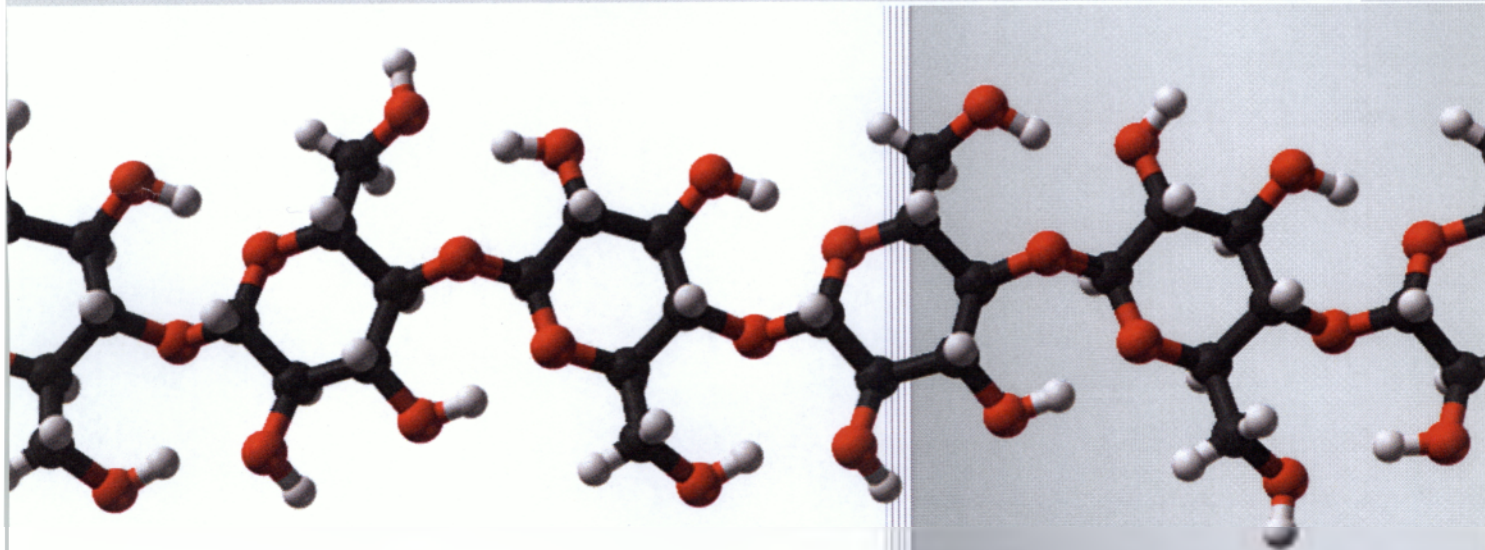


2010

ΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ  
ΤΜΗΜΑ  
ΕΚΔΟΣΕΩΝ & ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ

# β-γλυκάνες

βιοσύνθεση, απομόνωση,  
ιδιότητες και πιθανές  
εφαρμογές τους



Αντωνομανωλάκης Μιχάλης

A.M. 2003168

Α.Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας

Σχολή: Σ.Τ.Ε.Γ.

Τμήμα: Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων

ΣΤΕΓ(ΤΕΓΕΠ)  
Π.240

Επιβλέπων Καθηγητής: Φαρμάκης Λάμπρος

*Η μελέτη είναι αφιερωμένη στους  
γονείς μου, την οικογένειά μου και  
τους ανθρώπους που είναι γύρω μου,  
για την κατανόηση, την αγάπη και  
την υλική συμπαράσταση που μου  
παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των  
σπουδών μου.*

# Περιεχόμενα

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Εισαγωγή .....                                                                     | 6  |
| 1.1. Υδατάνθρακες .....                                                               | 6  |
| 1.2. Πολυσακχαρίτες.....                                                              | 6  |
| 1.3. Ιστορία της β-γλυκάνης .....                                                     | 7  |
| 1.4. Γενικά περί β-γλυκανών .....                                                     | 11 |
| 1.4.1. β-γλυκάνη από κριθάρι .....                                                    | 11 |
| 1.4.2. β-γλυκάνη από βρώμη .....                                                      | 12 |
| 1.4.3. β-γλυκάνη από μανιτάρια .....                                                  | 13 |
| 1.5. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εφαρμογών β-γλυκανών .....                              | 15 |
| 2.1. Μοριακή δομή β- γλυκανών .....                                                   | 19 |
| 2.2. Φυσικές ιδιότητες β-γλυκανών .....                                               | 24 |
| 2.2.1. Διαλυτότητα-συμπεριφορά σε διαλύματα .....                                     | 25 |
| 2.2.2 Ικανότητα σχηματισμού πηκτωμάτων .....                                          | 26 |
| 2.3. Απομόνωση β-γλυκανών .....                                                       | 30 |
| 2.4. Βιοσύνθεση β-γλυκανών.....                                                       | 33 |
| 3.1 Λειτουργικά τρόφιμα και β-γλυκάνες.....                                           | 37 |
| 3.2. Ευεργετικές επιδράσεις β-γλυκανών στην υγεία .....                               | 38 |
| 3.2.1. Επιδράσεις των β-γλυκανών στο μεταβολισμό των λιπιδίων .....                   | 39 |
| 3.2.2. Επιδράσεις των β-γλυκανών στο μεταβολισμό των υδατανθράκων .....               | 42 |
| 3.3. Άλλες φυσιολογικές δράσεις .....                                                 | 44 |
| 3.4. Άλλες ευεργετικές επιδράσεις β-γλυκανών .....                                    | 45 |
| 3.4.1 Εφαρμογή β-γλυκανών ως μιμητικά λίπους, σταθεροποιητές και παχυντοποιητές ..... | 47 |
| 3.4.2. Εφαρμογή σε μη- γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν ως βάση τη βρώμη .....        | 48 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.3 Εφαρμογή σε προϊόντα αρτοποιίας.....                              | 48 |
| 3.4.4 Εφαρμογή σε ζυμαρικά.....                                         | 49 |
| 3.4.5. Εφαρμογή σε γαλακτοκομικά προϊόντα .....                         | 51 |
| 3.5 β-γλυκάνη ως πρεβιοτικές ίνες .....                                 | 54 |
| 3.6 Ένζυμα & Γλυκάνες. Η καλύτερη άμυνα του ανθρώπινου οργανισμού. .... | 56 |
| 3.7 Πειράματα β-γλυκάνης για τη θεραπεία παθήσεων του δέρματος .....    | 58 |
| Βιβλιογραφία .....                                                      | 61 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Εικόνα 1 : η β-γλυκάνη είναι ένα από τα βασικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος των μυκήτων.....</i>                                                                                                                                                                                              | <i>14</i> |
| <i>Εικόνα 2: σχηματική δομή κυτταρικού τοιχώματος μύκητα.....</i>                                                                                                                                                                                                                                       | <i>15</i> |
| <i>Εικόνα 3 : γενικευμένη δομή β-γλυκανών .....</i>                                                                                                                                                                                                                                                     | <i>19</i> |
| <i>Εικόνα 4: στερεοχημικός τύπος β-γλυκανών .....</i>                                                                                                                                                                                                                                                   | <i>21</i> |
| <i>Εικόνα 5: τριμερή και τετραμερή δομικά συστατικά β-γλυκανών .....</i>                                                                                                                                                                                                                                | <i>21</i> |
| <i>Εικόνα 6:Παράδειγμα γραμμικής β-1,6 γλυκάνης .....</i>                                                                                                                                                                                                                                               | <i>23</i> |
| <i>Εικόνα 7:Παράδειγμα γραμμικής β-1,3-1,6 γλυκάνης .....</i>                                                                                                                                                                                                                                           | <i>23</i> |
| <i>Εικόνα 8:Παράδειγμα γραμμικής β-1,3 γλυκάνης .....</i>                                                                                                                                                                                                                                               | <i>24</i> |
| <i>Εικόνα 9: Προτεινόμενα μοριακά μοντέλα σχηματισμού πηκτής από (1→3), (1→4)-β-D-γλυκάνες (οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν δεσμό υδρογόνου) α)Fincher και Stone 1986, b)Bohm και Kulicke 1999.....</i>                                                                                            | <i>27</i> |
| <i>Εικόνα 10:Μεταβολή της ελαστικής συνιστώσας G' σε συνάρτηση με το χρόνο για δείγματα β-γλυκάνης κριθαριού διαφορετικής μοριακής μάζας σε συγκέντρωση 10%(w/v), και οι τιμές του συντελεστή αύξησης της ελαστικότητας (IH) ως μέτρο του ρυθμού σχηματισμού πηκτής (Bohm &amp; Kulicke, 1999).....</i> | <i>28</i> |
| <i>Εικόνα 11: Απομόνωση β-γλυκάνης από συμπύκνωμα β-γλυκάνης από αλεύρι βρώμης (Σεραφειμίδου 2008). .....</i>                                                                                                                                                                                           | <i>33</i> |
| <i>Εικόνα 12: Φτέρνα ασθενούς με ατοπική δερματίτιδα στην αρχή της μελέτης (Α) και μετά από ένα μήνα θεραπείας με μια υποαλλεργική κρέμα που περιείχε αλεύρι βρώμης (Β). .....</i>                                                                                                                      | <i>60</i> |

## Περίληψη

Οι β-γλυκάνες είναι σύνθετοι πολυσακχαρίτες με δομική μονάδα τη γλυκόζη. Αποτελούν σημαντικό συστατικό, το οποίο απαντάται κυρίως στα κυτταρικά τοιχώματα του κριθαριού και της βρώμης και λιγότερο στα υπόλοιπα σιτηρά. Μελέτες της δομής και των ιδιοτήτων των γλυκανών άρχισαν να δημοσιεύονται από τους ερευνητές στην προσπάθεια να ταυτοποιηθεί ο ρόλος τους στη βιομηχανία. Από την άλλη πλευρά, ο ευεργετικός ρόλος των β-γλυκανών στη διατροφή του ανθρώπου αποδεικνύεται ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Σκοπός της μελέτης είναι η αποδελτίωση της βιβλιογραφίας και ο εντοπισμός των σημαντικότερων αναφορών που σχετίζονται με τη βιοσύνθεση, την απομόνωση, τις ιδιότητες και τις πιθανές εφαρμογές τους. Οι β-γλυκάνες ανήκουν στην κατηγορία των διαιτητικών ινών οι οποίες δεν είναι πεπτές από τον ανθρώπινο οργανισμό, λόγω της έλλειψης του σχετικού ενζύμου (γλυκανάση) που υδρολύει το β-γλυκοζιτικό δεσμό. Διατροφικές μελέτες έδειξαν ότι, αύξηση των διαλυτών διαιτητικών ινών, όπως οι διαλυτές γλυκάνες, μειώνουν τον κίνδυνο που προκαλούν τα αυξημένα επίπεδα χοληστερόλης του αίματος, ρυθμίζουν την ανταπόκριση σε γλυκόζη και ινσουλίνη και την υψηλή αρτηριακή πίεση.

# Κεφάλαιο 1

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες είναι μια μεγάλη τάξη οργανικών ενώσεων που υπάρχουν στο φυτικό και στο ζωικό κόσμο. Οι υδατάνθρακες είναι κατ' εξοχήν προϊόντα του φυτικού κόσμου, παράγονται στα φυτά με τη φωτοσύνθεση και η παρουσία τους είναι σημαντικότερη, ώστε να αντιστοιχεί με τη σημασία των πρωτεϊνών στο ζωικό κόσμο. Στους ζωικούς οργανισμούς η σύνθεση υδατανθράκων είναι περιορισμένη και αυτοί προσλαμβάνονται με την τροφή για να χρησιμεύσουν κυρίως ως πηγή ενέργειας. Οι υδατάνθρακες κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τη μοριακή τους σύσταση ως ακολούθως:

1. **μονοσακχαρίτες** ή απλά σάκχαρα, ενώσεις που δε μπορούν να υδρολυθούν σε απλούστερους υδατάνθρακες
2. **ολιγοσακχαρίτες**, οι οποίοι υδρολυόμενοι παρέχουν 2-6 μόρια απλών σακχάρων.
3. **πολυσακχαρίτες**, οι οποίοι υδρολυόμενοι παρέχουν πάνω από 6 μόρια απλών σακχάρων.

Οι μονοσακχαρίτες και οι δισακχαρίτες έχουν γλυκιά γεύση διάφορης έντασης, ενώ οι πολυσακχαρίτες είναι άγλυκοι. Γενικά οι υδατάνθρακες είναι λευκά στερεά διαλυτά στο νερό, εκτός ορισμένων πολυσακχαριτών, και ελαφρά διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες.

### 1.2. Πολυσακχαρίτες

Πολλά χρόνια πριν ακόμη ο άνθρωπος αρχίσει να χρησιμοποιεί τα πλαστικά και συνθετικά πολυμερή, η φύση χρησιμοποιούσε τα φυσικά πολυμερή για να κάνει τη ζωή ευκολότερη.

Ένα είδος φυσικού πολυμερούς είναι και οι πολυσακχαρίτες, οι οποίοι είναι ομοπολυμερή ή συμπολυμερή σακχάρων. Οι ενώσεις αυτές οικοδομούνται από

πολλές εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες μονάδες μονοσακχάρων ανά μόριο μέσω του πολυμερισμού.

Οι πολυσακχαρίτες αποτελούνται από πολλά μόρια μονοσακχαριτών ενωμένων μεταξύ τους με γλυκοζιτικό δεσμό. Οι ενώσεις αυτές είναι μεγάλου μοριακού βάρους, είναι ελαφρά διαλυτές ή αδιάλυτες στο κρύο νερό, ενώ με θέρμανση κάνουν κολλοειδή διαλύματα. Δεν έχουν γλυκιά γεύση και δεν παρουσιάζουν ιδιότητες που να προέρχονται από αλδεϋδομάδες ή κετονομάδες.

Όταν ο πολυσακχαρίτης αποτελείται από ένα μόνο είδος μονοσακχαριτών, τότε καλείται **ομοπολυσακχαρίτης**, ενώ όταν αποτελείται από διάφορα είδη μονοσακχαριτών καλείται **ετεροπολυσακχαρίτης**.

Οι πολυσακχαρίτες εξυπηρετούν ουσιαστικά δύο σκοπούς στη φύση και διακρίνονται σε δυο ομάδες. Η μια ομάδα των αδιάλυτων, όπως είναι η κυτταρίνη και η χιτίνη, αποτελούν τη στηρικτική σκληρή δομή των φυτών και ορισμένων ασπόνδυλων ζώων και η άλλη ομάδα περιλαμβάνει σχετικά μαλακά συστατικά, όπως το άμυλο, το γλυκογόνο και άλλα που αποτελούν μορφές εναποθήκευσης απλών σακχάρων.

Οι σημαντικότεροι πολυσακχαρίτες της φύσης είναι το άμυλο, η κυτταρίνη, η ινσουλίνη, οι πηκτίνες (φυτικής προέλευσης), το γλυκογόνο (ζωικής προέλευσης), οι δεξτρίνες (παράγονται από τις ζύμες και τα βακτήρια) και το άγαρ από τα θαλάσσια φύκη.

### 1.3. Ιστορία της β-γλυκάνης

Από τη δεκαετία του 1940 επιστήμονες ερευνούν τις ιδιότητες των β-γλυκανών, έχοντας συγκεντρώσει πλήθος στοιχείων για τις αξιοσημείωτες ικανότητες μιας απλής ουσία, που προέρχεται από μαγιά και την αποτελεσματική της δράση στο να ενεργοποιεί την ανοσολογική απόκριση του οργανισμού (<http://www.betaglucan.org/>). Έχουν γίνει έρευνες στη κατεύθυνση της διατροφικής ενδυνάμωσης, σε θεραπείες κατά του καρκίνου, ελκών, έκθεσης στην ακτινοβολία, λοιμώξεων.

Η ιστορία της β-γλυκάνης αρχίζει με τη μελέτη του Zymosan, ένα φάρμακο που χρησιμοποιείται σε όλη την Ευρώπη. Το Zymosan είναι άνοσος διεγέρτης και αποτελείται από ένα ακατέργαστο μείγμα υλικών των κυτταρικών τοιχωμάτων των ζυμομυκήτων, συμπεριλαμβανομένων πρωτεϊνών, λιπιδίων και πολυσακχαριτών. Ο

Louis Pillemer και οι συνεργάτες του μελέτησαν πρώτα το φάρμακο Zymosan τη δεκαετία του 1940 και ανακάλυψαν ότι το Zymosan ήταν σε θέση να ενισχύσει και να ρυθμίσει το ανοσοποιητικό σύστημα. Το Zymosan ενεργοποιεί την ανοσολογική απόκριση του οργανισμού, ανεξάρτητα από τον τύπο του εισβολέα ή των παθογόνων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των ιών, βακτηρίων, μυκήτων, παρασίτων και όγκων.

Στη δεκαετία του 1960, ο Nicholas DiLuzio πραγματοποίησε πρόσθετη έρευνα στο Tulane University ανακαλύπτοντας ότι το ενεργό συστατικό εντός της συνιστώσας των ναρκωτικών του Zymosan ήταν ο πολυσακχαρίτης  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-D-γλυκάνη, με μακρά αλυσίδα. Το γεγονός ότι η  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνη έχει ευεργετικό ρόλο στη θεραπεία του καρκίνου ανακαλύφθηκε το 1975 από τον Peter W. Mansell και τους συνεργάτες του, όπως αναφέρθηκε στην Επιθεώρηση του Εθνικού Ινστιτούτου για τον Καρκίνο. Σε εννέα ασθενείς με οζίδια κακοήθους καρκίνου του δέρματος χορηγήθηκε ενδοφλέβια  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνη. Το μέγεθος των αλλοιώσεων του καρκίνου ήταν «εντυπωσιακά μειωμένο σε τόσο σύντομη χρονική περίοδο όπως οι πέντε ημέρες» σύμφωνα με το Dr Mansell.

Σύμφωνα με έρευνα στο Πανεπιστήμιο του Harvard στη δεκαετία του 1980 από τον Joyce Czop, βρέθηκε ότι υπάρχει συγκεκριμένος χώρος υποδοχέα για τη βήτα γλυκάνη που ταιριάζει με ένα σημείο στην επιφάνεια των μακροφάγων (ανοσοποιητικό σύστημα των λευκών αιμοσφαιρίων). Ο υποδοχέας έχει μέγεθος περίπου 1μm. Η  $\beta$ -γλυκάνη στη συνέχεια λειτουργεί ως κλειδί που, όταν τοποθετηθεί στο χώρο ως υποδοχέας, ενεργοποιεί τα μακροφάγα. Τα μακροφάγα κυττάρα του ανοσοποιητικού ενεργοποιούν τις λειτουργίες αυτού του απίστευτου συστήματος που εξουδετερώνει αντιγόνα, παθογόνους μικροοργανισμούς και κυτταρικά υπολείμματα. Εν ολίγοις, τα μακροφάγα ενεργοποιούνται από την επαφή του υποδοχέα με μια  $\beta$ -γλυκάνη, με μια σειρά γεγονότων που μετατρέπει τα κύτταρα σε «ένα οπλοστάσιο άμυνας», σύμφωνα με τον Dr Czop.

Στοιχεία από μελέτες σε ζώα δείχνουν ότι οι  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνες μπορεί να μειώσουν το ποσό των συμβατικών αντιβιοτικών που απαιτούνται στις μολυσματικές παθήσεις, όπως περιτονίτιδα (φλεγμονή της μεμβράνης που περιβάλλει την κοιλιακή και πυελική κοιλότητα). Σε ποντίκια μολυσμένα με βακτήρια για την παραγωγή περιτονίτιδας, ο συνδυασμός της  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνης και ενός πρότυπου αντιβιοτικού αύξησε μακροπρόθεσμα την επιβίωση κατά 56%. Ο αριθμός των βακτηρίων ήταν

αισθητά χαμηλότερος εντός οκτώ ωρών από την ένεση και ο αριθμός των βασικών κυττάρων του ανοσοποιητικού συστήματος ήταν αισθητά υψηλότερος.

Ο Dr Browder επίσης παρουσίασε έκθεση σχετικά με τα οφέλη της χρήσης  $\beta$ 1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνης ώστε να τονώνουν την ανοσολογική αντίδραση και να προλαμβάνουν τις λοιμώξεις σε ασθενείς που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση από φυσικά τραύματα. Στη μελέτη του, 21 ασθενείς έλαβαν  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνη ενδοφλεβίως κάθε μέρα για μία εβδομάδα. Ο Dr Browder ανέφερε ότι η συχνότητα εμφάνισης λοιμώξεων σε αυτούς τους ασθενείς ήταν σημαντικά ελαττωμένη (μόνο 9,5% εμφάνισαν τις επιπτώσεις της λοίμωξης) σε σύγκριση με το ποσοστό μεταξύ εκείνων που δεν έλαβαν θεραπεία γλυκάνης (49%). Οι ασθενείς που έλαβαν επίσης γλυκάνη παρατήρησαν μεγαλύτερη αύξηση των βασικών παραγόντων του ανοσοποιητικού συστήματος εντός τριών ημερών και πολύ χαμηλότερο ποσοστό θνησιμότητας (0% έναντι 29%), σε σχέση με την ομάδα που δεν είχαν λάβει  $\beta$ -γλυκάνη.

Αν και οι περισσότερες έρευνες πραγματοποιήθηκαν *in vitro* ή ενδοφλέβια, το 1989, ο Dr Phil Wyde στο Baylor College of Medicine, επιβεβαίωσε ότι η αποτελεσματικότητα των ληφθέντων καθαρών σωματιδίων  $\beta$ -γλυκάνης από το στόμα ήταν ίση ή καλύτερη όσο αναφορά τα μακροφάγα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος σε σύγκριση με τη διαλυτή γλυκάνη που χορηγήθηκε ενδοφλεβίως. Η έρευνα του Baylor College of Medicine ήταν σημαντική, καθώς διαπιστώθηκε η αποτελεσματικότητα των  $\beta$ -γλυκανών ενισχύοντας την ανοσολογική απάντηση και βοήθησε να καθοριστεί μια πολύ μικρή δόση σε mg ως η κατάλληλη δόση. Επιβεβαιώθηκε η δυνατότητα ενδυνάμωσης του ανοσοποιητικού από  $\beta$ -γλυκάνη που προέρχεται από μαγιά και λαμβάνεται από το στόμα, γεγονός που την καθιστά σημαντική γιατί είναι καθαρή αρτοποιητική ζύμη. Σύμφωνα με αυτό το βήμα θα μπορούσαν να διαθέσουν στο κοινό τη  $\beta$ -γλυκάνη ως διατροφικό συμπλήρωμα διατροφής σε χαμηλές τιμές και με ευκολία στη λήψη από το στόμα σε σχέση με την ενδοφλέβια χορήγηση.

Ο Donald Carrow, ο οποίος εκτέλεσε κλινικές δοκιμές με  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-D-γλυκάνη σε ένα συμπλήρωμα διατροφής (NSC-24) σε ασθενείς του λάμβαναν θεραπεία με ακτινοβολία για τον καρκίνο του μαστού, σημειώνει περαιτέρω ότι η ιδιαιτερότητα αυτού του υποδοχέα των μακροφάγων μπορεί να εξηγήσει γιατί η  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνη "είναι ένα από τα πιο ισχυρά διεγερτικά της ανοσολογικής αντίδρασης." Ο Dr Carrow έχει δοκιμάσει τη  $\beta$ -1 $\rightarrow$ 3-γλυκάνη σε κλινικές συνθήκες στην πράξη, όπως ο

καρκίνος και τα έλκη. Ο Dr Caplow αναφέρει επίσης ότι χορήγησε 10 mg β-1→3-γλυκάνης σε ασθενή καρκίνου του δέρματος και εντός τριών μηνών ο όγκος είχε εξαφανιστεί εντελώς. Πέντε ασθενείς με καρκίνο του μαστού που υποβάλλονταν σε ακτινοβολία έλαβαν 7,5 mg ημερησίως β-1→3-γλυκάνης και είχαν απαλλαγή από τραυματισμούς στο δέρμα από την ακτινοβολία. Με την εφαρμογή β-1→3-γλυκάνης τοπικά σε έλκη δύο ασθενών, ο Dr Caplow ήταν σε θέση να τους θεραπεύσει εντελώς εντός δύο μηνών. Οι δυνατότητες της β-1→3-γλυκάνης ως ενισχυτικό της ανοσολογικής απάντησης και την αντιμετώπιση των λοιμώξεων είναι ιδιαίτερα τεκμηριωμένες. Οι επιστήμονες στο κρατικό πανεπιστήμιο του Sao Paulo στη Βραζιλία, δοκίμασαν την ικανότητα της β-1→3-γλυκάνης για την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος κατά των μυκητιασικών λοιμώξεων του δέρματος. Χορηγήθηκε β-1→3-γλυκάνη σε εννέα ασθενείς με σοβαρές λοιμώξεις από μύκητες, ενδοφλεβίως μία φορά την εβδομάδα για ένα μήνα, ακολουθούμενη από μηνιαίες δόσεις για 11 μήνες. Οι ασθενείς έλαβαν επίσης ένα συμβατικό αντιμυκητιασικό φάρμακο. Υπήρξε μόνο μία περίπτωση υποτροπής μεταξύ των ασθενών αυτών, ενώ μια άλλη ομάδα οκτώ ασθενών που υποβλήθηκαν σε θεραπεία μόνο με το αντιμυκητιασικό φάρμακο είχε πέντε υποτροπές. Οι ερευνητές παρατήρησαν επίσης ότι οι εννέα ασθενείς της πρώτης ομάδας είχαν πολύ χαμηλότερα υπολείμματα μυκητιασικής λοίμωξης στο αίμα τους, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι οι ασθενείς που έλαβαν γλυκάνη, παρά το γεγονός ότι ήταν πιο σοβαρά άρρωστοι, είχαν μια ισχυρότερη και πιο ευνοϊκή ανταπόκριση στη θεραπεία.

Στη δεκαετία του '90 έγιναν πολλές μελέτες που σχετίζονται με τη διαδικασία παραγωγής της β-γλυκάνης και την περιποίηση του δέρματος. Ο Dr Leonid Ber πραγματοποίησε επιπλέον έρευνες κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου που αφορούσαν την ενσωμάτωση της βήτα γλυκάνης με τη βιταμίνη C.

Από το 1998 έως και το 2009, σημαντικές ιατρικές έρευνες συνεχίζονται στο Τμήμα Μικροβιολογίας της Ιατρικής Σχολής στο Πανεπιστήμιο της Νεβάδα υπό τη διεύθυνση του Kenneth W. Hunter, Jr, σε τομείς όπως οι τρόποι ενδυνάμωσης, τα εμβόλια και ο καρκίνος. Μία από τις πολλές τεχνικές που εφαρμόστηκαν από τον Dr Kenneth W. Hunter, Jr και άλλους, όπως ο Frank M., απέδειξαν ότι η χορήγηση μικροσωματιδίων β-γλυκάνης σε δόσεις των 10 έως 100 mg ή και λιγότερο μέσω μιας μεθόδου ειδικής επεξεργασίας και προσμίξεως με νερό, αποδίδει σημαντικά αποτελέσματα κατά την πέψη. Εκτενή μελέτη έχει πραγματοποιηθεί για τα ποσοστά απορρόφησης, τις δόσεις και την αποτελεσματικότητα των μικρών μορίων β-

1→3/1→6 γλυκάνης που λαμβάνονται από το στόμα και επεξεργάζονται μέσω της πεπτικής οδού στις πλάκες Peyer στο λεμφικό σύστημα.

## 1.4. Γενικά περί β-γλυκανών

Η β-γλυκάνη είναι ένα σύνθετο ομοπολυμερές της γλυκόζης, το οποίο βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα των ζυμών, των μυκήτων και δημητριακών φυτών, όπως η βρώμη, το κριθάρι και στα λεγόμενα φαρμακευτικά μανιτάρια, όπως το *Phellinus linteus* ή το *Sparassis crispa*. (Jung et al., 2007; Kim et al., 2006). Μερικές πρόσφατες έρευνες έδειξαν ότι η β-γλυκάνη έχει διάφορες επιδράσεις, όπως η αναστολή της επέκτασης των όγκων, η παραγωγή νιτρικού οξέος, η αύξηση της αιματοποίησης και επαγωγή της απελευθέρωσης μακροφάγων από παράγοντες που ελευθερώνονται στα τραύματα. Οι ευεργετικές επιδράσεις της β-γλυκάνης στο ανοσοποιητικό σύστημα και η έλλειψη παρενεργειών έχει αυξήσει το ενδιαφέρον για τη χρήση της. Πρόσφατα βρέθηκε ότι είναι ένας ισχυρός τροποποιητής της ανοσοποιητικής απόκρισης (Jung et al., 2007).

Η β-γλυκάνη είναι ο τύπος φυτικών ινών που χαρακτηρίζονται ως μη εύπεπτοι φυτικοί υδατάνθρακες και έχει μελετηθεί σύμφωνα με το είδος των δράσεών της. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται οι διαμορφωτικές επιδράσεις στο ανοσοποιητικό, οι αντικαρκινικές της ιδιότητες, η ικανότητά της να μειώνει τα επίπεδα των λιπιδίων και τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, καθώς και η μείωση ή διατήρηση του σωματικού βάρους. Για τη διατήρηση του σωματικού βάρους ευθύνεται το αίσθημα πληρότητας που προκαλείται από τις διαιτητικές ίνες, μέσω της καθυστερημένης γαστρικής εκκένωσης του λεπτού εντέρου. Η καθυστερημένη γαστρική εκκένωση μπορεί επίσης να μειώσει τα επίπεδα της μεταγευματικής γλυκόζης, συμβάλλοντας έτσι σε μεγαλύτερη ινσουλινοευαισθησία (Kim et al., 2006; Queenan et al., 2007).

### 1.4.1. β-γλυκάνη από κριθάρι

Τα τελευταία χρόνια, η Διεύθυνση Τροφίμων και Φαρμάκων Αμερικής (US Food and Drug Administration) υποστήριξε τη συσχέτιση μεταξύ της αυξημένης πρόσληψης διαλυτών ινών και της μείωσης της ολικής χοληστερόλης ορού, επικυρώνοντας τους ισχυρισμούς ότι οι ίνες από δημητριακά βοηθούν την υγεία. Το ενεργό συστατικό στο κριθάρι έχει αποδειχθεί ως μία γραμμική (1→3)(1→4)-β-D-

γλυκάνη, η οποία μειώνει την ολική χοληστερόλη ορού κατά 5-10% και βρίσκεται σε περιεκτικότητα περίπου 5-10% κατά βάρος. β-γλυκάνη με (1→3) και (1→4) δεσμούς έχει και η βρώμη σε ποσοστό 4% οπότε αναμένεται να έχει παρόμοιες δράσεις μείωσης της χοληστερόλης (Queenan et al., 2007; Keogh et al., 2003).

Επιπλέον, επιδημιολογικές καθώς και μελέτες σε ανθρώπους και ζώα, έδειξαν ότι διατροφή πλούσια σε διαλυτές φυτικές ίνες βελτιώνει επίσης και τον έλεγχο της γλυκόζης και της ινσουλίνης, και απομακρύνει τον κίνδυνο εμφάνισης διαβήτη τύπου 2 (Keogh et al., 2003). Το υψηλό ιξώδες της β-γλυκάνης μπορεί να έχει μια ιδιαίτερη επίδραση στη μείωση της μεταγευματικής γλυκαιμίας και μάλιστα αρκετές μελέτες έδειξαν ότι προϊόντα από κριθάρι και βρώμη σημείωσαν σημαντική μείωση στην **γλυκαιμική απάντηση**. (Keogh et al., 2003).

Έχει αναφερθεί γενικότερα ότι το απόσταγμα από κριθάρι έχει θετικές επιδράσεις στα επίπεδα των λιπιδίων, μειώνοντας την ολική χοληστερόλη. Έτσι, σε έρευνα των McIntosh et al. που έγινε σε 21 ασθενείς με ελαφριάς μορφής υπερχοληστερολαιμία, δόθηκαν 8g β-γλυκάνης, μέσω δίαιτας με κριθάρι, για τέσσερις εβδομάδες. Παρατηρήθηκε μείωση στην ολική και στην LDL χοληστερόλη, της τάξης των 6% και 7%, αντίστοιχα, συγκριτικά με αυτούς που έλαβαν την ίδια ποσότητα σιταριού. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, η έρευνα των Keogh et al. χώρισε 18 ασθενείς με μέτρια υπερλιπιδαιμία σε 2 ομάδες. Στη μία ομάδα χορηγήθηκε εκχύλισμα β-γλυκάνης (8.1-11.9 g τη μέρα) από κριθάρι και στην άλλη γλυκόζη (6.5-9.2 g), ισάξια σε θερμίδες, για τέσσερις εβδομάδες. Δε σημειώθηκε καμία σημαντική διαφορά στα επίπεδα της χοληστερόλης (Kim et al., 2006).

#### **1.4.2. β-γλυκάνη από βρώμη**

Φυτικές ίνες δημητριακών που είναι υψηλά διαλυτές στο νερό, όπως η β-γλυκάνη μπορεί να βελτιώνουν καρδιαγγειακές ασθένειες (CVD), μέσω βελτιώσεων στις τιμές χοληστερόλης ορού και σε άλλους σχετικούς παράγοντες κινδύνου. Η βρώμη έχει υψηλά διαλυτές φυτικές ίνες και φαίνεται να μειώνει αυτούς τους CVD παράγοντες, όταν καταναλώνεται σαν μέρος μίας μετρίας σε περιεκτικότητα λίπους, ισορροπημένης διατροφής. Το δραστικό συστατικό της βρώμης που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της χοληστερόλης, είναι η β-γλυκάνη. Η τελευταία, όπως άλλωστε και οι υπόλοιπες διαιτητικές ίνες με μεγάλο ιξώδες, εμπλέκονται στην

απορρόφηση του διαιτητικού λίπους και χοληστερόλης, ενώ παράλληλα παρεμβαίνουν και στην εντεροηπατική κυκλοφορία της χοληστερόλης και των χολικών οξέων. Έτσι η μείωση της ολικής χοληστερόλης προκύπτει από την μειωμένη απορρόφηση των λιπιδίων από τα χολικά οξέα. Το γεγονός αυτό προκαλεί απομάκρυνση των στεροειδών από το σώμα, μέσω των κοπράνων και έτσι παρατηρείται αύξηση του καταβολισμού της χοληστερόλης, αύξηση της έκκρισης των χολικών οξέων, μείωση της έκκρισης των λιποπρωτεϊνών και τελικά μείωση της αποθηκευμένης χοληστερόλης στο σώμα (Queenan et al., 2007). Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί μείωσης της χοληστερόλης από διαιτητικές ίνες, όπως η δέσμευσή τους από τη χολή, η επίδρασή τους στο ιξώδες του λεπτού εντέρου, η αναστολή της απορρόφησης της γλυκόζης και η αύξηση της παραγωγής των μικρής αλυσού λιπαρών οξέων (SCFA) (Kim et al., 2006). Η β-γλυκάνη από βρώμη είναι ένα φυσικό πολυμερές το οποίο αποτελείται από ξεχωριστά μόρια γλυκόζης, συνδεδεμένα μεταξύ τους με μια σειρά από β-(1→3) και β-(1→4) δεσμούς. Η β-γλυκάνη ταυτοποιήθηκε ως το κύριο ζυμώσιμο συστατικό και σε μαγειρεμένη και σε ωμή βρώμη, αφού το μαγείρεμα δεν την επηρεάζει. Ρολά βρώμης (Rolled oats) και απομονωμένη β-γλυκάνη (γνωστή ως oat gum) συμβάλλουν στην αύξηση στο κολλώδες στο έντερο σε αρσενικά Wistar ποντίκια (Queenan et al., 2007).

Σε μελέτη για την αξιολόγηση των πρεβιοτικών<sup>1</sup> ιδιοτήτων διαιτητικών ινών (β-γλυκάνη από κριθάρι και βρώμη), *in vitro* μελετήθηκε κατά πόσο, και εάν, μεταβάλλεται ο αριθμός συγκεκριμένων μικροοργανισμών της εντερικής μικροχλωρίδας, όταν καλλιεργηθούν οι συγκεκριμένοι υδατάνθρακες σε κλειστές καλλιέργειες (Παπουτσή, 2007)

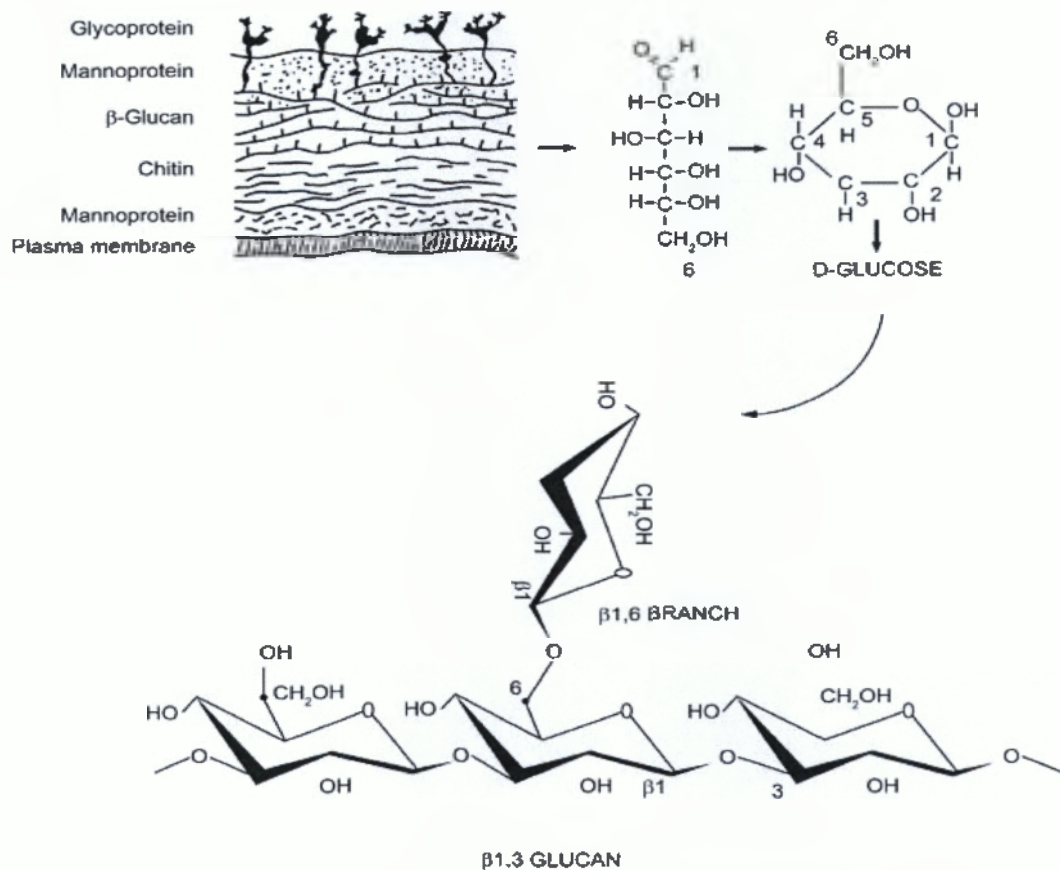
### 1.4.3. β-γλυκάνη από μανιτάρια

Από τις β-γλυκάνες που έχουν μελετηθεί πιο πολύ είναι η λεντινάνη από το *Lentinus edodes*, η σχιζοφυλλάνη από το *Schizophyllum commune*, η γριφολάνη από το *Grifola frondosa* και η SSG από το *Sclerotinia sclerotiorum*. Βασική υπομονάδα αποτελούν η β-(1→3), (1→6)-D-γλυκάνες που συνδέονται μεταξύ τους με

---

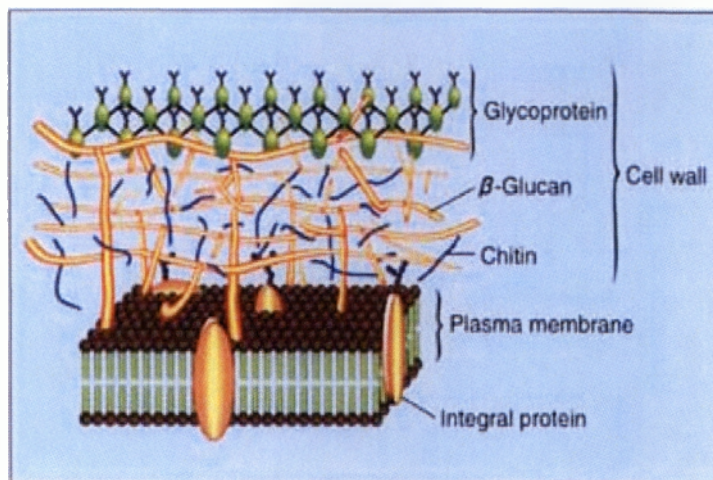
<sup>1</sup> Πρεβιοτικά ή πρεβιοτικές ίνες= τα άπεπτα συστατικά της τροφής που δρουν ευεργετικά για τον οργανισμό, ενεργοποιώντας επιλεκτικά την ανάπτυξη ή/και τη δραστηριότητα ενός ή περισσότερων βακτηριακών στελεχών που αποικίζουν το έντερο

γλυκοζιτικούς δεσμούς. Το μήκος της β-γλυκάνης στους διάφορους μύκητες διαφέρει.



Εικόνα 1 : η β-γλυκάνη είναι ένα από τα βασικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος των μυκήτων

Τα διαθέσιμα στοιχεία υποδεικνύουν ότι οι β-γλυκάνες αυξάνουν τον αριθμό ή και τη δραστηριότητα των μακροφάγων κυττάρων, των ουδετερόφιλων και των Τ-λεμφοκυττάρων του οργανισμού. Τα κύτταρα αυτά αποτελούν μέρος του ανοσοποιητικού συστήματος του οργανισμού και έχουν την ικανότητα να εξουδετερώνουν όλους σχεδόν τους τύπους μικροβίων και τοξινών που μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στους ιστούς και τα όργανα του σώματος. Έτσι, δίαιτα πλούσια σε μανιτάρια θεωρείται ότι αυξάνει την ανοσία του οργανισμού και κατά αυτόν τον τρόπο την ικανότητά του να εξουδετερώνει πιθανά καρκινογόνα. Έχουν προταθεί, όμως, και άλλοι μηχανισμοί δράσης των μανιταριών κατά του καρκίνου, μέσω άλλων συστατικών τους: αύξηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του οργανισμού, αναστολή της έναρξης ή εξέλιξης του καρκίνου με άμεση κυτταροτοξική δράση στα καρκινικά κύτταρα και επίδραση στην αγγειογένεση του όγκου (απαραίτητη για τη θρέψη του όγκου).



Εικόνα 2: σχηματική δομή κυτταρικού τοιχώματος μύκητα

Τα στοιχεία που υπάρχουν για τη σχέση των μανιταριών με την καρκινογένεση προέρχονται κυρίως από μελέτες σε ζώα ή στο εργαστήριο. Υπάρχουν, όμως, και στοιχεία από ανθρώπους. Μία επιδημιολογική μελέτη (δημοσιευμένη στο επιστημονικό περιοδικό *International Journal of Cancer* το 2002) έχει δείξει την αντίστροφη σχέση μεταξύ πρόσληψης μανιταριών και καρκίνου του στομάχου. Τα άτομα με μεγάλη πρόσληψη μανιταριών είχαν 70% λιγότερο κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του στομάχου σε σχέση με τα άτομα με τη χαμηλότερη πρόσληψη.

## 1.5. Βιβλιογραφική ανασκόπηση εφαρμογών β-γλυκανών

Σε διάφορα κλινικά και *in vitro* πειράματα χρησιμοποιήθηκαν ουσίες, όπως το sizofiran (SPG, *Schizophyllum commune* ένα απόσταγμα β-1→3 γλυκάνης), το Lentinan (*Lentinus edodes*, απόσταγμα β-1→3 γλυκάνης) και PGG-glucan (poly-(1→6)-β-D-glucopyranosyl-1→3-β-D-glucopyranose) και οι οποίες αποδείχθηκε ότι προωθούν την έκκριση κυτταροκινών, όπως των TNF-α και IL-1-β. Οι κυτταροκίνες δεσμεύονται από τους υποδοχείς της β-γλυκάνης των μακροφάγων και των ουδετερόφιλων, τα οποία αποτελούν μέρος της μη ειδικής ανοσοποιητικής απόκρισης. Επιπλέον, οι παραπάνω ουσίες αναστέλλουν την έκκριση του ανιόντος του υπερ-υπεροξειδίου και του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Τέλος, αυξάνουν τη δραστηριότητα των φυσικών φονικών κυττάρων και των φονικών κυττάρων που ενεργοποιούνται από τις λεμφοκίνες (LAK), τα οποία συμβάλλουν στις

αντιμικροβιακές και αντικαρκινικές δράσεις των παρασκευασμάτων αυτών (Kim et al., 2006).

Η ποικιλομορφία των επιδράσεων μπορεί να είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών προσλήψεων της β-γλυκάνης. Για παράδειγμα η ελάχιστη αποτελεσματική δόση των 3g τη μέρα, μπορεί να μην είναι ικανή να αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα. Έτσι, από μία έρευνα του Lovegrove et al. σε 62 ασθενείς με μέτρια υπερχοληστερολαιμία, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στα επίπεδα της χοληστερόλης με μια πρόσληψη 20g βρώμης από πίτουρο, που περιείχε 3g β-γλυκάνης, για 8 εβδομάδες. Αντίθετα, μια άλλη έρευνα του Karmally et al. ανέφερε ότι τα επίπεδα της ολικής χοληστερόλης μειώθηκαν σημαντικά, όταν 152 Ισπανοί έλαβαν είτε δημητριακά από βρώμη (3g β-γλυκάνης) ή από καλαμπόκι για έξι εβδομάδες. Το γεγονός αυτό, αποδεικνύει ότι η πρόσληψη από μόνη της δεν μπορεί να εξηγήσει τον βαθμό στον οποίο η β-γλυκάνη είναι αποτελεσματική στη μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης (Kim et al., 2006).

Από έρευνες έχει αποδειχθεί ότι το μέσο με το οποίο λαμβάνεται η β-γλυκάνη επηρεάζει την ευεργετική της επίδραση στη μείωση της χοληστερόλης. Σε έρευνα των Kerckhoffs et al. που έγινε σε 48 μέτρια υπερχοληστερολαιμικούς ασθενείς, η β-γλυκάνη δόθηκε με μορφή μπισκότων και ψωμιού που περιείχαν 5,9g β-γλυκάνης ή σταρένιο ψωμί και μπισκότα, τα οποία περιείχαν μόνο διαιτητικές ίνες. Μετά από σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο διαφορετικών προσεγγίσεων, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης. Αντίθετα, όταν η ίδια ποσότητα β-γλυκάνης δόθηκε με μορφή χυμού, στο ίδιο δείγμα, τα επίπεδα της LDL χοληστερόλης μειώθηκαν σημαντικά. Το αποτέλεσμα αυτό, αποδόθηκε στη διαφορετική σύσταση του φαγητού και στην διαδικασία παρασκευής. Παρόλα αυτά, άλλες έρευνες στις οποίες η β-γλυκάνη δόθηκε με μορφή ψωμιού έδειξαν την ευεργετική της επίδραση στα επίπεδα της χοληστερόλης (Kim et al., 2006).

Αντικρουόμενα αποτελέσματα έχουν αναφερθεί σχετικά με την δοσοεξαρτώμενη επίδραση της β-γλυκάνης. Σε μία μετα-ανάλυση των Ripsin et al. αναφέρθηκε μία μη γραμμική δοσο-εξαρτώμενη σχέση σε όλες τις φυτικές ίνες, συμπεριλαμβανομένου της βρώμης. Έτσι, τα 10g και τα 8g διαιτητικών ινών, ορίστηκαν ως η ελάχιστη ποσότητα που επιφέρει σημαντική μείωση στην ολική και στην LDL χοληστερόλη, αντίστοιχα (Kim et al., 2006).

Μια *in vitro* έρευνα που έγινε στην Κορέα χρησιμοποίησε 1→3-β-D-γλυκάνη με μοριακό βάρος 300.000, προκειμένου να ελέγξει την επίδρασή της στην παραγωγή του Παράγοντα Νέκρωσης Κυττάρων (TNF-α) στα BV2 μικρογλιακά κύτταρα. Η β-γλυκάνη απομονώθηκε από στέλεχος του βακτηρίου *Agrobacterium sp.* Χρησιμοποιήθηκαν επίσης λιποπολυσακχαρίτες (LPS) και BV2 μικρογλιακά κύτταρα συμπληρωμένα με 10% εμβρυϊκό αγελαδινό ορό, 2mM L-γλουταμίνη, στρεπτομυκίνη και πενικιλίνη. Τα BV2 μικρογλιακά κύτταρα επεξεργάστηκαν με β-γλυκάνη σε συγκεντρώσεις 1,5,10 και 50μg/ml, αφού προηγουμένως τα κύτταρα αυτά είχαν προεπεξεργαστεί με 5 ή 50μg/ml β-γλυκάνης. Με την ενζυματική μέθοδο ELISA ερευνήθηκε η παραγωγή του TNF-α. Η ανασταλτική επίδραση της β-γλυκάνης στην παραγωγή του TNF-α ήταν δόσοεξαρτώμενη, αν και ήταν μεγαλύτερη σε συγκέντρωση β-γλυκάνης 50μg/ml. Οι LPS επηρέασαν την πρωτεϊνική έκφραση του TNF-α εξαιτίας της προετοιμασίας του με β-γλυκάνη, γεγονός που οδήγησε σε μείωση της έκφρασης του TNF-α και στα 5 και 50μg/ml. Έχει αναφερθεί ότι η δράση της β-γλυκάνης πραγματοποιείται μέσω της ενεργοποίησης των δενδρίτων, των ενδοθηλιακών, των ουδετερόφιλων και των μονοκυττάρων. Επίσης η ενεργοποίηση των λεμφοκυττάρων και των Κυττάρων φονιάδων (NK) παίζει σημαντικό ρόλο στη δράση της. Επιπλέον, η β-γλυκάνη εμπλουτίζει τη δράση των μακροφάγων, αυξάνοντας τους υποδοχείς της σε αυτά. Πρόσφατα έχει βρεθεί μια αντιοξειδωτική δράση της απέναντι στις ρίζες ενεργού οξυγόνου και στην παρεμπόδιση της υπεροξειδωσης των λιπιδίων. Ωστόσο, λίγα είναι κατανοητά για τις αντιφλεγμονώδεις δράσεις της.

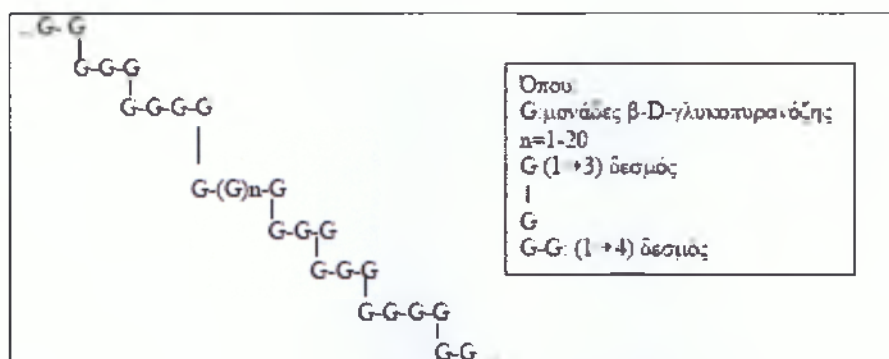
Μακροπρόθεσμες διατροφικές μελέτες που ενσωμάτωσαν β-γλυκάνη, έδειξαν ελάττωση της χοληστερόλης πλάσματος σε υπερχοληστερολαιμικούς άνδρες. Μια δίαιτα χαμηλή σε κορεσμένο λίπος και υψηλή σε πολυσακχαρίτες με υψηλό ιξώδες, συμπεριλαμβανομένου της β-γλυκάνης, είχε ως αποτέλεσμα μια μείωση της τάξης του 7,5% της χοληστερόλης ορού σε υπερλιπιδαιμικούς άνδρες. Πρόσφατα αποτελέσματα από παρεμβατική μελέτη που εξέταζε διάφορους παράγοντες κινδύνου (Multiple Risk Factor Intervention Trial), έδειξαν ότι η αύξηση πρόσληψης διαιτητικών ινών σε μια μετρίου λίπους δίαιτα, εξασφαλίζει τη μείωση στο αίμα και της ολικής και της LDL χοληστερόλης. Μεταγευματικές μελέτες που μέτρησαν την τριακυλογλυκερόλη του πλάσματος, μετά από γεύμα, ανέφεραν ότι η αύξηση φυτικών ινών είτε αύξησε την τριακυλογλυκερόλη, είτε την μείωσε, είτε δεν είχε καμία επίδραση. Η μεταγευματική χοληστερόλη φαίνεται να παραμένει αμετάβλητη ή

να μειώνεται ελάχιστα μετά από γεύμα υψηλό σε φυτικές ίνες. Πηγές πολυσακχαριτών με υψηλό ιξώδες καθυστέρησαν την πέψη και την απορρόφηση του λίπους, με αποτέλεσμα την αλλαγή της συγκέντρωσης λιποπρωτεϊνών πλούσιων σε τριγλυκερίδια (TRLs), είτε μεταβάλλοντας το βαθμό και το μέγεθος της εμφάνισης τους στο πλάσμα, είτε μεταβάλλοντας τη σύνθεσή τους μετά από γεύμα. Οι προαναφερθείσες επιδράσεις μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την αναίρεση της μεταφοράς της χοληστερόλης, η οποία διεγείρεται κατά τη διάρκεια της μεταγευματικής περιόδου και μπορεί να συμβάλλουν στη μείωση της χοληστερόλης πλάσματος που προκαλούν αυτοί οι πολυσακχαρίτες (Bourdon et al., 1999)

## Κεφάλαιο 2

### 2.1. Μοριακή δομή β- γλυκανών

Οι (1→3), (1→4) -β-D-γλυκάνες των κυτταρικών τοιχωμάτων των σπόρων των δημητριακών είναι γραμμικοί ομοπολυσακχαρίτες που απαντώνται στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου και της στοιβάδας της αλευρώνης. Οι (1→3), (1→4) -β-D-γλυκάνες αποτελούνται από μονάδες D-γλυκοκυρανόζης (Glc<sub>p</sub>) ενωμένες με δύο τύπους γλυκοζιτικών δεσμών, τους β-(1→4) σε ποσοστό περίπου 70% και τους β-(1→3) σε ποσοστό περίπου 30%. Η πρωτοταγής δομή αυτών των γλυκανών αποτελείται κυρίως από διαδοχικές ομάδες β-(1→4)-ενωμένων μονάδων γλυκόζης (δηλ. ολιγομερή κυτταρίνης), οι οποίες διακόπτονται από κάποιο μεμονωμένο β-(1→3) δεσμό. Συνεχόμενοι β-(1→3) δεσμοί στις αλυσίδες του πολυσακχαρίτη συνήθως δεν παρατηρούνται. Πιο συγκεκριμένα, το μακρομόριο μπορεί να θεωρηθεί κυρίως ως μία τυχαία αλληλουχία των ολιγομερών κελλοτριόζης (τρισακχαρίτης) και κελλοτετραόζης (τετρασακχαρίτης), ενώ υπάρχουν και ολιγομερή κυτταρίνης με περισσότερες μονάδες γλυκόζης μέχρι 14. Τη μεγαλύτερη αναλογία (κατά βάρος) στα μόρια των β-D-γλυκανών την καταλαμβάνουν τα τριμερή, 58-72%, (δομή Α στην Εικόνα 3) και τα τεταμερή, 20-34%, (δομή Β στην Εικόνα 3) δομικά συστατικά, ενώ τα μεγαλύτερα τμήματα ολιγομερών τύπου κυτταρίνης καταλαμβάνουν μόλις το 7-8% του συνολικού βάρους των β-γλυκανών των δημητριακών (Cui, 2001).



Εικόνα 3 : γενικευμένη δομή β-γλυκανών

Οι (1→3) και (1→4) δεσμοί δεν ακολουθούν κάποια συγκεκριμένη αλληλουχία στο μόριο της β-γλυκάνης, αλλά κατανέμονται τυχαία (Varum & Smidsrod, 1988). Οι β-

(1→4) δεσμοί καθιστούν τον πολυσακχαρίτη άκαμπτο, αδιάλυτο στο νερό, του προσδίδουν συμπεριφορά παρόμοια με αυτή της κυτταρίνης και κανονικότητα στη διαμόρφωση. Αντιθέτως, οι β-(1→3) δεσμοί φαίνεται ότι διαταράσσουν την κανονικότητα στη διαμόρφωση του μορίου και διαφοροποιούν το μόριο των β-γλυκανών από εκείνο της κυτταρίνης, προσδίδοντάς του ταυτόχρονα διαλυτότητα και ευλυγισία (Buliga *et al.*, 1986).

Η μοριακή δομή των β-γλυκανών καθορίζει τις φυσικές και φυσιολογικές τους ιδιότητες. Η δομή αυτή περιλαμβάνει την αναλογία β-(1→4)/ β-(1→3) γλυκοζιτικών δεσμών<sup>2</sup>, την παρουσία και τον αριθμό των τμημάτων ολιγομερών κυτταρίνης με πολλές συνεχόμενες μονάδες γλυκόζης, την αναλογία τριμερή/ τετραμερή και το μοριακό βάρος (Izydorczyk & Biliaderis, 2000).

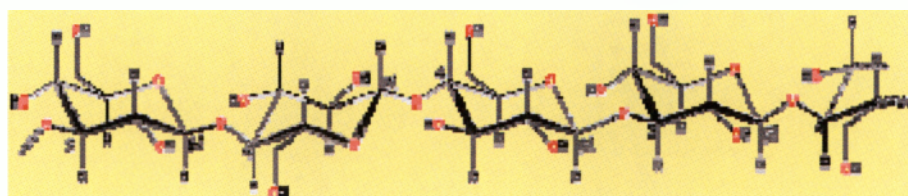
Η λιχενάνη (lichenan) που είναι ένζυμο, είναι επίσης μία γραμμική (1→3), (1→4) β-D-γλυκάνη, η οποία απαντάται σε λειχήνες, όπως η *Cetraria islandica* και έχει την ίδια πρωτοταγή δομή με τις β-γλυκάνες των δημητριακών, με μόνη διαφορά στις ποσοστιαίες αναλογίες των διαφόρων ολιγομερών κυτταρίνης στο μόριό της. Έτσι, η λιχενάνη αποτελείται από 78% τριμερές, 4% τετραμερές και 18% ολιγομερή κυτταρίνης με περισσότερες από τέσσερις μονάδες γλυκόζης (Wood *et al.*, 1994a).

Οι τιμές των μοριακών βαρών των β-γλυκανών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία εμφανίζουν διακυμάνσεις που μπορούν να αποδοθούν στις διακυμάνσεις που εμφανίζουν οι δομές των κυτταρικών τοιχωμάτων (τα παχιά κυτταρικά τοιχώματα εμφανίζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην εκχύλιση των πολυμερών υψηλού μοριακού βάρους), στις διαφορετικές μεθόδους εκχύλισης και απομόνωσης (ο διαλύτης και η θερμοκρασία επηρεάζουν τη διαλυτοποίηση), στα φαινόμενα συσσωμάτωσης (εξαρτώνται από τη διαμόρφωση και την ποιότητα του διαλύτη) και στο φαινόμενο του αποπολυμερισμού που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της εκχύλισης (λόγω ενδογενών ή μικροβιακών β-γλυκανών από μικροοργανισμούς επιμόλυνσης) (Izydorczyk & Biliaderis, 2000). Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι το μοριακό βάρος των β-γλυκανών από δημητριακά μειώνεται κατά τη διάρκεια της απομόνωσης και της εκχύλισης (Beer *et al.*, 1995; Skendi *et al.*, 2003). Συνήθως όσο πιο ακραίες είναι οι συνθήκες εκχύλισης τόσο πιο πιθανή είναι η ανάκτηση β-γλυκανών χαμηλού μοριακού βάρους. Επιπλέον, η ομογενοποίηση σε υψηλές ταχύτητες, η εφαρμογή

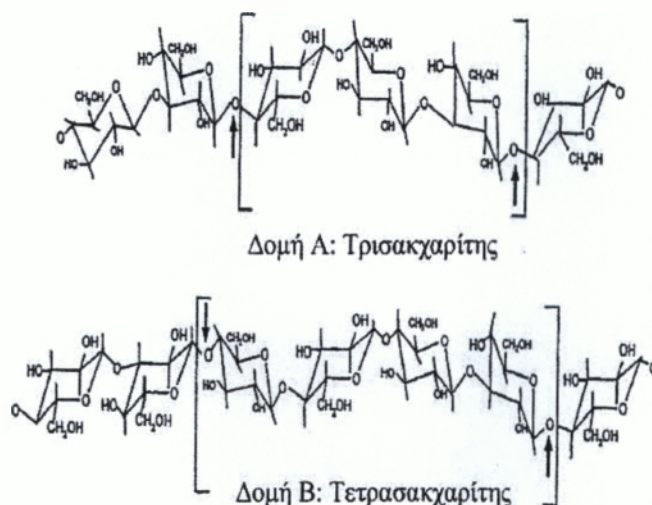
<sup>2</sup> γλυκοζιτικός δεσμός (glycosidic bond) = τύπος ομοιοπολικού δεσμού που συνδέει μεταξύ τους τα μονομερή σακχάρων σε έναν πολυσακχαρίτη

υπερήχων, και οι υψηλοί ρυθμοί διάτμησης βρέθηκε ότι μειώνουν το ιξώδες και το μοριακό βάρος (Lazaridou *et al.*, 2007).

Άλλα μοριακά χαρακτηριστικά των β-γλυκανών δημητριακών τα οποία λαμβάνονται από ανιχνευτές σκεδασμού του φωτός υπό πολλαπλές γωνίες (Multi Angle Laser Light Scattering, MALLS), όπως είναι ο δείκτης μοριακής διασποράς ( $M_w/M_n$ ) και η μέση γυροσκοπική ακτίνα ( $R_g$ ) βρέθηκαν να κυμαίνονται από 1,2 έως 3,1 και 30 έως 75, αντίστοιχα (Lazaridou *et al.*, 2007).



Εικόνα 4: στερεοχημικός τύπος β-γλυκανών



Εικόνα 5: τριμερή και τετραμερή δομικά συστατικά β-γλυκανών

Η αποδοχή των β-γλυκανών την τελευταία δεκαετία ως βιοενεργά<sup>3</sup> συστατικά έχει αυξήσει την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν δημητριακά. Οι β-γλυκάνες πέρα από το ότι αποτελούν πλούσια πηγή διαιτητικών ινών, φαίνεται ότι συμβάλλουν στη μείωση της χοληστερίνης του πλάσματος και στη ρύθμιση των επιπέδων της γλυκόζης του αίματος (Klopfenstein, 1988, Bhatt, 1999). Μερικές από τις ιδιότητες αυτές των β-γλυκανών αποδόθηκαν στην διαλυτότητα και στην ικανότητά τους να δίνουν διαλύματα υψηλού ιξώδους. Αυξάνοντας το ιξώδες<sup>4</sup> του περιεχομένου του εντερικού σωλήνα οι β-γλυκάνες περιορίζουν την απορρόφηση λιπιδίων ή την επαναπρόσληψη των χολικών αλάτων και των μεταβολιτών τους (Shinnick και Marlet, 1993). Οι Wood και συν. (1994) βρήκαν να υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στη μεταγευματική μέγιστη τιμή της γλυκόζης του πλάσματος ή στο εμβαδόν της καμπύλης της γλυκόζης (γλυκαιμικός δείκτης) και στην ποσότητα της β-γλυκάνης που καταναλώνεται ή στο λογάριθμο του ιξώδους των υδατικών αιωρωμάτων του πολυσακχαρίτη. Στη βιομηχανία τροφίμων οι β-γλυκάνες θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ως φυσικά υδροκολλοειδή εξαιτίας της ικανότητάς τους να αυξάνουν σημαντικά το ιξώδες υδατικών διαλυμάτων, αλλά και της δυνατότητάς τους να σχηματίζουν πηκτές (Izydorczyk και Biliaderis, 2000). Επίσης οι β-γλυκάνες έχουν προταθεί ως υδροκολλοειδή για την τροποποίηση της υφής και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών εμβασμάτων σαλάτας και παγωτών (Wood, 1986) ή ως μιμητικά λίπους στην ανάπτυξη τροφίμων χαμηλής θερμιδικής αξίας. Άλευρο βρώμης ολικής αλέσεως ή πίτυρα βρώμης έχουν πρόσφατα χρησιμοποιηθεί σε διάφορα τρόφιμα μειωμένης λιποπεριεκτικότητας και εμπλουτισμένα σε διαλυτές ίνες, κυρίως σε δημητριακά πρωϊνού και snacks (Cui, 2001).

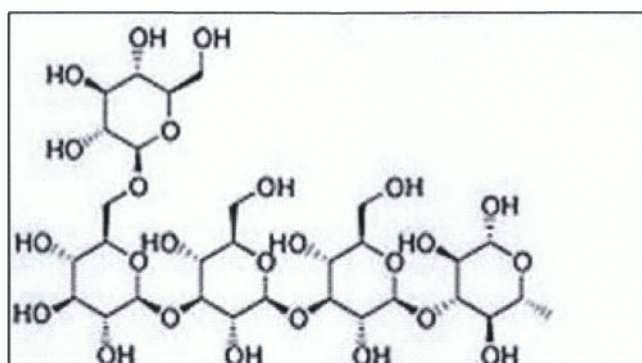
Τα δομικά χαρακτηριστικά των β-γλυκανών, όταν αυτές υπάρχουν ως συστατικά των τροφίμων που περιέχουν δημητριακά ή όταν προστίθενται ως υδροκολλοειδή σε άλλα τρόφιμα, είναι πολύ πιθανόν ότι καθορίζουν τις φυσικοχημικές και λειτουργικές τους ιδιότητες συμπεριλαμβανομένων και των θετικών επιδράσεων στην υγεία του ανθρώπου. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την αναλογία β-(1→4)/ β-(1→3) των γλυκοζιτικών δεσμών, την παρουσία και την ποσότητα των τμημάτων των олиγομερών κυτταρίνης με πολλές

<sup>3</sup> Βιοενεργά= τα συστατικά εκείνα των τροφίμων για τα οποία υπάρχουν επαρκώς τεκμηριωμένα επιστημονικά δεδομένα ότι μπορούν να βελτιώσουν την υγεία μέσω της μείωσης του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών ή της βελτίωσης της λειτουργίας των συστημάτων του οργανισμού

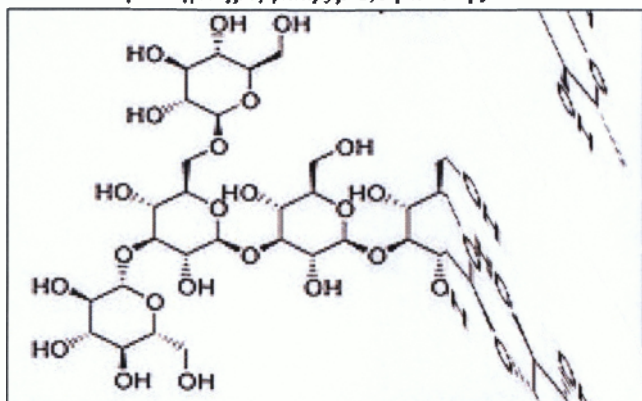
<sup>4</sup> Ιξώδες= η εσωτερική τριβή ενός ρευστού, η αντίσταση του ρευστού στην ομοιόμορφη και χωρίς διατάραξη ροή του

συνεχόμενες μονάδες γλυκόζης, την αναλογία τριμερή/τετραμερή και το μοριακό βάρος (Izydorczyk και Biliaderis, 2000). Είναι πιθανόν ότι η πηγή (γένος δημητριακών, ποικιλία) των β-γλυκανών, οι διεργασίες επεξεργασίας (άλεση, επιδράσεις θερμοκρασίας, pH, διατηρητικής τάσης κ.λπ.) και οι αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά (πολυμερή ή σάκχαρα μικρού μοριακού βάρους) στη αρχική πηγή προέλευσης ή σ' ένα σύνθετο τρόφιμο επηρεάζουν τη συγκέντρωση, τα δομικά χαρακτηριστικά, τη διαλυτότητα και ικανότητα διασποράς αυτών των πολυσακχαριτών και επομένως καθορίζουν τη φυσιολογική τους δράση στο γαστρεντερικό σωλήνα.

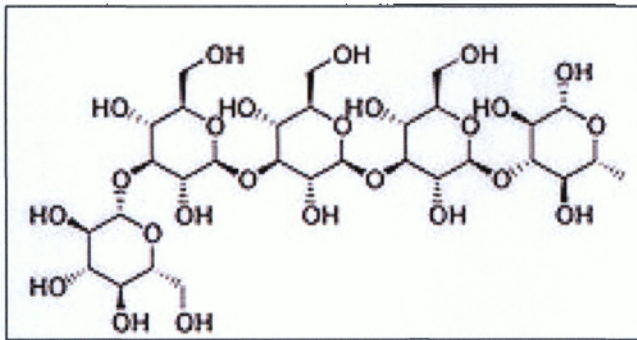
Αν και υπάρχουν αναφορές στη βιβλιογραφία πάνω στις σχέσεις ανάμεσα στη δομή και λειτουργικότητα των β-γλυκανών, οι σχέσεις αυτές δεν έχουν διερευνηθεί σε μεγάλη έκταση, πιθανώς λόγω απουσίας αποτελεσματικών μεθόδων για την απομόνωση των β-γλυκανών σε μεγάλη κλίμακα και υψηλή καθαρότητα. Συγκεκριμένα, ο Morgan και οι συνεργάτες του (Morgan και Ofman, 1998, Morgan et al., 1999) πέτυχαν να απομονώσουν β-γλυκάνη κριθαριού υψηλής καθαρότητας χρησιμοποιώντας μία διεργασία επαναλαμβανόμενων κύκλων κατάψυξης-απόψυξης, με την οποία παραλάμβαναν μετά από κάθε κύκλο ένα ίζημα υπό τη μορφή πηκτής ή ινών.



Εικόνα 6: Παράδειγμα γραμμικής β-1,6 γλυκάνης



Εικόνα 7: Παράδειγμα γραμμικής β-1,3-1,6 γλυκάνης



Εικόνα 8: Παράδειγμα γραμμικής β-1,3 γλυκάνης

## 2.2. Φυσικές ιδιότητες β-γλυκανών

Η διαλυτότητα των β-γλυκανών επηρεάζει σε μεγάλο ποσοστό την δυνατότητα εκχύλισης τους από το αρχικό φυτικό υλικό, αλλά και τις λειτουργικές τους ιδιότητες στα τρόφιμα και τον ανθρώπινο οργανισμό. Ένα μεγάλο ποσοστό των β-γλυκανών δεν εκχυλίζονται στο νερό (αδιάλυτες) και το γεγονός αυτό έχει αποδοθεί στην πιθανή ύπαρξη εσωτερικών δεσμών που κρατούν τις αλυσίδες του πολυμερούς εγκλωβισμένες και δεν επιτρέπουν τη διαλυτοποίησή τους από το σύνθετο μοριακό πλέγμα των κυτταρικών τοιχωμάτων του ενδοσπερμίου γενικά, η διαλυτότητα των β-γλυκανών φαίνεται να εξαρτάται έντονα από το μοριακό βάρος και τη μοριακή δομή του πολυσακχαρίτη. Τμήματα της αλυσίδας στο μόριο των β-γλυκανών που φέρουν αλληλουχίες τύπου κυτταρίνης, με μονάδες γλυκόζης ενωμένες με περισσότερους από τρεις συνεχόμενους δεσμούς, μπορούν να λειτουργήσουν ως πυρήνες συσσωμάτωσης των αλυσίδων του πολυσακχαρίτη και επομένως, να οδηγήσουν σε χαμηλότερη διαλυτότητα του πολυμερούς (Buliga et al., 1986). Από την άλλη πλευρά, έχει αναφερθεί ότι είναι δυνατόν να σχηματιστούν σταθερές ελικοειδούς φύσης διαμορφώσεις, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε μία στοιχειώδη κρυσταλλική οργάνωση των μακρομορίων της β-γλυκάνης (Tvaroska et al., 1983). Επιπλέον, κάτω από ορισμένες συνθήκες, οι β-γλυκάνες έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν πηκτές<sup>5</sup> σε υδατικό περιβάλλον (Lazaridou et al., 2003, 2004, Lazaridou & Biliaderis, 2004, Vaikousi et al., 2004, Vaikousi & Biliaderis, 2004, Skendi et al., 2003). Η ικανότητα σχηματισμού πηκτών, όπως και οι μηχανικές και θερμικές

<sup>5</sup> Οι πηκτές δημιουργούνται με απλή επαφή ορισμένων μοριακών κολλοειδών με υγρό.

ιδιότητες των πηκτωμάτων βρέθηκαν να εξαρτώνται από το μοριακό μέγεθος, την πρωτοταγή δομή και τη συγκέντρωση της β-γλυκάνης, καθώς και από τη θερμοκρασία σχηματισμού τους.

### 2.2.1. Διαλυτότητα-συμπεριφορά σε διαλύματα

Το μοριακό μέγεθος και τα δομικά χαρακτηριστικά των β-γλυκανών παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαλυτότητα και στη διαμόρφωση της αλυσίδας ή το σχήμα τους, άρα και στις ρεολογικές τους ιδιότητες. Τα τμήματα ολιγομερών τύπου κυτταρίνης συμβάλλουν στην ακαμψία της αλυσίδας του μακρομορίου στο διάλυμα (Varum & Smidsrod, 1988). Επιπλέον, οι β-γλυκάνες που περιέχουν ολιγομερή τμήματα με πολλούς β-(1→3) δεσμούς συνδεδεμένους σε σειρά πιθανόν να εμφανίζουν την τάση να σχηματίζουν διαμοριακά συσσωματώματα, μέσω δημιουργίας ισχυρών δεσμών υδρογόνου κατά μήκος αυτών των τμημάτων, και συνεπώς επιδεικνύουν χαμηλότερη διαλυτότητα. Αντίθετα, οι β-(1→4) δεσμοί φαίνεται ότι διακόπτουν την κανονικότητα της ακολουθίας των β-(1→3) δεσμών και προσδίδουν στο μόριο μεγαλύτερη διαλυτότητα και ευλυγισία (Buliga *et al.*, 1986). Η μη-κανονική διαμόρφωση που επιδεικνύει ο πολυσακχαρίτης έχει αποδοθεί στη μη κανονική κατανομή των β-(1→3) δεσμών στην αλυσίδα των β-γλυκανών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι αλυσίδες του πολυσακχαρίτη να μη μπορούν να στοιχηθούν η μια κοντά στην άλλη στις εκτεταμένες περιοχές, με αποτέλεσμα ο πολυσακχαρίτης να παραμένει στο αδιάλυτο στο διάλυμα (Woodward *et al.*, 1988). Έχει επίσης προταθεί ότι τρεις επαναλαμβανόμενες μονάδες του τρισακχαρίτη 3-O-β-D-κελλοβιόξη-D-γλυκόζη, μπορούν να σχηματίσουν ένα σταθερό τμήμα έλικας, το οποίο μπορεί να προσδώσει κρυσταλλική δομή στα μόρια της β-γλυκάνης. Είναι λοιπόν πιθανό, ότι υψηλότερος αριθμός μονάδων του τρισακχαρίτη να προσδίδει κανονικότητα στη διαμόρφωση των β-γλυκανών και συνεπώς μεγαλύτερο βαθμό οργάνωσης αυτών των πολυμερών, χαρακτηριστικό το οποίο συνδέεται με τη χαμηλότερη διαλυτότητα του πολυμερούς στα κυτταρικά τοιχώματα (Izydorczyk *et al.*, 1998).

Οι τιμές του εσωτερικού ή οριακού ιξώδους ( $[\eta]$ ) που αναφέρονται στη βιβλιογραφία κυμαίνονται από 0,28 έως 9,6dl/g, αναλόγως με το μοριακό βάρος του πολυμερούς (Lazaridou *et al.*, 2007). Το εσωτερικό ιξώδες πολλαπλασιαζόμενο με τη συγκέντρωση δίνει μια νέα παράμετρο, την ανηγμένη συγκέντρωση ( $c[\eta]$ ).

Από ρεολογική άποψη, τα διαλύματα των β-γλυκανών δημητριακών, κατατάσσονται στην κατηγορία των ιξωδοελαστικών ρευστών. Συμπεριφέρονται παρόμοια με τους πολυσακχαρίτες τυχαίας διαμόρφωσης αλυσίδας, όπως το κόμμι γκουάρ και το κόμμι χαρουπιού. Δηλαδή, σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης εμφανίζουν Νευτώνεια περιοχή. Καθώς αυξάνει ο ρυθμός διάτμησης πάνω από μια ορισμένη τιμή, το ιξώδες μειώνεται και έτσι τα διαλύματα εμφανίζουν ψευδοπλαστική ροή. Η ψευδοπλαστική συμπεριφορά στη ροή προκαλείται από τη διάσπαση των μοριακών συζευγμάτων του πολυσακχαρίτη, λόγω της εφαρμοζόμενης τάσης. Πιστεύεται ότι σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης υπάρχει αρκετός χρόνος να σχηματιστούν νέα συζεύγματα μεταξύ των διαφορετικών αλυσίδων, γεγονός το οποίο δεν οδηγεί σε μεταβολή του δικτύου και συνεπώς το ιξώδες παραμένει αμετάβλητο. Σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης ο ρυθμός επανασχηματισμού των συζευγμάτων είναι πιο αργός από το ρυθμό διάσπασης των ήδη υπάρχοντων συζευγμάτων, οπότε η συνολική οργάνωση του τρισδιάστατου δικτυώματος μειώνεται προοδευτικά και επομένως μειώνεται η αντίσταση στη ροή.

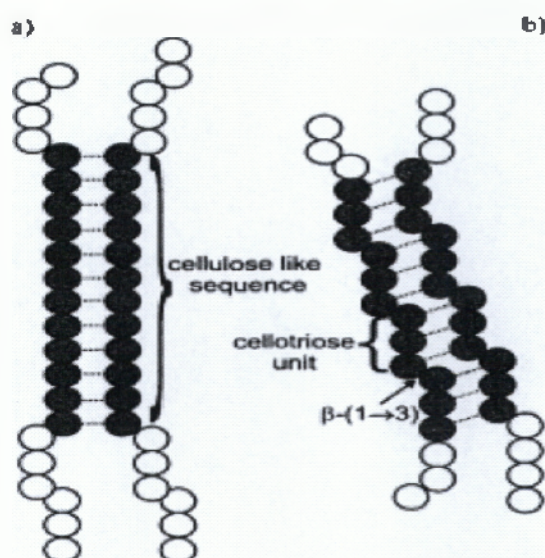
Η χρονικά εξαρτημένη ρεολογική συμπεριφορά (θιξοτροπία) είναι ιδιότητα των πολυσακχαριτών όταν στην εν διασπορά φάση είναι δυνατόν να σχηματιστούν συναθροίσματα ή συσσωματώματα σε μικρή ή μεγάλη έκταση. Επιπλέον, η χρονικά εξαρτημένη συμπεριφορά συνδέεται συχνά με την ψευδοπλαστική συμπεριφορά. Λόγω της θιξοτροπίας, η εφαρμογή τάσης δίνει το έναυσμα για μια διαδικασία αποικοδόμησης της δομής, η οποία οδηγεί σε μείωση των διαστάσεων των συσσωματωμάτων, ενώ το ιξώδες προοδευτικά μειώνεται. Τα πρόσφατα διαλύματα β-γλυκάνης επιδεικνύουν τυπική συμπεριφορά πολυσακχαρίτη τυχαίας διαμόρφωσης αλυσίδας, ενώ καθώς αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης, τα διαλύματα εμφανίζουν μια ασυνήθιστη ψευδοπλαστική ροή σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης (κάτι το οποίο είναι πιο εμφανές για δείγματα χαμηλού μοριακού βάρους καθώς και σε περιπτώσεις όπου αυξάνει ο χρόνος αποθήκευσης πριν τη μέτρηση). Επιπλέον, τα πρόσφατα διαλύματα δεν δείχνουν χρονική εξάρτηση στη ρεολογική συμπεριφορά. (Lazaridou *et al.*, 2003; Vaikousi *et al.*, 2004).

### 2.2.2 Ικανότητα σχηματισμού πηκτωμάτων

Τα φρέσκα διαλύματα β-γλυκανών συμπεριφέρονται ως τυπικά μοριακά συστήματα σε διασπορά. Υπερισχύει ο ρευστός χαρακτήρας του υλικού. Ωστόσο,

μετά από μια περίοδο προσαρμογής (induction period), οι δύο συνιστώσες αρχίζουν να αυξάνονται με το χρόνο και το σύστημα αποκτάει ιδιότητες πηκτής (Bohm & Kulicke, 1999).

Υπάρχουν δύο μοντέλα ερμηνείας του σχηματισμού πηκτώματος. Το πρώτο, αναπτύχθηκε από τους Fincher και Stone (1986) και αναφέρει ότι η πηκτή σχηματίζεται όταν τμήματα της αλυσίδας των ολιγομερών τύπου κυτταρίνης με περισσότερες από τρεις συνεχόμενες  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) μονάδες γλυκόζης συνδέονται έτσι ώστε να σχηματίσουν συσσωματώματα (Εικόνα 9). Το δεύτερο μοντέλο προτάθηκε από τους Bohm και Kulicke (1999) και αναφέρει ότι είναι πιθανό εκτεταμένες ζώνες σύνδεσης να σχηματίζονται μέσω της συνάθροισης αλληπάλληλων μονάδων του τρισακχαρίτη 3-O- $\beta$ -D-κελλοβιόζη-D-γλυκόζη με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου δικτυώματος μιας πηκτής.



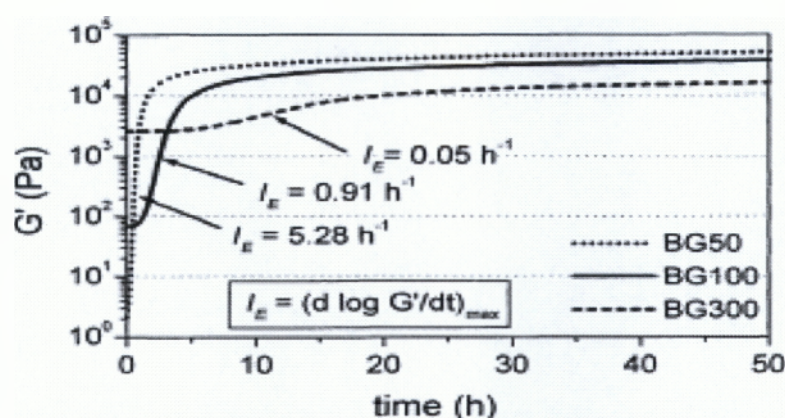
Εικόνα 9: Προτεινόμενα μοριακά μοντέλα σχηματισμού πηκτής από (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-γλυκάνες (οι διακεκομμένες γραμμές υποδηλώνουν δεσμό υδρογόνου) α) Fincher και Stone 1986, β) Bohm και Kulicke 1999

Οι ιδιότητες των σχηματιζόμενων πηκτών εξαρτώνται από το μοριακό βάρος, τη δομή, τη συγκέντρωση της  $\beta$ -γλυκάνης και τη θερμοκρασία (Lazaridou *et al.*, 2003; Lazaridou *et al.*, 2004; Vaikousi *et al.*, 2004).

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος άμεσου προσδιορισμού του χρόνου σχηματισμού πηκτής ( $t_c$ ) περιλαμβάνει την εφαρμογή στο σύστημα περιοδικής ταλάντωσης χαμηλού πλάτους και χαμηλής συχνότητας. Η μελέτη των δυναμικών μηχανικών ιδιοτήτων των βιοπολυμερών, ιδιαίτερα της ελαστικής συνιστώσας ( $G'$ ) ως

συνάρτηση του χρόνου, αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τρόπο παρακολούθησης του σχηματισμού πηκτής ή της πήξης (gelation) και της τήξης της πηκτής (melting) χωρίς να καταστρέφεται η δομή του συστήματος λόγω της εφαρμογής μικρών παραμορφώσεων (Lazaridou *et al.*, 2003).

Οι παράμετροι που εκτιμώνται κατά τη μελέτη της κινητικής πήξης είναι ο χρόνος σχηματισμού πηκτής ή ο χρόνος πήξης και η ταχύτητα (ρυθμός) σχηματισμού πηκτής. Ως χρόνος πήξης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για να εξισωθεί η ελαστική με την ιξώδη συνιστώσα. Η ταχύτητα σχηματισμού πηκτής σχετίζεται με το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται το  $G'$ . Οι Bohm και Kulicke (1999) εισήγαγαν μια νέα παράμετρο προσδιορισμού της ταχύτητας πήξης, το "συντελεστή αύξησης της ελαστικότητας" (elasticity increment,  $I_E$ ). Οι ερευνητές αυτοί όρισαν το  $I_E$  ως την κλίση της καμπύλης του λογαρίθμου του  $G'$  ως συνάρτηση του χρόνου  $[\log G'(t)]$ , στο σημείο εκείνο όπου παρατηρείται η απότομη αλλαγή στην κλίση της καμπύλης (turning point) και υπολογίζεται από τη σχέση:  $I_E = d(\log G'/dt)_{\max}$ , ενώ έχει ως μονάδα του το αντίστροφο του χρόνου. Όταν το  $I_E$  είναι υψηλό, αυτό συνεπάγεται ταχεία πήξη (Bohm & Kulicke, 1999).



Εικόνα 10: Μεταβολή της ελαστικής συνιστώσας  $G'$  σε συνάρτηση με το χρόνο για δείγματα β-γλυκάνης κριθαριού διαφορετικής μοριακής μάζας σε συγκέντρωση 10% (w/v), και οι τιμές του συντελεστή αύξησης της ελαστικότητας ( $I_E$ ) ως μέτρο του ρυθμού σχηματισμού πηκτής (Bohm & Kulicke, 1999).

Μεταξύ των διαφόρων β-γλυκανών δημητριακών ίδιου μοριακού βάρους, ο χρόνος πήξης μειώνεται και ο ρυθμός σχηματισμού πηκτής αυξάνεται ακολουθώντας τη σειρά βρώμης, κριθαριού και σιταριού, γεγονός το οποίο αντανακλά τη σειρά της μοριακής αναλογίας των μονάδων στην αλυσίδα του πολυσακχαρίτη. Εκτός από τη δομή, εκείνο που φαίνεται να επηρεάζει την ικανότητα σχηματισμού πηκτής του πολυσακχαρίτη είναι το μοριακό βάρος. Για δείγματα με παρόμοια κατανομή των ολιγομερών τύπου κυτταρίνης, ο χρόνος πήξης μειώνεται και ο ρυθμός σχηματισμού

πηκτής αυξάνει καθώς μειώνεται το μοριακό βάρος, πιθανόν λόγω της μεγαλύτερης κινητικότητας που παρουσιάζουν οι πιο μικρές αλυσίδες, γεγονός το οποίο ενισχύει τη διάχυση και τη συσσωμάτωση των αλυσίδων. Επιπλέον, ο ρυθμός σχηματισμού πηκτής αυξάνει καθώς αυξάνει η συγκέντρωση του πολυσακχαρίτη και η θερμοκρασία πήξης έως ένα ορισμένο εύρος θερμοκρασίας (20-35°C), ενώ με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας ο ρυθμός πήξης μειώνεται (Doublier & Wood, 1995; Bohm & Kulicke, 1999; Lazaridou *et al.*, 2003; Skendi *et al.*, 2003; Lazaridou *et al.*, 2004; Vaikousi *et al.*, 2004; Tosh *et al.*, 2004). Τέλος, η ενσωμάτωση διαφόρων σακχάρων σε συγκέντρωση 30%(w/v), σε πηκτές β-γλυκάνης κριθαριού, έδειξε να οδηγεί σε αύξηση του χρόνου πήξης με την ακόλουθη σειρά: μάρτυρας (χωρίς σάκχαρα) < γλυκόζη < φρουκτόζη < σουκρόζη < ξυλόζη < ριβόζη (Irakli *et al.*, 2004).

Μια διαφορετική ερμηνεία της τήξης των πηκτών σε δύο στάδια, θα μπορούσε να είναι η ετερογένεια στη δομή των πηκτών. Η μελέτη της συμπεριφοράς κατά την τήξη, ως συνάρτηση της συγκέντρωσης της β-γλυκάνης και της θερμοκρασίας πήξης, έδειξε ότι ακόμα και οι πηκτές που σχηματίζονταν από β- γλυκάνες μεγάλου μοριακού βάρους παρουσίαζαν τήξη δύο σταδίων σε υψηλές συγκεντρώσεις πολυμερούς, καθώς επίσης και στις περιπτώσεις εκείνες όπου η θερμοκρασία πήξης ευνοούσε τον γρήγορο σχηματισμό της πηκτής (μικροί χρόνοι πήξης) (Lazaridou *et al.*, 2004). Σε αντίθεση τα τρισδιάστατα δικτυώματα των β-γλυκανών εμφανίζουν μια απλή μετάπτωση κατά την τήξη σε χαμηλές συγκεντρώσεις β-γλυκάνης και υψηλές θερμοκρασίες πήξης ακόμα και στην περίπτωση δειγμάτων χαμηλού μοριακού μεγέθους. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν ότι συνθήκες οι οποίες ευνοούν το γρήγορο σχηματισμό πηκτής έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση δύο σταδίων πτώσης του  $G'$  στα προφίλ τήξης των πηκτών. Για τα δείγματα εκείνα που ο σχηματισμός των πηκτών γίνεται κάτω από αυτές τις συνθήκες, παρατηρούνται κάποιες ανωμαλίες στο  $G''$  κατά τη θέρμανση, οι οποίες πιθανόν να οφείλονται στο φαινόμενο της συναίρεσης. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση νερού στην επιφάνεια της πηκτής, το οποίο οδηγεί στο σχηματισμό ενός υδατικού στρώματος που παρεμποδίζει την άμεση επαφή του δείγματος με το αισθητήριο του ρεόμετρου και έχει σαν αποτέλεσμα την ολίσθηση και την εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων (Lazaridou *et al.*, 2003).

## 2.3. Απομόνωση β-γλυκανών

Η απομόνωση των β-γλυκανών από αλεύρι δημητριακών αποτελεί τη βάση, πλήθους πειραμάτων, τα οποία συναντάμε τόσο στην ξένη όσο και στην ελληνική βιβλιογραφία. Παρακάτω περιγράφονται οι τεχνικές και οι μέθοδοι οι οποίες εφαρμόστηκαν σε αντίστοιχα πειράματα.

Σύμφωνα με πείραμα της Λαζαρίδου (Λαζαρίδου, 2003) τα αλεύρια των δημητριακών από τα οποία εκχυλίστηκαν οι β-γλυκάνες περιέχουν και πλήθος άλλων συστατικών όπως άμυλο, αραβινοξυλάνες (πεντοζάνες), κυτταρίνη, πρωτεΐνες, λιπίδια, μονοσακχαρίτες και ολιγοσακχαρίτες. Το εύρος της περιεκτικότητας των β-γλυκανών στα σπέρματα των δημητριακών έχει βρεθεί να κυμαίνεται μεταξύ 3,2-9,4% στη βρώμη, 2,2-11,0% στο κριθάρι και 0,38-0,84% στο σιτάρι (Cui, 2001, Izydorezyk και Biliaderis, 2000). Οι περιοχές εναπόθεσης των β-γλυκανών στα σπέρματα των δημητριακών και οι αλληλεπιδράσεις τους με άλλα συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων (π.χ. αραβινοξυλάνες) καθορίζουν τις διαδικασίες απομόνωσης και καθαρισμού, οι οποίες αποσκοπούν στην παραλαβή δειγμάτων ή κλασμάτων εμπλουτισμένων σε β-γλυκάνες. Οι β-γλυκάνες κατανέμονται ομοιόμορφα σ' όλο το σπέρμα της βρώμης και του κριθαριού, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις ποικιλιών βρώμης με χαμηλή περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες, στις οποίες οι β-γλυκάνες βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στη στοιβάδα της αλευρώνης. Σε αντίθεση, στο σιτάρι οι β-γλυκάνες βρίσκονται κυρίως στη στοιβάδα της αλευρώνης και σε μικρή συγκέντρωση στα κυτταρικά τοιχώματα του ενδοσπερμίου (Cui, 2001).

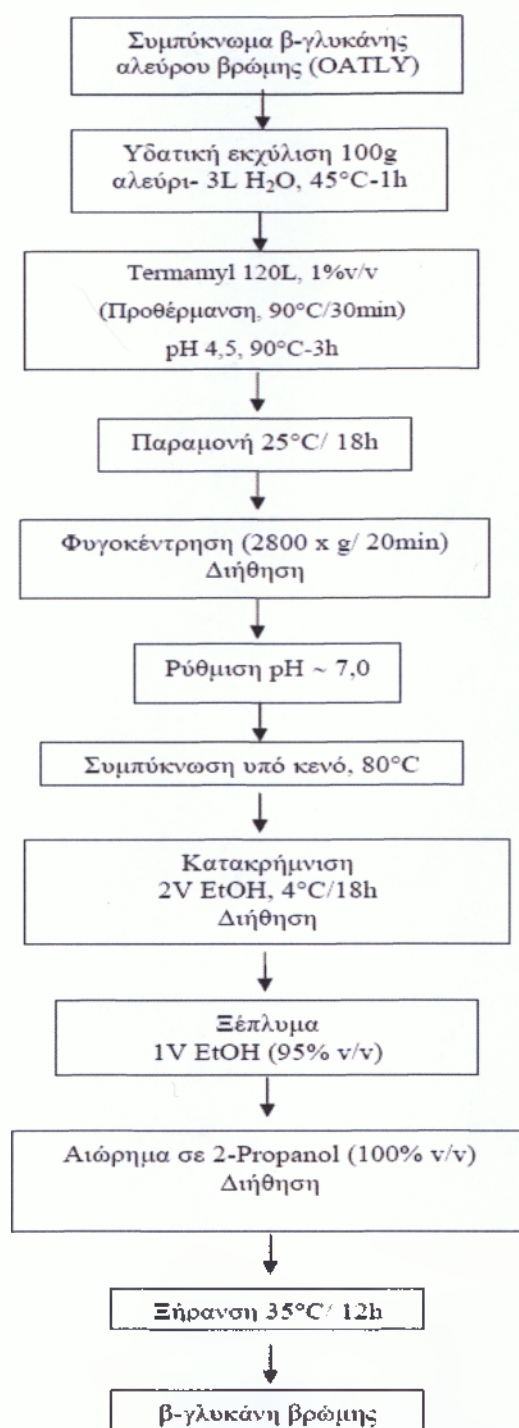
Η διεργασία απόσταξης εν ροή (βρασμός) του αλευριού σε μίγμα αιθανόλης-νερού πριν την εκχύλιση και στις δύο διαδικασίες απομόνωσης που ακολουθήθηκαν αποσκοπούσε στην απομάκρυνση των λιπιδίων, ελεύθερων σακχάρων, αμινοξέων και ορισμένων φαινολικών ουσιών και στην αδρανοποίηση των ενδογενών β-γλυκανών, οι οποίες είναι δυνατόν να μειώσουν το μοριακό μέγεθος της εκχυλιζόμενης β-γλυκάνης. Η απομόνωση των β-γλυκανών από τα αλεύρια της βρώμης και του κριθαριού πραγματοποιήθηκε με υδατική εκχύλιση (στους 52 °C για 2h) και ο καθαρισμός τους έγινε με ενζυμική κατεργασία με α-αμυλάση και παγκρεατίνη, ώστε να απομακρυνθούν το άμυλο και οι πρωτεΐνες, αντίστοιχα, που εκχυλίστηκαν μαζί με τις β-γλυκάνες. Τα υδρολύματα αμύλου και πρωτεϊνών που απελευθερώθηκαν, απομακρύνθηκαν με εκτενή διαπίδυση μέσω μεμβρανών. Παράλληλα η θερμοκρασία

εκχύλισης ήταν σχετικά χαμηλή, μικρότερη από τη θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απελευθέρωση γλυκανών από τους αμυλόκοκκους. Το εμπορικό σκευάσμα της θερμοανθεκτικής μικροβιακής α-αμυλάσης που χρησιμοποιήθηκε στην ενζυμική κατεργασία, περιείχε και ίχνη β-γλυκάνης εκτός από την α-αμυλάση, η οποία όμως αδρανοποιήθηκε με προθέρμανση του σκευάσματος στους 95 °C για 30 min. Η ίδια ενζυμική κατεργασία με την α-αμυλάση ακολουθήθηκε και για την απομόνωση της β-γλυκάνης σιταριού, με τη διαφορά ότι έγινε αρχικά αλκαλική εκχύλιση (στους 25 °C για 2h). Αυτό κρίθηκε απαραίτητο επειδή έχει βρεθεί ότι η β-γλυκάνη σιταριού δεν είναι δυνατόν να εκχυλιστεί με νερό, πιθανώς εξαιτίας του 'εγκλωβισμού' της μέσα στο δικτύωμα των πολυμερών των κυτταρικών τοιχωμάτων μαζί με πεντοζάνες, οι οποίες σχηματίζουν ομοιοπολικές γέφυρες με φαινολικές ουσίες (Cui et al., 1999, Cui et al., 2000). Σύμφωνα με έρευνες υπάρχουν ισχυρισμοί για την ύπαρξη ισχυρών διαμοριακών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις μη-υποκατεστημένες περιοχές της κύριας αλυσίδας της αραβινοξυλάνης και στα κυτταρινικά τμήματα (με μεγάλο αριθμό μονάδων γλυκόζης) της αλυσίδας των β-γλυκανών. Για την απαλλαγή του πιτύρου του σιταριού από τις αραβινοξυλάνες έγινε ο αποπολυμερισμός τους με το ένζυμο ξυλανάση και οι ολιγοσακχαρίτες που απελευθερώθηκαν απομακρύνθηκαν με εκτενή διαπίδυση. Η ρύθμιση του pH του διαλύματος στο 4,75 κατά την ενζυμική κατεργασία έγινε επειδή είναι το άριστο pH για τη δράση της ξυλανάσης, καθώς επίσης επειδή αποτελεί και τρόπο απομάκρυνσης ορισμένων πρωτεϊνών, λόγω καταβύθισής τους σ' αυτό το pH, όπως έχει άλλωστε διαπιστωθεί από άλλες μελέτες (Skendi et al., 2003). Η συνήθης μέθοδος καταβύθισης με θεικό αμμώνιο (σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις κορεσμού) που χρησιμοποιείται (Izydorczyk et al., 1998) για την εκλεκτική κλασμάτωση και συνεπώς το διαχωρισμό των β-γλυκανών από τις αραβινοξυλάνες δεν χρησιμοποιήθηκε, διότι έχει αποδειχθεί στο παρελθόν ότι δεν είναι αποτελεσματική για τον καθαρισμό της β-γλυκάνης σιταριού (Cui et al., 2000). Τα πιθανά αίτια γι' αυτό το γεγονός είναι η χαμηλή περιεκτικότητα των β-γλυκανών στο κλάσμα των μη-αμυλούχων πολυσακχαριτών του πιτύρου του σιταριού (Cui et al., 2000) και η ενίσχυση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις β-γλυκάνες και στις αραβινοξυλάνες παρουσία του θεικού αμμωνίου (Izydorczyk και MacGregor, 2000). Επιπλέον, πέρα από τη μειωμένη εκχυλισσιμότητα των β-γλυκανών και των αραβινοξυλανών, οι ισχυρές διαμοριακές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σ' αυτά τα

πολυμερή πιθανόν να συνεισφέρουν και στην αδυναμία αποπολυμερισμού τους από υδρολυτικά ένζυμα. Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκε ένα επιπλέον στάδιο καθαρισμού για τη β-γλυκάνη σιταριού που περιλάμβανε την παρασκευή ενός υδατικού διαλύματος του κλάσματος C και της αποθήκευσής του, μέχρις ότου ένα ίζημα υπό τη μορφή πηκτής σχηματιστεί στους 25<sup>o</sup> C (για ~ 48h). Οι β-γλυκάνες είναι το μοναδικό συστατικό του κλάσματος C που έχει την ικανότητα να σχηματίζει υδροπηκτές. Η απομάκρυνση του υπερκείμενου υγρού από το παραπάνω σύστημα είχε ως αποτέλεσμα την παραλαβή μιας φάσης υπό τη μορφή πηκτής που περιείχε β-γλυκάνες υψηλής καθαρότητας σχετικά απαλλαγμένες από υπολείμματα άλλων συστατικών, που συνεκχυλίστηκαν μαζί με τις β-γλυκάνες και δεν απομακρύνθηκαν με τις ενζυμικές κατεργασίες (κυτταρίνη, αραβινοξυλάνες, υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες). Η μέθοδος της καταβύθισης με θειικό αμμώνιο δεν εφαρμόστηκε ούτε στον καθαρισμό των β-γλυκανών βρώμης και κριθαριού, διότι σε δοκιμαστικές πειραματικές εκχυλίσσεις διαπιστώθηκε πως η καθαρότητα των παραγόμενων β-γλυκανών δεν αυξήθηκε σημαντικά προσθέτοντας στο πρωτόκολλο καθαρισμού το επιπλέον αυτό στάδιο και επιπλέον δεν ανιχνεύθηκαν αραβινοξυλάνες στα φάσματα C-NMR των απομονωθέντων δειγμάτων. Μια πιθανή αιτία αυτού του γεγονότος είναι η χαμηλή περιεκτικότητα των αλευριών ολικής αλέσεως βρώμης και κριθαριού σε αραβινοξυλάνες.

Τέλος, για τη βελτίωση της υδατοδιαλυτότητας των β-γλυκανών από δημητριακά χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις η μέθοδος των Cui et al. (1999), δηλαδή εκείνη της εναλλαγής του διαλύτη (solvent exchange) στο ίζημα του πολυσακχαρίτη, που περιλαμβάνει, την καταβύθιση του υδροκολλοειδούς αρχικά με αιθανόλη και την αιώρηση και διαδοχικά ξεπλύματα του ιζήματος με 2-προπανόλη.

Σε πείραμα της Σεραφειμίδου (Σεραφειμίδου 2008) επιχειρήθηκε επίσης απομόνωση β-γλυκανών και ενσωμάτωση στα φυσικοχημικά μικροβιολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος. Η β-γλυκάνη βρώμης απομονώθηκε από συμπύκνωμα β-γλυκάνης από αλεύρι βρώμης που προήλθε από την εταιρία OATLY (Lund, Sweden). Η περιεκτικότητα του συμπυκνώματος σε β-γλυκάνη ήταν 19% (επί ξηρού) ενώ ακολουθώντας τη διαδικασία απομόνωσης που περιγράφεται στο Εικόνα 9 η καθαρότητα της β-γλυκάνης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη ανήλθε στο 72% (επί ξηρού).



Εικόνα 11: Απομόνωση β-γλυκάνης από συμπύκνωμα β-γλυκάνης από αλεύρι βρώμης (Σεραφειμίδου 2008).

## 2.4. Βιοσύνθεση β-γλυκανών

Η βιοσύνθεση των β-γλυκανών αποτελεί αντικείμενο πλήθους πειραμάτων με το οποίο έχουν ασχοληθεί πολλοί ερευνητές. Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία θα παρατηρήσουμε μελέτες που ασχολούνται με τη βιοσύνθεση των β-γλυκανών στον

αραβόσιτο (Marcos et al, 1999) στο κριθάρι (Becker et al, 1995) στη βρώμη (Tsai et al, 1993).

Από την πρώτη μελέτη της φυτικής σύνθεσης γλυκάνης *in vitro* (Feingold et al. 1958), η πρόοδος προς την κατεύθυνση των χαρακτηριστικών και τον καθαρισμό των σχετικών ενζύμων βιοσύνθεσης υπήρξε αργή. Η μελέτη του Becker (Becker 1995), αφορά στην ανάπτυξη μιας σειράς πειραματικών τεχνικών που θα επέτρεπαν τις αναλύσεις για να πραγματοποιηθεί η σύνθεση των (1→3) (1→4) - β-γλυκανών από κριθάρι απλά και γρήγορα για τη χρήση τους σε πείραμα. Αρχικά επιλέχθηκε το σπορόφυτο κριθαριού ως, κατάλληλη, μη εποχιακή πηγή του ιστού.

Σε αυτή την έρευνα βιοσύνθεσης (1→3)(1→4)-β-γλυκάνης από κριθάρι, εισήχθηκαν νέες τεχνικές που βασίζονται στην ποσοτική ψηφιακή αυτοραδιογραφία. Οι παραπάνω τεχνικές επιτρέπουν την παρακολούθηση των ποσοτήτων και τις χημικές δομές σε όλα τα *in-vitro* πειράματα βιοσύνθεσης των διαφόρων προϊόντων πολυσακχαριτών που σχηματίζονται από UDP [<sup>14</sup>C]Glc, και την ποσοτική αξιολόγηση των αντιδράσεων που καταλύουν τη μετατροπή των UDP [<sup>14</sup>C]Glc.

Τα ενζυμικά συστήματα που καταλύουν τη σύνθεση των (1→3)- και (1→3) (1→4)-β-γλυκανών διέφεραν σε σχέση με τη δραστηριότητα του pH τους, καθώς και τις απαιτήσεις τους σε δισθενή κατιόντα μετάλλων. Ως συστήματα απομόνωσης χρησιμοποιήθηκαν μεμβράνες που παρασκευάζονται από κυτταρικές καλλιέργειες του ενδοσπερμίου του *multiflorum Lolium* (Henry και Stone 1982) και της Ζέας *mays coleoptiles* (Gibeaut και Carpita 1993). Το βέλτιστο pH για σύνθεση (1→3) (1→4)-β-γλυκάνης διαπιστώθηκε ότι ήταν pH 8,5. Οι ασυνήθιστα υψηλές ιδανικές τιμές pH μπορεί να σημαίνει ότι η τιμή του pH στο εσωτερικό των μικροσωμικών κυστιδίων είναι σημαντική στον καθορισμό της ενζυμικής δραστηριότητας και ότι οι διαφορετικές ζώνες δεν επηρεάζουν το pH των κυστιδίων του εσωτερικού χώρου με εξίσου αποτελεσματικό τρόπο. Φαίνεται απίθανο ότι η σύνθεση γλυκάνης *in vivo* λειτουργεί σε τιμές pH πάνω από 8.5. Η απαίτηση σε Mg<sup>2+</sup> για τη σύνθεση (1→3) (1→4)-β-γλυκάνης μπορεί να αποδοθεί σε ένζυμα του βιοσυνθετικού συστήματος. Η εκτεταμένη διέγερση από Mg<sup>2+</sup> στο decimolar φάσμα είναι πιο πιθανόν να αντανακλά μια επίδραση ιόντων Mg<sup>2+</sup> στις μεμβράνες. Ελήφθησαν υπόψη δεδομένα συγκέντρωσης του υποστρώματος τόσο για τη σύνθεση της (1→3) (1→4)-β-γλυκάνης όσο και τη σύνθεση της (1→3) -β-γλυκάνη υπό συνθήκες στις οποίες δεν παρεμβαίνουν άλλες αντιδράσεις στο υπόστρωμα. Παρ

Όλα αυτά, τα δεδομένα μας καταδεικνύουν σημαντικές διαφορές μεταξύ της συγκέντρωσης του υποστρώματος για τη σύνθεση των δύο γλυκανών. Αυτά ήταν: το σχετικό ποσό των (1→3) – και (1→3) (1→4) -β-γλυκάνης το οποίο διαμορφώθηκε σε διαφορετικές συγκεντρώσεις UDP [<sup>14</sup>C]Glc κάτω από πειραματικές συνθήκες που επέτρεψαν την ταυτόχρονη σύνθεση και των δύο τύπων γλυκάνης. Παρατηρούνταν συστηματικά οι μοριακές δομές (1→3) (1→4) - β-γλυκάνης που διαμορφώθηκαν *in vitro* υπό μεγάλη ποικιλία από πειραματικές συνθήκες (pH, ιοντικό περιβάλλον, θερμοκρασία, συγκέντρωση υποστρώματος), με ενζυματικό κατακερματισμό χρησιμοποιώντας το *B. lichenase*, και δεν παρατηρηθήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ αυτών. Επιπλέον, η μοριακές αναλογίες των τρι-, τετρα- και υψηλότερων σακχαριτών που απελευθερώνονται στην πέψη των *lichenase* ήταν πάντα το ίδιο με το ενδοσπέρμιο γλυκάνης μεικτής σύνδεσης στο κριθάρι. Έχει αναφερθεί (Henry και Stone 1982) ότι η (1 →3) (1→4) - β-γλυκάνη συντίθενται από 10 mM UDP [<sup>14</sup>C]Glc ενώ η παρουσία των μεμβρανών του *multiflorum Lolium* έχει μεγαλύτερο ποσοστό μονάδων τετρασακχαρίτη από εκείνο που σχηματίζεται με την παρουσία του 1 mM UDP [<sup>14</sup>C]Glc. Επίσης στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν χαμηλές μικρομοριακές συγκεντρώσεις των UDP [<sup>14</sup>C]Glc μόνο μετά την αναστολή άλλων ενζύμων για την προστασία των υποστρωμάτων UDP [<sup>14</sup>C]Glc. Το προϊόν (1→3) (1→4)-β-γλυκάνης που λαμβάνεται υπό αυτές τις συνθήκες ήταν το ίδιο με εκείνα που λαμβάνονταν σε υψηλότερες UDP [<sup>14</sup>C]Glc συγκεντρώσεις. (Carpita 1984, Carpita και Kanabus 1988, Gibeaut & Carpita 1991).

Πρέπει επίσης, να σημειωθεί ότι οι δομές των (1→3) (1→4) - β-γλυκανών που συντίθενται *in vitro* χρησιμοποιούν μεμβράνες που παρασκευάζονται από ιστούς βλαστών του κριθαριού και είναι αντίστοιχες με την παραγωγή β-γλυκάνης από το ενδοσπέρμιο κριθαριού . Αυτό δείχνει ότι οι ενζυματικοί μηχανισμοί βιοσύνθεσης (1→3) (1→4) -β-γλυκάνη σε σπορόφυτα και ενδοσπέρμια είναι ταυτόσημες, και δικαιολογεί τη χρήση των ιστών από σπορόφυτα ως πρώτη ύλη για την απομόνωση και τον καθαρισμό της (1→3) (1→4)-β-γλυκάνης.

Θα πρέπει στο σημείο αυτό να γίνει αναφορά της UDP-γλυκόζης, το υπόστρωμα ή/και παράγωγο του ενζύμου της UGPάσης, το οποίο είναι ένας μεταβολίτης κλειδί για το μεταβολισμό των υδατανθράκων σε φωτοσυνθετικούς και

μη φωτοσυνθετικούς ιστούς. Χρησιμοποιείται στη βιοσύνθεση των πολυσακχαριτών του κυτταρικού τοιχώματος, αντανακλώντας έτσι το σημαντικό ρόλο της ως πρόδρομο μόριο στη βιογένεση των κυτταρικών τοιχωμάτων (Gibeaut, 2000). Ένας ακόμη σημαντικός ρόλος της, είναι η εμπλοκή της στη σύνθεση τμημάτων υδατανθράκων των γλυκολυπιδίων και γλυκοπρωτεϊνών (Flores-Díaz *et al.*, 1997). Η επικρατέστερη άποψη είναι ότι η UGRάση βρίσκεται κυρίως στο κυτταρόπλασμα. Η πλειοψηφία των UGRασών βρίσκεται στο κυτταρόπλασμα αλλά και σε κάποιο βαθμό στους αμυλοπλάστες και τα οργανίδια Golgi (Kimura *et al.*, 1992). Στο κριθάρι μεγάλη δραστηριότητα των UGRασών βρέθηκε στο μεμβρανικό κλάσμα (Becker *et al.*, 1995). Μέσω της UDP-γλυκόζης είναι δυνατόν να βιοσυντίθεται κυτταρίνη και καλλόζη που σχηματίζονται κατ' ευθείαν στο πλασμάλημμα, ενώ άλλοι πολυσακχαρίτες (π.χ ημικυτταρίνες και πηκτίνες) βιοσυντίθεται στα οργανίδια Golgi και μεταφέρονται στον περιπλασματικό χώρο με κυστίδια (Gibeaut, 2000). Δραστηριότητες που παρέχουν UDP-γλυκόζη για μετέπειτα διαδικασίες πρέπει να έχουν σχέση με τα οργανίδια Golgi ή πρέπει να υπάρχουν μεταφορείς που επιτρέπουν μεταφορά της UDP-γλυκόζης από το κυτόπλασμα μέσω της μεμβράνης Golgi. Μέσω χρήσης μεταλλάγμάτων ζυμών βρέθηκε ότι η UGRάση εμπλέκεται στη σύνθεση κυτταρικών τοιχωμάτων. Σε μεταλλάγματα ζυμών, η δραστηριότητα της UGRάσης μειώθηκε κατά δέκα φορές και αυτό οδήγησε σε μείωση του περιεχομένου της β-γλυκάνης στα κυτταρικά τοιχώματα (Daran *et al.*, 1995).

# Κεφάλαιο 3

## 3.1 Λειτουργικά τρόφιμα και β-γλυκάνες

Ένα τρόφιμο μπορεί να θεωρηθεί λειτουργικό όταν εκτός από την κάλυψη των βασικών διατροφικών αναγκών επιδρά σε συγκεκριμένους λειτουργικούς στόχους εντός του οργανισμού μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών και παρέχοντας οφέλη υγείας. Πληθώρα διεθνών επιστημονικών οργανισμών έχουν καταλήξει στην άποψη ότι στα λειτουργικά τρόφιμα δεν πρέπει να συμπεριλαμβάνονται τα συμπληρώματα διατροφής, τα συστατικά τροφίμων σε μορφή δισκίων ή σκόνης και τα φάρμακα, τα οποία διαχωρίζονται σαφώς από τα τρόφιμα. Τα λειτουργικά τρόφιμα πρέπει να έχουν τη μορφή κανονικού τροφίμου και να καταναλώνονται στα πλαίσια της καθημερινής διατροφής.

Με βάση αυτή την προσέγγιση της έννοιας των λειτουργικών τροφίμων οι επιστήμονες τα έχουν κατατάξει σε τρεις βασικές κατηγορίες: α) Τα συμβατικά λειτουργικά τρόφιμα, β) Τα τρόφιμα για ειδικές διατροφικές χρήσεις και γ) Τα ενισχυμένα ή εμπλουτισμένα τρόφιμα.

Τα συμβατικά λειτουργικά τρόφιμα περιλαμβάνουν εκείνα τα οποία περιέχουν βιοενεργά συστατικά, δηλαδή ουσίες με δραστηριότητα εντός του οργανισμού. Για παράδειγμα κάποια φρούτα και λαχανικά έχει τεκμηριωθεί επιστημονικά ότι περιέχουν αντιοξειδωτικές ουσίες που προστατεύουν τον οργανισμό από τις ελεύθερες ρίζες, μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης διαφόρων ασθενειών. Το λυκοπένιο της τομάτας, οι ανθοκυάνες του κόκκινου κρασιού και οι κατεχίνες του τσαγιού είναι μερικές περιπτώσεις βιοδραστικών ουσιών σε συμβατικά τρόφιμα. Αυτά τα τρόφιμα, σύμφωνα με το International Food Information Council (IFIC) θεωρούνται τα πιο αναγνωρισμένα λειτουργικά τρόφιμα από τους καταναλωτές.

Τα λειτουργικά τρόφιμα για ειδικές διατροφικές χρήσεις είναι εκείνα τα οποία έχουν υποστεί συγκεκριμένη βιομηχανική επεξεργασία με στόχο αφενός μεν να υποστηρίξουν μια ειδική διατροφική ανάγκη η οποία υφίστανται λόγω φυσικής, φυσιολογικής ή παθολογικής αιτίας, αφετέρου δε να ενισχύουν την πρόσληψη διαφόρων συστατικών.

Η πιο διαδεδομένη κατηγορία λειτουργικών τροφίμων είναι τα ενισχυμένα ή εμπλουτισμένα τρόφιμα. Ο γενικός νομοθετικός κώδικας για την προσθήκη

απαραίτητων συστατικών στα τρόφιμα αναφέρει ότι ενίσχυση ή εμπλουτισμός είναι η προσθήκη ενός ή περισσότερων συστατικών, είτε αυτά περιέχονται φυσιολογικά είτε όχι στο τρόφιμο, με στόχο την πρόληψη ή την αντιμετώπιση διαγνωσμένης ανεπάρκειας στον πληθυσμό ή σε μια πληθυσμιακή ομάδα. Ενίσχυση είναι η επιπλέον προσθήκη ενός συστατικού που φυσιολογικά υπάρχει στο τρόφιμο, όπως η περίπτωση της προσθήκης φολικού οξέος και βιταμίνης C στους χυμούς. Εμπλουτισμός είναι η προσθήκη ενός συστατικού που δεν υπάρχει φυσιολογικά στο τρόφιμο. Τα τελευταία χρόνια έχει εμφανιστεί μια νέα κατηγορία τροφίμων τα οποία από κάποιους επιστήμονες θεωρούνται λειτουργικά (Bech-Larsen, T. και Grunert, K.G. 2003). Πρόκειται για τα νεοφανή τρόφιμα, τα οποία προκύπτουν κυρίως από τεχνικές χρήσης μοριακής βιολογίας και γενετικής τροποποίησης των σπόρων, ενώ πιθανές αρνητικές επιπτώσεις τους στην υγεία βρίσκονται υπό διερεύνηση. Η αποδοχή των β-γλυκανών την τελευταία δεκαετία ως βιοενεργών συστατικών έχει αυξήσει την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν δημητριακούς καρπούς, είτε ως ολόκληρα συστατικά είτε ως κλάσματα αλεύρων, ιδιαίτερα με τη μορφή των προϊόντων ολικής άλεσης.

### **3.2. Ευεργετικές επιδράσεις β-γλυκανών στην υγεία**

Οι β-γλυκάνες θεωρούνται ως διαιτητικές ίνες, διότι το πεπτικό σύστημα του ανθρώπου δεν διαθέτει τα κατάλληλα ένζυμα για τη διάσπαση και αφομοίωσή τους, εκτός του παχέος εντέρου όπου σε κάποια έκταση αποικοδομούνται από την εντερική χλωρίδα.

Είναι πιθανόν ότι η πηγή (είδος, ποικιλία) των β-γλυκανών, οι διεργασίες επεξεργασίας (άλεση, επιδράσεις θερμοκρασίας-χρόνου επεξεργασίας και συντήρησης του προϊόντος, pH, διατμητικής τάσης κ.λπ.) και οι αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά (βιοπολυμερή ή σάκχαρα μικρού μοριακού βάρους) στην αρχική πηγή προέλευσης ή σ' ένα σύνθετο τρόφιμο επηρεάζουν τη συγκέντρωση, τα δομικά χαρακτηριστικά, τη διαλυτότητα, την ικανότητα μοριακής διασποράς αυτών των πολυσακχαριτών και, επομένως, καθορίζουν τη φυσιολογική τους δράση στο γαστρεντερικό σωλήνα.

### 3.2.1. Επιδράσεις των β-γλυκανών στο μεταβολισμό των λιπιδίων

Παρόλες τις προσπάθειες που γίνονται τα τελευταία χρόνια, οι καρδιαγγειακές παθήσεις συνεχίζουν να αποτελούν τη σημαντικότερη αιτία θανάτου στον κόσμο. Για την πρόληψη αυτών των ασθενειών έχει προταθεί η κατανάλωση τροφών με δημητριακά ολικής αλέσεως. Οι ευεργετικές επιδράσεις αυτών των τροφίμων αποδίδονται στην επίδραση των περιεχομένων φυτικών ινών στη συγκέντρωση χοληστερόλης (Behall *et al.*, 2004). Η ικανότητα μείωσης της χοληστερόλης αποδόθηκε αρχικά στη βρώμη αλλά πιο πρόσφατα και στο κριθάρι (Kalra & Jood, 2000).

Μέσα από ένα σημαντικά μεγάλο αριθμό κλινικών δεδομένων των τελευταίων 40 χρόνων αποτυπώνεται ο ευεργετικός ρόλος των β-γλυκανών από δημητριακά στη μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης του αίματος και στην καλύτερη ρύθμιση του μεταβολισμού των λιποπρωτεϊνών (Brown *et al.*, 1999, Ripsin *et al.*, 1992). Συγκεκριμένα, η κατανάλωση προϊόντων που περιέχουν δημητριακά (κυρίως προϊόντων ολικών δημητριακών σπόρων) φαίνεται ότι επιφέρει επιλεκτική μείωση της LDL-χοληστερόλης (low-density-lipoprotein-cholesterol) ή «κακής» χοληστερόλης, ενώ είτε αυξάνει την HDL-χοληστερόλη (high-density-lipoprotein-cholesterol) ή «καλή» χοληστερόλη ή αυξάνει την αναλογία της HDL προς LDL χοληστερόλης.

Στις 21 Ιανουαρίου του 1997, η FDA (Food and Drug Administration) των Η.Π.Α., έχοντας λάβει υπόψη 37 μελέτες στις οποίες η βρώμη καταναλωνόταν ως κρύο ή ζεστό δημητριακό, ή ενσωματώνονταν σε διάφορα τρόφιμα (ψωμί, τηγανίτες, ροφήματα κ.ά.), επέτρεψε τον εξής ισχυρισμό υγείας: «ένα διαιτολόγιο πλούσιο σε διαλυτές ίνες βρώμης, και χαμηλό σε κορεσμένο λίπος, μειώνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών ασθενειών». Σύμφωνα πάντα με την FDA, τα τρόφιμα που περιέχουν βρώμη, θα πρέπει να παρέχουν τουλάχιστον 0,75g διαλυτών ινών ανά μερίδα. Επίσης, η συνολική ποσότητα διαλυτών ινών που απαιτείται προκειμένου να υπάρχει επίδραση στη χοληστερόλη είναι 3g/ημέρα. Τέλος, για να μπορούν να ανταποκριθούν στον παραπάνω ισχυρισμό, τα προϊόντα αυτά, θα πρέπει να καταναλώνονται τουλάχιστον τέσσερις φορές την ημέρα.

Σε μια συνολική αξιολόγηση (meta-analysis) 12 διαφορετικών μελετών οι Ripsin *et al.* (1992), εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ κατανάλωσης προϊόντων βρώμης

και επιπέδων χοληστερόλης, βρήκαν μια στατιστικά σημαντική μείωση στη χοληστερόλη του αίματος κατά 0,13 mmol/L. Σε μια ανάλογη μελέτη, οι Brown et al. (1999), συνοψίζοντας τα αποτελέσματα 25 διαφορετικών μελετών, βρήκαν στατιστικά σημαντική μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης ανά 3,0 γραμ. ημερήσιας κατανάλωσης β-γλυκανών βρώμης κατά 0,12 mmol/L στην ολική και 0,11 mmol/L στην LDL χοληστερόλη, ενώ τα επίπεδα της HDL-χοληστερόλης και των τριγλυκεριδίων δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά. Αυτά τα επίπεδα μείωσης αντιστοιχούν σε πολλαπλάσια επίπεδα ελάττωσης του ρίσκου εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων στο πλαίσιο μιας υγιεινής διατροφής (πλούσιας σε προϊόντα δημητριακών καρπών, φρούτων και λαχανικών και μειωμένη κατανάλωση κορεσμένων λιπαρών) και ενός υγιούς τρόπου ζωής. Η σχέση μεταξύ χοληστερόλης και κινδύνου για καρδιαγγειακά νοσήματα σε διαφορετικούς πληθυσμούς και μορφωτικές-ηλικιακές ομάδες έχει μελετηθεί εκτενώς. Μάλιστα, η συγκέντρωση της χοληστερόλης στο αίμα θεωρείται ως ένας αρκετά αξιόπιστος δείκτης κινδύνου. Αρκετές μελέτες δείχνουν ότι στατιστικά οι πληθυσμοί με υψηλά επίπεδα χοληστερόλης βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο για την εμφάνιση της στεφανιαίας νόσου. Αντίθετα, μια μείωση της συγκέντρωσης της χοληστερόλης στο αίμα φαίνεται να ελαττώνει τον κίνδυνο. Επίσης, μικρές μεταβολές (μείωση) στην ολική- και LDL-χοληστερόλη, σε επίπεδο πληθυσμού, μπορεί να έχουν πολλαπλάσια μεγαλύτερες επιπτώσεις για τη Δημόσια Υγεία σε ό,τι αφορά τη μείωση της συχνότητας εμφάνισης περιστατικών με καρδιαγγειακά νοσήματα. Οι Law et al. (1994), με βάση τα στοιχεία ελεγχόμενων κλινικών μελετών, υπολόγισαν ότι για μια μείωση της ολικής χοληστερόλης στο αίμα κατά 0,6 mmol/L (10%), η αναμενόμενη μείωση του κινδύνου εκδήλωσης στεφανιαίας νόσου είναι της τάξης του 50%. Αντίστοιχα, με μείωση της LDL-χοληστερόλης κατά 1%, η εκτιμώμενη ποσοστιαία μείωση του κινδύνου εμφάνισης καρδιαγγειακού νοσήματος είναι μεταξύ 2 και 3%. Ο ακριβής μηχανισμός δράσης των β-γλυκανών βρώμης σε ό,τι αφορά τη μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης δεν είναι ακριβώς γνωστός.

Η επίδραση της β-γλυκάνης στην χοληστερόλη έχει βρεθεί να σχετίζεται με την καθαρότητα, τη διαλυτότητα, το ιξώδες και το μοριακό βάρος του πολυσακχαρίτη (Beer et al., 1995). Οι υψηλής διαλυτότητας β-γλυκάνες με μέτριο ή υψηλό μοριακό βάρος, βρέθηκε ότι μειώνουν περισσότερο τα επίπεδα χοληστερόλης από ότι εκείνα χαμηλού μοριακού βάρους. Οι β-γλυκάνες μεγαλύτερης διαλυτότητας και μοριακού βάρους δημιουργούν υψηλότερο ιξώδες στον εντερικό σωλήνα, γεγονός το οποίο

οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της χοληστερόλης. Το αυξημένο ιξώδες στο έντερο οδηγεί στο σχηματισμό ενός στρώματος στο επιθήλιο το οποίο λειτουργεί ως φυσικό εμπόδιο για την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών και την επαναπορρόφηση των χολικών οξέων. Ωστόσο, σε διάφορες μελέτες που έγιναν (Naumann *et al.*, 2006; Frank *et al.*, 2004) βρέθηκε ότι τόσο οι υψηλού, οι μέσου όσο και οι χαμηλού μοριακού βάρους β-γλυκάνες μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα της χοληστερόλης. Συνεπώς δεν μπορεί κανείς να ισχυριστεί με βεβαιότητα ότι το μοριακό βάρος των β-γλυκανών από μόνο του, μπορεί να προβλέψει την ικανότητα μείωσης της χοληστερόλης από τη β-γλυκάνη (Naumann *et al.*, 2006; Kerckhoffs *et al.*, 2003). Επιπλέον, τα σκευάσματα εκείνα τα οποία φαίνεται να εμφανίζουν υποχοληστεριναιμική δράση προσδίδουν υψηλό ή μέτριο ιξώδες και ψευδοπλαστικές ιδιότητες σε υδατικά συστήματα. Τα σκευάσματα τα οποία είναι αναποτελεσματικά ή λιγότερο αποτελεσματικά φαίνεται ότι είναι εκείνα που αποδίδουν υδατικά εκχυλίσματα χαμηλού ιξώδους (Malkki *et al.*, 1992).

Επιπλέον, έχει προταθεί ότι η ικανότητα μείωσης της χοληστερόλης από τη β-γλυκάνη εξαρτάται από τη σύνθεση του τροφίμου και τη μέθοδο επεξεργασίας των προϊόντων. Πράγματι, οι Naumann *et al.* (2006), διαπίστωσαν ότι όταν η β-γλυκάνη ενσωματωθεί σε χυμό φρούτων, τότε μειώνει τη συγκέντρωση της ολικής και LDL χοληστερόλης πιο πολύ από ότι αν ενσωματωθεί σε ψωμί ή μπισκότα, κάτι το οποίο είχε επιχειρηθεί προηγουμένως από τους Kerckhoffs *et al.* (2003). Τέλος, ο Wood (2002), πρότεινε ότι η ποσότητα της β-γλυκάνης (ή παρόμοιων διαλυτών ινών) από μόνη της δεν μπορεί να σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα της β-γλυκάνης στη μείωση της χοληστερόλης. Το θέμα είναι πιο πολύπλοκο, και φαίνεται ότι δεν υπάρχουν ακόμα σαφείς πληροφορίες. Προς το παρόν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιολογική διαθεσιμότητα ή τη βιοδραστικότητα (συγκέντρωση x Μοριακό Βάρος) έχουν κάποια αξία, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση κάποιων προϊόντων ως προς ένα πρότυπο, αλλά απαιτούνται περισσότερες μελέτες για την επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στα μοριακά χαρακτηριστικά του πολυσακχαρίτη.

### 3.2.2. Επιδράσεις των β-γλυκανών στο μεταβολισμό των υδατανθράκων

Πολλά από τα τρόφιμα που καταναλώνουμε σήμερα περιέχουν υδατάνθρακες που πέπτονται και απορροφώνται γρήγορα από το έντερο, περνώντας στο αίμα και προκαλώντας υψηλή γλυκαιμική απόκριση ή αύξηση του γλυκαιμικού δείκτη (GI) και γρήγορη έκκριση ινσουλίνης από το πάγκρεας.

Η υπογλυκαιμική δράση υπολογίζεται μέσω του γλυκαιμικού δείκτη (Glycemic Index-GI) ο οποίος ορίζεται ως η περιοχή κάτω από την καμπύλη των ανταποκρίσεων της γλυκόζης σε ένα τρόφιμο το οποίο περιέχει υδατάνθρακες σε σύγκριση με κατανάλωση μιας συγκεκριμένης δόσης γλυκόζης ή μιας συγκεκριμένης ποσότητας άσπρου ψωμιού.

Η αδυναμία του σώματος να ελέγξει τη γλυκόζη του αίματος με κανονικά επίπεδα ινσουλίνης σχετίζεται με την παχυσαρκία και μπορεί να αποτελεί ένα πρώτο στάδιο για την ανάπτυξη μη-ινσουλινο-εξαρτώμενου διαβήτη (non-insulin-dependent diabetes mellitus- NIDDM). Η μείωση του επιπέδου ινσουλίνης που απαιτείται για να διατηρηθεί σε κανονικά επίπεδα η γλυκόζη του αίματος, αποτελεί μια ένδειξη της βελτίωσης της αντίστασης στην ινσουλίνη ή μεγαλύτερη ευαισθησία στην ινσουλίνη.

Η αύξηση των επιπέδων της ινσουλίνης πιστεύεται ότι αποτελεί παράγοντα κλειδί στην ανάπτυξη σοβαρών ασθενειών, όπως διαβήτης τύπου-II, παχυσαρκία και καρδιαγγειακά νοσήματα. Πολλές κλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση τροφίμων εμπλουτισμένων σε β-γλυκάνες από βρώμη και κριθάρι συμβάλλουν στη μείωση του γλυκαιμικού δείκτη και του δείκτη ινσουλίνης (GII) (Cavallero et al., 2002, Hallfrisch et al., 1995, Wood et al., 1994, Wursch & Pi-Sunyer, 1997, Yokoyama et al., 1997). Οι παράγοντες που επηρεάζουν το γλυκαιμικό δείκτη είναι: οι διαλυτές ίνες, η περιεκτικότητα σε αμυλόζη, το μέγεθος των σωματιδίων της τροφής και η μέθοδος προετοιμασίας του τροφίμου. Όσο πιο μεγάλο είναι το μέγεθος των σωματιδίων, τόσο πιο χαμηλή είναι η ανταπόκριση γλυκόζης και ινσουλίνης. Όσο πιο υψηλό το επίπεδο επεξεργασίας και εξευγενισμού του αλεύρου, τόσο πιο υψηλή είναι η γλυκαιμική ανταπόκριση. Τέλος, σπόροι με υψηλά επίπεδα διαλυτών β-γλυκανών (βρώμη, σίκαλη, κριθάρι) είναι πιο αποτελεσματικοί στο να βελτιώνουν την ευαισθησία στην ινσουλίνη σε σύγκριση με το σιτάρι, το οποίο περιέχει κυρίως αδιάλυτες διαιτητικές ίνες (Hallfrisch & Behall, 2000; Bhatt, 1999).

Οι Wursch και Pi-Sunyer (1997) δημοσίευσαν ένα άρθρο πάνω στην επίδραση που μπορεί να έχει η κατανάλωση διαφόρων προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες στους δείκτες GI και GII υγείων και διαβητικών ατόμων, συμπεραίνοντας ότι μια περιεκτικότητα 8-10 % σε β-γλυκάνη στα δημητριακά μπορεί να μειώσει την μέγιστη τιμή της γλυκόζης κατά 50%.

Ο μηχανισμός με τον οποίο οι β-γλυκάνες μειώνουν τη μεταγευματική ανταπόκριση της γλυκόζης δεν συνδέεται μόνο με τη μείωση της αποικοδόμησης του αμύλου από την α-αμυλάση, αλλά και με το υψηλό ιξώδες που οι ίδιες προκαλούν στο περιεχόμενο του γαστρεντερικού σωλήνα (Cavallero *et al.*, 2002).

Ο Wood (1994b) βρήκε ότι η χορήγηση γλυκόζης, παρουσία β-γλυκάνης βρώμης, σε υγιή άτομα μείωσε τη μεταγευματική ανταπόκριση της γλυκόζης του αίματος, και μάλιστα η επίδραση αυτή ήταν ανάλογη προς το λογάριθμο του ιξώδους που παρουσίαζε το χορηγούμενο διάλυμα. Σε μια δεύτερη μελέτη που ακολούθησε, οι Wood *et al.* (1994a) βρήκαν ότι η ανταπόκριση της γλυκόζης και της ινσουλίνης εξαρτώνται από τη δόση της β-γλυκάνης καθώς και από το ιξώδες. Η μείωση για παράδειγμα του ιξώδους οδηγεί σε μείωση της ικανότητας μείωσης των μεταγευματικών επιπέδων γλυκόζης και ινσουλίνης. Οι ερευνητές αυτοί κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή της γλυκόζης και της ινσουλίνης αποδίδεται κατά 79-96% στο ιξώδες και ότι οι μεταβολές αυτές γίνονται ακόμα και σε σχετικά χαμηλές δόσεις και ιξώδη. Αργότερα, οι Wood *et al.* (2000) διαπίστωσαν ότι η γλυκαιμική ανταπόκριση σχετίζεται λογαριθμικά τόσο με τη συγκέντρωση όσο και με το μοριακό βάρος των β-γλυκανών.

Η επίδραση της β-γλυκάνης στα επίπεδα γλυκόζης του αίματος και της ινσουλίνης εκτιμήθηκε σε ένα μεγάλο αριθμό κλινικών μελετών, στις οποίες δοκιμάστηκαν επεξεργασμένα προϊόντα (κουρκούτι, νιφάδες, αλεύρι κ.τ.λ.) τα οποία προέρχονταν από ποικιλίες βρώμης ή σιταριού με κανονικά ή υψηλά επίπεδα β-γλυκανών είτε προϊόντα που περιέχουν εκχυλίσματα β-γλυκάνης (Cavallero *et al.*, 2002). Η επίδραση της ενσωμάτωσης υψηλής ποσότητας β-γλυκάνης σε αμυλούχα τρόφιμα (ζυμαρικά, ψωμί) έχει μελετηθεί και τα αποτελέσματα ήταν αντικρουόμενα. Στα ζυμαρικά (τα οποία αποτελούν ένα τρόφιμο με υψηλό γλυκαιμικό δείκτη) ο εμπλουτισμός με β-γλυκάνη κριθαριού μείωσε σημαντικά το επίπεδο γλυκόζης του αίματος (Yokoyama *et al.*, 1997). Ενώ σε άλλο πείραμα, παρόλο που παρατηρήθηκε μια μείωση στην ανταπόκριση της ινσουλίνης, δεν υπήρξε επιπλέον μεταγευματική μείωση της γλυκόζης (Bourdon *et al.*, 1999). Η ενσωμάτωση β-γλυκάνης σε ψωμί

έδειξε ότι προκαλεί μείωση στις γλυκαιμικές και ινσουλιναιμικές ιδιότητες σε σύγκριση με το άσπρο ψωμί (Ostman *et al.*, 2006).

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι επιδράσεις των β-γλυκανών στη γλυκαιμική και ινσουλιναιμική ανταπόκριση είναι πιο εμφανείς όταν καταναλώνονται από άτομα μεγάλης ηλικίας, υπερχοληστεριναιμικούς, παχύσαρκους και διαβητικούς. Οι επιδράσεις είναι λιγότερο σημαντικές αν τα άτομα είναι νεαρής ηλικίας, βρίσκονται σε καλή φυσική κατάσταση και εμφανίζουν κανονικές ανταποκρίσεις γλυκόζης και ινσουλίνης (Hallfrisch & Behall, 2000; van Der Sluijs *et al.*, 1999).

### 3.3. Άλλες φυσιολογικές δράσεις

Οι β-γλυκάνες, ως διαιτητικές ίνες, είναι άπεπτες στο λεπτό έντερο, αλλά ζυμώνονται ολοκληρωτικά ή μερικά από τη μικροχλωρίδα του παχέους εντέρου, παράγοντας μικρού μοριακού βάρους λιπαρά οξέα, όπως το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ, τα οποία αποτελούν πηγή ενέργειας των κυττάρων του εντερικού επιθηλίου και επομένως εξασφαλίζοντας την καλή υγεία του εντέρου (Hallfrisch & Behall, 2003, Malkki & Virtanen, 2001). Σε πρόσφατες μελέτες βρέθηκαν επίσης ενδείξεις πρεβιοτικής δράσης των β-γλυκανών και μάλιστα επιλεκτικής για μερικά είδη λακτοβακίλλων (Dongowski *et al.*, 2002, Jaskari *et al.*, 1998). Είναι γνωστό ότι δίαιτες πλούσιες σε διαιτητικές ίνες, όπως είναι οι β-γλυκάνες, μπορεί να έχουν προστατευτική δράση ενάντια στον καρκίνο του παχέος εντέρου. Έχει βρεθεί ότι δίαιτες εμπλουτισμένες σε β-γλυκάνη επιφέρουν μείωση της αναλογίας των παραγώγων των χολικών αλάτων, τα οποία αποτελούν πρόδρομους παράγοντες για καρκινογένεση στο παχύ έντερο. Συγκεκριμένα, πιστεύεται ότι οι «ενυδατωμένες» διαιτητικές ίνες που δεν έχουν βιοαποικοδομηθεί «αραιώνουν» τα χολικά άλατα και δεν τους επιτρέπουν να αλληλεπιδράσουν με το επιθήλιο (Dongowski *et al.*, 2002). Επίσης, φαίνεται ότι οι β-γλυκάνες παίζουν ένα ρόλο στη μείωση των χρωμοσωμικών ανωμαλιών που προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη μείωση του κινδύνου εμφάνισης νεοπλασιών (Tohamy *et al.*, 2003). Τέλος, οι β-γλυκάνες θα μπορούσαν να παίξουν κάποιο ρόλο στον έλεγχο του σωματικού βάρους, όχι μόνο μέσω της ρύθμισης της γλυκόζης και ινσουλίνης και της ευεργετικής της δράση στο μεταβολισμό των λιπιδίων, αλλά και μέσω της αύξησης της αίσθησης του κορεσμού, λόγω αύξησης του ιξώδους στο

περιεχόμενο του στομάχου και της μείωσης της απορρόφησης της τροφής από το λεπτό έντερο, δράσεις που φαίνεται ότι οδηγούν στη μείωση της όρεξης. Η μείωση της επιθυμίας για πρόσληψη τροφής, σε συνδυασμό με μία υγιεινή και ισορροπημένη διαίτα και ικανοποιητική άσκηση, μπορεί να βοηθήσει στον καλύτερο έλεγχο του σωματικού βάρους (Saltzmann et al., 2001).

### 3.4. Άλλες ευεργετικές επιδράσεις β-γλυκανών

Έχει προταθεί ότι τα διαιτολόγια τα οποία είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες, όπως είναι οι β-γλυκάνες δημητριακών, παρουσιάζουν προστατευτική δράση κατά του καρκίνου του εντέρου (Klopfenstein, 1988; Bhatti, 1999; Dongowski *et al.*, 2002). Η ζύμωση της άπεπτης β-γλυκάνης από τους μικροοργανισμούς του εντέρου, στο κάτω μέρος του εντερικού σωλήνα, οδηγεί στο σχηματισμό υψηλών επιπέδων λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (κυρίως βουτυρικού οξέος) τα οποία είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη υγιούς βλεννογόνου (Klopfenstein, 1988).

Μια πρόσφατη μελέτη προτείνει ότι οι β-γλυκάνες μπορούν να βοηθήσουν τη διαδικασία επούλωσης των πληγών (Son *et al.*, 2005), ενώ μια άλλη πρόσφατη έρευνα υποστηρίζει ότι η β-γλυκάνη μπορεί να ασκήσει προστατευτική δράση κατά της σήψης (Sener *et al.*, 2005). Ενδιαφέρουσα είναι και μια άλλη μελέτη, η οποία υποστηρίζει ότι ο συνδυασμός γυμναστικής άσκησης και β-γλυκάνης βρώμης μπορεί να μειώσει τη μετάσταση του όγκου των πνευμόνων (Murphy *et al.*, 2004).

Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι β-γλυκάνες δημητριακών εμφανίζουν πρεβιοτική δράση, δείχνοντας κυρίως προτίμηση στο γένος *Lactobacillus* και όχι τόσο στα *Bacteroides* και τα coliforms (Dongowski *et al.*, 2002). Αντίθετα, οι Crittenden *et al.* (2002), οι οποίοι εξέτασαν *in vitro* ένα εύρος προβιοτικών και άλλων εντερικών βακτηρίων για την ικανότητά τους να ζυμώνουν τη β-γλυκάνη κριθαριού, βρήκαν ότι η β-γλυκάνη ζυμώνεται από τα είδη *Bacteroides* spp. και το *Clostridium beijerinckii* αλλά δε ζυμώνεται από τους λακτοβάκιλλους, τα *Bifidobacteria*, τους εντερόκοκκους ή την *Escherichia coli*, δείχνοντας έτσι ότι τα βακτήρια αυτά δεν διαθέτουν γλυκοσιδάσες ικανές να υδρολύσουν αυτόν τον πολυσακχαρίτη. Σε μια άλλη μελέτη οι Jaskari *et al.* (1998), έδειξαν ότι τα ολιγομερή από β-γλυκάνες βρώμης, τα οποία ανθίστανται στην πέψη στο πάνω τμήμα του εντέρου, ευνοούν την ανάπτυξη του γένους *Lactobacillus* spp.

Ο Wood (1991) ανέφερε τις φυσικοχημικές και θρεπτικές ιδιότητες των β-γλυκανών. Οι β-γλυκάνες διαφέρουν από την κυτταρίνη ως προς την περιεκτικότητά τους σε D-γλυκοσιδικά β-(1→4) και β-(1→3) συνδεδεμένες άνυδρο-γλυκόζες σε αναλογία 2.4:1, εμφανίζουν χαμηλότερο μοριακό βάρος και έχουν την τάση να σχηματίζουν υδατικά διαλύματα υψηλού ιξώδους. Επίσης κατά τους Woodward *et al.* (1988), οι β-γλυκάνες κριθαριού εμφανίζονται στα διαλύματα ως εκτεταμένες, ελικοειδείς αλυσίδες. Επίσης, είναι επιρρεπείς στην υδρόλυση από τις β-D-γλυκανάσες, οι οποίες δεν μπορούν να υδρολύσουν την κυτταρίνη. Στα φυτά οι β-γλυκάνες πιθανόν να δρουν τόσο ως δομικά, όσο και ως αποθησαυριστικοί πολυσακχαρίτες σε φυτικούς ιστούς.

Η παραδοχή των β-γλυκανών ως λειτουργικά, βιοενεργά συστατικά τις δύο τελευταίες δεκαετίες, αύξησε το ενδιαφέρον τόσο των επιστημόνων όσο και των βιομηχανιών τροφίμων, ιδιαίτερα για την ενσωμάτωση των β-γλυκανών από δημητριακά σε τρόφιμα. Η προσθήκη αλεύρου, πίτουρων ή πλούσιων κλασμάτων β-γλυκάνης από βρώμη ή κριθάρι σε τρόφιμα τα οποία έχουν ως βάση τα δημητριακά όπως τα δημητριακά πρωινού, τα ζυμαρικά, και προϊόντα αρτοποιίας (ψωμί, τηγανίτες), η οποία αύξησε την ποσότητα των β-γλυκανών στα προϊόντα αυτά, μελετήθηκε εκτεταμένα. Επιπλέον, μελέτη γίνεται τα τελευταία χρόνια όσον αφορά στη χρήση συμπυκνωμάτων ή απομονωμένων β-γλυκανών από δημητριακά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παχυρευστοποιητές, ως σταθεροποιητές ή ως μιμητικά λίπους προκειμένου να τροποποιηθεί η υφή και η εμφάνιση τροφίμων με χαμηλά λιπαρά και μειωμένη θερμιδική αξία (Lazaridou *et al.*, 2007).

Η ποσότητα της β-γλυκάνης στα προϊόντα τροφίμων θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε να φτάνει το επίπεδο που απαιτείται προκειμένου να έχει θετική επίδραση στην υγεία. Η FDA (U.S. Food and Drug Administration ) ορίζει ως όριο τουλάχιστον 0,75g β-γλυκάνης/μερίδα προϊόντος και προτείνει 3g β-γλυκάνης ημερησίως, προκειμένου τα τρόφιμα που περιέχουν β-γλυκάνη να θεωρούνται ότι προάγουν την υγεία.

Ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζει την επιλογή των καινοτόμων προϊόντων από το καταναλωτικό κοινό, είναι τα ποιοτικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν β-γλυκάνες, και συνεπώς να καταστεί δυνατή η αξιοποίηση των θετικών τους επιδράσεων στην υγεία, τα προϊόντα αυτά θα πρέπει να είναι αποδεκτά στο σύνολο της οργανοληπτικής τους ποιότητας και να προκαλούν

ευχαρίστηση στους καταναλωτές. Ωστόσο, το υψηλό ιξώδες των β-γλυκανών μπορεί να προκαλέσει προβλήματα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων. Για το λόγο αυτό ίσως οι χαμηλού μοριακού βάρους β-γλυκάνες προσδίδουν καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά στα προϊόντα τροφίμων από ότι οι υψηλού μοριακού βάρους β-γλυκάνες, λόγω του χαμηλότερου ιξώδους, όμως δεν υπάρχουν αποδείξεις ακόμα ότι οι β-γλυκάνες χαμηλού μοριακού βάρους εμφανίζουν τις ίδιες φυσιολογικές ιδιότητες με εκείνες του υψηλού μοριακού βάρους. Έτσι ο σχεδιασμός τροφίμων πλούσιων σε β-γλυκάνες υψηλού μοριακού βάρους είναι ένας τομέας που εμφανίζει μεγάλο ενδιαφέρον και αποτελεί πρόκληση για πολλούς ερευνητές (Lyly *et al.*, 2003).

### **3.4.1 Εφαρμογή β-γλυκανών ως μιμητικά λίπους, σταθεροποιητές και παχυρευστοποιητές**

Πολλά κλάσματα δημητριακών εμπλουτισμένα με β-γλυκάνες ή συμπυκνώματα β-γλυκανών με ικανότητα αντικατάστασης λίπους έχουν αναπτυχθεί και περιγραφεί σε πολυάριθμες μελέτες, ενώ έχουν γίνει και πολλές έρευνες. Η ανάπτυξη ασθενούς μοριακού δικτυώματος από β-γλυκάνες δημητριακών με ορισμένα δομικά χαρακτηριστικά και κάτω από ορισμένες συνθήκες, αποτελεί μια συνήθης διεργασία σε αλοιφές χαμηλής λιποπεριεκτικότητας συνεχούς υδατικής φάσης (Lazaridou *et al.*, 2003; Lazaridou *et al.*, 2004, Vaikousi *et al.*, 2004). Επιπλέον, οι β-γλυκάνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα λίπους λόγω του υψηλού τους ιξώδους και των ικανοτήτων που εμφανίζουν να δεσμεύουν το νερό, την ικανότητα αφρισμού και τη σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων (Burkus & Temelli, 2000; Kontogiorgos *et al.*, 2004).

Το Oatrim, που προτάθηκε από τον Inglett (1990) και αποτελεί προϊόν ενζυμικής υδρόλυσης αλεύρου βρώμης ή πίτουρων βρώμης, περιέχει β-γλυκάνη βρώμης (1 έως 10%) και αμυλοδεξτρίνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μιμητικό λίπους σε μορφή πηκτώματος.

### 3.4.2. Εφαρμογή σε μη- γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν ως βάση τη βρώμη

Λόγω της παραδοχής ότι η βρώμη εμφανίζει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης του αίματος, τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την αύξηση της κατανάλωσης προϊόντων που βασίζονται στη βρώμη. Μια εφαρμογή, αποτελεί το «Oatly» το οποίο είναι ένα μη γαλακτοκομικό ρευστό προϊόν, υποκατάστατο γάλακτος, το οποίο παρασκευάζεται ολοκληρωτικά από βρώμη και νερό χρησιμοποιώντας μια ενζυμική επεξεργασία (κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας). Το προϊόν αυτό μπορεί να ζυμωθεί από διάφορα είδη γαλακτικών βακτηρίων, μειώνει τα επίπεδα χοληστερόλης και είναι αποδεκτό σε υψηλό βαθμό από τους καταναλωτές (Martensson *et al.*, 2002).

### 3.4.3 Εφαρμογή σε προϊόντα αρτοποιίας

Το ψωμί αποτελεί το πλέον διαδεδομένο προϊόν δημητριακών. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η θρεπτική συμβολή του ψωμιού στη δίαιτα τέθηκε υπό συζήτηση, λόγω της υψηλής του περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες και τον υψηλό γλυκαιμικό του δείκτη. Έχει μελετηθεί συστηματικά η προσθήκη πλούσιων σε β-γλυκάνη κλασμάτων από βρώμη ή από κριθάρι σε ψωμί, γεγονός το οποίο οδήγησε σε αύξηση της ποσότητας της β-γλυκάνης στο προϊόν αυτό. Οι Knuckles *et al.* (1997) ανέφεραν αύξηση της απορρόφησης νερού στη ζύμη, του χρόνου στον οποίο εμφανίζεται η κορυφή στο αμυλόγραμμα και του χρόνου ανάμιξης όταν γίνονταν προσθήκη κλασμάτων κριθαριού εμπλουτισμένα σε β-γλυκάνη. Γενικά τα εμπλουτισμένα με β-γλυκάνη ψωμιά κρίθηκαν ως αποδεκτά, παρόλο που ο όγκος τους μειώθηκε και το χρώμα τους ήταν ελαφρώς πιο σκούρο από εκείνο του μάρτυρα. Οι Cavallero *et al.* (2002) παρήγαγαν ψωμί με υψηλή περιεκτικότητα σε β-γλυκάνη, το οποίο εμφάνισε καλύτερες επιδόσεις ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χρώμα, γεύση/άρωμα, υφή) σε σχέση ακόμα και με το μάρτυρα.

Ένα από τα προϊόντα αρτοποιίας που επίσης καταναλώνεται σε μεγάλο βαθμό είναι τα muffins. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια να παρασκευαστούν αποδεκτά muffins, τα οποία να περιέχουν υψηλά επίπεδα διαιτητικών ινών από δημητριακά με ιδιότητες μείωσης της χοληστερόλης και του γλυκαιμικού δείκτη. Οι Newman *et al.* (1990) προσπάθησαν να παρασκευάσουν muffins χρησιμοποιώντας

100% αλεύρι κριθαριού. Τα παραγόμενα muffins εμφάνιζαν μικρότερο ύψος και όγκο, είχαν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία και μικρότερη πυκνότητα από τα muffins που παράγονταν με την κλασσική συνταγή. Παρόλα αυτά, η ομάδα που χρησιμοποιήθηκε για την οργανοληπτική εξέταση των πειραματικών muffins, έδειξε μια προτίμηση προς τα muffins από κριθάρι, σε σχέση με τα muffins που παράγονται κλασσικά με αλεύρι σιταριού.

Σε μία άλλη μελέτη που έγινε, αντικαταστάθηκε όλη ή μέρος της ποσότητας του αλεύρου σιταριού που χρησιμοποιείται στην κλασσική συνταγή παρασκευής των muffins με κλάσματα δημητριακών, πλούσιων σε β-γλυκάνες. Τα πλούσια σε β-γλυκάνες muffins εμφάνιζαν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υγρασία, πρωτεΐνη και μέταλλα και έχουν λιγότερες θερμίδες από ότι τα εμπορικά muffins. Επίσης, όπως υπολογίστηκε από την *in vitro* διάσπαση του αμύλου, όλα τα muffins εμφάνιζαν σχετικά χαμηλά ποσοστά αποικοδόμησης του αμύλου στον οργανισμό, όπως ακριβώς συμβαίνει με τα ζυμαρικά. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην υστέρηση της εκκένωσης του εντέρου, στη μείωση της γαστρικής απορρόφησης ή ακόμα στις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο άμυλο και τις διαιτητικές ίνες (Hudson *et al.*, 1992).

Τέλος, σε μια πρόσφατη μελέτη που έγινε, ενσωματώθηκαν κλάσματα κριθαριού από αποφλοιωμένες ποικιλίες που είχαν παραληφθεί με άλεση σε κυλινδρόμυλο και περιείχαν 18% διαιτητικές ίνες, σε προϊόντα αρτοποιίας όπως muffins, μπισκότα και γλυκά κουλουράκια, και σε ποσοστό υποκατάστασης 23 έως 30% του αλεύρου σιταριού. Αυτό έγινε προκειμένου να διπλασιαστεί η περιεκτικότητα σε διαλυτές διαιτητικές ίνες, χωρίς όμως να τροποποιηθούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Η οργανοληπτική αποδοχή των παραγόμενων προϊόντων βρέθηκε να είναι η ίδια με εκείνη των κλασσικών προϊόντων (Newman *et al.*, 1989).

#### **3.4.4 Εφαρμογή σε ζυμαρικά**

Τα ζυμαρικά θεωρούνται τρόφιμα με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη αλλά η προσθήκη διαλυτών διαιτητικών ινών, έδειξε ότι μειώνει επιπλέον τη γλυκαιμική ανταπόκριση (Knuckles *et al.*, 1997). Τα ζυμαρικά είναι ένα προϊόν στο οποίο οι β-γλυκάνες έχουν ενσωματωθεί ως λειτουργικά συστατικά με μεγάλη επιτυχία. Οι Yokohama *et al.* (1997) σύγκριναν την ανταπόκριση της γλυκόζης του αίματος και

της ινσουλίνης υγιών ατόμων που ακολούθησαν δίαιτα στην οποία κατανάλωναν ζυμαρικά σκληρού σιταριού (μάρτυρας) (100g πεπτοί υδατάνθρακες και 5g ολικών διαιτητικών ινών) σε σχέση με τα άτομα εκείνα που κατανάλωναν δείγμα ζυμαρικών στα οποία είχε γίνει προσθήκη β-γλυκάνης (100g πεπτοί υδατάνθρακες, 30g διαιτητικών ινών και 12g β-γλυκάνης). Οι μεταγευματικές ανταποκρίσεις γλυκόζης του αίματος και ινσουλίνης μειώθηκαν σημαντικά, όταν τα ζυμαρικά από αλεύρι σιταριού ήταν εμπλουτισμένα με αλεύρι κριθαριού. Οι συγγραφείς απέδωσαν τη μείωση αυτή στη γλυκαιμική ανταπόκριση, στην ενσωμάτωση της β-γλυκάνης. Είναι πιθανό η μείωση στη γλυκαιμική ανταπόκριση να συνδέεται τόσο με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε β-γλυκάνη, όσο και με την αυξημένη περιεκτικότητα στις ολικές διαιτητικές ίνες των πειραματικών δειγμάτων ζυμαρικών (Brennan & Cleary, 2005).

Σε μια άλλη μεταγενέστερη μελέτη, έγινε προσπάθεια ενσωμάτωσης αδρόκοκκων παραπροϊόντων σε ζυμαρικά προκειμένου να παραχθούν λειτουργικά προϊόντα πλούσια σε διαιτητικές ίνες και β-γλυκάνη. Προκειμένου να ξεπεραστούν οι φτωχές ρεολογικές ιδιότητες αυτών των μη συμβατικών συστατικών, χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα (γλουτένη) και επαρκής επεξεργασία (υψηλή θερμοκρασία, ξήρανση των ζυμαρικών). Με τον τρόπο αυτό παρεμποδίζεται η διάχυση/ έκπλυση της αμυλόζης από τα ζυμαρικά, κατά τη διάρκεια του βρασμού τους. Τα προϊόντα που παρήχθησαν με τη μέθοδο αυτή εμφάνισαν χαμηλότερη θερμιδική αξία σε σχέση με το μάρτυρα. Η περιεκτικότητα των ζυμαρικών κριθαριού ήταν υψηλή σε πρωτεΐνες λόγω της προσθήκης γλουτένης. Η περιεκτικότητα τόσο σε ολικές διαλυτές ίνες όσο και σε β-γλυκάνη ήταν επίσης πιο υψηλή σε σχέση με το μάρτυρα. Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, τα ζυμαρικά που παρασκευάστηκαν με κριθάρι εμφάνισαν πιο σκούρο και λιγότερο κίτρινο χρώμα σε σχέση με τα ζυμαρικά από σκληρό σιτάρι. Τέλος, τα παραγόμενα πειραματικά προϊόντα εμφάνισαν αρκετά καλή ποιότητα κατά το βρασμό, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα των ζυμαρικών αυτών σε β-γλυκάνη δε μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια του βρασμού και παραμένει σχεδόν στα ίδια επίπεδα με εκείνη των ωμών ζυμαρικών (Marconi *et al.*, 2000).

Πρόσφατα, κλάσματα που παρασκευάστηκαν με άλεση σε κυλινδρόμυλο, από τους Izydorczyk *et al.* (2005), από αποφλοιωμένες ποικιλίες κριθαριού με διάφορες περιεκτικότητες σε αμυλόζη, προστέθηκαν σε ζυμαρικά και noodles και είχαν ως αποτέλεσμα τη παραγωγή προϊόντων με ικανοποιητικές ιδιότητες υψής. Τα ζυμαρικά στα οποία έγινε προσθήκη πλούσιων σε ίνες κλασμάτων, ήταν εύκολα στη χρήση

τους λόγω της σύντομης διάρκειας βρασμού που απαιτούν, τη βελτιωμένη διατροφική ποιότητα και την αποδεκτή ποιότητα του βρασμένου προϊόντος.

### 3.4.5. Εφαρμογή σε γαλακτοκομικά προϊόντα

Το αυξημένο ενδιαφέρον για τη χρήση των τροφίμων με β-γλυκάνη δε συνδέεται μόνο με τις ευεργετικές διατροφικές τους ιδιότητες, αλλά και με την αριστοποίηση της επεξεργασίας των τροφίμων αυτών. Ένα καλό παράδειγμα αυτού αποτελεί η χρήση των β-γλυκανών στη γαλακτοβιομηχανία. Πρόσφατες μελέτες επικεντρώθηκαν στη χρήση διαλυτών διαιτητικών ινών και κυρίως β-γλυκανών, στην παραγωγή παγωτών και γιαουρτιών χαμηλής λιποπεριεκτικότητας. Η ενσωμάτωση των β-γλυκανών μαζί με άλλες διαλυτές διαιτητικές ίνες σε γαλακτοκομικά προϊόντα μπορεί να τροποποιήσει την αίσθηση στο στόμα και τις οργανοληπτικές ιδιότητες ώστε να μοιάζουν με αυτές των προϊόντων που είναι πλήρη σε λιπαρά (Brennan & Cleary, 2005). Παρομοίως, η ενσωμάτωση β-γλυκανών στο τυρόπηγμα των τυριών με χαμηλή λιποπεριεκτικότητα, εμφάνισε ευεργετικές επιδράσεις στο σχηματισμό πηκτής καθώς και στα ρεολογικά τους χαρακτηριστικά (Tudorica *et al.*, 2004). Οι επιδράσεις αυτές φαίνεται να σχετίζονται με την ικανότητα σχηματισμού πηκτής των β-γλυκανών και την ικανότητά τους να σχηματίζουν ένα αρκετά ελαστικό πλέγμα καζεΐνης - πρωτεΐνης - γλυκάνης.

Ωστόσο, όταν η β-γλυκάνη ενσωματώνεται σε ένα σύστημα τυριού, η υφή και η αίσθηση στο στόμα που δίνονται στο τυρί, μπορεί να διαφοροποιηθούν δραματικά. Οι Konuklar *et al.* (2004a; 2004b) διαπίστωσαν ότι η ενσωμάτωση ενός παρασκευάσματος β-γλυκάνης-αμύλου (με τη μορφή του "Nutrim") μείωσε σημαντικά τη σκληρότητα των τυριών cheddar, και οδήγησε στην παραγωγή ενός κρεμμώδους προϊόντος. Η μείωση στη σκληρότητα του τυριού μπορεί να σχετίζεται με το μειωμένο χρόνο τήξης που παρατηρήθηκε για τα τυριά πλούσια σε "Nutrim", γεγονός το οποίο εν μέρει μπορεί να σχετίζεται με τις αρνητικές επιδράσεις στην ανάπτυξη του καζεϊνικού πλέγματος του τυριού. Παρόμοια παρατήρηση έγινε και για τα λευκά μαλακά τυριά σε άλμη (Volikakis *et al.*, 2004). Η ενσωμάτωση της β-γλυκάνης και στην περίπτωση αυτή μετέβαλλε την εμφάνιση, τη γεύση και το άρωμα των λευκών και χαμηλής λιποπεριεκτικότητας τυριών σε άλμη, σε σύγκριση με τα πλήρη σε λιπαρά τυριά - μάρτυρες. Ωστόσο, στην τελευταία περίπτωση το

συμπύκνωμα β-γλυκάνης βρώμης που χρησιμοποιήθηκε (22,5% β-γλυκάνη στο παρασκεύασμα) μείωσε τη σκληρότητα των τυριών χαμηλής λιποπεριεκτικότητας όταν προστέθηκε σε επίπεδα 0,7 και 1,4%. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τα τυριά χαμηλής λιποπεριεκτικότητας να μοιάζουν σε εκείνα με πλήρη λιπαρά (μάρτυρες). Συνεπώς η επιλογή του γαλακτοκομικού συστήματος και της καθαρότητας της προστιθέμενης β-γλυκάνης έχει μεγάλη σημασία στις φυσικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του προϊόντος (Brennan & Cleary, 2005).

Οι Martensson *et al.* (2001) μελέτησαν πρόσφατα τη χρήση ενός νέου προϊόντος βρώμης ως το κύριο υποκατάστατο για την καλλιέργεια γιαουρτιού. Τα γιαούρτια που παρήχθησαν δεν είχαν τόσο έντονη την τάση να παρουσιάζουν το φαινόμενο της συναίρεσης, πιθανότατα λόγω της ικανότητας της β-γλυκάνης να δεσμεύει το νερό μέσα στο τρισδιάστατο πλέγμα του προϊόντος, με αποτέλεσμα τα προϊόντα αυτά να είναι πιο σταθερά και συνεκτικά. Επίσης δεν παρατηρήθηκε διαχωρισμός φάσεων κατά τη διάρκεια της συντήρησης του γιαουρτιού, γεγονός το οποίο συνήθως αποτελεί πρόβλημα στα προϊόντα γιαουρτιού. Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων, αυτά εμφανίστηκαν λιγότερο λευκά από το γιαούρτι-μάρτυρα. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τόσο η ζύμωση, όσο και η αποθήκευση, δε βρέθηκαν να έχουν καμία επίδραση στην περιεκτικότητα των προϊόντων σε β-γλυκάνη.

Ανάμεσα στα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα τυριά είναι πολύ διαδεδομένα μεταξύ των καταναλωτών. Πρόσφατα, μια σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε στην κατανάλωση τυριών με χαμηλή ή με μειωμένη λιποπεριεκτικότητα, λόγω του ότι δίνεται μεγαλύτερη προσοχή στην υγεία. Για το σκοπό αυτό, έχουν χρησιμοποιηθεί, ως πιθανά υποκατάστατα λίπους στο τυρί, δημητριακά, πρωτεΐνες ορού και γάλακτος, διάφοροι υδατάνθρακες και τροποποιημένα άμυλα. Παρόλο τον όγκο δουλειάς που γίνεται τα τελευταία χρόνια, τα προϊόντα τυριού χαμηλής λιποπεριεκτικότητας εμφανίζουν διαφορετικά προφίλ υφής από τα συμβατικά τυριά με χαμηλά ή πλήρη λιπαρά που χρησιμοποιούνται ως μάρτυρες στις διάφορες μελέτες. Η οργανοληπτική ανάλυση έδειξε ότι τα υποκατάστατα λίπους απέτυχαν στο να μιμηθούν επαρκώς τη γεύση, το άρωμα και την οργανοληπτική αίσθηση στο στόμα των προϊόντων με πλήρη λιπαρά (Konuklar *et al.*, 2004b).

Οι Tudorica *et al.* (2004) διερεύνθησαν την πιθανή χρήση β-γλυκάνης από κριθάρι σε τυρί, και πιο συγκεκριμένα πως αυτό επηρεάζει την πήξη του γάλακτος, την απόδοση, τη ρεολογία, την υφή και τη δομή του προϊόντος. Τα αποτελέσματα

δείχνουν ότι τα αυξανόμενα επίπεδα β-γλυκάνης μειώνουν σημαντικά τόσο το χρόνο πήξης, όσο και το χρόνο που απαιτείται για το κόψιμο του τυροπήγματος. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της β-γλυκάνης επηρέασε και τη ρεολογική συμπεριφορά του πηκτώματος που σχηματίστηκε. Όσο πιο υψηλά ήταν τα επίπεδα β-γλυκάνης, τόσο πιο υψηλές ήταν οι τιμές των  $G'$  και  $G''$ . Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η προσθήκη β-γλυκάνης αύξησε την απόδοση του τυροπήγματος. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα, αν λάβει κανείς υπόψη του την υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού που εμφανίζει η β-γλυκάνη, γεγονός το οποίο οδηγεί στη συγκράτηση μεγαλύτερης ποσότητας ορού στη δομή του τυροπήγματος που αντανακλά σε υψηλότερες αποδόσεις. Επίσης, η προσθήκη β-γλυκάνης μειώνει την απώλεια σε διαλυτές πρωτεΐνες (η απώλεια πρωτεΐνης κατά τη φάση του διαχωρισμού του ορού οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του τυροπήγματος και σε ασθενή συσσωματώματα τα οποία σχηματίζονται κατά την προσθήκη πυτιάς). Όσον αφορά τη ρεολογική συμπεριφορά, με την αύξηση των επιπέδων της β-γλυκάνης στο γάλα, οι τιμές των  $G'$  και  $\tau_a$  του τυρογάλακτος, μειώθηκαν. Σχετικά με την αποδοχή του προϊόντος, η προσθήκη β-γλυκάνης είχε σαν αποτέλεσμα η ρεολογική συμπεριφορά του παραγόμενου τυροπήγματος να πλησιάζει εκείνη του τυροπήγματος με πλήρη λιποπεριεκτικότητα. Συνεπώς, η β-γλυκάνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή προϊόντων τυριού, χαμηλής λιποπεριεκτικότητας, με παρόμοια ρεολογικά χαρακτηριστικά με αυτά των ομόλογών τους με πλήρη λιπαρά. Η αύξηση των επιπέδων της β-γλυκάνης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους των πόρων και το σχηματισμό ενός πιο ανοιχτού πρωτεϊνικού δικτύματος. Ένα τέτοιο πλέγμα φαίνεται ότι παγιδεύει μεγαλύτερη ποσότητα ορού, καθώς αυξάνει η ποσότητα της β-γλυκάνης (Tudorica *et al.*, 2004).

Παρόμοιες παρατηρήσεις έκαναν οι Volikakis *et al.* (2004), όταν επιχείρησαν να παρασκευάσουν ένα λευκό τυρί σε άλμη, χαμηλής λιποπεριεκτικότητας, με την προσθήκη ενός εμπορικού συμπυκνώματος β-γλυκάνης βρώμης. Στη μελέτη αυτή βρέθηκε ότι η αύξηση του επιπέδου της β-γλυκάνης μεταξύ των τυριών με χαμηλή λιποπεριεκτικότητα, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου έναρξης της πήξης. Επίσης οι τιμές pH των προϊόντων στα οποία έγινε προσθήκη β-γλυκάνης, ήταν χαμηλότερες από αυτές των τυριών με πλήρη λιπαρά. Τα τυριά που είχαν παρασκευαστεί με το συμπύκνωμα β-γλυκάνης, εμφάνισαν μεγαλύτερη πρωτεόλυση, από τα αντίστοιχα τυριά με χαμηλά λιπαρά. Επιπλέον, η προσθήκη β-γλυκάνης οδήγησε στην παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας λιπαρών οξέων μικρού μοριακού

βάρους (γαλακτικό, οξικό και βουτυρικό) καθώς και στην εμφάνιση βελτιωμένης υφής. Ωστόσο, το χρώμα, η γεύση και το άρωμα καθώς και η συνολική εντύπωση των προϊόντων αυτών, ήταν σαφώς κατώτερη από εκείνα των τυπικών λευκών τυριών άλμης.

Δυο παρόμοιες μελέτες έγιναν από τους Konuklar *et al.* (2004a; 2004b) όπου παρήχθησαν τυριά Cheddar χαμηλής λιποπεριεκτικότητας, χρησιμοποιώντας ένα υδροκολλοειδές υποκατάστατο λίπους το οποίο περιείχε β-γλυκάνη (Nutrim). Οι Konuklar *et al.* (2004a) μελέτησαν τη σύσταση, την αποδοτικότητα της παραγωγής, τη μικροδομή, τη χρηστικότητα του Nutrim ως υποκατάστατο του λίπους, την ευθρυπτότητα, καθώς και τις επιδράσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (υφή, γεύση, άρωμα). Η αντικατάσταση του λίπους με το Nutrim είχε σαν αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της συγκράτησης υγρασίας και άλατος, τη μεγαλύτερη μείωση σε θερμίδες και τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα πρωτεΐνης επί της ξηράς ουσίας σε σχέση με το τυρί χαμηλής λιποπεριεκτικότητας (μάρτυρας). Η μικροσκοπία ηλεκτρονικής σάρωσης έδειξε ότι τα τυριά με Nutrim εμφανίζουν μικρότερα και πιο ομοιόμορφα διαστήματα σταγονιδίων λίπους από ότι ο μάρτυρας και ένα πιο πυκνό, ασυνεχές πρωτεϊνικό πλέγμα με σφαιροειδή συσσωματώματα. Όπως διαπιστώθηκε, παρόλο που τα επίπεδα λίπους των τυριών με Nutrim είχαν μειωθεί σημαντικά, η σκληρότητα και η ευθρυπτότητα ήταν σημαντικά πιο χαμηλές από τα τυριά-μάρτυρες με χαμηλά λιπαρά. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στη συνεκτικότητα και την ελαστικότητα μεταξύ των τυριών. Επίσης, η οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων έδειξε ότι όλα τα τυριά με Nutrim ήταν κρεμώδη, ευκολομάσητα και κοκκώδη. Τέλος, η γεύση των τυριών με Nutrim, ήταν πιο πικρή, πιο βουτυρώδης και πιο αμυλώδης σε σύγκριση με τα τυριά-μάρτυρες χαμηλής λιποπεριεκτικότητας (Konuklar *et al.*, 2004b).

### 3.5 β-γλυκάνη ως πρεβιοτικές ίνες

Η β-γλυκάνη είναι ο τύπος φυτικών ινών που χαρακτηρίζονται ως μη εύπεπτοι φυτικοί υδατάνθρακες και έχει εκτιμηθεί σύμφωνα με την ποικιλία των δράσεών της. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται οι διαμορφωτικές επιδράσεις στο ανοσοποιητικό, οι αντικαρκινικές της ιδιότητες, η ικανότητά της να μειώνει τα

επίπεδα των λιπιδίων και τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, καθώς και η μείωση ή διατήρηση του σωματικού βάρους.

Μια *in vitro* έρευνα που έγινε στην Κορέα χρησιμοποίησε 1→3-β-D-γλυκάνη με μοριακό βάρος 300.000, προκειμένου να ελέγξει την επίδρασή της στην παραγωγή του Παράγοντα Νέκρωσης Κυττάρων (TNF-α) στα BV2 μικρογλιακά κύτταρα. Η β-γλυκάνη απομονώθηκε από στέλεχος του βακτηρίου *Agrobacterium sp.* Χρησιμοποιήθηκαν επίσης λιποπολυσακχαρίτες (LPS) και BV2 μικρογλιακά κύτταρα συμπληρωμένα με 10% εμβρυϊκό αγελαδινό ορό, 2mM L-γλουταμίνη, στρεπτομυκίνη και πενικιλίνη. Τα BV2 μικρογλιακά κύτταρα επεξεργάστηκαν με β-γλυκάνη σε συγκεντρώσεις 1,5,10 και 50μg/ml, αφού προηγουμένως τα κύτταρα αυτά είχαν προεπεξεργαστεί με 5 ή 50μg/ml β-γλυκάνης. Με την ενζυματική μέθοδο ELISA ερευνήθηκε η παραγωγή του TNF-α. Η ανασταλτική επίδραση της β-γλυκάνης στην παραγωγή του TNF-α ήταν δόσοεξαρτώμενη, αν και ήταν μεγαλύτερη σε συγκέντρωση β-γλυκάνης 50μg/ml. Οι LPS επηρέασαν την πρωτεϊνική έκφραση του TNF-α εξαιτίας της προετοιμασίας του με β-γλυκάνη, γεγονός που οδήγησε σε μείωση της έκφρασης του TNF-α και στα 5 και 50μg/ml. Έχει αναφερθεί ότι η δράση της β-γλυκάνης πραγματοποιείται μέσω της ενεργοποίησης των δενδρίτων, των ενδοθηλιακών, των ουδετερόφιλων και των μονοκυττάρων. Επίσης η ενεργοποίηση των λεμφοκυττάρων και των Κυττάρων φονιάδων (NK) παίζει σημαντικό ρόλο στη δράση της. Επιπλέον, η β-γλυκάνη εμπλουτίζει τη δράση των μακροφάγων, αυξάνοντας τους υποδοχείς της σε αυτά. Πρόσφατα έχει βρεθεί μια αντιοξειδωτική δράση της απέναντι στις ρίζες ενεργού οξυγόνου και στην παρεμπόδιση της υπεροξειδωσής των λιπιδίων. Ωστόσο, λίγα είναι κατανοητά για τις αντιφλεγμονώδεις δράσεις της.

Τέλος, ο Nokagawa et al. ανέφερε ότι η β-γλυκάνη από *Candida albicans* παρεμποδίζει την παραγωγή κυτοκινών IL-2 και IFN-γ σε ανθρώπινα μονοκύτταρα (Jung et al., 2007). Οι β-γλυκάνες βρίσκονται σε κόκκους δημητριακών, εντοπισμένες κυρίως στα ενδοσπερματικά κυτταρικά τοιχώματα και στο κριθάρι και στη βρώμη, και εμπλέκονται δραστικά στο μεταβολισμό των προϊόντων της βρώμης. Μακροπρόθεσμες διατροφικές μελέτες που ενσωμάτωσαν β-γλυκάνη, έδειξαν ελάττωση της χοληστερόλης πλάσματος σε υπερχοληστερολαιμικούς άνδρες. Μια δίαιτα χαμηλή σε κορεσμένο λίπος και υψηλή σε πολυσακχαρίτες με υψηλό ιξώδες, συμπεριλαμβανομένου της β-γλυκάνης, είχε ως αποτέλεσμα μια μείωση της τάξης του 7,5% της χοληστερόλης ορού σε υπερλιπιδαιμικούς άνδρες. Πρόσφατα

αποτελέσματα από παρεμβατική μελέτη που εξέταζε διάφορους παράγοντες κινδύνου (Multiple Risk Factor Intervention Trial), έδειξαν ότι η αύξηση πρόσληψης διαιτητικών ινών σε μια μετρίου λίπους διαίτα, εξασφαλίζει τη μείωση στο αίμα και της ολικής και της LDL χοληστερόλης. Μεταγενεατικές μελέτες που μέτρησαν την τριακυλογλυκερόλη του πλάσματος, μετά από γεύμα, ανέφεραν ότι η αύξηση φυτικών ινών είτε αύξησε την τριακυλογλυκερόλη, είτε την μείωσε, είτε δεν είχε καμία επίδραση. Η μεταγενεατική χοληστερόλη φαίνεται να παραμένει αμετάβλητη ή να μειώνεται ελάχιστα μετά από γεύμα υψηλό σε φυτικές ίνες. Πηγές πολυσακχαριτών με υψηλό ιξώδες καθυστέρησαν την πέψη και την απορρόφηση του λίπους, με αποτέλεσμα την αλλαγή της συγκέντρωσης λιοπρωτεϊνών πλούσιων σε τριγλυκερίδια (TRLs), είτε μεταβάλλοντας το βαθμό και το μέγεθος της εμφάνισης τους στο πλάσμα, είτε μεταβάλλοντας τη σύνθεσή τους μετά από γεύμα. Οι προαναφερθείσες επιδράσεις μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την αναίρεση της μεταφοράς της χοληστερόλης, η οποία διεγείρεται κατά τη διάρκεια της μεταγενεατικής περιόδου και μπορεί να συμβάλλουν στη μείωση της χοληστερόλης πλάσματος που προκαλούν αυτοί οι πολυσακχαρίτες (Bourdon et al., 1999)

### **3.6 Ένζυμα & Γλυκάνες. Η καλύτερη άμυνα του ανθρώπινου οργανισμού.**

Ο καρκίνος είναι αποτέλεσμα συνεχών και απεριόριστων διαιρέσεων των κυττάρων. Τα καρκινικά κύτταρα δημιουργούνται μέσα από την επίδραση πολλών και διάφορων παραγόντων. Λόγω της διαφορετικής δομής του, το καρκινικό κύτταρο ανιχνεύεται από το ανοσοποιητικό σύστημα και καταστρέφεται από αυτό, είτε μέσω των μακροφάγων, είτε λόγω αντίδρασης με αντισώματα από κύτταρα-φονείς. Τα τοξικά κατάλοιπα απομακρύνονται ενζυμικά. Ο ανθρώπινος οργανισμός παράγει καθημερινά καρκινικά κύτταρα, τα οποία μπορεί και διαχειρίζεται με επιτυχία. Η κατάσταση στον οργανισμό γίνεται προβληματική όταν παράγονται περισσότερα καρκινικά κύτταρα από όσα μπορεί να διαχειρισθεί το αμυντικό σύστημα ή όταν το ανοσοποιητικό έχει αδυνατίσει σε σημαντικό βαθμό. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να παρουσιαστεί ο καρκίνος. Δηλαδή, περισσότερα καρκινικά κύτταρα, κυκλοφορούν και εγκαθίστανται ανεξέλεγκτα στα τοιχώματα των αγγείων και εκεί καλά κρυμμένα πολλαπλασιάζονται. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα επικίνδυνο χαρακτηριστικό του

καρκινικού κυττάρου. Για να αποφύγει την αναγνώριση, περιβάλλεται από μια κολλώδη ουσία, το ινώδες. Η επίστρωση του καρκινικού κυττάρου είναι 15 φορές παχύτερη από το ινώδες που καλύπτει το φυσιολογικό κύτταρο. Κάτω από την κολλώδη ουσία κρύβει τα αντιγόνα του ώστε να μην αναγνωρίζονται από τα αντισώματα που παράγουν κύτταρα του αμυντικού συστήματος. Με τον τρόπο αυτό, πολλαπλασιάζονται ανενόχλητα, διασπείρονται με την κυκλοφορία του αίματος στο αγγειακό και λεμφικό σύστημα και «πιάνονται» με άγκιστρα (κολλώδη μόρια) σε μια μικρή στροφή ή σε μια μικρή κύρτωση στο τοίχωμα αγγείων, καλύπτονται με περισσότερο ινώδες και στη συνέχεια πολλαπλασιάζονται. Σιγά-σιγά διαπερνούν τα τοιχώματα του αγγείου και κατόπιν επεκτείνονται στους ιστούς. Ένα άλλο επικίνδυνο χαρακτηριστικό του καρκινικού κυττάρου είναι ο ονομαζόμενος «ανασταλτικός παράγων», ο οποίος σήμερα έχει διευκρινισθεί επακριβώς. Το καρκινικό κύτταρο κατορθώνει μέσα από μια μεταβολή της μεμβράνης του, να απορρίπτει ορισμένα από τα αντιγόνα του. Αυτά ενώνονται - δεσμεύουν τα αντισώματα που κυκλοφορούν και σχηματίζουν ανοσοσυμπλέγματα. Δυστυχώς δεν περιέχουν μέσα τους καρκινικά κύτταρα, ώστε αυτά να καταστρέφονται και έτσι παραπλανούν την άμυνα. Υπάρχουν πολυάριθμες επιστημονικές εργασίες που αποδεικνύουν ότι υπάρχει υψηλή συγκέντρωση τέτοιων ανοσοσυμπλεγμάτων στο αίμα και στη λέμφο στην περιοχή του όγκου. Τα ένζυμα λοιπόν, απέδειξαν αναμφισβήτητα πως είναι σε θέση, διαλύοντας τα ανοσοσυμπλέγματα να ανασυγκροτούν την άμυνά μας και κυρίως να ενεργοποιούν τα μακροφάγα, βοηθώντας τα να παράγουν απαραίτητα και χρήσιμα μόρια, όπως TNF<sup>6</sup>. Επίσης τα ένζυμα, ιδίως μίγματα ή συνδυασμός πολλών ενζύμων απεδείχθη πως είναι σε θέση να αφαιρέσουν από τα καρκινικά κύτταρα δύο απειλητικές τους ιδιότητες:

- τη μεταμόρφωση και αποβολή των αντιγόνων και
- την κολλώδη ουσία με την οποία καλύπτονται και κρύβουν τα αντιγόνα.

Αυτό σημαίνει πως όσο περισσότερα ανοσοσυμπλεγματολυτικά και ινωδολυτικά ένζυμα διαθέτει ο οργανισμός, τόσο πιο επιτυχής και αποτελεσματική είναι και η πρόληψη αλλά και η αντιμετώπιση της καρκινικής νόσου. Έχει αποδειχθεί ότι τα φυτικά ένζυμα υπερτερούν και έχουν περισσότερα προτερήματα. Είναι

---

<sup>6</sup> TNF=παράγοντας νέκρωσης όγκων, ανήκει στις κυτταροκίνες και διαδραματίζει κομβικό ρόλο στις φλεγμονώδεις - ανοσολογικές αντιδράσεις

ευαίσθητα μόρια που η δράση τους εξαρτάται από το pH του οργανισμού, από τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες. Σημαντικό στοιχείο για τη σωστή δράση τους είναι η γνώση της βιοδιαθεσιμότητας, της χρονοβιολογίας και του σωστού συνδυασμού τους. Έχουν ισχυρή αντιφλεγμονώδη και αποιδηματική δράση και προάγουν το θεραπευτικό αποτέλεσμα και άλλων θεραπειών (π.χ. αντιβιοτικά, χημειοθεραπεία), βελτιώνοντας τη δράση τους και μειώνοντας τις επιπλοκές τους. Βελτιώνουν και ρυθμίζουν τον μεταβολισμό και του πεπτικού συστήματος, αλλά και του κυττάρου. Προάγουν την εξισορρόπηση και ρύθμιση του ανοσοποιητικού συστήματος. Πολύ σημαντική είναι η δράση τους στην αποτροπή της δημιουργίας μεταστάσεων, λόγω και της ενδυνάμωσης του αμυντικού μηχανισμού αλλά και λόγω του ότι εμποδίζουν τα «άγκιστρα» των μεταστατικών κυττάρων να προσκολληθούν. Η καλή λειτουργία των ενζύμων απαιτεί την ύπαρξη ενός ισχυρού αμυντικού συστήματος για την επιτυχή αντιμετώπιση του προβλήματος. Οι (1→3), (1→6)-β-γλυκάνες είναι επιστημονικά μελετημένη και χρησιμοποιούμενη ουσία σε ΗΠΑ, Ιαπωνία και Κίνα. Έχει δράση σε όλο το αμυντικό σύστημα. Αυξάνει τη δράση των μακροφάγων, αυξάνει τη φαγοκυττάρωση, αυξάνει τις ιντερφερόνες, τις ιντερλευκίνες, τα killer-cells και βελτιώνει την κινητικότητα των λευκών αιμοσφαιρίων. Το βασικό χαρακτηριστικό, αλλά και πλεονέκτημά της είναι ότι προάγουν μια ανοσορύθμιση και ομαλή ενδυνάμωση και όχι μια αλόγιστη ανοσοενίσχυση. Η τροφοδότηση του ανθρώπινου οργανισμού με τις παραπάνω απαραίτητες ουσίες, μπορεί να δώσει μια συνολική ώθηση στον ανθρώπινο οργανισμό, βοηθώντας τον ουσιαστικά να ισορροπήσει, ώστε να καταφέρει να ξεπεράσει μια σειρά από δυσεπίλυτα προβλήματα υγείας. Η χρησιμοποίηση κατάλληλων σκευασμάτων από φυτικά κυρίως ένζυμα και από γλυκάνες, ουσίες που προέρχονται από φυσικές-βιολογικές πηγές, μπορεί να αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική στη διατήρηση της καλής υγείας του ανθρώπου, αλλά και στην καταπολέμηση χρόνιων προβλημάτων του ανθρώπινου οργανισμού.

### **3.7 Πειράματα β-γλυκάνης για τη θεραπεία παθήσεων του δέρματος**

Η τάση στροφής προς τη συμπληρωματική ιατρική (complementary medicine), που περιλαμβάνει τη χρήση δραστικών φυσικών συστατικών (active

naturals), είναι εμφανής τόσο στη γενική ιατρική όσο και στη δερματολογία ειδικότερα. Οι δραστικές φυσικές ουσίες, όπως το αλεύρι βρώμης χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες για την αντιμετώπιση παθολογικών καταστάσεων του δέρματος και για την καθημερινή φροντίδα του. Τα φυσικά αυτά συστατικά έχουν την ικανότητα να διατηρούν τη λειτουργία του δερματικού φραγμού (skin barrier), κάτι που αποτελεί σημαντικό θεραπευτικό στόχο στην εποχική δερματική φροντίδα. Σημαντικός στόχος στη φροντίδα του δέρματος το χειμώνα είναι η υποστήριξη και επανόρθωση του επιδερμικού φραγμού με ήπια προϊόντα που μπορούν να αναπληρώσουν τα λιπίδια.

Πρόσφατα, επανεξετάστηκαν τα προϊόντα βρώμης για την αντιμετώπιση του ξηρού και κνησμώδους δέρματος του χειμώνα. Η χρησιμοποίηση της βρώμης στη φροντίδα του δέρματος χρονολογείται από την εποχή της αρχαίας Αιγύπτου . Το κολλοειδές αλεύρι βρώμης (colloidal oatmeal), που παρασκευάζεται από αποφλοιωμένους καρπούς βρώμης αλεσμένους σε λεπτή σκόνη, αποτελεί σπουδαία εξέλιξη σε σχέση με τα παλαιότερα σκευάσματα από ολόκληρους καρπούς βρώμης. Το κολλοειδές αλεύρι βρώμης διαλύεται εύκολα στο νερό, σχηματίζοντας μια ιξώδη υδροκολλοειδή γέλη επάνω στην επιφάνεια του δέρματος. Σήμερα, η βρώμη και τα παράγωγά της συγκαταλέγονται στα ελάχιστα φυσικά συστατικά που διέπονται από τις ρυθμίσεις της αμερικανικής Food and Drug Administration (FDA [Υπηρεσίας Τροφίμων και Φαρμάκων]). Το κολλοειδές αλεύρι βρώμης περιέχει 10% έως 18% πρωτεΐνες, 60% έως 64% πολυσακχαρίτες, όπως επίσης και λιπίδια, ένζυμα, σαπωνίνες, συνθετικούς αναστολείς προσταγλανδινών, βιταμίνες και φλαβονοειδή . Το περιεχόμενο του κολλοειδούς αλευριού βρώμης μπορεί να αποβεί εξαιρετικά πολύτιμο για τη φροντίδα του δέρματος το χειμώνα. Το αλεύρι βρώμης έχει χαμηλότερο επίπεδο pH από του ανθρώπινου δέρματος, γεγονός που επιτρέπει την απορρόφηση των ελαίων και της βρομιάς πάνω στο δέρμα . Θετικά φορτισμένες θέσεις στις πρωτεΐνες της βρώμης βοηθούν το αλεύρι βρώμης να δεσμεύεται στα αρνητικά φορτισμένα δερματικά συστατικά, γεγονός που βοηθά στην πρόσδεση των ενυδατικών παραγόντων. Οι πρωτεΐνες της βρώμης επηρεάζουν τη λειτουργία του δερματικού φραγμού αποθέτοντας ένα λεπτό στρώμα επάνω στο δέρμα. Επιπρόσθετα, οι πρωτεΐνες της βρώμης έχουν υψηλές ικανότητες ενυδάτωσης και δέσμευσης των λιπών και μπορούν να ρυθμίζουν (buffer) τα οξέα και τις βάσεις, γεγονός που βοηθά στη διατήρηση της ακεραιότητας του δερματικού φραγμού .



*Εικόνα 12: Φτέρνα ασθενούς με ατοπική δερματίτιδα στην αρχή της μελέτης (Α) και μετά από ένα μήνα θεραπείας με μια υποαλλεργική κρέμα που περιείχε αλεύρι βρώμης (Β).*

Οι β-γλυκάνες της βρώμης είναι υδατοδιαλυτοί πολυσακχαρίτες που σχηματίζουν μια ιξώδη υγραντική γέλη. Τα σημαντικότερα λιπίδια της βρώμης είναι τα τριγλυκερίδια και τα φωσφολιπίδια. Τα λιπίδια της βρώμης περιέχουν επίσης ελαϊκό, λινελαϊκό και λινολενικό οξύ, καθώς επίσης και στερόλες, ουσίες που είναι όλες δραστικές. Επιπλέον, τα λιπίδια της βρώμης είναι δυνατό να διαθέτουν αντιφλεγμονώδη δραστηριότητα. Άλλες ιδιότητες της βρώμης χρήσιμες στη φροντίδα του δέρματος το χειμώνα είναι η ανοσοτροποποιητική δράση των β-γλυκανών της βρώμης και η αντιοξειδωτική δράση της βιταμίνης Ε, η οποία βοηθά στην προστασία του δέρματος από το οξειδωτικό στρες που προκαλείται από την έκθεση στον ήλιο . Σε μια μελέτη, ένα εναιώρημα σκόνης βρώμης ανέστειλε τη σύνθεση των προσταγλανδινών σε βαθμό συγκρίσιμο με της ινδομεθακίνης , γεγονός που δείχνει ότι το αλεύρι βρώμης μπορεί να παίζει ρόλο στη μείωση του πόνου και της φαγούρας που συνοδεύουν τη χειμερινή ξηρότητα.

## Βιβλιογραφία

1. Bech-Larsen, T. and Grunert, K.G. (2003). "The perceived healthiness of functional foods. A conjoint study of Danish, Finnish and American consumers' perception of functional foods", *Appetite*, Vol. 40, 1, pp. 9-14.
2. Becker M, Vincent C, Reid JSG (1995). Biosynthesis of (1,3)(1,4)- $\beta$ -glucan and (1,3)- $\beta$ -glucan in barley (*Hordeum vulgare* L.): properties of the membrane bound glucan synthases. *Planta* **195**: 331-338.
3. Beer M.U., Arrigoni E. and Amado R. (1995). Effects of oat gum on blood cholesterol levels in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition*, **49**, 517-522.
4. Behall K.M., Scholfield D.J. and Hallfrisch J. (2004). Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemia men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*, **80**, 1185-1193.
5. Bhatta R.S. (1999). The potential of Hull-less Barley. *Cereal Chemistry*, **76** (5), 589-599.
6. Bohm N. and Kulicke W.M. (1999). Rheological studies of barley (1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -glucan in concentrated solution: mechanistic and kinetic investigation of the gel formation. *Carbohydrate Research*, **315**, 302-311.
7. Bourdon I., Yokoyama W., Davis P., Hudson C., Backus R., Richter D., Knuckles B. and O'Schneeman B. (1999). Postprandial lipid, glucose, insulin, and cholecystokinin responses in men fed barley pasta enriched with  $\beta$ -glucan. *American Journal of Clinical Nutrition*, **69**, 55-63.
8. Brennan S.C. and Cleary L.J. (2005). The potential use of cereal (1 $\rightarrow$ 3,1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans as functional food ingredients. *Journal of Cereal Science*, **42**, 1-13.
9. Brown, L., Rosner, B., Willett, W.W., Sacks, F.M., 1999. Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition* **69**, 30-42.
10. Buliga, G. S., Brant, D. A., & Fincher, G. B. (1986). The sequence statistics and solution configuration of a barley (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan. *Carbohydrate Research*, **157**, 139-156.

11. Burkus Z. and Temelli F. (2000). Stabilization of emulsions and foams using barley  $\beta$ -glucan. *FoodResearchInternational*, 33 (1), 27-33.
12. Carpita, N.C. (1984) Cell wall development in maize coleoptiles. *Plant Physiol.* 76, 205—212
13. Carpita, N.C., Kanabus, J. (1988) Chemical structure of the cell walls of dwarf maize and changes mediated by gibberellin. *Plant Physiol.* 88, 671-678
14. Cavallero A., Empilli S., Brighenti F. and Stanca AM. (2002). High(1 $\rightarrow$ 3)(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -Glucan Barley Fractions in Bread Making and their Effects on Human Glucemic Response. *Journal of Cereal Science*, 36, 59-66.
15. Crittenden, R.G., Playne, M.L., 1996. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends Food Sci. Technol.* 7, 353– 361.
16. Cui S.W. and Wood P.J. (2000). Relationships between structural features, molecular weight and rheological properties of cereal  $\beta$ -D-glucans. In: Nishinari,K.,(Ed.) *Hydrocolloids -Part 1*, Elsevier Science BV, Amsterdam, pp. 159-168.
17. Cui, S. W. (2001). *Polysaccharides gums from agricultural products: processing, structure and functionality*, Lancaster, USA: Technomic Publishing Company Inc.
18. Cui, W., Wood, P.J., Weisz, J., Beer, M.U., 1999. Nonstarch polysaccharides from preprocessed wheat bran: carbohydrate analysis and novel rheological properties. *Cereal Chemistry* 76, 129–133.
19. Daran JM, Dallies N, Thines-Sempoux D, Francois J (1995). Genetic and biochemical characterization of the UGP1 gene encoding UDP-glucose pyrophosphorylase from *Saccharomyces cerevisiae*. *Eur. J. Biochem.* 233: 520-530.
20. Dongowski G., Huth M., Gebhardt E. and Flamme W. (2002). Dietary Fiber-Rich Barley Products Beneficially Affect the Intestinal Tract of Rats. *Journal of Nutrition*, 132, 3704-3714.
21. Doublier J.L. and Wood P.J. (1995). Rheological properties of aqueous solutions (1 $\rightarrow$ 3)-(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan from oats (*Avena sativa* L.). *Cereal Chemistry*, 72, 335-340.
22. Feingold, D.S., Neufeld, E.F., Hassid, W.Z. (1958) Synthesis of a  $\beta$ -(1,3)-linked glucan by extracts of *Phaseolus aureus* seedlings. *J. Biochem.* 233, 783-788

23. Fernandez, M.L., 2001. Soluble fibre and non-digestible carbohydrate effects on plasma lipids and cardiovascular risk. *Curr. Opin. Lipidol.* 12, 35–40.
24. Fincher G.B. and Stone B.A. (1986). Cell walls and their components in cereal grain technology. In: Pomeraz, Y., (Ed.), *Advances in Cereal Science and Technology*, American Association of Cereal Chemists, StPaul,MN, pp. 207-295.
25. Flores-Diaz M, Alape-Giron A, Persson B, Pollesello P, Moss M, Eichel-Streiber C, Thelestam M, Florin I (1997). Cellular UDP-glucose deficiency caused by a single point mutation in the UDP-glucose pyrophosphorylase. *J. Biol. Chem.* 272: 23784-23791.
26. Frank J., Sundberg B., Kamal-Eldin A, Vessby B. and Aman P. (2004). Yeast leavened oat breads with high or low molecular weight beta-glucan do not differ in their effects on blood concentrations of lipids, insulin or glucose in humans. *Journal of Nutrition*, 134, 1384-1388.
27. Gibeaut DM (2000). Nucleotide sugars and glucosyltransferases for synthesis of cell wall matrix polysaccharides. *Plant Physiol. Biochem.* 38: 69-80.
28. Gibeaut, D.M., Carpita, N.C. (1991) Tracing cell wall biogenesis in intact cells and plants. *Plant Physiol.* 97, 551-561
29. Hallfrisch J. and Behall K.M. (2000). Mechanisms of the Effects of Grains on Insulin and Glucose Responses. *Journal of American College of Nutrition*, 19 (3), 320S-325S.
30. Hallfrisch, J., D. J. Scholfield, et al. (1995). "Diets Containing Soluble Oat Extracts Reduce Urinary Malondialdehyde in Moderately Hypercholesterolemic Men and Women." *Journal of Nutritional Biochemistry* 8(9): 497-501.
31. Henry, R.J., Stone, B.A. (1982) Factors influencing 13-glucan synthesis by particulate enzymes from suspension-cultured *Lolium multiflorum* endosperm cells. *Plant Physiology* 69, 632-636
32. Hudson C.A., Chiu M.M. and Knuckles B.E. (1992). Development and Characteristics of High-Fiber Muffins with Oat Bran, Rice Bran, or Barley Fiber Fractions. *Cereal Foods World*, 37 (5), 373-378.
33. Inglett G.E. (1990). USDA's Oatrim replaces fat in many food products. *Food Technology*, 44 (10), 100.

34. Irakli M., Biliaderis C.G., Izydorczyk M.S. and Papadoyannis I.N. (2004). Isolation, structural features and rheological properties of water-extractable  $\beta$ -glucans from different Greek barley cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1170-1178.
35. Izydorczyk M.S., Macri L.J. and MacGregor A.W. (1998). Structure and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharidesII. Alkali-extractable  $\beta$ -glucans and arabinoxylans. *Carbohydrate Polymers*, 35, 259-269.
36. Izydorczyk MS, MacGregor AW. 2000. Evidence of intermolecular interactions of  $\beta$ -glucans and arabinoxylans. *Carbohydrate Polymers* 41: 417–420.
37. Izydorczyk, M. S., & Biliaderis, C. G. (2000). Structural and functional aspects of cereal arabinoxylans and  $\beta$ -glucans. In G. Doxastakis, & V. Kiosseoglou, (eds.), *Novel macromolecules in food systems* (pp. 361-384). Amsterdam: Elsevier Science B. V
38. Izydorczyk, M.S., Lagasse, S.L., Hatcher, D.W., Dexter, J.E., Rossnagel, B.G., 2005. The enrichment of Asian noodles with fiber rich fractions derived from roller milling of hull-less barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 85, 2094–2104.
39. Jaskari J., Kotula P., Siitonen A., Jousimies-Somer H., Mattila-Sandholm T. and Poutanen K. (1998). Oat  $\beta$ -glucan and xylan hydrolysates as selective substrates for *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* strains. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 49, 175-181.
40. Jung K. H., Kim M., Ha E., Kim H. K., Kim Y. O., Kang S. A., Chung J. & Yim S. (2007). The Suppressive Effect of  $\alpha$ -Glucan on the Production of Tumor Necrosis Factor-Alpha in BV2 Microglial Cells. *Communication. Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 71(5): 1360-1364, Republic of Korea
41. Kalra S. and Jood S. (2000). Effect of Dietary Barley  $\beta$ -Glucan on Cholesterol and Lipoprotein Fractions in Rats. *Journal of Cereal Science*, 31, 141-145.
42. Karmally W, Montez MG, Palmas W, Martinez W, Branstetter A, Ramakrishnan R, Holleran SF, Haffner SM, Ginsberg HN, 2005. Cholesterol-lowering benefits of oat-containing cereal in Hispanic americans. *J Am Diet Assoc*, 105, 967-970.

43. Keogh G. F., Cooper G. JS., Mulvey T. B., McArdle B. H., Coles G. D., Monro J. A. & Poppitt S. D. (2003). Randomized controlled crossover study of the effect of a highly  $\alpha$ -glucan-enriched barley on cardiovascular disease risk factors in mildly hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.*, American Society for Clinical Nutrition, 78: 711-718. USA
44. Kerckhoffs D.A., Hornstra G. and Mensink R. (2003). Cholesterol-lowering effect of  $\beta$ - glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when  $\beta$ - glucan is incorporated into bread and cookies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78, 221-227.
45. Kim S. Y., Song H. J., Lee Y. Y., Cho K. & Roh Y. (2006). Biomedical Issues of Dietary fiber  $\alpha$ -Glucan. *J Korean Med Sci*, 21: 781-789, Republic of Korea
46. Kimura S, Mitsui T, Matsuoka T, Igaue I (1992). Purification, characterization and localization of rice UDP-glucose pyrophosphorylase. *Plant Physiol. Biochem.* 30: 683-693.
47. Kleczkowski LA (1994). Inhibitors of photosynthetic enzymes/carriers and metabolism. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45: 339-367.
48. Klopfenstein C.F. (1988). The Role of Cereal Beta-Glucans in Nutrition and Health. *Cereal Foods World*, 33 (10), 865-869.
49. Knuckles B.E., Hudson C.A., Chiu M.M., Sayre R.N. (1997). Effect of  $\beta$ -Glucan Barley Fractions in High-Fiber Bread and Pasta. *Cereal Foods World*, 42 (2), 94-99.
50. Kontogiorgos V., Biliaderis C.G., Kiosseoglou V. and Doxastakis G. (2004). Stability and rheology of egg-yolk-stabilized concentrated emulsions containing cereal  $\beta$ -glucans of varying molecular size. *FoodHydrocolloids*, 18, 987-998.
51. Konuklar G., Inglett G.E., Carriere C.J. and Felker F.C. (2004a). Use of a  $\beta$ -glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheese: manufacture, composition, yield and microstructure. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 109-119.
52. Konuklar G., Inglett G.E., Warner K. and Carriere C.J. (2004b). Use of a  $\beta$ -glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheese: textural properties by instrumental methods and sensory panels. *FoodHydrocolloids*, 18, 535-545.

53. Law, M. R., N. J. Wald, et al. (1994). "By how much and how quickly does reduction in serum cholesterol concentration lower risk of ischaemic heart disease?" *BMJ* 308: 367-373.
54. Lazaridou A., Biliaderis C.G., and Izydorczyk M.S. (2003). Molecular size effects on rheological properties of oat  $\beta$ -glucans in solutions and gels. *Food Hydrocolloids*, 17, 693-712.
55. Lazaridou A., Biliaderis C.G., and Izydorczyk M.S. (2007). Cereal  $\beta$ -Glucans: Structures, Physical Properties, and Physiological Functions In: *Functional Food Carbohydrates*. CRC Press, Taylor and Francis Group. pp. 1-72.
56. Lazaridou A., Biliaderis C.G., Micha-Screttas M., and Steele B.R. (2004). A comparative study on structure-function relations of mixed linkage (1-3), (1-4) linear  $\beta$ -D-glucans. *FoodHydrocolloids*, 18, 837-855.
57. Lovegrove J., Clohessy A., Milon H., Williams C. (2000). Modest doses of  $\beta$ -glucan do not reduce concentrations of potentially atherogenic lipoproteins. *American Journal of Clinical Nutrition*, Vol. 72, No. 1, 49-55
58. Lyly M., Salmenkallio-Marttila M., Suortti T., Autio K., Poutanen K. and Lahteenmaki L. (2003). Influence of Oat  $\beta$ -glucan Preparations on the Perception of Mouthfeel and on Rheological Properties in Beverage Prototypes. *Cereal Chemistry*, 80 (5), 536-541.
59. Malkki Y, Autio K., Hanninen O., Myllymaki O., Pelkonen K., Suortti T. and Torronen R. (1992). Oat Bran Concentrates: Physical Properties of  $\beta$ -glucan and Hypocholesterolemic Effects in Rats. *Cereal Chemistry*, 69 (6), 647-653.
60. Malkki, Y., Virtanen, E., 2001. Gastrointestinal effects of oat bran and oat gum. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie—Food Science and Technology* 34, 337–347.
61. Marconi E., Graziano M. and Cubadda R. (2000). Composition and Utilization of Barley Pearling By-Products for Making Functional Pastas Rich in Dietary Fiber and  $\beta$ -Glucan. *Cereal Chemistry*, 77 (2), 133-139.
62. Marlett, J., K. Hosig, et al. (1994). "Mechanism of serum cholesterol reduction by oat bran." *Hepatology* 20(6): 1450-7.
63. Martensson O., Andersson C., Andersson K., Oste R. and Holst O. (2001). Formulation of an oat-based fermented product and its comparison with yogurt. *Journal of Food Agriculture*, 81, 1314-1321.

64. Martensson O., Oste R. and Holst O. (2002). The effect of yogurt culture on the survival of probiotic bacteria in oat-based, non-dairy products. *Food Research International*, 35, 775-784.
65. McIntosh GH, Whyte J, MvArthur R, Nestel PJ, 1991. Barley and wheat foods: Influence on plasma cholesterol concentrations in hypercholesterolemic men. *Am J Clin Nutr*, 53, 1205-1209.
66. Morgan K. R., Roberts, C. J., Tendler, S. J. B., Davies, M. C., & Williams, P. M. (1999). A <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and AFM study of the structure of Glucagel™, a gelling β-glucan from barley, *Carbohydrate Research*, 315, 169-179.
67. Morgan, K. R., & Ofman, D. J. Glucagel, a gelling β-glucan from barley. (1998), *Cereal Chemistry*, 75, 879-881.
68. Murphy E.A., Davis J.M., Brown A.S., Carmichael M.D., Mayer E.P. and Ghaffar A. (2004). Effects of moderate exercise and oat β-glucan on lung tumor metastases and macrophage antitumor cytotoxicity. *Journal of Applied Physiology*, 97 (3), 955-959.
69. Nakagawa Y, Ohno N, Murai T. Suppression by *Candida albicans* and beta-glucan of cytokine release from activated human monocytes and from T cells in the presence of monocytes. *J Infect Dis*. 2003;**187**:710–3.
70. Naumann E., Van Rees A.B., Onning G., Oste R., Wydra M. and Mensink R.P. (2006). β- Glucan incorporated into a fruit drink effectively lowers serum LDL-cholesterol concentrations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83, 601-605.
71. Newman R.K., McGuire C.F. and Newman W.C. (1990). Composition and Muffin-Baking Characteristics of Flours from Four Barley Cultivars. *Cereal Foods World*, 35(6), 563-566.
72. Newman R.K., Newman W.C. and Graham H. (1989). The Hypocholesterolemic Function of Barley β-Glucans. *Cereal Foods World*, 34 (10), 883-886.
73. Ostman E., Rossi E., Larsson H., Brighenti F. and Bjorck I. (2006). Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of (1→3)(1→4)-β- glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. *Journal of Cereal Science*, 43, 230-235.

74. Queenan K. M., Stewart M. L., Smith K. N., Thomas W., Fulcher R. G. & Joanne L. (2007). Concentrated oat  $\beta$ -glucan, a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hypercholesterolemic adults in a randomized controlled trial. *Canada Nutrition Journal*, 6:6 doi:10.1186/1475-2891-6-6, Canada
75. Ripsin CM, Keenan JM, Jacobs DR, Jr., Elmer PJ, Welch RR, Van Horn L, Liu K, Turnbull WH, Thye FW, Kestin M, et al., 1992. Oat products and lipid lowering. A meta-analysis. *JAMA*, 267 3317-3325
76. Saltzman, E., S.K. Das, A.H. Lichtenstein, G.E. Dallal and A. Corrales *et al.*, 2001. An oat containing hypocaloric diet reduces systolic blood pressure and improves lipid profile beyond effects of weight loss in men and women. *J. Nutr.*, 131: 1465-1470.
77. Sener G., Toklu H., Ercan F. and Erkanli G. (2005). Protective effect of  $\beta$ -glucan against oxidative organ injury in a rat model of sepsis. *International Immunopharmacology*, 5, 1387-1396.
78. Shinnick, F. L., & Marlet, J. A. (1993). Physiological responses to dietary oats in animal models. In P. J. Wood, (ed.), *Oat bran* (pp. 113-137). St. Paul, MN.: American Association of Cereal Chemists.
79. Skendi A., Biliaderis C.&, Lazaridou A. and Izydorczyk M.S. (2003). Structure and rheological properties of water soluble  $\beta$ -glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena bysantina*. *Journal of Cereal Science*, 38, 15-31.
80. Smith, J.E., Rowan, N.J., & Sullivan, R. Medicinal mushrooms: their therapeutic properties and current medical usage with special emphasis on cancer treatments. University of Strathclyde, 2002.
81. Son H.J., Bae H.C., Kim H.J., Lee D.H., Han D-W. and Park J-C. (2005). Effects of  $\beta$ -glucan on proliferation and migration of fibroblasts. *Current Applied Physics*, 5, 468-471.
82. Tapola N, Karvonen H, Niskanen L, et al. 2005. Glycemic responses of oat bran products in type 2 diabetic patients. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 15:255–61.
83. Tohamy, A.A., El-Ghor, A.A., El-Nahas, S.M., Noshay, M.M., 2003.  $\beta$ -Glucan inhibits the genotoxicity of cyclophosphamide, adramycin and cisplatin. *Mutat. Res.* 541, 45–53.

84. Tosh S.M., Brummer Y., Wood P.J., Wang Q. and Weisz J. (2004). Evaluation of structure in the formation of gels by structurally diverse (1→3)(W4)→-D-glucans from four cereal and one lichen species. *Carbohydrate Polymers*, 57, 249-259.
85. Tudorica C.M., Jones T.R., Kuri V. and Brennan C.S. (2004). The effects of refined barley β- glucan on the physico-structural properties of low-fat dairy products: curd yield, microstructure, texture and rheology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1159-1169.
86. Tvaroska, I., Ogawa, K., Deslandes, Y., and Marchessault, R. H. 1983. Crystalline conformation and structure of lichenan and barley β- glucan. *Can. J. Chem.* 61:1608-1616.
87. Vaikousi H., Biliaderis C.G. and Izydorczyk M.S. (2004). Solution flow behavior and gelling properties of water-soluble barley (1-3),(1-4)-β-glucans varying in molecular size. *Journal of Cereal Science*, 39, 119-137.
88. Van Der Sluijs A.M.C., Behall K.M., Douglass L., Prather E., Scholfield D.J. and Hallfrisch J. (1999). Effect of Cooking on the Beneficial Soluble β- Glucans in Oatrim. *Cereal Foods World*, 44 (4), 194-198.
89. Varum, K. M., & Smidsrod, O. (1988). Partial chemical and physical characterization of (1→3),(1→4)-beta-glucans from oat (*Avena Sativa L*) aleurone. *Carbohydrate Polymers*, 9, 103-117.
90. Volikakis P., Biliaderis C.G., Vamvakas C. and Zerfiridis G.K. (2004). Effects of a commercial oat β-glucan concentrate on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. *Food Research International*, 37, 83-94.
91. Wood P.J. (1994b). Evaluation of oat bran as a soluble fibre source. Characterization of oat β-glucan and its effects on glycaemic response. *Carbohydrate Polymers*, 25, 331-336.
92. Wood P.J.(1991). Oat β-glucan physicochemical properties and physiological effects. *Trends in Food Science and Technology*, p.311-314.
93. Wood, P. J. (1986). Oat β-glucan: structure, location and properties. In F. H. Webster, (ed.), *Oats: Chemistry and Technology*, (pp. 121-152). St. Paul, MN: American Association of Cereals Chemists.
94. Wood, P. J., Weisz, J., & Blackwell, B. A. (1994a). Structural Studies of (1→3)(1→4)-β-D-glucans by <sup>13</sup>C-nuclear magnetic resonance spectroscopy

and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance anion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase, *Cereal Chemistry*, 71, 301-307

95. Wood, P.J., 2002. Relationships between solution properties of cereal  $\beta$ -glucans and physiological effects—a review. *Trends in Food Science & Technology* 13, 313–320.
96. Woodward J.R., Philips D.R. and Fincher &B. (1988). Water-soluble (1→3)(1→4)- $\beta$ -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*)endosperm. IV. Comparison of 40°C and 65°C soluble fractions. *Carbohydrate Polymers*, 8, 85-97.
97. Wursch, P. and F. X. Pisunyer (1997). “The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. A review with special emphasis on cereals rich in beta-glucan.” *Diabetes Care* 20(11): 1774-1780.
98. Yokoyama W.H., Hudson C.A., Knuckles B.E., Chiu M-C.M., Sayre R.N., Turnlund J R. and Schneeman B.O. (1997). Effect of Barley  $\beta$ -Glucan in Durum Wheat Pasta on Human Glucemic Response. *Cereal Chemistry*, 74 (3), 293-296.
99. Λαζαρίδου Α., 2003, Σχέσεις δομής και ιδιοτήτων πολυσακχαριτών σε συστήματα χαμηλής και υψηλής συγκέντρωσης διαλύτη, Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.
100. Παπουτσή Ι. (2007) Αξιολόγηση των πρεβιοτικών ιδιοτήτων επιλεγμένων ολιγοσακχαριτών και διαιτητικών ινών. Πτυχιακή μελέτη, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας-Διατροφής.
101. Σεραφειμίδου Α.Κ. 2008. Μελέτη της ενσωμάτωσης  $\beta$ -γλυκανών βρώμης στα φυσικοχημικά, μικροβιολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ζυμωμένων προϊόντων γάλακτος με καλλιέργεια γιαούρτης και δύο προβιοτικών στελεχών του γένους *Lactobacillus*, Μεταπτυχιακή διατριβή, Θεσσαλονίκη.