

β-γλυκάνες: Εμπλουτισμός του άρτου με στόχο τη μείωση της μεταγευματικής υπεργλυκαιμίας

Νικολέτα Σ. Σταματάκη, Αμαλία Ε. Γιάννη, Βάιος Θ. Καραθάνος

Εργαστήριο Χημείας - Βιοχημείας - Φυσικοχημείας Τροφίμων, Τμήμα Επιστήμης Διαιτολογίας - Διατροφής, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Περίληψη

Ο άρτος, τα προϊόντα δημητριακών και τα αμυλούχα τρόφιμα αποτελούν την κυριότερη πηγή διαθέσιμων υδατανθράκων της διαίτας, συμβάλλοντας πάνω από 50% στην ημερήσια ενεργειακή πρόσληψη. Ο λευκός άρτος προκαλεί γρήγορη πέψη και απορρόφηση του αμύλου στον εντερικό αυλό και αποτελεί τρόφιμο υψηλού γλυκαιμικού δείκτη (Glycemic Index, GI). Καθώς ο άρτος είναι η κύρια πηγή διαθέσιμων υδατανθράκων και η μείωση του GI της διαίτας θεωρείται ευεργετική για την υγεία, πολλές μελέτες μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο την παρασκευή άρτου και προϊόντων αρτοποιίας χαμηλού GI. Οι β-γλυκάνες, διαλυτές διαιτητικές ίνες που προέρχονται από τη βρώμη και το κριθάρι είναι γνωστές για την ιδιότητά τους να βελτιώνουν τη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης και αποτελούν άριστο συστατικό για τη μείωση του GI του άρτου. Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης είναι η συλλογή δεδομένων και κριτική αξιολόγηση των κλινικών μελετών που εξετάζουν την επίδραση του εμπλουτισμού του άρτου με β-γλυκάνες βρώμης ή/και κριθαριού στη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης υγιών ή μη εθελοντών. Τα αποτελέσματα της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας έδειξαν ότι οι β-γλυκάνες από βρώμη και κριθάρι αποτελούν πολύτιμα λειτουργικά συστατικά που μπορούν να ενσωματωθούν στον άρτο για τη μείωση του GI. Η ποσότητα διαλυτών διαιτητικών ινών που απαντάται φυσικά στα άλευρα κριθαριού και βρώμης, δεν είναι ικανή να προκαλέσει σημαντική μείωση των μεταγευματικών επιπέδων γλυκόζης, ωστόσο η χρήση ποικιλιών δημητριακών από τις οποίες προκύπτει αλεύρι με αυξημένη περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες, αλλά και η προσθήκη καθαρών διαλυτών β-γλυκανών αποδεικνύονται αποτελεσματικές στρατηγικές.

Λέξεις κλειδιά Άρτος, Γλυκαιμικός δείκτης, β-γλυκάνες, Βρώμη, Κριθάρι

Beta-glucans: bread fortification for attenuated glycaemia

Nikoleta S. Stamataki, Amalia E. Yanni, Vaios T. Karathanos

Laboratory of Chemistry-Biochemistry-Physical Chemistry of Foods, Department of Nutrition and Dietetics, Harokopio University, Kallithea, Greece

Abstract

Bread, cereal products and starch-based foods are the main source of available carbohydrates in the human diet, contributing over 50% of the daily dietary energy intake. White bread causes rapid starch digestion and absorption in the small intestine, thus is considered as a high GI food. Given that bread is the main source of available carbohydrates and reducing the GI of the diet is considered beneficial to health, many studies have been conducted so far, aiming to produce low GI breads and bakery products. The strategies for reducing the GI of bread are mainly concentrated on the addition of fibre-rich flours or pure dietary fibre. Beta-glucans, soluble fibre from oats and barley are well known for their efficacy to ameliorate postprandial glucose response, and could be an excellent ingredient for lowering bread's GI. The purpose of this review is to critically record the clinical studies investigating the efficacy of beta-glucan addition on the attenuation of postprandial glucose response. The review of the literature revealed that beta-glucans from oats and barley are valuable functional ingredients that can be successfully incorporated into bread in order to reduce the GI. The amount of soluble fibre naturally present in barley and oat flour, is not likely to cause significant reduction in postprandial glucose levels, however the use of specific cereal varieties with increased content of beta-glucans, or the addition of pure beta-glucans have been proven effective strategies.

Key words Bread, Glycemic index, Beta-glucans, Oats, Barley

Εισαγωγή

Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις του FAO (Food and Agricultural Organization, FAO), τα δημητριακά και τα προϊόντα τους υπολογίζεται ότι παρέχουν το 53% της παγκόσμιας μέσης ημερήσιας ενεργειακής πρόσληψης¹. Μεταξύ των αμυλούχων τροφίμων σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, ο άρτος αποτελεί πιθανότατα το πιο βασικό είδος διατροφής. Είναι βασική πηγή σύνθετων υδατανθράκων και πρωτεϊνών, βιταμινών του συμπλέγματος Β, ανόργανων στοιχείων και διαιτητικών ινών, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε στον άρτο ολικής άλεσης.

Στην Ευρώπη, η μέση κατανάλωση άρτου, υπολογίζεται στα 170 g ημερησίως ανά άτομο². Στην Ελλάδα, ο άρτος συνεισφέρει κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στη συνολική ημερήσια πρόσληψη υδατανθράκων, ενώ φαίνεται ότι οι άντρες καταναλώνουν καθημερινά μεγαλύτερη ποσότητα απ'ότι οι γυναίκες³. Ο λευκός άρτος προκαλεί αυξημένη μεταγευματική γλυκαιμική απόκριση, πρόκειται δηλαδή για ένα τρόφιμο υψηλού GI (Glycemic Index, GI). Ο λόγος έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι ο λευκός άρτος έχει πολύ πορώδη δομή, η οποία οφείλεται στο ψήσιμο, στη μηχανική μάλαξη της ζύμης, και στα αέρια που παράγονται από τους ζυμομύκητες της μαγιάς. Η πορώδης δομή του, το καθιστά εύκολα αποικοδομήσιμο από τα πεπτικά ένζυμα του γαστρεντερικού σωλήνα. Ο δεύτερος λόγος που εξηγεί γιατί ο λευκός άρτος έχει υψηλό GI είναι, ότι το άμυλο κατά τη διαδικασία του ψήσιματος, υφίσταται σε μεγάλο βαθμό ζελατινοποίηση, η οποία το κάνει ιδιαίτερα προσβάσιμο από τις σιελικές και παγκρεατικές α-αμυλάσες. Συνεπώς, με δεδομένη την πορώδη δομή του άρτου, τη ζελατινοποίηση του αμύλου αλλά και την αποικοδόμηση του πλέγματος της γλουτένης στο στομάχι, το άμυλο πέπτεται και απορροφάται σε σύντομο χρονικό διάστημα⁴.

Το 2013, 382 εκατομμύρια άνθρωποι έπασχαν από T2D (Type 2 Diabetes Mellitus, T2D) και ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί σε 592 εκατομμύρια μέχρι το έτος 2035 (αύξηση 55%)⁵. Η μεταγευματική υπεργλυκαιμία, και η σχετιζόμενη υπερινσουλιναίμια και υπερλιπιδαιμία, έχουν ενοχοποιηθεί για την αιτιολογία χρόνιων μεταβολικών ασθενειών όπως ο T2D και η καρδιαγγειακή νόσος^{6,7}.

Οι β-γλυκάνες είναι οι κύριοι μη-αμυλούχοι πολυσακχαρίτες, που βρίσκονται στο κυτταρικό τοίχωμα των δημητριακών, όπως βρώμη, κριθάρι, σίκαλη, και σιτάρι. Το συνολικό περιεχόμενο σε β-γλυκάνες είναι μεγαλύτερο στο κριθάρι και στη βρώμη, 4-7% και 2,2-7,8% αντίστοιχα, σε σχέση με το σιτάρι και τη σίκαλη, 1,2-2,9% και 0,4-1,4% αντίστοιχα. Στα δημητριακά, οι (1→3, 1→4)-β-D-γλυκάνες, οι οποίες αναφέρονται συνήθως απλά με τον όρο β-γλυκάνες, αποτελούνται από μονάδες D-γλυκοπυρανόζης συνδεδεμένες με β-(1→4) γλυκοζιτικούς δεσμούς, και οι οποίες διακόπτονται κάθε δύο, τρεις ή τέσσερις μονάδες D-γλυκοπυρανόζης από έναν β-(1→3) γλυκοζιτικό δεσμό, ο οποίος ευθύνεται για τη διαλυτότητα αυτών των πολυσακχαριτών⁸. Ο εντοπισμός των β-γλυκανών στον καρπό του δημητριακού επηρεάζει την απομόνωση και τις διαδικασίες καθαρισμού, οι οποίες αποσκοπούν στην παραγωγή κλασμάτων/σκευασμάτων εμπλουτισμένων σε β-γλυκάνες. Στη βρώμη και στο κριθάρι, οι β-γλυκάνες βρίσκονται σε όλο το αμυλούχο

ενδοσπέρμιο, ενώ στο σιτάρι η υψηλότερη συγκέντρωση είναι στο στρώμα αλευρόνης, με λίγη ακόμη ποσότητα στο αμυλούχο ενδοσπέρμιο⁹. Εκτός από τα δημητριακά, β-γλυκάνες συναντώνται και στο κυτταρικό τοίχωμα μυκήτων (π.χ. *Phellinus linteus* ή *Sparassis crispa*), οι οποίες όμως έχουν β-(1→3) και β-(1→6) γλυκοζιτικούς δεσμούς.

Η μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης ενός γεύματος επηρεάζεται από το ποσό των διαθέσιμων υδατανθράκων, αλλά και από πολλούς ακόμη παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, λιπίδια αλλά και της δομής του τροφίμου. Η παρουσία διαλυτών διαιτητικών ινών σε υδατανθρακούχα τρόφιμα, επίσης μειώνει αποτελεσματικά τα επίπεδα της μεταγευματικής υπεργλυκαιμίας. Πρόσφατη μετανάλυση αναφέρει ότι η κατανάλωση 4 g β-γλυκανών με μοριακό βάρος >250000 g/mol ανά 30-80 g διαθέσιμων υδατανθράκων ανά γεύμα προσδίδει σημαντικό όφελος στη μεταγευματική συγκέντρωση γλυκόζης¹⁰. Το 2010, η EFSA (European Food Safety Authority, EFSA) αναγνώρισε τη σχέση αιτίας - αποτελέσματος μεταξύ της κατανάλωσης β-γλυκανών από βρώμη και κριθάρι και της μείωσης των μεταγευματικών επιπέδων γλυκόζης¹¹⁻¹⁶, με τελικό συμπέρασμα ότι, για την επίτευξη του ισχυριζόμενου οφέλους, πρέπει να καταναλώνονται 4 g β-γλυκανών από βρώμη ή κριθάρι ανά 30 g διαθέσιμων υδατανθράκων, ανά γεύμα¹⁷.

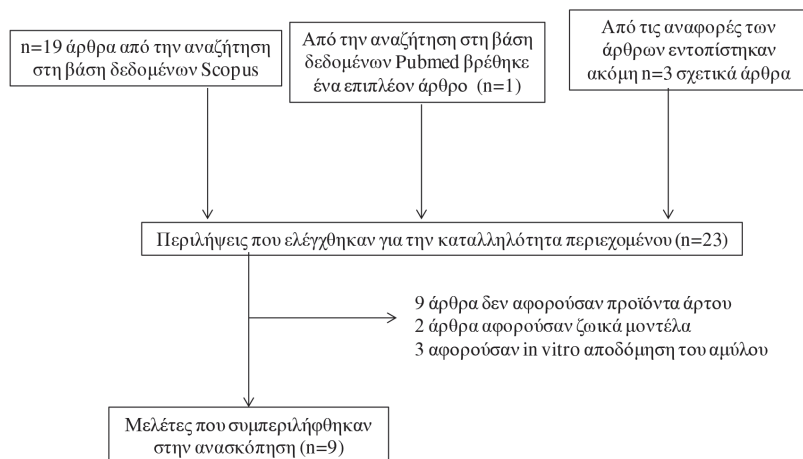
Πολλές μελέτες έχουν εξετάσει τον εμπλουτισμό του άρτου αλλά και άλλων τροφίμων όπως δημητριακά πρωινού, κέικ, ροφήματα, γαλακτοκομικά προϊόντα με β-γλυκάνες από διάφορες πηγές, όμως τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ των μελετών ως αποτέλεσμα διαφορετικής περιεκτικότητας σε β-γλυκάνες, διαφορετικής προέλευσης β-γλυκανών (αλεύρι βρώμης, αλεύρι κριθαριού, συμπύκνωμα β-γλυκανών από πίτυρο βρώμης/κριθαριού, καθαρές β-γλυκάνες βρώμης ή κριθαριού) και διαφορετικής επεξεργασίας των τροφίμων.

Η κατανάλωση άρτου χαμηλού GI, μπορεί να συμβάλλει στην μείωση της μεταγευματικής υπεργλυκαιμίας και κατά συνέπεια σε μειωμένο καρδιομεταβολικό κίνδυνο. Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης είναι η συλλογή δεδομένων και η κριτική αξιολόγηση των κλινικών μελετών που εξετάζουν την επίδραση της προσθήκης β-γλυκανών από δημητριακά σε προϊόντα άρτου στη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης.

Μεθοδολογία

Η ανασκόπηση περιλαμβάνει δεδομένα κλινικών δοκιμών οι οποίες εξέτασαν την επίδραση της κατανάλωσης άρτων εμπλουτισμένων με β-γλυκάνες από δημητριακά στη γλυκαιμική απόκριση υγιών ή μη εθελοντών. Δεν συμπεριλαμβάνονται μελέτες όπου η παρέμβαση έγινε με β-γλυκάνες από μανιτάρια-μύκητες διότι δεν υπήρχαν στη βιβλιογραφία, ούτε και τρόφιμα-ποτά εμπλουτισμένα με β-γλυκάνες που δεν ήταν αρτοσκευάσματα. Η μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης μελετάται με γνώμονα είτε την τιμή GI του τροφίμου, είτε την iAUC/AUC της γλυκόζης, όταν η τιμή του GI δεν είναι διαθέσιμη στο άρθρο.

Η αναζήτηση έγινε στις βάσεις δεδομένων Pubmed και Scopus και οι λέξεις-φράσεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1. Διάγραμμα ροής για τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επιλογή των άρθρων.

ήταν «glycemic/glycaemic index, bread, beta-glucan, β-glucan, glycemic, glycaemic, postprandial». Συμπεριλαμβάνονται άρθρα από το 1996 μέχρι το 2015, τα οποία είναι γραμμένα στην αγγλική γλώσσα. Το Διάγραμμα 1 περιγράφει τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των άρθρων.

Αποτελέσματα

Από το 1996 μέχρι το 2015 βρέθηκαν 9 μελέτες, εκ των οποίων οι 8 μελέτες περιλαμβάνουν υγιείς εθελοντές και μόνο μία μελέτη έγινε σε ασθενείς με μεταβολικό σύνδρομο. Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι μελέτες που εντοπίστηκαν, και με λεπτομέρεια αναφέρονται οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των άρτων, η ποσότητα β-γλυκανών που περιέχεται σε κάθε περίπτωση, ο αριθμός των εθελοντών, καθώς και το αποτέλεσμα της κατανάλωσής τους στη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης. Έξι μελέτες είχαν σαν τελικό αποτέλεσμα τον GI του τροφίμου, ενώ 3 μελέτες είχαν σαν τελική έκβαση τη μεταβολή της iAUC. Οι τιμές GI των εμπλουτισμένων άρτων κυμάνθηκαν σε μεγάλο εύρος, από 54-85.

Ο εμπλουτισμός λευκού άρτου με β-γλυκάνες που πραγματοποιήθηκε με προσθήκη καθαρών β-γλυκανών (άγνωστο μοριακό βάρος β-γλυκανών, συμπύκνωμα ή σκόνη) (2 μελέτες) επέφερε σημαντική αλλά μικρή μείωση στη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης^{18,19}. Συγκεκριμένα στη μελέτη των Hartvigsen et al.¹⁹ εξετάστηκε μεταξύ άλλων η μεταγευματική απόκριση γλυκόζης εθελοντών με μεταβολικό σύνδρομο στην κατανάλωση λευκού άρτου με 4,2 g β-γλυκάνες βρώμης ανά 50 g αφομοιώσιμων υδατανθράκων. Η iAUC στις δύο ώρες μεταγευματικά βρέθηκε σημαντικά χαμηλότερη μετά την κατανάλωση του εμπλουτισμένου με β-γλυκάνες βρώμης (266±27 mmol/l*120 min) σε σχέση με το λευκό άρτο (330±36 mmol/l*120 min). Υποκατάσταση του λευκού σταρένιου αλεύρου κατά 4,5% με σκόνη β-γλυκανών κριθαριού καθαρότητας πάνω από 77,5%, οδήγησε στην παρασκευή άρτου, η κατανάλωση του οποίου συνοδεύεται από 9% χαμηλότερη iAUC της γλυκόζης σε υγιείς εθελοντές σε

σύγκριση με τον λευκό άρτο. Ακόμη μία μελέτη χρησιμοποίησε καθαρές β-γλυκάνες αλλά υψηλού μοριακού βάρους, για τον εμπλουτισμό ινδικών πιτών (τύπος ανατολίτικου άρτου)²⁰. Συγκεκριμένα, οι πίτες εμπλουτίστηκαν με 2, 4, 6 ή 8 g β-γλυκανών υψηλού μοριακού βάρους προερχόμενες από κριθάρι. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πίτες με 4 και 8 g β-γλυκάνες μείωσαν σημαντικά το GI του προϊόντος κατά 43 και 47% αντίστοιχα σε σύγκριση με το προϊόν χωρίς προσθήκη β-γλυκανών.

Σε δύο μελέτες χρησιμοποιήθηκε κριθαρένιο αλεύρι της ποικιλίας Prowashoniprana (PW). Πρόκειται για ένα υψηλής περιεκτικότητας σε β-γλυκάνες αλεύρι κριθαριού (περίπου 18% περιεκτικότητα στο κριθάρι). Συγκεκριμένα, αρχικά στη μελέτη των Liljeberg et al.¹² οι ερευνητές μελέτησαν δύο άρτους, τον ένα με 50% περιεκτικότητα σε κριθαρένιο αλεύρι της ποικιλίας PW (11,1% β-γλυκάνες) και τον άλλο με 80% κριθαρένιο αλεύρι της ειδικής αυτής ποικιλίας (14,9% β-γλυκάνες). Οι GI των άρτων υπολογίστηκαν 71 και 61 αντίστοιχα, με τρόφιμο αναφοράς το λευκό ψωμί. Το ίδιο αλεύρι χρησιμοποιήθηκε και σε μεταγενέστερη μελέτη από τους Östman et al., σε αναλογίες 35, 50 και 75% για την παρασκευή τριών ειδών άρτου, τα οποία είχαν περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες στο τελικό προϊόν 6, 8 και 12% αντίστοιχα επί ξηρού βάρους¹³. Η μείωση στο GI ήταν ανάλογη με την αύξηση της περιεκτικότητας του κριθαρένιου αλεύρου (ποικιλίας PW), και οι GI υπολογίστηκαν 75, 65 και 55 αντίστοιχα. Ωστόσο, για την εκτίμηση της μεταγευματικής απόκρισης των άρτων αυτών δεν καταναλώθηκαν μόνο οι άρτοι αλλά σε συνδυασμό με 10g βούτυρο και 30 g τυρί. Συνεπώς, η τιμή GI που αναφέρεται στα αποτελέσματα της μελέτης αυτής είναι ο GI του γεύματος και όχι του άρτου.

Ακόμη μία μελέτη χρησιμοποίησε άλευρα από γονότυπους κριθαριού υψηλής περιεκτικότητας σε β-γλυκάνες, με τις ονομασίες CDC Alamo και Piora²¹. Τα άλευρα αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε ποσοστό 40% για την παρασκευή εμπλουτισμένων με β-γλυκάνες άρτων. Παρότι η περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες των δύο άρτων ήταν ίδια (6%), οι GI βρέθηκαν 70 για το CDC Alamo και 57 για το Piora.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Σύνοψη μελετών στις οποίες μελετήθηκε η μεταγευματική απόκριση γλυκόζης ή/και ινσουλίνης σε άρτο εμπλουτισμένο με β-γλυκάνες. *P<0,05.

Αναφορά	Πρώτες ύλες - Συνταγή	Ποσότητα β-γλυκανών	Εθελοντές	Γλυκαιμική απόκριση	Ινσουλιναιμική απόκριση
Hartvigsen et al., 2014 ¹⁹	71% λευκό σταρένιο αλεύρι (ΛΣΑ), 13,3%. Συμπύκνωμα β-γλυκανών βρώμης (PromOat)	4,2 g β-γλυκάνες/ 50 g ΔΥ	15 άτομα με μεταβολικό σύνδρομο	GI=84±6 (vs ΛΑ)*	ΔΙ=84 (vs ΛΑ)
Finocchiaro et al., 2012 ²¹	40% Priora κριθαρένιο αλεύρι, 60% ΛΣΑ 40% CDC Alamo κριθαρένιο αλεύρι, 60% ΛΣΑ (Priora, CDC: ποικιλίες κριθαριού με υψηλή περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες)	5,7% β-γλυκάνες 6,2% β-γλυκάνες	9 υγιείς	GI=57,2±7,9 (vs ΓΛ)* GI=70,1±9,1 (vs ΓΛ)	Δεν αναφέρεται
Thondre et al., 2009 ²⁰	Ινδικές πίτες (chapattis) με υψηλού μοριακού βάρους β-γλυκάνες	2 g β- γλυκάνες/ 50 g ΔΥ 4 g β- γλυκάνες/ 50 g ΔΥ 6 g β- γλυκάνες/ 50 g ΔΥ 8 g β-γλυκάνες/ 50 g ΔΥ	8 υγιείς	↓45% iAUC (vs ΓΛ)* ↓68% iAUC (vs ΓΛ)* ↓53% iAUC (vs ΓΛ)* ↓71% iAUC (vs ΓΛ)*	Δεν αναφέρεται
Vitaglione et al., 2009 ¹⁸	4,5% υποκατάσταση του ΛΣΑ με σκόνη Glucagel (≥77,5% β-γλυκάνες κριθαριού)	3% β-γλυκάνες στο τελικό προϊόν	14 υγιείς	↓9% AUC (vs ΛΑ)*	Καμία διαφορά στις AUC
De Angelis et al., 2007 ²³	Άρτος με φυσικό προζύμι, β-γλυκάνες βρώμης (1:1 ΛΣΑ και αλεύρι σταρένιο ολικής άλεσης)	3,9 g β-γλυκάνες	15 υγιείς	GI=54 (vs ΓΛ)*	Δεν αναφέρεται
Östman et al., 2006 ¹³	50% κοινό κριθαρένιο αλεύρι 35% PW κριθαρένιο αλεύρι 50% PW κριθαρένιο αλεύρι 75% PW κριθαρένιο αλεύρι	2,6% dw β-γλυκάνες 5,75% dw β-γλυκάνες 7,95% dw β-γλυκάνες 12,24% dw β-γλυκάνες	10 υγιείς, μη καπνίζοντες άντρες	GI=83,2 (vs ΛΑ) GI=74,8 (vs ΛΑ) GI=64,5 (vs ΛΑ)* GI=54,7 (vs ΛΑ)*	ΔΙ=81,4±10,1 (vs ΛΑ) ΔΙ=74,2±8,7 (vs ΛΑ) ΔΙ=64,9±10,4 (vs ΛΑ) ΔΙ=67,7±8,4 (vs ΛΑ)
Cavallero et al., 2002 ²²	50% κριθαρένιο αλεύρι 50% κριθαρένιο αλεύρι από ξηρή κοσκίνιση 20% κριθαρένιο αλεύρι με υγρή εκκύλιση (κάθε φορά το υπόλοιπο αλεύρι ήταν ΛΣΑ)	2,4g/ 100 g 4,2g/ 100 g 6,3g/ 100 g	8 υγιείς	GI=85 (vs ΓΛ) GI=75 (vs ΓΛ) GI=70 (vs ΓΛ)*	Δεν αναφέρεται
Juntunen et al., 2002 ¹¹	20% συμπύκνωμα πιτύρου βρώμης 80% αλεύρι σικάλως	5,4% β-γλυκάνες	20 υγιείς	Καμία διαφορά στην AUC	↓AUC (vs ΛΑ)*
Liljeberg et al., 1996 ¹²	50% PW κριθαρένιο αλεύρι 80% PW κριθαρένιο αλεύρι	11,1 g β-γλυκάνες/ 100 g dw 14,9 g β-γλυκάνες/ 100 g dw	9 υγιείς	GI=71 (vs ΛΑ)* GI=61 (vs ΛΑ)*	ΔΙ=46,4 (vs ΛΑ)* ΔΙ=43,2 (vs ΛΑ)*

ΔΙ= δείκτης ινσουλίνης, PW=Prowashoniprana, ποικιλία κριθαριού υψηλής περιεκτικότητας σε β-γλυκάνες, dw = επί ξηρού, ΛΣΑ = λευκό σταρένιο αλεύρι, ΔΥ = διαθέσιμοι υδατάνθρακες, ΛΑ = λευκός άρτος, ΓΛ=γλυκόζη

Μία μόνο μελέτη εξέτασε τον εμπλουτισμό του κριθαρένιου αλεύρου σε β-γλυκάνες με τη χρήση διαφόρων τεχνικών άλεσης. Οι Cavallero et al.²² παρασκεύασαν τεσσάρων ειδών άρτους, τον πρώτο με 100% σταρένιο λευκό αλεύρι, το δεύτερο με 50% αλεύρι κριθαριού ολικής άλεσης, τον τρίτο με 50% αλεύρι κριθαριού που προέκυψε μετά από ξηρή κοσκίνιση και τον τέταρτο με 20% κριθαρένιο αλεύρι που παραλήφθηκε με υδατική εκχύλιση. Στατιστικά σημαντική μείωση στα μεταγευματικά επίπεδα γλυκόζης, προκάλεσε η κατανάλωση μόνο του τέταρτου άρτου, ο οποίος είχε και το μεγαλύτερο ποσοστό σε β-γλυκάνες (6,3% στο τελικό προϊόν).

Μία μελέτη συνδύασε τον εμπλουτισμό του άρτου με β-γλυκάνες βρώμης με την αρτοποιήση με φυσικό προζύμι²³. Ο GI του άρτου αυτού υπολογίστηκε 54, δηλαδή είναι ένα τρόφιμο χαμηλού GI, και είναι η χαμηλότερη τιμή εμπλουτισμένου με β-γλυκάνες άρτου που αναφέρεται στην παρούσα ανασκόπηση.

Μη στατιστικά σημαντική διαφορά στη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης υγιών εθελοντών μετά από την κατανάλωση άρτου εμπλουτισμένου με 5,4% β-γλυκάνες βρώμης βρέθηκε σε μία μόνο μελέτη¹¹.

Συζήτηση

Η ευεργετική δράση των β-γλυκανών στη ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης του αίματος έχει εξεταστεί σε πολυάριθμες μελέτες και σε ένα μεγάλο φάσμα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων προϊόντων δημητριακών, όπως μούσλι²⁴, δημητριακά πρωινού²⁵, κράκερς²⁶ και κέικ²⁷, αλλά και σε ποτά²⁸, σε σούπες²⁹ και σε γαλακτοκομικά προϊόντα³⁰. Στην αρτοβιομηχανία, οι β-γλυκάνες έχουν πολλές εφαρμογές κυρίως ως πυκνωτικό μέσο για την αύξηση του ιξώδους, για την υποκατάσταση των λιπών, ως πηγή διαιτητικών ινών και για τη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων³¹. Το λευκό αλεύρι σίτου, που είναι φτωχό σε διαιτητικές ίνες, μπορεί να εμπλουτιστεί με β-γλυκάνες για την παρασκευή άρτου και άλλων αρτοποιημάτων³². Επιπλέον, η προσθήκη β-γλυκανών στον άρτο βελτιώνει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του άρτου, τις ιξωδοελαστικές, ρεολογικές και οργανοληπτικές ιδιότητες.

Η ικανότητα των β-γλυκανών να σχηματίζουν ιξώδη διαλύματα στο γαστρεντερικό σωλήνα θεωρείται η βάση των ευεργετικών τους ιδιοτήτων στον ανθρώπινο οργανισμό. Ο ρόλος του ιξώδους των β-γλυκανών στη μείωση των μεταγευματικών επιπέδων γλυκόζης έχει τεκμηριωθεί επαρκώς από πειραματικές μελέτες³³⁻³⁵. Το αυξημένο ιξώδες συμβάλλει στην καθυστέρηση της υδρόλυσης του αμύλου, και συνεπώς στην απορρόφηση της γλυκόζης από το εντερικό επιθήλιο. Το ιξώδες με τη σειρά του εξαρτάται από δύο κύριους παράγοντες, τη συγκέντρωση των β-γλυκανών και το μοριακό τους βάρος^{36,37}. Αυξανόμενου του μοριακού βάρους των β-γλυκανών, φαίνεται ότι η επίδρασή τους στη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης και ινσουλίνης είναι μεγαλύτερη³⁸.

Για την επιβεβαίωση του μηχανισμού δράσης των β-γλυκανών, μερικές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει σταθερά ισότοπα, τα οποία επιτρέπουν την αξιολόγηση της κινητικής

της γλυκόζης^{39,40}. Με τη μεθοδολογία αυτή εκτιμάται ο ρυθμός εμφάνισης στο αίμα της εξωγενούς γλυκόζης (από γεύμα σημασμένο με ¹³C), της συνολικής γλυκόζης, και έμμεσα της ενδογενούς σύνθεσης γλυκόζης. Η προσθήκη β-γλυκανών σε γεύμα πολέντα οδήγησε σε σημαντικά μεγαλύτερη αναστολή της ενδογενούς παραγωγής γλυκόζης, και παράλληλα επιβράδυνε την εμφάνιση της γλυκόζης στο πλάσμα σε σύγκριση με το γεύμα αναφοράς (χωρίς β-γλυκάνες)³⁹.

Η κατανάλωση ενός γεύματος πλούσιου σε β-γλυκάνες στο βραδινό γεύμα έχει συσχετιστεί με ευνοϊκότερη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης στο επόμενο πρωινό γεύμα^{41,42}. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση άρτου με σπόρους κριθαριού πλούσιων σε β-γλυκάνες (23,4 g διαλυτών διαιτητικών ινών ανά 50 g αφομοιώσιμων υδατανθράκων) σε σύγκριση με την κατανάλωση ενός λευκού άρτου στο βραδινό γεύμα, αύξησε τη συγκέντρωση του βουτυρικού οξέος το επόμενο πρωινό στο στάδιο νηστείας αλλά και 30 λεπτά μεταγευματικά. Το εύρημα αυτό υποστηρίζει την άποψη ότι τα προϊόντα δημητριακών πλούσια σε άπεπτους υδατάνθρακες, συμπεριλαμβανομένων των β-γλυκανών, μπορούν να βελτιώσουν την ανοχή στη γλυκόζη μέσω αύξησης της παραγωγής λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου, και κυρίως βουτυρικού, που προκύπτουν από τη ζύμωση των άπεπτων υδατανθράκων από τους μικροοργανισμούς του παχέος εντέρου.

Η αύξηση της περιεκτικότητας του άρτου σε β-γλυκάνες μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους, είτε προσθέτοντας αλεύρι κριθαριού ή βρώμης στα συστατικά του, είτε με την προσθήκη καθαρών διαλυτών β-γλυκανών στη συνταγή. Έχει αποδειχθεί από τους Liljeberg et al. ότι το φυσιολογικά απαντώμενο ποσοστό β-γλυκανών στα αλεύρα αυτά δεν είναι ικανό να μειώσει τη μεταγευματική υπεργλυκαιμία και υπερινσουλιναίμια σε υγιείς εθελοντές¹². Ωστόσο, η χρήση της ποικιλίας κριθαριού Prowashonurana (PW) έχει ως αποτέλεσμα την παρασκευή άρτου με GI που κυμαίνεται από 54,7 έως 74,8 ανάλογα με την ποσότητα του αλεύρου PW που χρησιμοποιείται. Αυξανόμενου του ποσοστού του κριθαρένιου αλεύρου PW που χρησιμοποιείται, και συνεπώς αυξανόμενης της περιεκτικότητας του άρτου σε β-γλυκάνες, ο GI του άρτου μειώνεται^{12,13}. Στη μελέτη των Östman et al. σημαντική μείωση παρατηρήθηκε επίσης και στα μεταγευματικά επίπεδα της ινσουλίνης στον ορό των εθελοντών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η αρεστότητα των άρτων διατηρήθηκε υψηλή παρά τη μεγάλη περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες, γεγονός που καθιστά δυνατή την παραγωγή άρτου, ο οποίος όχι μόνο μειώνει τη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης αλλά έχει και αποδεκτά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Επιπροσθέτως, οι κοινές ποικιλίες κριθαριού μπορούν να εμπλουτιστούν με β-γλυκάνες με τη χρήση διαφόρων τεχνολογιών άλεσης των δημητριακών. Από τη μελέτη των Cavallero et al.²² φάνηκε ότι η μέθοδος της υδατικής εκχύλισης απέδωσε το μέγιστο, αναφορικά με την περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες, και η χρήση αυτού του αλεύρου σε ποσοστό 20% (το υπόλοιπο 80% ήταν λευκό σταρένιο αλεύρι) οδήγησε σε σημαντική μείωση στο GI του άρτου, σε σύγκριση με την ξηρή κοσκίνιση.

Στη μελέτη των Juntunen et al.¹¹, η προσθήκη 20% συμπυκνώματος πιτύρου βρώμης (5,4% συγκέντρωση

β-γλυκανών στο τελικό προϊόν) δε μείωσε σημαντικά τη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης. Οι ερευνητές απέδωσαν το αποτέλεσμα είτε στη δράση των ενδογενών β-γλυκανασών, είτε σε κάποιο στάδιο επεξεργασίας καθώς και οι δύο παραπάνω παράγοντες μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση του μοριακού βάρους των β-γλυκανών και συνεπώς μείωση της λειτουργικότητάς τους. Σε επόμενο άρθρο τους οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν ότι είναι πιθανόν η επεξεργασία και η βοτανική δομή των δημητριακών να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης και της ινσουλίνης, παρά η ποσότητα των διαιτητικών ινών ή το είδος του δημητριακού⁴³.

Στην παρούσα ανασκόπηση βρέθηκε μόνο μία μελέτη που εξέτασε την οξεία επίδραση της κατανάλωσης εμπλουτισμένου με β-γλυκάνες άρτου στη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης ασθενών με μεταβολικό σύνδρομο¹⁹. Παρ'ότι δε βρέθηκαν μελέτες στη βιβλιογραφία που να εξετάζουν τη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης στην κατανάλωση εμπλουτισμένου με β-γλυκάνες άρτου από διαβητικούς ασθενείς, ωστόσο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη παρέμβασης που πραγματοποιήθηκε από τους Liatis et al.⁴⁴, οι οποίοι παρασκεύασαν άρτο εμπλουτισμένο με β-γλυκάνες χρησιμοποιώντας 25% συμπυκνωμένο πίτυρο βρώμης (OBC N15) και 75% λευκό σιτάρινο αλεύρι. Η παρέμβαση διήρκεσε 3 εβδομάδες και οι 46 διαβητικοί ασθενείς προσλάμβαναν καθημερινά 3 g β-γλυκανών μέσα από την κατανάλωση του εμπλουτισμένου άρτου. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι, η HbA1c (Glycosylated haemoglobin, HbA1c) μειώθηκε στατιστικά σημαντικά στην ομάδα παρέμβασης σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, όπως επίσης και η γλυκόζη νηστείας, ενώ δεν υπάρχουν δεδομένα για τη μεταγευματική απόκριση γλυκόζης ή/και ινσουλίνης.

Στη μελέτη των De Angelis et al. που παρουσιάστηκε στην παρούσα ανασκόπηση, ο άρτος που προέκυψε από την αρτοποιία με φυσικό προζύμι και την προσθήκη β-γλυκανών εκτός από το χαμηλό GI, είχε και καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, και συγκεκριμένα υψηλότερο ειδικό όγκο, καλύτερη δομή ψίχας και περισσότερο αποδεκτή ελαφρώς όξινη μυρωδιά, γεύση και άρωμα σε σύγκριση με τον λευκό άρτο²³. Η αρτοποιία με φυσικό προζύμι, ιδιαίτερα όταν παράγεται σε χαμηλές τιμές pH (π.χ. 3,5-4), και πιθανά σε συνδυασμό με την προσθήκη διαλυτών διαιτητικών ινών, μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική στρατηγική μείωσης του GI του άρτου^{4,23,45-48}. Ποικίλες υποθέσεις έχουν προταθεί για να εξηγήσουν την επίδραση της χρήσης φυσικού προζυμίου στη μεταγευματική γλυκαιμία και ινσουλιναίμια. Η σύνθεση οργανικών οξέων και ιδιαίτερα γαλακτικού οξέος, έχει θεωρηθεί ως ο κύριος μηχανισμός. Φυσικά μεταξύ των ειδών άρτου υπάρχουν διαφορές, όμως η γενική εικόνα είναι ότι το γαλακτικό οξύ μειώνει την αποικοδόμηση του αμύλου⁴⁹, ενώ το οξικό και προπιονικό οξύ παρατείνουν το ρυθμό κένωσης του στομάχου⁵⁰.

Συμπεράσματα

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας διαπιστώνεται ότι οι β-γλυκάνες από βρώμη και κριθάρι αποτελούν

πολύτιμα λειτουργικά συστατικά που μπορούν με επιτυχία να ενσωματωθούν στον άρτο με στόχο τη μείωση του GI. Ο μηχανισμός δράσης τους δεν έχει ακόμη διευκρινιστεί πλήρως, αλλά κάποια δεδομένα υποστηρίζουν ότι περιλαμβάνει το σχηματισμό ιξωδών διαλυμάτων στον εντερικό αυλό, που επιβραδύνουν την απορρόφηση της γλυκόζης. Η κατανάλωση επίσης β-γλυκανών στο βραδινό γεύμα μπορεί να βελτιώσει τη μεταγευματική απόκριση της γλυκόζης το επόμενο πρωινό, μια δράση που αποδίδεται στα προϊόντα της ζύμωσης των διαιτητικών ινών στο παχύ έντερο. Η ποσότητα των διαλυτών διαιτητικών ινών που απαντάται φυσικά στα άλευρα κριθαριού και βρώμης, δεν είναι ικανή να προκαλέσει σημαντική μείωση της μεταγευματικής συγκέντρωσης της γλυκόζης, ωστόσο η χρήση ποικιλιών δημητριακών από τις οποίες προκύπτει αλεύρι με αυξημένη περιεκτικότητα σε β-γλυκάνες, αλλά και η προσθήκη καθαρών διαλυτών β-γλυκανών φαίνονται αποτελεσματικές στρατηγικές. Όσον αφορά την ελάχιστη ποσότητα που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί μείωση της μεταγευματικής απόκρισης της γλυκόζης, αποτελεσματική φαίνεται να είναι η ποσότητα των 4 g β-γλυκανών με μοριακό βάρος >250000 g/mol ανά 30-80 g διαθέσιμων υδατανθράκων ανά γεύμα¹⁰. Περισσότερες μελέτες απαιτούνται για τον προσδιορισμό των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας, ούτως ώστε το μοριακό βάρος, και γενικότερα η δομή των β-γλυκανών να διατηρούνται σχετικά σταθερά από τις πρώτες ύλες μέχρι το τελικό προϊόν, με στόχο τη διασφάλιση της λειτουργικότητάς τους.

Ευχαριστίες

Η Κα Σταματάκη ευχαριστεί το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών για τη χρηματοδότηση των μεταπτυχιακών της σπουδών μέσω του προγράμματος «Υποτροφίες Αριστείας I.K.Y. Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ελλάδα - Πρόγραμμα Siemens».

Βιβλιογραφία

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cereal and Other Starch-based Staples: Are Consumption Patterns Changing? Joint Meeting of the Intergovernmental Group on Grains (30th Session) and the Intergovernmental Group on Rice (41st Session), 10-11 February 2004, Rome. FAO Corporate Document Repository.
2. Quilez J, Salas-Salvado J. Salt in bread in Europe: potential benefits of reduction. *Nutr Rev* 2012; 70(11):666-78.
3. Cust AE, Skilton MR, van Bakel MM, Halkjaer J, Olsen A, Agnoli C, et al. Total dietary carbohydrate, sugar, starch and fibre intakes in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *Eur J Clin Nutr* 2009; 63 Suppl 4:S37-60.
4. Fardet A, Leenhardt F, Lioger D, Scalbert A, Remesy C. Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutr Res Rev* 2006; 19(1):18-25.
5. Guariguata L, Whiting DR, Hambleton I, Beagley J, Linnenkamp U, Shaw JE. Global estimates of diabetes

- prevalence for 2013 and projections for 2035. *Diabetes Res Clin Pract* 2014; 103(2):137-49.
6. Barclay AW, Petocz P, McMillan-Price J, Flood VM, Prvan T, Mitchell P, et al. Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk - a meta-analysis of observational studies. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(3):627-37.
 7. Bhupathiraju SN, Tobias DK, Malik VS, Pan A, Hruby A, Manson JE, et al. Glycemic index, glycemic load, and risk of type 2 diabetes: results from 3 large US cohorts and an updated meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2014; 100(1):218-32.
 8. Bartłomiej S, Rosicka-Kaczmarek J, Ewa N. Bioactive compounds in cereal grains - occurrence, structure, technological significance and nutritional benefits - a review. *Food Sci Technol Int* 2012; 18(6):559-68.
 9. Izydorczyk MS, Dexter JE. Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products - a Review. *Food Res Int* 2008; 41:850-68.
 10. Tosh SM. Review of human studies investigating the postprandial blood-glucose lowering ability of oat and barley food products. *Eur J Clin Nutr* 2013; 67(4):310-7.
 11. Juntunen KS, Niskanen LK, Liukkonen KH, Poutanen KS, Holst JJ, Mykkanen HM. Postprandial glucose, insulin, and incretin responses to grain products in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 2002; 75(2):254-62.
 12. Liljeberg HG, Granfeldt YE, Björck IM. Products based on a high fiber barley genotype, but not on common barley or oats, lower postprandial glucose and insulin responses in healthy humans. *J Nutr* 1996; 126(2):458-66.
 13. Östman E, Rossi E, Larsson H, Brighenti F, Björck I. Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of 1 \rightarrow 3;1 \rightarrow 4)- β -glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests. *J Cereal Sci* 2006; 43:230-5.
 14. Behall KM, Scholfield DJ, Hallfrisch J. Comparison of hormone and glucose responses of overweight women to barley and oats. *J Am Coll Nutr* 2005; 24(3):182-8.
 15. Holm J, Koellreutter B, Wursch P. Influence of sterilization, drying and oat bran enrichment of pasta on glucose and insulin responses in healthy subjects and on the rate and extent of in vitro starch digestion. *Eur J Clin Nutr* 1992; 46(9):629-40.
 16. Yokoyama W, Hudson C, Knuckles B, Chiu M, Sayre R, Tumlund J, et al. Effect of barley β -glucan in durum wheat pasta on human glycemic response. *Cereal Chem* 1997; 74:293-6.
 17. EFSA. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1236, 1299), increase in satiety leading to a reduction in energy intake (ID 851, 852), reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 821, 824), and 'digestive function' (ID 850) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA J* 2011; 9:2207-28.
 18. Vitaglione P, Lumaga RB, Stanzione A, Scalfi L, Fogliano V. beta-Glucan-enriched bread reduces energy intake and modifies plasma ghrelin and peptide YY concentrations in the short term. *Appetite* 2009; 53(3):338-44.
 19. Hartvigsen ML, Gregersen S, Laerke HN, Holst JJ, Bach Knudsen KE, Hermansen K. Effects of concentrated arabinoxylan and beta-glucan compared with refined wheat and whole grain rye on glucose and appetite in subjects with the metabolic syndrome: a randomized study. *Eur J Clin Nutr* 2014; 68(1):84-90.
 20. Thondre PS, Henry CJ. High-molecular-weight barley beta-glucan in chapatis (unleavened Indian flatbread) lowers glycemic index. *Nutr Res* 2009; 29(7):480-6.
 21. Finocchiaro F, Ferrari B, Gianinetti A, Scazzina F, Pellegrini N, Caramanico R, et al. Effects of barley beta-glucan-enriched flour fractions on the glycaemic index of bread. *Int J Food Sci Nutr* 2012; 63(1):23-9.
 22. Cavallero A, Empilli S, Brighenti F, Stanca A. High (1 \rightarrow 3,1 \rightarrow 4)- β -glucan barley fractions in bread making and their effects on human glycemic response. *J Cereal Sci.* 2002;36:59-66.
 23. De Angelis M, Rizzello CG, Alfonsi G, Arnault P, Cappelle S, Di Cagno R, et al. Use of sourdough lactobacilli and oat fibre to decrease the glycaemic index of white wheat bread. *Br J Nutr* 2007; 98(6):1196-205.
 24. Granfeldt Y, Nyberg L, Björck I. Muesli with 4 g oat beta-glucans lowers glucose and insulin responses after a bread meal in healthy subjects. *Eur J Clin Nutr* 2008; 62(5):600-7.
 25. Beck EJ, Tosh SM, Batterham MJ, Tapsell LC, Huang XF. Oat beta-glucan increases postprandial cholecystokinin levels, decreases insulin response and extends subjective satiety in overweight subjects. *Mol Nutr Food Res* 2009; 53(10):1343-51.
 26. Casiraghi MC, Garsetti M, Testolin G, Brighenti F. Postprandial responses to cereal products enriched with barley beta-glucan. *J Am Coll Nutr* 2006; 25(4):313-20.
 27. Behall KM, Scholfield DJ, Hallfrisch JG, Liljeberg-Elmstahl HG. Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. *Diabetes Care* 2006; 29(5):976-81.
 28. Lyly M, Salmenkallio M, Suortti M, Autio K, Poutanen K, Lahteenmaki L. Influence of oat β -glucan preparations on the perception of mouth feel and rheological properties in beverage prototypes. *Cereal Chem* 2003; 80:536-41.
 29. Lyly M, Marttila M, Suortti T, Autio K, Poutanen K, Liisa L. The sensory characteristics and rheological properties of soups containing oat and barley β -glucan before and after freezing. *Lebensm-WissU-Technol* 2004; 37:749-61.
 30. Konuklar G, Inglett G, Warner K, Carriere C. Use of a β -glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat cheddar cheeses: textural properties by instrumental methods and sensory panels. *Food Hydrocoll* 2004; 18:535-45.
 31. Andersson R, Fransson G, Tietjen M, Aman P. Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread. *J Agric Food Chem* 2009; 57(5):2004-8.
 32. Trogh I, Courtin C, Andersson A, Man A, Sorensen J, Delcour J. The combined use of hull-less barley flour and

- xylanase as a strategy for wheat/hull-less barley flour breads with increased arabinoxylan and (1→3) (1→4)-β-D-glucan levels. *J Cereal Sci* 2004; 40:257-67.
33. Wood PJ. Physicochemical properties and physiological effects of the (1→3)(1→4)-beta-D-glucan from oats. *Adv Exp Med Biol* 1990; 270:119-127.
 34. Braaten JT, Wood PJ, Scott FW, Wolynetz MS, Lowe MK, Bradley-White P, et al. Oat beta-glucan reduces blood cholesterol concentration in hypercholesterolemic subjects. *Eur J Clin Nutr* 1994; 48:465-474.
 35. Wood PJ, Beer MU, Butler G. Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat beta-glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. *Br J Nutr* 2000; 84:19-23.
 36. Wood P, Weisz J, Beer M, Newman C, Newman R. Structure of (1-3)(1-4)-b-D-glucan in waxy and nonwaxy barley. *Cereal Chem* 2003; 80:329-32.
 37. Brummer Y, Duss R, Wolever T, Tosh S. Glycemic response to extruded oat bran cereals processed to vary in molecular weight. *Cereal Chem* 2012; 89:255-61.
 38. Frank J, Sundberg B, Kamal-Eldin A, Vessby B, Aman P. 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. *J Nutr* 2004; 134(6):1384-8.
 39. Nazare JA, Normand S, Oste Triantafyllou A, Brac de la Perriere A, Desage M, Laville M. Modulation of the postprandial phase by beta-glucan in overweight subjects: effects on glucose and insulin kinetics. *Mol Nutr Food Res* 2009; 53:361-369.
 40. Battilana P, Omstein K, Minehira K, Schwarz JM, Acheson K, Schneiter P et al. Mechanisms of action of beta-glucan in postprandial glucose metabolism in healthy men. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55:327-333.
 41. Nilsson AC, Östman EM, Holst JJ, Bjorck IM. Including indigestible carbohydrates in the evening meal of healthy subjects improves glucose tolerance, lowers inflammatory markers, and increases satiety after a subsequent standardized breakfast. *J Nutr* 2008; 138:732-739.
 42. Nilsson AC, Östman EM, Knudsen KE, Holst JJ, Bjorck IM. A cereal-based evening meal rich in indigestible carbohydrates increases plasma butyrate the next morning. *J Nutr* 2010; 140:1932-1936.
 43. Juntunen KS, Laaksonen DE, Autio K, Niskanen LK, Holst JJ, Savolainen KE, et al. Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *Am J Clin Nutr* 2003; 78:957-964.
 44. Liatis S, Tsapogas P, Chala E, Dimosthenopoulos C, Kyriakopoulos K, Kapantais E, et al. The consumption of bread enriched with betaglucan reduces LDL-cholesterol and improves insulin resistance in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Metab* 2009; 35(2):115-20.
 45. De Angelis M, Damiano N, Rizzello CG, Cassone A, Di Cagno R, Gobbetti M. Sourdough fermentation as a tool for the manufacture of low-glycemic index white wheat bread enriched in dietary fibre. *Eur Food Res Technol* 2009; 229:593-601.
 46. Lappi J, Selinheimo E, Schwab U, Katina K, Lehtinen P, Mykkänen H, et al. Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses. *J Cereal Sci* 2010; 51:152-158.
 47. Maioli M, Pes GM, Sanna M, Cherchi S, Dettori M, Manca E, et al. Sourdough-leavened bread improves postprandial glucose and insulin plasma levels in subjects with impaired glucose tolerance. *Acta Diabetol* 2008; 45:91-96.
 48. Najjar AM, Parsons PM, Duncan AM, Robinson LE, Yada RY, Graham TE. The acute impact of ingestion of breads of varying composition on blood glucose, insulin and incretins following first and second meals. *Br J Nutr* 2009; 101:391-398.
 49. Liljeberg HG, Lonner CH, Bjorck IM. Sourdough fermentation or addition of organic acids or corresponding salts to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans. *J Nutr* 1995; 125:1503-1511.
 50. Liljeberg H, Bjorck I. Delayed gastric emptying rate may explain improved glycaemia in healthy subjects to a starchy meal with added vinegar. *Eur J Clin Nutr* 1998; 52:368-371.