

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Της φοιτήτριας:

ΣΠΑΝΟΥ ΑΝΝΑΣ

**Επίδραση συν-διαλυτών στην κρυστάλλωση
της ινουλίνης**

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Dr. Γιαννούλη Περσεφόνη

Prof .Κομιώτης Δημήτριος

Prof. Μαρκουλάτος Παναγιώτης

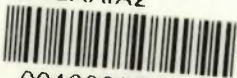
Λάρισα, 2005



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 4724/1
Ημερ. Εισ.: 27-02-2006
Δωρεά: Π.Θ.
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΒΒ
2005
ΣΠΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000087841

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1. Υδατάνθρακες	4
1.2. Πηγές υδατανθράκων	5
1.3. Κατηγορίες υδατανθράκων	5
1.3.3. Μονοσακχαρίτες	5
1.3.1.1. Γλυκόζη	6
1.3.1.2. Φρουκτόζη	7
1.3.2. Ολιγοσακχαρίτες	8
1.3.2.1. Σουκρόζη	8
1.3.3. Πολυσακχαρίτες	9
1.3.3.1. Χημική δομή	9
1.3.3.2. Λειτουργικές ιδιότητες	10
1.3.3.2. (Α) Ιξώδες	10
1.3.3.2. (Β) Σταθεροποιητές	11
1.3.3.2. (Γ) Σχηματισμός κρυστάλλων	11
1.3.3.2. (Δ) Σχηματισμός πηκτών	13
1.4. Άμυλο	16
1.4.1. Πηγές αμύλου	16
1.4.2. Χημική δομή αμύλου	16
1.4.2.1. Αμυλόζη	16
1.4.2.2. Αμυλοπηκτίνη	17
1.4.3. Ιδιότητες	17
1.4.3.1. Τροποποίηση του αμύλου	18
1.4.4. Εφαρμογές	19

1.5. Ινουλίνη	21
1.5.1. Πηγές φρουκτανών και ινουλίνης	21
1.5.2. Χημική δομή ινουλίνης	22
1.5.3. Σύνθεση ινουλίνης	23
1.5.4. Ιδιότητες	24
1.5.4.1. Πηκτή ινουλίνης	24
1.5.4.2. Κρύσταλλοι ινουλίνης	24
1.5.4.3. Ινουλίνη και διατροφή	25
1.5.4.3. (Α) Ινουλίνη και ζυμαρικά	26
1.5.4.3. (Β) Ινουλίνη και λουκάνικα	26
1.5.4.3. (Γ) Ινουλίνη και παγωτά	27
1.5.4.3. (Δ) Ινουλίνη και τυρί	28
1.5.4.3. (Ε) Ινουλίνη και γιαούρτι	28
1.5.5. Ινουλίνη και υγεία	29
1.6. Σκοπός	32
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	33
2.1. Τρόποι προσέγγισης του σκοπού	33
2.2. Οργανολογία	33
2.2.1. Φασματοφωτόμετρο	33
2.2.1.1. Οργανολογία του φασματοφωτόμετρου	34
2.2.2. Οπτικό μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου	34
2.2.3. Θερμαινόμενος αναδευτήρας	36
2.2.4. Θερμοαισθητήρας	36

Διπλωματική διατριβή Άννας Σπανού	3
2.3. Υλικά που χρησιμοποιήσαμε	37
2.3.1. Ινουλίνη	37
2.3.2. Γλυκόζη	37
2.3.3. Κρυσταλλική ζάχαρη	37
2.3.4. Φρουκτόζη	37
2.3.5. Άμυλο	37
2.4. Μεθοδολογία	38
2.4.1. Παρασκευή δειγμάτων	38
2.4.2. Πειράματα	38
2.4.2. (Α) Επίδραση συν-διαλυτών στην κρυστάλλωση της ινουλίνης	38
2.4.2. (Β) Επίδραση μιγμάτων αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης	39
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	40
3.1. Μελέτη της επίδρασης συν-διαλυτών στην κρυστάλλωση της ινουλίνης	40
3.1.1. Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών συγκεντρώσεων συν-διαλυτών στην κρυστάλλωση της ινουλίνης	40
3.2. Μελέτη της επίδρασης μιγμάτων αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης	46
4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	50
5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ	52
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	53

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

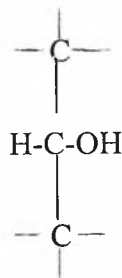
1.1 Υδατάνθρακες.

Τι είναι οι υδατάνθρακες;

Οι υδατάνθρακες είναι αλδεϋδικές ή κετονικές ενώσεις με πολλαπλές υδροξυλικές ομάδες. Αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό της οργανικής ύλης πάνω στη γη, λόγω των πολλαπλών ρόλων τους σε κάθε μορφή ζωής. (L.Stryer, 1997) Οι υδατάνθρακες δίνονται από τον γενικό τύπο $C_n(H_2O)_n$ όπου n είναι ακέραιος αριθμός και η μικρότερη τιμή που μπορεί να λάβει είναι το ένα.(A. Vander, 2001). Εκτελούν πολλές λειτουργίες απαραίτητες για την επιβίωση των ζωντανών οργανισμών. Μεταξύ αυτών είναι:

1. Αποτελούν μια από τις κυριότερες πηγές ενέργειας σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς.
2. Η αποθήκευση ενέργειας τόσο σε ζωικούς όσο και σε φυτικούς οργανισμούς.
3. Αποτελούν σημαντικά συστατικά άλλων κατηγοριών ενώσεων.
4. Συμμετέχουν σε σύμπλοκα με πρωτεΐνες εξυπηρετώντας πολλές λειτουργίες των οργανισμών.
5. Αποτελούν δομικά συστατικά στα κυτταρικά τοιχώματα βακτηρίων και φυτών καθώς και στον εξωσκελετό των αρθρόποδων. (I.Γ Γεωργάτσος, 2001)
6. Αποτελούν σημαντικά συστατικά των τροφίμων κυρίως αυτών φυτικών προέλευσης.

Στους υδατάνθρακες σχεδόν κάθε άτομο άνθρακα συνδέεται με άτομο υδρογόνου ή ομάδα υδροξυλίου:



Στον ανθρώπινο οργανισμό οι υδατάνθρακες αποτελούν μόλις το 1% του σωματικού βάρους παρόλα αυτά όμως παίζουν σημαντικό ρόλο στις αντιδράσεις ενεργειακής τροφοδοσίας των κυττάρων. (A. Vander, 2001)

1.2 Πηγές υδατανθράκων

Όπως αναφέρθηκε οι υδατάνθρακες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης στη γη. Τα φυτά είναι η κύρια πηγή παραγωγής υδατανθράκων. Τα φυτά συνθέτουν υδατάνθρακες χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης. Τα ζώα λαμβάνουν κυρίως τους απαραίτητους για την ζωή τους υδατάνθρακες μέσω της τροφής τους. Όταν οι υδατάνθρακες αυτοί δεν επαρκούν τα ζώα μπορούν να συνθέσουν γλυκόζη από μη υδατανθρακούχες πηγές. Όταν η γλυκόζη της τροφής είναι περισσότερη από εκείνη που χρειάζονται για τις ενεργειακές τους ανάγκες μπορούν και την αποθηκεύουν συνθέτοντας τόσο γλυκογόνο όσο και λίπη. Έτσι τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα είναι σε θέση να συνθέσουν υδατάνθρακες. Υδατάνθρακες είναι δυνατόν να παραχθούν και με άλλους τρόπους όπως: α) υδατάνθρακες μπορούν να συντεθούν ενζυμικά ή χημικά στο εργαστήριο β) από βακτήρια γ) από άλλους μικροοργανισμούς. Κύριοι υδατάνθρακες φυτικής προέλευσης είναι το άμυλο, η πηκτίνη και οι γαλακτομαννάνες, ζωικής προέλευσης η χητίνη και μικροβιακής προέλευσης ως παραπροϊόν του μεταβολισμού μικροοργανισμών η τζελάνη. Οι κύριες τροφές μέσω από τις οποίες ο άνθρωπος μπορεί να λαμβάνει τους απαραίτητους για τον οργανισμό του υδατάνθρακες είναι: ψωμί ολικής αλέσεως, μακαρόνια, πατάτα, ρύζι, όσπρια, φρούτα, λαχανικά, γάλα.

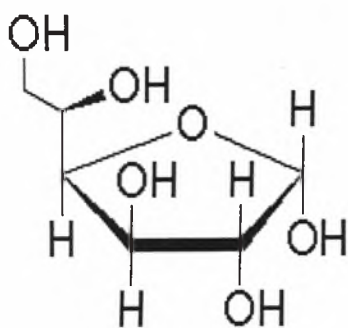
1.3 Κατηγορίες υδατανθράκων:

1.3.1 Μονοσακχαρίτες

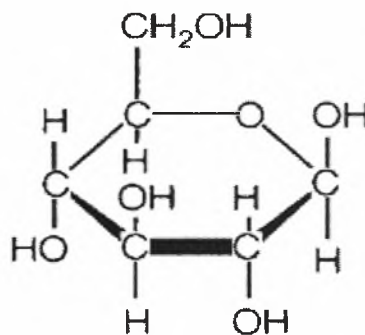
Οι μονοσακχαρίτες, είναι οι απλούστεροι υδατάνθρακες, είναι αλδεΐδες ή κετόνες με δύο ή περισσότερες υδροξυλικές ομάδες και με εμπειρικό τύπο $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Ο αριθμός n

στους μονοσακχαρίτες μπορεί να έχει τις τιμές 5 ή 6 (L.Stryer, 1997). Στη φύση υπάρχει μια ποικιλία μονοσακχαριτών, οι πιο γνωστοί εκ των οποίων είναι η γλυκόζη και η φρουκτόζη που είναι εξόζες.

Συνήθως οι μονοσακχαρίτες έχουν γλυκιά γεύση ανάλογα με την στερεοδιάταξη τους και είναι κρυσταλλικές ενώσεις. (A. Vander, 2001)



A) Δομή φρουκτόζης



B) Δομή γλυκόζης

Εικόνα 1.1 : Χαρακτηριστικές δομές μονοσακχαριτών A) Φρουκτόζης κ B) γλυκόζης.

1.3.1.1 Γλυκόζη

Είναι ένα από τους σημαντικότερους υδατάνθρακες. Το κύτταρο χρησιμοποιεί τη γλυκόζη ως πηγή ενέργειας και μεταβολικό μεσάζοντα. Η γλυκόζη είναι ένα από τα κύρια προϊόντα της φωτοσύνθεσης και της έναρξης της κυτταρικής αναπνοής. Η φυσική μορφή (D - γλυκόζη) αναφέρεται επίσης ως **δεξτρόζη**, ειδικά στη βιομηχανία τροφίμων.

Η **γλυκόζη** περιέχει έξι άτομα άνθρακα και μια ομάδα αλδεϋδης και επομένως αναφέρεται ως αλδοεξόζη. Το μόριο γλυκόζης μπορεί να υπάρξει σε μια μορφή ανοικτής-αλυσίδας και σε μορφή δακτυλίων. Σε διάλυμα ύδατος και οι δύο μορφές είναι σε ισορροπία, και σε pH 7 η κυκλική μορφή είναι η κυρίαρχη. Δεδομένου ότι

ο δακτύλιος περιέχει 5 άτομα άνθρακα και ένα οξυγόνο, ο οποίος μοιάζει με τη δομή πυρανόζης, η κυκλική μορφή γλυκόζης αναφέρεται επίσης ως γλυκοπυρανόζης.

Η γλυκόζη είναι ένα από τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης στα φυτά και σε μερικούς προκαρυώτες. Ενώ στα ζώα και τους μύκητες, η γλυκόζη είναι το αποτέλεσμα της αποικοδόμησης του γλυκογόνου, μια διαδικασία γνωστή ως γλυκογονόλυση. Στα φυτά το υπόστρωμα αποικοδόμησης είναι το άμυλο. Επίσης, στα ζώα, η γλυκόζη συντίθεται στο ήπαρ και στα νεφρά από μη-υδατανθρακικούς μεσάζοντες, όπως το πυροσταφυλικό και η γλυκερόλη, με μια διαδικασία γνωστή όπως γλυκονεογένεση.

Όλοι οι σημαντικοί διαιτητικοί υδατάνθρακες περιέχουν γλυκόζη, είτε ως μόνη δομική μονάδα τους, όπως στο άμυλο και το γλυκογόνο, είτε μαζί με ένα άλλο μονοσακχαρίτη, όπως η σουκρόζη και η λακτόζη. .

1.3.1.2 Φρουκτόζη

Η φρουκτόζη είναι ένα απλό σάκχαρο (μονοσακχαρίτης) που βρίσκεται σε πολλά τρόφιμα και είναι ένα από τα τρία σημαντικότερα σάκχαρα του αίματος μαζί με τη γλυκόζη και τη γαλακτόζη. Μέλι, φρούτα δέντρων, μούρα, πεπόνια και μερικά λαχανικά, όπως τα τεύτλα, γλυκόπατάτες και κρεμμύδια, περιέχουν φρουκτόζη. Η φρουκτόζη προέρχεται επίσης από την πέψη της σουκρόζης, διασακχαρίτη που αποτελείται από γλυκόζη και φρουκτόζη που αποικοδομείται από ένζυμα κατά τη διάρκεια της πέψης.

Η φρουκτόζη ή λεβουλόζη, είναι ένας μονοσακχαρίτης με τον ίδιο εμπειρικό τύπο όπως η γλυκόζη ($C_6H_{12}O_6$) αλλά με διαφορετική δομή. Αν και η φρουκτόζη είναι μια εξόζη, υπάρχει γενικά ως ημικεταλικός δακτύλιος 5-μελών (μια φουρανόζη).

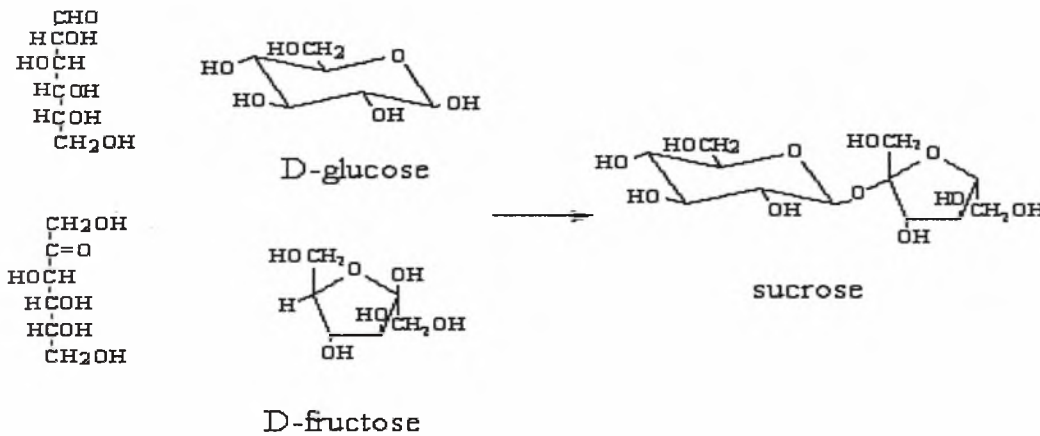
1.3.2 Ολιγοσακχαρίτες

Αποτελούνται από δύο με δέκα μόρια μονοσακχαριτών συνδεδεμένα μεταξύ τους. Ο χημικός τύπος των ολιγοσακχαριτών είναι $[C_n (H_2O)_{n-1}]_x$ όπου ο αριθμός n μπορεί να έχει, όπως αναφέρθηκε, τις τιμές 5 ή 6 και ο αριθμός x μπορεί να λαμβάνει τις τιμές 2 έως 10. Από βιολογικής σκοπιάς οι πιο σημαντικοί δισακχαρίτες είναι η σουκρόζη, η μαλτόζη και η λακτόζη. (Ι.Γ Γεωργάτσος, 2001).

1.3.2.1 Σουκρόζη

Είναι το κοινό χημικό όνομα για **την επιτραπέζια ζάχαρη**. Το πλήρες όνομα είναι β-D-φρουκτοφουρανοσυλ α-D-γλυκοκυρανοσίδη. Η σακχαρόζη είναι δισακχαρίτης. Κάθε μόριο σακχαρόζης αποτελείται από δύο μονοσακχαρίτες μια γλυκόζη και μια φρουκτόζη. Η χημική σύνδεση μεταξύ των δύο μονοσακχαριτών γίνεται με την απομάκρυνση μιας υδροξυλομάδας από τον ένα μονοσακχαρίτη και ενός ατόμου υδρογόνου από τον άλλο, με αποτέλεσμα αφενός την δημιουργία ενός μορίου νερού και αφετέρου τη σύνδεση των δύο σακχάρων μέσω ενός ατόμου οξυγόνου όπως φαίνεται και στην εικόνα δύο.

Η σακχαρόζη εξάγεται από τα ζαχαροκάλαμα ή τα ζαχαρότευτλα και έπειτα καθαρίζεται και κρυσταλλώνεται. Όταν ζάχαρη προστεθεί σε υδατικό διάλυμα οι κρύσταλλοι της ζάχαρης διαλύονται πλήρως στο νερό. Αλλά δεν μπορεί να διαλυθεί ένα άπειρο ποσό ζάχαρης σε έναν σταθερό όγκο ύδατος.



Εικόνα 1.2: Σύνθεση σακχαρόζης από φρουκτόζη και γλυκόζη.

1.3.3 Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες είναι τα αφθονότερα μακρομόρια στη γη και στους ωκεανούς. Χρησιμοποιούνται είτε ως δομικά συστατικά είτε ως μόρια αποθήκευσης ενέργειας. Οι πολυσακχαρίτες βρίσκονται συνήθως μπορούν να απαντηθούν σε διάφορες μορφές: ίνες, κόκκοι ή πηκτώματα που οι φυσικοχημικές ιδιότητες τους συνδέονται στενά με τις χημικές δομές και, συνεπώς, με τη βιοσύνθεσή τους.

1.3.3.1 Χημική δομή

Οι πολυσακχαρίτες, είναι μεγάλα μόρια που προκύπτουν από τον πολυμερισμό πολλών μονοσακχαριτών. Υποδιαιρούνται σε ομοπολυσακχαρίτες όταν μετά από υδρόλυση αποδίδουν μόνο ένα μονοσακχαρίτη και ετεροπολυσακχαρίτες όταν μετά από υδρόλυση αποδίδουν περισσότερα από ένα είδος μονοσακχαρίτη. Από τους πιο γνωστούς πολυσακχαρίτες είναι η ινουλίνη και το άμυλο. (Ι.Γ Γεωργάτσος, 2001)

Οι πολυσακχαρίτες ταξινομούνται βάση των κύριων μονοσακχαρικών τμημάτων, των δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ τους, όπως επίσης και της ανωμερούς διαμόρφωσης των δεσμών, του μεγέθους των δακτυλίων πυρανόζης ή φουρανόζης,

της απόλυτης διαμόρφωσης (D - ή L -) και την παρουσία ή όχι υποκαταστατών. Ο εμπειρικός τύπος των πολυσακχαριτών είναι $[C_n (H_2O)_{n-1}]_x$ όπου ο αριθμός x είναι ακέραιος αριθμός με τιμές πάνω από δέκα. Ορισμένα δομικά χαρακτηριστικά όπως η διαμόρφωση των αλυσίδων και οι διαμοριακές ενώσεις επηρεάζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες των πολυσακχαριτών. Οι περισσότεροι πολυσακχαρίτες, γενικά, είναι σε θέση μόνο σε έναν περιορισμένο αριθμό διαμορφώσεων λόγω των αυστηρών περιορισμών στην ελευθερία της περιστροφής των μονάδων σακχάρων λόγω των εσωτερικών γλυκοσιδικών δεσμών που αναπτύσσονται. Υπάρχει επίσης ένας σαφής συσχετισμός μεταξύ των διαμορφώσεων και της δομής των δεσμών.

Ανάλογα με τον αριθμό των εσωτερικών δεσμών υδρογόνου οι πολυσακχαρίτες είναι περισσότερο ή λιγότερο υδροφοβικοί. Οι υδατάνθρακες περιέχουν ομάδες υδροξυλίου που αλληλεπιδρούν κατά προτίμηση με δύο μόρια ύδατος εάν δεν αλληλεπιδρούν με άλλες ομάδες υδροξυλίου του μόριου. Η αλληλεπίδραση με ομάδες υδροξυλίου με γειτονικά υπολείμματα μειώνει τις θέσεις υδάτωσης του πολυσακχαρίτη. Αναλόγως με τις θέσεις σύνδεσης του υδρογόνου με τα υδροξύλια μπορεί να μειώσουν το βαθμό υδάτωσης του πολυμερούς και να οδηγήσουν σε σκληρούς και άκαμπτους δομικά πολυσακχαρίτες ή αντίθετα μπορεί να αυξήσουν το βαθμό υδάτωσης του πολυμερούς και να δημιουργήσουν πιο εύκαμπτους δεσμούς και μόρια.

1.3.3.2 Λειτουργικές ιδιότητες πολυσακχαριτών

1.3.3.2 (A) Ιξώδες

Οι πολυσακχαρίτες μπορούν να επιδράσουν και να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό λειτουργικές ιδιότητες διαλυμάτων στα οποία περιέχονται όπως είναι το ιξώδες. Ανάλογα με το μοριακό βάρος τους οι πολυσακχαρίτες μπορούν να αυξήσουν το ιξώδες του διαλύματος στον οποίο περιέχονται. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επιδράσει στο ιξώδες ενός διαλύματος είναι ο η παρουσία και ο αριθμός των διακλαδώσεων στο μόριο του πολυσακχαρίτη. Το μοριακό βάρος με τον αριθμό διακλαδώσεων μπορεί να έχει συνεργικό αποτέλεσμα ή και το αντίθετο. Δηλαδή, χαμηλό μοριακό βάρος με υψηλό αριθμό διακλαδώσεων όμως, μπορεί να αυξήσει το

ιξώδες. Τα διαφορετικά πολυμερή και η αναλογία τους σε ένα μόριο πολυσακχαρίτη μπορούν, επίσης, να επηρεάσουν το ιξώδες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το άμυλο. Το άμυλο αποτελείται από αμυλοπηκτίνη και αμυλόζη. Αναλόγως σε τι ποσοστό περιέχεται το κάθε πολυμερές το διάλυμα αποκτά και διαφορετική δομή από παχύρρευστη μέχρι και πολύ συμπυκνωμένη.

1.3.3.2 (B) Σταθεροποιητές

Οι πολυσακχαρίτες έχουν την ιδιότητα να δρουν ως σταθεροποιητές. Έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν την δομή των γαλακτωμάτων ή άλλων αιωρημάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι σταθεροποιητές δρουν μέσω αύξησης του ιξώδους του τροφίμου διατηρώντας τις φυσικοχημικές του ιδιότητες αναλλοίωτες. Έχουν επίσης την ιδιότητα να αποτρέπουν την εξάτμιση και την αλλοίωση πτητικών αρωματικών ελαίων που μπορεί να περιέχεται στο τρόφιμο.

1.3.3.2 (Γ) Σχηματισμός κρυστάλλων

Οι κρύσταλλοι εμφανίζονται σε μια μεγάλη ποικιλία μορφών και χρωμάτων και οι φυσικά αυξημένοι κρύσταλλοι έχουν χρησιμοποιηθεί ως πολύτιμοι λίθοι από τους προϊστορικούς χρόνους. Οι επίπεδες όψεις τους απεικονίζουν την κανονική κατανομή των μορίων, των ατόμων, ή των ιόντων στον κρύσταλλο. Οι κρύσταλλοι διακρίνονται από τις άμορφες υποστάσεις, από τις επίπεδες όψεις τους και από την ανισοτροπία τους.

Οι κρύσταλλοι επιδεικνύουν όμορφα χρώματα επειδή είναι διπλοθλαστικοί: έχουν δύο διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Εάν περιστραφεί η αντικειμενοφόρος τράπεζα του μικροσκοπίου κρατώντας τους κρύσταλλους, θα γίνουν απολύτως σκοτεινοί σε μια ορισμένη θέση και κάθε 90° μακριά από τη θέση αυτή. (J. Drenth, 1999)

Για μια δεδομένη κρυσταλλική μορφή οι μεμονωμένοι κρύσταλλοι μπορεί να διαφέρουν στη μορφή, δηλαδή στην ανάπτυξη των όψεων τους, αλλά πάντα έχουν τις ίδιες γωνίες μεταξύ των ίδιων όψεων. Η συγκεκριμένη μορφολογία μπορεί να

εξαρτηθεί από παράγοντες όπως η παροχή του υλικού κατά τη διάρκεια της αύξησης και το μητρικό υγρό. Η εμφάνισή τους εξαρτάται από το buffer και από τον κατακρημνίζοντα παράγοντα, αν και περιστασιακά δύο διαφορετικές μορφές εμφανίζονται υπό τις ίδιες συνθήκες. (J. Drenth, 1999)

Ένας κρύσταλλος από οργανικό υλικό είναι μια τρισδιάστατη περιοδική διευθέτηση μορίων. Όταν τα συστατικά ενός διαλύματος κατακρημνίζονται, τα μόρια του προσπαθούν να φθάσουν στη χαμηλότερη ελεύθερη ενεργειακή κατάσταση. Αυτό ολοκληρώνεται συχνά με τη διευθέτηση τους με έναν κανονικό τρόπο, με άλλα λόγια, ένας κρύσταλλος αυξάνεται. Η αναζήτηση της ελάχιστης ελεύθερης ενέργειας και κατά συνέπεια η κανονική διευθέτηση των μορίων σε ένα δικτυωτό πλέγμα κρυστάλλου οδηγεί συχνά σε μια συμμετρική σχέση μεταξύ των μορίων. Ένα χαρακτηριστικό ενός κρυστάλλου είναι ότι έχει τρισδιάστατη μεταφραστική συμμετρία, που αντιστοιχεί στην επανάληψη των μορίων. Η ποιότητα των κρυστάλλων εξαρτάται από την τοποθέτηση των μορίων στο κρύσταλλο. Οι περισσότεροι κρύσταλλοι δεν μπορούν να θεωρηθούν ως ιδανικά ενιαίοι κρύσταλλοι, επειδή η κανονική επανάληψη των μορίων διακόπτεται από τις ατέλειες του δικτυωτού πλέγματος. (J. Drenth, 1999)

Κρυστάλλωση

Όταν ένα καθαρό υγρό ψύχεται σε σταθερή πίεση, η μέση ενέργεια μεταφοράς των μορίων του μειώνονται και συνεπώς η θερμοκρασία ελαττώνεται μέχρι του σημείου πήξεως αυτού. Στη θερμοκρασία αυτή οι ελκτικές δυνάμεις των μορίων υπερισχύουν της ενέργειας μεταφοράς και τα μόρια εξαναγκάζονται σε μια ορισμένη γεωμετρική διευθέτηση, που είναι χαρακτηριστική κάθε ουσίας. (Γ.Σ Καραϊσκάκη, 1995)

Για την κρυστάλλωση μορίων είναι απαραίτητα τέσσερα καθοριστικά βήματα:

- 1) Η απομόνωση και ο καθαρισμός της ουσίας. Αν η ουσία δεν είναι αρκετά καθαρή θα πρέπει να γίνει περαιτέρω καθαρισμός ώστε να πραγματοποιηθεί η κρυσταλλοποίηση.

- 2) Η ουσία διαλυτοποιείται σε ένα διαλύτη όπου και είναι δυνατόν να κατακρημνιστεί ώστε να κρυσταλλοποιηθεί. Ο διαλύτης συνήθως είναι ένα διάλυμα νερού-buffer.
- 3) Το διάλυμα θα πρέπει να γίνει υπέρκορο. Σε αυτό το στάδιο μικρά συναθροίσματα σχηματίζονται και αποτελούν τους πυρήνες για τους κρυστάλλους.
- 4) Αφού οι πυρήνες έχουν σχηματιστεί, αρχίζουν να αναπτύσσονται και να μεγαλώνουν οι κρύσταλλοι. (M.P.Deutscher, 1990)

Όταν αρχίζει η κρυστάλλωση ελευθερώνεται θερμότητα και η θερμοκρασία του μίγματος παραμένει σταθερή μέχρι του σημείου κρυστάλλωσης και του τελευταίου ίχνους υγρού. (Γ.Σ Καραϊσκάκη, 1995)

Οι κρύσταλλοι που σχηματίζονται από την κρυστάλλωση δύο ισόμορφων αλάτων ονομάζονται μικροί κρύσταλλοι ή στερεά διαλύματα.

Όταν μια ουσία είναι κρυσταλλική συνήθως είναι καθαρή, γιατί στη διάρκεια της κρυστάλλωσής της οι ακαθαρσίες παραμένουν στο διάλυμα. Οι κρύσταλλοι κάθε ουσίας, που σχηματίζονται κατά την ψύξη ενός κορεσμένου διαλύματος αυτής, αρχικά διηθούνται, ακολούθως πλένονται με μικρές ποσότητες διαλύτη για να απομακρυνθεί το προσροφημένο " μητρικό υγρό " και τέλος ξηραίνονται. Όσο βραδύτερα ψύχεται το διάλυμα, τόσο αργότερα γίνεται η κρυστάλλωση και οι κρύσταλλοι που σχηματίζονται είναι μεγάλοι σε μέγεθος και κανονικοί στο σχήμα. (Γ.Σ Καραϊσκάκη, 1995)

1.3.3.3 (Δ) Σχηματισμός πηκτών

Ως πηκτή μπορούμε να ορίσουμε ένα τρισδιάστατο δίκτυο που διαμορφώνεται όταν ένας μεγάλος αριθμός πολυμερών αλυσίδων συνδέονται μεταξύ τους. Στα δίκτυα αυτά συγκατοούνται υγρά με χαμηλό μοριακό βάρος, όπως είναι το νερό, με αποτέλεσμα το υγρό να στερεοποιείται. Οι πολυμερείς αλυσίδες μπορούν να συνδεθούν με δύο τρόπους μέσα στο δίκτυο, είτε με end-linked είτε με cross-linked. Σαν ιδανικό πρότυπο δικτύου θεωρείται το δίκτυο στο οποίο όλες οι πολυμερείς

πατρικές αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους. Εντούτοις, σε ένα τυπικό δίκτυο υπάρχουν άκρες αλυσίδων, οι οποίες αποσυνδέονται προκαλώντας ατέλειες σε μικροσκοπικό επίπεδο. Εκτός αυτού, αλυσίδες που περιπλέκονται η μια με την άλλη μπορεί να δημιουργήσουν μια άλλη ποικιλία ανομοιογενής δικτυακής αρχιτεκτονικής. (S. R. Majumder et al., 2005)

Τρεις είναι οι κατηγορίες βάση των οποίων χωρίζονται οι πηκτές:

A) Φυσικές πηκτές : Διάφορα πολυμερή σώματα και πολυαμφολιτικά μπορούν να σχηματίσουν πηκτώματα χωρίς χημική διασύνδεση. Αυτά καλούνται φυσικά πηκτώματα. Στα φυσικά πηκτώματα όπως αυτά της ζελατίνης, ένα τρισδιάστατο διασυνδεδεμένο δίκτυο πολυμερών αλυσίδων σχηματίζεται στο μέσο διασποράς, το οποίο διατηρεί τη συνοχή του δικτύου με τη βοήθεια διαμοριακών δεσμών υδρογόνου. Τα φυσικά πηκτώματα επιτυγχάνουν και διατηρούν τη σταθερότητα τους μέσω μιας σειράς δευτεροταγών δυνάμεων, όπως δεσμών υδρογόνου, van der Waal δυνάμεων, διπολικών αλληλεπιδράσεων και υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων κ.λ.π.... Οι ιδιότητες των φυσικών πηκτωμάτων εξαρτώνται ιδιαίτερα από τη διαδικασία προετοιμασίας τους. (N. Altmann et al., 2004) Επίσης οι φυσικές πηκτές με θέρμανση διαλύονται καθώς σπάνε οι ασθενείς δεσμοί ανάμεσα στις αλυσίδες.

B) Χημικές πηκτές : Ένα χημικό πηκτώμα είναι ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων πολυμερών αλυσίδων. Ξεκινώντας από τα μονομερή ή από πολυμερείς αλυσίδες, το δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί με διάφορες μεθόδους, όπως από γ - ραδιόλυση των πολυμερών αλυσίδων (Forsythe et al., 1998). Οι δεσμοί που συγκρατούν τα μόρια είναι κυρίως ομοιοπολικοί, τύπου "σημείου διαστάυρωσης". Αυτά τα δίκτυα είναι αρκετά σταθερά. Δομικά τα πηκτώματα αυτά περιέχουν πόρους διαφορετικών μεγεθών μεταξύ τους. Στην δομή τους αυτή βασίζεται το ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν γόνιμα στους διάφορους βιομηχανικούς και ιατρικούς σκοπούς. Ο χημικός σχηματισμός πηκτώματος είναι μια μη αναστρέψιμη διαδικασία, για αυτό το λόγο και η θέρμανση δεν έχει επίδραση στη δομή της πηκτής.

Γ) Ειδικού τύπου : Όταν τα μόρια των μακρομορίων είναι συμπαγή και μερικούς άκαμπτα, σχηματίζουν συσσωματώματα σε σφαιρικούς λοβούς και αλυσίδες. Το δίκτυο που σχηματίζεται ονομάζεται ως ειδικού τύπου πηκτή. (Π. Γιαννούλη, 2004)

Οι ιδιότητες των πηκτωμάτων και η ικανότητα σχηματισμού πηκτώματος είναι σχετικές με τις ρεολογικές ιδιότητές τους (Ross-Murphy, 1995). Πηκτές μπορούν να προκύψουν και από μίγματα βιοπολυμερών. Σε αυτή την περίπτωση όταν συστήματα διαφορετικών βιοπολυμερών αναμιγνύονται μαζί, η συμπεριφορά του μεμονωμένου πολυμερούς σώματος επηρεάζεται συνήθως, και ένας συνεργισμός μεταξύ των πολυμερών σωμάτων προκύπτει. Η αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών αλυσίδων μπορεί να είναι είτε ευνοϊκότερη είτε λιγότερο ευνοϊκή από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ομοειδών αλυσίδων κάθε τύπου. Μικτά βιοπολυμερή χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών λόγω της δυνατότητάς τους να αλληλεπιδράσουν συνεργικά και να παρέχουν στο υλικό ελεγχόμενες ιδιότητες. (**M. Hiorth et al., 2005**)

Πολλά βιοπολυμερή, όπως οι πολυσακχαρίτες (όμοιο- ή έτερο- πολυσακχαρίτες) και οι μονοσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα νουκλεϊνικά οξέα έχουν την ικανότητα σχηματισμού πηκτής. (M. Marudova te al., 2004).

Ένας μεγάλος αριθμός υδατοδιαλυτών πολυσακχαριτών είναι γνωστός να διαμορφώνει φυσικά πηκτώματα σε υδατικά μέσα. Η δυνατότητα σχηματισμού πηκτώματος κάθε πολυσακχαρίτη εξαρτάται από τους διάφορους παράγοντες, όπως η χημική δομή του, οι ανώτερες δομικές διαμορφώσεις του και οι συνθήκες σχηματισμού του πηκτώματος. (M. Iijima et al., 2005). Οι πολυσακχαρίτες χρησιμοποιούνται ευρέως ως πήζοντες παράγοντες στα τρόφιμα, στη φαρμακευτική, στα καλλυντικά, και σε άλλες βιομηχανίες. Εντούτοις, αυτή η ομάδα δεν είναι τόσο ευρεία διαδεδομένη όπως θα έπρεπε. (Y. A. Shchipunov et al., 2005).

1.4 Άμυλο

1.4.1 Πηγές αμύλου

Το άμυλο αποτελεί πρώτη μορφή αποθήκευσης στα δημητριακά. Η ποσότητα του αμύλου που περιέχεται στα δημητριακά ποικίλει, γενικά όμως αποτελεί το 60-75% του βάρους των δημητριακών. Οι ιδιότητες του αμύλου ποικίλουν ανάλογα με την πηγή προέλευσης του. Τα περισσότερο εμπορικά άμυλα προέρχονται από φυτά όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, ποικιλίες ρυζιών και από βολβούς φυτών όπως η πατάτα, η γλυκοπατάτα, και άλλα. (H. Zobel, 1998)

1.4.2 Χημική δομή αμύλου

Το άμυλο είναι πολυμερές του σακχάρου D-γλυκόζης που αποτελεί τη δομική του μονάδα. Η δομή της D-γλυκόζης μπορεί να είναι είτε ανοιχτή αλυσίδα ή σε μορφή δακτυλίου που όπως αναφέρθηκε ονομάζεται και δομή πυρανόζης. Το άμυλο συντίθεται από πολυμερή D-γλυκοπυρανόζης συνδεδεμένα με α -1,4 και α -1,6 γλυκοσιδικούς δεσμούς.

Ο πολυμερισμός της γλυκόζης έχει ως αποτέλεσμα στο άμυλο τη δημιουργία δύο τύπων πολυμερών της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης. Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές, ενώ το μόριο της αμυλοπηκτίνης είναι πολύ μεγαλύτερο και διακλαδισμένο. Η δομική διαφορά αυτών των δυο πολυμερών προσδίδει διαφορετικές ιδιότητες και επηρεάζει τη λειτουργικότητα του αμύλου.

1.4.2.1 Αμυλόζη

Η αμυλόζη, όπως αναφέρθηκε, είναι γραμμικό μόριο όπου τα μόρια της D-γλυκοπυρανόζης είναι συνδεδεμένα αποκλειστικά με α -1,4 γλυκοσιδικούς δεσμούς. Η μορφή της αμυλόζης είναι συχνά ελικοειδής. Το εσωτερικό της έλικας είναι υδροφοβικό και αυτό επιτρέπει τη σύνδεση λιπαρών οξέων, γλυκεριδίων, αλκοολών και ιωδίου. Η σύνδεση αυτών των μορίων μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες του

αμύλου, καθώς σύνδεση της αμυλόζης με λίπη και γαλακτωματοποιητές μπορεί να μετατοπίσει τη θερμοκρασία πήξης του αμύλου, το όριο αποπηγμάτωσης και άλλα. Η αμυλόζη είναι επίσης, το υπεύθυνο μόριο για τον σχηματισμό της πηκτής του αμύλου. (J. Cura, 1995)

1.4.2.2 Αμυλοπηκτίνη

Η αμυλοπηκτίνη έχει πολύ μεγαλύτερο μήκος από τα πολυμερή της αμυλόζης και είναι διακλαδιζόμενο μόριο. Τα μόρια της D-γλυκοπυρανόζης συνδέονται με α -1,4 δεσμούς στο γραμμικό μέρος και α -1,6 δεσμούς στο διακλαδισμένο μέρος. Εξαιτίας, αυτής της δομικής διαφοράς η αμυλοπηκτίνη έχει σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες της με την αμυλόζη. Έτσι, η αποπηγμάτωση είναι μικρότερη και ο σχηματισμός της πηκτής μπορεί να ανασταλθεί. Άμυλα με υψηλό ποσοστό αμυλοπηκτίνης συνήθως δεν σχηματίζουν πηκτή.

Η αναλογία της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης στους κόκκους του αμύλου καθορίζει τις λειτουργικές ιδιότητες και τις χρήσεις του στην βιομηχανία των τροφίμων. (S. Hizukuri, 1986)

1.4.3 Ιδιότητες αμύλου

Το κοκκώδες άμυλο είναι αδιάλυτο σε κρύο νερό και ακόμη και σε θερμοκρασία δωματίου η πήξη του είναι πολύ μικρή. Η προσθήκη νερού και η θέρμανση στο άμυλο έχει ως αποτέλεσμα στο άμυλο της εξής μεταβολές: διάσπαση της ημικρυσταλλικής μορφής, αύξηση του μεγέθους των κοκκίων του αμύλου, αύξηση του ιξώδους του μέσου στο οποίο θερμαίνεται το άμυλο.

Κατά την θέρμανση του διαλύματος του αμύλου συμβαίνουν κάποιες μεταβολές που εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Οι κύριες μεταβολές που συμβαίνουν είναι:

α) **Η ζελατινοποίηση.** Κατά τη διάρκεια της ζελατινοποίησης του αμύλου οι κόκκοι του αμύλου αυξάνονται σε μέγεθος και στη συνέχεια διασπώνται ελευθερώνοντας το περιεχόμενο τους οδηγώντας στην διαλυτοποίηση του αμύλου.

β) **Πήξη.** Το επόμενο βήμα μετά τη ζελατινοποίηση του αμύλου είναι η πήξη του διαλύματος στο οποίο περιέχεται με πρώτο χαρακτηριστικό την αύξηση του ιξώδους του. Όταν πλέον, τα πολυμερή του αμύλου έχουν διαλυθεί πλήρως, οι κόκκοι παραμένουν αδιάλυτοι, το ιξώδες μειώνεται και το διάλυμα έχει πήξει.

γ) **Αποπηγμάτωση.** Τέλος, μετά την θέρμανση τα διαλυτά πλέον πολυμερή και τα υπολειπόμενα αδιάλυτα κοκκία έχουν την τάση της επανασύνδεσης. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αποπηγμάτωση. Κατά την αποπηγμάτωση παρατηρείται το φαινόμενο της συναίρεσης καθώς και η δημιουργία πόρων στο διάλυμα. (W. A. Atwell, 1988)

1.4.3.1 Τροποποίηση του αμύλου

Το άμυλο μπορεί να τροποποιηθεί με διαφόρους τρόπους είτε χημικούς είτε φυσικούς.

Στους χημικούς τρόπους αναφέρεται κυρίως η επεξεργασία του αμύλου με διαφόρους χημικούς παράγοντες. Η χημική τροποποίηση γίνεται κυρίως σε υδατικό μέσο, το άμυλο βρίσκεται σε περιεκτικότητα 30-45% και σε κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και pH. Οι χημικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- Phosphorus oxychloride
- Sodium trimetaphosphate
- Mixed adipic
- Acetic anhydride

Οι παράγοντες αυτοί οδηγούν συνήθως στην δημιουργία εστέρων του αμύλου.

Περαιτέρω σημαντικές χημικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούνται είναι η όξινη υδρόλυση, η οξειδωση, η λεύκανση και η πύρωση. Η αντίδραση της πύρωσης οδηγεί στη δημιουργία των δεξτρανών που είναι σημαντικά πρόσθετα σε διάφορα τρόφιμα.

Στις φυσικές μεθόδους περιλαμβάνονται μέθοδοι που κυρίως προωθούν την ζελατινοποίηση του αμύλου και στη συνέχεια το επαναφέρουν σε μορφή σκόνης. (G. Fleche, 1985)

1.4.4 Εφαρμογές

Η τροποποίηση του αμύλου το κάνει κατάλληλο για μια μεγάλη ποικιλία τροφίμων. Τα άμυλα που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα όπως αναφέρθηκε από φυτά όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, ποικιλίες ρυζιών και από βολβούς φυτών όπως η πατάτα, η γλυκοπατάτα, και άλλα. Άμυλα από διαφορετικές πηγές έχουν και διαφορά στη γεύση και σε άλλες ιδιότητες όπως π.χ. στο ιξώδες. Με τη τροποποίηση του αμύλου πετυχαίνεται υψηλής ποιότητας ασφαλή τρόφιμα με σημαντικές ιδιότητες. Σημαντικές παράμετροι όπως η δομή, η εμφάνιση και η γεύση βελτιώνονται αισθητά και τα τρόφιμα γίνονται αποδεκτά από τους καταναλωτές.

Δομή: το άμυλο μπορεί να επιδράσει σημαντικά στη δομή των τροφίμων που περιέχεται δημιουργώντας μια ποικιλία δομών από κοκκώδεις μέχρι λείες. Οι κοκκώδεις δομές οφείλονται στην παρουσία των κόκκων του αμύλου και στον τρόπο μαγειρέματος των τροφίμων. Το μέγεθος των κόκκων του αμύλου επηρεάζει την διαλυτότητα και την διασπορά του αμύλου. Έτσι, άμυλα σε σκόνη με μικρό μέγεθος κόκκων έχουν την τάση να σχηματίζουν σβώλους κατά την ενυδάτωσή τους ειδικά όταν δεν αναδεύονται συγχρόνως. Αντίθετα άμυλα με μεγαλύτερους κόκκους διαλυτοποιούνται πιο εύκολα στο νερό χωρίς την δημιουργία σβώλων. Τέλος, η ποσότητα του αμύλου που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή των προϊόντων επηρεάζει τη δομή τους καθώς προσθήκη μεγάλης ποσότητας αμύλου οδηγεί σε δομή κοκκώδη και πυκνή και στη δημιουργία πάστας. Σχετική με την δομή είναι και η ρευστότητα της πάστας του αμύλου ή του τελικού προϊόντος που παράγεται. Μερικά άμυλα έχουν ως αποτέλεσμα την συμπύκνωση και τη δημιουργία μιας πιο βαριάς

δομής με μεγάλη συνοχή στο τελικό προϊόν. Άλλα άμυλα δίνουν πιο ρευστές δομές που συνήθως μοιάζουν με σιρόπι και έχουν μικρό ιξώδες.

Εμφάνιση: το άμυλο μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση και την διαύγεια του τελικού προϊόντος. Άμυλα που προέρχονται από διαφορετικά είδη καλαμποκιού μπορούν είτε να δώσουν πορώδη εμφάνιση στο τρόφιμο είτε ημιδιαφανή μορφή. Άμυλα που προέρχονται από πατάτα δίνουν μια πιο καθαρή μορφή πάστας. Η χημική τροποποίηση του αμύλου μπορεί να επηρεάσει, επίσης, την καθαρότητα της εμφάνισης του τροφίμου.

Γεύση: το άμυλο και τα παράγωγα του αμύλου μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την γεύση του προϊόντος. Η προέλευση του αμύλου, το άλεσμα και η χημική τροποποίηση μπορούν να επηρεάσουν την γεύση του τροφίμου. Τρόφιμα με ιδιαίτερη γεύση όπως κρεμώδεις σάλτσες μπορούν να περιέχουν άμυλα που δεν προσδίδουν κάποια γεύση. (P.S. Smith, 1982.)

1.5 Ινουλίνη

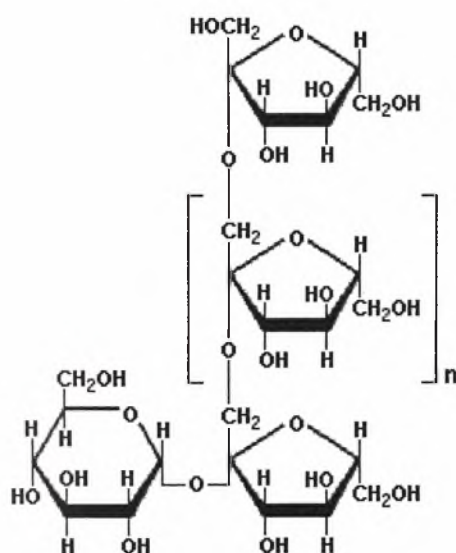
1.5.1 Πηγές φρουκτανών και ινουλίνης

Οι φρουκτάνες βρίσκονται ως αποθήκες υδατανθράκων μεταξύ τουλάχιστον 10 οικογενειών των ανωτέρων φυτών. (A. Kardosová et al., 2003) Οι φρουκτάνες συντίθενται κατά περίπου 15% κατά την ανθοφορία στα φυτά, καθώς επίσης και στα βακτηρίδια και στους μύκητες. Η δυνατότητα των φυτών που συνθέτουν φρουκτάνες συσχετίζεται με την επιβίωσή τους σε πιο κρύα και ξηρότερα κλίματα. Όπως το άμυλο και η σακχαρόζη, οι φρουκτάνες χρησιμοποιούνται στα φυτά ως υδατάνθρακες εφεδρείας. Διάφορα είδη φυτών αποθηκεύουν και φρουκτάνες και άμυλο. (T.Ritsema et al., 2003). Στα μονοκοτυλήδονα φυτά, οι φρουκτάνες με το τύπο των λεβανών είναι βραχυπρόθεσμες μορφές αποθήκευσης υδατανθράκων στις θήκες των μίσχων και των φύλλων που αποικοδομούνται στα μεταγενέστερα στάδια της αύξησης για να παρέχουν τους υδατάνθρακες. Στα δικοτυλήδονα φυτά η ινουλίνη είναι ένας υδατάνθρακας μακροπρόθεσμης αποθήκευσης που αντικαθιστά το άμυλο. (A. G. Heyer et al., 1998). Ένας διαφορετικός ρόλος για τις φρουκτάνες μπορεί να θεωρηθεί η προστασία των φυτών κατά τη διάρκεια στρες που προέρχεται από την υψηλή αλατότητα. (T.Ritsema et al., 2003).

Οι φρουκτάνες των φυτών έχουν πολλές διαφορετικές δομές και μήκη αλυσίδων, που κυμαίνονται από τρεις μέχρι μερικές εκατοντάδες μονάδες φρουκτόζης. Μια από τις απλούστερες φρουκτάνες είναι η γραμμική ινουλίνη, η οποία αποτελείται από β (1-2)-συνδεμένα υπολείμματα φρουκτόζης. Αυτή η φρουκτάνη είναι παρούσα στα φυτά που ανήκουν στο είδος Asterales (π.χ. ραδίκι). Στα μέλη του Liliaceae (π.χ. κρεμμύδι), ένας διαφορετικός τύπος ινουλίνης είναι παρών και ονομάζεται νέο-σειρές ινουλίνης.

1.5.2 Χημική δομή ιουλίνης

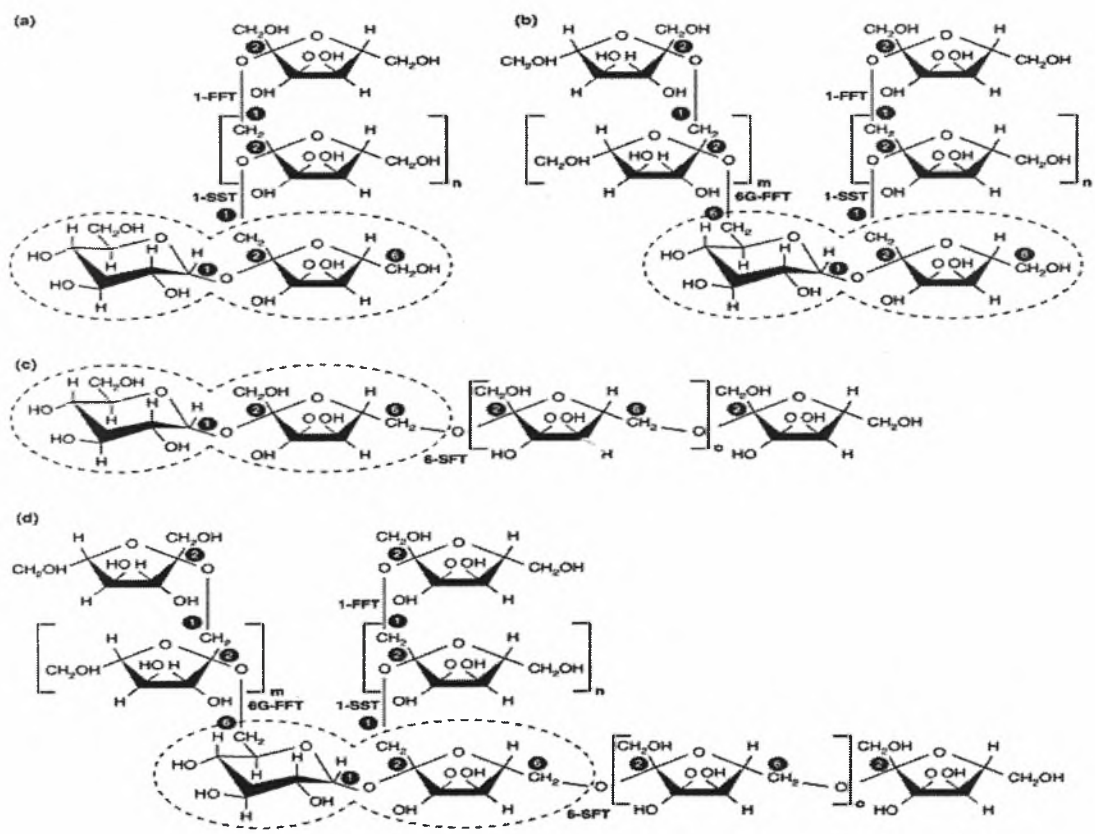
Η ιουλίνη αναφέρεται ως μια ομάδα ολιγοσακχαριτών που περιέχουν φρουκτόζες. Ανήκουν σε μια κατηγορία υδατανθράκων που είναι γνωστή ως φρουκτάνες. Οι φρουκτάνες, εκτός από την ιουλίνη, περιλαμβάνουν και μια άλλη ομάδα ολιγοσακχαριτών που περιέχουν φρουκτόζες, τις λεβάνες. Η ιουλίνη είναι συνήθως φυτικής προέλευσης, ενώ οι λεβάνες βρίσκονται στους μύκητες και τα βακτηρίδια. Η ιουλίνη αποτελείται κυρίως από μονάδες φρουκτόζης και έχει χαρακτηριστικά μια τελική γλυκόζη. Ο δεσμός μεταξύ των μονάδων φρουκτόζης στην ιουλίνη είναι ένας β (2->1) γλυκοζιδικός δεσμός. Η ιουλίνη των φυτών περιέχει 2 έως 150 μονάδες φρουκτόζης. (C. L'homme et al., 2001) Η μικρότερη ιουλίνη καλείται 1-κεστόση και αποτελείται από δύο υπολείμματα φρουκτόζης και ένα γλυκόζη. Η ιουλίνη φυσικά συντίθεται από σουκρόζη.



Εικόνα 1.3: Δομή ιουλίνης (n=περίπου 35)

1.5.3 Σύνθεση ινουλίνης

Για την σύνθεση των φρουκτανών δύο ένζυμα είναι αρμόδια, η 1 φρουκτοσυλ-τρανσφεράση (1- SST) και η 1- φρουκτάνη:φρουκτάνη φρουκτοσυλ-τρανσφεράση (1-FFT), και απομονώθηκαν από την ινουλίνη που αποθηκεύετε στα φυτά. Η 1- SST συνθέτει την κοντότερη ινουλίνη, τη trisaccharide 1-κεστοση. Η 1-FFT χρησιμοποιεί τη 1-κεστοση με έναν υψηλότερο βαθμό πολυμερισμού ως χορηγό φρουκτόζης, και μπορεί να χρησιμοποιήσει ποικίλες φρουκτάνες ή σακχαρόζες ως αποδέκτες αυτής της φρουκτόζης. Η 1-FFT είναι επομένως ικανή να συνθέσει μια σειρά μορίων φρουκτάνης με έναν βαθμό πολυμερισμού περισσότερων από τριών μονάδων φρουκτόζης. Πρόσθετα ένζυμα απαιτούνται για τη σύνθεση των πιο σύνθετων φρουκτανών. Η σύνθεση της ινουλίνης νέο-σειρών απαιτεί την ύπαρξη ενός τρίτου ενζύμου της 6G- φρουκτάνη:φρουκτάνη φρουκτοσυλ-τρανσφεράση (6 GFFT). (T.Ritsema et al., 2003).



Current Opinion in Plant Biology

Εικόνα 1.4: Σύνθεση φρουκτανών

1.5.4 Ιδιότητες

1.5.4.1 Πηκτή ινουλίνης

Ο σχηματισμός του πηκτώματος της ινουλίνης οφείλεται στην κατακρήμνιση των μορίων του διαλύματος της ινουλίνης σε σωματίδια ικανά να διαμορφώσουν ένα πήκτωμα μέσω της διαδικασίας της συσσώρευσης. Τα διαλυτά πολυμερή σώματα γίνονται αδιάλυτα για να διαμορφώσουν μια ημισταθερή δομή (πήκτωμα) που οφείλεται στην ένωση των πολυμερών μορίων στο διάλυμα (κολλοειδές διάλυμα). (Y. Kim et al., 2001)

Τα πηκτώματα ινουλίνης διαμορφώνονται από ένα δίκτυο μικρών κρυσταλλιτών. Οι ρεολογικές ιδιότητές της είναι αρκετά διαφορετικές από αυτές της μη κρυσταλλωμένης ινουλίνης. Στην πραγματικότητα, οι ιδιότητές της περισσότερο μοιάζουν με αυτού ενός δικτύου κρυστάλλων λίπους σε λάδι. (A.Bot et al., 2004).

Πριν από το σχηματισμό του πηκτώματος το διάλυμα της ινουλίνης παρουσιάζει συνήθως υπόλευκο ή κιτρινωπό χρώμα. Το χρώμα της πηκτής της ινουλίνης είναι συνήθως λευκό. Όπως και στα υπόλοιπα βιοπολυμερή ο σχηματισμός του πηκτώματος της ινουλίνης επηρεάζεται από παράγοντες, σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι: η συγκέντρωση της ινουλίνης, η θερμοκρασία θέρμανσης, ο χρόνος θέρμανσης, ο διαλύτης που πιθανόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το pH. Η συγκέντρωση της ινουλίνης είναι αυτή που καθορίζει και τη σκληρότητα της πηκτής. Η σχέση είναι αναλογική καθώς αυξανόμενη συγκέντρωση ινουλίνης αυξάνει και την σκληρότητα της πηκτής. (Y. Kim et al., 2001)

1.5.4.2 Κρύσταλλοι ινουλίνης

Η ινουλίνη είναι ένας χαμηλού μοριακού βάρους πολυσακχαρίτης που μπορεί να κρυσταλλώνει εύκολα σε διαλύματα ύδατος. Μπορούμε να ξεχωρίσουμε τους κρυστάλλους της ινουλίνης ανάλογα με το βαθμό ενυδάτωσης τους σε ενυδατωμένους κρυστάλλους και σε ημί-ενυδατωμένους κρυστάλλους. Στην δεύτερη περίπτωση μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο τύπους. Ο πρώτος είναι ο πυκνός τύπος που έχει εξαγωνικές περιφέρειες και ο άλλος είναι ο λεπτότερος τύπος που εμφανίζεται ως ρομβοειδή πλακίδια. Οι λεπτοί ρομβοειδής κρύσταλλοι αποτελούνται

από superposition λεπτά φύλλα που οργανώνονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η περιφέρειά τους να είναι παχύτερη από το κέντρο τους. Αυτή η σύνθετη οργάνωση που είναι πολύ συχνή για τους ρομβοειδής πολυμερές κρύσταλλους απεικονίζει τον τρόπο αύξησής τους που πρέπει να αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο ζευγάριωμα. Οι ημι-ενυδατωμένοι κρύσταλλοι ινουλίνης έχουν επίσης τρισδιάστατη συμμετρία. Η μόνη διαφορά μεταξύ ημι – ενυδατωμένων και ενυδατωμένων κρυστάλλων ινουλίνης είναι στον αριθμό των μορίων ύδατος στις κυτταρικές μονάδες. (I. Andre et al., 1995)

1.5.4.3 Ινουλίνη και Διατροφή

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι πηκτές της ινουλίνης διαμορφώνονται από ένα δίκτυο μικρών κρυσταλλιτών και οι ιδιότητές τους περισσότερο μοιάζουν με αυτού ενός δικτύου κρυστάλλων λίπους σε λάδι. Λόγω αυτής της ομοιότητας, η ινουλίνη παρουσιάζει ενδιαφέρον ως συστατικό για τη δόμηση τροφίμων με χαμηλά ή με μηδέν λιπαρά . Εκτός από τη μοριακή φύση της πηκτής, η ευρεία διανομή μοριακού βάρους των αλυσίδων ινουλίνης προκαλεί φαινόμενα παρόμοια της συμπεριφοράς τήξης των δικτύων των κρυστάλλων λίπους που είναι βασισμένα σε μίγματα τριάκυλογλυκερολης. (A.Bot et al., 2004).

Η ινουλίνη του ραδικιού είναι η πρώτη φρουκτάνη αυτήν την περίοδο σε χρήση ως πρόσθετη ουσία τροφίμων. Όταν γαλακτωματοποιείται με το νερό η ινουλίνη διαμορφώνει ένα πήκτωμα που έχει μια παρόμοια σύσταση με το λίπος, αλλά με πολύ χαμηλότερη θερμιδική αξία. Χρησιμοποιείται στα γιαούρτια, αλοιφές, και παγωτά ως λίγων θερμίδων αντικαταστάτης για το λίπος. Η ινουλίνη πωλείται επίσης, όπως τα θρεπτικά συμπληρώματα και τα λειτουργικά τρόφιμα. (T.Ritsema et al., 2003). Οι πηγές αυτών των ινουλινών είναι οι ρίζες του ραδικιού (*intybus Cichorium*) και των αγκιναρών της Ιερουσαλήμ (*tuberosus Helianthus*). Άλλες πηγές ινουλινών ευρείας κατανάλωσης είναι τα κρεμμύδια, τα πράσα, το σκόρδο, οι μπανάνες, το σπαράγγι και οι αγκινάρες, μεταξύ άλλων λαχανικών και φρούτων. (C. L'homme et al., 2001) Λόγω της γλυκιάς γεύσης τους και της σύστασής τους, οι ινουλίνες προστίθενται σε διάφορα τρόφιμα όπως κέικ, σοκολάτες διαιτητικά προϊόντα (E. Mendoza et al., 2001). Η εισαγωγή ινουλίνης στις αμερικάνικες σειρές τροφίμων και στην

καθημερινή διατροφή είναι από 1 έως 4 γραμμάρια Στην Ευρώπη η καθημερινή κατανάλωση γενικά σε φρουκτάνες είναι 3–11 γρ. (C. L'homme et al., 2001)

1.5.4.3 A Ινουλίνη και ζυμαρικά

Στα ζυμαρικά είναι δυνατόν να συσσωματωθούν συστατικά διαιτητικών ινών, που μπορεί να αυξήσουν την θρεπτική αξία των καταναλούμενων ζυμαρικών έναντι των συμβατικών. Ένα από αυτά τα συστατικά που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία είναι η ινουλίνη. Από πείραμα που έχει διεξαχθεί με δείγματα ζυμαρικών και αυξανόμενες συγκεντρώσεις ινουλίνης και με *in vitro* διάσπαση των ζυμαρικών έχουν διαπιστωθεί τα εξής: Συγκριτικά με δείγματα κοντρόλ, ζυμαρικά οπού περιέχουν ινουλίνη φαίνεται να έχουν μια σημαντική αύξηση στην περιεχόμενη ξηρή ύλη και μια σημαντική μείωση στο δείκτη όγκου. Επίσης, η ικανότητα απορρόφησης νερού από τα ζυμαρικά μειωνότανε καθώς αυξανόταν η συγκέντρωση της ινουλίνης. Αυτή ίσως οφείλεται στα χαρακτηριστικά της ινουλίνης, καθώς είναι ένα υδρόφιλο μόριο. (C. S. Brennan et al., 2003)

1.5.4.3 B Ινουλίνη και λουκάνικα

Τα λουκάνικα είναι από τα πιο διαδεδομένα προϊόντα κρέατος σε όλο τον κόσμο. Η μεγάλη περιεκτικότητα σε λιπαρά όμως αποτελεί κίνδυνο για την υγεία για αυτό πολλές βιομηχανίες αναπτύσσουν νέες φόρμουλες και τροποποιήσεις παραδοσιακών τροφικών προϊόντων που να περιέχουν λιγότερα λιπαρά. Σαν υποκαταστάτες λίπους έχουν χρησιμοποιηθεί, σε προϊόντα κρέατος, διαιτητικές ίνες οι οποίες έχουν και πολλές θετικές επιδράσεις στην υγεία. Η ινουλίνη ως διαιτητικός παράγοντας έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως σε τρόφιμα που δεν περιέχουν κρέας (όπως κέικ, σοκολάτες διαιτητικά προϊόντα,) καθώς αυξάνει τη γεύση, την αίσθηση στο στόμα και έχει λίγες θερμίδες. Η περιεκτικότητα των λουκάνικων σε ινουλίνη έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμιδικής αξίας κατά 30% και την πιο μαλακή υφή τους. Επίσης, η ινουλίνη δεν επηρεάζει τη γεύση των λουκάνικων και λειτουργεί ως ρυθμιστής για την περιεκτικότητα του σε αλάτι και πιπέρι. Η οσμή των λουκάνικων δεν επηρεάζεται και το χρώμα είναι πιο έντονο όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της ινουλίνης. Βρέθηκε

ότι η κατάλληλη περιεκτικότητα ινουλίνης σε λουκάνικα είναι 11,5% .Τέλος, η ινουλίνη δεν επιδρά στην σκληρότητα και έχει μικρή επίδραση στη συνοχή. (E. Mendoza et al., 2001).

1.5.4.3 Γ Ινουλίνη και παγωτά

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν και συνηγορούν στην υφή και τη δομή του παγωτού όπως, η ολική περιεκτικότητα σε στερεά, η περιεκτικότητα λιπαρών του γάλακτος, η διασπορά των λιπιδίων καθώς και το μέγεθος των κρυσταλλιτών του λίπους και του πάγου. Συνήθως, μειώνοντας την περιεκτικότητα σε λιπαρά στα παγωμένα προϊόντα επηρεάζονται ποιοτικές ιδιότητες τους όπως το ιξώδες, η κρεμότητα, η σκληρότητα, η τήξη και η γεύση, και αυτό γιατί η αλληλεπίδραση μεταξύ πρωτεϊνών και λιπαρών ελέγχει τη δομή του παγωτού.

Η ινουλίνη δρα ως υποκαταστάτης λίπους και σακχάρων και χάρης αυτή της την ικανότητα δεν έχει επίδραση στη γεύση του προϊόντος. Στο παγωτό η αντικατάσταση του λίπους από την ινουλίνη βασίζεται στην ικανότητα να σταθεροποιεί τη δομή υδατικών φάσεων δημιουργώντας μια κρεμώδης αίσθηση στο στόμα.

Επίσης, η ινουλίνη αυξάνει το ιξώδες του μίγματος. Η αύξηση του ιξώδους σε σκευάσματα παγωτών-γιαουρτιών εξηγείται με την αλληλεπίδραση της διαιτητικής ίνας και τα υγρά συστατικά του μίγματος. Η ινουλίνη ως υψηλά υγροσκοπική ουσία μπορεί να δεσμεύσει νερό και να σχηματίσει ένα δίκτυο πηκτής και σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα συστατικά του μίγματος μπορεί να αλλάξει την ρεολογία του. Εκτός αυτών, η ινουλίνη έχει την ιδιότητα σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις να μειώνει το ρυθμό τήξης του παγωτού. Συγκεκριμένα παγωτά με υψηλά ολικά στερεά λιώνουν γρηγορότερα σε σχέση με αυτά με λιγότερα στερεά. Γενικά αποδεικνύεται ότι η ινουλίνη λειτουργεί ως σταθεροποιητής στο παγωτό. (G .El-Nagar. Et al.,)

1.5.4.3 Δ Ινουλίνη και τυρί

Η καταναλωτική ζήτηση για τα τυριά με χαμηλά λιπαρά είναι υψηλή αλλά τέτοιου είδους τυριά θα πρέπει να είναι οργανοληπτικά αποδεκτά και να παρουσιάζουν τις ίδιες ιδιότητες σε σχέση με το πλήρες προϊόν.

Η ινουλίνη έχει προστεθεί επιτυχώς, ως υποκατάστατο λίπους, στο τυρί μοτσαρελλα (Pagliarini & Beatrice, 1994) και όταν ενσωματώνεται ως μιμητής λίπους στο φυσικό τυρί σε επίπεδα μέχρι 10 gr/100 gr (w/w) αποδείχθηκε να μην έχει επιπτώσεις στο άρωμα των τυριών (Gijs, Piraprez, Perete, Spinnler, & Collin, 2000).

Σε μελέτη που έγινε η ινουλίνη ενσωματώθηκε επιτυχώς στη μήτρα τυριών σε επίπεδο 3,44 τυριού g/100 γ. Σε αυτό το επίπεδο, αντικατέστησε άμεσα 63% του συνολικού λίπους χωρίς οποιαδήποτε σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά τήξης των τυριών. Η ινουλίνη ενσωματώθηκε στα τυριά ως υγρό πήκτωμα και μάλιστα καυτό (80 °C) ώστε η διασπορά της να γίνει σε όλο το τυρί. Η ινουλίνη σε ξηρά σκόνη δεν ενσωματώνεται επιτυχώς αφού δημιουργεί τοπικούς βόλους σκόνης ινουλίνης. Η ικανότητα τήξης των τυριών δεν μεταβλήθηκε αλλά τα στοιχεία από την μελέτη δείχνουν ότι στο πιο υψηλό επίπεδο ενσωμάτωσης της ινουλίνης, η σκληρότητα των τυριών μπορεί να αυξηθεί σε θερμοκρασίες επάνω από 55 °C. Αυτό μπορεί, όμως, να έχει επιπτώσεις στη χρησιμότητα των προϊόντων σε ορισμένες εφαρμογές. Εντούτοις, οι αυξήσεις στη σκληρότητα μπορούν να αντισταθμιστούν μέχρι ενός ορισμένου βαθμού από την αυξανόμενη περιεκτικότητα σε υγρασία. (P.J. Hennelly et al., 2005)

1.5.4.3 Ε Ινουλίνη και γιαούρτι

Το γιαούρτι είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα γαλακτοκομικά προϊόντα, καθώς υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι προϊόντων γιαουρτιού, συμπεριλαμβανομένων των γιαουρτιών χαμηλής περιεκτικότητας σε λίπος, των προβιοτικών γιαουρτιών, των πόσιμων γιαουρτιών, του μους γιαουρτιού, του παγωτού γιαουρτιού, κ.λ.π. (Fiszman & Salvador, 1999)

Από μελέτη που έγινε αποδείχθηκε ότι το γιαούρτι που ενισχύθηκε με τις ίνες ινουλίνης καθώς και με άλλες ίνες φυτικής προέλευσης (μπαμπού, σίτου, μήλων) δεν παρουσίασε συναίρεση ακόμα και μετά από χρόνο αποθήκευσης 21 ημερών σε θερμοκρασία 4°C. Επίσης το pH, και οι παράμετροι χρώματος ήταν σταθερά σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης. Γενικά τα ενισχυμένα με τις ίνες γιαούρτια είναι αποδεκτά, δίνοντας αποτελέσματα στο χρώμα, στη γεύση και στη σύσταση. (M. D. Staffolo et al., 2004)

1.5.5 Ινουλίνη και υγεία

Σημαντικά είναι τα οφέλη της ινουλίνης στην υγεία και αυτά συνδέονται με τις ιδιότητες της ινουλίνης ως τροφική ίνα. Η ινουλίνη είναι ένας ειδικός τύπος ίνας γνωστός ως πρωβιοτικός. Τα ευεργετικά αποτελέσματα της ινουλίνης είναι η δυνατότητά της να υποκινεί την υγεία του σώματός προάγοντας τον πολλαπλασιασμό των "φιλικών βακτηριδίων". Αυτά τα "φιλικά βακτηρίδια" είναι γνωστά ως *Bifidobacteria* και ασκούν σημαντική επίδραση στην υγεία του πεπτικού. Η ινουλίνη αφομοιώνεται ελαφρώς μόνο στο λεπτό έντερο. Εντούτοις, ζυμώνεται από έναν αριθμό βακτηριδίων του παχέος εντέρου. Αυτό οδηγεί σε αλλαγές στο οικοσύστημα του παχέος εντέρου υπέρ μερικών βακτηριδίων, όπως το *bifidobacteria*, το οποίο μπορεί να έχει οφέλη στην υγείας. (Spiller et al., 1994).

Βελτιώνοντας την εντερική μικροχλωρίδα, προκαλούν ανακούφιση από την δυσκοιλιότητα, βελτιώνουν την σύνθεση λιπιδίων του αίματος και καταστέλλουν την παραγωγή των εντερικών σηπτικών ουσιών στα ζώα και στους ανθρώπους]. Οι συζεύξεις ινουλίνης-φαρμάκων με τον τροπισμό ουρικών κομματιών έχουν σχεδιαστεί για να θεραπεύσουν τις ουρογεννητικές ασθένειες δεδομένου ότι ασκούν τη φαρμακολογική δραστηριότητά τους στο ουρικό κομμάτι. Η μοριακή ινουλίνη παρατηρήθηκε σε πειράματα σε ποντίκια για να αναπτύξει την κατά του όγκου δραστηριότητα. Θεωρείται ότι ενεργοποιεί την αποκαλούμενη εναλλακτική διάβαση του συμπληρώματος που μπορεί να διαδραματίσει έναν κρίσιμο ρόλο στην κατά του όγκου υπεράσπιση. (A. Kardosová et al., 2003)

Η ινουλίνη συστήνεται μερικές φορές για τους διαβητικούς επειδή έχει μια απαλά γλυκιά γεύση, έχει την ίδια αίσθηση με τα αμυλούχα τρόφιμα, αλλά επειδή δεν απορροφάται, δεν έχει επιπτώσεις στα επίπεδα της γλυκόζης του αίματος. Η ινουλίνη είναι διαλυτή στο καυτό νερό, αλλά μόνο ελαφρώς διαλυτός στο κρύο νερό ή το οινόπνευμα, δεν είναι έτσι παρών σε οποιαδήποτε σημαντική έκταση σε βάμμα. (Spiller et al., 1994).

Για περισσότερο από μισό αιώνα ήδη, η ινουλίνη χρησιμοποιείται στις διαγνωστικές δοκιμές για τη νεφρική λειτουργία. (A. Kardosová et al., 2003). Η ινουλίνη είναι ιδανική ουσία για την διαγνωστική δοκιμή για τη νεφρική λειτουργία καθώς διηθείται ελαφρά στο νεφρικό σωματίο, και δε απορροφάται ή εκκρίνεται κατά μήκος του ουροφόρου σωληναρίου. Από φυσιολογικής άποψης είναι αδρανής δεν μεταβολίζεται ούτε αποθηκεύεται στους νεφρούς και ασφαλώς δεν είναι τοξική και δεν δεσμεύεται από πρωτεΐνες. Η εξέταση γίνεται με σημασμένη ινουλίνη καθώς οι προσδιορισμοί είναι πιο ακριβείς και ταχείς. (Αθ. Σμοκοβίτη, 2004)

Μια βασική λειτουργία του πεπτικού συστήματος είναι η αποτελεσματική απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. Η ινουλίνη έχει αποδειχθεί να αυξάνει την αποδοτικότητα του πεπτικού συστήματος με διάφορους τρόπους. Οι ανθρώπινες κλινικές μελέτες δείχνουν ότι η κατάποση της ινουλίνης αυξάνει σημαντικά την απορρόφηση του ασβεστίου στη διατροφή με το να καταστεί το πεπτικό σύστημα αποδοτικότερο στο να απορροφήσει το ασβέστιο. Επιπλέον, τα ζωικά πρότυπα δείχνουν ότι η ινουλίνη αυξάνει το μέγεθος και την απορροφητική ικανότητα της πεπτικής οδού. Όπως σημειώνεται προηγουμένως, η ινουλίνη αυξάνει σημαντικά τα επίπεδα ευεργετικού *Bifidobacteria* στην πεπτική οδό. Εκτός από τις άλλες συνεισφορές τους, αυτά τα βακτηρίδια είναι γνωστά για την παραγωγή βιταμινών και ένζυμων που μπορούν επίσης να συμβάλουν στην αποδοτικότητα της πεπτικής διαδικασίας. (Spiller et al., 1994).

Και η ινουλίνη και τα *Bifidobacteria* έχουν αποδειχθεί σε ανθρώπινες κλινικές δοκιμές ότι μειώνουν την επίπτωση και τη δριμύτητα της οξείας G.I. ασθένειας που μπορεί να οδηγήσει σε καρκίνο του κόλου. Επιπλέον, τα ζωικά πρότυπα προτείνουν ότι η ινουλίνη μπορεί να έχει μια προστατευτική επίδραση κατά του καρκίνου. Η σύνδεση μεταξύ της ινουλίνης και της αντίστασης στην οξεία G.I. ασθένεια βρίσκεται άλλη μια φορά στο ρόλο των ευεργετικών βακτηριδίων στο G.I. κομμάτι. Διάφορες

ζωικές πρότυπες μελέτες που εξετάζουν τα προκαρκινικά τραύματα του κόλου έχουν δείξει ότι και η ινουλίνη και Bifidobacteria είναι προστατευτικές ενάντια στο σχηματισμό αυτών των τραυμάτων. Ο συνδυασμός ινουλίνης και Bifidobacteria που χορηγήθηκαν μαζί αποδείχθηκε για να είναι αποτελεσματικότερος από καθένα που αντιμετωπίστηκε χωριστά στην προστασία από αυτά τα τραύματα. Η ινουλίνη αυξάνει τα επίπεδα Bifidobacteria στο κόλον που έχουν αποδειχθεί για να παραγάγουν τα φυσικά υλικά που παλεύουν τα ενδεχομένως επιβλαβή βακτηρίδια συμπεριλαμβανομένων των σαλμονελών, *campylobacter* και *E. COLI*. Στις ανθρώπινες κλινικές δοκιμές που εξετάζουν νήπια και τα παιδιά, η ινουλίνη αποδείχθηκε ότι μειώνει τη δριμύτητα της διάρροια όπως και ότι μειώνει τον εμετό . (Spiller et al., 1994).

1.6 ΣΚΟΠΟΣ

Τα τρόφιμα θεωρούνται « βρώμικα », δηλαδή ότι αποτελούνται από πολλά συστατικά. Η ινουλίνη ως συστατικό τροφίμων έρχεται σε επαφή με πάρα πολλά διαφορετικής χημικής δομής συστατικά και πρόσθετα με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι λειτουργικές της ιδιότητες. Επομένως, για να μπορέσουμε να τα μελετήσουμε και να δούμε την επίδραση της ινουλίνης θα πρέπει να δούμε τη συμβαίνει αρχικά σε δυαδικά συστήματα. Ο σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι να εξετάσουμε την επίδραση των διαφόρων συν-διαλυτών που απαντούν πιο συχνά στα τρόφιμα (κρυσταλλική ζάχαρη, φρουκτόζη, γλυκόζη) στα διαλύματα της ινουλίνης καθώς και να μελετήσουμε και το ρόλο του πολυσακχαρίτη άμυλο, που είναι ένα από τα πιο κύρια συστατικά των τροφίμων που απαντούν στην φύση, στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Τρόποι προσέγγισης του σκοπού

A) Μελέτη της επίδρασης συνδιαλυτών (φρουκτόζη, σουκρόζη, γλυκόζη) στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

B) Μελέτη της επίδρασης μιγμάτων αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

2.2 Οργανολογία

2.2.1 Φασματοφωτόμετρο

Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήσαμε ήταν το 10 GENESYS™ SPECTROPHOTOMETER της Spectronic Unicam, Cambridge CB5 8HY, UK. Οι προδιαγραφές του είναι: το εύρος μήκους κύματος (325 έως 1100 nm), το φασματοφωτομετρικό εύρος (-0,1 -2,5A ή -125% T), το πλάτος της ζώνης απομόνωσης της ακτινοβολίας (≤ 8 mm), η επαλληλικότητα του μήκους κύματος ($\pm 0,5$ nm) και η ακρίβεια του μήκους κύματος ($\pm 2,0$ nm).

Η λειτουργία του φασματοφωτόμετρου αυτού βασίζεται στη φασματοσκοπία υπεριώδους-ορατού (UV-VIS). Η φασματοσκοπία UV-VIS ναφέρεται στην απορρόφηση μονοχρωματικής ακτινοβολίας από τα συστατικά του δείγματος στην περιοχή UV (190-400 nm) και την ορατή περιοχή (400-780 nm). Τα φάσματα UV-VIS δεν χαρακτηρίζουν συνολικά το μόριο, άλλα δίνουν πληροφορίες για ορισμένες μόνο ομάδες του μορίου (χρωμοφόρες ομάδες) που απορροφούν ακτινοβολία. Με την απορρόφηση υπεριώδους και ορατής ακτινοβολίας προκύπτουν ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις σε μοριακά τροχιακά υψηλότερης ενέργειας.

Κάθε ένωση που απορροφά στην ορατή περιοχή (400-800 nm) εμφανίζεται έγχρωμη. Η κάθε ουσία απορροφά σε συγκεκριμένο μήκος κύματος, ενώ ο ανθρώπινος οφθαλμός ανιχνεύει την ακτινοβολία η οποία δεν απορροφάται (συμπληρωματικό χρώμα). Στη φασματοφωτομετρία απορρόφησης μετρείται η απορρόφηση (A) ή η διαπερατότητα (T) του δείγματος και με βάση τις μετρήσεις αυτές επιτελείται η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση. (Σ. Λιοδάκης, 2001)

2.2.1.1 Οργανολογία του φασματοφωτόμετρου

Πηγή ακτινοβολίας: Για την περιοχή του υπεριώδους, χρησιμοποιούνται συνήθως λυχνίες εκκένωσης υδρογόνου ή δευτέρου. Για την περιοχή του ορατού, χρησιμοποιούνται λυχνίες πυράκτωσης με νήμα βολφραμίου.

Επιλογή μήκους κύματος: Η απομόνωση της επιθυμητής στενής περιοχής μηκών κύματος από τη συνεχή πολυχρωματική ακτινοβολία που εκπέμπει η πηγή, επιτυγχάνεται με φίλτρα, τα οποία απομονώνουν περιοχές 20-50 nm. Η απομόνωση μιας μονοχρωματικής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει ακριβέστερα (πλάτος ζώνης 0,01 nm) με μονοχρωμάτορες πρίσματος ή φράγματος. Η επιλογή του μήκους κύματος για την ιουλίνη έγινε στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος όπου η ουσία έχει τη μέγιστη απορρόφηση, δηλαδή, στο $\lambda_{\max} = 330\text{nm}$ (**E.I. O' Regan, 2002**)

Κυψελίδες: Οι κυψελίδες ήταν Dispolab Kartell, 1938 PS Microcuvettes. Έχουν ορθογώνιο σχήμα και είναι κατασκευασμένες από *χαλαζία*, εφόσον χρησιμοποιούνται στην υπεριώδη περιοχή.

Ανιχνευτές: Ως ανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτολυχνίες, φωτοπολλαπλασιαστές και φωτοδίοδοι. Η αρχή λειτουργίας των ανιχνευτών αυτών είναι η εξής: τα φωτόνια της ορατής και υπεριώδους ακτινοβολίας έχουν ενέργεια ικανή να απελευθερώσει ηλεκτρόνια, όταν προσκρούουν σε επιφάνειες κατεργασμένες με ειδικές ενώσεις. Επίσης, μπορούν να προκαλέσουν τη μετακίνηση μη αγώγιμων ηλεκτρονίων σε ζώνες αγωγιμότητας. Και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, ανάλογο με την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. (Σ. Λιοδάκης, 2001)

2.2.2 Οπτικό μικροσκόπιο φωτεινού πεδίου

Το μικροσκόπιο που χρησιμοποιήσαμε ήταν το **WANG 7001, Biomedical, Inverted Microscope** από την Ολλανδία.

Το μικροσκόπιο αυτό είναι ένα σύνθετο μικροσκόπιο και αποτελείται από τη **βάση**, το **βραχίονα**, το **οπτικό σύστημα** και το **σύστημα φωτισμού**. Η βάση είναι σταθερή και χρησιμεύει για να στηρίζει το μικροσκόπιο. Στο μπροστινό μέρος της υπάρχει το σύστημα φωτισμού. Ο βραχίονας φέρει την τράπεζα μικροσκόπησης, το οπτικό σύστημα και τον συμπυκνωτή. Η τράπεζα μικροσκόπησης είναι τετράγωνη και χρησιμεύει για την τοποθέτηση των παρασκευασμάτων και των αντικειμενοφόρων πλάκων. Για τη στήριξη και μετακίνηση της αντικειμενοφόρου πλάκας, πάνω στην τράπεζα βρίσκεται μια ειδική συσκευή, που ονομάζεται **οδηγητής παρασκευασμάτων**. Ο οδηγητής παρασκευασμάτων φέρει ένα ειδικό άγκιστρο για τη στήριξη της αντικειμενοφόρου. Η μετακίνηση της αντικειμενοφόρου πλάκας πάνω στην τράπεζα γίνεται με την χρήση δύο κοχλιών που επιτρέπουν την κίνηση προς τέσσερις κατευθύνσεις.

Οπτικό σύστημα: Στο σύνθετο μικροσκόπιο το οπτικό σύστημα αποτελείται από δύο συστήματα φακών: τους **προσοφθάλμιους** και τους **αντικειμενικούς φακούς**. Οι αντικειμενικοί φακοί βρίσκονται πάνω σε ένα περιστρεπτό σύστημα, έτσι ώστε να μπορεί ο παρατηρητής να επιλέγει την επιθυμητή μεγέθυνση. Οι αντικειμενικοί φακοί παράγουν ένα είδωλο του αντικειμένου το οποίο στη συνέχεια μεγεθύνεται περαιτέρω από τους προσοφθάλμιους φακούς. Η μεγεθυντική ικανότητα του μικροσκοπίου είναι ίση με το γινόμενο των μεγεθύνσεων του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού. Η μεγέθυνση του αντικειμενικού φακού που χρησιμοποιήσαμε είναι 40 (**LWDPC 40/0.65** όπου 0,65 είναι το αριθμητικό άνοιγμα του αντικειμενικού φακού). Χρησιμοποιήσαμε τον αντικειμενικό φακό χωρίς φίλτρα. Η μεγέθυνση του προσοφθάλμιου φακού που χρησιμοποιήσαμε ήταν 16. Επομένως, η τελική μεγεθυντική ικανότητα του μικροσκοπίου που χρησιμοποιήσαμε ήταν : **μεγέθυνση αντικειμενικού φακού X μεγέθυνση προσοφθάλμιου φακού = 16 X 40 = 640. Η διάμετρος του πεδίου του αντικειμένου (μετά τη μεγέθυνση) ήταν: συντελεστής πεδίου / μεγέθυνση αντικειμενικού φακού = 14/40=0,35 mm.**

Σύστημα φωτισμού: Στο σύνθετο μικροσκόπιο το σύστημα φωτισμού βρίσκεται κάτω από την τράπεζα, και αποτελείται από το **συμπυκνωτή**, το **διάφραγμα** και τη **φωτεινή πηγή**. Ο συμπυκνωτής αποτελείται από ένα σύστημα με συγκλίνοντες φακούς, που συγκεντρώνουν τις ακτίνες που προέρχονται από τη φωτεινή πηγή. Κάτω από τη συμπυκνωτή βρίσκεται το διάφραγμα, που ρυθμίζει την ποσότητα του φωτός που διέρχεται από εκεί μέσα.

Επίσης, χρησιμοποιήσαμε τη **φωτογραφική μηχανή K100** για την αποτύπωση των δειγμάτων. Η τελική μεγέθυνσή της ήταν: μεγέθυνση αντικειμενικού φακού X μεγέθυνση προσοφθάλμιου = $40 \times 4 = 160$. (Φ.Β. Μυλωνά, 2002)

2.2.3 Θερμαινόμενος αναδευτήρας

Ο θερμαινόμενος αναδευτήρας ήταν **IKA RH basic** από την Γερμανία. Εμείς ρυθμίσαμε τη θερμοκρασία της θερμαινόμενης πλάκας στους 85 °C και την ταχύτητα ανάδευσης στα 240 t/min.

2.2.4 Θερμοαισθητήρας

Ο ηλεκτρονικός θερμοαισθητήρας ήταν ο **2020 943 Memory digit big in/out thermo clock**, με το εύρος της θερμοκρασίας να κυμαίνεται από -50 °C έως +70 °C.

2.3 Υλικά που χρησιμοποιήσαμε

2.3.1 Ινουλίνη

Το δείγμα ινουλίνης που χρησιμοποιήσαμε ήταν από ρίζα ραδικιού, το Frutafit EXL από Sensus Operations C.V., Roosendaal της Ολλανδίας (ένα πρότυπο ενός σύγχρονου εμπορικού προϊόντος, Frutafit TEX). Οι προμηθευτές καθορίζουν ως ελάχιστο μέσο βαθμό πολυμερισμού (DP) το 23. το συγκεκριμένο δείγμα ινουλίνης έχει βαθμό πολυμερισμού 28 και μοριακό βάρος $M_r = 4.5 \text{ kD}$ (P. Giannouli et al., 2004).

2.3.2 Γλυκόζη

Η γλυκόζη ήταν 1 kg D(+)-Glucose monohydrate for biochemistry, $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$, με μοριακό βάρος $M = 198,17 \text{ g/mol}$ από Merck KGaA 64271 Darmstadt της Γερμανίας.

2.3.3 Κρυσταλλική ζάχαρη

Η κρυσταλλική ζάχαρη με την επωνομασία « ο Σεφ » ήταν ψιλή συσκευασίας 1 kg, Sugar extra fine, από τη Σεφ A.B.E.E του Τιρνάβου.

2.3.4 Φρουκτόζη

Η φρουκτόζη που χρησιμοποιήσαμε ήταν άνυδρη (< 1% υγρασία) από την εταιρία BDH.

2.3.5 Άμυλο

Χρησιμοποιήσαμε άμυλο της εταιρίας Merck με κωδικό F893152 και με μοριακό τύπο $(C_6H_{10}O_5)_n$.

2.4 Μεθοδολογία

2.4.1 Παρασκευή δειγμάτων

Η παρασκευή των δειγμάτων έγινε ως εξής:

Παρασκευάσαμε δείγματα των 15 γραμμαρίων. Προσθέσαμε σε ζεστό νερό και διαλυτοποιήσαμε την απαραίτητη ποσότητα ινουλίνης και του εκάστοτε συνδιαλύτη που χρησιμοποιήσαμε για την παρασκευή των διαλυμάτων. Τα διαλύματα δεν έπρεπε να θερμανθούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες μεγαλύτερων των 90⁰ C καθώς η ινουλίνη είναι ευαίσθητη σε υψηλές θερμοκρασίες και έπρεπε να προστατευθούν τις αλυσίδες της ινουλίνης από διάσπαση. Μετά την πλήρη διαλύτοποίηση των ουσιών ακολούθησαν οι φωτομετρικές μετρήσεις όπως θα αναφερθεί παρακάτω. Για κάθε δείγμα η πειραματική διαδικασία ακολουθήθηκε τουλάχιστον τρεις φορές.

2.4.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

2.4.2 Α Επίδραση συν-διαλυτών στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω όλα τα δείγματα που παρασκευάσαμε είχαν όγκο 15 gr. Παρασκευάσαμε δείγματα με τις εξής συγκεντρώσεις:

Αριθμός δειγμάτων	Ινουλίνη w/w	Συν-διαλύτες (σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη)w/w
4	10%	15%, 30%, 45%, 60%
4	15%	15%, 30%, 45%, 60%
4	20%	15%, 30%, 45%, 60%

Παρασκευάσαμε δείγματα των συν-διαλυτών σκέτων ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για να δούμε συγκριτικά την αύξηση των κρυστάλλων στα δείγματα.

Φωτομετρικές Μετρήσεις

Μόλις το δείγμα ήταν έτοιμο τοποθετήσαμε μικρή ποσότητα του σε κυψελίδα. Το ποτηράκι με το υπόλοιπο δείγμα το σκεπάσαμε αμέσως με αλουμινόχαρτο. Χρησιμοποιήσαμε το θερμοαισθητήρα ώστε να παίρνουμε συνεχόμενες τιμές θερμοκρασίας του δείγματος σε σχέση με το χρόνο. Τοποθετήσαμε την κυψελίδα στο φασματοφωτόμετρο (που όπως προείπαμε το μήκος κύματος της μέτρησης ήταν 330 nm) και αυτή τη χρονική στιγμή ξεκινήσαμε να παίρνουμε τιμές απορρόφησης όπως και θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο με τη βοήθεια ενός χρονομέτρου. Οι μετρήσεις έγιναν ως εξής: τα τρία πρώτα λεπτά ανά 10 δευτερόλεπτα. Τα επόμενα επτά λεπτά ανά 30 δευτερόλεπτα και μετά τα πρώτα 10 λεπτά ανά 1 λεπτό. Η μέτρηση τελείωσε με την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας.

Μικροσκοπία

Φυλάξαμε 7,5 ml από το δείγμα σε αποστειρωμένο κλειστό σωλήνα. Μετά από ένα συγκεκριμένο για κάθε πείραμα και δείγμα χρονικό διάστημα και αφού είχαν δημιουργηθεί κρύσταλλοι το χρησιμοποιήσαμε για να βγάλουμε φωτογραφίες στο οπτικό μικροσκόπιο.

2.4.2 Β Επίδραση μιγμάτων αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης

Ως συν-διαλύτη χρησιμοποιήσαμε το άμυλο. Ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία για την παρασκευή δειγμάτων με τις εξής συγκεντρώσεις:

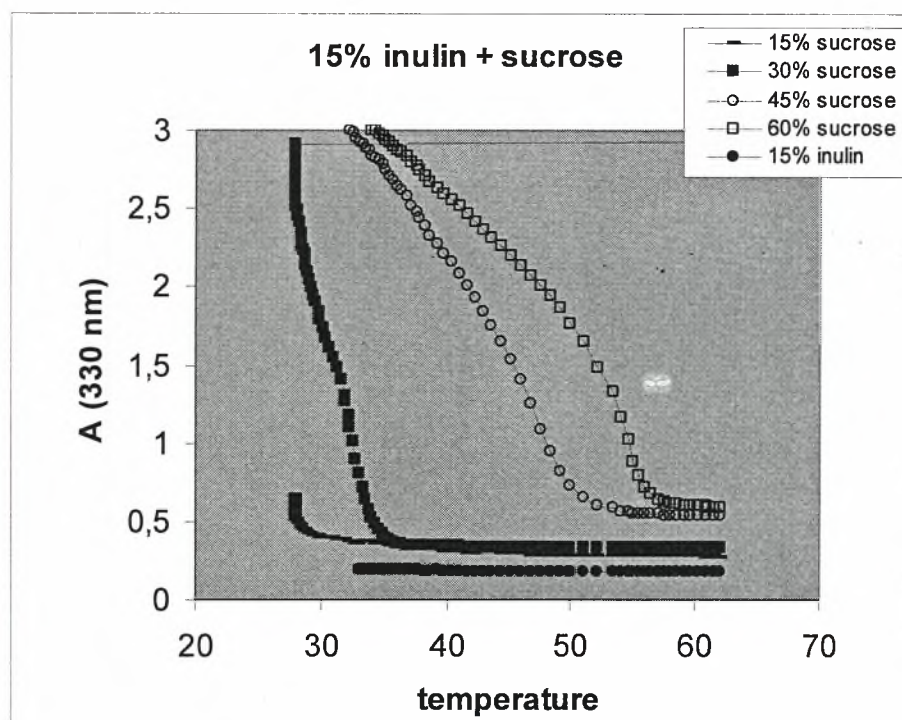
Χρονομετρήσαμε με τον ίδιο τρόπο τα δείγματα. Παρασκευάσαμε και δείγματα σκέτου αμύλου ώστε να συγκρίνουμε τον βαθμό και το χρόνο δημιουργίας πηκτής και κρυστάλλων συγκριτικά στα δείγματα.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

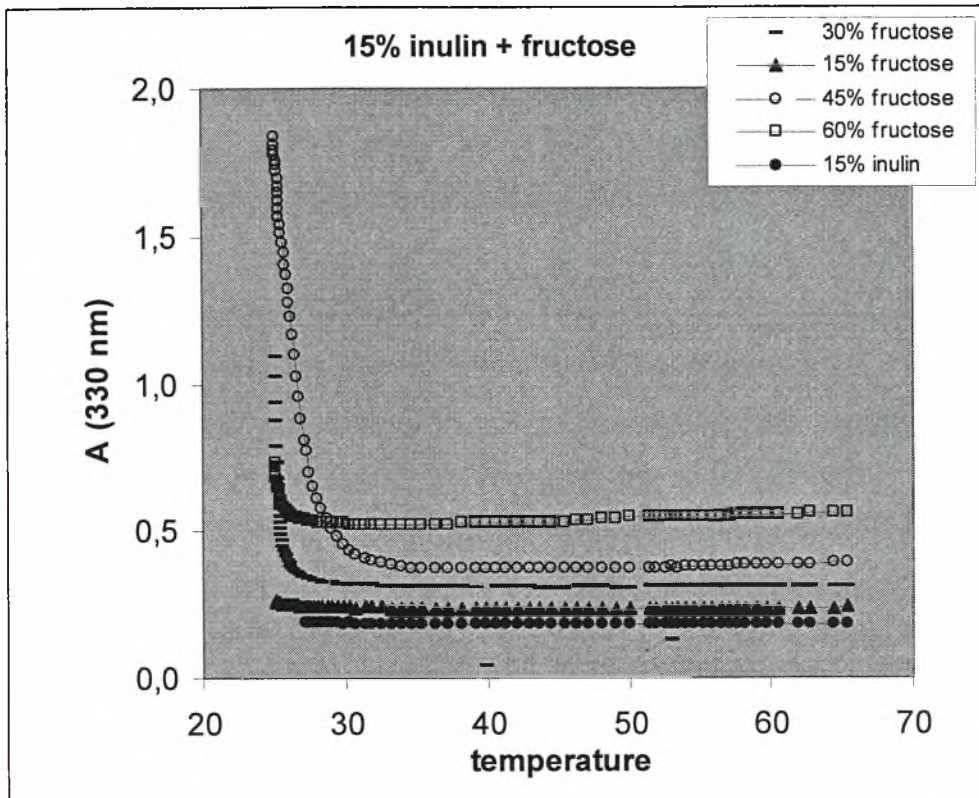
3.1 Μελέτη της επίδρασης συν-διαλυτών στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

3.1.1 Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών συγκεντρώσεων συν-διαλυτών σε σταθερή συγκέντρωση ινουλίνης.

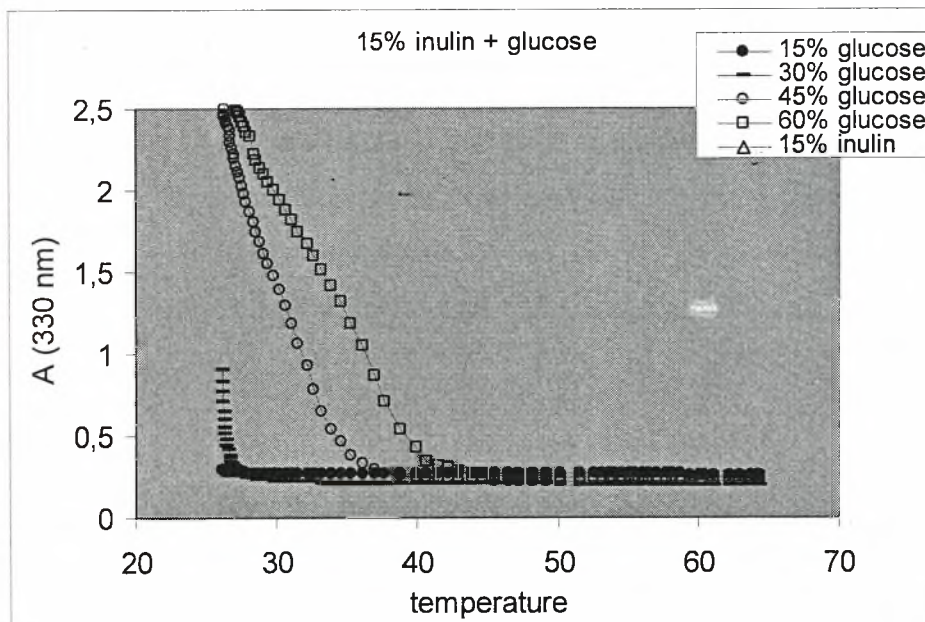
Μελετήσαμε την συμπεριφορά διαφορετικών συγκεντρώσεων σουκρόζης, γλυκόζης και φρουκτόζης (15%, 30%, 45%, 60% w/w) σε σταθερή συγκέντρωση ινουλίνης (15% w/w), μετρώντας την μεταβολή της απορρόφησης δειγμάτων στα 330 nm σε σχέση με την θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα αυτά απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα (1, 2, 3).



Διάγραμμα 1: Επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων σουκρόζης στην κρυστάλλωση της ινουλίνης. Η συγκέντρωση της ινουλίνης ήταν 15% w/w ενώ της σουκρόζης 15% (-), 30% (▪), 45% (○) και 60% (□) w/w.



Διάγραμμα 2: Επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων φρουκτόζης στην κρυστάλλωση της ινουλίνης. Η συγκέντρωση της ινουλίνης ήταν 15% w/w ενώ της φρουκτόζης 15% (▲), 30% (-), 45% (○) και 60% (□) w/w.



Διάγραμμα 3: Επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων γλυκόζης στην κρυστάλλωση της ινουλίνης. Η συγκέντρωση της ινουλίνης ήταν 15% w/w ενώ της γλυκόζης 15% (◆), 30% (-), 45% (○) και 60% (□) w/w.

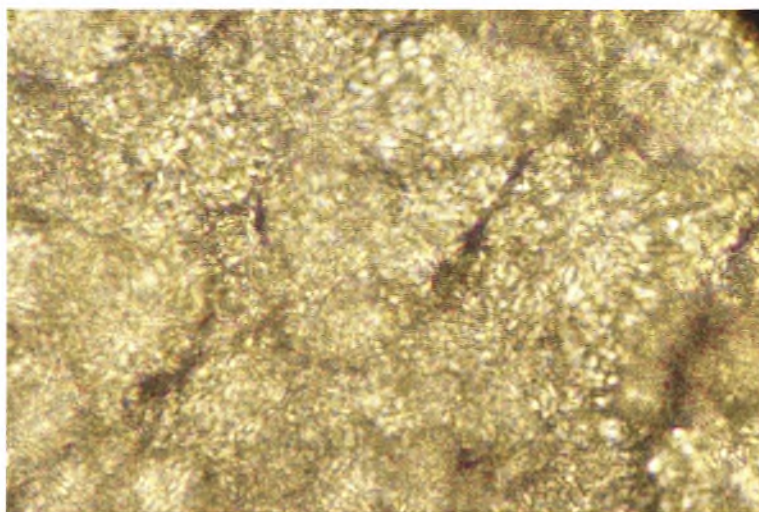
Διαφορετικοί συνδυασμοί συγκεντρώσεων συν-διαλυτών χρησιμοποιήθηκαν για να συσχετιστούν αυτοί με το σχηματισμό πηκτής και το χρόνο που ήταν απαραίτητος ώστε να εμφανιστεί αυτή. Από όλα τα διαγράμματα και τις γραφικές παραστάσεις γίνεται φανερό ότι η προσθήκη οποιασδήποτε συγκέντρωσης συν-διαλύτη οδηγεί στην πιο γρήγορη πήξη και κρυστάλλωση του διαλύματος σε σχέση με τα δείγματα όπου περιείχαν μόνο ινουλίνη. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο στα διάλυμα της σουκρόζης όπως αυτό είναι εμφανές από το διάγραμμα. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό καθώς η σουκρόζη είναι δισακχαρίτης οπότε τα μόρια της είναι μεγαλύτερα από τις άλλες ουσίες που χρησιμοποιήσαμε και αυτό συμβάλλει στον πιο γρήγορο σχηματισμό πηκτής. Σε όλες τις γραφικές παραστάσεις διακρίνουμε στις καμπύλες τρία τμήματα. Ένα ευθύγραμμο τμήμα που στις μικρές συγκεντρώσεις είναι μακρύτερο, σε ένα τμήμα όπου παρατηρείται απότομη ανοδική κλίση και σε ένα κατακόρυφο τμήμα όπου η απορρόφηση αυξάνει αισθητά. Αυτά τα τρία τμήματα προέρχονται από διαφορετική συμπεριφορά των πολυμερών των δειγμάτων σε κάθε φάση. Στο πρώτο τμήμα τα πολυμερή είναι διαλυτά στο νερό και τα μόρια της ινουλίνης κινούνται πολύ γρήγορα λόγω υψηλής κινητικής ενέργειας και δεν βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν πηκτή. Με την πάροδο του χρόνου και την πτώση της θερμοκρασίας το διάλυμα «ηρεμεί» και τα πολυμερή αρχίζουν να σχηματίζουν πηκτή. Η πηκτή είναι αποτέλεσμα της μειωμένης κίνησης των μορίων των σακχάρων που οδηγεί στη δημιουργία συσσωματωμάτων κρυστάλλων λόγω του φαινομένου του πακεταρίσματος των κρυστάλλων των σακχάρων. Αυτό συμβαίνει στο δεύτερο και το τρίτο τμήμα της καμπύλης. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις σακχάρων οπότε και σε αυξημένο αριθμό πολυμερών η σύνδεση των κατάλληλων πολυμερών προς σχηματισμό πηκτής είναι πιο εύκολη και γρήγορη.

Μορφή δειγμάτων

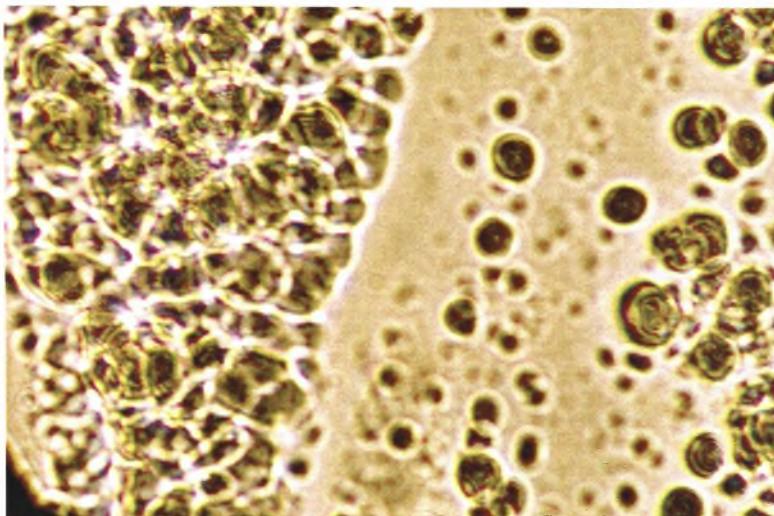
Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν σε αποστειρωμένους σωλήνες και μετά από ένα χρονικό διάστημα τριών ημερών φωτογραφήθηκαν σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Τα δείγματα είχαν τις εξής εμφανίσεις:

- Τα δείγματα συγκεντρώσεων 15% ινουλίνης και έως 45% συν-διαλύτη είχαν παρόμοια εμφάνιση. Σε όλα τα δείγματα υπήρχαν δύο φάσεις. Μια υγρή φάση και μια στερεή φάση. Η υγρή φάση στα δείγματα περιεκτικότητας 15% και 30% συν-διαλύτη ήταν θολή με λευκά κύματα. Στα δείγματα περιεκτικότητας 45% συν-διαλύτη η υγρή φάση ήταν υποκίτρινη και διαυγής. Η στερεή φάση στα δείγματα που περιείχαν 15% και 30% συν-διαλύτη η στερεή φάση ήταν λευκό ίζημα που είχε τη μορφή λεπτών φύλλων. Στα δείγματα με περιεκτικότητα 45% η στερεή φάση είχε μεγαλύτερη έκταση, ήταν λευκό ίζημα, παχύρρευστο αλλά μη κολλώδες.
- Στα δείγματα περιεκτικότητας 15% ινουλίνης και 60% συν-διαλύτη τα δείγματα ήταν μιας στερεής φάσης, μόνο στερεής. Ήταν λευκή ρευστή πηκτή με μορφή που έμοιαζε σε γαλακτομανάνη. Η πηκτή ήταν πορώδη και δεν ήταν κολλώδης.

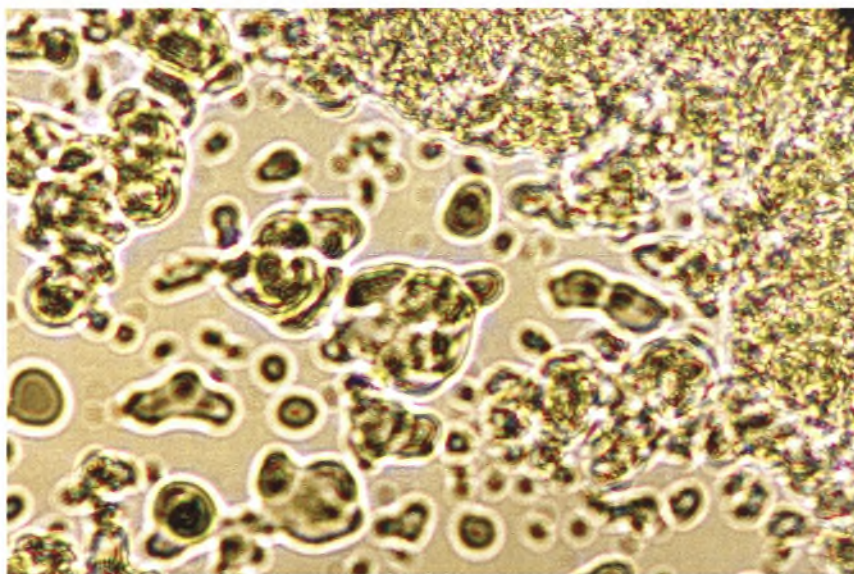
Οι φωτογραφίες που παρατίθενται παρακάτω είναι φωτογραφίες πηκτών ινουλίνης με συν-διαλύτες (κρυσταλλική ζάχαρη, φρουκτόζη και γλυκόζη). Οι φωτογραφίες λήφθηκαν με οπτικό μικροσκόπιο.



Εικόνα 3.1: Μορφή δικτύου διαλύματος 15% w/w ινουλίνης και 15% w/w γλυκόζης. Η φωτογραφία είναι από δείγμα που λήφθηκε από την στερεή φάση του δείγματος η οποία είχε την μορφή φλουδών και αποτελούσε λευκό ίζημα.

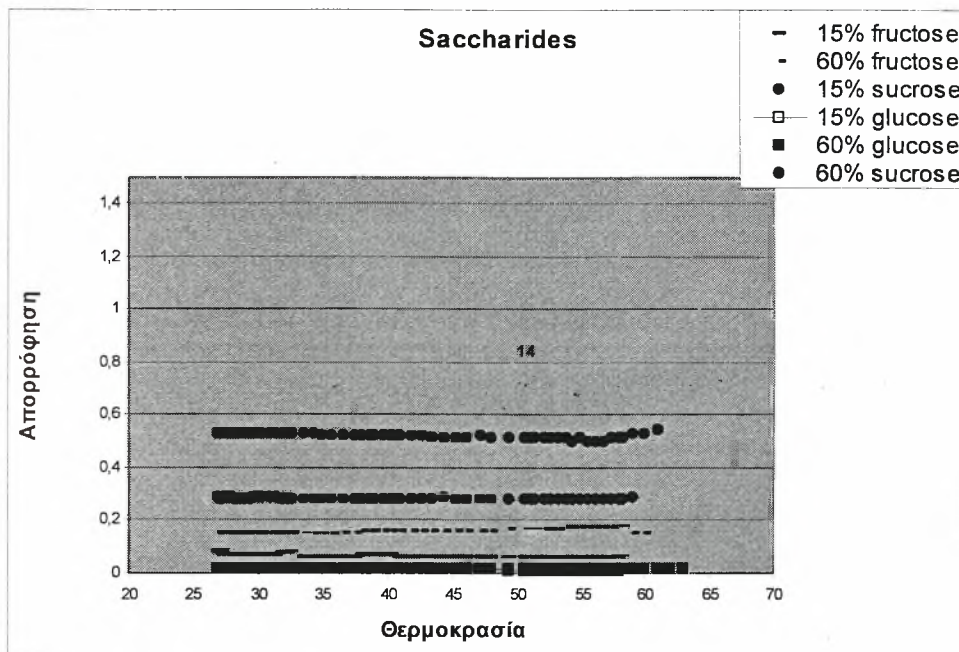


Εικόνα 3.2: Μορφή δικτύου διαλύματος 15% w/w ινουλίνης και 15% w/w φρουκτόζης. Η φωτογραφία είναι από δείγμα που λήφθηκε από την στερεή φάση του δείγματος η οποία είχε την μορφή φλουδών και αποτελούσε λευκό ίζημα.



Εικόνα 3.3: Μορφή δικτύου διαλύματος 15% w/w ινουλίνης και 15% w/w σουκρόζης. Η φωτογραφία είναι από δείγμα που λήφθηκε από την στερεή φάση του δείγματος η οποία είχε την μορφή φλουδών και αποτελούσε λευκό ίζημα.

Για να μελετήσουμε την συμπεριφορά των συν-διαλυτών παρασκευάσαμε δείγματα που περιείχαν μόνο σουκρόζη ή φρουκτόζη ή γλυκόζη και μετρήσαμε την απορρόφηση στα 330 nm σε σχέση με την θερμοκρασία.

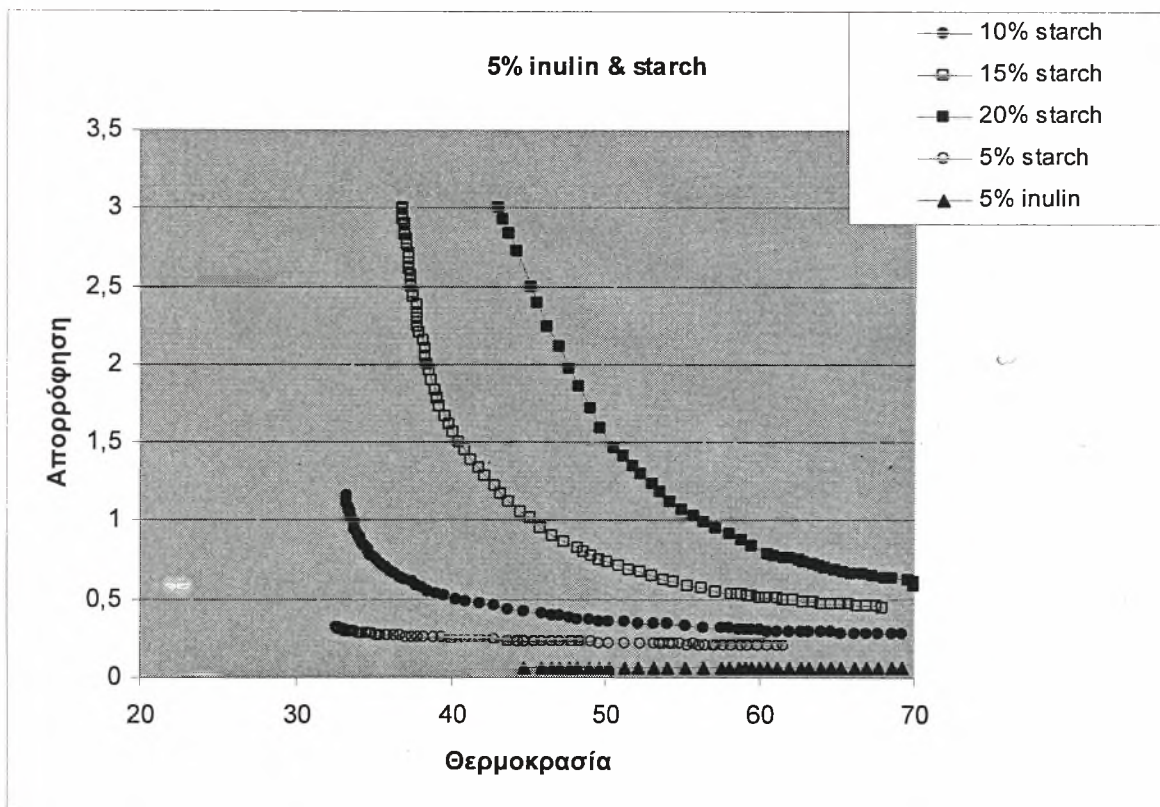


Διάγραμμα 4: Μεταβολή της απορρόφησης κατά την διάρκεια κρυστάλλωσης δειγμάτων συγκεκριμένης περιεκτικότητας σακχάρων.

Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των σακχάρων είναι όλες ευθείες γραμμές με χαμηλό σημείο απορρόφησης και χωρίς μεταβολή με την πτώση της θερμοκρασίας. Μικρότερη απορρόφηση και χωρίς μεταβολή έχει το δείγμα της γλυκόζης. Η γλυκόζη είναι ένα μικρό σάκχαρο και το πιο διαλυτό από όλα στο νερό. Αντίθετα η σουκρόζη που είναι και το μεγαλύτερο μόριο παρουσιάζει την υψηλότερη απορρόφηση με μικρή μεταβολή. Στα δείγματα δεν παρατηρήθηκε σχηματισμός πηκτής έστω και μετά από αποθήκευση όπως ήταν φυσικό.

3.2 Μελέτη της επίδρασης μιγμάτων αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

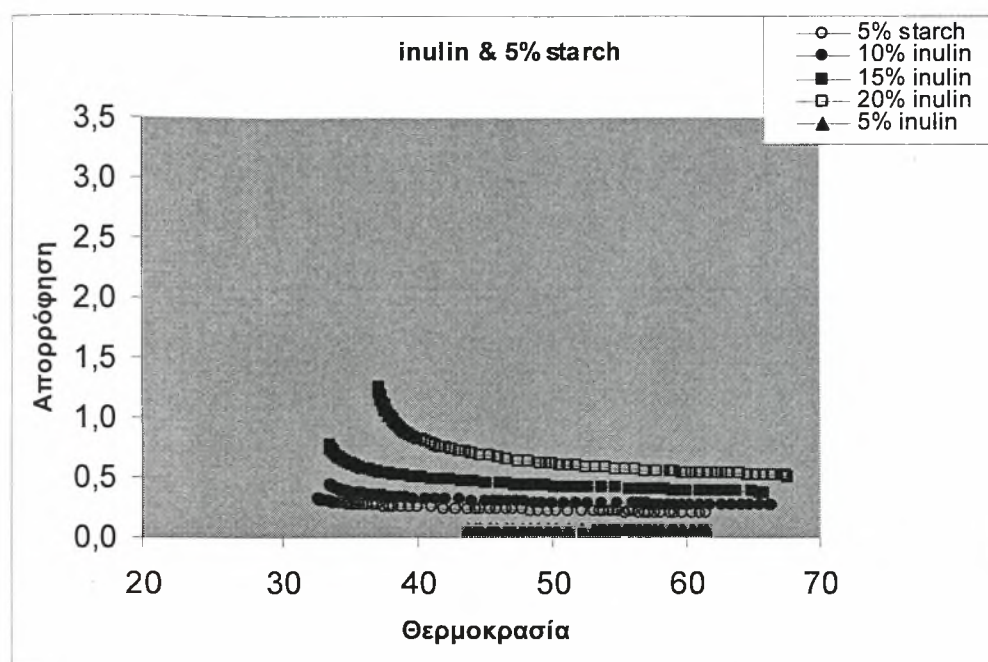
Για να μελετήσουμε την επίδραση του αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης παρασκευάσαμε δείγματα σταθερής συγκέντρωσης ινουλίνης (5% w/w) και διαφορετικών συγκεντρώσεων αμύλου (5%, 10%, 15%, 20% w/w) καθώς και δείγματα σταθερής συγκέντρωσης αμύλου (5% w/w) και διαφορετικών συγκεντρώσεων ινουλίνης (5%, 10%, 15%, 20% w/w). Μετρήσαμε την μεταβολή της απορρόφησης των δειγμάτων σε σχέση με την θερμοκρασία και τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στα παρακάτω δύο διαγράμματα (5, 6).



Διάγραμμα 5: Επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης. Η συγκέντρωση της ινουλίνης ήταν 5% (▲) w/w ενώ του αμύλου 5% (○), 10%(●), 15% (□) και 20% (*) w/w.

Παρατηρούμε ότι όλες οι συγκεντρώσεις αμύλου που προσθέτουμε στο διάλυμα της ινουλίνης οδηγεί σε επιτάχυνση του φαινομένου της κρυστάλλωσης και συνεπώς το σχηματισμό πηκτής. Επίσης, αυξανόμενη ποσότητα αμύλου έχει ως συνέπεια την πιο γρήγορη πήξη και κρυστάλλωση του δείγματος. Από τα διαγράμματα είναι εμφανές ότι οι καμπύλες παρουσιάζουν τρία διαφορετικά τμήματα. Ένα αρχικό ευθύγραμμο τμήμα όπου η απορρόφηση του δείγματος παραμένει σταθερή. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν οι κόκκοι του αμύλου θερμαίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες σε διάλυμα νερού διογκώνονται απορροφώντας νερό και η διεργασία της κρυστάλλωσης σταματά. Αντίστοιχα τα μόρια της ινουλίνης εμφανίζουν υψηλή κινητική ενέργεια οπότε είναι αδύνατη η εμφάνιση πηκτής. Ένα καμπύλο τμήμα όπου παρατηρείται απότομη αύξηση της απορρόφησης και ένα ευθύγραμμο κατακόρυφο τμήμα με σταθερή αύξηση της απορρόφησης. Με την πτώση της θερμοκρασίας το άμυλο αποκτά ξανά την ιδιότητα της κρυσταλλοποίησης. Για τα διαλύματα αμύλου είναι πάντα απαραίτητη επαρκής ποσότητα νερού ώστε να υπάρχει η δυνατότητα σωστής διαλυτοποίησης και η εμφάνιση κρυστάλλων (το νερό θα πρέπει να αποτελεί τα δύο τρίτα του διαλύματος).

Τα δείγματα στην αρχή είχαν όλα διαυγές χρώμα με την πάροδο του χρόνου και την πτώση της θερμοκρασίας από τους 70° C στους 25° C παρατηρήθηκε θολότητα του δείγματος και αύξηση του ιξώδους του και συνεπώς σχηματισμός πηκτής. Η μορφή των δειγμάτων μετά την αποθήκευση ήταν: λευκό ίζημα με παχύρρευστη μη κολλοειδής μορφή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις αμύλου το δείγμα ήταν πορώδες κάτι που οφείλεται στους κόκκους του αμύλου. Σε κάποια διαλύματα οι κόκκοι του αμύλου ήταν ορατοί.

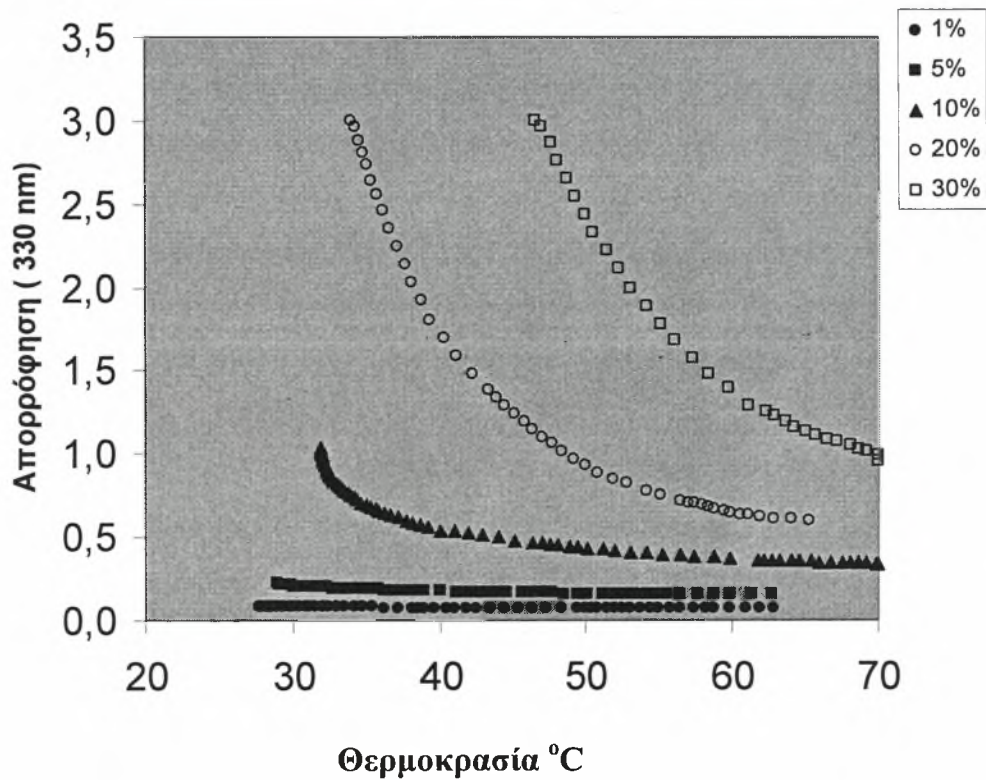


Διάγραμμα 6: Επίδραση σταθερής συγκέντρωσης αμύλου στην κρυστάλλωση της ινουλίνης. Η συγκέντρωση του αμύλου ήταν 5% w/w ενώ της ινουλίνης 5%(▲), 10%(●), 15% (■) και 20% (□) w/w.

Παρατηρούμε ότι σε όλα τα διαλύματα που περιείχαν άμυλο και ινουλίνη η μεταβολή της απορρόφησης ήταν μεγαλύτερη και η κρυστάλλωση επήλθε πιο γρήγορα σε σχέση με τα διαλύματα που περιείχαν μόνο ινουλίνη. Καθώς αυξάνεται φυσικά και η συγκέντρωση της ινουλίνης αυξάνεται και η απορρόφηση στα 330 nm. Οπότε στα συγκεκριμένα διαλύματα ο σχηματισμός των κρυστάλλων εμφανίζεται πιο νωρίς. Και σε αυτές τις καμπύλες παρατηρούμε τα τρία διαφορετικά στάδια τα οποία οφείλονται όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε διαφορετική κινητικότητα των μορίων του αμύλου και της ινουλίνης. Τα δείγματα παρουσιάζουν μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν αυξανόμενη συγκέντρωση αμύλου και σταθερή συγκέντρωση ινουλίνης. Αυτό συμβαίνει γιατί σε διαλύματα ινουλίνης-αμύλου όταν αυξάνεται η συγκέντρωση ινουλίνης τα διαλύματα γίνονται πιο διαλυτά.

Για να μελετήσουμε την συμπεριφορά του αμύλου παρασκευάσαμε δείγματα που περιείχαν μόνο άμυλο διαφορετικών συγκεντρώσεων (1%, 5%, 10%, 20%, 30%

w/w) και μετρήσαμε την απορρόφηση στα 330 nm σε σχέση με την θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. (7).



Διάγραμμα 7: Μεταβολή της απορρόφησης σε δείγματα συγκεντρώσεων αμύλου 1% (●), 5% (■), 10% (▲), 20% (○) και 30% (□) w/w.

Το διάλυμα που περιεκτικότητας 1% αμύλου δεν σχημάτισε δίκτυο πηκτής κατά την ψύξη του θερμού διαλύματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, δηλαδή κατά τη διάρκεια της φασματοφωτομέτρησης. Στα διαλύματα συγκεντρώσεων 10%, 20% και 30% παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση της απορρόφησης οπότε επιταχύνθηκε και ο χρόνος σχηματισμού κρυστάλλων και πηκτής.

4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ινουλίνη είναι ένας ευθύγραμμος πολυσακχαρίτης χαμηλού μοριακού βάρους που λόγω της διαμόρφωσης της μπορεί να κρυσταλλωθεί εύκολα σε ένυδρα συστήματα. Η παρουσία τριών γλυκοσιδικών δεσμών στο μόριο της, της προσδίδει μια ασυνήθιστα μεγάλη για πολυσακχαρίτη ευκινησία. (P. Giannouli et al., 2004).

Μελετώντας τη συμπεριφορά δυαδικών συστημάτων ινουλίνης με συν-διαλύτη αρχικά την κρυσταλλική ζάχαρη διαπιστώσαμε ότι σε μίγματα όπου η ινουλίνη είχε σταθερή συγκέντρωση 10 % w/w και μεταβάλλαμε την συγκέντρωση κρυσταλλικής ζάχαρης (συγκεντρώσεις 15%, 30%, 45%, 60%) μια μικρή και σταθερή αύξηση στην απορρόφηση των δειγμάτων. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι αυτή η απορρόφηση παρέμενε ίδια και για τις δύο ακραίες θερμοκρασίες του πειράματος οι οποίες ήταν 60⁰ C και 27⁰ C.

Σημαντική επίδραση στην εμφάνιση και στην επιτάχυνση του φαινομένου της πυρήνωσης είχαν και οι συγκεντρώσεις της ινουλίνης και των συν-διαλυτών στο μίγμα. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της ινουλίνης, ανεξάρτητα του συν-διαλύτη, στο μίγμα τόσο πιο απότομη είναι η εμφάνιση κρυστάλλων και συνεπώς η αύξηση της απορρόφησης του μίγματος. Δηλαδή, οι πιο συμπυκνωμένες πηκτές ινουλίνης είναι πιο συμπαγείς καθώς ο αριθμός των συσσωματωμάτων κρυστάλλων αυξάνεται. Παρόμοια επίδραση έχει και η αυξανόμενη συγκέντρωση γλυκόζης και σουκρόζης στα μίγματα. Αυξανόμενες συγκεντρώσεις (συγκεντρώσεις 45% και 60% w/w) βοηθούσαν στην πιο γρήγορη κρυστάλλωση του μίγματος η οποία παρατηρούνταν με την επιταχυνόμενη αύξηση της απορρόφησης του διαλύματος.

Η φρουκτόζη δεν παρουσίαζε παρόμοια συμπεριφορά με τη γλυκόζη και την σουκρόζη στα μίγματα. Παρατηρήθηκε ότι η φρουκτόζη επηρεάζει σε μικρό βαθμό την εμφάνιση της πυρήνωσης. Ακόμη και σε υψηλές συγκεντρώσεις η απορρόφηση του δείγματος παρουσίαζε μια σταθερή μικρή αύξηση. Η φρουκτόζη σε σχέση με την γλυκόζη και την σουκρόζη έχει τη μικρότερη επίδραση στην κρυστάλλωση της ινουλίνης. Είναι εμφανές η φρουκτόζη παίζει ρόλο αναστολέα στην κρυστάλλωση της ινουλίνης.

Αποδείχθηκε επίσης, ότι μίγματα υψηλής συγκέντρωσης ινουλίνης που περιείχαν γλυκόζη είχαν διαφορετική συμπεριφορά σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Παρατηρήθηκε δηλαδή διαφορετική συμπεριφορά της γλυκόζης στους 60°C και στους 27°C . Όπως και με την συγκέντρωση έτσι και με την θερμοκρασία δεν παρατηρήθηκε μεταβολή στην συμπεριφορά των δειγμάτων που σαν συν-διαλύτης περιεχότανε η φρουκτόζη. Η συμπεριφορά της φρουκτόζης ήταν σταθερή σε όλες τις θερμοκρασίες του πειράματος.

Όσον αναφορά τα μίγματα της ιουλίνης με το άμυλο παρατηρήθηκε ότι τα μίγματα αυτά είχαν κυρίως την μορφή όπου έχουν τα μίγματα σκέτου αμύλου. Δηλαδή, οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του αμύλου υπερισχύουν στο διάλυμα σε σχέση με αυτά τις ιουλίνης. Ιδιαίτερα στα μίγματα συγκέντρωσης 5% w/w ιουλίνης με άμυλο ακόμη και στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις αμύλου στο δείγμα η συμπεριφορά και οι ιδιότητες του δείγματος ήτανε ίδια με αυτή διαλυμάτων σκέτου αμύλου.

Με τις τεχνικές που χρησιμοποιήσαμε δεν μπορούμε να τεκμηριώσουμε ακριβή συμπεράσματα αλλά μπορέσαμε να εξάγουμε αρκετές ενδείξεις για το τι μπορεί να συμβαίνει. Για πλήρη συμπεράσματα θα έπρεπε να διεξαχθούν περαιτέρω ερευνητικά πειράματα με χρήση διαφορικού θερμιδόμετρου και με τεχνικές ρεολογίας μικρής και μεγάλης παραμόρφωσης.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Σκοπός της βιομηχανίας τροφίμων είναι η επαναληψιμότητα της καλής ποιότητας των προϊόντων που παρασκευάζει με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος. Όμως, η ινουλίνη εξαιτίας της διαμόρφωσης της θεωρείται πολυσακχαρίτης χαμηλού μοριακού βάρους με ασταθή συμπεριφορά.

Γενικά, τα τρόφιμα είναι πολυσύνθετα και πολυφασικά. Αποτελούνται από περισσότερα από ένα συστατικά και επομένως η συγκέντρωση της ινουλίνης που θα χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή κάποιου προϊόντος εξαρτάται από το είδος, τη φύση και την ποιότητα των υπόλοιπων συστατικών των τροφίμων. Αποδείχθηκε από τα πειράματα ότι αυξανόμενη συγκέντρωση ινουλίνης σε μίγματα με άλλα σάκχαρα αυξάνει την δημιουργία συσσωματωμάτων και το ρυθμό κρυστάλλων. Η δημιουργία συσσωματωμάτων μπορεί να είναι εξαιρετικά ανεπιθύμητη στη βιομηχανία τροφίμων.

Σε πολλά παρασκευάσματα είναι επιθυμητή ή ανεπιθύμητη η παρουσία ισχυρής πηκτής. Διαπιστώσαμε ότι σε μίγματα ινουλίνης το σάκχαρο που βοηθά στο γρήγορο σχηματισμό της πιο ισχυρής πηκτής είναι η σουκρόζη ενώ η πιο αδύνατη πηκτή σχηματίζεται από την ινουλίνη και την φρουκτόζη.

Από τα πειράματα επίσης διαπιστώθηκε ότι σε μίγματα ινουλίνης υψηλής συγκέντρωσης είναι πιο επιθυμητή η φρουκτόζη καθώς είναι το σάκχαρο που μεταβάλλει λιγότερο της ιδιότητες της ινουλίνης.

Η ινουλίνη είναι ένας πολυσακχαρίτης που όπως αναφέρθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διαιτητικά τρόφιμα γιατί δεν μεταβολίζεται από τον οργανισμό και περιέχει μηδέν θερμίδες. Όπως αποδείξαμε η φρουκτόζη είναι ένα σάκχαρο που αφήνει αμετάβλητες τις ιδιότητες της ινουλίνης και συγχρόνως έχει την ιδιότητα γλυκαντικής ύλης. Είδη ζαχαροπλαστικής με ινουλίνη αν αντικαταστήσουμε την κρυσταλλική ζάχαρη με φρουκτόζη η δομή και η υφή του προϊόντος δεν θα μεταβληθεί ενώ παράλληλα η θερμιδική αξία τους θα ελαττωθεί.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Altmann, N. Cooper-White, J.J. Dunstan, D.E.and Stokes J.R. (2004). Strong through to weak ‘sheared’ gels. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Volume 124*, 129-136.
- 2) Andre, I, Putaux, J., Chanzy, H., Taravel, F. R., Timmennans, J.W. & de Wit, D. (1996). Single crystals of inulin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 18, 195-204.
- 3) Atwell, W. A., Hood, L. E, Lineback, D. R., Varriano-Marston, E., and Zobel, H. F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World* 33:306-311.
- 4) Bot, A., Erle, D., Vreeker, R. & Agterof W. G. M. (2004). Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. *Food Hydrocolloids*, 18, 547-556.
- 5) Brennan, C. S., Kuri, V. & Tudorica C. M. (2004). Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry*, 86, 189-193.
- 6) Γεωργάτσος, Ι.Γ. (1995).Ο μεταβολισμός των υδατανθράκων. *Εισαγωγή στη βιοχημεία*, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, 141-211.
- 7) Giannouli, P. & Morris, E.R. (2003). Cryogelation of xanthan. *Food Hydrocolloids*, 17, 495-501.
- 8) Giannouli, P., Richardson, R.K. & Morris, E.R. (2004). Effect of polymeric co solutes on calcium pectinate gelation. Part 2. Dextrans and inulin. *Carbohydrate Polymers*, 55, 357-365.
- 9) Γιαννούλη, Π. (2004). Εργαστηριακή άσκηση 2. Μελέτη των συνθηκών σχηματισμού πηκτών πηκτίνης. *Βιοχημεία τροφίμων*, 14-25.
- 10) Cura, J.A., Jansson, P.-E., and Krisman, C.R. (1995). Amylose is not strictly linear. *Starch/staerke* 47:207-209.
- 11) Deutscher, M.P. (1990). Characterization of purified proteins. *Methods in enzymology Volume 182 Guide to protein purification*,. Academic Press. 646-659.
- 12) Drenth, J. (1999). Chapter 3. *Principles of protein X-ray crystallography*.

- Springer. 50-69.
- 13) El-Nagar, G. Clowes, G. Tudorica, C. M. Kuri V. and Brennan C.S. Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *ORIGINAL RESEARCH*,
- 14) Fleche, G. (1985). Chemical modification and degradation of starch. in: *Starch Conversion Technology*. G. M. A. Van Beynum and J. A. Roels, Eds. Marcel Dekker, New York. 73-99.
- 15) Hennelly, P.J. Dunne, P.G. O'Sullivan M. and O'Riordan E.D. (2005). Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering*,
- 16) Heyer, A. G. Schroer, B. Radosta, S. Wolff, D. Czaplá S. and Springer J. (1998). *Carbohydrate Research*, 313, 165-174.
- 17) Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydr. Res.* 147:342-347.
- 18) Hiorth, M. Kjøniksen, A. Knudsen, K.D. Sande, S. and Nyström B.(2005). Structural and dynamical properties of aqueous mixtures of pectin and chitosan. *European Polymer Journal*, 41, 1718-1728.
- 19) Iijima, M. Hatakeyama, T. and Hatakeyama, H. (2005). Swelling behaviour of calcium pectin hydrogels by thermomechanical analysis in water. *Thermochimica Acta*, 431, 74-78.
- 20) Καραϊσκάκης, Γ.Σ. (1998). Κεφάλαιο I: Ιδιότητες και δομή της ύλης. *Φυσικοχημεία*, 25-57.
- 21) Kardošová, A. Ebringerová, A. Alföldi, J. Nosál'ová, G. Fraňová, S. and Hřibálová, V.(2003) A biologically active fructan from the roots of *Arctium lappa* L., var. *Herkules*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 33, 135-140.
- 22) Kim, Y., Faqih, M. N. & Wang, S. S. (2001). Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*, 46, 135-145.
- 23) L'homme, C. Peschet, J. L. Puigserver A. and Biagini A.(2001). Evaluation of fructans in various fresh and stewed fruits by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection. *Journal of Chromatography A*, 920, 291-297.

- 24) Λιοδάκης, Σ. (2001). Σταθμική ανάλυση. *Αναλυτική χημεία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 217-225.
- 25) Λιοδάκης, Σ. (2001). Οπτικές τεχνικές ανάλυσης. *Αναλυτική χημεία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 242-246.
- 26) Majumder, S. R. Bandyopadhyay, T. and Ghosh, S. K. (2005). Mechanical stability of end-linked polymer gel. *Radiation Physics and Chemistry*, 74, 252-260.
- 27) Marudova, M. MacDougall, A. J. and Ring, S. G. (2004). Pectin–chitosan interactions and gel formation. *Carbohydrate Research*, 339, 1933-1939.
- 28) Mendoza, E., Garcia, M.L., Casas, C. & Selgas, M.D. (2001). Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. *Meat Science*, 57, 387-393.
- 29) Μυλωνά Φ.Β. (2002). Εργαστηριακή άσκηση 1: Χρήση μικροσκοπίου και απλή χρώση μικροοργανισμών. *Εργαστηριακές ασκήσεις και εφαρμογές μικροβιολογίας*, 5-8.
- 30) O' Regan, E. I. (2002). An investigation on a polysaccharide: Inulin. *A fourth year project for bachelor in Food Science*, University College Cork, Ireland.
- 31) Ritsema, T. and Smeekens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Current Opinion in Plant Biology*, 6, 223-230.
- 32) Shchipunov, Y. A. Karpenko, T. Y. Krekoten, A. V. and Postnova, I. V. (2005). Gelling of otherwise nongelable polysaccharides. *Journal of Colloid and Interface Science*, 287, 373-378.
- 33) Smith, P.S. (1982) Starch derivatives and their use in foods. *Food Carbohydrates*. D. R. Lineback and G. E. Inglett, Eds. AVI, Westport, CT. 237-269.
- 34) Σμοκοβίτης, Α. (2004). Ουροποιητικό σύστημα. *Φυσιολογία*, Εκδοτικός οίκος αδελφών Κυριακίδη α.ε. 687-689.
- 35) Spiller, G.A. (1994). Dietary Fiber in Health and Nutrition. Boca Raton, Florida: *CRC Press*,
- 36) Staffolo, M. D., Bertola, N., Martino, M. & Bevilacqua, Y. A. (2004). Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, 14, 263-268.
- 37) Stryer, L. (1997). Υδατάνθρακες. *Βιοχημεία I*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 347-364.
- 38) Vander, M.D. (2001). Κεφάλαιο2: Η χημική σύσταση του σώματος.

Φυσιολογία του ανθρώπου, Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης. 41-57.

39) Zobel, H. F. (1988). Molecules to granules: A comprehensive starch review.

Starch/Staerke 40:4-1:-50.

