραντήρια τυμπάνου με εσωτερική θερμοκρασία 138 – 149 °C (Πανέρας, 1996).

Τα χημικώς τροποποιημένα άμυλα παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις ιδιότητες τους σε σχέση με το φυσικό άμυλο, οι οποίες εξαρτώνται από το είδος των μεταβολών στο μόριο τους που προκαλούνται από τις κατά περίπτωση εφαρμοζόμενες χημικές αντιδράσεις (Πανέρας, 1996).

Είδη χημικώς τροποποιημένων αμύλων:

- Άμυλο τροποποιημένο με οξέα
- Οξειδωμένο άμυλο
- Άμυλο με διαμοριακούς δεσμούς μεταξύ πολυμερών αλύσεων εντός των αμυλοκόκκων
- Υποκατεστημένο άμυλο
- Προϊόντα υδρολύσεως αμύλου.

3. Συντήρηση - Επεξεργασία

3.1 Ορισμός

Ως συντήρηση τροφίμων ορίζεται η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των αιτιών που προκαλούν την ποιοτική υποβάθμιση ή την αλλοίωση των τροφίμων, έτσι ώστε τα τρόφιμα να είναι αποδεκτά από τον καταναλωτή και ασφαλή για την υγεία του για καθορισμένο χρονικό διάστημα, όταν διατηρούνται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (Μπλούκας, 2004).

3.2 Ψύξη

Ψύξη είναι η διατήρηση των τροφίμων σε περιβάλλον με θερμοκρασίες χαμηλότερες από 8 °C έως 15 °C (Μπλούκας, 2004).

Η ψύξη συγκαταλέγεται σε μια από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης των τροφίμων. Κατατάσσεται στις πιο ήπιες μεθόδους συντήρησης και έχει περιορισμένη επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και θρεπτική αξία των τροφίμων. Η διάρκεια ψύξης δεν είναι παρατεταμένη και η διάρκεια της εξαρτάται από τη φύση του τροφίμου και τις συνθήκες συντήρησης (Αρβανιτογιάννης, 2001, Μπλούκας, 2004).

Η αρχή η οποία στηρίζεται η ψύξη είναι η επιβράδυνση την οποία επιφέρει στη δράση όλων των παραγόντων που προκαλούν την αλλοίωση στα τρόφιμα. Πιο συγκεκριμένα, η ψύξη επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και το ρυθμό των μετασυλλεκτικών μεταβολικών διεργασιών στους φυτικούς ιστούς, των μεταθανάτιων μεταβολών στους ζωικούς ιστούς, όπως η αφυδάτωση των νωπών προϊόντων. Κατά συνέπεια, η ψύξη επιμηκύνει το χρονικό διάστημα που τα τρόφιμα είναι διαθέσιμα για κατανάλωση (Μπλούκας, 2004, Vadivambal and Jayas, 2007).

Η ψύξη θεωρείται η κύρια μέθοδος συντήρησης των τροφίμων που διατίθενται στον καταναλωτή ως νωπά, π.χ. λαχανικά, φρούτα, κρέας, γάλα, ψάρια. Με την ψύξη επιτυγχάνεται:

- η παράταση του χρόνου συντήρησης των προϊόντων αυτών
- η διάθεσή τους στη αγορά σε περιόδους που επιτυγχάνονται καλύτερες τιμές για τον παραγωγό ή τον έμπορο

- μεταφορά τους σε μακρινές περιοχές με αποτέλεσμα τον εφοδιασμό των μεγαλουπόλεων με νωπά προϊόντα.

3.2.1 Συντήρηση των τροφίμων υπό ψύξη

Τα νωπά τρόφιμα μετά την ψύξη τους ή την πρόψυξή τους και πολλά επεξεργασμένα προϊόντα μετά την παρασκευή τους οδηγούνται στους ψυκτικούς θαλάμους όπου η θερμοκρασία τους διατηρείται σταθερή με τη ελεγχόμενη κυκλοφορία ψυχρού αέρα. Στη συνέχεια, μεταφέρονται με μεταφορικά μέσα-ψυγεία σε ψυκτικές εγκαταστάσεις των καταστημάτων πώλησης, διατηρούνται με ψύξη στις βιτρίνες-ψυγεία των καταστημάτων και τέλος μετά την αγορά τους από τον καταναλωτή διατηρούνται με ψύξη στο οικιακό ψυγείο μέχρι την κατανάλωσή τους. Σε όλη αυτή την ψυκτική αλυσίδα οι χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης εξασφαλίζονται με το μηχανικό σύστημα ψύξης. Η διάρκεια συντήρησης των προϊόντων με ψύξη θα είναι η μέγιστη δυνατή, αν η ψυκτική αλυσίδα είναι συνεχή και σε κάθε στάδιο της το προϊόν διατηρείται κάτω από άριστες συνθήκες. Όλο αυτό πραγματοποιείται όχι μόνο για τον περιορισμό της δράσης των μικροοργανισμών αλλά και για την καλύτερη συντήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων (Μπλούκας, 2004, Αρβανιτογιάννης, 2001).

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν αισθητά τη διάρκεια συντήρησης των τροφίμων με ψύξη είναι:

- η θερμοκρασία
- η σχετική υγρασία
- η κυκλοφορία του αέρα και
- η σύνθεση της ατμόσφαιρας που περιβάλλει το προϊόν.

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη συντήρηση των τροφίμων με ψύξη είναι η απουσία φωτός, η επάλειψη των προϊόντων, όπως στα τυριά και ορισμένα φρούτα, με κηρούς ή άλλα μέσα που εμποδίζουν την απομάκρυνση υγρασίας, η χρήση συντηρητικών, η εφαρμογή πρόσθετων μεθόδων συντήρησης, όπως παστερίωση, η απουσία οσμηρών ουσιών στο χώρο συντήρησης των προϊόντων κ.α. (Μπλούκας, 2004).

3.3 Κατάψυξη

Η κατάψυξη έχει αποδειχθεί ότι είναι μια μέθοδος που μπορούν να συντηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα τα τρόφιμα. Ως μέθοδος συντήρησης συνίσταται η απομάκρυνση θερμότητας από τα προϊόντα με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας τους και στη συνέχεια τη διατήρησή τους σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο πήξης, γεγονός που επιφέρει τη μετατροπή του νερού σε παγοκρυστάλλους. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν η ψύξη δεν έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα (Μπλούκας, 2004, Αρβανιτογιάννης, 2001, Charoenrein and Preechathamwong, 2010).

Η μετατροπή του νερού σε παγοκρυστάλλους κατά την κατάψυξη προκαλεί αύξηση στη συγκέντρωση των διαλυτών στερεών στη υπόλοιπη ποσότητα του νερού γεγονός που επιφέρει μείωση στη δραστηριότητα νερού (a_w) του τροφίμου. Η κατάψυξη ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων στηρίζεται στο γεγονός ότι:

- προκαλεί την πλήρη αναστολή της δράσης των μικροοργανισμών
- επιβραδύνει τη δράση των ενζύμων και το ρυθμό των χημικών αντιδράσεων.

Τα παραπάνω είναι αποτέλεσμα:

- των χαμηλών θερμοκρασιών στις οποίες συντηρείται το τρόφιμο υπό κατάψυξη, κατά κανόνα σε θερμοκρασίες μικρότερες από $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$
- των χαμηλών τιμών της δραστηριότητας του νερού, ως συνέπεια της μετατροπής του νερού σε παγοκρυστάλλους.

Η συντήρηση των τροφίμων με κατάψυξη περιλαμβάνει τρεις φάσεις:

- τη φάση κατάψυξης στην οποία απομακρύνεται από το προϊόν θερμότητα, το νερό μετατρέπεται σε παγοκρυστάλλους και μειώνεται η θερμοκρασία του προϊόντος στη θερμοκρασία συντήρησής του υπό κατάψυξη,
- τη φάση συντήρησης του προϊόντος υπό κατάψυξη σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, κατά κανόνα μικρότερες από $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$
- τη φάση απόψυξης, κατά την οποία το προϊόν προσλαμβάνει θερμότητα με την οποία επέρχεται τήξη των παγοκρυστάλλων και επαναφορά του προϊόντος στην αρχική του κατάσταση.

Αν οι παραπάνω τρεις φάσεις γίνουν με αυτόν τον τρόπο, τότε οι μεταβολές στη θρεπτική αξία και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων είναι ελάχιστες και η ποιότητα των κατεψυγμένων προϊόντων θα μπορούσε να είναι κατά το δυνατόν

εφάμιλλη προς την ποιότητα των νωπών προϊόντων. Το γεγονός αυτό αποτελεί και το βασικό πλεονέκτημα της κατάψυξης ως μεθόδου συντήρησης των τροφίμων (Μπλούκας, 2004, Meziani et al., 2012).

Όμως ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων κατά την κατάψυξη είναι δυνατόν να προκαλέσει μεταβολές με αρνητική επίδραση στην υφή του προϊόντος. Επίσης, η δραστηριότητα των ενζύμων και οι χημικές αντιδράσεις που συνεχίζονται, έστω και με πολύ βραδύ ρυθμό, υποβαθμίζουν την ποιότητα των καταψυγμένων τροφίμων σε σχέση με τα νωπά προϊόντα. Ακόμη, η κατάψυξη ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων χαρακτηρίζεται για τις υψηλές της απαιτήσεις σε ενέργεια. Η κατανάλωση ενέργειας αφορά τόσο τη φάση της κατάψυξης του προϊόντος για τη μείωση της θερμοκρασίας του στα επιθυμητά όρια, όσο και τη φάση της συντήρησης, της διακίνησης και εμπορίας του προϊόντος με κατάψυξη, προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του (Μπλούκας, 2004, Qian et al., 2011)

3.3.1 Μεταβολές κατά την κατάψυξη

Το νερό όταν ψύχεται καταστρέφει τη δομή των τροφίμων, διασπά τα γαλακτώματα, επηρεάζει τις πρωτεΐνες και μεταβάλλει τη φυσικοχημική δομή του τροφίμου. Αυτές οι μεταβολές σχετίζονται με την σύσταση των τροφίμων, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τις γεωργικές πρακτικές και τεχνικές που ακολουθούνται πριν από την έναρξη της κατάψυξης (Αρβανιτογιάννης, 2001, Yi et al., 2009)

3.3.2 Μέθοδοι κατάψυξης

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι κατάψυξης που βρίσκουν εμπορική εφαρμογή:

- με αέρα
- με έμμεση επαφή με το ψυκτικό υγρό
- με άμεση επαφή με το ψυκτικό υγρό

3.3.3 Διαφορά ψύξης – κατάψυξης

Η κύρια διαφορά έγκειται στις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης. Η ψύξη αναφέρεται στην αποθήκευση σε χώρους όπου η θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 °C έως -2 °C. Τα οικιακά ψυγεία λειτουργούν από 4,5 έως 7 °C. Όμως οι θερμοκρασίες αυτές μπορεί να είναι και χαμηλότερες όταν επιτυγχάνεται καλύτερη συντήρηση σε ορισμένα προϊόντα. Εν αντιθέσει, οι θερμοκρασίες που επικρατούν στην κατάψυξη

κυμαίνονται από $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ και χαμηλότερα. Η κατάψυξη μπορεί να διατηρήσει τα τρόφιμα για μήνες ή και για χρόνια, ενώ η ψύξη για ημέρες ή εβδομάδες (Αρβανιτογιάννης, 2001).

Οι μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στις δύο μεθόδους σχετίζονται με την ενεργότητα των μικροοργανισμών. Οι μικροοργανισμοί αλλοίωσης αναπτύσσονται ραγδαία σε θερμοκρασίες υψηλότερες των $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ αλλά ορισμένοι αναπτύσσονται και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ εφόσον υπάρχει διαθέσιμο νερό. Τρόφιμα που διατηρούνται σε άριστες θερμοκρασίες ψύξης μπορεί να συνεχίζουν να αλλοιώνονται εξαιτίας της ανάπτυξης μικροοργανισμών. Αν και μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν αδύνατη η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών σε συνθήκες ψύξης, ερευνητές απομόνωσαν παθογόνα σε θερμοκρασία $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Οι μικροοργανισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται ως ψυχρότροφοι. Αντίθετα στους $-9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ δεν υπήρξε σημαντική ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών σε τρόφιμα (Αρβανιτογιάννης, 2001).

3.4 Θέρμανση με μικροκύματα

Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα, και διαφέρουν από την ηλεκτρομαγνητική ραδιενέργεια των ελαφρών κυμάτων και ραδιοκυμάτων μόνο ως προς την συχνότητα. Η συχνότητα των μικροκυμάτων που χρησιμοποιείται είναι μεταξύ 3000 και 30000 MHz. Για οικιακή χρήση έχει παραχωρηθεί η συχνότητα 2450 MHz, στην οποία αντιστοιχεί μήκος κύματος 12,24 cm. Επειδή η συχνότητα των μικροκυμάτων είναι σχετικά κοντά με τις συχνότητες των ραδιοκυμάτων και των ραντάρ, τα μικροκύματα μπορούν να παρεμβληθούν στις επικοινωνίες, γι' αυτό στις εφαρμογές χρησιμοποιούνται μόνο συγκεκριμένες συχνότητες μικροκυμάτων (Αρβανιτογιάννης, 2001, Μπλούκας, 2004).

Τα μικροκύματα, όπως το φως, μετακινούνται σε ευθεία γραμμή και αντανakλούνται από μέταλλα, καθώς και από ορισμένους τύπους γυαλιού, χαρτιού, και πλαστικών υλικών ενώ απορροφούνται από διάφορα συστατικά των τροφίμων συμπεριλαμβανομένου και του νερού (Αρβανιτογιάννης, 2001).

3.4.1 Μηχανισμός θέρμανσης με μικροκύματα

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα στηρίζεται στην παλινδρομική αναστροφή των μορίων του νερού που απαντούν στο τρόφιμο ως δίπολα και στην

ηλεκτροφόρηση των ιόντων που υπάρχουν στο τρόφιμο (Μπλούκας, 2004, Sun, 2006).

Τα συνήθη εναλλασσόμενα ρεύματα εναλλάσσουν την διεύθυνση τους περίπου 60 φορές/s. Τα μικροκύματα λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο αλλά σε συχνότητες που αντιστοιχούν στα 915 και 2450 MHz. Τα τρόφιμα και ορισμένα άλλα υλικά περιέχουν μόρια που δρουν ως δίπολα ή μόρια με θετικό και αρνητικό φορτίο στα άκρα τους. Στο μόριο του νερού οι δύο δεσμοί μεταξύ υδρογόνου και οξυγόνου σχηματίζουν γωνία 105° περίπου. Η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων του οξυγόνου στη μια πλευρά του μορίου και η ύπαρξη των σχετικά γυμνών πυρήνων του υδρογόνου στην άλλη πλευρά, δημιουργούν μια μη ισορροπημένη κατανομή των ηλεκτρικών φορτίων με αποτέλεσμα το μόριο του νερού να είναι ισχυρά πολικό και να συμπεριφέρεται ως δίπολο (Αρβανιτογιάννης, 2001, Μπλούκας, 2004).

Το μάγνητρο του φούρνου μικροκυμάτων δημιουργεί ένα εναλλασσόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο τα μόρια του νερού, υπό τη μορφή διπόλων, προσπαθούν να προσανατολισθούν. Η γρήγορη όμως εναλλαγή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, περίπου δυο δεκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο, προκαλεί αντιστροφή των διπόλων του νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία τριβών μεταξύ των μορίων και τελικά την παραγωγή θερμότητας. Η αύξηση της θερμοκρασίας των μορίων του νερού λόγω των τριβών προκαλεί με τη σειρά της αύξηση της θερμοκρασίας των παρακείμενων συστατικών των τροφίμων με αγωγιμότητα και/ή επαγωγή. Ταυτόχρονα όμως τα ιόντα που βρίσκονται σε διάλυση μέσα στο τρόφιμο προσπαθούν να μετακινηθούν προς τον αντίθετο πόλο του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Η γρήγορη αυτή εναλλαγή του πεδίου αντιστρέφει την κατεύθυνση μετακίνησης τους με αποτέλεσμα να θέτει αυτά σε ταχύτατη παλινδρομική κίνηση και λόγω πάλι των τριβών που αναπτύσσονται να παράγεται θερμότητα. Όσο περισσότερα ιόντα υπάρχουν στο τρόφιμο, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας παράγεται από τις τριβές των ιόντων. Ωστόσο, η συμβολή των ιόντων στη θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη θέρμανση λόγω των τριβών που προκαλούν τα δίπολα του νερού. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι με μικροκύματα μπορούν να θερμανθούν μόνο τρόφιμα τα οποία περιέχουν νερό, τα μόρια του οποίου ενεργούν ως δίπολα, ενώ το

ίδιο αποτελεί το μέσο για τη διάλυση των αλάτων σε ιόντα. Τέλος, τα μικροκύματα μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες, τη δομή και τη συμπεριφορά των αμύλων πατάτας, σιταριού και αραβοσίτου. Τα μικροκύματα μπορούν να μειώσουν την κρυσταλλικότητα, τη διαλυτότητα, και τα χαρακτηριστικά διόγκωσης του αμύλου σίτου και αραβοσίτου (Μπλούκας, 2004, Lewandowicz et al., 1997, Lewandowicz et al., 2000).

3.4.2 Φούρνος μικροκυμάτων

Η θέρμανση των τροφίμων με μικροκύματα γίνεται μέσα σε ειδικούς φούρνους μικροκυμάτων. Οι φούρνοι μικροκυμάτων έχουν είτε τη μορφή θαλάμου μέσα στον οποίο τοποθετείται το προϊόν, είτε τη μορφή τούνελ μέσα από το οποίο διέρχεται το προϊόν σε λεπτό στρώμα με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας. Τόσο οι θάλαμοι όσο και τα τούνελ μικροκυμάτων έχουν πολύ καλή μόνωση, ώστε να αποφευχθεί τυχόν διαρροή μικροκυμάτων, η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη στο χειριστή, και τοιχώματα που αντανακλούν τα μικροκύματα και τα κατευθύνουν στο μέρος που τοποθετείται το προϊόν. Επίσης, είναι εφοδιασμένοι με συσκευή παραγωγής των μικροκυμάτων, το μάγνητρο, με σωλήνες αλουμινίου που κατευθύνουν τα μικροκύματα στο θάλαμο ή το τούνελ, με σύστημα ανάδευσης των μικροκυμάτων (ανεμιστήρα) για ομοιόμορφη κατανομή τους στο χώρο και τέλος με σύστημα περιστροφής του τροφίμου, ώστε να δέχεται την επίδραση των μικροκυμάτων από όλες τις πλευρές του (Μπλούκας, 2004).

4. Ρεολογία

4.1 Ορισμός

Ρεολογία είναι η επιστήμη αφιερωμένη στη μελέτη της παραμόρφωσης και της ροής της ύλης. Η ροή των ρευστών αποτελεί σημαντικό κομμάτι καθώς υπεισέρχεται στο σχεδιασμό των περισσότερων διεργασιών επεξεργασίας των τροφίμων. Επιπλέον, πολλές από τις βασικές αρχές που συνδέονται με τη ροή ρευστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την περιγραφή της ροής αιωρημάτων, κοκκωδών προϊόντων ή λεπτοδιαμερισμένων σκονών και της υφής “στερεών” τροφίμων. Παράμετροι όπως η επίδραση χημικών και μικροβιολογικών δράσεων, της θερμοκρασίας και της υγρασίας στις ρεολογικές ιδιότητες πρέπει να λαμβάνονται υπ’ όψη και συχνά προκύπτει η ανάγκη προσφυγής σε εμπειρικά μεγέθη και πειραματικές μετρήσεις ειδικά αναπτυγμένες για τα συγκεκριμένα τρόφιμα. (Ριτζούλης, 2011)

Πέραν του σχεδιασμού του απαραίτητου εξοπλισμού η ρεολογική μελέτη των τροφίμων επιτρέπει την εκτίμηση της δομής τους, της λειτουργικότητας τους και της κατάστασης τους (π.χ. της μετουσίωσης πρωτεϊνών, ζελατινοποίησης αμύλου, σχηματισμό πήγματος κτλ). Συχνά χρησιμοποιείται για έλεγχο των πρώτων υλών ή των διεργασιών παραγωγής των προϊόντων (Evans and Haisman, 1980, Ριτζούλης, 2011).

Τέλος αξιοσημείωτο είναι ότι οι ρεολογικές ιδιότητες και η υφή των περισσότερων τροφίμων σχετίζονται άμεσα με την ποιότητα τους και την αποδοχή από τον καταναλωτή. Είναι πολύ σημαντική ως εκ τούτου η μελέτη δυνατότητας συσχετισμού της ρεολογικής συμπεριφοράς των τροφίμων, όπως εκτιμάται με οργανοληπτική αξιολόγηση από ομάδες εκπαιδευμένων ή μη δοκιμαστών, με τη μέτρηση μίας ή περισσότερων ρεολογικών ιδιοτήτων με τη χρήση κατάλληλων οργάνων (Ριτζούλης, 2011).

Οι ρεολογικές συμπεριφορές διακρίνονται σε:

- Ελαστική συμπεριφορά (Νόμος του Hooke)
- Ιξώδης συμπεριφορά (Νόμος Newton)
- Ιξωδοελαστική συμπεριφορά

4.2 Ελαστική συμπεριφορά (Νόμος του Hooke)

Η βασική μηχανική συμπεριφορά ενός στερεού σώματος κατά την εφαρμογή τάσης περιγράφηκε από τον Hooke. Κατά την περιγραφή αυτήν, η σχέση μεταξύ της τάσης σ που εφαρμόζεται σε ένα σώμα και επαγόμενης παραμόρφωσης γ είναι γραμμική:

$$\sigma = \kappa \cdot \gamma \text{ (Νόμος του Hooke)}$$

Η σταθερά αναλογίας κ περιγράφει κατά βάση την αντίδραση ενός ιδανικού ελατηρίου σε παραμόρφωση παράλληλη με τον άξονα αυτού (γραμμική παραμόρφωση). Έχει επικρατήσει η σταθερά αναλογίας να περιγράφεται με διαφορετικά ονόματα, ανάλογα με το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης. Στην περίπτωση γραμμικής παραμόρφωσης ελατηρίου η κ ονομάζεται σταθερά του Hooke. Σε άλλες περιπτώσεις γραμμικής παραμόρφωσης (εφελκυσμού ή συμπίεσης) κατά την οποία ο όγκος του υλικού παραμένει σταθερός παρίσταται με E και καλείται μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young (elasticity modulus, Young modulus). Όταν ένα υλικό υφίσταται συμπίεση ή εκτόνωση κατά την οποία λαβαίνει χώρα μεταβολή του όγκου εξαιτίας πίεσης από κάθε πλευρά του υλικού, όπως λ.χ. (την υδροστατική συμπίεση, η σταθερά αναλογίας παρίσταται με K και καλείται μέτρο ή τελεστής συμπίεσης (bulk modulus). Σε περίπτωση εφαρμογής διατμητικής τάσης η σταθερά αναλογίας παρίσταται με G και καλείται μέτρο ή τελεστής διάτμησης (shear modulus). Στην ειδική περίπτωση της γραμμικής τάσης που οδηγεί σε μεταβολή του μήκους και όχι του όγκου, μπορεί να ορισθεί ο λόγος Poisson μ ως ο λόγος της σχετικής μεταβολής του μεγέθους του σώματος υπό την επίδραση μίας τάσης προς τη σχετική μεταβολή του μεγέθους σε άξονα κάθετο προς την εφαρμοζόμενη δύναμη. Στην περίπτωση του παραπάνω δισδιάστατου σχήματος υποθέτουμε δύναμη σε παράλληλη με τη διεύθυνση, η οποία παραμορφώνει το αρχικά τετράγωνο υλικό. Η μείωση του πλάτους του κατά $(L-d)/L$ επιφέρει αύξηση ύψους κατά $(L+l)/L$. Ο λόγος μ εδώ ορίζεται ως $\mu = [(L-d)/L] / [(L+l)/L]$ (Ριτζούλης, 2011).

4.3 Ιξώδης συμπεριφορά (Νόμος Newton)

Η έννοια του ιξώδους περιγράφηκε πρώτη φορά από τον Νεύτωνα (1642-1727). Ας υποθέσουμε ένα υγρό που βρίσκεται περιορισμένο ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες επιφάνειας Λ και απομακρυσμένες κατά απόσταση Δx δύναμη F εφαρμοσθεί στην άνω επιφάνεια, δημιουργείται μία διατμητική τάση $\tau = F / A$, εκπεφρασμένη σε Pa (= N m⁻²). Αυτό σημαίνει ότι η κίνηση του άνω στρώματος παρασέρνει τα κατώτερα στρώματα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μόρια των επιμέρους στρωμάτων αναπτύσσουν μεταξύ τους δεσμούς. Η μετάδοση της κίνησης από το ανώτερο στα κατώτερα στρώματα είναι προφανώς εντονότερη για υλικά με ισχυρότερους διαμοριακούς δεσμούς. Η μεταβολή της ταχύτητας με το βάθος καλείται *ρυθμός διάτμησης*. (Ριτζούλης, 2011)

Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να ορισθεί ο ρυθμός διάτμησης γ ως η παράγωγος της ταχύτητας ως προς την κάθετη απόσταση ($\gamma = dv/dx$). Οι μονάδες της ποσότητας αυτής θα είναι s⁻¹. Σε αυτό το σύστημα το ιξώδες η μπορεί να ορισθεί ως ο συντελεστής αναλογίας μεταξύ τάσης και ρυθμού διάτμησης:

$$\sigma = \eta \cdot \gamma$$

Από τα παραπάνω το ιξώδες φαίνεται ότι είναι η αντίσταση στη ροή ενός ρευστού. Οι μονάδες του κατά την παραπάνω εξίσωση θα είναι Pa s. (Ριτζούλης X., 2011)

Η παραπάνω εξίσωση προβλέπει την αναλογία της εφαρμοζόμενης τάσης με το ρυθμό παραμόρφωσης/διάτμησης και όχι με την ίδια την παραμόρφωση/διάτμηση όπως γίνεται στα ελαστικά υλικά. Αυτή είναι η βασική διαφορά μεταξύ ελαστικών (κατά βάση ιδανικών στερεών) και Νευτώνειων (κατά βάση ιδανικών ρευστών) υλικών (Ριτζούλης, 2011).

4.4 Ιξωδοελαστική συμπεριφορά

Ιξωδοελαστικά καλούνται τα υλικά που εμφανίζουν συμπεριφορά ελαστικού στερεού και ιξώδους υγρού, δηλαδή εμφανίζουν και τις δύο ιδιότητες ταυτόχρονα. Στα ιξωδοελαστικά υλικά μετά την απομάκρυνση του φορτίου (δύναμης) παραμένει μία μόνιμη παραμόρφωση. Εάν η παραμόρφωση αυτή συνδέεται γραμμικά με το φορτίο που την προκάλεσε τότε το υλικό εμφανίζει γραμμική ιξωδοελαστικότητα.

Παραδείγματα τροφίμων που παρουσιάζουν ιξωδοελαστικές ιδιότητες είναι το ζυμάρι, τα τυριά και οι πηκτές (Ριτζούλης, 2011).

Σκοπός

Σκοπός της διατριβής αυτής είναι η μελέτη του ρόλου του αμύλου στη συντήρηση και επεξεργασία των τροφίμων. Επειδή τα τρόφιμα είναι πολυσύνθετα και πολυφασικά και αποτελούνται από πολλά και διαφορετικά συστατικά, η προσέγγιση του στόχου έγινε ως εξής:

- Μελέτη των τροφίμων ως προς το είδος του αμύλου που περιέχουν για να δούμε την προέλευση του αμύλου που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων.
- Μελέτη πρότυπων διαλυμάτων αμύλου (του τύπου που χρησιμοποιείται περισσότερο στην παρασκευή τροφίμων) κάτω από διαφορετικές συνθήκες συντήρησης και επεξεργασίας

Πειραματικό μέρος

Μέρος Α΄

Στο πρώτο μέρος της διατριβής πραγματοποιήθηκε έρευνα σε σούπερ μάρκετ και μελετήθηκε η σύσταση ως προς το είδος του αμύλου 215 προϊόντων του εμπορίου, με στόχο την αναζήτηση του τύπου αμύλου που χρησιμοποιείται περισσότερο στην παρασκευή τροφίμων.

Μέρος Β΄

Μετά την έρευνα που διεξήχθη σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων διαπιστώθηκε ότι το άμυλο που χρησιμοποιήθηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό τροφίμων ήταν το άμυλο αραβοσίτου και γι αυτό στο δεύτερο πειραματικό μέρος μελετήθηκε ο ρόλος του αμύλου στη συντήρηση των τροφίμων κατά την αποθήκευση του στην κατάψυξη και τη ψύξη και την επεξεργασία με μικροκύματα.

5.1 Υλικά και Μέθοδοι

5.1.1 Υλικά

Άμυλο αραβοσίτου (27% w/w Αμυλόζη): προϊόν της εταιρίας Sigma

5.1.2 Παρασκευή διαλυμάτων

Προετοιμάστηκαν δυο σειρές υδατικών διαλυμάτων αμύλου αραβοσίτου σε δυο διαφορετικές συγκεντρώσεις 2% w/w και 0,5% w/w. Το κάθε δείγμα παρασκευάστηκε δυο φορές για να γίνει η αποθήκευση του με δυο διαφορετικούς τρόπους:

A. Τα διαλύματα 2% w/w άμυλο αραβοσίτου καταψύχθηκαν στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ και αποψύχθηκε το πρώτο με τη βοήθεια του φούρνου μικροκυμάτων και το δεύτερο με παραμονή 24 h σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

B. Τα διαλύματα 0,5% w/w αμύλου αποθηκεύτηκαν το πρώτο στην ψύξη και το δεύτερο στην κατάψυξη με μετέπειτα απόψυξη στα μικροκύματα.

Τα πειράματα επαναλήφθηκαν τρεις φορές.

5.1.3 Μέθοδος

Οι μετρήσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με το ιξωδόμετρο VISCO STAR, τύπου Brookfield. Το ιξωδόμετρο αυτού του τύπου ανήκει στην κατηγορία του περιστρεφόμενου κυλίνδρου εντός του υπό εξέταση υγρού.

Η αρχή της λειτουργίας του έγκειται στην μέτρηση της γωνίας στρέψης ή της ροπής περιστροφής την οποία πρέπει να έχει ο κύλινδρος, εμβαπτισμένος στο υπό εξέταση υγρό, για να υπερκινηθεί η αντίσταση του ιξώδους που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή του κυλίνδρου. Το περιστρεφόμενο τμήμα S02 (spindle) είναι συνδεδεμένα με τον κινητήρα της συσκευής ο οποίος περιστρέφεται με μια σταθερή ταχύτητα. Η γωνία στρέψης του περιστρεφόμενου τμήματος μετράται ηλεκτρονικά και δίνει το μέτρο της δύναμης περιστροφής που εφαρμόστηκε.

Το ιξωδόμετρο Brookfield είναι εφοδιασμένο με περιστρεφόμενα εξαρτήματα διαφορετικών τύπων και μεγεθών για τον κάθε τρόπο και επίσης μπορούν να ρυθμιστούν σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής.

Με τη μέθοδο αυτή εκτιμάται η συνεκτικότητα ενός παχύρευστου τροφίμου σε σχέση με την ικανότητα του να διασπείρεται επάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Μέτρο της συνεκτικότητας είναι το φαινόμενο ιξώδες του τροφίμου το οποίο πρέπει να αντιστοιχεί σε επαρκή ρευστότητα ικανή να διασπείρει το τρόφιμο σε κάποια, έστω και μικρή, απόσταση επάνω στο επίπεδο της συσκευής.



Εικόνα 5.1. Ιξωδόμετρο VISCO STAR, τύπου Brookfield

6. Αποτελέσματα

Μέρος Α΄

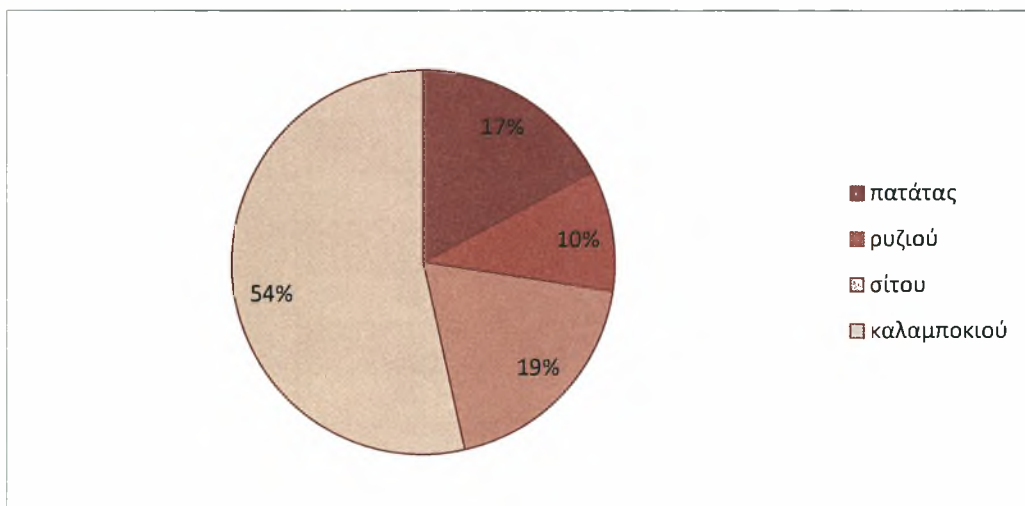
Μετά τη μελέτη που έγινε σε ένα ευρύ φάσμα τροφίμων διαπιστώθηκε ότι το άμυλο που χρησιμοποιήθηκε σε μεγαλύτερο ποσοστό προϊόντων ήταν το άμυλο αραβοσίτου. Το άμυλο αραβοσίτου περιέχει 24% – 28% αμυλόζη και 72% – 76% αμυλοπηκτίνη.

Με τη μελέτη της σύστασης 215 προϊόντων εντοπίστηκε ο αριθμός των προϊόντων που περιέχουν άμυλο (Πίνακας 6.1) και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα φαίνεται το ποσοστό των τροφίμων που περιέχουν άμυλο (Σχήμα 6.1)

Πίνακας 6.1

Τρόφιμα που περιέχουν ως κύριο συστατικό το άμυλο

Είδος αμύλου	Αριθμός προϊόντων
Άμυλο αραβοσίτου	115
Άμυλο πατάτας	37
Άμυλο ρυζιού	22
Άμυλο σίτου	41



Σχήμα 6.1: Τύποι αμύλου που βρέθηκαν σε 215 τρόφιμα

Μέρος Β΄

Με βάση τα αποτελέσματα του Μέρους Α΄ μελετήθηκαν διαλύματα αμύλου αραβοσίτου. Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι αποθήκευσης των τροφίμων είναι στην ψύξη, στην κατάψυξη αλλά και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε αυτό το ερευνητικό μέρος μελετήθηκε η συμπεριφορά διαλυμάτων αμύλου στις παραπάνω τρεις καταστάσεις αλλά και η επίδραση των μικροκυμάτων μετά από αποθήκευση στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ στην κατάψυξη. Τα αποτελέσματα περιγράφονται παρακάτω.

6.1 2% w/w Άμυλο Αραβοσίτου

6.1.1. Κατάψυξη και απόψυξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Το υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 2% w/w διατηρήθηκε στην κατάψυξη και αποψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 24 ώρες. Οι μετρήσεις έγιναν μετά από μια εβδομάδα στο ιξωδόμετρο και χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος S06. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Πίνακας 6.2

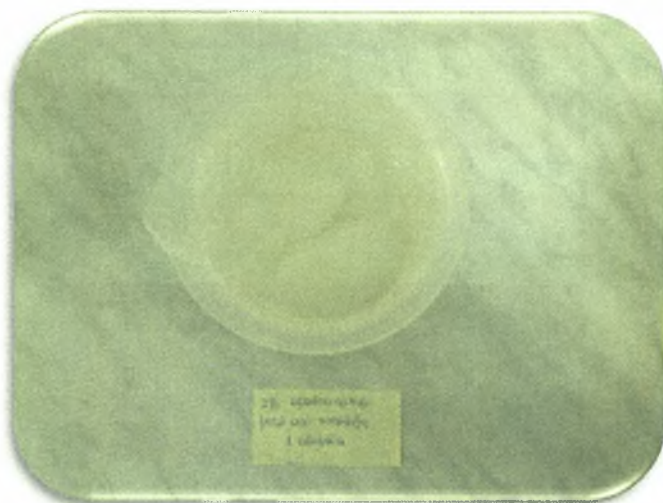
Μετρήσεις του ιξώδους του υδατικού διαλύματος 2% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 24 ώρες

rpm (στροφές/s ⁻¹)	cP (mPa/s ⁻¹)
0,3	667
0,6	3333
1,5	2000
3	1667
6	1167
12	750
30	366
60	183

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώθηκε ότι, όταν η ταχύτητα περιστροφής του εμβόλου ήταν 0,3 στροφές ανά δευτερόλεπτο, το ιξώδες ήταν 667 mPa. Όταν

διπλασιάστηκαν οι στροφές, σημειώθηκε απότομη αύξηση του ιξώδους. Στη συνέχεια, από τις 1,5 στροφές μέχρι τις 60 στροφές, παρατηρήθηκε μια σταδιακή μείωση του ιξώδους.

Στο υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 2% w/w που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 24 ώρες, σχηματίστηκε ασθενής δομή.



Εικόνα 6.1: Υδατικό διάλυμα 2% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 24 ώρες

6.1.2. Κατάψυξη και απόψυξη σε μικροκύματα

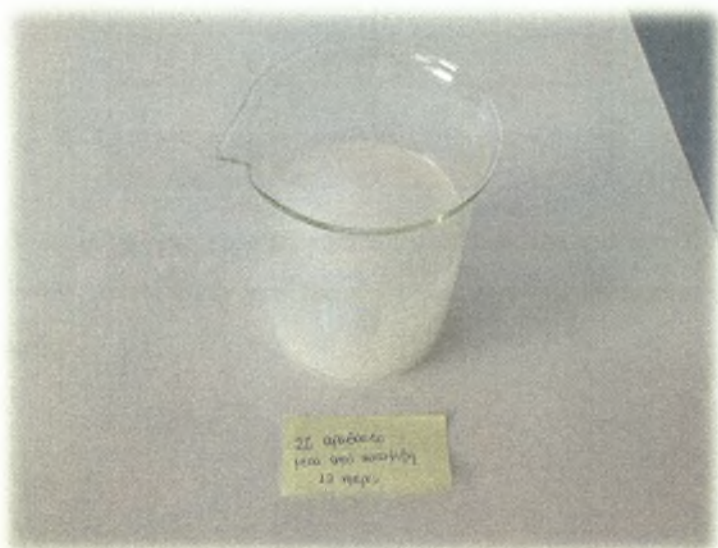
Το υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 2% w/w διατηρήθηκε στην κατάψυξη και αποψύχθηκε στα μικροκύματα σε χρόνο 8 λεπτά. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε μετά από μια εβδομάδα στο ιξωδόμετρο και χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος S06. Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 6.3

Μετρήσεις του ιξώδους του υδατικού διαλύματος 2% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε σε μικροκύματα

rpm (στροφές/s ⁻¹)	cP (mPa/sec)
0,3	0
0,6	0
1,5	0
3	0
6	0
12	0
30	5,33
60	9,33
100	12,4

Από τα παραπάνω διαπιστώθηκε ότι το υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 2% w/w κατάψυξη που αποψύχθηκε στα μικροκύματα δεν εμφάνισε σχηματισμό δομής.



Εικόνα 6.2: Υδατικό διάλυμα 2% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε σε μικροκύματα

6.2 0,5% w/w Άμυλο Αραβοσίτου

6.2.1. Κατάψυξη και απόψυξη σε μικροκύματα

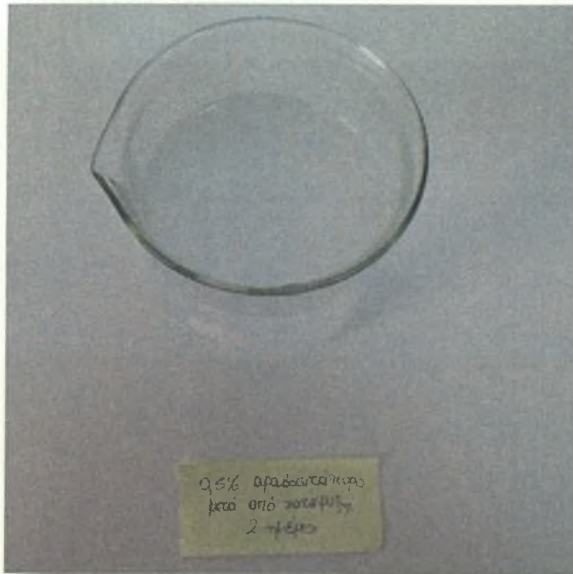
Το υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 0,5% w/w διατηρήθηκε στην κατάψυξη και αποψύχθηκε στα μικροκύματα σε χρόνο 11 λεπτών. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε μετά από 2 μέρες στο ιζωδόμετρο και χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος S06. Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 6.4

Μετρήσεις του ιζώδους του υδατικού διαλύματος 0,5% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για 2 μέρες και αποψύχθηκε σε μικροκύματα

rpm (στροφές/s ⁻¹)	cP (mPa/sec)
0,3	0
0,6	0
1,5	0
3	0
6	0
12	0
30	5,33
60	9,33
100	12,8

Το υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 0,5% w/w που συντηρήθηκε στην κατάψυξη και αποψύχθηκε στα μικροκύματα δεν εμφάνισε σχηματισμό δομής.



Εικόνα 6.4: Υδατικό διάλυμα 0,5% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για 2 μέρες και αποψύχθηκε σε μικροκύματα

6.2.2. Ψύξη

Το υδατικό διάλυμα με περιεκτικότητα αμύλου αραβοσίτου 0,5% w/w διατηρήθηκε στην ψύξη για δυο ημέρες και στη συνέχεια μετρήθηκε στο ιξωδόμετρο και χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος S06. Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν είναι τα παρακάτω:

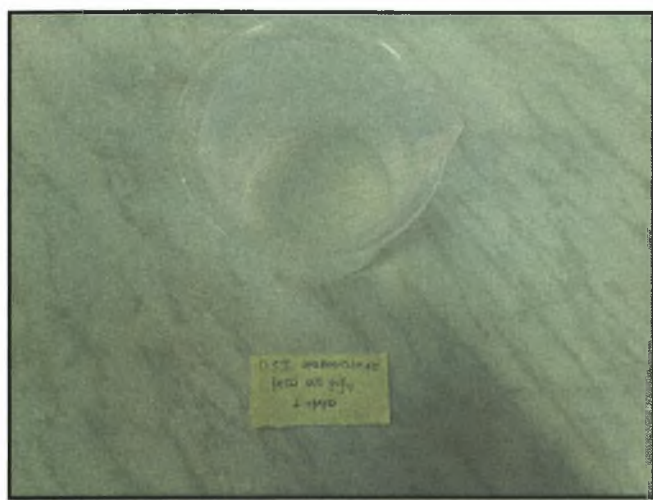
Πίνακας 6.5

Μετρήσεις του ιξώδους του υδατικού διαλύματος 0,5% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στη ψύξη για 2 μέρες

rpm (στροφές/s ⁻¹)	cP (mPa/s ⁻¹)
0,3	0
0,6	0
1,5	0
3	0
6	0
12	0

30	5,33
60	9,33
100	12,4

Στο δείγμα δε σχηματίστηκε δομή.



Εικόνα 6.5: Υδατικό διάλυμα 0,5% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στη ψύξη για 2 μέρες

7. Συζήτηση

Το άμυλο χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων στις μέρες μας. Οι λειτουργικές ιδιότητες του είναι:

- υποκατάστατο λίπους / μιμητής λίπους
- βελτιωτικό υφής
- υψηλή θρεπτική απαίτηση
- υψηλή διάτμηση
- σταθερότητα στη θερμοκρασία

Συμβάλλει κυρίως στη γεύση, στην εμφάνιση, στην υφή και στη διάρκεια ζωής του προϊόντος στο ράφι (Abdelrahim et al., 1995).

Το άμυλο χρησιμοποιείται επίσης και ως βελτιωτικό υφής γιατί βελτιώνει τη κρεμώδη υφή σε γιαούρτι χαμηλών λιπαρών. Η αίσθησή του έφτασε σε αυτή την αίσθηση του γιαουρτιού πλήρους λιπαρών. Το άμυλο χρησιμοποιείται και σε άλλα τρόφιμα όπως είναι τα μπισκότα γιατί παρέχει τραγανότητα. Εφαρμόζεται επίσης και σε μαγιονέζες. Χρησιμοποιείται για να σχηματίσει μια αρκετά ισχυρή πηκτή, ώστε να σταθεροποιήσει το προϊόν υπό υψηλή διάτμηση χωρίς να δημιουργήσει μια δυσάρεστη κολλώδη υφή. Δεδομένου ότι η φάση ελαίου της μαγιονέζας πρέπει να σπάσει σε πολύ μικρά σταγονίδια, ενώ η φάση της πηκτής είναι ευαίσθητη σε διατηρητική τάση (Abbas et al., 2010).

Οι απαιτήσεις των αμύλων αυξάνονται παράλληλα με την ταχεία ανάπτυξη της βιομηχανίας τροφίμων. Προσφέρουν πραγματικά ένα τεράστιο αριθμό από λειτουργικά οφέλη στα τρόφιμα, όπως σνακ, είδη αρτοποιίας και ποτά. Άλλες ιδιότητες που προσδίδει το άμυλο είναι ως ενισχυτής δομής, πηκτικής ουσίας, γαλακτοματοποιητής, παράγοντας θολερότητας, συγκολλητικός / συνεκτικός παράγοντας και ως παράγοντας συγκράτησης νερού (Singh et al., 2003, Light, 1990).

Σε αυτήν την έρευνα από ένα μεγάλο αριθμό τροφίμων που βρίσκονται στα ράφια του σούπερ μάρκετ, το 54% περιέχει άμυλο αραβοσίτου. Αντίθετα, το μικρότερο ποσοστό καταλαμβάνει το άμυλο ρυζιού μόλις 10%. Φαίνεται ότι το άμυλο αραβοσίτου αποτελεί σημαντικό συστατικό σε μια ευρεία γκάμα τροφίμων. Το άμυλο αυτό συμβάλλει δυναμικά με τις λειτουργικές του ιδιότητες στην παρασκευή τροφίμων του εμπορίου. Επειδή τα τρόφιμα είναι πολυσύνθετα και πολυφασικά για να

μπορέσουμε να κατανοήσουμε το ρόλο του αμύλου μελετήσαμε πρότυπα διαλύματα αμύλου αραβοσίτου σε αντίστοιχες συγκεντρώσεις που βρήκαμε ότι απαντώνται σε έναν μικρό αριθμό τροφίμων στο σουπερ μάρκετ (2% w/w, 0,5% w/w).

Κατά την παρασκευή των υδατικών διαλυμάτων το άμυλο αραβοσίτου θερμάνθηκε σε θερμοκρασίες άνω των 80 °C. Σε μια χαρακτηριστική θερμοκρασία πραγματοποιήθηκε το φαινόμενο που ονομάζεται ζελατινοποίηση, που προκάλεσε τη μη αναστρέψιμη διόγκωση των κόκκων από το αρχικό τους μέγεθος και την απελευθέρωση της αμυλόζης από τους κόκκους καθώς διογκώνονταν. Αφού συνεχίστηκε η θέρμανση η αμυλόζη και η αμυλοπηκτίνη απελευθερώθηκαν πλήρως από τους κόκκους. Μετά τη θέρμανση τα διαλυτοποιημένα πολυμερή αμύλου και τα υπόλοιπα αδιάλυτα κοκκώδη θραύσματα είχαν την τάση να επανασυνδεθούν. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παλινόρθωση. (Arocas et al., 2009) Λόγω της διαδικασίας της παλινόρθωσης τα μόρια της αμυλόζης είχαν μεγαλύτερη τάση να ξανασυνδεθούν, λόγω της γραμμικής δομής τους, από ό, τι τα μεγαλύτερα μόρια αμυλοπηκτίνης (Den Einde et al., 2004). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ασθενούς πηκτής-δομής στο υδατικό διάλυμα 2% w/w που συντηρήθηκε στην κατάψυξη και αποψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Το υδατικό διάλυμα 2% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος εμφάνισε πηκτή. Αυτό συνέβη διότι τα γραμμικά μόρια επανασυνδέθηκαν με δεσμούς υδρογόνου στην κατάψυξη επειδή το δείγμα δεν ήταν πυκνό και αποψύχθηκε αργά. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται με το χαμηλό ρυθμό απόψυξης από την κατάψυξη που οδηγεί στη διατήρηση επανασύνδεσης των μορίων. Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας είναι και ο ρυθμός κατάψυξης. Ο χαμηλός ρυθμός παγώματος οδηγεί σε υψηλότερες αλλαγές στη δομή που αφορούν στην αύξηση της ιξωδοελαστικότητας της ρεολογίας της πάστας. Οι δεσμοί όμως αυτοί δεν καταστρέφονται όταν και η απόψυξη γίνεται με χαμηλούς ρυθμούς όπως αποθηκεύοντας το δείγμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Navarro et al., 1995, Perry et al., 2000).

Αντίθετα, το υδατικό διάλυμα 2% w/w αμύλου αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για μια εβδομάδα και αποψύχθηκε στα μικροκύματα δεν εμφάνισε πηκτή. Τα μόρια που επανασυνδέθηκαν στην κατάψυξη, έσπασαν και καταστράφηκε η δομή τους ξανά κατά τη θέρμανση τους με μικροκύματα με αποτέλεσμα το μη

σχηματισμό πηκτής. Ο γρήγορος ρυθμός απόψυξης με θέρμανση με μικροκύματα οδηγεί σε κατάρρευση δεσμών και κατά συνέπεια κατάρρευση δομής – πηκτής.

Στα υδατικά διαλύματα 0,5% w/w άμυλο αραβοσίτου που συντηρήθηκε στη ψύξη για δυο μέρες και 0,5% w/w άμυλο αραβοσίτου που συντηρήθηκε στην κατάψυξη για δυο μέρες και αποψύχθηκε στα μικροκύματα μετρήθηκαν οι ρεολογικές ιδιότητες στο ιξωδόμετρο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις 30 έως 100 στροφές ήταν τα ίδια. Το πρώτο δείγμα 0,5% w/w άμυλο αραβοσίτου δε δημιούργησε πηκτή επειδή η συγκέντρωση του ήταν πολύ χαμηλή και τα μόρια του δεν πρόλαβαν να επανασυνδεθούν με δεσμούς υδρογόνου. Το δεύτερο δείγμα 0,5% w/w άμυλο αραβοσίτου παρόλο που παρέμεινε για δυο μέρες στην κατάψυξη δε δημιούργησε ούτε αυτό πηκτή επειδή η απόψυξη έγινε στα μικροκύματα κάτω από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών. (Leray et al., 2010)

8. Συμπεράσματα

Μετά την έρευνα που διεξήχθη σε εμπορικά τρόφιμα που βρίσκονται σε ράφια του σούπερ μάρκετ, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το άμυλο αραβοσίτου χρησιμοποιείται πιο πολύ στην αγορά για την παρασκευή τροφίμων σε σχέση με τα υπόλοιπα άμυλα. Φαίνεται ότι η αναλογία αμυλόζης – αμυλοπηκτικής που περιέχεται στο άμυλο αραβοσίτου μπορεί κάτω από ανάλογες συνθήκες και περιβάλλον να ελεγχθεί και να τροποποιηθεί καλύτερα ώστε να ικανοποιήσει μια μεγάλη γκάμα τροφίμων που υπάρχουν σήμερα στο εμπόριο.

Η επίδραση των μικροκυμάτων στη δομή των πρότυπων διαλυμάτων αμύλου ήταν δραματική. Ο γρήγορος ρυθμός απόψυξης με θέρμανση με μικροκύματα οδήγησε στην κατάρρευση δεσμών και κατά συνέπεια στην κατάρρευση δομής – πηκτής.

Ο χρόνος αποθήκευσης, η θερμοκρασία αποθήκευσης, η επεξεργασία με μικροκύματα και η συγκέντρωση μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις αλλαγές, που λαμβάνουν χώρα στα μόρια του αμύλου από τη στιγμή, που το διάλυμα έχει δημιουργηθεί και κυρίως μετά το φαινόμενο της ζελατινοποίησης. Κατά συνέπεια, οι αλλαγές αυτές τροποποιούν τις λειτουργικές ιδιότητες που έχει το άμυλο αραβοσίτου π.χ. ιξώδες, σχηματισμός πηκτής, σταθεροποιητής κ.α.

Τέλος, κάθε τρόφιμο αποτελείται από ένα περιβάλλον που είναι μοναδικό και αυτό οφείλεται στο πόσο πολυσύνθετο και πολυφασικό είναι. Ο ρόλος του αμύλου μπορεί να επηρεαστεί και από την ύπαρξη διαφόρων παραγόντων όπως η παρουσία άλλων συστατικών π.χ πρωτεϊνών – πολυσακχαριτών ή και αφυδατικών παραγόντων.

Γενικά το άμυλο ήταν, είναι και θα είναι ένα πολύτιμο συστατικό στη βιομηχανία τροφίμων και με κατάλληλους χειρισμούς θα μπορεί πάντα να έχει σημαντική θέση στις απαιτήσεις του σύγχρονου καταναλωτή για καινοτόμα τρόφιμα.

9. Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- ✓ Ανδρικόπουλος Ν. Κ., 2010, Ανάλυση Τροφίμων, Θεωρία Μεθοδολογίας – Οργανολογίας και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Εκδόσεις Μπιστικέα, Αθήνα.
- ✓ Αρβανιτογιάννης Ι. Σ., 2001, Στοιχεία Τεχνολογίας, Μεταποίησης & Συσκευασίας Τροφίμων, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη.
- ✓ Μπλούκας Ι. Γ., 2004, Επεξεργασία και Συντήρηση Τροφίμων, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- ✓ Μπόσκος Δ., 2004, Χημεία Τροφίμων, Πέμπτη Έκδοση, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- ✓ Πανέρας Ε. Δ., 1996, Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη.
- ✓ Ριτζούλης Χρήστος, 2011, Φυσικοχημεία Τροφίμων, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Ξένη βιβλιογραφία

- ✓ Abbas K. A., Khalil S. K. and Hussin A. S. M., 2010. Modified starches and their usages in selected food products: A review study. *Journal of Agricultural Science* 2 (2):90-100.
- ✓ Abdelrahim K. A., Ramaswamy H. S. and Van de Voort F. R., 1995. Rheological properties of starch solutions under aseptic processing temperatures. *Food Research International* 28 (5):473-480.
- ✓ Arocas A., Sanz T. and Fiszman S.M., 2009. Influence of corn starch type in the rheological properties of a white sauce after heating and freezing. *Food Hydrocolloids* 23:901–907.
- ✓ Charoenrein S. and Preechathamwong N., 2010. Undercooling associated with slow freezing and its influence on the microstructure and properties of rice starch gels. *Journal of Food Engineering* 100:310–314.
- ✓ Ellis R.P., Cochrane M. P., Dale M. F., Duffus C. M., Lynn A., Morrison I. M., Prentice D. M., Swanston J. S. and Tiller S. A., 1998. Starch Production and Industrial Use. *Journal Science Food Agricultural* 77:289-311.

-
- ✓ Evans I. D. and Haisman D. R., 1980. Rheology of gelatinized starch suspensions. *Journal of Textural Studies* 10:347-370.
 - ✓ Kurpad A. V. and Sheela M. L., 1992. Preparation and food applications of physically modified starches. *Trends in Food Science & Technology* 3.
 - ✓ Leray G., Oliete B., Mezaize S., Chevallier S. and Lamballerie M., 2010. Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. *Journal of Food Engineering* 100:70–76.
 - ✓ Lewandowicz G., Fornal J. and Walkowski A., 1997. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. *Carbohydrate Polymers* 34:213-220.
 - ✓ Lewandowicz G., Jankowski T. and Fornal J., 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. *Carbohydrate Polymers* 42:193–199.
 - ✓ Light J. M., 1990. Modified Food Starches: Why, What, Where and How. The American Association of Cereal Chemists.
 - ✓ Meziani S., Kaci M., Jacquot M., Jasniewski J., Ribotta P., Muller J., Ghoul M. and Desobry S., 2012. Effect of freezing treatments and yeast amount on sensory and physical properties of sweet bakery products. *Journal of Food Engineering* 111:336–342.
 - ✓ Navarro A. S., Martino M. N. and Zaritzky N. E., 1995. Effect of Freezing Rate on the Rheological Behaviour of Systems Based on Starch and Lipid Phase. *Journal of Food Engineering* 26:481-495.
 - ✓ Paredes-Lopez O., Bello-Perez L. A. and Lopez M. G., 1994. Amylopectin: Structural, gelatinisation and retrogradation studies. *Food Chemistry* 50:411-417.
 - ✓ Perry P.A. and Donald A.M., 2000. The effects of low temperatures on starch granule structure. *Polymer* 41:6361–6373.
 - ✓ Qian D., Chang P. R. and Ma X., 2011. Preparation of controllable porous starch with different starch concentrations by the single or dual freezing process. *Carbohydrate Polymers* 86:1181– 1186.

-
- ✓ Ronda F. and Roos Y. H., 2008. Gelatinization and freeze-concentration effects on recrystallization in corn and potato starch gels. *Carbohydrate Research* 343:903–911.
 - ✓ Sandhu K. S., Singh N. and Kaur M., 2004. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *Journal of Food Engineering* 64:119–127.
 - ✓ Sandhu K. and Singh N., 2007. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry* 101:1499–1507.
 - ✓ Singh N., Singh J., Kaur L., Sodhi N. S. and Gill B. S., 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry* 81:219–231.
 - ✓ Sterling C., 1978. Textural qualities and molecular structure of starch products.
 - ✓ Sun Da-Wen, 2006. Handbook of Frozen Food Processing and Packaging. CRC Press, Boca Raton, FL.
 - ✓ Vadivambal R. and Jayas D.S., 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products. *Biosystems Engineering* 98:1-16.
 - ✓ Van den Eende R. M., Akkermans C., Van der Goot A.J. and Boom R.M., 2004. Molecular breakdown of corn starch by thermal and mechanical effects. *Carbohydrate Polymers* 56:415–422.
 - ✓ Yi J. and Kerr W. L., 2009. Combined effects of dough freezing and storage conditions on bread quality factors. *Journal of Food Engineering* 93:495–501.
 - ✓ Zhang Y. and Simsek S., 2009. Physicochemical changes of starch in refrigerated dough during storage. *Carbohydrate Polymers* 78:268–274.

Παράρτημα

Ενδεικτικά ορισμένα τρόφιμα που περιέχουν άμυλο

Άμυλο αραβοσίτου

- ✓ Άνθος αραβοσίτου με γεύση βανίλια
- ✓ Επιδόρπιο γάλακτος για βρέφη και μικρά παιδιά με γεύση βανίλια
- ✓ Κέικ με άρωμα βανίλιας & κακάο
- ✓ Κούσταρ Πάουντερ ζαχαροπλαστικής
- ✓ Κρέμα Άνθος Αραβοσίτου, άμυλο αραβοσίτου, γάλα, 9 βιταμίνες και σίδηρος
- ✓ Λαδοκούλουρα κανέλας (Carrefour)
- ✓ Λαδοκούλουρα με σουσάμι (Carrefour)
- ✓ Λεπτή ζύμη για πίτσα (Pillsbury)
- ✓ Μίγμα για κρέπες
- ✓ Μπισκότα Βουτύρου Petit (Schar)
- ✓ Μπισκότα με κομμάτια Σοκολάτας Peritas (Schar)
- ✓ Μπισκότα Σαβαγιάρ Savoirdi (Schar)
- ✓ Τσουρεκάκια με γέμιση πραλίνα (Carrefour)
- ✓ Φαρίν Λακτέ με μπισκότα (Γιώτης)
- ✓ Φρουτόκρεμα 5 φρούτα
- ✓ Φύλλο κρούστας για γλυκά (Χρυσή Ζύμη)
- ✓ Φύλλο κρούστας για μπακλαβά, γαλακτομπούρεκο, φλογέρες (Γαλαξίας)
- ✓ Φύλλο Κρούστας για πίτες (Χρυσή Ζύμη)
- ✓ Χωριάτικο φύλλο για πίτες (Τσουκαλά)

Άμυλο πατάτας

- ✓ Γκοφρέτα 3 Bit (Παυλίδης)
- ✓ Μίνι Γεμιστά Μπισκότα Mini Sorissi (Schar)
- ✓ Μπισκότα με επικάλυψη Σοκολάτας Biscotti con cioccolato (Schar)
- ✓ Πάριζα (Νίκας)
- ✓ Παριζάκι (βραστό) 365 (AB)
- ✓ Παριζάκι Λάντσιον Μητ (ZWAN)
- ✓ Παριζάκι Λάντσιον Μητ Light (ZWAN)
- ✓ Gourmet – Εκλεκτός Πουρές Πατάτας (Maggi)

Άμυλο ρυζιού

- ✓ Κρέμα βανίλια με ρυζάλευρο (milupa)
- ✓ Μπισκότα με κομμάτια Σοκολάτας Peritas (Schar)
- ✓ Φρυγανιές σταρένιες (ELITE)
- ✓ Ψαρομπουκιές (igloo)
- ✓ Perpasta pomodoro e Basiliko τόνος με ντομάτα, Βασιλικό για ζυμαρικά (Rio Mare)

Άμυλο σίτου

- ✓ Αφράτη ζύμη για πίτσα (Pillsbury)
- ✓ Γλυκοκουταλιές Προφιτερόλ (ΦΑΓΕ)
- ✓ Γλυκοκουταλιές Τιραμισού (ΦΑΓΕ)
- ✓ Κρέμα (Γιώτης)
- ✓ Κρέμα βανιλιά από 100% ελληνικό γάλα (Τέμπη)
- ✓ Λουκάνικα Φρανκφούρτης (ΝΙΚΑΣ)
- ✓ Μπέικον καπνιστό σε φέτες (Νίκας)
- ✓ Παριζάκι Γίγας Κλασικό (ΝΙΚΑΣ)
- ✓ Ρυζόγαλο (Γιώτης)
- ✓ Cookie με βέλγικη Σοκολάτα
- ✓ Cookie με Κομματάκια Μαύρης Σοκολάτας
- ✓ Junior Παριζάκι (ΝΙΚΑΣ)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000114112