



Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Προϊόντα ζυμαρικών με βάση τα όσπρια. Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επίδραση στην υγεία.

Legume-based pasta products. Quality/sensory characteristics and effect on human health.



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Βασίλειος Λιάπης
Vasileios Liapis

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Παναγιώτης Ηγουμενίδης
Panagiotis Igoumenidis

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2021

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή
Αθήνα, Οκτώβριος 2021

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων Καθηγητής

Παναγιώτης Ηγουμενίδης, Χημικός Μηχανικός (PhD),
Ακαδημαϊκός Υπότροφος, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας
Τροφίμων, Σχολή Επιστημών Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής
Αττικής

2. Μέλος επιτροπής

Σπυρίδων Παπαδάκης, Χημικός Μηχανικός (PhD), Καθηγητής,
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών
Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

3. Μέλος επιτροπής

Μαρία Γιαννακούρου, Χημικός Μηχανικός (PhD), Καθηγήτρια,
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Επιστημών
Τροφίμων, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βασίλειος Λιάπης του Αχιλλέα, με αριθμό μητρώου 15128 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών,



Βασίλειος Λιάπης

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου Παναγιώτη Ηγουμενίδη για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της και για όσα πρόσφερε κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στη σχολή.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως στόχο να αποσαφηνίσει και να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της επίδρασης του εμπλουτισμού των ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων και την ανθρώπινη υγεία. Αρχικά, παρουσιάστηκαν τα κυριότερα είδη ζυμαρικών και οσπρίων, καθώς και η σύσταση και τα διατροφικά τους χαρακτηριστικά. Εμφανίστηκε πλούσια περιεκτικότητα για τα ζυμαρικά σε υδατάνθρακες και σε πρωτεΐνες, ενώ για τα όσπρια σε φυτικές ίνες για τα όσπρια. Έτσι, έγινε αντιληπτός ο σκοπός του εμπλουτισμού των ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων και παρουσιάστηκαν διάφορες προσπάθειες εμπλουτισμού. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκε η επίδραση του εμπλουτισμού στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων. Αρχικά, στη ζύμη η πλειοψηφία των ερευνών έδειξε αύξηση της απορρόφησης νερού και μείωση του χρόνου ανάπτυξης της ζύμης. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, επηρεάστηκαν η επιφάνεια κι η μικροδομή των ζυμαρικών, ενώ κατά την υγροθερμική επεξεργασία των τελικών προϊόντων αυξάνονται το βάρος μαγειρεμένου προϊόντος, η απορρόφηση νερού, οι απώλειες μάζας, ενώ ο βέλτιστος χρόνος μαγειρέματος είτε αυξάνεται είτε μειώνεται με βάση τη βιβλιογραφία. Η οργανοληπτική αξιολόγηση κατέδειξε ότι σε χαμηλά ποσοστά υποκατάστασης με άλευρα οσπρίων εμφανίζονται θετικά αποτελέσματα, αλλά σε υψηλά ποσοστά τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Τέλος, θετικός αντίκτυπος εμφανίστηκε στην ανθρώπινη υγεία ως προς τον μεταβολισμό, την αντιοξειδωτική ικανότητα και τον γλυκαιμικό δείκτη.

Λέξεις κλειδιά: Ζυμαρικά, όσπρια, εμπλουτισμός, ποιοτικά χαρακτηριστικά, ανθρώπινη υγεία

Abstract

This thesis aims to clarify and present the results of pasta fortification with legume flours, on the quality characteristics of the products and on human health. Firstly, the types of pasta and legumes were presented, as well as their composition and nutritional characteristics. There is a high content of carbohydrates for pasta and protein and fiber for legumes. Thus, the purpose of pasta fortification with legume flours was perceived and various fortification efforts were presented. Then, the effect of fortification on quality characteristics of the products was determined. Firstly, in dough, the majority of researches showed an increase in water absorption and a decrease in dough development time. During drying, the surface and the microstructure of the pasta were affected, while during the hydrothermal treatments of the final products the weight of cooked product, the water absorption and the mass losses increased, while the optimal cooking time either increases or decreases according to literature findings. The sensory evaluation showed that at low levels of substitution with legume flour showed positive results, but at high levels the results were negative. Finally, there was a positive impact on human health in terms of metabolism, antioxidant capacity and glycemic index.

Keywords: Pasta, legumes, fortification, quality characteristics, human health

Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright.....	[3]
Ευχαριστίες.....	[5]
Περίληψη.....	[7]
Abstract.....	[8]
Ευρετήριο εικόνων.....	[11]
Ευρετήριο πινάκων.....	[13]
Κεφάλαιο 1: Ζυμαρικά.....	[15]
1.1 Ιστορικά στοιχεία.....	[15]
1.2 Είδη ζυμαρικών.....	[16]
1.2.1 Παραδοσιακά - Αποξηραμένα ζυμαρικά.....	[16]
1.2.2 Φρέσκα ζυμαρικά.....	[20]
1.3 Σύσταση και διατροφικά χαρακτηριστικά ζυμαρικών.....	[24]
Κεφάλαιο 2: Όσπρια.....	[25]
2.1 Εισαγωγή.....	[25]
2.2 Είδη οσπρίων, σύσταση και διατροφικά χαρακτηριστικά.....	[26]
Κεφάλαιο 3: Εμπλουτισμός ζυμαρικών.....	[34]
3.1 Σκοπός εμπλουτισμού.....	[34]
3.2 Προσπάθειες εμπλουτισμού ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων.....	[39]
Κεφάλαιο 4: Ποιοτικά χαρακτηριστικά.....	[52]
4.1 Επίδραση εμπλουτισμού με άλευρα οσπρίων στη ζύμη.....	[52]
4.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την ξήρανση εμπλουτισμένων ζυμαρικών.....	[62]
4.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά εμπλουτισμένων ζυμαρικών κατά την υδροθερμική επεξεργασία.....	[74]
4.3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά μαγειρεμένων προϊόντων.....	[74]
4.3.2 Οργανοληπτική αξιολόγηση.....	[80]
Κεφάλαιο 5: Επίδραση του εμπλουτισμού ζυμαρικών με όσπρια στην υγεία.....	[85]
5.1 Εισαγωγή.....	[85]

5.2 Μεταβολισμός.....	[86]
5.3 Γλυκαιμικός δείκτης και σακχαρώδης διαβήτης.....	[87]
5.4 Φαινολικό περιεχόμενο και αντιοξειδωτική δράση.....	[92]
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	[96]
Βιβλιογραφία.....	[99]

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Διαδικασία παραγωγής ζυμαρικών (Food-Info).....	[18]
Εικόνα 2: Φρέσκα ζυμαρικά (https://www.101cookbooks.com/homemade-pasta/).....	[21]
Εικόνα 3: Παραγωγή ζυμαρικών στην Ε.Ε. σε τόνους (2010-2019) (UN.A.F.P.A 2020).....	[21]
Εικόνα 4: Κατανάλωση ζυμαρικών στην Ε.Ε. (2010-2019) (UN.A.F.P.A., 2020).....	[22]
Εικόνα 5: Κατά κεφαλήν κατανάλωση ζυμαρικών (2020) (UN.A.F.P.A., 2020).....	[22]
Εικόνα 6: Διάφοροι τύποι οσπρίων (https://universityhealthnews.com).....	[26]
Εικόνα 7: Διατροφικά στοιχεία φακών (FAO, 2016).....	[32]
Εικόνα 8: Άλευρο ρεβιθιού (https://gonatural.gr/alevri-revithiou/).....	[34]
Εικόνα 9: Σχηματική αναπαράσταση των φαινομένων συρρίκνωσης και κατάρρευσης κατά τη διαδικασία ξήρανσης των ζυμαρικών. (Mercier et al., 2011).....	[43]
Εικόνα 10: Εμπλουτισμένα ζυμαρικά με αρακά, ρεβίθια, κόκκινα φασόλια και κόκκινες φακές (από αριστερά προς τα δεξιά) (https://pulsecanada.com/applications/pasta-noodles).....	[48]
Εικόνα 11: Ζυμαρικά πέννες παρασκευασμένα από κόκκινες φακές (https://bridge2food.com/tag/pulses/).....	[49]
Εικόνα 12: Ζυμαρικά σπαγγέτι παρασκευασμένα από κόκκινες φακές (https://www.healthyfood.com/ask-the-experts/is-pulse-pasta-gluten-free/).....	[50]
Εικόνα 13: Ενδεικτικό διάγραμμα εξτενσιογραφήματος (https://www.brabender.com/).....	[55]
Εικόνα 14: Εξτενσιογράφος - Brabender Extensograph-E (https://www.brabender.com/en/food/products/rheometers/inspect-rheological-dough-properties-extensograph-e/).....	[56]
Εικόνα 15: Εξτενσιογράφος (Brabender Extensograph-E) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του (https://www.brabender.com/en/food/products/rheometers/inspect-rheological-dough-properties-extensograph-e/).....	[57]
Εικόνα 16: Φαρινογράφος - Brabender Farinograph E (https://www.brabender.com/en/food/products/rheometers/farinograph-e/).....	[59]

Εικόνα 17: Φαρινογράφος Farinograph - AT (<https://scientificservices.eu/id/item/5369/farinograph-R--at-version-12.html>).....[59]

Εικόνα 18: Φωτογραφίες από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) ξηρών ζυμαρικών (αριστερή στήλη), εξωτερικής επιφάνειας μαγειρεμένων ζυμαρικών (μεσαία στήλη), τομής μαγειρεμένων ζυμαρικών (δεξιά στήλη) - σε μεγέθυνση × 3000. Πάνω γραμμή - αφυδατωμένο αλεύρι μπιζελιού (0 g / 100 g), μεσαία γραμμή - αφυδατωμένο αλεύρι μπιζελιού (30 g / 100 g), κάτω γραμμή - αφυδατωμένο αλεύρι μπιζελιού (30 g / 100 g) + πρόσθετα (Sudha & Leelavathi, 2011).....[63]

Εικόνα 19: Επεξηγηματικές εικόνες κατανόησης πορώδους. α) Υψηλό πορώδες, β) Χαμηλό πορώδες (<https://www.researchgate.net/profile/Mikael-Hoeeok/publication/277983025/figure/fig7/AS:669494452187139@1536631324251/Simplified-examples-of-materials-with-high-and-low-porosity-Rocks-with-high-porosity.ppm>).....[66]

Εικόνα 20: Επιφάνεια ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη λευκού φασολιού: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, S-άμυλο. (Wójtowicz & Mościcki, 2014).....[69]

Εικόνα 21: Τομή ζυμαρικών εμπλουτισμένων με λευκό φασόλι: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, SP-αμυλοπρωτεΐνη (Wójtowicz & Mościcki, 2014).....[70]

Εικόνα 22: Επιφάνεια ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη κίτρινου μπιζελιού: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, S-άμυλο. (Wójtowicz & Mościcki, 2014).....[71]

Εικόνα 23: . Τομή ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη κίτρινου μπιζελιού: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g, με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, SP-αμυλοπρωτεΐνη (Wójtowicz & Mościcki, 2014).....[72]

Εικόνα 24: Επιφάνεια ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη φακής: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, S-άμυλο. (Wójtowicz & Mościcki, 2014).....[73]

Εικόνα 25: Τομή ζυμαρικών εμπλουτισμένων με φακές: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g, με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, B-φακές.

(Wójtowicz & Mościcki, 2014).....[74]

Εικόνα 26: Νηστεία και μεταγευματική απόκριση γλυκόζης. Οι τιμές, με τυπικά σφάλματα των μέσων που αντιπροσωπεύονται ως κάθετες ράβδοι. Διακεκομμένες γραμμές-διαλυμα γλυκόζης, μπάρες-DW-LT, μικρές διακεκομμένες-F-LT, τρίγωνο-F-VHT (Greffeuille et al., 2015).....[91]

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Τύποι διασήμων αποξηραμένων ζυμαρικών (Food-Info).....	[19]
Πίνακας 2: Σύσταση σιμιγδαλιού σκληρού σίτου σε g/100g (Petitot et al., 2010).....	[24]
Πίνακας 3: Σύσταση σιμιγδαλιού σκληρού σίτου σε βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία σε mg/100g (Petitot et al., 2010).....	[24]
Πίνακας 4: Πίνακας αναφερόμενων οσπρίων (Foschia, Horstmann, Arrendt & Zaninni, 2017).....	[30]
Πίνακας 5: Σύσταση οσπρίων (Foschia, Horstmann, Arrendt & Zaninni, 2017).....	[33]
Πίνακας 6: Διαιτητικές ίνες οσπρίων εκφρασμένες σε g/100g τροφίμου (Tosh & Yada, 2010).....	[33]
Πίνακας 7: Μέσος όρος % Περιεκτικότητας οσπρίων (Foschia, Horstmann, Arrendt & Zaninni, 2017).....	[36]
Πίνακας 8: Μέσος όρος % περιεκτικότητας οσπρίων σε ίνες (Yosh & Yada, 2010).....	[36]
Πίνακας 9: Συγκεντρωτικός πίνακας συστάσεως σιμιγδαλιού σκληρού σίτου και οσπρίων(%) (Foschia, Horstmann, Arrent & Zaninni (2017), de Almeida Costa et al. (2006), Tosh & Yada (2010), Petitot et al. (2010)).....	[36]
Πίνακας 10: Σύγκριση ιχνοστοιχείων Fe, Mg και P για τα ζυμαρικά και τα όσπρια (Petitot et al., 2010; Margier et al., 2018).....	[38]
Πίνακας 11: Επεξηγηματικός πίνακας συμβόλων (Mercier et al., 2011).....	[41]
Πίνακας 12: Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρων ρεβιθιών (Sabanis, Makri & Doxastakis, 2006).....	[53]
Πίνακας 13: Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρων ρεβιθιών (συνέχεια) (Sabanis, Makri & Doxastakis, 2006).....	[53]
Πίνακας 14: Περιεκτικότητες ολικών φαινολών και ολικών φλαβονοειδών σε άλευρα κόκκινης φακής, μπιζελιών, ρεβιθιών και σιμιγδαλιού σκληρού σίτου. (Turco et al. (2019)).....	[93]

1 Ζυμαρικά

1.1 Ιστορικά στοιχεία

Η ιστορία των ζυμαρικών αφθονεί από μύθους και χάνεται μέσα σε αυτούς, με τις αναφορές να περικλείουν διάφορες κουλτούρες και λαούς ανά τον κόσμο. Παράλληλα όμως, προσδίδουν μία εικόνα για την ιστορία του φαγητού με αυτόν τον τρόπο. Αρχαίοι πολιτισμοί οι οποίοι ήκμασαν στις εύφορες κοιλάδες των ποταμών Ευφράτη, Τίγρη, Νείλου, Ινδού και Γιανγκτσέ, φέρονται να καλλιεργούσαν τη Γη για τη διατροφή τους. Οι πρώτοι έποικοι μαζεύοντας τους σπόρους, τους συνέθλιψαν και στη συνέχεια τους μαγείρεψαν σε νερό. Τα πρώτα ιστορικά στοιχεία προϊόντων τύπου ζυμαρικών σε πραγματικό σχήμα ήρθαν στο φως το 2002, στη βόρεια Κίνα. Μικρά υπολείμματα από νουντλς (τύπος ζυμαρικού συνδεδεμένο με την ασιατική κουζίνα) βρέθηκαν σε κεραμικό μπολ. Αυτό το εύρημα χρονολογείται περίπου πριν από 4000 χρόνια (Lu et al., 2005; Shelke, 2016).

Ακόμα μία ένδειξη πρώιμης μορφής ζυμαρικών προέρχεται από τη λέξη λάγανον του ελληνικού λεξικού, τα οποία πιθανότατα έμοιαζαν με επίπεδες λωρίδες ζύμης, φτιαγμένα από αλεύρι και νερό. Χρονολογούνται κατά την πρώτη χιλιετία προ Χριστού, όταν ο ελληνικός πολιτισμός άνθιζε. Οι Ρωμαίοι ακολούθως υιοθέτησαν τα ζυμαρικά, καθώς και το όνομα. Ο Ρωμαίος φιλόσοφος και πολιτικός Κικέρων, τα αναφέρει ως ένα από τα πιο αγαπητά φαγητά της εποχής. Οι Ιταλοί τα ονόμασαν λαζάνια, όπου σήμερα αποτελούν ένα πολύ διαδεδομένο είδος ζυμαρικών. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι αν τα ζυμαρικά δεν αποτελούν ανακάλυψη των Ελλήνων και των Ρωμαίων, τότε κάποιος τα έφερε από κάπου αλλού. Η δημοφιλέστερη εκδοχή αποδίδει τα εύσημα στον εξερευνητή Μάρκο Πόλο, ο οποίος επιστρέφοντας μετά το ταξίδι του στην Κίνα, έφερε μαζί του και το συγκεκριμένο προϊόν. Επίσης, άλλοι πιστεύουν πως οι Άραβες τα ανακάλυψαν, ώστε να καλύψουν τις ανάγκες τους για τροφή, η οποία θα κρατούσε κατά τις νομαδικές τους περιπλανήσεις, ενώ κάποιοι συνδέουν ακόμα και με τους Γερμανούς.

Ένα πρώιμο αποδεικτικό στοιχείο τεχνολογίας παρασκευής ζυμαρικών αποτελούν εργαλεία όπως ένας οδοντωτός τροχός, ένας πλάστης και μία επιφάνεια πλασίματος, σκαλισμένα ανάγλυφα σε πυλώνα στο εσωτερικό ενός ετρουσκικού τάφου κοντά στη Ρώμη. Τον πρώτο αιώνα π.Χ. ο ποιητής Οράτιος αναφέρει στο έκτο του

βιβλίο «Σάπιρες» 'μετά επιστρέφω σπίτι στο πιάτο μου γεμάτο με πράσα και ρεβίθια και λαζάνια', κάτι που παρομοιάζεται και με σημερινό πιάτο των Ιταλών. Τον πρώτο αιώνα μ.Χ. ο Caelius Apicius περιγράφει σε μια συνταγή του τη χρήση λωρίδων ζύμης, ενώ οι συνταγές βοήθησαν να ανασυνταχθούν οι διατροφικές συνήθειες του αρχαίου κόσμου γύρω από τη Μεσόγειο. Επίσης, περιέγραψε αποξηραμένα ζυμαρικά κομμένα σε κομμάτια για πύκνωση της σούπας. Τα ζυμαρικά των Ρωμαίων ήταν παρασκευασμένα από σκληρό σιτάρι, παραγόμενο στην Αίγυπτο και τη Σικελία. Η ρωμαϊκή αυτοκρατορία εισήγαγε στην Ευρώπη τα προϊόντα ζυμαρικών κι έκτοτε παρασκευάζονταν από τοπικό μαλακό σιτάρι, καθώς ο σκληρός σίτος δεν ήταν διαθέσιμος στις περιοχές τότε (Shelke, 2016).

Από την πλευρά της Κίνας, με βάση την λογοτεχνία, το Shui Bing (κομμάτια ζύμης σε σούπα) καταναλωνόταν για περισσότερα από 2000 χρόνια πριν στη χώρα. Τα Tang Bing (ζεστή σούπα νουντλς) κατά τον χειμώνα και Lian Mian (κρύα σούπα νουντλς) κατά το καλοκαίρι ήταν δημοφιλή από την αρχή της δυναστείας των Tang (618-906 μ.Χ.). Κατά τη δυναστεία των Song (960-1279 μ.Χ.) οι άνθρωποι άρχισαν να χρησιμοποιούν τα ξυλάκια (chopsticks), ώστε να σερβίρουν μακρά νουντλς, ενώ κατά τη δυναστεία των Yuan (1279-1368 μ.Χ.) η τεχνολογία χειροποίητων νουντλς είχε ήδη αναπτυχθεί (Bin Xiao Fu, 2008).

1.2 Είδη ζυμαρικών

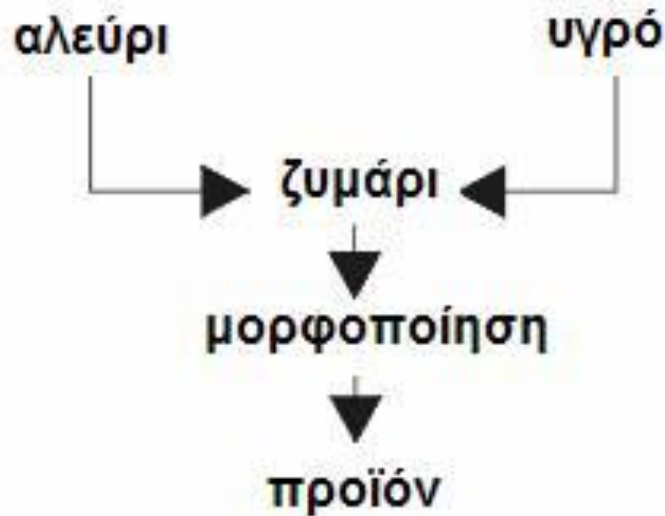
1.2.1 Παραδοσιακά-Αποξηραμένα ζυμαρικά

Τα ζυμαρικά εντάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες τα διαφοροποιούν, μεταξύ άλλων, σύμφωνα με τη δομή και τις ιδιότητές τους. Η μεγαλύτερη και παράλληλα πιο συνηθισμένη από τις δύο αυτές κατηγορίες είναι τα παραδοσιακά ή αποξηραμένα ζυμαρικά. Κατά κανόνα η παρασκευή τους πραγματοποιείται με την ανάμιξη σιμιγδαλιού σκληρού σίτου και νερού. Σύμφωνα με την εφημερίδα της κυβερνήσεως στο άρθρο 115 καθώς και με την Ένωση των Οργανισμών των Κατασκευαστών Προϊόντων Ζυμαρικών στην Ε.Ε. (Union of the Organizations of Manufacturers of Pasta Products in the E.U. (UN.AF.P.A.)), η νομοθεσία για τα ζυμαρικά στην Ελλάδα, με τον όρο ζυμαρικά ορίζει ότι: «Ζυμαρικά» χαρακτηρίζονται προϊόντα, που παρασκευάζονται από σιμιγδάλι ή άλευρο ολικής άλεσης μακαρονοποιίας από σκληρό σίτο και νερό, χωρίς μαγιά και ξηραίνονται σε ειδικούς θαλάμους με ελαφρά θέρμανση ή στον αέρα, χωρίς ψήσιμο

(Εφημερίδα της κυβερνήσεως, 1993). Η παρασκευή ποιοτικών ζυμαρικών απαιτεί υψηλής ποιότητας πρώτες ύλες. Το σκληρό σιτάρι είναι ιδανικό για ζυμαρικά εξαιτίας του μοναδικού του χρώματος, γεύσης και ιδιοτήτων του κατά το μαγείρεμα.

Η διαδικασία μίας βιομηχανικής παραγωγής έχει ως εξής: Το εισερχόμενο σιτάρι ζυγίζεται, υφίσταται δειγματοληψία και αναλύσεις, περνά αρχικά από μία μηχανή καθαρισμού και ένα μαγνήτη προτού αποθηκευτεί ανάλογα με την ποιότητα του. Σχολαστικός καθαρισμός απαιτείται για το σκληρό σιτάρι. Οι μηχανές καθαρισμού αφαιρούν τους σπόρους ζιζανίων, ακαθαρσίες και άλλες ξένες ύλες, οι οποίες διαχωρίζονται με βάση το σχετικό τους μέγεθος (διαχωριστής), το ειδικό τους βάρος (πυκνομετρικός διαχωριστήρας) και το σχήμα τους (διαλογέας κόκκων με οπές). Μέσω τριβών τρίβει την επιφάνεια των σπόρων του σιταριού αφαιρώντας κατ' αυτόν τον τρόπο τα εξώτατα στρώματα του πίτουρου. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει το κοντισιονάρισμα των σπόρων. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού νερό προστίθεται στο σιτάρι για να σκληρύνουν τα εξωτερικά στρώματα του πίτουρου διευκολύνοντας έτσι τον διαχωρισμό του από το ενδοσπέρμιο. Το κοντισιονάρισμα επίσης μαλακώνει το ενδοσπέρμιο γεγονός που καθιστά ευκολότερη την άλεση του. Παραδοσιακά, το σκληρό σιτάρι κοντισιονάρεται για ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, η εφαρμογή νέων τεχνολογιών κατά την παρασκευή των ζυμαρικών καθιστά δυνατή την χρησιμοποίηση πιο λεπτοαλεσμένου σιμιγδαλιού, γεγονός που επιτρέπει πιο παρατεταμένες περιόδους κοντισιοναρίσματος (Food-Info).

Το ζυμάρι υποχρεώνεται να περάσει μέσα από μήτρες διαφόρων σχημάτων κάτω από υψηλές πιέσεις, προκειμένου να παραχθεί μία ευρεία ποικιλία μορφών ζυμαρικών. Ο εξωθητήρας είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να απομακρύνει την θερμότητα που παράγεται εξαιτίας της εφαρμογής υψηλών πιέσεων και της δημιουργίας τριβών κατά τη διαδικασία της εξώθησης. Για να αποφευχθεί το κόλλημα των ζυμαρικών μεταξύ τους κατά το στάδιο της ξήρανσης τα μακριά ζυμαρικά εκτίθενται σε ένα ρεύμα αέρα αμέσως μετά την εξώθηση. Τα κοφτά ζυμαρικά μεταφέρονται σε έναν δονούμενο προξηραντήρα για να εξασφαλιστεί ο διαχωρισμός τους.










Εικόνα 1. Διαδικασία παραγωγής ζυμαρικών (Food-Info)

Η ξήρανση είναι ένα ζωτικής σημασίας στάδιο της διαδικασίας παρασκευής υψηλής ποιότητας ζυμαρικών. Η υγρασία, η ροή του αέρα και η θερμοκρασία ελέγχονται προσεκτικά, καθώς τα ζυμαρικά περνούν από τα διάφορα ξηραντήρια. Τα μοντέρνα συστήματα ξήρανσης σε υψηλές θερμοκρασίες βελτιώνουν το χρώμα και την ποιότητα μαγειρέματος των ζυμαρικών. Κατά το τελευταίο στάδιο της ξήρανσης θάλαμοι ψύξης επαναφέρουν τα ζυμαρικά στις φυσιολογικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Γενικά, τα προϊόντα ζυμαρικών ξηραίνονται σε ένα τελικό ποσοστό υγρασίας περίπου 11-12%. Ο ολικός χρόνος ξήρανσης κυμαίνεται από 6 έως 24 ώρες ανάλογα με τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά της εφαρμοζόμενης μεθόδου. Μετά την ξήρανση τα προϊόντα ψύχονται, τεμαχίζονται και τελικώς συσκευάζονται (Berteli, 2005; Food-Info).

Τα σχήματα και μεγέθη των ζυμαρικών παρέχουν πλουραλισμό στις επιλογές του καταναλωτή. Ευφάνταστα σχήματα και χρώματα προσδίδουν πιο εναλλακτικές επιλογές, ενώ με τα κλασσικά δίνουν ένα μεγάλο σύνολο. Πέρα από τα σχήματα, τα οποία εξαρτώνται από τη μήτρα κατά την διεργασία της εξώθησης, τα χρώματα των προϊόντων προέρχονται από τη συμβολή άλλων συστατικών. Ενδεικτικά, τα μακαρόνια πράσινου χρώματος χρωματίζονται με σπανάκι, τα μαύρα με την προσθήκη μελάνης σουπιάς, τα πορτοκαλόχρωμα από διάφορα είδη κολοκύθας, καθώς και από τον εμπλουτισμό τους με όσπρια, όπως φακές. Το χρώμα των εμπλουτισμένων και εξ'ολοκλήρου παρασκευασμένων ζυμαρικών από όσπρια θα μελετηθεί σε επόμενα

κεφάλαια της εργασίας. Στη μακροσκελή λίστα των ζυμαρικών, η οποία μετρά 310 καταγεγραμμένες μορφές και πάνω από 1300 αναφερόμενα ονόματα αξίζει να σημειωθούν κάποια, τα οποία είναι ευρέως γνωστά στους καταναλωτές. Ο Πίνακας 1 αποδίδει μερικά από τα πιο διαδεδομένα ζυμαρικά στην Ελλάδα, δίνοντας πληροφορίες για τη δομή και τις συνηθέστερες χρήσεις τους (Food-Info; Tazart et al., 2016).

Πίνακας 1. Τύποι διασήμενων αποξηραμένων ζυμαρικών (Food-Info)

Ονόματα ζυμαρικών	Εικόνα ζυμαρικών	Πληροφορίες
Κανελόνια		Κοφτά σε σχήμα σωλήνα, κατάλληλα για φαγητά κατσαρόλας και σάλτσες
Φαρφάλες		Συνδεδεμένα με πιάτα που συνοδεύονται με σάλτσες και κρέας, αλλά και πιάτα φούρνου
Λαζάνια		Πλατιά ζυμαρικά μεγάλου μεγέθους συνδεδεμένα με φαγητά φούρνου
Ριγκατόνι		Ζυμαρικά τύπου σωλήνα, ιδανικά πιάτα με σάλτσες
Πέννες		Κοφτά ζυμαρικά τύπου σωλήνα, με λοξό κόψιμο, ιδανικά για σάλτσες
Φιδές		Πολύ λεπτά και μακρά ζυμαρικά, συνήθως σε μορφή φωλιάς, κατάλληλα για σούπες
Σπαγγέτι		Το πιο δημοφιλές είδος ζυμαρικού. Μακριά, μέτριας διαμέτρου, ιδανικά για κατσαρόλα και φούρνο

1.2.2 Φρέσκα ζυμαρικά

Στη δεύτερη μεγάλη κατηγορία συναντώνται τα φρέσκα ζυμαρικά. Τα συστατικά τους

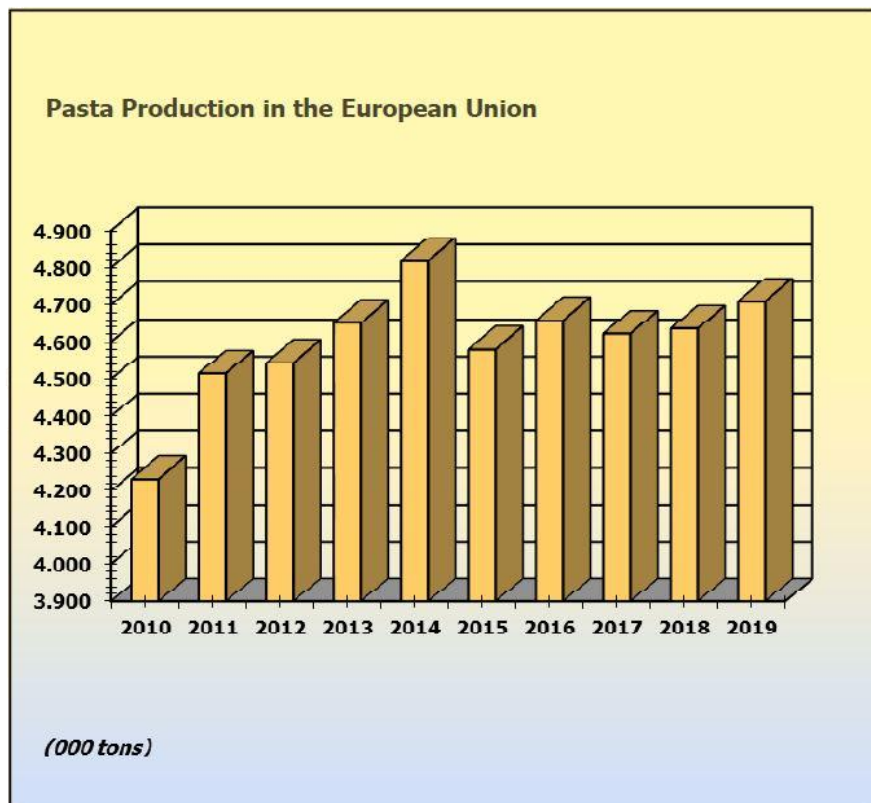
αποτελούν, όπως και στα αποξηραμένα, το σιμιγδάλι και το νερό, αλλά και τα αυγά που μπορούν να αντικαταστήσουν ακόμα και πλήρως το νερό και το γάλα. Αυτά αμέσως μετά την παραγωγή τους συσκευάζονται και διανέμονται στην αγορά. Η διαφορά αυτών των προϊόντων με τα παραδοσιακά, βρίσκεται στη διαδικασία της ξήρανσης, η οποία δεν πραγματοποιείται στην περίπτωση των φρέσκων ζυμαρικών. Κατ' επέκταση η συντηρησιμότητά τους είναι σημαντικά χαμηλότερη, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας υγρασίας του τελικού προϊόντος. Προτού αρχίσει η βιομηχανική παρασκευή των ζυμαρικών, η παραγωγή τους ήταν οικιακή και η κατανάλωση τους ήταν άμεση.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα ζυμαρικά αποτελούν ένα ευέλικτο τρόφιμο από διατροφική και γαστρονομική άποψη, αλλά και σε τεχνολογικό επίπεδο, λόγω της καταλληλότητάς τους για εμπλουτισμό. Λόγω του ενυδατωμένου αμύλου, τα φρέσκα ζυμαρικά, έχουν μικρότερο χρόνο μαγειρέματος σε σύγκριση με εκείνον των παραδοσιακών. Η μαλακή ζύμη, η οποία τα χαρακτηρίζει, δε δίνει τη δυνατότητα για δημιουργία ευφάνταστων προϊόντων, κάτι που περιορίζει τα σχήματά τους. Από την αγοραστική σκοπιά, τα φρέσκα ζυμαρικά υστερούν αρκετά, κυρίως λόγω του προαναφερθέντος μειονεκτήματός τους, τη χαμηλή διάρκεια συντήρησης.

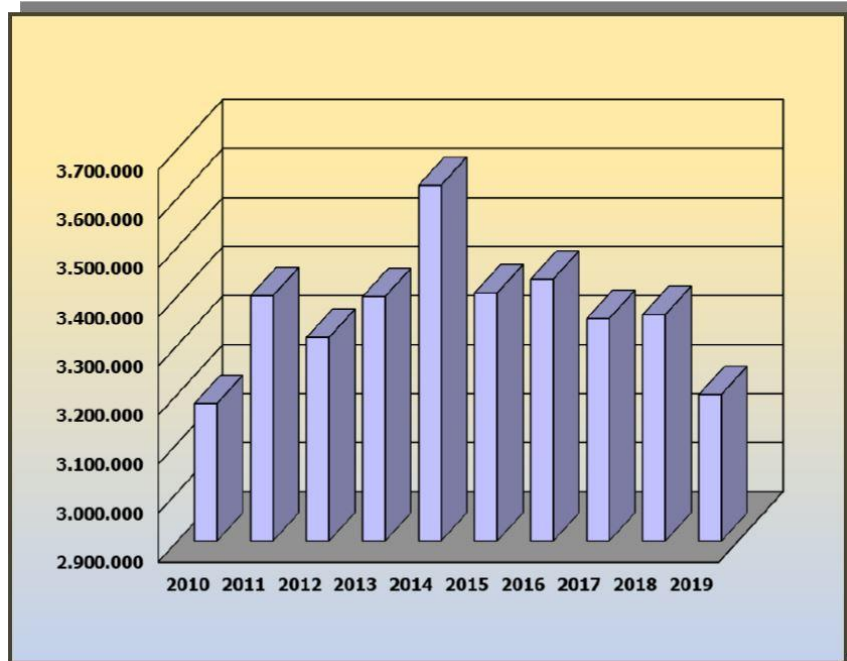
Στο σύνολό τους τα ζυμαρικά αποτελούν μία αγαπημένη κατηγορία τροφίμων για τους καταναλωτές και αποτελούν σημαντικό οικονομικό και αγοραστικό πυλώνα στην αγορά. Τα παρακάτω γραφήματα αποδίδουν με βάση την UN.A.F.P.A., την παραγωγή ζυμαρικών και την κατανάλωση τους στην Ε.Ε. κατά τα έτη 2010 έως 2019 σε τόνους. Η Εικόνα 5 αποδίδει την κατά κεφαλήν κατανάλωση ζυμαρικών παγκοσμίως των πρώτων δεκαπέντε χωρών. Στην κορυφή της λίστας βρίσκεται η Ιταλία, με την Ελλάδα να βρίσκεται τέταρτη. Τις δύο υπόλοιπες θέσεις επάνω από την Ελλάδα έχουν η Τυνησία (2^η θέση) και η Βενεζουέλα (3^η θέση) αντίστοιχα. (UN.A.F.P.A., 2020)



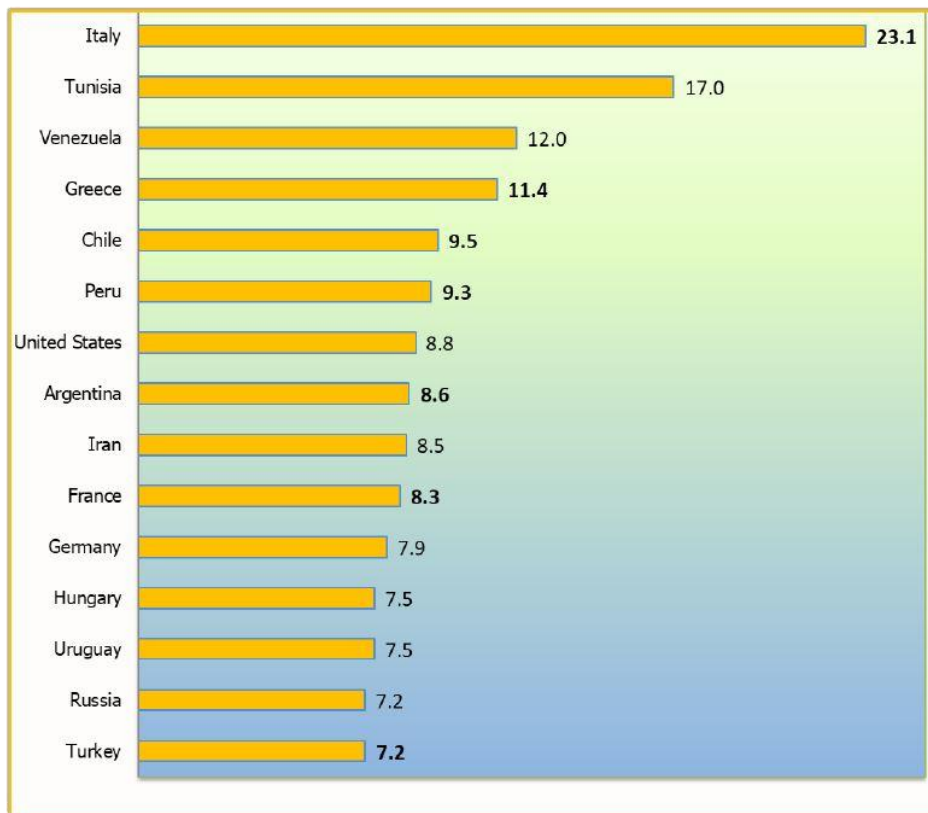
Εικόνα 2. Φρέσκα ζυμαρικά (<https://www.101cookbooks.com/homemade-pasta/>)



Εικόνα 3. Παραγωγή ζυμαρικών στην Ε.Ε. σε τόνους (2010-2019) (UN.A.F.P.A., 2020)



Εικόνα 4. Κατανάλωση ζυμαρικών στην Ε.Ε. (2010-2019) (UN.A.F.P.A., 2020)



Εικόνα 5. Κατά κεφαλήν κατανάλωση ζυμαρικών (2020) (UN.A.F.P.A., 2020)

1.3 Σύσταση και διατροφικά χαρακτηριστικά ζυμαρικών

Οι πρώτες ύλες και τα συστατικά που συναντώνται στα ζυμαρικά και έχουν τεχνολογικό ενδιαφέρον είναι το σιμιγδάλι, η γλουτένη, η τέφρα κι η υγρασία του προϊόντος. Το σιμιγδάλι είναι η κύρια πρώτη ύλη της βιομηχανίας ζυμαρικών και παράγεται αποκλειστικά με άλεση του σκληρού σιταριού. Η ποιότητα των ζυμαρικών επηρεάζεται καθοριστικά από την ποιότητα και την ποσότητα της γλουτένης που έχει το σιμιγδάλι. Αυτή πρέπει να είναι υποκίτρινη, σκληρή και συνεκτική για αυτό αποφεύγεται το παρατεταμένο ζύμωμα το οποίο την μαλακώνει. Η ποσότητα σε υγρή γλουτένη, κυμαίνεται από 25-30% κ.β. και αντιστοιχεί από 9-11% κ.β. σε ξηρή γλουτένη. Γενικά, η ποιότητα της γλουτένης έχει μεγαλύτερη σημασία από την ποσότητα. Η τέφρα αποτελεί ένα δείκτη ποιότητας για το σιμιγδάλι και η περιεκτικότητα να μην υπερβαίνει το 0,8%. Η υγρασία στο σιμιγδάλι δεν πρέπει να υπερβαίνει το 13,5% κ.β., διότι σε υψηλότερες θα εμφανίζονταν προβλήματα στη συντηρησιμότητα του προϊόντος. Σε ποσοστό υγρασίας $\leq 13\%$, το σιμιγδάλι διατηρείται για αρκετούς μήνες. Όμως απορροφά πολύ δυσκολότερα νερό, σε σχέση με ένα σιμιγδάλι υγρασίας 14-15%, το οποίο δίνει καλύτερα ζυμαρικά. Η διατηρησιμότητα ενός τέτοιου προϊόντος όμως είναι κακή. (Τσιάρας, 1986)

Τα ζυμαρικά αποτελούνται στο μεγαλύτερό τους βαθμό από υδατάνθρακες (74-77%) και πιο συγκεκριμένα άμυλο. Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (13%) και λιπίδια (1,7%) και επίσης περιέχουν βιταμίνες όπως εκείνες του συμπλέγματος Β και ορισμένα μεταλλικά στοιχεία (κυρίως σιδήρου Fe, μαγνησίου Mg, μαγγανίου Mn, φωσφόρου P και ψευδαργύρου Zn). (Arribas et al., 2020; Sabanis et al., 2006; Petitot et al., 2010; Padalino et al., 2013) Λαμβάνοντας υπόψη την ανισορροπία των πρωτεϊνών των ζυμαρικών σε ορισμένα αμινοξέα και πιο συγκεκριμένα σε λυσίνη και θρεονίνη (απαραίτητα αμινοξέα), είναι εξαιρετικής σημασίας το να συνοδεύονται με άλλα τρόφιμα που έχουν διαφορετικά είδη πρωτεϊνών προκειμένου να βελτιωθεί η διατροφική τους αξία. (Sabanis et al., 2006; Giménez et al., 2012; Food-Info) Τα ζυμαρικά επίσης είναι φτωχά σε νάτριο και δεν περιέχουν χοληστερόλη. (Sabanis et al., 2016; J.A. Callegos-Infante et al., 2010)

Πίνακας 2. Σύσταση σιμιγδαλιού σκληρού σίτου σε g/100 g (Petitot et al., 2010)

Πρωτεΐνες	Άμυλο	Λιπίδια	Ίνες (ολικές)	Ίνες (διαλυτές)	Τέφρα
13,3 ±0,2	77,6±0,3	1,7±0,04	2,4	0,7	1,1±0,02

Πίνακας 3. Σύσταση σιμιγδαλιού σκληρού σίτου σε βιταμίνες και μεταλλικά στοιχεία σε mg/100 g (Petitot et al., 2010)

B1	B2	B3	B5	B6	B9	Fe	Mg	P
0,28	<0,05	3,7	0,5	0,15	0,022	1,9	63	233

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει μία ενδεικτική σύσταση του σιμιγδαλιού σκληρού σίτου, αποδίδοντας τα αποτελέσματα των πρωτεϊνών, του αμύλου, των λιπιδίων, των ινών και της τέφρας σε g/100 g τροφίμου και ο Πίνακας 3 αποδίδει τις βιταμίνες και τα μεταλλικά στοιχεία σε mg/100 g τροφίμου.

2 Όσπρια

2.1 Εισαγωγή

Τα όσπρια είναι δικοτυλήδονοι σπόροι φυτών με κατά προσέγγιση 17.600 είδη σε περίπου 690 γένη, που ανήκουν στην οικογένεια *Leguminosae*. (Du et al., 2014) Καλλιεργούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια, αν και αρκετές από τις ποικιλίες που είναι σήμερα γνωστές, ήταν άγνωστες μέχρι τους σχετικά προσφάτους χρόνους. Τα όσπρια έχουν διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην διατροφή και παράδοση πολλών πληθυσμών σε ολόκληρο τον κόσμο. Η κατανάλωσή τους είναι συνδεδεμένη με τις κουζίνες της Ασίας, της Ινδίας, της Μέσης Ανατολής, της Νοτίου Αμερικής και του Μεξικού. Στις χώρες της Δύσης η κατανάλωση οσπρίων είναι χαμηλότερη. Γεγονός αποτελεί η μείωση της πρόσληψης φασολιών σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες τον περασμένο αιώνα (Messina, 1999). Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο τα αποξηραμένα φασόλια έχουν ανακτήσει τον προηγούμενο ρόλο τους ως πηγή τροφίμων στις ανεπτυγμένες χώρες. Έτσι, τα όσπρια είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή ανθρώπινης τροφής μετά από τα δημητριακά. Χρησιμοποιούνται για να εμπλουτίσουν την ποικιλομορφία των τροφίμων και να παρέχουν μια φτηνή πηγή πρωτεΐνης. Η ετήσια παραγωγή οσπρίων κατατάσσεται πέμπτη συνολικά στον κόσμο μετά το σιτάρι, το ρύζι, τον αραβόσιτο και το κριθάρι. Ολόκληρο το άλευρο ή η μερική χρήση διαφορετικών οσπρίων έχει προσελκύσει αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον. Η μελέτη των λειτουργικών ιδιοτήτων τους είναι σημαντική για την αποτελεσματική χρήση των αλεύρων που παράγονται από όσπρια. Αυτό βοηθά τους καταναλωτές να τα δεχτούν πιο εύκολα, αφού η προτίμησή τους είναι σχετικά χαμηλή. Η επιτυχής απόδοση του αλεύρου οσπρίων ως συστατικού τροφής εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως π.χ. ο αφρισμός, η γαλακτωματοποίηση, η ζελατινοποίηση, η ικανότητα απορρόφησης νερού και λαδιού και το ιξώδες που συμβάλλουν στο τελικό προϊόν. (Du et al., 2014)

Τα φασόλια τείνουν να έχουν μια δυσάρεστη εμφάνιση, κάτι που τα καθιστά εν μέρει αποτρεπτικά στους καταναλωτές, σε αντίθεση με τη διατροφική αξία που προσφέρουν. Έχουν χαρακτηριστεί ως το «κρέας του φτωχού», μια μεταφορά η οποία συνάδει με την αντίστροφη σχέση μεταξύ της πρόσληψης φασολιών και του εισοδήματος. Από καιρό η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες είναι αναγνωρισμένη και πιο πρόσφατα αναδύθηκε στην επιφάνεια η περιεκτικότητά τους σε διαλυτές ίνες.

(Messina, 1999)



Εικόνα 6. Διάφοροι τύποι οσπρίων (<https://universityhealthnews.com>)

Τα όσπρια είναι επίσης πιο ευεργετικά από τα δημητριακά όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία, παρέχοντας μια πλούσια πηγή θρεπτικών συστατικών. Ο κίνδυνος διαβήτη τύπου 2 και καρδιαγγειακών παθήσεων μειώνεται με την κατανάλωση οσπρίων, ενώ άλλες θετικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν μείωση του σχετικού κινδύνου εμφάνισης εμφράγματος του μυοκαρδίου. Η παρουσία ινών και φυτοχημικών ουσιών μειώνει τη χοληστερόλη και βοηθά στη ρύθμιση της αρτηριακής πίεσης. Επιπλέον, η κατανάλωσή τους βελτιώνει την υγεία του εντέρου και βοηθά στη διαχείριση του βάρους. Τα όσπρια είναι επίσης μια πηγή αντικαρκινικών πεπτιδίων που μπορούν ενδεχομένως να βοηθήσουν στην πρόληψη κατά του καρκίνου του προστάτη και του παχέος εντέρου, όπως κι άλλων μορφών καρκίνου. (Saget et al., 2020)

2.2 Είδη οσπρίων, χημική σύσταση και διατροφικά χαρακτηριστικά

Από τη μεγάλη ποικιλία των οσπρίων κάποια είναι εκείνα που ξεχωρίζουν, λόγω της παράδοσής τους, της προτίμησής τους για ανθρώπινη κατανάλωση και λόγω της επικράτησής τους για χρησιμοποίηση ως άλευρα οσπρίων για την παρασκευή προϊόντων ζυμαρικών. Το καθένα από αυτά έχει διαφορετικές ιδιότητες, παρουσιάζει άλλο τελικό προϊόν, αναλογιζομένων των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της σύστασης.

Οι συνηθισμένοι σπόροι, όπως το φασόλι (*Phaseolus vulgaris*), η φακή (*Lens culinaris*), το μπιζέλι (*Pisum sativum*), το ρεβίθι (*Cicer arietinum*) και τα κουκιά (*Vicia faba*) είναι τα πιο ευρέως καταναλισκόμενα όσπρια σε όλη την περιοχή της Μεσογείου. Στην Ευρώπη, η κατανάλωση οσπρίων αυξήθηκε την τελευταία δεκαετία (κατά μέσο

όρο 3,9 κιλά κατά κεφαλήν), με διαφορές μεταξύ των χωρών. Η Ελλάδα, η Πορτογαλία και η Ισπανία (κατά μέσο όρο 6 κιλά κατά κεφαλήν) καταναλώνουν τα περισσότερα όσπρια.

Το κοινό φασόλι (*Phaseolus vulgaris*) είναι ένα από τα πιο σημαντικά όσπρια που καλλιεργούνται και καταναλώνονται σε όλο τον κόσμο. Εκτιμάται ότι περίπου 12 εκατομμύρια τόνοι κοινών φασολιών παράγονται ετησίως σε ολόκληρο τον κόσμο. Αυτό περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους φασολιών, τα οποία έχουν διαφορετικά χρώματα, μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά, που καλλιεργούνται σε διαφορετικά μέρη του κόσμου. Η Βραζιλία, οι ΗΠΑ και το Μεξικό είναι οι τρεις μεγαλύτεροι παραγωγοί φασολιών στον κόσμο, συνεισφέροντας περίπου 5,6 εκατομμύρια τόνους παγκόσμιας ετήσιας παραγωγής. Ενώ οι ΗΠΑ είναι καθαρός εξαγωγέας, το Μεξικό και η Βραζιλία παράγουν κυρίως για εγχώρια κατανάλωση. (FAO, 2019)

Τα ρεβίθια (*Cicer arietinum L.*) είναι το δεύτερο σημαντικότερο είδος οσπρίων σε όλο τον κόσμο, που καλλιεργείται σε χώρες της Ασίας και της βορείου και ανατολικής Αφρικής κατά κύριο λόγο. Σύμφωνα με τον FAO (1994), αντιπροσωπεύει το 14% (7,9 εκατομμύρια τόνους) της παγκόσμιας παραγωγής οσπρίων. Οι ετήσιες απαιτήσεις κατανάλωσης ρεβιθιών για την Ελλάδα είναι 7000-9000 τόνοι. Θεωρείται ένα καλό αρχικό υλικό στη βιομηχανία τροφίμων λόγω της μεγάλης ποσότητας και της υψηλής ποιότητας της πρωτεΐνης του. Η ενσωμάτωση του αλεύρου ρεβιθιών στα ζυμαρικά αύξησε επίσης την περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία και λιπαρά, γεγονός που βελτίωσε τη θρεπτική αξία (Sabanis et al., 2006). Είναι μια καλή πηγή υδατανθράκων και πρωτεϊνών, και η ποιότητα των πρωτεϊνών θεωρείται καλύτερη από άλλα όσπρια. Περιέχει σημαντικές ποσότητες όλων των απαραίτητων αμινοξέων, εκτός από εκείνων που περιέχουν θείο, τα οποία μπορούν να συμπληρωθούν με την προσθήκη δημητριακών στην καθημερινή διατροφή. Το άμυλο είναι ο κύριος υδατάνθρακας που ακολουθείται από φυτικές ίνες, ολιγοσακχαρίτες και απλά σάκχαρα όπως γλυκόζη και σακχαρόζη. Αν και τα λιπίδια υπάρχουν σε χαμηλές ποσότητες, τα ρεβίθια είναι πλούσια σε θρεπτικά ακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως λινολεϊκό και ελαϊκό οξύ. Η β-σιτοστερόλη, η καμπεστερόλη και η σιγμαστερόλη είναι οι σημαντικότερες στερόλες που υπάρχουν στο ρεβίθια. Τα Ca, Mg, P και, ειδικότερα, το K είναι επίσης παρόντα. Αποτελούν καλή πηγή ορισμένων βιταμινών όπως η ριβοφλαβίνη, η νιασίνη, η θειαμίνη, το φολικό οξύ

και η β-καροτένη, πρόδρομο της βιταμίνης Α. Η κατανάλωσή τους έχει πολλά πιθανά οφέλη για την υγεία και, σε συνδυασμό με άλλα όσπρια και δημητριακά, θα μπορούσε να έχει ευεργετικά αποτελέσματα σε ορισμένες από τις σημαντικές ανθρώπινες ασθένειες όπως, ο διαβήτης τύπου 2, καρδιακά και πεπτικά προβλήματα και ορισμένες μορφές καρκίνου. (Jukanti et al. 2012; Ladizinsky & Adler, 1976)

Οι φακές (*Lens culinaris*) καλλιεργούνται σε υποτροπικές και θερμές εύκρατες περιοχές και σε μεγάλα υψόμετρα στις τροπικές περιοχές. Την περίοδο 2012–2014, περίπου 4,3 εκατομμύρια εκτάρια γης καλλιεργήθηκαν από φακές παγκοσμίως και η μέση ετήσια παραγωγή τους ήταν περίπου 5 εκατομμύρια τόνοι. Οι φυτικές ίνες τους αποτελούνται από διαλυτές και αδιάλυτες. Τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτές ίνες μπορούν να βοηθήσουν στη σταθεροποίηση του σακχάρου στο αίμα και στη μείωση της χοληστερόλης στο αίμα. Αυτό με τη σειρά του μειώνει τον κίνδυνο καρδιακών παθήσεων και εγκεφαλικού επεισοδίου. Τα τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε αδιάλυτες ίνες είναι καλά για την πέψη και βοηθούν στην πρόληψη της δυσκοιλιότητας και άλλων πεπτικών προβλημάτων. Χάρη στο μείγμα ινών και σύνθετων υδατανθράκων, οι φακές προσφέρουν μια σταθερή, βραδείας καύσης, πηγή ενέργειας. Είναι επίσης πλούσιες σε μια σειρά βιταμινών και μετάλλων. Το μαγνήσιο στις φακές βοηθά το σώμα να μεταφέρει οξυγόνο και θρεπτικά συστατικά πιο αποτελεσματικά, βελτιώνοντας τη ροή του αίματος, ενώ ο σίδηρος βοηθά στην κίνηση οξυγόνου σε όλο το σώμα. Ένα φλιτζάνι μαγειρεμένων φακών παρέχει το 90% της ημερήσιας συνιστώμενης πρόσληψης βιταμίνης Β9, ενώ ο συνδυασμός φυτικών ινών, φολικού οξέος (βιταμίνη Β9) και καλίου στις φακές τις καθιστά μια υγιεινή επιλογή για την καρδιά. (FAO, 2019)

Τα κουκιά είναι τα μόνα βρώσιμα όσπρια του γένους *Vicia*, καθώς τα υπόλοιπα περιέχουν υψηλά επίπεδα τοξινών. Είναι γνωστά με διάφορα ονόματα σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της φάβας. Αποτελούν παραδοσιακή καλλιέργεια για αρκετά μέρη στις περιοχές της Ασίας και της Μεσογείου. Σε παγκόσμιο επίπεδο, περίπου 4,4 εκατομμύρια τόνοι φάβας παρήχθησαν κατά το τρίμηνο που έληξε το 2014 (FAO, 2019). Αποτελεί πηγή ενέργειας, πρωτεΐνης, φολικού οξέος, νιασίνης, βιταμίνης C, μαγνησίου, καλίου, σιδήρου και φυτικών ινών. Λόγω των υψηλών επιπέδων λυσίνης στην πρωτεΐνη της, αποτελεί επαρκές συμπλήρωμα της πρωτεΐνης των δημητριακών.

Έχει επίσης μεγάλες δυνατότητες στη βιομηχανία τροφίμων. Η προσθήκη της στα ζυμαρικά σίτου δεν επηρεάζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Ωστόσο, υπάρχουν λίγες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση της σε μείγματα που προορίζονται για τη σύνθεση χωρίς γλουτένη (Giménez et al., 2013). Παρόλα αυτά, περιέχουν συστατικά που μπορεί να έχουν αντι-θρεπτικά αποτελέσματα. Μετά από μια περίοδο 30 ετών προσπάθειας αναπαραγωγής στην Ευρώπη (1970-2000), μια μεγάλη γενετική μεταβλητότητα αποδείχθηκε ότι υπήρχε στο είδος *V. faba*, το οποίο οδήγησε σε βελτιώσεις του δυναμικού απόδοσης και της σύνθεσης των σπόρων. (Crepon et al., 2010)

Τα μπιζέλια είναι οι φυσικά αποξηραμένοι σπόροι του *Pisum sativum* L. και καλλιεργούνται σε όλο τον κόσμο για κατανάλωση από τον άνθρωπο και τα ζώα. Η παγκόσμια παραγωγή μπιζελιών το 2009 ήταν πάνω από δέκα εκατομμύρια τόνοι, με τους μεγαλύτερους παραγωγούς να είναι ο Καναδάς, η Ρωσία, η Κίνα, οι ΗΠΑ και η Ινδία. Τα μπιζέλια έχουν από καιρό αναγνωριστεί ως μια φθηνή, εύκολα διαθέσιμη πηγή πρωτεϊνών, σύνθετων υδατανθράκων, βιταμινών και μετάλλων. Η υψηλή πυκνότητα θρεπτικών συστατικών των μπιζελιών τα καθιστά πολύτιμο προϊόν διατροφής, ικανό να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες των 800-900 εκατομμυρίων υποσιτισμένων ατόμων παγκοσμίως. Οι οδηγίες του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ προτείνουν την κατανάλωση τουλάχιστον τριών φλιτζανιών ξηρών φασολιών και μπιζελιών την εβδομάδα. (Dahl et al., 2012)

Το λούπινο (*Lupinus albus* ssp. *Graecus*) είναι ένα πολύτιμο, αρχαίο όσπριο φυτό που αναπτύσσεται καλά σε διαφορετικά εδάφη και κλίματα. Χρησιμοποιείται ως τροφή από ανθρώπους που περιβάλλουν τη Μεσόγειο και από εκείνους που ζουν στα υψίπεδα των Άνδεων. Τα άλευρα λουπίνου μπορούν να είναι μια εξαιρετική επιλογή για τη βελτίωση της θρεπτικής αξίας άλλων τροφίμων. Η υψηλή περιεκτικότητα σε λυσίνη, και η χαμηλή περιεκτικότητα σε μεθειονίνη συμπληρώνουν εκείνη των πρωτεϊνών αλεύρου σίτου, οι οποίες είναι φτωχές σε λυσίνη και σχετικά πλούσιες στα αμινοξέα που περιέχουν θείο. Απομονωμένες πρωτεΐνες λουπίνου, έχει αποδειχθεί ότι έχουν καλές θρεπτικές ιδιότητες όταν συμπληρώνονται με μεθειονίνη ή αναμειγνύονται με δημητριακά. Τέλος, μελέτες έχουν δείξει ότι το αλεύρι λουπίνου μπορεί να ενσωματωθεί επιτυχώς σε προϊόντα σε ποσοστό έως και 20%, για την παραγωγή ποιοτικότερων

προϊόντων όσον αφορά το χρώμα, την υφή, τη γεύση και τη συνολική αποδοχή από το μάρτυρα. (Doxastakis et al., 2002)

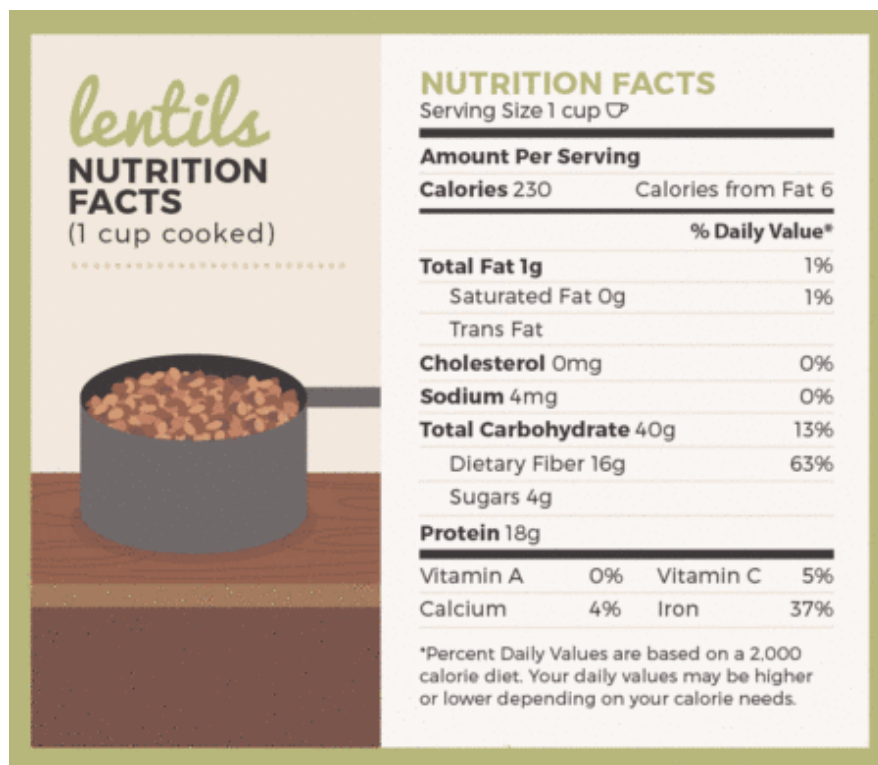
Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται έξι από τα κυριότερα και σημαντικότερα όσπρια, τα οποία θα εξεταστούν εκτενέστερα για τις ιδιότητές τους σε επόμενα κεφάλαια της εργασίας. Στα περιεχόμενά του επιδεικνύονται οι ιδιότητες των συγκεκριμένων οσπρίων, η επιστημονική τους ονομασία και γνωστοποιείται η προέλευσή τους ή η πιθανότερη καταγωγή τους.

Πίνακας 4. Πίνακας αναφερόμενων οσπρίων (Foschia et al., 2017)

<u>Όνομα</u>	<u>Επιστημονική Ονομασία</u>	<u>Προέλευση</u>	<u>Ιδιότητες</u>
Κουκιά	<i>Vicia faba</i>	Προέρχονται από την περιοχή της Εγγύς Ανατολικής και Δυτικής Μεσογείου	Καλή πηγή πρωτεϊνών, διαιτητικών ινών, βιταμινών και μετάλλων
Λούπινο	<i>Lupinus luteus, Lupinus albus</i>	Πιθανότατα προήλθε από τη λεκάνη της Μεσογείου, την Αίγυπτο και την κεντρική περιοχή των Άνδεων της Νότιας Αμερικής	Υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και φυτικές ίνες. Χαμηλότερες ποσότητες υδατανθράκων, ιδίως αμύλου, σε σύγκριση με άλλα όσπρια
Μπιζέλια	<i>Pisum sativum</i>	Πιθανώς προήλθαν από τη Νότια Αμερική και μεταφέρθηκε στην Κεντρική Αμερική, όπου παρατηρείται μεγάλη γενετική ποικιλομορφία	Πολύτιμη πηγή ινών, πρωτεϊνών και βασικών αμινοξέων (εκτός των θειούχων αμινοξέων)
Ρεβίθια	<i>Cicer arietinum</i>	Προέρχονται από τις περιοχές της Μεσογείου, της Βόρειας Αφρικής και της Δυτικής Ασίας	Καλή πηγή υδατανθράκων, πρωτεϊνών, βιταμινών και μετάλλων. Υψηλή πηγή διαιτητικών ινών. Υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιπίδια σε σύγκριση με άλλα όσπρια. Οι πρωτεΐνες τους παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα δέσμευσης λίπους και καλή σταθερότητα αφρισμού.
Φακές	<i>Lens culinaris</i>	Πιθανά κέντρα προέλευσης η Δυτική λεκάνη της Μεσογείου και η Νοτιοδυτική Ασία	Καλή πηγή πρωτεϊνών, διαιτητικών ινών, βιταμινών και μετάλλων
Φασόλια	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Προτεινόμενη καταγωγή: Κεντρική Ασία, Αβυσσινία και λεκάνη της Μεσογείου	Υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες. Καλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες. Σημαντική πηγή ελεύθερων ακόρεστων οξέων και μετάλλων

Γενικώς, η θρεπτική αξία των οσπρίων έχει αποκτήσει μεγάλο ενδιαφέρον στις ανεπτυγμένες χώρες, λόγω της ζήτησης για υγιεινά τρόφιμα. Οι σπόροι των οσπρίων έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και φυτικές ίνες, ενώ

αποτελούν ταυτόχρονα και πλούσια πηγή άλλων θρεπτικών συστατικών. Οι διαιτητικές πρωτεΐνες δεν είναι μόνο πηγή αμινοξέων, αλλά μπορούν επίσης να διαδραματίσουν βιοδραστικό ρόλο από μόνες τους ή/και μπορεί να είναι οι πρόδρομοι βιολογικά ενεργών πεπτιδίων με διάφορες λειτουργίες. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των σπόρων οσπρίων κυμαίνεται από 17-20% (σε ξηρό βάρος) σε μπιζέλια και φασόλια και έως 38-40% σε σόγια και λούπινα, ανάλογα με το είδος. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των δημητριακών, που είναι περίπου 7-13%, αλλά είναι παρόμοιο με αυτό των κρεάτων (18-25%). Τα όσπρια είναι φτωχά σε λιπαρά και έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs) και μαγνήσιο. Περιέχουν έναν αριθμό βιοδραστικών ουσιών, όπως αναστολείς ενζύμων, λεκτίνες, ολιγοσακχαρίτες και φαινολικές ενώσεις που παίζουν μεταβολικό ρόλο στους ανθρώπους. Οι σπόροι οσπρίων περιέχουν 2-21% λίπος με ευεργετική σύνθεση εξωγενών ακόρεστων λιπαρών οξέων ως λινελαϊκό οξύ (18:2) (21-53%). Τα λιπίδια των οσπρίων είναι πλούσια σε α-λινολενικό (18:3) οξύ (4-22%). Το ω-3 λιπαρό οξύ που περιλαμβάνει αποκλειστικά α-λινολενικό οξύ κυριαρχεί στις περισσότερες ποικιλίες φασολιών. Τα ρεβίθια έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA) (34,2 g/100 g), ενώ τα φασόλια λίμα έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (28,7 g/100 g), και τα κόκκινα φασόλια έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε PUFA (71,1 g/100 g). Τα λούπινα περιέχουν υψηλότερο επίπεδο MUFA (κυρίως ελαϊκό οξύ) και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα. Όλα τα όσπρια είναι πολύ φτωχά σε trans λιπαρά οξέα, που αντιπροσωπεύουν <1% της συνολικής περιεκτικότητας.



Εικόνα 7. Διατροφικά στοιχεία φακών (FAO, 2016)

Σε σύγκριση με τα δημητριακά, τα όσπρια είναι μια πολύ καλή πηγή διαιτητικών ινών. Οι διαιτητικές ίνες περιλαμβάνουν ανθεκτικό άμυλο (άμυλο που αντιστέκεται στην πέψη από αμύλαση στο λεπτό έντερο και προχωρά στο παχύ έντερο για ζύμωση από τα βακτήρια του εντέρου), μη αμυλούχους ολυσασακχαρίτες (κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, πηκτίνη, κόμμεα και β-γλυκάνες), μη εύπεπτους ολιγοσακχαρίτες και λιγνίνη. Η αναλογία διαλυτών προς αδιάλυτων ινών στα όσπρια είναι συγκρίσιμη με εκείνη των δημητριακών (περίπου 1:3 και για τα δύο). 100 g βρώσιμου τμήματος ρεβιθιού περιέχουν 17,4 g συνολικών διαιτητικών ινών σε σύγκριση με 12,7 g που περιέχονται στο σιτάρι. Τα ρεβίθια παρουσιάζουν την υψηλότερη δραστικότητα βιταμίνης E (3 mg/100 g σπόρων), ακολουθούμενα από τα λούπινα, τα κουκιά και τα μπιζέλια (με τιμές που κυμαίνονται από 1,25-1,0 mg/100 g σπόρων), ενώ οι φακές έχουν πολύ χαμηλότερη περιεκτικότητα (0,6 mg/100g σπόρων). Τα μπιζέλια περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες α- από b + c-τοκοφερόλες (10,4 και 5,7 mg/100 g, αντίστοιχα) και τα ρεβίθια περιέχουν παρόμοια επίπεδα α- και b + ν-τοκοφερόλες (6,9 και 5,5 mg/100 g, αντίστοιχα). (Bouchenak, 2013)

Πίνακας 5. Σύσταση οσπρίων (Foschia et al., 2017)

Όσπριο	Πρωτεΐνες (%)	Υδατάνθρακες(%)	Άμυλο(%)	Αμυλόζη(%)	Διαιτητικές ίνες(%)
Λούπινο	22-25	48	1-3	-	16-40
Μπιζέλια	20-28	52-62	20-50	24-88	14-27
Ρεβίθια	17-24	54-66	20-52	26-35	16-22
Φάβα	27-30	44-52	40-44	17-42	11-12
Φακές	35-46	54-58	50-52	23-32	14-20
Φασόλια	24-28	57-60	40-50	27-35	15-32
Χαρούπι	48-67	45-50	18-20	-	10-24

Στον Πίνακα 5 επισημαίνεται η % σύσταση των οσπρίων σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, άμυλο, αμυλόζη και διαιτητικές ίνες κατά τις Foschia et al. (2017), αποδεικνύοντας τις υψηλές περιεκτικότητές τους σε πρωτεΐνη και ίνες, τα οποία είναι ιδιαίτερα επιθυμητά. Στον Πίνακα 6 γίνεται εκτενέστερη αναφορά στις διαιτητικές ίνες από τις Tosh & Yada (2010), αναγράφοντας τις ολικές διαλυτές και αδιάλυτες διαιτητικές ίνες σε g/100 g οσπρίου για τα φασόλια, τα ρεβίθια, τις φακές και τα μπιζέλια.

Ο όρος «διαιτητικές ίνες» είναι ευρέως αποδεκτός ώστε να περιλαμβάνει το σύνθετο μείγμα άπεπτων πολυσακχαριτών (π.χ. κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, ολιγοσακχαρίτες, πηκτίνες, κόμμεα), κηρούς και λιγνίνη που βρίσκονται στα φυτά, κυρίως ως υλικό τοιχώματος φυτικών κυττάρων. Η Αμερικανική Ένωση Χημικών Δημητριακών (AACC) ορίζει τις διαιτητικές ίνες ως «τα βρώσιμα μέρη φυτών ή ανάλογων υδατανθράκων που είναι ανθεκτικά στην πέψη και την απορρόφηση στο ανθρώπινο λεπτό έντερο με πλήρη ή μερική ζύμωση στο παχύ έντερο».

Πίνακας 6. Διαιτητικές ίνες οσπρίων εκφρασμένες σε g/100 g τροφίμου (Tosh & Yada, 2010)

Όσπρια	Ολικές διαιτητικές ίνες	Αδιάλυτες ίνες	Διαλυτές ίνες
Μπιζέλια	14-26	10-15	2-9
Ρεβίθια	18-22	10-18	4-8
Φακές	18-20	11-17	2-7
Φασόλια	23-32	20-28	3-6

3 Εμπλουτισμός ζυμαρικών

3.1 Σκοπός εμπλουτισμού

Με τα ζυμαρικά να αποτελούν το πλέον κατάλληλο υπόστρωμα για εμπλουτισμό, πολλές μελέτες έχουν εστιάσει στο να βελτιώσουν τις θρεπτικές, οργανοληπτικές και μηχανικές ιδιότητές τους. Με τον όρο "εμπλουτισμός" νοείται η προσθήκη διαφορετικών συστατικών στο κύριο προϊόν με σκοπό την βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμπλήρωση τμήματος ή ολόκληρου τροφίμου στο αρχικό προϊόν ή με την προσθήκη συγκεκριμένων συστατικών, όπως πρωτεΐνες, φυτικές ίνες, βιταμίνες και μέταλλα. Στα ζυμαρικά, αντικαθιστώντας (μερικώς ή πλήρως) το σιμιγδάλι σκληρού σίτου με μη συμβατικά άλευρα, όπως αυτά των οσπρίων, επέρχεται η επιθυμητή αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, διαιτητικές ίνες, βιταμίνες κι άλλα στοιχεία. Παράλληλα, λόγω της αντικατάστασης του σιμιγδαλιού από τα άλευρα οσπρίων, έχουμε μείωση της περιεκτικότητας των μη επιθυμητών στοιχείων, όπως οι υδατάνθρακες. Αυτό είναι κάτι που επιδιώκεται, όσον αφορά την τεχνολογία των τροφίμων, ακολουθώντας τις απαιτήσεις της σημερινής εποχής.



Εικόνα 8. Άλεуро ρεβιθιού (<https://gonatural.gr/alevri-revithiou/>)

Ο όρος εμπλουτισμός δε θα πρέπει να συγχέεται με τον όρο "συμπλήρωση"/ ή "συμπλήρωμα". Το "συμπλήρωμα" είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την παροχή σχετικά μεγάλων δόσεων μικροθρεπτικών συστατικών, συνήθως με τη

μορφή χαπιών, καψουλών ή σιροπιών. Έχει το πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να παρέχει μια βέλτιστη ποσότητα ενός συγκεκριμένου θρεπτικού ή θρεπτικών ουσιών, σε εξαιρετικά απορροφήσιμη μορφή, και είναι συχνά ο γρηγορότερος τρόπος για τον έλεγχο της ανεπάρκειας σε άτομα ή ομάδες πληθυσμού που έχουν αναγνωρισθεί ως ανεπαρκή. Ο εμπλουτισμός με μικροθρεπτικά συστατικά αναφέρεται στην προσθήκη μικροθρεπτικών συστατικών στα μεταποιημένα τρόφιμα. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτή η στρατηγική μπορεί να οδηγήσει σε σχετικά γρήγορες βελτιώσεις στην κατάσταση μικροθρεπτικών συστατικών ενός πλήθους, και με πολύ λογικό κόστος, ειδικά εάν μπορεί να αξιοποιηθεί η υπάρχουσα τεχνολογία και τα τοπικά δίκτυα διανομής. Δεδομένου ότι τα οφέλη είναι αρκετά μεγάλα, η ενίσχυση των τροφίμων μπορεί να είναι μια πολύ οικονομική παρέμβαση στη δημόσια υγεία. Ωστόσο, μια προφανής απαίτηση είναι ότι τα εμπλουτισμένα τρόφιμα πρέπει να καταναλώνονται σε επαρκείς ποσότητες από ένα μεγάλο ποσοστό των ατόμων στόχων σε έναν πληθυσμό. Ο εμπλουτισμός των τροφίμων με μικροθρεπτικά συστατικά είναι μια έγκυρη τεχνολογία για τη μείωση του υποσιτισμού μικροθρεπτικών συστατικών, ως μέρος μιας προσέγγισης που βασίζεται στα τρόφιμα, όπου και όταν δεν παρέχονται επαρκή επίπεδα των αντίστοιχων θρεπτικών συστατικών στη διατροφή. (FAO & WHO, 2006)

Με σκοπό την αύξηση της διατροφικής αξίας των φτωχών διατροφικά ζυμαρικών, η αξιοποίηση των οσπρίων για τον εμπλουτισμό τους είχε θετικά αποτελέσματα. Με βάση τον Πίνακα 5 ο οποίος αναφέρεται στη σύσταση των οσπρίων, δημιουργείται ο Πίνακας 7. Ο Πίνακας 7 περιέχει τους μέσους όρους των τιμών των πρωτεϊνών, των υδατανθράκων, του αμύλου και των ινών ως μέση % περιεκτικότητα, για όλα τα αναφερόμενα όσπρια στη βιβλιογραφία, σύμφωνα με την έρευνα των Foschia et al. (2017).

Με βάση τους Πίνακες 7 και 8 των οσπρίων και του Πίνακα 2 για τα ζυμαρικά εισάγεται ο Πίνακας 9, ο οποίος αποτελεί συγκεντρωτικό πίνακα τιμών των περιεκτικότητων σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια και ίνες. Η σύγκριση αυτών των Πινάκων αιτιολογεί την ανάγκη για εμπλουτισμό των προϊόντων ζυμαρικών και απεικονίζει τη δυνατότητα των οσπρίων να παρέχουν αυτόν τον συμπληρωματικό σκοπό. Όσον αφορά τις διαιτητικές ίνες η τιμή 20,6 g/100 g αποτελεί τη μέση τιμή μεταξύ των μελετών των Foschia, et al. (2017) και των Tosh & Yada (2010). Για το

ποσοστό των λιπιδίων στα όσπρια χρησιμοποιήθηκε η έρευνα των de Almeida Costa et al. (2006), οι οποίοι όρισαν τις τιμές για τα όσπρια, μπιζέλι ($2,34 \pm 0,01$ g/100 g), φασόλι ($2,49 \pm 0,22$ g/100 g), ρεβίθι ($6,69 \pm 0,56$ g/100 g) και φακή ($2,15 \pm 0,14$ g/100 g). Ο μέσος όρος των τεσσάρων είναι 3,4 g/100 g. (de Almeida Costa et al., 2006)

Πίνακας 7. Μέσος όρος % περιεκτικότητας οσπρίων (Foschia et al., 2017)

Μ.Ο. % περιεκτικότητας οσπρίων:	Πρωτεΐνες	Υδατάνθρακες	Άμυλο	Διαιτητικές ίνες
	32,7	53,6	32,9	19,6

Με βάση τον Πίνακα 6 των Tosh & Yada (2010), ο οποίος αναφέρεται στις διαιτητικές ίνες, δημιουργείται ο Πίνακας 8. Αυτός ο πίνακας όπως ακριβώς κι ο Πίνακας 7, περιέχει τους μέσους όρους των τιμών, αλλά αποδίδει την % περιεκτικότητα σε ίνες για τα φασόλια, τα ρεβίθια τις φακές και τα μπιζέλια. (Tosh & Yada, 2010)

Πίνακας 8. Μέσος όρος % περιεκτικότητας οσπρίων σε ίνες (Yosh & Yada, 2010)

Μ.Ο. % περιεκτικότητας σε διαιτητικές ίνες	Ολικές	Αδιάλυτες	Διαλυτές
	21,6	16,1	5,1

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός πίνακας συστάσεως σιμιγδαλιού σκληρού σίτου και οσπρίων(%) (Foschia et al.,2017; de Almeida Costa et al., 2006; Tosh & Yada 2010; Petitot et al., 2010)

	Σιμιγδάλι σκληρού σίτου	Όσπρια
%Πρωτεΐνες	13, 3 ± 0,2	32,7
%Υδατάνθρακες (εκφρασμένοι σε άμυλο)	77,6 ± 0,3	53,6 (32,9)
%Ίνες (ολικές)	2,4	20,6
%Λιπίδια	1,7 ± 0,04	3,4

Ο Πίνακας 9 είναι συγκεντρωτικός Πίνακας της σύστασης του σιμιγδαλιού σκληρού σίτου και των οσπρίων. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτού του Πίνακα παρατηρείται η διαφορά στις τιμές των δύο τροφίμων. Γίνεται έτσι κατανοητή η ανάγκη εμπλουτισμού ή και εξ' ολοκλήρου αντικατάσταση του σιμιγδαλιού των ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη των οσπρίων είναι σχεδόν τριπλάσια από εκείνη των ζυμαρικών, ενώ εάν μιλούσαμε για συγκεκριμένα όσπρια ο αριθμός αυξάνεται, π.χ. για το χαρούπι είναι πέντε φορές μεγαλύτερος. Οι ίνες, ως το δεύτερο σημαντικότερο στοιχείο του εμπλουτισμού ζυμαρικών με όσπρια, παρουσιάζουν αριθμητικά μεγάλη διαφορά στην περιεκτικότητά τους, στη σύγκριση μεταξύ των δύο τροφίμων. Η αναλογία ξεπερνά τις 8,5 φορές, προασπίζοντας την υψηλή συγκέντρωση σε διαιτητικές ίνες των οσπρίων. Ως προς το άμυλο παρατηρείται περίπου 2,5 φορές μικρότερη περιεκτικότητα στα όσπρια. Η ολική περιεκτικότητα όμως σε υδατάνθρακες, είναι 53,6 g/100 g, που αποτελεί αριθμό σημαντικά μικρότερο σε σύγκριση με το 77,6 g/100 g των ζυμαρικών. Στα λιπίδια το σιμιγδάλι σκληρού σίτου μειονεκτεί κατά δύο φορές, όπως αναμενόταν, λόγω της χαμηλής λιποπεριεκτικότητας των ζυμαρικών.

Οι Margier et al. (2018) επιδεικνύουν πως σε όλα τα όσπρια, τα κύρια ιχνοστοιχεία αποτελούν το κάλιο K (81-300 mg/100 g), ο φώσφορος P (53-150 mg/100 g), το ασβέστιο Ca (27-120 mg/100 g) και το μαγνήσιο Mg (13-44 mg/100 g). Σε μικρότερη περιεκτικότητα βρίσκεται ο σίδηρος Fe (1,3-2,3 mg/100 g). Συγκριτικά με τα προϊόντα ζυμαρικών, αξιοποιώντας τον Πίνακα 3, αποδεικνύεται χαμηλότερη περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων Fe, Mg και P. Στον Πίνακα 10, όπου παρουσιάζεται η σύγκριση, στην περιεκτικότητα των οσπρίων αντικαταστάθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών από τους Margier et al. (2018)

Τα όσπρια είναι επίσης μια καλή πηγή βιταμινών B, που παίζουν σημαντικό ρόλο στον μεταβολισμό της ενέργειας και στις μεταβολικές οδούς λιπαρών οξέων. Είναι μια εξαιρετική πηγή φυλλικού οξέος και δύο ή περισσότερες μερίδες ορισμένων οσπρίων μπορούν να παρέχουν περίπου 400 μg, που αντιπροσωπεύει το 100% των ημερήσιων αναγκών. (Rebello et al., 2014)

Πίνακας 4. Σύγκριση ιχνοστοιχείων Fe, Mg και P για τα ζυμαρικά και τα όσπρια (Petitot et al., 2010; Margier et al., 2018)

	Ζυμαρικά	Όσπρια
Fe (σίδηρος)	1,9 (mg/100 g)	1,8 (mg/100 g)
Mg (μαγνήσιο)	63 (mg/100 g)	28,5 (mg/100 g)
P (φώσφορος)	233 (mg/100 g)	101,5 (mg/100 g)

Πέρα από τα προϊόντα ζυμαρικών, εμπλουτισμός έχει παρατηρηθεί και σε άλλα τρόφιμα. Άλευρα και κλάσματα οσπρίων έχουν επιτυχώς χρησιμοποιηθεί ως συστατικά σε προϊόντα κρέατος (π.χ. λουκάνικα, μπιφτέκια κ.α.). Οι Boye et al. (2010) αναφέρθηκαν σε μελέτες που έχουν διεξαχθεί για τη χρήση αλεύρων οσπρίων σε σκευάσματα μπιφτεκιού βουβάλου. Ψημένα (5 λεπτά, 150 °C) και μη ψημένα άλευρα ενσωματώθηκαν σε 8 g/100 g ωμού κρέατος και η χημική σύνθεση και οι φυσικές ιδιότητες των προϊόντων μελετήθηκαν μετά την παραγωγή και την αποθήκευση. Τα αποτελέσματα επέδειξαν χαμηλότερη απορρόφηση λίπους για όλα τα μαγειρεμένα δείγματα σε σχέση με τα μη μαγειρεμένα, ενώ ορισμένα όσπρια έδωσαν υψηλότερη απόδοση, χαμηλότερη % συρρίκνωση και γενικά ανώτερες βαθμολογίες για όλα τα χαρακτηριστικά ποιότητας, σε σχέση με τα άλλα. Όλα τα τελικά προϊόντα ήταν αποδεκτά όταν αποθηκεύτηκαν έως και 4 μήνες.

Σε άλλη μελέτη των Serdaroglu et al. (2005) που αφορούσε τα κεφτεδάκια κρέατος, πραγματοποιήθηκε προσθήκη αλεύρων από μαυρομάτικα φασόλια, φακές και ρεβίθια, σε ποσοστό 10% κ.β. Η ενσωμάτωση αυτή αύξησε ελαφρώς τη σκληρότητα και την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του σκευάσματος. Η χρήση αλεύρων από μαυρομάτικα και φακές είχε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόδοση μαγειρέματος και υψηλότερη κατακράτηση υγρασίας και λίπους. Η προσθήκη αλεύρου ρεβιθιού αύξησε την ικανότητα συγκράτησης νερού. Το χρώμα όλων των δειγμάτων ήταν ανοιχτότερο συγκριτικά με τα δείγματα ελέγχου και είχαν υψηλή αποδοχή από οργανοληπτική άποψη. Παράλληλα, επισημαίνεται σε μελέτες των Abdel-Aal et al. (1987), βασισμένες σε διαφορετικά προϊόντα κρέατος, όπως είναι τα λουκάνικα, ότι τα χρησιμοποιούμενα άλευρα, τα συμπυκνώματα, οι σκόνες και πρωτεϊνικά συμπυκνώματα από ρεβίθια και φάβα,

αντικατέστησαν το κρέας σε ποσοστά που κυμαίνονταν από 20% έως 40%. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στη γεύση του λουκάνικου μεταξύ αλεύρου φάβας και σκόνης ήταν ασήμαντες για όλα τα επίπεδα υποκατάστασης που εξετάστηκαν. Τα πρωτεϊνικά συμπυκνώματα από φάβα και ρεβίθια φάνηκαν να είναι περισσότερο αποδεκτά σε όλα τα επίπεδα υποκατάστασης, σε σχέση με τα υποκατεστημένα σε σκόνη προϊόντα.

Σε άλλες έρευνες που αφορούσαν αρτοσκευάσματα, οι Boye et al. (2010) αναφέρουν πως έως και 15% από άλευρα ρεβιθιού, λούπινου και σόγιας χρησιμοποιήθηκαν για να αντικαταστήσουν το αλεύρι σίτου σε κουλουράκια. Η χημική σύσταση κάθε προϊόντος εξετάστηκε σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Η χρήση αλεύρων από ρεβίθια και σόγια αύξησαν το περιεχόμενο σε πρωτεΐνες, αμινοξέα, ίνες, υγρασία και τέφρα. Η αντικατάσταση του αλεύρου σιταριού με εκείνο του λούπινου αύξησε την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, αμινοξέα και ίνες, καθώς και την περιεκτικότητα ορισμένων μετάλλων.

Πολλοί ήταν εκείνοι οι οποίοι ασχολήθηκαν με τον εμπλουτισμό του ψωμιού με όσπρια (Dalgetty & Baik, 2006; Wang et al., 2002). Ενώ στις περισσότερες έρευνες χρησιμοποιήθηκαν άλευρα οσπρίων ολικής άλεσης, λίγες ήταν εκείνες οι οποίες έχουν αξιολογήσει την καταλληλότητα των αλεύρων αυτών για αυτές τις εφαρμογές. Αλεύρια ρεβιθιών και φάβας, αφού οι σπόροι τους υπέστηκαν υγροθερμική κατεργασία, συνθλίφθηκαν, αναμίχθηκαν και ξηράθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν σε επίπεδα 15% και 20% για τον εμπλουτισμό του ψωμιού. Εκείνα των ρεβιθιών απέδωσαν πιο αποδεκτά προϊόντα από αυτά του σίτου, ενώ τα δείγματα τα οποία εμπλουτίστηκαν με φάβα σε ποσοστό 20% απορρίφθηκαν. Ως προς τα προϊόντα ψωμιού και κουλουριών, άλλες μελέτες έδειξαν πως με χρήση συμπυκνωμάτων πρωτεΐνης από φάβα για μερική αντικατάσταση, τα τελικά προϊόντα ήταν αποδεκτά μόνο σε έναν επίπεδο αντικατάστασης έως και 10%. (Boye et al., 2010; Abdel-Aal et al. 1987)

3.2 Προσπάθειες εμπλουτισμού ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων

Οι προσπάθειες εμπλουτισμού των ζυμαρικών με ένα ποσοστό αλεύρων οσπρίων είναι πολυάριθμες και ποικίλες. Πολλοί ήταν οι ερευνητές οι οποίοι επεδίωξαν να εμπλουτίσουν τα ζυμαρικά με όσπρια και να καταγράψουν τις διαφορές που θα εμφάνιζαν σε σχέση με τα κοινά προϊόντα ζυμαρικών.

Οι Padalino et al., (2013), στη μελέτη τους, είχαν ως στόχο τα μακαρόνια τα

οποία εμπλούτισαν με αλεύρι μπιζελιού, να έχουν οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κοινά με εκείνα των συμβατικών μακαρονιών. Πιο συγκεκριμένα, παρήγαγαν ζυμαρικά με σιμιγδάλι σκληρού σίτου, αφού αναμίχθηκε με νερό σε αναμικτήρα περιστροφικού άξονα, για 20 λεπτά στους 25 °C, έτσι ώστε να ληφθεί ζυμάρι με περιεκτικότητα υγρασίας 30% κ.β. Στη συνέχεια η ζύμη εξωθήθηκε με εξωθητήρα 60VR (Namad, Ιταλία) σε πίεση περίπου 4 MPa. Η θερμοκρασία των μακαρονιών μετά την εξώθηση ήταν περίπου 27-28 °C. Ο εξωθητήρας ήταν εφοδιασμένος με μια βίδα (μήκους 30 cm, διαμέτρου 5,5 cm), η οποία τελείωνε με μια χάλκινη μήτρα (οπή διαμέτρου 1,70 mm). Η ταχύτητα περιστροφής του κοχλίου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 50 RPM και στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ξήρανση των ζυμαρικών σε ξηραντήρα (SG600, Namad, Ιταλία). Οι συνθήκες που εφαρμόστηκαν στη διαδικασία ήταν, αρχικά θερμοκρασία 60 °C, 65% υγρασία, για 20 λεπτά (εξωτερική ξήρανση), 90 °C και 79% υγρασία για 130 λεπτά, έπειτα στους 75 °C και 78% υγρασία σε χρόνο 150 λεπτά (ξήρανση), σε χρόνο 160 λεπτών στους 45 °C και 63% υγρασία και τέλος για χρόνο 1040 λεπτά στους 50 °C και 50% υγρασία. Το 4ο και το 5ο στάδιο χρησιμοποιούνται για τις φάσεις ψύξης των μακαρονιών. Τελικώς, τα εμπλουτισμένα δείγματα με αλεύρι μπιζελιού 15% εμφάνισαν λιγότερη ελαστικότητα, δυσάρεστο χρώμα και υψηλότερη σταθερότητα σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. (Padalino et al., 2013)

Οι Sudha & Leelavathi (2011) μελέτησαν την επίδραση του αλεύρου αφυδατωμένου μπιζελιού στα ρεολογικά χαρακτηριστικά και την ποιότητα παρασκευής των ζυμαρικών. Ειδικότερα, παρασκευάστηκαν μείγματα από φαρίνα και αφυδατωμένο μπιζέλι σε αναλογία 100:0, 90:10, 80:20 και 70:30 αντίστοιχα. Το μείγμα φαρίνας (500 g) και νερού (31–35%) αναδεύτηκε σε ένα μίξερ Hobart (Model N-50 Richmond Hill, Οντάριο, Καναδάς) σε ταχύτητα 59 RPM για 7 λεπτά. Η ζύμη εξωθήθηκε χρησιμοποιώντας εργαστηριακή μηχανή ζυμαρικών και τα εξωθημένα δείγματα κόπηκαν σε μήκος 4–5 cm. Τα εξωθημένα σπειροειδή ζυμαρικά απλώθηκαν σε δίσκους ανοξείδωτου χάλυβα σε θερμοκρασία δωματίου (27 °C) για 1 ώρα και στη συνέχεια ξηράθηκαν στους 80 °C για 4 ώρες σε ξηραντήρα θερμού αέρα. (Sudha & Leelavathi, 2011)

Για το ίδιο προϊόν οι Mercier et al. (2011) χρησιμοποίησαν μόνο πρωτεΐνη από αρακά για εμπλουτισμό και εξέτασαν την εξέλιξη της περιεκτικότητας σε υγρασία, της

πυκνότητας, της συρρίκνωσης και του πορώδους των ζυμαρικών κατά την ξήρανση. Τα ζυμαρικά επεξεργάστηκαν με αναλογίες πρωτεΐνης μπιζελιού 0 g, 5 g, 10 g και 15 g ανά 100 g ξηρής βάσης και ξηράθηκαν σε θερμοκρασίες 40 °C (χαμηλή θερμοκρασία) και 80 °C (υψηλή θερμοκρασία). Η περιεκτικότητα σε υγρασία, η πυκνότητα, η συρρίκνωση και το πορώδες και οι συντελεστές διάχυσης υγρασίας συνδέθηκαν μέσω θεωρητικών εξισώσεων. Αυτό επέτρεψε τη μελέτη της συμπεριφοράς των ιδιοτήτων ως συνάρτηση του χρόνου ξήρανσης. Ο τρόπος μελέτης τους ήταν ο εξής:

Πίνακας 5. Επεξηγηματικός πίνακας συμβόλων (Mercier et al., 2011)

Αγγλικά σύμβολα		τ	Αναλογία ξηρού βάρους σιμιγδαλιού προς συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού (-)
D_{eff}	συντελεστής διάχυσης υγρασίας ζυμαρικών, $m^2 \times s^{-1}$	Εκθετικά σύμβολα	
m	Μάζα, kg	0	Αρχικές συνθήκες
L	Μήκος ζυμαρικών, m	1	Πρώτο
M	Περιεκτικότητα υγρασίας, $kg H_2O \times Kg \text{ ξηρής βάσης}^{-1}$	2	Δεύτερο
P	Πίεση, Pa	app	φαινομενικό
r	Συντεταγμένη ακτίνας, m	E	Ισορροπία
R	Ακτίνα ζυμαρικών, m	ext	Εξωτερικό
T	Θερμοκρασία, °C	int	εσωτερικό
t	Χρόνος ξήρανσης, s	L	Γεωγραφικό μήκος
V	Όγκος, m^3	p	Σωματίδιο
Ελληνικά σύμβολα		PPC	Συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού
β_n	Χαρακτηριστικές ρίζες συναρτήσεως Bessel πρώτου βαθμού (-)	R	Ακτίνα
ϵ	Πορώδες, $m^3 \text{ κενού} \times m^{-3} \text{ συνόλου (-)}$	sem	Σιμιγδάλι
η	ογκομετρικό κλάσμα χαμένου νερού αντικαταστημένο από αέρα (-)	s	Ξηρά στερεά
ρ	Πυκνότητα $kg \times m^{-3}$	T	Σύνολο
χ	Συρρίκνωση, $\Delta m^3 \times m^{-3}$ αρχικά ή $\Delta m \times m^{-1}$ αρχικά (-)	w	Νερό

Όσον αφορά την περιεκτικότητα σε υγρασία ως συνάρτηση του χρόνου ξήρανσης, έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές:

(Α) Για τις ανάγκες αυτής της μελέτης, η ξήρανση ζυμαρικών περιγράφεται από τον νόμο του Fick, αν και μπορεί να μην είναι απολύτως ακριβής λόγω της μη άρτιας χρήσης της εξίσωσης κοντά σε υαλώδη μετάβαση.

(B) Θεώρηση των ζυμαρικών ως κύλινδρο απείρου μήκους.

(Γ) Η μεταφορά μάζας πραγματοποιείται μόνο κατά την ακτινική διεύθυνση.

(Δ) Η μεταφορά θερμότητας είναι ταχύτερη από τη μεταφορά μάζας, επιτρέποντας έτσι να θεωρηθεί η ξήρανση λαμβάνει χώρα πρακτικά υπό σταθερή θερμοκρασία.

(E) Η αλλαγή στην ακτίνα των ζυμαρικών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας δεν έχει σημαντικό αντίκτυπο στη μεταφορά μάζας.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις υποθέσεις, ο νόμος του Fick μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκφραστεί η περιεκτικότητα νερού των ζυμαρικών κατά την ξήρανση ως εξής:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες οριακές συνθήκες:

για $t=0$, $M=M_0$ για $0 < r < R$,

για $t > 0$, $M=M_E$ για $r=R$

για $t > 0$, $\partial M / \partial t = 0$ για $r=0$

Η λύση της εξίσωσης **(1)** με βάση αυτές τις οριακές συνθήκες είναι:

$$\frac{M - M_E}{M_0 - M_E} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\beta_n^2} \exp\left(-\frac{\beta_n^2 D_{eff} t}{R^2}\right) \quad (2)$$

Για τη συρρίκνωση συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης, η ογκομετρική συρρίκνωση (χ_T) ορίζεται ως η αναλογία του φαινομένου όγκου που χάθηκε προς τον αρχικό φαινόμενο όγκο:

$$\chi_T = \frac{V_{app0} - V_{app}}{V_{app0}} \quad (3)$$

Η συρρίκνωση εμφανίζεται κατά την ξήρανση όταν το νερό που αφαιρείται από τα ζυμαρικά δεν αντικαθίσταται πλήρως από τον αέρα. Ο αέρας που υπάρχει στη μήτρα ζυμαρικών στην αρχή της διαδικασίας ξήρανσης μπορεί επίσης να μειωθεί ή να εξαφανιστεί, οδηγώντας σε φαινόμενο κατάρρευσης (Εικ. 9). Μαθηματικά, αυτά τα φαινόμενα μπορούν να περιγραφούν εισάγοντας μια αδιάστατη παράμετρο που ορίζεται ως εξής:

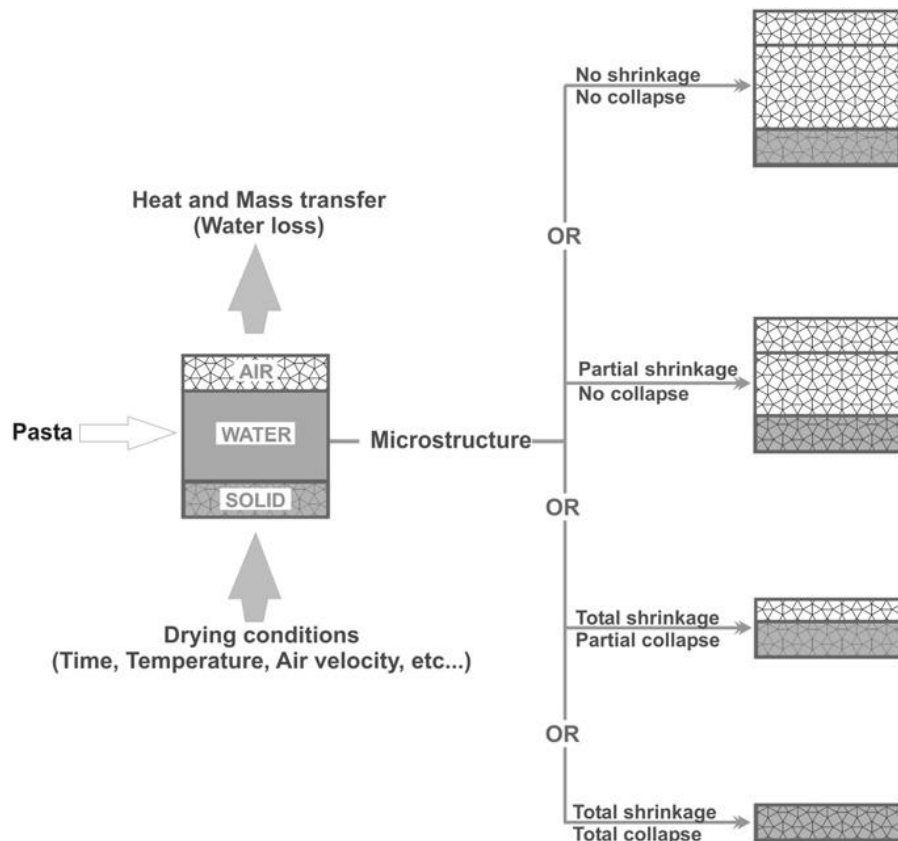
$$\eta = 1 - \frac{V_{app0} - V_{app}}{V_{w0} - V_w} \quad (\text{για } t > 0) \quad (4)$$

Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει τελικά το ογκομετρικό κλάσμα του νερού που χάνεται, κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, που έχει δηλαδή αντικατασταθεί από τον αέρα μέσα στη μήτρα ζυμαρικών και δίνει μια ένδειξη για τα φαινόμενα που συμβαίνουν (η τιμή >1 υποδηλώνει διόγκωση, ≈1 υποδεικνύει την απουσία συρρίκνωσης, ≈0 υποδηλώνει ολική συρρίκνωση, <0 δείχνει κατάρρευση).

Η φαινόμενη πυκνότητα των ζυμαρικών και η πυκνότητα νερού περιγράφονται από τις σχέσεις (5) και (6):

$$\rho_{app} = \frac{m_s (1 + M)}{V_{app}} \quad (5)$$

$$\rho_w = \frac{m_s M}{V_w} \quad (6)$$



Εικόνα 9. Σχηματική αναπαράσταση των φαινομένων συρρίκνωσης και κατάρρευσης κατά τη διαδικασία ξήρανσης των ζυμαρικών. (Mercier et al., 2011)

Με τη χρήση των τεσσάρων τελευταίων εξισώσεων, η συρρίκνωση μπορεί να

συνδεθεί με την αδιάστατη παράμετρο η:

$$\chi_{T(t)} = \frac{(1 - \eta)(M_0)}{\rho_w / \rho_{app} (1 + M_0)} \quad (7)$$

Έτσι, χρησιμοποιώντας τη λύση νόμου του Fick (Εξ. (2)), η συρρίκνωση μπορεί να περιγραφεί ως συνάρτηση του χρόνου ξήρανσης όταν γνωρίζουμε τις διαστάσεις των ζυμαρικών, την περιεκτικότητα σε υγρασία ισορροπίας, τον συντελεστή διάχυσης της υγρασίας και το κλάσμα του νερού που χάθηκε, αντικαθιστάμενο από τον αέρα (η):

$$\chi_{T(t)} = \frac{(1 - \eta)}{v(1 + M_0)} \Delta M (1 - \alpha) \quad (8)$$

$$\text{όπου } \alpha(t) = \sum_{n=1}^{\infty} 4/\beta_n^2 \exp(-\beta_n^2 D_{eff} t / R^2),$$

$$v = \rho_w / \rho_{app},$$

$$\Delta M = M_0 - M_E$$

Μια εξίσωση που συνδέει την φαινόμενη πυκνότητα, τη συρρίκνωση και την υγρασία των ζυμαρικών μπορεί να προέλθει από τον ορισμό της φαινόμενης πυκνότητας (Εξ. (5)) και της ογκομετρικής συρρίκνωσης (Εξ. (3)):

$$\rho_{app} = \frac{\rho_{app0}(1 + M)}{(1 + M_0)(1 - \chi_T)} \quad (9)$$

Έτσι, η αντικατάσταση της εξίσωσης που σχετίζεται με τη συρρίκνωση με τον χρόνο ξήρανσης (Εξ. (8)) οδηγεί σε μια σχέση που περιγράφει την εξέλιξη της φαινόμενης πυκνότητας των ζυμαρικών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης ως συνάρτηση του χρόνου, του συντελεστή διάχυσης υγρασίας, της περιεκτικότητας σε υγρασία ισορροπίας, των διαστάσεων ζυμαρικών και του κλάσματος νερού που χάθηκε:

$$\rho_{app}(t) = \frac{\rho_w(1 + \Delta M_{\alpha} + M_E)}{\Delta M(\eta - 1)(1 - \alpha) + v(1 + M_0)} \quad (10)$$

Το πορώδες αντιπροσωπεύει την αναλογία των κενών διαστημάτων προς τον ολικό φαινόμενο όγκο. Υποθέτοντας ότι ο όγκος των ξηρών στερεών, που αντιπροσωπεύει το άθροισμα των όγκων που καταλαμβάνονται από το σιμιγδάλι (V_{sem}) και το συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού (V_{PPS}) στην περίπτωση που τα ενισχυμένα ζυμαρικά, το νερό και ο αέρας είναι πρόσθετα, το πορώδες μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$\epsilon_T = 1 - \frac{V_{sem} + V_{PPS} + V_w}{V_{app}} \quad (11)$$

Μια εξίσωση που συνδέει το πορώδες, την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε

υγρασία μπορεί να προκύψει από μια ισορροπία μάζας, τον ορισμό της φαινόμενης πυκνότητας νερού και ζυμαρικών (Εξ. (5) και (6)), τις πυκνότητες του ξηρού σιμιγδαλιού και του συμπυκνώματος πρωτεΐνης μπιζελιού και τη σχετική αναλογία σιμιγδαλιού προς συμπύκνωμα πρωτεΐνης αρακά:

$$\epsilon_T = 1 - \frac{\rho_{app}}{1 + M} \left[\left(\frac{1}{(1 + 1/\tau)\rho_{sem}} + \frac{1}{(1 + \tau)\rho_{PPC}} \right) \frac{M}{\rho_w} \right] \quad (12)$$

όπου τ η σχετική αναλογία σιμιγδαλιού προς συμπύκνωμα πρωτεΐνης ($\tau = m_{sem}/m_{PPC}$).

Επομένως, μια εξίσωση που περιγράφει την εξέλιξη της φαινόμενης πυκνότητας των ζυμαρικών κατά τη διάρκεια της ξήρανσης (Εξ. (10)) και η λύση του νόμου του Fick (Εξ. (2)) μπορούν να αντικατασταθούν στην τελευταία εξίσωση για να ληφθεί μια σχέση που συνδέει το πορώδες των ζυμαρικών με τον χρόνο ξήρανσης, τον συντελεστή διάχυσης υγρασίας, το περιεχόμενο υγρασίας ισορροπίας, τις διαστάσεις και το κλάσμα του νερού που χάθηκε αντικατεστημένο από τον αέρα:

$$\epsilon_T(t) = 1 - \frac{\rho_w}{\Delta M(\eta - 1)(1 - \alpha) + v(1 + M_0)} \left[\left(\frac{1}{(1 + 1/\tau)\rho_{sem}} + \frac{1}{(1 + \tau)\rho_{PPC}} \right) + \frac{\Delta M_\alpha + M_E}{\rho_w} \right] \quad (13)$$

Για τις μετρήσεις των ιδιοτήτων των φρέσκων κι αποξηραμένων ζυμαρικών, η ογκομετρική συρρίκνωση (χ_T) που πραγματοποιήθηκε μεταξύ του αρχικού και του τελικού σταδίου της ξήρανσης ζυμαρικών υπολογίστηκε από την αρχική και την τελική φαινόμενη πυκνότητα και υγρασία ζυμαρικών χρησιμοποιώντας την Εξ. (9), δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατή η μέτρηση της διακύμανσης του μήκους των ζυμαρικών κατά τη διαδικασία ξήρανσης. Η συρρίκνωση διαχωρίστηκε περαιτέρω σε ακτινική (χ_R) και διαμήκη (χ_L) συρρίκνωση, χρησιμοποιώντας την Εξ. (3) και τον όγκο των κυλινδρικών ζυμαρικών ($V_{app} = \pi R^2 L$) ως εξής:

$$\chi_T = 1 - (1 - \chi_R)^2(1 - \chi_L) \quad (14)$$

όπου $\chi_R = (R_0 - R)/R_0$, $\chi_L = (L_0 - L)/L_0$.

Το ολικό πορώδες υπολογίστηκε από τη μετρούμενη περιεκτικότητα υγρασίας και την φαινόμενη πυκνότητα χρησιμοποιώντας την Εξ. (12), ενώ ταξινομήθηκε σε δύο τύπους, εξωτερικό και εσωτερικό, αντιπροσωπεύοντας αντίστοιχα το κλάσμα των ανοιγμένων και κλειστών πόρων σε συνολικό φαινόμενο όγκο. Η πυκνότητα σωματιδίων ζυμαρικών (ρ_p) λήφθηκε ως η αναλογία μάζας ζυμαρικού προς όγκο σωματιδίων. Το

εξωτερικό πορώδες υπολογίστηκε ως εξής:

$$\epsilon_{ext} = 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_p} \quad (15)$$

Το εσωτερικό πορώδες λήφθηκε ως η διαφορά μεταξύ ολικού και εξωτερικού πορώδους. (Mercier et al., 2011)

Σε μία άλλη μελέτη οι Petitot et al. (2010) παρήγαγαν μακαρόνια με την προσθήκη υψηλών ποσοτήτων (35%) αλεύρου οσπρίων (αρακά ή φασολιού). Η διαδικασία παραγωγής απαιτούσε προσαρμογή (υψηλότερο επίπεδο ενυδάτωσης και υψηλότερη ταχύτητα ανάμιξης) για τον περιορισμό της συσσωμάτωσης κατά την ανάμιξη. Επιπλέον, η προσθήκη αλεύρου οσπρίων προκάλεσε μείωση σε ορισμένα χαρακτηριστικά ποιότητας ζυμαρικών, όπως υψηλότερες απώλειες μάζας κατά το μαγείρεμα. Παρατηρήθηκε επίσης μια τροποποίηση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της μεγαλύτερης σκληρότητας και του υψηλότερου βαθμού θραύσης. Ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εμπλουτισμένων ζυμαρικών, όπως η χαμηλότερη απώλεια μάζας κατά το μαγείρεμα επιτεύχθηκαν εφαρμόζοντας υψηλές και πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του κύκλου ξήρανσης, που φάνηκε να συμβάλουν στην ενίσχυση του πρωτεϊνικού δικτύου. Η εφαρμογή τέτοιων διεργασιών είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ζυμαρικών με μεγάλη σταθερότητα και ελαστικότητα, σύμφωνα με τους δοκιμαστές.

Στη ίδια εργασία, η προσρόφηση νερού αξιολογήθηκε σε δείγμα ξηρών ζυμαρικών 50 g μετρώντας το βάρος (B) τους πριν και μετά το μαγείρεμα και υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\text{Προσρόφηση νερού (\%, db)} = \left(\frac{B_{\text{μαγειρεμένων ζυμαρικών}}}{B_{\text{ξηρών ζυμαρικών}}} - 1 \right) \times 100 \quad (16)$$

Οι απώλειες μάζας κατά το μαγείρεμα υπολογίστηκαν αφού αρχικά ένα προζυγισμένο δείγμα μαγειρεμένων ζυμαρικών ξηράνθηκε στους 50 °C για 2 ημέρες, μετέπειτα αλέστηκε κι ένα κλάσμα ζυγίστηκε και ξηράνθηκε στους 130 °C για 2 ώρες. Οι απώλειες κατά το μαγείρεμα υπολογίστηκαν με την εξίσωση:

$$\text{Απώλειες κατά το μαγείρεμα (\%, db)} = \left(\frac{\xi \cdot \beta \cdot \text{μαγειρεμένων ζυμαρικών}}{\xi \cdot \beta \cdot \text{ξηρών ζυμαρικών}} - 1 \right) \times 100 \quad (17)$$

Σε άλλη έρευνα των Petitot & Micard (2010), είχαν ως στόχο να προσδιορίσουν τις επιπτώσεις των διαφόρων τεχνολογικών διεργασιών στη δομή και την in vitro

απορροφητικότητα του αμύλου των εμπλουτισμένων ζυμαρικών. Ειδικότερα, παρασκεύασαν ζυμαρικά από 65% σιμιγδάλι σκληρού σίτου και 35% άλευρα οσπρίων (φάβας). Εφαρμόστηκαν συνολικά 4 διαφορετικά είδη κατεργασίας που περιλάμβαναν ξήρανση χαμηλής θερμοκρασίας (LT), μία ξήρανση υψηλής θερμοκρασίας (VHT), με την VHT διεργασία να πραγματοποιείται σε χαμηλή υγρασία (VHT.LM), λυοφιλίωση και μία διεργασία προβρασμού. Σκοπός της κάθε κατεργασίας ήταν, η λυοφιλίωση να αλλάξει το πορώδες των ζυμαρικών, η ξήρανση VHT.LM να ενισχύσει το πρωτεϊνικό δίκτυο, ενώ η κατεργασία προβρασμού ακολουθούμενη από την ξήρανση LT να επηρεάσει κυρίως η δομή του κλάσματος του αμύλου. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε (1) ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία 55 °C για 15 ώρες (LT) ή σε πολύ υψηλή θερμοκρασία 90 °C, με σκοπό τη χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (περίπου 12%, 55 °C για 15 ώρες και στη συνέχεια 90 °C για 2 ώρες, VHT.LM), (2) ξήρανση σε λυοφιλιωτή (Lyofal SAS, Γαλλία) και (3) προμαγείρεμα (120 °C/1,2 bar για 10 λεπτά) σε οριζόντιο αυτόκλειστο (B.B.C, Γαλλία) και ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία 55 °C. (Petitot & Micard, 2010)

Με σκοπό να εκτιμηθεί η μέγιστη ποσότητα αλεύρων οσπρίων που μπορούν να ενσωματωθούν στα ζυμαρικά και να αξιολογηθεί η αποδοχή τους από τους καταναλωτές, οι Zhao et al. (2005) εξέτασαν μακαρόνια από άλευρα πράσινων και κίτρινων μπιζελιών, ρεβιθιών και φακών, σε αναλογίες 5-30%. Το σιμιγδάλι αναμειχθηκε με 5%, 10%, 15%, 20% και 30% αλεύρων οσπρίων. Στη συνέχεια 1 kg του μίγματος ενυδατώθηκε έως ότου αποκτήσει ποσοστό υγρασίας 32% και έπειτα εξωθήθηκε. Οι υπόλοιπες συνθήκες επεξεργασίας που ακολουθήθηκαν ήταν: Θερμοκρασία ζύμης 40 °C, ταχύτητα εξωθητήρα 25 RPM και κενό θαλάμου ανάμιξης, 46 cm Hg. Μετά την εξώθησή τους τα δείγματα ξηράθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία 70 °C για περίπου 12 ώρες, σε ειδική υγρασία 83%. Το δείγμα ελέγχου περιείχε 200% σιμιγδάλι, χωρίς προσθήκη οσπρίων. Η χρήση αλεύρων οσπρίων προδίδει μία σκούρα χροιά στα ζυμαρικά αλλά δεν επηρεάζουν σημαντικά το βάρος του μαγειρεμένου προϊόντος. Οι απώλειες κατά το μαγείρεμα και η σταθερότητα αυξήθηκαν με την αύξηση της περιεκτικότητας των οσπρίων. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι η σταθερότητα, η γεύση των οσπρίων και η ένταση χρώματος των προϊόντων ζυμαρικών αυξήθηκαν με την αύξηση του ποσοστού εμπλουτισμού σε κλίμακα έως και 30%, ενώ η ένταση της λαμπερής εμφάνισης των προϊόντων, η ελαστικότητα και η συνολική ποιότητα μειώθηκε. Οι

καταναλωτές προτίμησαν περισσότερο τα δείγματα ελέγχου, δηλαδή τα μη εμπλουτισμένα ζυμαρικά, από τα αυτά που περιέχουν άλευρα οσπρίων. Έδειξαν επίσης, μια ελαφριά προτίμηση στα μακαρόνια με 15% φακή ή πράσινο μπιζέλι και σε εκείνα με 20% ρεβίθι ή κίτρινο μπιζέλι. (Zhao et al., 2005)



Εικόνα 10. Εμπλουτισμένα ζυμαρικά με αρακά, ρεβίθια, κόκκινα φασόλια και κόκκινες φακές (από αριστερά προς τα δεξιά) (<https://pulsecanada.com/applications/pasta-noodles>)

Οι Wójtowicz & Mościcki (2014) αξιολόγησαν επιλεγμένες ιδιότητες προμαγειρευμένων προϊόντων ζυμαρικών, εμπλουτισμένων με λευκά φασόλια, κίτρινα μπιζέλια και φακές. Η βασική πρώτη ύλη ήταν το αλεύρι σίτου εμπλουτισμένο με διαφορετικά άλευρα οσπρίων σε επίπεδο 10, 20, 30 και 40 g/100 g. Φυσικές ιδιότητες όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού, οι απώλειες μάζας κατά το μαγείρεμα, ο δείκτης απορρόφησης νερού, ο δείκτης διαλυτότητας νερού, η σκληρότητα, το χρώμα των προϊόντων και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά έτοιμων για κατανάλωση ανασυσταμένων ζυμαρικών (χρόνος ενυδάτωσης, σκληρότητα, μασητικότητα, χρώμα και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) μελετήθηκαν. Η μικροδομή της επιφάνειας και η διατομή των εμπλουτισμένων ζυμαρικών εξετάστηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν ότι τα προμαγειρευμένα προϊόντα

ζυμαρικών, που ήταν εμπλουτισμένα με αλεύρι οσπρίου έως 30 g/100 g, είχαν πολύ καλές φυσικές και αισθητηριακές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένης της σταθερής υφής και της συμπαγούς εσωτερικής δομής. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)



Εικόνα 11. Ζυμαρικά πέννες παρασκευασμένα από κόκκινες φακές (<https://bridge2food.com/tag/pulses/>)

Αξιοποιώντας άλευρα από κουκιά, οι Tazart et al. (2016) χρησιμοποίησαν τρία διαφορετικά επίπεδα εμπλουτισμού (10, 30 και 50%), καθώς και σκέτα ζυμαρικά (100% σιμιγδάλι) ως δείγμα ελέγχου, προκειμένου να εξετάσουν τις ιδιότητες των προϊόντων τύπου cicatelli. Τα εμπλουτισμένα ζυμαρικά εμφάνισαν χαμηλότερο χρόνο μαγειρέματος και υψηλότερη απώλεια μάζας σε ξηρή βάση, έχοντας παράλληλα παρόμοια απορρόφηση νερού, μετρούμενη από την εξίσωση:

$$WA = \left[\frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \right] \times 100 \quad (18)$$

όπου WA = απορρόφηση νερού, W_1 (g) = βάρος μαγειρεμένων ζυμαρικών και W_2 (g) = βάρος μη μαγειρεμένων ζυμαρικών.

Το σχήμα τους δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τη διαδικασία μαγειρέματος. Όσον αφορά τις παραμέτρους του χρώματος μετρήθηκαν οι παράμετροι L^* (φωτεινότητα), a^* (κόκκινο - πράσινο) και b^* (κίτρινο - μπλε). Το ΔE^* υπολογίστηκε για να εκτιμηθεί το πόσο μακριά απέχουν οπτικά τα δείγματα και ο μάρτυρας στο χρώμα για τα μαγειρεμένα και μη μαγειρεμένα ζυμαρικά.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (19)$$

Η χημική σύσταση προσδιορίστηκε με επίσημες μεθόδους AOAC για την υγρασία, το άμυλο και τα λιπίδια και AACC για την τέφρα και τις πρωτεΐνες. (Tazart et al., 2016)



Εικόνα 12. Ζυμαρικά спаγγέτι παρασκευασμένα από κόκκινες φακές (<https://www.healthyfood.com/ask-the-experts/is-pulse-pasta-gluten-free/>)

Όσον αφορά τον εμπλουτισμό ζυμαρικών με ρεβίθια, μίγματα διαφορετικών ποσοτήτων αλεύρων ρεβιθιών και σκληρού σιμιγδαλιού (0-60%) παρασκευάστηκαν και εξετάστηκαν για την κατανόηση της επίδρασής τους στην ποιότητα των προϊόντων. Διεξήχθη χαρακτηρισμός των ρεολογικών ιδιοτήτων, ανάλυση στη φυσικοχημική και διατροφική ποιότητα, την ποιότητα μαγειρέματος κι επιπλέον πραγματοποιήθηκε οργανοληπτική εξέταση και ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης των τελικών προϊόντων. Τόσο η πρώτη ύλη, όσο και τα δείγματα των ζυμαρικών αναλύθηκαν για την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, λίπη, τέφρα και διαιτητικές ίνες σύμφωνα με τις μεθόδους της ένωσης επίσημων αναλυτικών χημικών AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Για την παρασκευή των ζυμαρικών, τα μίγματα αναμίχθηκαν με την κατάλληλη ποσότητα νερού (45-50%), ώστε να σχηματιστεί μία σφιχτή ζύμη στο μίξερ. Μετέπειτα, η ζύμη αφήθηκε σε ηρεμία για χρονικό διάστημα 10-15 λεπτών και επεξεργάστηκε για να αποκτήσει το επιθυμητό πάχος των 4 mm. Στη συνέχεια, η ζύμη κόπηκε στο κατάλληλο μήκος και ξηράνθηκε στους 55 °C για 2 ώρες. Τέλος, αφήθηκαν

σε θερμοκρασία δωματίου (28-30 °C) και συσκευάστηκαν μέχρι να αξιοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση (Porwal, 2014).

Εμπλουτισμό με άλευρα ρεβιθιών (0-30%) πραγματοποίησε και η Wood (2009), εξετάζοντας τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης, την ευκολία επεξεργασίας της και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εμπλουτισμένων ζυμαρικών συμπεριλαμβανομένων, της δομής (σταθερότητα, ανθεκτικότητα και κολλώδες), του χρώματος, των απωλειών κατά το μαγείρεμα και της οργανοληπτικής αποδοχής. Οι ιδιότητες της ζύμης προσδιορίστηκαν με φαρινογραφήματα και σταθερό βάρος ζύμης χρησιμοποιώντας εγκεκριμένη μέθοδο AACC 54-21. Οι παράμετροι L^* , a^* , b^* και ΔE^* προσδιορίστηκαν με τον ίδιο τρόπο, όπως εκείνος των Tarzart et al. (2016). Ο προσδιορισμός της υγρασίας αλεύρων και των ζυμαρικών καθορίστηκε με την εγκεκριμένη μέθοδο AACC 44-15A. Οι ιδιότητες αξιολογήθηκαν εις διπλούν χρησιμοποιώντας 29 g δείγματος στον αναλυτή Rapid Visco Analyzer (Newport Scientific Pty, Ltd, Αυστραλία). Η θερμοκρασία διατηρήθηκε στους 25 °C για 2 λεπτά, αυξήθηκε στους 95 °C για 5 λεπτά και διατηρήθηκε εκεί για 3 λεπτά και τέλος μειώθηκε στους 25 °C για 5 λεπτά. Καταγράφηκαν ο μέγιστος χρόνος, το μέγιστο ιξώδες και το τελικό ιξώδες. Η οργανοληπτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε για ζυμαρικά με περιεκτικότητα αλεύρου ρεβιθιών 0%, 15% και 30%, από ανεκπαίδευτους εθελοντές (Wood, 2009).

4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

4.1 Επίδραση εμπλουτισμού με άλευρα οσπρίων στη ζύμη

Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της ζύμης σχετίζονται με τη συμπεριφορά της ζύμης σε σχέση με την ελαστικότητα και το ιξώδες. Είναι σαφές πως αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικά για την τελική ποιότητα των ζυμαρικών, καθώς και για τη διαχείριση της φάσης της επεξεργασίας των προϊόντων. Η δυνατότητα πρόβλεψης της συμπεριφοράς των πρώτων υλών είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τη βιομηχανία των τροφίμων. Οι βασικές παράμετροι που εξετάζονται στη βιβλιογραφία είναι η απορρόφηση νερού της ζύμης, ο χρόνος ανάπτυξης, η σταθερότητα, ο δείκτης μαλακώματος και η παράμετρος F.Q.N. (Farinograph Quality Number). Έτσι, το ενδιαφέρον στράφηκε στα φαινογραφήματα κατά κύριο λόγο, αλλά και στα εξτενσιογραφήματα με τα οποία οι ερευνητές εξέτασαν τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης.

Στον Πίνακα 12 και στον Πίνακα 13, παρουσιάζονται οι ανωτέρω παράμετροι, καθώς και επιπλέον παράμετροι, όπως η επιμήκυνση των ζυμών, η αντίσταση που παρουσίασαν και η απαιτούμενη ενέργεια που δαπανήθηκε, σε ποσοστό υποκατάστασης των αλεύρων σίτου από άλευρα ρεβιθιών, που κυμαινόταν από 0-50%.

Η απορρόφηση νερού είναι σημαντική διότι όσο περισσότερο νερό μπορεί να απορροφήσει ένα αλεύρι σε μία ζύμη, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση της ζύμης. Αυτό κατ' επέκταση μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη τιμή αλεύρου και εξοικονόμηση χρόνου στην παραγωγή. Ο χρόνος ανάπτυξης των ζυμών αποτελεί τον βέλτιστο χρόνο ανάμιξης για τις βέλτιστες ζύμες. Αυτή η παράμετρος, αξιοποιείται στη βιομηχανία των τροφίμων για την εξαγωγή αποτελεσματικότερου χρόνου ανάμιξης και για τη διαμόρφωση των κατάλληλων ρυθμίσεων, ενώ παράλληλα, διασφαλίζει σταθερότερη ποιότητα προϊόντος προσδιορίζοντας διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων ή καταστροφή στο άμυλο. Όσον αφορά στη σταθερότητα, όσο μεγαλύτερη η σταθερότητα, τόσο μεγαλύτερη η αντοχή της ζύμωσης και τόσο υψηλότερες οι δυνάμεις που απαιτούνται για την ανάπτυξη. Με βάση αυτή την παράμετρο πραγματοποιείται προσδιορισμός της πιο κερδοφόρας εφαρμογής με πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες της γλουτένης που περιέχεται στη ζύμη. Για το δείκτη μαλάκωσης, όσο πιο γρήγορη η αποδυνάμωση, τόσο μικρότερη είναι η ζύμωση και τόσο μικρότερη είναι η αντοχή του αλεύρου. Τέλος, όσο υψηλότερη είναι η παράμετρος F.Q.N., τόσο δυνατότερο το αλεύρι.

(<https://www.cwbrabender.com>)

Πίνακας 6. Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρων ρεβιθιών (Sabanis et al., 2006)

Δείγματα	Άλευρα ρεβιθιών (%)	Απορρόφηση Νερού (%)	Χρόνος Ανάπτυξης Ζυμών (min)	Σταθερότητα (min)	Δείκτης μαλακώματος (FU)
1	0	58,5 ± 0,3	4,0 ± 0,5	4,7 ± 0,2	79 ± 3
2	5	59,1 ± 0,6	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,3	80 ± 4
3	10	60,1 ± 0,6	5,0 ± 0,3	5,8 ± 0,3	79 ± 4
4	20	62,4 ± 0,9	5,5 ± 0,1	8,1 ± 0,6	77 ± 4
5	30	64,3 ± 0,8	5,8 ± 0,2	3,5 ± 0,6	95 ± 5
6	50	69,9 ± 0,7	6,5 ± 0,3	3,9 ± 0,3	93 ± 5

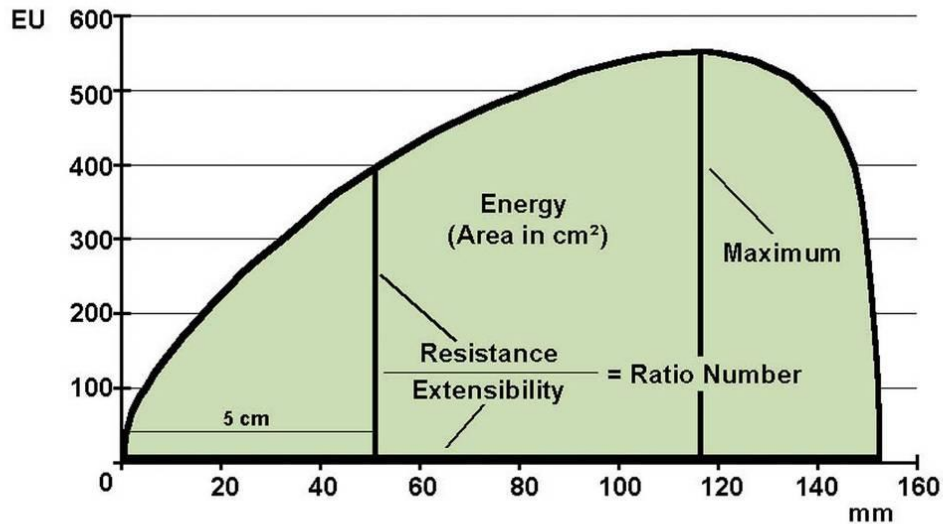
Πίνακας 7. Ποιοτικά χαρακτηριστικά αλεύρων ρεβιθιών (συνέχεια) (Sabanis et al., 2006)

Δείγματα	Άλευρα ρεβιθιών (%)	F.Q.N.	Επιμήκυνση (mm)	Αντίσταση (BU)	Ενέργεια (cm ²)
1	0	67±6	110±5	260±10	38±2
2	5	80±6	100±4	320±10	41±4
3	10	89±5	88±6	360±12	42±3
4	20	130±8	75±4	370±10	40±5
5	30	69±4	66±3	340±10	34±1
6	50	63±3	50±6	320±11	20±5

Το ισχυρό αλεύρι χαρακτηρίζεται από μεγάλο χρόνο ανάπτυξης, υψηλή σταθερότητα με μικρό βαθμό μαλακώματος και υψηλό F.Q.N., ενώ τα φτωχά άλευρα αποδυναμώνονται γρήγορα, με αποτέλεσμα χαμηλό αριθμό F.Q.N. Σε έως και 20% κ.β. ενσωμάτωση οσπρίου, το αλεύρι έγινε ισχυρότερο με υψηλή σταθερότητα και υψηλότερο F.Q.N. Είναι ευρέως γνωστό ότι οι πρωτεΐνες των οσπριοειδών αλεύρων αποτελούνται από αλβουμίνη και σφαιρίνη. Στο αλεύρι από ρεβίθια, οι φυτικές καζεΐνες είναι οι κύριες πρωτεΐνες αποθήκευσης. Οπότε, αρχίζει να σχηματίζεται ένα ευέλικτο δίκτυο, αλλά η ποιότητά του δεν είναι τόσο καλή όσο αυτή της πρωτεΐνης γλουτένης. Στα φαρινογραφήματα φαίνονται οι σημαντικότερες παράμετροι που μετρώνται από

έναν φαρινογράφο, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου ανάπτυξης, της σταθερότητας, του βαθμού μαλακώματος και του F.Q.N., καθώς και η απορρόφηση νερού μιας ζύμης. Μελέτη έδειξε ότι το εύρος της ζώνης του φαρινογράφου είναι ένας καλύτερος δείκτης της ποιότητας μαγειρέματος των ζυμαρικών από ότι είναι ο χρόνος ανάπτυξης ζύμης, η μέγιστη συνοχή ή ο δείκτης αντίστασης, επειδή δεν επηρεάστηκε τόσο από την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες όσο οι άλλες παράμετροι. Η μελέτη αυτή ανέφερε πως ο χρόνος ανάμιξης του φαρινογράφου έφτασε σε μια ελάχιστη τιμή περίπου 45% κ.β. απορρόφησης νερού και αυξήθηκε όταν η απορρόφηση αυξήθηκε ή μειώθηκε από αυτό το επίπεδο. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων των Sabanis et al. (2006), η ποσότητα προσρόφησης νερού που απαιτείται για να ισορροπήσει την καμπύλη του φαρινογράφου στη γραμμή 500 FU, αυξάνεται σταθερά με κάθε αύξηση του αλεύρου ρεβιθιών.

Στη βιομηχανία ο εξτενσιογράφος αποτελεί βασικό εργαλείο για την παραγωγή αλεύρου αναπαραγωγίμης ποιότητας, σύμφωνα με τη ζήτηση των καταναλωτών. Δίνει επίσης σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά ψησίματος της ζύμης. Εάν το εξτενσιογράφημα είναι επίπεδο και μακρύ, η ζύμη ρέει και εκτείνεται. Έτσι, εάν κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, η ζύμη εξασθενεί και τείνει να εξαπλωθεί, αυτό το αλεύρι είναι πιο κατάλληλο για ζυμαρικά. Από την άλλη πλευρά, εάν το εξτενσιογράφημα είναι υψηλό και χαμηλό, η ζύμη είναι σκληρή και με κακή εκτασιμότητα, το οποίο δεν αποτελεί ιδανικό χαρακτηριστικό για την παραγωγή προϊόντων ζυμαρικών. Στη μελέτη των Sabanis et al. (2006) τα εξτενσιογραφήματα έδειξαν ότι η επεκτασιμότητα μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού των αλεύρων ρεβιθιών. Καθώς το επίπεδο εμπλουτισμού με άλευρα ρεβιθιού αυξάνεται από 0 έως 20% κ.β. σημειώνεται μια αύξηση της αντίστασης, αλλά η περιοχή κάτω από την καμπύλη, η οποία συμβολίζει ενέργεια που απαιτείται για να υπερνικήσει την αντοχή της ζύμης μετά από 135 λεπτά δοκιμής, παραμένει η ίδια. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι η ζύμη είναι ακόμα ισχυρή και ελαστική, εύχρηστη και αποδίδει ζύμη με καλή υφή (Sabanis et al., 2006).



Εικόνα 13. Ενδεικτικό διάγραμμα εξτενσιογραφήματος (<https://www.brabender.com/>)

Παρόμοια αποτελέσματα αναδείχθηκαν στα εξτενσιογραφήματα των Doxastakis et al. (2007) για εμπλουτισμό με λούπινο. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνοντας το επίπεδο εμπλουτισμού από 0% σε 20%, οι ζύμες ήταν λιγότερο επεκτάσιμες, ενώ η περιοχή κάτωθεν της καμπύλης αυξήθηκε σημαντικά προσθέτοντας έως 5% λούπινο. Οι ζύμες των μιγμάτων αυτών παρέμειναν ισχυρές και ελαστικές. Ωστόσο, στα δείγματα λούπινου έως και 50%, η ζύμη έγινε πολύ αδύναμη, η σταθερότητα και ο χρόνος ανάπτυξης μειώθηκαν, όπως και η επεκτασιμότητα και η αντίσταση (Doxastakis et al. 2007). Για τα μίγματα αλεύρου από ρεβίθια περιεκτικότητας 30% και 50% κ.β., τα δεδομένα έδειξαν ότι η προκύπτουσα ζύμη έγινε πολύ ασθενής, η σταθερότητα μειώθηκε και ο βαθμός μαλακώματος αυξήθηκε. Επιπλέον, η απαιτούμενη ενέργεια για το χειρισμό της ζύμης και η αντίσταση που παρουσιάζει επίσης μειώθηκαν. Αυτό το αποτέλεσμα εξασθένησης αποδίδεται στην αραίωση της δομής της γλουτένης του σκληρού σίτου από την προστιθέμενη πρωτεΐνη των ρεβιθιών. Το αποτέλεσμα μπορεί επίσης να αποδοθεί στην παρουσία ανεπιθύμητων ενζύμων ή συστατικών στα άλευρα

των ρεβιθιών, τα οποία αλληλεπιδρούν έντονα με τις πρωτεΐνες της γλουτένης και έτσι αναστέλλουν την ανάπτυξη των επιθυμητών ρεολογικών χαρακτηριστικών. Το αλεύρι σκληρού σίτου έχει τη δυνατότητα να εμπλουτίζεται με 5 και 10% κ.β. αλεύρι ρεβιθιών και να εξακολουθεί να πληροί τις προδιαγραφές του προϊόντος, ακόμα και να βελτιώσει τις ρεολογικές ιδιότητες της ζύμης (Sabanis et al., 2006). Οι Bahnassey & Khan (1986) είχαν μελετήσει παλαιότερα τα φαινογραφικά χαρακτηριστικά εμπλουτισμένων ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων. Εξετάζοντας ζύμες από σιμιγδάλι με προστιθέμενα ψημένα και μη ψημένα άλευρα από φακές, λευκά και φασόλια πίντο σε αναλογίες 5, 10, 15, 20 και 25% κ.β., εξήγαγαν συμπεράσματα για την απορρόφηση νερού, τον χρόνο ανάπτυξης, τη μηχανική αντίσταση και τη σταθερότητα των ζυμών. Έτσι ο εμπλουτισμός αύξησε την απορρόφηση νερού σε όλα τα επίπεδα, εκτός από εκείνο των φασολιών πίντο, στα οποία παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση. Η αύξηση αυτή φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της υψηλότερης περιεκτικότητας πρωτεΐνης στα μίγματα των οσπρίων προκαλώντας υψηλότερη ικανότητα ενυδάτωσης της ζύμης. (Bahnassey & Khan, 1986)

Οι Doxastakis et al. (2007) σε έρευνα για λούπινο και οι Giménez et al. (2012) για κουκιά ισχυρίζονται πως η αύξηση της απορρόφησης νερού είναι αποτέλεσμα των διαλυτών πρωτεϊνών, με τους τελευταίους να αποδίδουν το φαινόμενο και σε άλλους παράγοντες όπως, η αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες και η ποσότητα του κατεστραμμένου αμύλου που μπορεί να υπάρχει από τη σύνθλιψη (Doxastakis et al., 2007; Giménez et al., 2012). Ωστόσο, αντίθετα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε μίγματα σιταριού-ρεβιθιών (Wood, 2009).



Εικόνα 14. Εξενσιογράφος - Brabender Extensograph-E (<https://www.brabender.com/en/food/products/rheometers/inspect-rheological-dough-properties-extensograph-e/>)



Εικόνα 15. Εξτενσιογράφος (Brabender Extensograph-E) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του (<https://www.brabender.com/en/food/products/rheometers/inspect-rheological-dough-properties-extensograph-e/>)

Γενικά, ο χρόνος ανάπτυξης και η σταθερότητα της ζύμης φάνηκε να είναι υψηλότερα για τα λευκά και πίντο φασόλια, σε αντίθεση με τα μίγματα που περιείχαν φακές, τα οποία δεν εμφάνισαν αντίστοιχα αποτελέσματα (Bahnassey & Khan, 1986). Κατά κύριο λόγο, τα φαρινογραφήματα έδειξαν πως ο χρόνος ανάπτυξης και η σταθερότητα της ζύμης μειώνονται καθώς αυξάνεται το ποσοστό υποκατάστασης με άλευρα οσπρίων (Sabanis et al., 2006; Doxastakis et al., 2007; Wood, 2009; Giménez et al., 2012; Tazart et al., 2016), ενώ παράλληλα αυξάνεται το μαλάκωμα, πιθανώς ως συνέπεια της αραίωσης της δομής της γλουτένης. (Giménez et al., 2012; Wood, 2009) Ο ανταγωνισμός για το νερό μεταξύ διαλυτών πρωτεϊνών και γλουτένης και η πιθανή πρωτεολυτική δράση θα μπορούσε επίσης να προκαλέσει μερική καταστροφή του πρωτεϊνικού δικτύου (Giménez et al., 2012). Επιπροσθέτως, τα ζυμάρια που ήταν εμπλουτισμένα με άλευρα λευκών και πίντο φασολιών έδειξαν μία μείωση στο δείκτη μηχανικής αντίστασης, κάτι το οποίο βελτιώνει την αντίσταση κατά την ανάμιξη (Bahnassey & Khan, 1986).

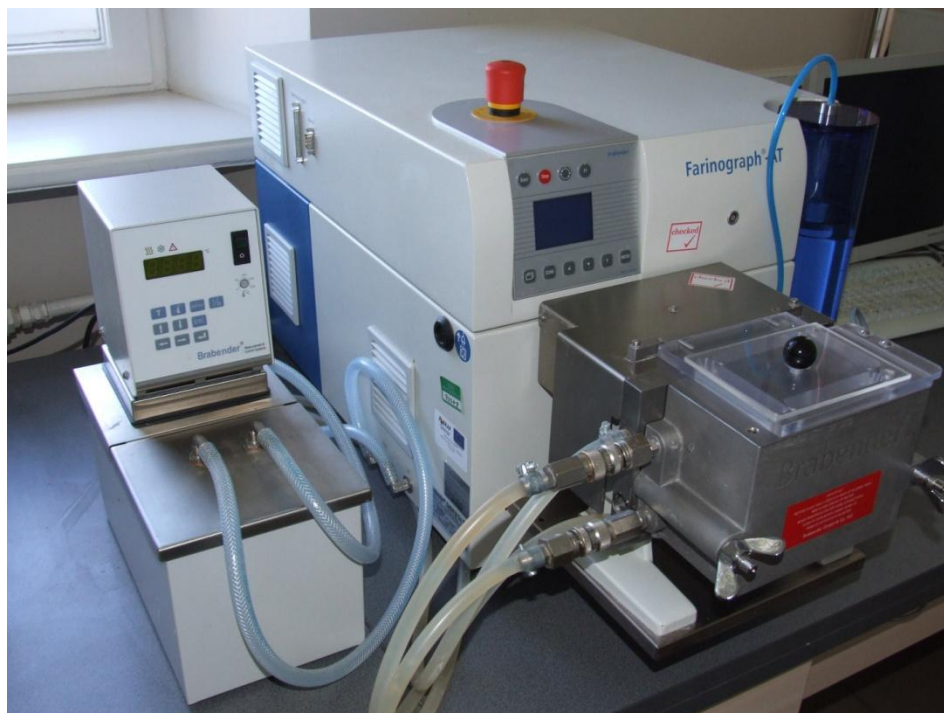
Η κολλώδης ζύμη αυξάνεται με το ποσοστό εμπλουτισμού και εμποδίζει ή ακόμη

και αποτρέπει την εξώθηση σε παρόμοια υγρασία με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για το δείγμα ελέγχου. Για να βελτιωθεί η ανάμιξη και η εξώθηση αυτών των μειγμάτων ήταν απαραίτητο να μειωθεί η υγρασία της ζύμης για να ληφθούν ζυμαρικά, σε αντίστροφη αναλογία με το επίπεδο αντικατάστασης. Το ίδιο πρόβλημα παρατηρήθηκε από τους Petitot et al. (2010), οι οποίοι χρησιμοποίησαν ποσοστό υγρασίας υψηλότερο από εκείνο στην εργασία των Giménez et al. (2012). Η έρευνα της Wood (2009) αντιμετώπισε τα ίδια προβλήματα στην εξώθηση των εμπλουτισμένων ζυμαρικών με ρεβίθια, αν και η ανάλυση του φαρινογραφήματος σχετικά με την απορρόφηση νερού έδειξε αντίθετη συμπεριφορά (Giménez et al., 2012).

Με την αύξηση του επιπέδου εμπλουτισμού των ζυμαρικών με άλευρα ρεβιθιών μειώθηκε σημαντικά (επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$) η απορρόφηση νερού και είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερους χρόνους ανάπτυξης και λιγότερο σταθερές ζύμες. Παρόμοιες τάσεις στις φαρινογραφικές ιδιότητες έχουν αναφερθεί στο παρελθόν για το σιτάρι, το οποίο συμπεριλάμβανε άλευρα οσπρίων ή συμπυκνώματα πρωτεϊνών τους. Πολλές από αυτές τις επιδράσεις μπορούν να αποδοθούν στην αποδυνάμωση της μήτρας της γλουτένης, λόγω της ενσωμάτωσης αλευριού ρεβιθιών, στο οποίο δεν περιέχεται γλουτένη. Οι πρωτεΐνες των ρεβιθιών αποτελούνται κυρίως από σφαιρίνες (53-60%) με μικρότερες συγκεντρώσεις αλβουμινών, προλαμινών και γλουτελινών. Ο εμπλουτισμός έκανε τα σωματίδια ζύμης όλο και πιο κολλώδη, αναγκάζοντάς τα να συσσωματωθούν κατά την ανάμιξη. Αυτό οδήγησε την εξώθηση για την παραγωγή των ζυμαρικών να γίνεται όλο και πιο δύσκολη. Για τον λόγο αυτόν, δεν πραγματοποιήθηκε παραγωγή ζυμαρικών με επίπεδο εμπλουτισμού πάνω από 30% κ.β.. Το αλεύρι ρεβιθιού περιέχει σημαντικά επίπεδα διαλυτών μη αμυλούχων πολυσακχαριτών, περίπου δέκα φορές υψηλότερα από εκείνα του αλεύρου σίτου για ψωμιά. Κατ' επέκταση, αυτό μπορεί να συνέβαλε στην αύξηση του κολλώδους. Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις και τις χαμηλότερες απορροφήσεις ύδατος των φαρινογραφημάτων των ζυμών με ρεβίθια, είναι πιθανό η μείωση της ποσότητας ύδατος που προστίθεται να βελτιώσει την ανάμιξη και την εξώθηση σε κάποιο βαθμό. (Wood, 2009)



Εικόνα 16. Φαρινογράφος - Brabender Farinograph E
(<https://www.brabender.com/en/food/products/rheometers/farinograph-e/>)



Εικόνα 17. Φαρινογράφος Farinograph - AT (<https://scientificservices.eu/id/item/5369/farinograph-R--at-version-12.html>)

Οι ρεολογικές ιδιότητες ζυμαρικών με άλευρα από φάβα και κουκιά αξιολογήθηκαν με δύο διαφορετικές δοκιμές. Μια δοκιμή συμπίεσης (ανάλυση προφίλ υφής) και μια δοκιμή εφελκυσμού. Η σκληρότητα, η ανθεκτικότητα και η συνοχή προέρχονται από την καμπύλη ανάλυσης προφίλ υφής. Η σκληρότητα αντιστοιχεί στη δύναμη που απαιτείται για τη συμπίεση των ζυμαρικών μεταξύ των δοντιών. Η ανθεκτικότητα αξιολογεί την ικανότητα του προϊόντος να ανακτήσει το αρχικό του σχήμα μετά την πρώτη συμπίεση. Η συνοχή αποτελεί την ικανότητα του υλικού να αντιστέκεται σε δύο διαδοχικές συμπίεσεις. Ο εμπλουτισμός των ζυμαρικών σκληρού σίτου με 35% αλεύρι από φάβα ή κουκιά αύξησε σημαντικά τη σκληρότητα των ζυμαρικών κατά 38% και 43% αντίστοιχα. Αυτό αποδόθηκε στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (αυξημένη κατά 20-40%) των εμπλουτισμένων ζυμαρικών και στη χαμηλότερη πρόσληψη νερού σε σύγκριση με τα ζυμαρικά σκληρού σίτου. Η προσθήκη αλεύρου οσπρίων στα ζυμαρικά δεν είχε καμία επίδραση στη συνοχή και μέτρια επίδραση στην ανθεκτικότητα. Πιο συγκεκριμένα, τα εμπλουτισμένα ζυμαρικά κουκιά είχαν ελαφρώς χαμηλότερη αντοχή σε σύγκριση με τα ζυμαρικά σκληρού σίτου. Από τη δοκιμή εφελκυσμού, η ενέργεια θραύσης των προϊόντων αυτών ήταν παρόμοια με αυτή στα ζυμαρικά σκληρού σίτου. Ωστόσο, τα ζυμαρικά φάβας παρουσίασαν πολύ χαμηλή ενέργεια θραύσης ($0,9 \cdot 10^5$ έναντι $3,7 \cdot 10^5 \text{ J}\cdot\text{m}^{-3}$ για ζυμαρικά σκληρού σίτου). Οι περιλαμβανόμενες ίνες από το άλευρο φάβας προκάλεσαν πιθανώς το σχηματισμό ασυνεχειών ή ρωγμών οι οποίες εξασθένησαν τη δομή των ζυμαρικών. Αναγνωρίζοντας τις προαναφερόμενες μελέτες των Bahnassey & Kahn (1986) και Zhao et al. (2005), οι Petitot et al. (2010) αναφέρουν επίσης ότι η ενίσχυση των ζυμαρικών με αλεύρι οσπρίων (λευκά φασόλια, φασόλια πίντο, φακές και αρακά) προκάλεσε αύξηση της σταθερότητας των ζυμαρικών, η οποία αντιπροσωπεύει την δύναμη κοπής που απαιτείται για να διεισδύσει στα ζυμαρικά το δοκίμιο (Petitot et al., 2010).

Το 2011 οι Sudha & Leelavathi μελετώντας τα φαινογραφικά χαρακτηριστικά ζυμαρικών με άλευρα αφυδατωμένων μπιζελιών παρατήρησαν πως η προσθήκη των αλεύρων αυτών σε όλες τις αναλογίες (0-30%) δεν επηρέασε τον χρόνο ανάπτυξης της ζύμης, όπου οι τιμές μέγιστης συνοχής μειώθηκαν σταδιακά από 550 FU σε 513 FU και οι τιμές δείκτη ανοχής ανάμειξης μειώθηκαν από 108 σε 52 FU. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στη διαφορά στο μέγεθος των σωματιδίων της φαρίνας και του αλεύρου

αφυδατωμένου μπιζελιού, καθώς επίσης και στην προσθήκη μη κολλώδους υλικού, το οποίο θα μπορούσε ενδεχομένως να μειώσει την αντοχή των πρωτεϊνών του σίτου (Sudha & Leelavathi, 2011).

Διερευνώντας τις ρεολογικές ιδιότητες μακαρονιών που εμπλουτίστηκαν με διαφορετικές συγκεντρώσεις αλεύρου μπιζελιού (5%, 10%, 15%) αξιολογήθηκε το ιξώδες των ζυμαρικών ως συνάρτηση του ρυθμού διάτμησης και των ρυθμών επιμήκυνσης, αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκαν ρεολογικές δοκιμές σε δείγματα ζύμης με συγκεντρώσεις αλεύρου μπιζελιού άνω του 15%, καθώς ήταν πολύ σκληρές και ακατάλληλες για αυτόν τον τύπο δοκιμής. Οι μελέτες έδειξαν πως η επέκταση είναι ανάλογη ενός ψευδοπλαστικού υλικού. Στην πραγματικότητα, οι τιμές ιξώδους μειώνονται με τους ρυθμούς διάτμησης και επέκτασης. Επίσης, φαίνεται ότι τα δείγματα μακαρονιών εμπλουτισμένα με αλεύρι μπιζελιού έδειξαν παρόμοιες τιμές ιξώδους σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Η προσθήκη υλικού χωρίς γλουτένη μείωσε την αντοχή της γλουτένης και πιθανώς εξασθένησε τη συνολική δομή των μακαρονιών. Είναι πιθανό η υψηλή υδροφιλικότητα του αλεύρου μπιζελιού να οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτές αλβουμίνες και αλατοδιαλυτές σφαιρίνες, αλλά και σε υδρόφιλες ίνες αλεύρων οσπρίων, συμφωνώντας όπως διαπιστώθηκε και με τα ευρήματα στην εργασία των Petitot et al. (2010). Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με εκείνα που λήφθηκαν από αισθητηριακές αναλύσεις και αναλύσεις της ποιότητας μαγειρέματος των δειγμάτων που πραγματοποιήθηκαν στα πειράματα των Padalino et al. (2013).

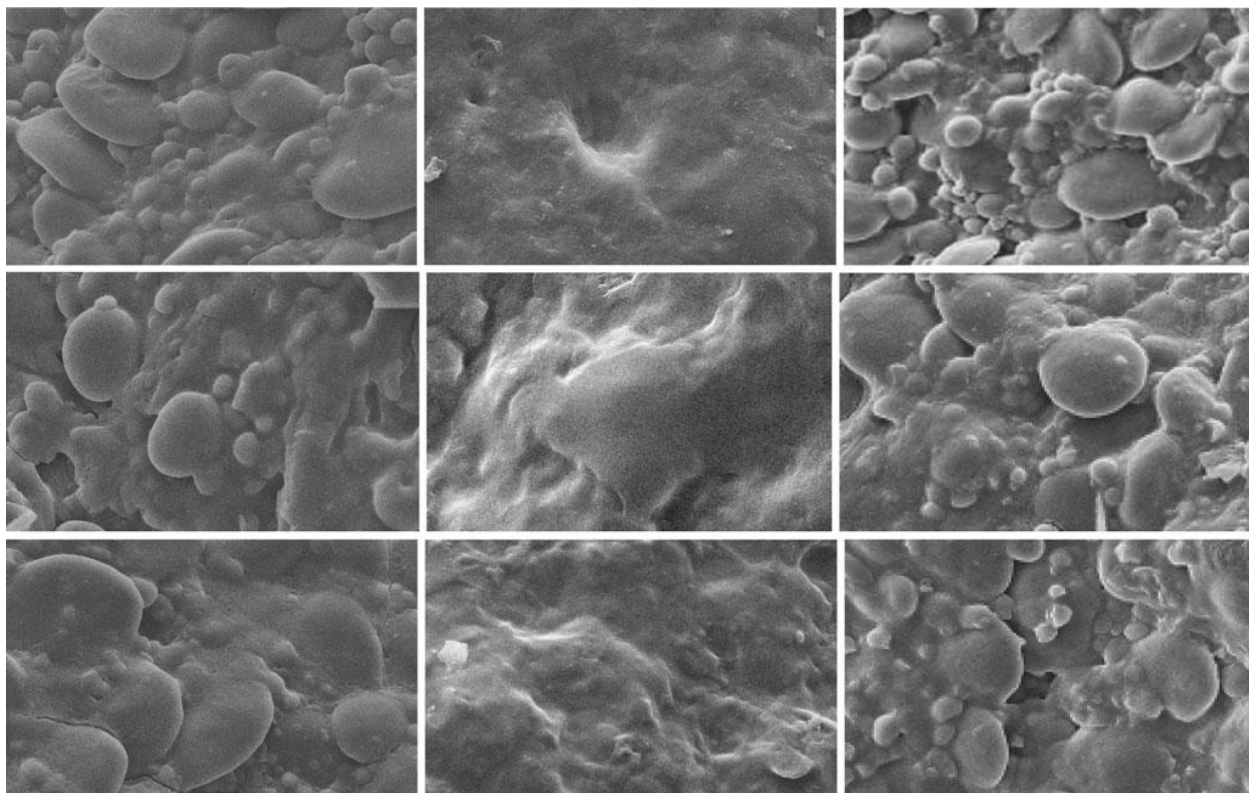
Τέλος, το χρώμα αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα ποιότητας που επηρεάζει σημαντικά την αποδοχή των καταναλωτών και είναι η μόνη ιδιότητα που ο καταναλωτής μπορεί να αξιολογήσει κατά την επιλογή ενός προϊόντος στην αγορά. Διερευνώντας τις ιδιότητες του χρώματος των φρέσκων ζυμαρικών εμπλουτισμένων με άλευρα κουκιών εξήχθησαν τα ακόλουθα αποτελέσματα σε μια σχετική εργασία των Tazart et al. (2016). Οι τιμές L, που υποδηλώνουν τη φωτεινότητα* δεν άλλαξαν σημαντικά μεταξύ των δειγμάτων ($p > 0,05$). Οι τιμές a^* ήταν αρνητικές για όλα τα δείγματα ζυμαρικών, υποδηλώνοντας μια τάση προς κόκκινο, και τα εμπλουτισμένα ζυμαρικά ήταν πιο κόκκινα από το δείγμα ελέγχου ανεξάρτητα από το επίπεδο εμπλουτισμού. Το κίτρινο μειώθηκε στα εμπλουτισμένα ζυμαρικά σε σύγκριση με τον

μάρτυρα. Αυτό οφειλόταν πιθανώς στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις καροτενοειδών χρωστικών ουσιών που εντοπίζονται στα κουκιά σε σύγκριση με το σιμιγδάλι σκληρού σίτου και την ύπαρξη άλλων χρωστικών, ιδίως των προανθοκυανιδινών. Τα εμπλουτισμένα ζυμαρικά επιπέδου 30% και 50%, ήταν πιο κοντά στο μάρτυρα στο κίτρινο, σε σχέση με τα ζυμαρικά, στα οποία έγινε υποκατάσταση με 10% αλεύρι από κουκιά (Tazart et al., 2016).

4.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την ξήρανση εμπλουτισμένων ζυμαρικών

Η μικροσκοπική εξέταση που έλαβε χώρα σε δείγματα αποξηραμένων ζυμαρικών (Εικ. 18) αποκάλυψε μια συμπαγή δομή με λίγους ορατούς κόκκους αμύλου βαθιά ενσωματωμένους στην πρωτεϊνική μήτρα (Sudha & Leelavathi, 2011). Ειδικότερα, ολόκληρη η επιφάνεια των ζυμαρικών φάνηκε να είναι επικαλυμμένη με λεπτή μεμβράνη πρωτεΐνης. Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) για ζυμαρικά που περιείχαν 30% αλεύρο αφυδατωμένου μπιζελιού έδειξαν ρωγμές και τα τυποποιημένα ζυμαρικά με πρόσθετα παρουσίασαν ομοιόμορφες ρωγμές, γεγονός που διευκόλυνε τη διείσδυση νερού κατά το μαγείρεμα. Σε άλλες φωτογραφίες μαγειρεμένων ζυμαρικών χωρίς τα αλεύρα οσπρίων βρέθηκε ότι οι κόκκοι ζελατινοποιημένου αμύλου παγιδεύτηκαν στο δίκτυο πρωτεϊνών. Στην περίπτωση των μαγειρεμένων ζυμαρικών εμπλουτισμένων με 30% αλεύρα μπιζελιών υπήρχαν ρωγμές, καθώς επίσης φάνηκε η μήτρα της γλουτένης να έχει διαταραχθεί (Sudha & Leelavathi, 2011).

Η αναλογία και το μέγεθος των κύριων πρωτεϊνών που περιέχονται στους κόκκους σιταριού και οσπρίων ποικίλλουν. Στο σιτάρι, οι πρωτεΐνες γλουτένης, δηλαδή οι προλαμίνες, είναι η κυρίαρχη ομάδα, που αντιπροσωπεύει το 80% της συνολικής πρωτεΐνης. Μία αύξηση της σταθερότητας των ζυμαρικών της τάξεως των 38% και 48% έχει παρατηρηθεί σε εμπλουτισμένα ζυμαρικά με 35% κουκιά ή φάβα και σε 100% ζυμαρικά κουκιών, αντίστοιχα. Ωστόσο, η σταθερότητα των ζυμαρικών από 100% φασολια χωρίς γλουτένη και των ζυμαρικών φακής ήταν ακόμη 2,3 και 1,7 φορές χαμηλότερη από τα ζυμαρικά χωρίς γλουτένη.



Εικόνα 18. Φωτογραφίες από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM) ξηρών ζυμαρικών (αριστερή στήλη), εξωτερικής επιφάνειας μαγειρεμένων ζυμαρικών (μεσαία στήλη), τομής μαγειρεμένων ζυμαρικών (δεξιά στήλη) - σε μεγέθυνση $\times 3000$. Πάνω γραμμή - αφυδατωμένο αλεύρι μπιζελιού (0 g / 100 g), μεσαία γραμμή - αφυδατωμένο αλεύρι μπιζελιού (30 g / 100 g), κάτω γραμμή - αφυδατωμένο αλεύρι μπιζελιού (30 g / 100 g) + πρόσθετα (Sudha & Leelavathi, 2011)

Οι Monnet et al. (2019) επίσης αναφέρουν πως ακόμα κι αν η περιεκτικότητα σε λυσίνη μειώνεται από τις αντιδράσεις Maillard που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας, είναι ακόμη υψηλότερη σε προϊόντα εμπλουτισμένα με όσπρια από ότι σε προϊόντα σίτου (21 mg/g πρωτεΐνης σε ζυμαρικά σίτου χαμηλής θερμοκρασίας και 33 mg/g πρωτεΐνη σε πολύ υψηλή θερμοκρασία σε μικτά ζυμαρικά φασολιών). Στα ζυμαρικά ο συνδυασμός της ενυδάτωσης 32% και της χαμηλής τάσης διάτμησης κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάμιξης μεταμορφώνει το σιμιγδάλι σε μια αμμώδη ζύμη, στην οποία τόσο το άμυλο όσο και οι πρωτεΐνες βρίσκονται σε ελαστική κατάσταση και δεν ανιχνεύεται κανένα δίκτυο γλουτένης. Μια κατεργασία σε χαμηλή θερμοκρασία (40-60 °C, με σχετική υγρασία 70-80%, για 18-28 ώρες) επιστρέφει την πρωτεΐνη και το άμυλο στην υαλώδη κατάσταση χωρίς να προκαλεί θερμοσκληρυνση της πρωτεΐνης. Αντίθετα, μια επεξεργασία υψηλής θερμοκρασίας (>84 °C / 74-90% σχετική υγρασία / 2-5 ώρες) επιτρέπει στις πρωτεΐνες γλουτένης να υποβάλλονται σε θερμοσκληρυνση πριν φτάσουν στην υαλώδη κατάσταση. Σε ζυμαρικά εμπλουτισμένα

με όσπρια 0% -100% τα οποία έχουν ξηρανθεί σε χαμηλή θερμοκρασία, το ποσοστό των πρωτεϊνών που συνδέονται με αδύναμους δεσμούς (υδρογόνου, υδρόφοβοι δεσμοί) και ομοιοπολικούς δεσμούς (κυρίως με δισουλφιδικούς δεσμούς) αυξήθηκε και μειώθηκε γραμμικά, αντίστοιχα (από 70% σε 94% και από 30% σε 5% αντιστοίχως στα ζυμαρικά σίτου φασολιών) που είναι εγγενή στη μικρότερη ποσότητα καταλοίπων κυστεΐνης σε πρωτεΐνες οσπρίων. Όταν ξηράνθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία, αυτές οι διαφορές μεταξύ των εμπλουτισμένων οσπρίων και των ζυμαρικών σίτου παρέμειναν, λόγω της σύνθεσής τους. Η πλήρης ζελατινοποίηση του θερμοσκληρυνόμενου αμύλου πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια του τελικού σταδίου μαγειρέματος σε βραστό νερό και σε υψηλότερες θερμοκρασίες όταν ενσωματωθεί το αλεύρι οσπρίων. Τα έτοιμα για κατανάλωση ζυμαρικά είναι μαλακά και ιξωδοελαστικά. Η μικροσκοπική δομή τους χαρακτηρίζεται από διογκωμένους κόκκους αμύλου που συγκρατούνται σε ένα συμπαγές και ελάχιστο πορώδες δίκτυο πρωτεϊνών (Monnet et al., 2019).

Στην τυπική επεξεργασία ζυμαρικών σίτου, η ξήρανση προάγει τη συσσωμάτωση πρωτεϊνικών πολυμερών μέσω δισουλφιδικών δεσμών, οδηγώντας στον σχηματισμό μεγαλύτερων συσσωματωμάτων πρωτεΐνης (Petitot et al., 2010; Monnet et al., 2019). Η έκταση της συσσωμάτωσης πρωτεΐνης εξαρτάται από τη θερμοκρασία ξήρανσης (55 °C έναντι των 90 °C). Σε χαμηλή θερμοκρασία ξήρανσης (55 °C), καθώς δεν υπάρχει θερμοσκληρυντική πρωτεΐνη σίτου ή οσπρίου, η ενσωμάτωση του αλεύρου οσπρίων δεν έχει άλλη επίδραση από την αραίωση γλουτένης. Το πρόγραμμα χαμηλής θερμοκρασίας ξήρανσης δεν παρέχει τις σωστές συνθήκες για την αλληλεπίδραση των πρωτεϊνών οσπρίων ομοιοπολικά ή με γλουτένη μέσω δισουλφιδικών δεσμών. Σε υψηλότερη θερμοκρασία ξήρανσης (90 °C) μπορούν να δημιουργηθούν επιπρόσθετοι ομοιοπολικοί δεσμοί (κυρίως δισουλφιδικοί, ισοπεπτιδικοί ή προϊόντα της αντίδρασης Maillard) που συμπεριλαμβάνονται τόσο στις πρωτεΐνες του σιταριού, όσο και στις πρωτεΐνες των οσπρίων. Ένα ποσοστό μεταξύ 35% και 100% ζυμαρικών από κουκιά που ξηράνθηκαν σε πολύ υψηλή θερμοκρασία παρουσίασε λιγότερες αλληλεπιδράσεις ομοιοπολικής πρωτεΐνης από τα ζυμαρικά σίτου. Ωστόσο, η αύξηση των ομοιοπολικών συνδεδεμένων πρωτεϊνών σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες έναντι χαμηλών θερμοκρασιών ξήρανσης ήταν μεγαλύτερη όταν η ποσότητα των πρωτεϊνών των κουκιών αυξήθηκε από 0% σε 100%, δείχνοντας ότι η πολύ υψηλή θερμοκρασία

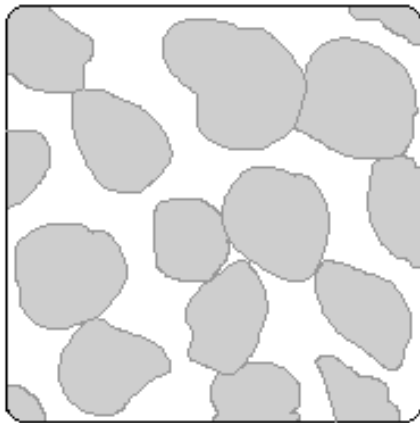
ξήρανσης επιτρέπει επιπλέον αντιδραστικότητα των πρωτεϊνών του συγκεκριμένου οσπρίου.

Αξιοποιώντας και τα αποτελέσματά τους πάνω σε μελέτες κατά το μαγείρεμα, οι Monnet et al. (2019) εξήγαγαν το συμπέρασμα πως η ξήρανση των ζυμαρικών σε υψηλή θερμοκρασία μπορεί να βοηθήσει στην εξουδετέρωση των απωλειών μάζας κατά το μαγείρεμα, ιδίως αυξάνοντας την αναλογία πρωτεϊνών που συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς στο δίκτυο πρωτεϊνών ζυμαρικών. (Monnet et al., 2019)

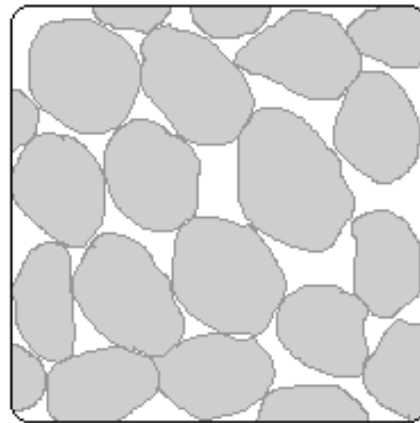
Ως πορώδες ενός υλικού νοείται το ποσοστό του κενού χώρου που βρίσκεται ανάμεσα στο υλικό. Παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 ή χρησιμοποιείται η εκατοστιαία αναλογία αντιστοίχως. Η Εικόνα 19 αναπαριστά στο a μια εικόνα υψηλού πορώδους και στο b μία εικόνα χαμηλού πορώδους, οι οποίες βοηθούν στην εύκολη κατανόηση του.

Έτσι, ανάλυση που διεξήχθη ως προς το πορώδες σε ζυμαρικά από φάβα και κουκιά που ξηράνθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία έδειξε ότι παρουσίασαν χαμηλό πορώδες (~5%), με ένα σημαντικό κλάσμα μεσοπόρων (~80%) και ένα μικρό κλάσμα μακροπόρων (~20%). Η εφαρμογή ξήρανσης υπερυψηλής θερμοκρασίας σε συνδυασμό με χαμηλή υγρασία, ή η εφαρμογή προμαγειρέματος δεν επηρέασε το συνολικό πορώδες και των δύο ζυμαρικών οσπρίων.

Σύμφωνα με τους Petitot & Micard (2010), τα αποτελέσματά τους, έδειξαν ότι η θερμοκρασία που εφαρμόστηκε κατά την ξήρανση δεν είχε μεγάλη επίδραση στο συνολικό πορώδες των ζυμαρικών. Η δομή των ζυμαρικών παρέμεινε πολύ πυκνή και συμπαγής. Ωστόσο, παρατηρήθηκε μια μικρή αλλαγή στην κατανομή μεγέθους πόρων. δηλαδή υψηλότερη ποσότητα μεσοπόρων (90%) και χαμηλότερη ποσότητα μακροπόρων (10%). Αντίθετα, η λυοφιλίωση αύξησε το συνολικό πορώδες των ζυμαρικών (14% και 14,9% για τα ζυμαρικά κουκιών και φάβας, αντίστοιχα) αυξάνοντας την ποσότητα των μακροπόρων (80%) εις βάρος των μεσοπόρων (20%). Όπως αναμενόταν η λυοφιλίωση είχε σαν αποτέλεσμα πορώδη δομή, ενώ η ξήρανση με θερμό αέρα οδήγησε σε πυκνή δομή. (Petitot & Micard, 2010)



a) High porosity



b) Low porosity

Εικόνα 19. Επεξηγηματικές εικόνες κατανόησης πορώδους. a) Υψηλό πορώδες, b) Χαμηλό πορώδες (<https://www.researchgate.net/profile/Mikael-Hoeoek/publication/277983025/figure/fig7/AS:669494452187139@1536631324251/Simplified-examples-of-materials-with-high-and-low-porosity-Rocks-with-high-porosity.ppm>)

Οι Mercier et al. (2011) αναφέρουν πως ο εμπλουτισμός είχε μικρό αντίκτυπο στις ιδιότητες των ξηραμένων ζυμαρικών. Παράλληλα, αναφέρουν πως δε βρέθηκαν σημαντικές διαφορές ως προς την πυκνότητα, την ακτίνα των ζυμαρικών και το πορώδες τους ως συνάρτηση του επιπέδου εμπλουτισμού. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας ξήρανσης. Η ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία προκάλεσε την παραγωγή πυκνότερων ($P < 0,05$) και χαμηλότερου πορώδους ($P < 0,01$) ζυμαρικών, προφανώς λόγω αυξημένης συρρίκνωσης που συνέβαινε κατά τη διαδικασία. Η ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία προκαλεί επίσης αύξηση της συρρίκνωσης στην περίπτωση τήξης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στην υψηλή θερμοκρασία η υαλώδης μετάβαση θα συνέβαινε σε χαμηλότερη περιεκτικότητα υγρασίας. Δεδομένου ότι η συρρίκνωση μπορεί να είναι λιγότερο σημαντική όταν βρίσκεται σε υαλώδη κατάσταση, αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη απώλεια όγκου σε υψηλή θερμοκρασία. Τα ζυμαρικά που ξηράθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία ήταν κατά μέσο όρο 6% λιγότερο πορώδη από τα ζυμαρικά που είχαν ξηραθεί σε χαμηλή θερμοκρασία. Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί η ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία έχει συσχετιστεί με την παραγωγή ζυμαρικών με μεγαλύτερη αντοχή στο σπάσιμο. Στην ερευνά τους επίσης οι Mercier et al., (2010) αναφέρουν ότι το πορώδες έχει θετική επίδραση στον συντελεστή διάχυσης υγρασίας των ζυμαρικών, κατά τη διάρκεια του

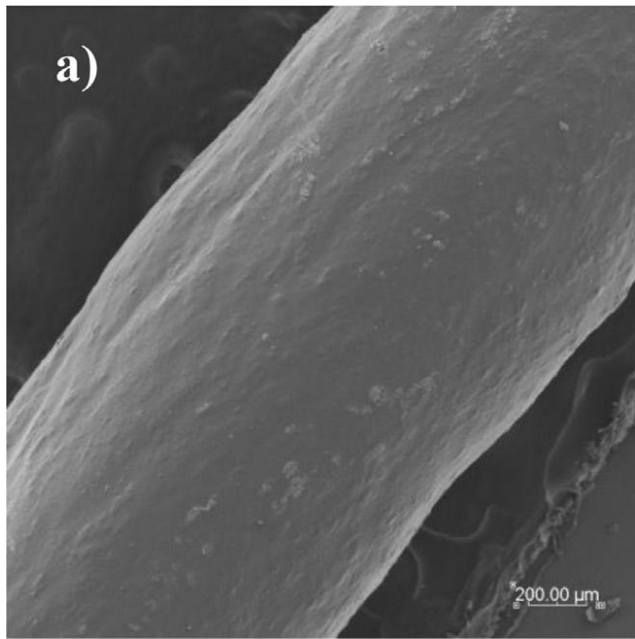
βρασμού. Ωστόσο, το εσωτερικό πορώδες θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην αποτελεσματική διάχυση υγρασίας των ζυμαρικών από το εξωτερικό πορώδες γιατί, ενώ το εξωτερικό πορώδες προκαλεί αύξηση της διαθέσιμης επιφάνειας, η εξωτερική αντίσταση των ζυμαρικών στην αφυδάτωση έχει αποδειχθεί αμελητέα. Στην παρούσα μελέτη, τα ζυμαρικά που αποξηράνθηκαν σε υψηλή θερμοκρασία (90 °C) παρουσίασαν υψηλότερο εσωτερικό πορώδες, παρόλο που ήταν συνολικά λιγότερο πορώδη.

Επίσης, στην ίδια εργασία επιτεύχθηκε χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία ισορροπίας στην περίπτωση που η ξήρανση πραγματοποιήθηκε σε υψηλή θερμοκρασία. Ωστόσο, αυτές οι διαφορές δεν αντιστάθμισαν την αύξηση της συρρίκνωσης που συνέβη κατά την ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία, αφού ένα μικρότερο κλάσμα του νερού που χάθηκε αντικαταστάθηκε από τον αέρα στην ξήρανση υψηλής θερμοκρασίας. Από αυτό προκύπτει ότι εξαρτάται από τις συνθήκες ξήρανσης. Το κλάσμα του νερού που χάθηκε και αντικαταστάθηκε από αέρα ήταν μεταξύ 0 και 1, υποδεικνύοντας την παρουσία συρρίκνωσης, αλλά και την απουσία της κατάρρευσης. Στην περίπτωση που η ξήρανση έλαβε χώρα σε χαμηλή θερμοκρασία, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ εμπλουτισμένων και μη εμπλουτισμένων ζυμαρικών. Στους 80 °C, επιτεύχθηκαν υψηλότεροι συντελεστές διάχυσης υγρασίας για ζυμαρικά εμπλουτισμένα με συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού σε επίπεδο 5 ή 10 g/100 g-ξηρής ύλης, αλλά όχι σε 15 g/100g-ξηρής ύλης. Είναι πιθανό ότι η προσθήκη πρωτεϊνών έχει διπλή επίδραση στην κινητική ξήρανσης των ζυμαρικών. Θα μπορούσε να προκαλέσει μια τάση αύξησης του πορώδους των ζυμαρικών, η οποία έχει παρατηρηθεί ότι επηρεάζει θετικά τον D_{eff} (συντελεστής διάχυσης υγρασίας). Ταυτόχρονα, θα μπορούσε να αυξήσει την ικανότητα δέσμευσης του νερού των ζυμαρικών, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά την αφυδάτωση. Πράγματι, η ικανότητα συγκράτησης νερού έχει αναφερθεί ότι είναι υψηλότερη στη ζύμη που αποτελείται από σκληρό αλεύρι σίτου ή σιμιγδάλι εμπλουτισμένο σε πρωτεΐνη. Όπως παρατηρήθηκε προηγουμένως, η υψηλή θερμοκρασία ξήρανσης προκαλεί αύξηση της διαχυτότητας της υγρασίας (Mercier et al., 2011).

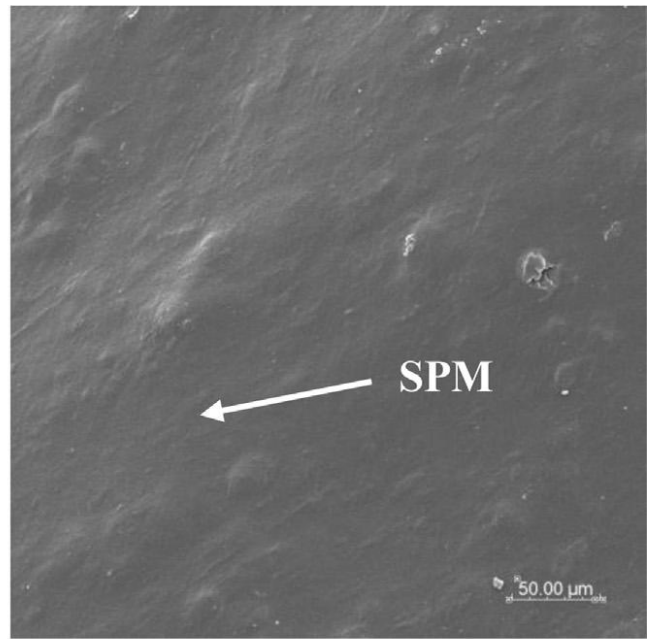
Οι Mercier et al. (2011) κατέληξαν στο ότι η περιεκτικότητα υγρασίας, η πυκνότητα, η συρρίκνωση, το πορώδες και οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας

συνδέθηκαν μέσω θεωρητικών εξισώσεων. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθεί η συμπεριφορά των ιδιοτήτων ως συνάρτηση του χρόνου ξήρανσης. Η θερμοκρασία ξήρανσης φάνηκε να έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στις ιδιότητες των φρέσκων και αποξηραμένων ζυμαρικών σε σύγκριση με τον εμπλουτισμό με συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελιού. Η ξήρανση σε υψηλή θερμοκρασία προκάλεσε την παραγωγή πυκνότερων ζυμαρικών, η οποία θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα υψηλότερης ακτινικής και ολικής συρρίκνωσης. Τα ζυμαρικά που ξηράθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία ήταν συνολικά πιο πορώδη, αλλά είχαν μικρότερο εσωτερικό πορώδες. Οι συντελεστές διάχυσης της υγρασίας των ζυμαρικών που ξηράθηκαν στους 80 °C ήταν υψηλότεροι για 5 και 10 g/100 g-ξηράς ύλης συμπυκνώματος πρωτεΐνης μπιζελιού σε σύγκριση με το δείγμα ελέγχου. Η μεταβολή των μελετημένων ιδιοτήτων είναι ταχύτερη στην αρχή της ξήρανσης, όταν η ταχύτητα αφυδάτωσης είναι μεγαλύτερη. Η επίδραση αυτών των ιδιοτήτων στην ποιότητα μαγειρέματος ζυμαρικών είναι προς το παρόν υπό διερεύνηση. (Mercier et al., 2011)

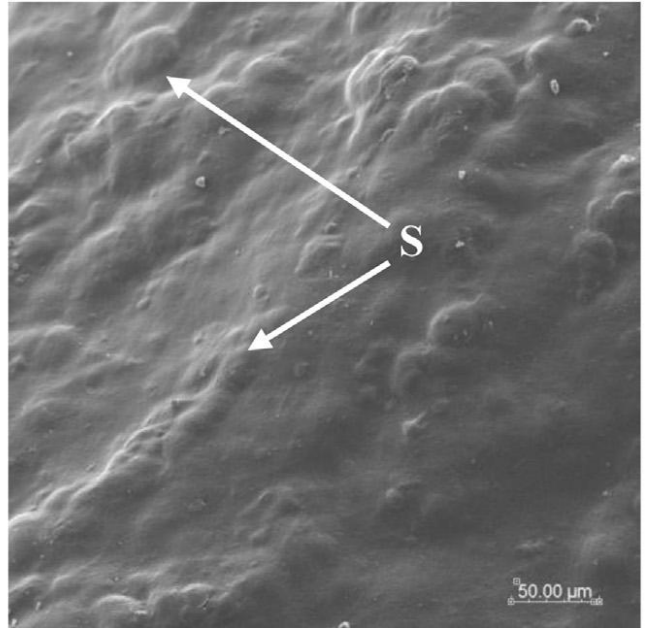
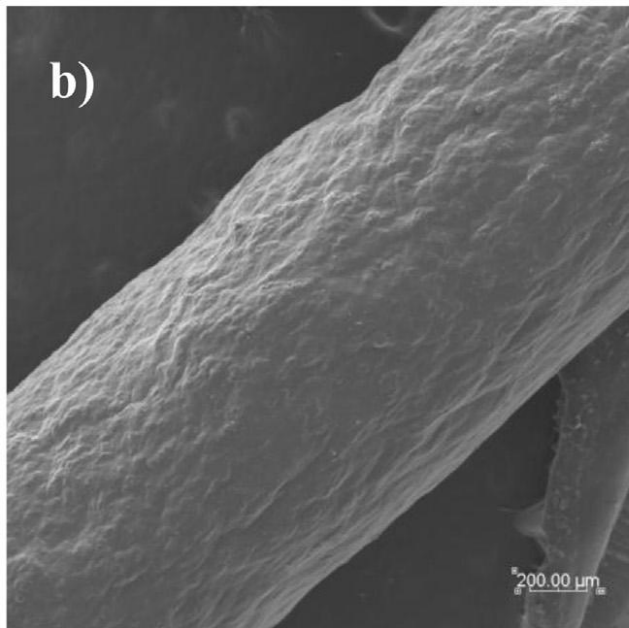
Όσον αφορά στη μικροδομή των αποξηραμένων ζυμαρικών, η ποσότητα και ο τύπος του αλεύρου οσπρίων επηρέασε την επιφάνεια και τη μικροδομή των προϊόντων ζυμαρικών. Παρατηρήθηκε μια λεία και συμπαγής επιφάνεια σε ζυμαρικά που περιείχαν 20 g/100 g λευκού φασολιού (Εικ. 20). Η προσθήκη 40 g/100 g αλεύρι οσπρίων επηρέασε αρνητικά τη μικροδομή της επιφάνειας, καθότι τα προϊόντα έλαβαν χαμηλότερες βαθμολογίες για εμφάνιση κατά τη διάρκεια της οργανοληπτικής αξιολόγησης. Η εξέταση της τομής αποκάλυψε μια πυκνή συμπαγή δομή, εκτός από προϊόντα με 40 g/100 g λευκού φασολιού, όπου παρατηρήθηκε σύμπλοκο αμύλου-πρωτεΐνης (Εικ. 21). Τα ζυμαρικά που ήταν εμπλουτισμένα με άλευρο κίτρινου μπιζελιού είχαν κυματοειδή επιφάνεια και ορατούς κόκκους αμύλου στα εξωτερικά στρώματα των ζυμαρικών, ειδικά σε επίπεδο 40 g/100 g (Εικ. 22).



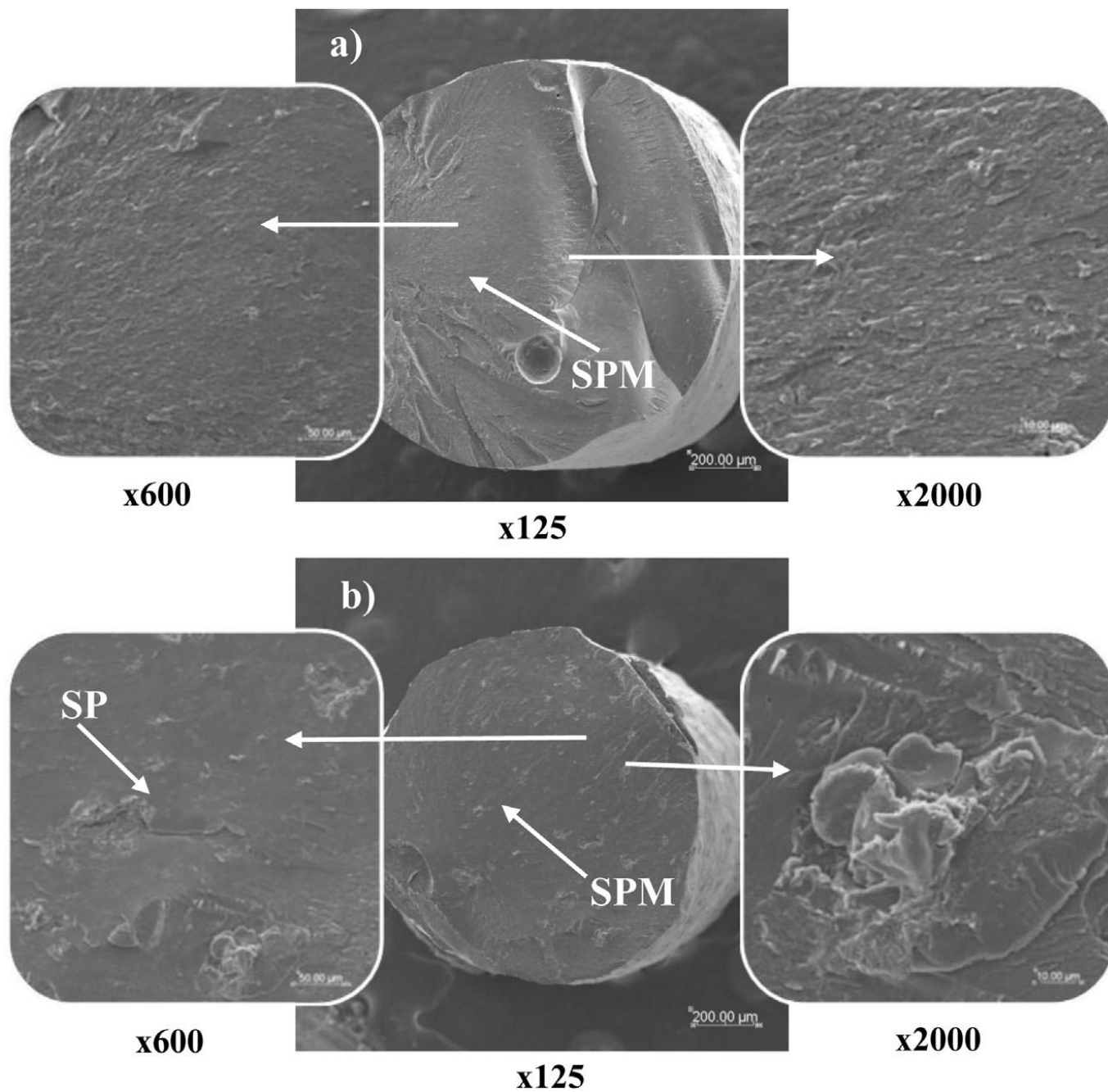
x100



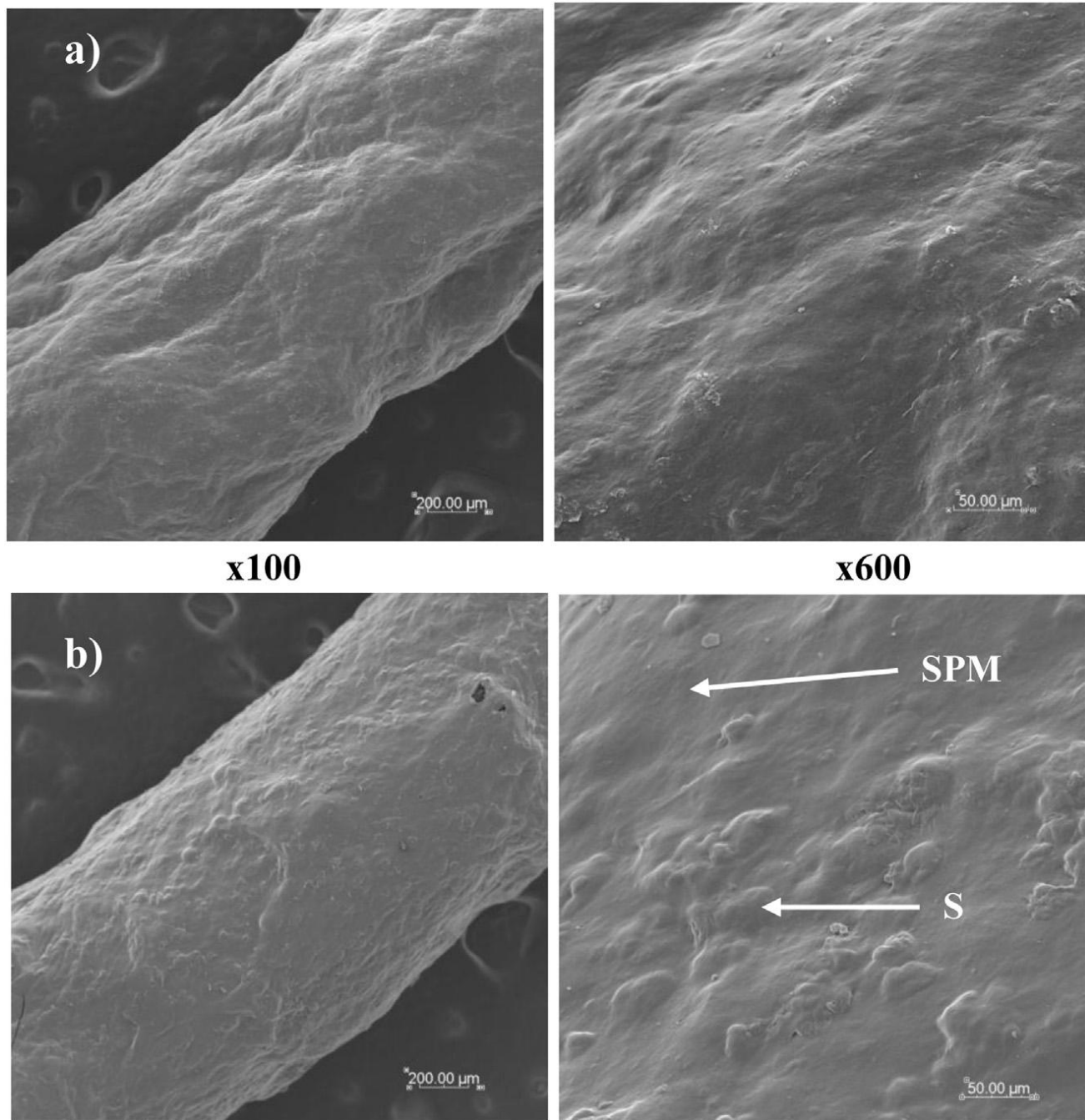
x600



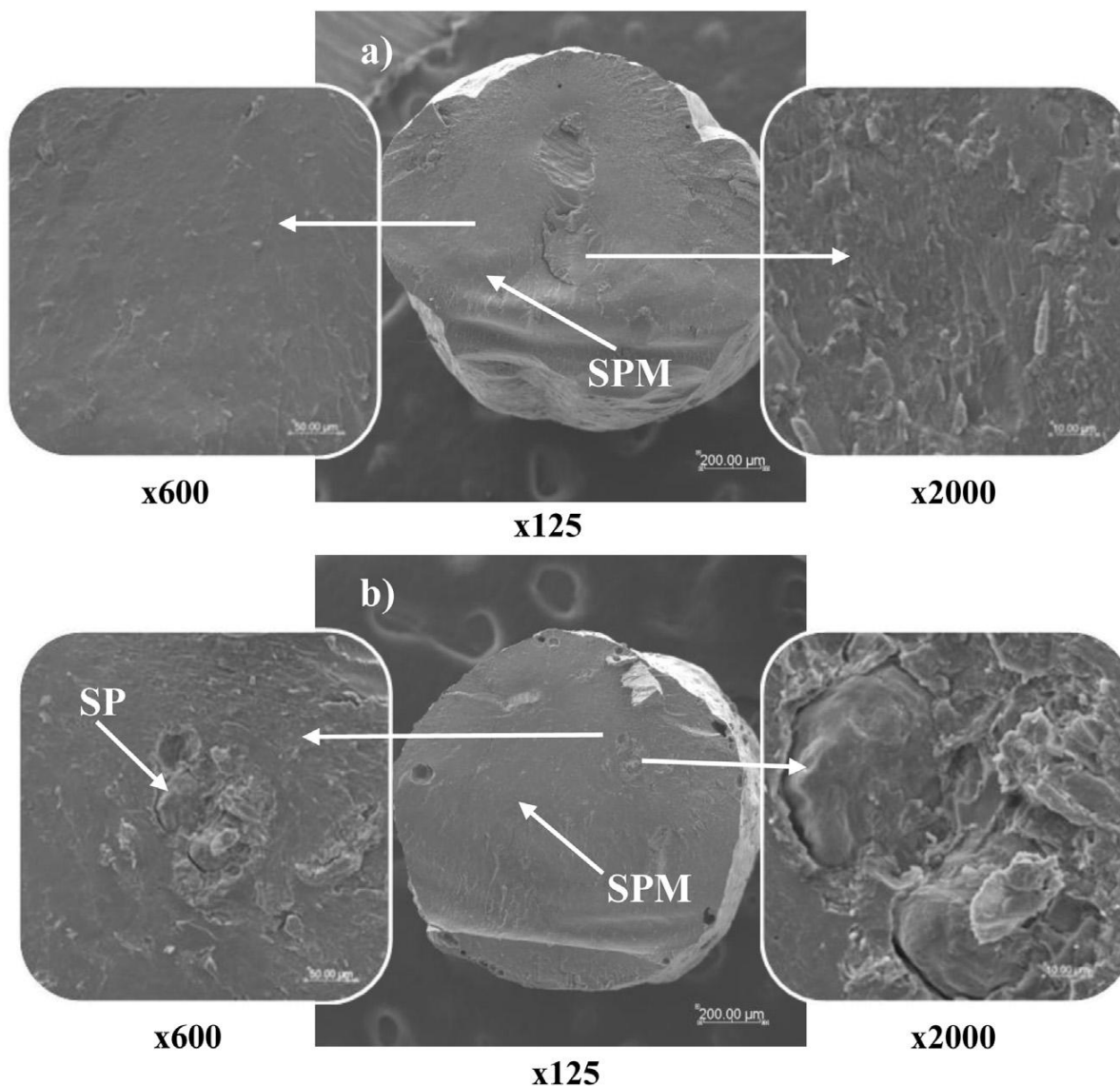
Εικόνα 20. Επιφάνεια ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη λευκού φασολιού: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, S-άμυλο. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)



Εικόνα 21. Τομή ζυμαρικών εμπλουτισμένων με λευκό φασόλι: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, SP-αμυλοπρωτεΐνη (Wójtowicz & Mościcki, 2014)



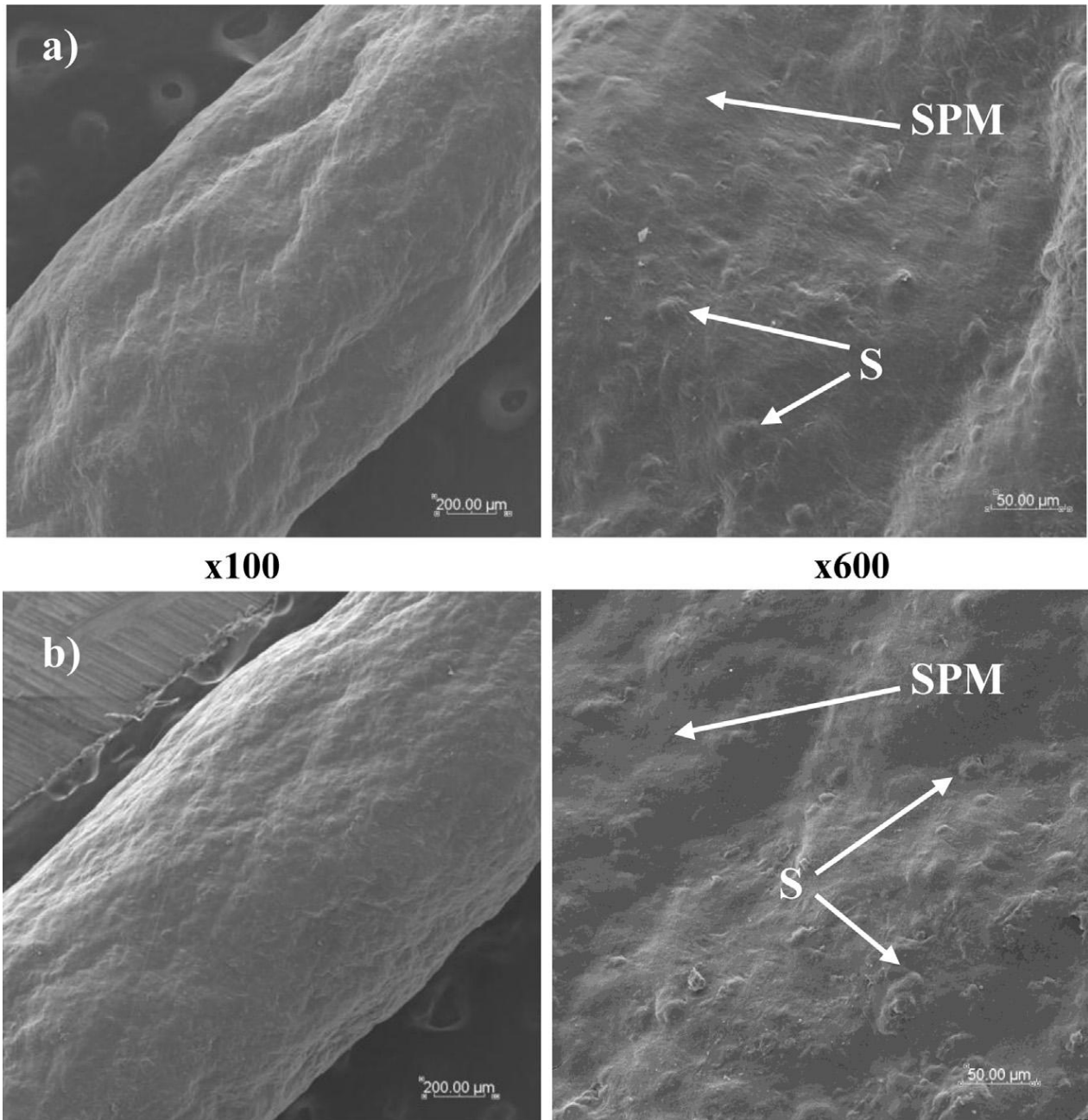
Εικόνα 20. Επιφάνεια ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη κίτρινου μπιζελιού: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, S-άμυλο. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)



Εικόνα 21. Τομή ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη κίτρινου μπιζελιού: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g, με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλο-πρωτεϊνική μήτρα, SP-αμυλοπρωτεΐνη (Wójtowicz & Mościcki, 2014)

Τα προϊόντα που περιείχαν 40 g/100 g κίτρινου μπιζελιού είχαν συμπαγή δομή τομής, με το σύμπλοκο αμύλου-πρωτεΐνης να είναι ορατό σε μεγάλη μεγέθυνση (Εικ. 23). Τα ζυμαρικά που εμπλουτίστηκαν με αλεύρι φακής είχαν μια τραχιά και κυματοειδή επιφάνεια με κόκκους αμύλου στα εξωτερικά στρώματα, ανεξάρτητα από την ποσότητα του αλεύρου φακής (Εικ. 24). Σωματίδια αλεσμένων σπόρων φακής σφικτά συνδεδεμένα σε μήτρα αμύλου-πρωτεΐνης που σχηματίστηκαν με εξώθηση παρατηρήθηκαν σε δείγματα τομής εμπλουτισμένων ζυμαρικών (Εικ. 25). Ήταν όμως εμφανή κενά διαστήματα σε προϊόντα που περιείχαν 40 g/100 g αλεύρου φακής (Εικ.

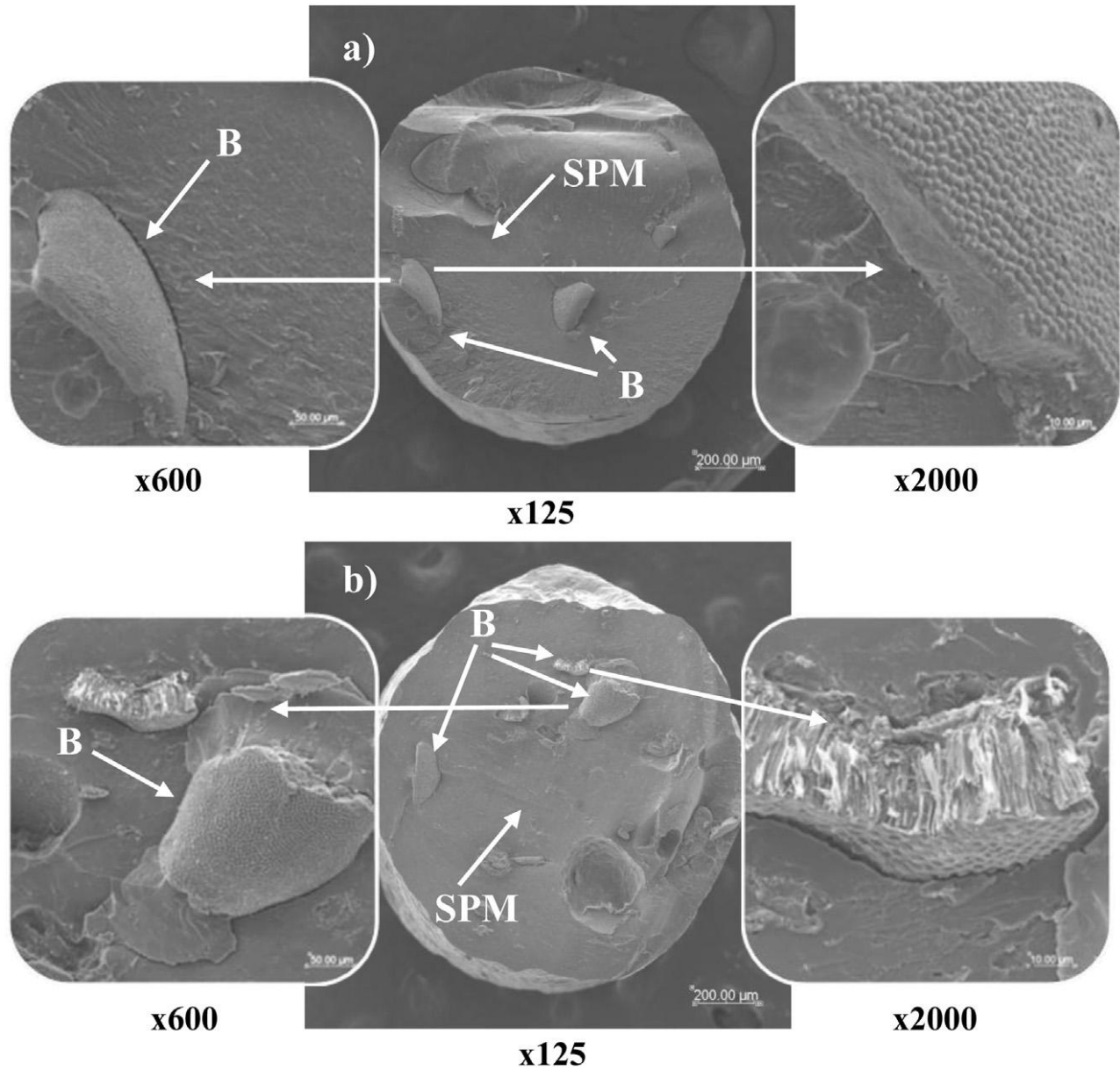
25β).



Εικόνα 22. Επιφάνεια ζυμαρικών εμπλουτισμένων με προσθήκη φακής: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, S-άμυλο. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)

Η δομή των ζυμαρικών εξαρτάται από τις συνθήκες επεξεργασίας και τον τύπο των ζυμαρικών. Για μακαρόνια που αποξηράνθηκαν στους 85 °C αναφέρθηκαν πολλοί ορατοί μη ζελατινοποιημένοι κόκκοι αμύλου στην επιφάνεια και την τομή των ζυμαρικών. Επίσης, με βάση τη μικροδομή φρέσκων εξωθημένων ζυμαρικών με

συμβατική πρέσα ζυμαρικών, οι κόκκοι αμύλου εντός των ζυμαρικών ήταν ακανόνιστοι σε μέγεθος και σχήμα και φαινόταν να είναι ελαφρώς διογκωμένοι. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)



Εικόνα 23. Τομή ζυμαρικών εμπλουτισμένων με φακές: α) 20 g/100 g, β) 40 g/100 g, με διαφορετικές μεγεθύνσεις. Σημειώσεις: SPM-αμυλοπρωτεϊνική μήτρα, Β-φακές. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)

4.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά εμπλουτισμένων ζυμαρικών κατά την υγροθερμική επεξεργασία

4.3.1 Ποιοτικά χαρακτηριστικά μαγειρεμένων προϊόντων

Αναφορικά με την ποιότητα κατά το μαγείρεμα των εμπλουτισμένων ζυμαρικών με άλευρα μπιζελιού, τα ζυμαρικά ελέγχου είχαν βάρος μετά τη διαδικασία του μαγειρέματος 320,8 g/100 g. Με αύξηση του αλεύρου αφυδατωμένου αρακά από 0% σε 30%, το βάρος μαγειρέματος αυξήθηκε στα 332,9 g/100 g. Το υψηλότερο βάρος μαγειρεμένου προϊόντος μπορεί να οφείλεται στην υψηλότερη ικανότητα διόγκωσης του αμύλου του αλεύρου. Η αυξημένη απορρόφηση νερού θα μπορούσε επίσης να οφείλεται στη φύση της αλληλεπίδρασης του αμύλου των οσπρίων με τις φυτικές ίνες και τις πρωτεΐνες. Έχει πραγματοποιηθεί συσχέτιση μεταξύ της απώλειας μάζας κατά το μαγείρεμα, με τα χαρακτηριστικά κολλητικότητας του αμύλου και την ποιότητα της πρωτεΐνης. Παρατηρήθηκε ότι με την αύξηση του αλεύρου αφυδατωμένου αρακά στο μίγμα, η απώλεια μάζας κατά το μαγείρεμα αυξήθηκε επίσης από 5,0 σε 8,16%. Οι Zhao et al. (2005) ανέφεραν ότι βάρος μαγειρεμένων μακαρονιών δεν επηρεάστηκε σημαντικά, αλλά σε σύγκριση με άλλους συγγραφείς, ήταν μικρότερο. Σε σχέση με τη μελέτη των Bahnassey & Khan (1985), το βάρος ήταν μικρότερο (από 8,1% σε 8,7%) κι η σκληρότητα εμφανιζόταν να είναι χαμηλότερη (Zhao et al., 2005). Η απώλεια μάζας κατά το μαγείρεμα αυξήθηκε με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άλευρα οσπρίων. Οι Nielsen et al. (1980), ενώ μελετούσαν την ενίσχυση των ζυμαρικών είτε με αλεύρι μπιζελιού, είτε με συμπύκνωμα μπιζελιού στο 33% και 20% αντίστοιχα διαπίστωσαν αύξηση της απώλειας μάζας κατά το μαγείρεμα. Ο εμπλουτισμός των μακαρονιών με όσπρια πραγματοποιήθηκε επίσης από τους Bahnassey και Khan (1985) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η απώλεια λόγω μαγειρέματος των ενισχυμένων μακαρονιών αυξήθηκε με την αύξηση του επιπέδου υποκατάστασης. Με την προσθήκη αλεύρου αφυδατωμένου αρακά, οι τιμές σκληρότητας μειώθηκαν από 104 σε 75 g (Sudha & Leelavathi, 2011).

Οι Petitot et al. (2010) σημειώνουν πως ο εμπλουτισμός των ζυμαρικών με 35% αλεύρι οσπρίων μείωσε τον βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος των ζυμαρικών που ξηράνθηκαν σε χαμηλή θερμοκρασία (από 9,3 min για ζυμαρικά σκληρού σίτου σε 8,5 min για ζυμαρικά από κουκιά και σε 8,7 min για ζυμαρικά από φάβα). Αυτή η μείωση

του χρόνου μαγειρέματος συνοδεύτηκε από χαμηλότερη πρόσληψη νερού (192% για ζυμαρικά σκληρού σίτου έναντι 166% για ζυμαρικά φάβας και κουκιών) και υψηλότερες απώλειες κατά το μαγείρεμα (5,6% για ζυμαρικά σκληρού σίτου έναντι 7,0 και 6,8% για ζυμαρικά φάβας και κουκιών). Οι διάμετροι των ξηρών μαρτύρων και των ζυμαρικών οσπρίων ήταν παρόμοιες και δεν μπορούσαν να εξηγήσουν αυτόν τον χαμηλότερο βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος. Μια φυσική διαταραχή της μήτρας γλουτένης, λόγω παρουσίας των ινών, μπορεί να διευκόλυνε τη διείσδυση του νερού στον πυρήνα των ζυμαρικών. Οι πρωτεΐνες σκληρού σίτου αποτελούνται κυρίως από γλουτενίνες και γλιαδίνες που σχηματίζουν ενδομοριακούς και διαμοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς κατά την επεξεργασία. Αυτό οδηγεί στον σχηματισμό ενός τρισδιάστατου δικτύου γλουτένης υπεύθυνου για τις ιδιότητες υφής των ζυμαρικών. Αντίθετα, οι πρωτεΐνες οσπρίων αποτελούνται κυρίως από αλατοδιαλυτές σφαιρίνες και υδατοδιαλυτές λευκωματίνες. Η προσθήκη υλών χωρίς γλουτένη μείωσε την περιεκτικότητά της και πιθανώς εξασθένησε τη συνολική δομή των μακαρονιών. Κατά συνέπεια, παρατηρήθηκε έκπλυση περισσότερων στερεών από τα μακαρόνια στο νερό στο οποίο μαγειρεύτηκαν. Οι απώλειες κατά το μαγείρεμα μπορούν να οφείλονται τόσο σε έκπλυση αμυλόζης όσο και σε διαλυτοποίηση μερικών αλατοδιαλυτών πρωτεϊνών. Τα αποτελέσματα των Petitot et al. (2010) είναι σύμφωνα με αυτά της πλειοψηφίας των συγγραφέων, οι οποίοι αναφέρουν υψηλότερες απώλειες κατά το μαγείρεμα σε ζυμαρικά εμπλουτισμένα με όσπρια. Ωστόσο, σε παρόμοιο χρόνο μαγειρέματος παρατηρήθηκε, παρόμοια ή χαμηλότερη απορρόφηση νερού. Διαφορές στη φύση και το επίπεδο υποκατάστασης των οσπρίων, τη διάμετρο των μακαρονιών και τη θερμοκρασία ξήρανσης μπορούν να εξηγήσουν αυτές τις διαφορές.

Η αύξηση της θερμοκρασίας ξήρανσης από τους 55 °C στους 90 °C που χρησιμοποίησαν οι Petitot et al. (2010), δεν άλλαξε τον βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος. Ωστόσο, η απώλεια μάζας κατά το μαγείρεμα και η πρόσληψη νερού μειώθηκαν όταν αυξήθηκε η θερμοκρασία ξήρανσης. Η υψηλή θερμοκρασία ξήρανσης φάνηκε να προωθεί τη συσσώρευση πρωτεϊνών και να οδηγεί σε ένα ισχυρό δίκτυο πρωτεϊνών που θα εγκλωβίζει κόκκους αμύλου, αποτρέποντας τη διαρροή αμυλόζης στο νερό και μειώνοντας έτσι την κολλητικότητα. Η υψηλή θερμοκρασία ξήρανσης επηρέασε επομένως θετικά τις ιδιότητες των ζυμαρικών, όπως παρατηρήθηκε ήδη στα ζυμαρικά

σκληρού σίτου (Petitot et al., 2010). Οι χρόνοι ξήρανσης των ζυμαρικών ήταν υψηλότεροι σε σύγκριση με εκείνους των Giménez et al. (2012). Τα μακαρόνια σίτου παρουσίασαν τον μεγαλύτερο χρόνο μαγειρέματος. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε άμυλο, το οποίο είναι το συστατικό που απορροφά το νερό (Giménez et al., 2012).

Η ποσότητα υπολειμμάτων στο νερό μαγειρέματος θεωρείται καλός δείκτης ποιότητας ζυμαρικών. Η απώλεια στερεών αυξάνεται με το επίπεδο υποκατάστασης, αν και δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα ποσοστά υποκατάστασης μεταξύ 20% και 30% αλεύρου κουκιών (Giménez et al., 2012). Αυτή η αύξηση μπορεί να σχετίζεται με το διαλυτό κλάσμα πρωτεΐνης και την αποδυνάμωση του δικτύου γλουτένης, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση της αμυλόζης. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά που έλαβαν οι Zhao, et al. (2005), που θεωρούν ότι η προσθήκη των αλεύρων οσπρίων, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απώλειας στερεών κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος. Ωστόσο, η Wood (2009) ανέφερε μικρότερες απώλειες για μακαρόνια εμπλουτισμένα με 30% αλεύρι ρεβιθιών από αυτές που παρουσίασαν 100% μακαρόνια σιμιγδαλιού σκληρού σίτου. Παράλληλα, κι η Wood (2009) κι οι Petitot et al. (2010) ανέφεραν μικρότερες απώλειες. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στους διαφορετικούς τύπους αλεύρων που χρησιμοποιούνται και την επίδραση της προσθήκης αλεύρου από φασόλια στη δομή της γλουτένης. Το υπερβολικό μαγείρεμα προκαλεί υψηλότερη εξασθένηση στην πρωτεϊνική μήτρα, προκαλώντας μεγαλύτερο χρόνο μαγειρέματος. Ωστόσο, αυτές οι απώλειες δεν ξεπέρασαν το εύρος που θεωρείται αποδεκτό για τα μακαρόνια (<12,5%).

Η απορρόφηση νερού των δειγμάτων κατά το μαγείρεμα είναι σημαντικά χαμηλότερη από το δείγμα ελέγχου. Ωστόσο, το επίπεδο υποκατάστασης δεν επηρέασε την απορρόφηση του νερού στα μακαρόνια σιταριού/φασολιών. Αυτά τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με εκείνα των Zhao et al. (2005), και διαφέρουν από αυτά που βρήκαν οι Doxastakis et al. (2007), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η απορρόφηση νερού στα μακαρόνια (εμπλουτισμένα με λούπινο) μειώνεται, καθώς αυξάνεται το ποσοστό υποκατάστασης. Αυτή η συμπεριφορά θα μπορούσε να είναι συνέπεια ανταγωνιστικών δράσεων, όταν αυξάνεται το επίπεδο υποκατάστασης, οι οποίες είναι αφενός η μείωση της περιεκτικότητας σε άμυλο που δύναται να προκαλέσει μείωση του απορροφούμενου

νερού και, αφετέρου, η παρουσία πρωτεΐνης φασολιών, η οποία μπορεί να αλληλεπιδράσει με το νερό αυξάνοντας την απορρόφησή του. Σε περίπτωση υπερβρασμού, ένας μεγαλύτερος χρόνος αλληλεπίδρασης νερού, αμύλου, γλουτένης και πρωτεΐνης οδηγεί σε αύξηση της απορρόφησης του νερού. (Giménez et al., 2012)

Οι Padalino et al. (2013) αποδίδουν το γεγονός της μείωσης του βέλτιστου χρόνου μαγειρέματος, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άλευρα αρακά, στη διαφορετική σύσταση των πρωτεϊνών του αρακά σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες του σίτου. Συγκριτικά με τα δείγματα ελέγχου που αποτελούνται από σιμιγδάλι σκληρού σίτου, τα μακαρόνια με αρακά παρουσίασαν μεγαλύτερη κολλητικότητα. Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να συνδεθεί κυρίως με τις διαφορετικές πρωτεϊνικές συνθέσεις του αλεύρου αρακά σε σύγκριση με το αλεύρι σίτου. Η απορρόφηση νερού μειώθηκε σημαντικά, καθώς το αλεύρι του αρακά ενσωματώθηκε στα ζυμαρικά. Πιθανότατα, η μείωση τόσο του δείκτη διόγκωσης όσο και της απορρόφησης του νερού θα μπορούσε να εξηγηθεί από την υψηλή υδρόφιλη ικανότητα του αλεύρου αρακά, το οποίο απορροφά κατά προτίμηση το νερό, αναστέλλοντας τη διόγκωση των κόκκων αμύλου (Petitot et al., 2010). Πιθανότατα, κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος, η πρωτεΐνη μπορεί να συνδεθεί με τα περισσότερα μόρια του νερού αφήνοντας λιγότερο νερό για να διογκωθεί το περιεχόμενο στα ζυμαρικά άμυλο. Η ποιότητα των ζυμαρικών σχετίζεται επίσης με την ικανότητά τους μακαρονιών να διατηρούν τις ιδιότητες υψής κατά την υγροθερμική επεξεργασία. Τα δείγματα που ήταν εμπλουτισμένα με αλεύρι αρακά έδωσαν μεγαλύτερη κολλητικότητα σε σύγκριση με τα κοινά μακαρόνια. Οι τιμές σκληρότητας για τα δείγματα ζυμαρικών που προστέθηκαν με αλεύρι αρακά ήταν στατιστικά υψηλότερες από αυτές του δείγματος ελέγχου. Συγκεκριμένα, φαίνεται μια μικρή αύξηση της σκληρότητας για τα δείγματα που ήταν εμπλουτισμένα με αλεύρι αρακά. Αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να οφείλεται στο γεγονός ότι η απορρόφηση νερού μειώθηκε σημαντικά, καθώς το άλευρο του αρακά ενσωματώθηκε στα ζυμαρικά. Αυτό υποδηλώνει ότι η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη σε αλεύρι αρακά αύξησε τη σκληρότητα των προϊόντων λόγω της χαμηλής ενυδάτωσης των κόκκων αμύλου. (Padalino et al., 2013)

Σε μια άλλη εργασία (Arribas et al., 2020) έγινε παρασκευή ζυμαρικών από χαρούπι και παρόλο που ο καρπός του χαρουπιού είναι πλούσιος σε φυτικές ίνες, ο

αντίκτυπος του στο βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος είναι μικρός. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην παρουσία καρουμπίνης και θα μπορούσε να συμβάλει θετικά στη δομή των ζυμαρικών, αντικαθιστώντας, σε κάποιο βαθμό, τη λειτουργικότητα της γλουτένης και επιτυγχάνοντας βελτίωση της ποιότητας μαγειρέματος των ζυμαρικών χωρίς γλουτένη. (Arribas et al., 2020)

Σε ζυμαρικά τύπου λαζάνια μελετήθηκαν οι επιδόσεις κατά το μαγείρεμα ως προς τη διόγκωσή τους, τις απώλειες μαγειρέματος και την αισθητηριακή αξιολόγηση. Φαίνεται πως η απορρόφηση νερού αυξάνεται αναλογικά, καθώς αυξάνεται η ποσότητα του εμπλουτισμένου αλεύρου ρεβιθιών. Επίσης, η διόγκωση ή η πρόσληψη νερού ευθύνεται για την υφή στα μαγειρεμένα λαζάνια.

Ο κύριος τεχνολογικός ρόλος των πρωτεϊνών σκληρού σίτου είναι να προσδώσουν στα ζυμαρικά τις ιδιότητες που απαιτούνται για να έχουν κατάλληλα χαρακτηριστικά κατά την υγροθερμική επεξεργασία. Η ποιότητά τους είναι το χαρακτηριστικό που έχει τη μεγαλύτερη σημασία για τους καταναλωτές και επομένως έχει μεγάλη σημασία για τους καλλιεργητές του σίτου, τους κτηνοτρόφους και τους μεταποιητές.

Η σκληρότητα των μαγειρεμένων ζυμαρικών είναι ένα κύριο χαρακτηριστικό ποιότητας και αυτό, μαζί με την κατάσταση της επιφάνειάς τους, αλλάζουν κατά τις διεργασίες του μαγειρέματος. Όπως τονίστηκε, η αλλοίωση σχετίζεται με την απώλεια υλών στο νερό του μαγειρέματος και την τάση για κολλητικότητα. Αυτά είναι τα δύο κύρια χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτάται η ποιότητα των μαγειρεμένων ζυμαρικών.

Οι διαφορές στην ποιότητα από άποψη σταθερότητας αποδόθηκαν κυρίως στο κλάσμα της γλουτένης. Η γλουτένη υψηλής ποιότητας και αντοχής, όπως εκτιμήθηκε από τις φυσικές δοκιμές (φαρινογραφήματα, εξτενσιογραφήματα), φάνηκε να παράγει λαζάνια βέλτιστης ποιότητας. Σε λαζάνια με 5 ή 10% κ.β. αλεύρι ρεβιθιού, διατηρήθηκε η στιβαρότητα και το ποσοστό θραύσης ήταν χαμηλό. Αυτό συμβαίνει επειδή, αυξάνοντας την ποσότητα του ενσωματωμένου αλεύρου ρεβιθιών, το κλάσμα της γλουτένης αραιώθηκε, οδηγώντας στην παραγωγή ενός λιγότερο σφιχτού ζυμαρικού. Έτσι, οι αυξανόμενες ποσότητες αλεύρου ρεβιθιού εμπόδισαν τις λειτουργικές ιδιότητες της ζύμης και τη σκληρότητα των ζυμαρικών.

Η φυσική δομή και η ποιότητα στα λαζάνια με αλεύρι ρεβιθιού 0%, 5% και 10%

κ.β. εξαρτάται από τις ιδιότητες ζελατινοποίησης του αμύλου. Καθώς αυξάνεται το ποσοστό του αλεύρου, η περιεκτικότητα σε άμυλο μειώνεται, και αυτό οδηγεί σε ζυμαρικά χαμηλότερης ποιότητας. Η σκληρότητα και η ελαστικότητα των ζυμαρικών σχετίζονται θετικά με την περιεκτικότητα του αμυλού σε αμυλόζη. Από την άλλη πλευρά όμως, μια υψηλή συγκέντρωση αμυλόζης στην επιφάνεια των μαγειρεμένων ζυμαρικών συμβάλλει στην κολλητικότητα. (Sabanis et al., 2006)

Οι Porwal et al. (2014), οι οποίοι ασχολήθηκαν με νουντλς και την προσθήκη αλεύρων ρεβιθιού, επίσης ανέφεραν πως όσο αυξανόταν το επίπεδο της προσθήκης του αλεύρου ρεβιθιών, τόσο αυξανόταν κι ο απαιτούμενος χρόνος μαγειρέματος του προϊόντος. Παράλληλα οι απώλειες στερεών κατά το μαγείρεμα γίνονταν υψηλότερες, σε αναλογία με το δείγμα ελέγχου (μακαρόνια από σιμιγδάλι σκληρού σίτου). Συγκεκριμένα, ο χρόνος μαγειρέματος αυξήθηκε από 5,3 min σε 9,3 min, που πιθανώς οφείλεται στον υψηλότερο χρόνο που χρειάζονται τα όσπρια να μαγειρευτούν σε σχέση με τα σιτηρά. (Porwal et al., 2014)

Στον αντίποδα, η μελέτη των Tazart et al. (2016) που αφορούσε μακαρόνια cicatelli, έδειξε πως η αντικατάσταση του σιμιγδαλιού σκληρού σίτου με άλευρα από κουκιά μείωσε το βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος των προϊόντων. Αυτή η μείωση πιθανώς οφείλεται στην υψηλότερη συμβολή σε διαιτητικές ίνες που μπορεί να διευκόλυνε τη διείσδυση του νερού στον πυρήνα των ζυμαρικών. Η προσρόφηση νερού ήταν η ίδια συγκριτικά με εκείνη των φρέσκων ζυμαρικών, γεγονός που αντιτίθεται στα αποτελέσματα ερευνών των υπολοίπων. Αυτό μπορεί να υποδεικνύει μια διαφορετική σύνθεση ινών από κουκιά σε σύγκριση με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν από άλλους συγγραφείς όπως μη αμυλούχους πολυσακχαρίτες, ή ότι η περιεκτικότητα σε ίνες σε σύνθετα ζυμαρικά είναι χαμηλότερη από το επίπεδο που απαιτείται για να προκαλέσει αύξηση της απορρόφησης του νερού κατά το μαγείρεμα (Tazart et al., 2016)

4.3.2 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Όσον αφορά την οργανοληπτική αξιολόγηση των προϊόντων ζυμαρικών που εμπλουτίστηκαν με άλευρα οσπρίων, οι Padalino et al. (2013) αναφέρουν πως η συνολική ποιότητα των δειγμάτων μειώθηκε με την αύξηση της ποσότητας αλεύρου. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με εκείνα της Wood (2009), που ανέφεραν ότι τα ζυμαρικά που ήταν εμπλουτισμένα έως και 10% σε επίπεδο υποκατάστασης με αλεύρι

λούπινου ή ρεβιθιού είναι γενικά αποδεκτά, αλλά οι αρνητικές αλλαγές στην ποιότητα μαγειρέματος και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται σε υψηλότερο επίπεδο υποκατάστασης.

Όσον αφορά τα μαγειρεμένα δείγματα μακαρονιών, η εισαγωγή μεγάλης ποσότητας αλεύρου μπιζελιού επηρεάζει αρνητικά τη συνολική ποιότητα. Για παράδειγμα, η συνολική βαθμολογία ποιότητας δείγματος ζυμαρικού με υποκατάσταση 30% μπιζελιού ήταν ελαφρώς κάτω από το όριο αποδοχής, επειδή είχε τη χαμηλότερη βαθμολογία ελαστικότητας και σκληρότητας. Πιθανότατα, η χαμηλότερη τιμή ελαστικότητας θα μπορούσε να οφείλεται στη συμπερίληψη ινών μπιζελιού που προώθησαν το σχηματισμό ασυνέχειας ή ρωγμών στο εσωτερικό του κλώνου των ζυμαρικών, γεγονός που εξασθένησε τη δομή των ζυμαρικών. Τα προαναφερθέντα δεδομένα υποδηλώνουν ότι η ενσωμάτωση αλεύρου μπιζελιού είχε αντίκτυπο στην ινώδη φύση των δειγμάτων μακαρονιών πιθανότατα λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε ίνες στο αλεύρι μπιζελιού. Συγκεκριμένα, τα δείγματα σπαγγέτι που έγιναν χρησιμοποιώντας περισσότερο από 15% αλεύρι μπιζελιού κατέγραψαν ινώδη βαθμολογία κάτω από το όριο της αποδοχής. Η αύξηση της σταθερότητας των ζυμαρικών μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι το αλεύρι μπιζελιού περιέχει γενικά περισσότερη πρωτεΐνη από τα άλευρα δημητριακών. Πιθανότατα, η αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και/ή η χαμηλότερη πρόσληψη νερού των μαγειρεμένων ζυμαρικών που έχουν ενισχυθεί με όσπρια μπορεί να είναι υπεύθυνα για υψηλότερη σκληρότητα (Petitot et al., 2010; Padalino et al., 2013).

Όσον αφορά το χρώμα, τα δείγματα μακαρονιών που παρασκευάζονται αποκλειστικά από σκληρό σιτάρι ή περιέχουν μικρές ποσότητες αλεύρι μπιζελιού (έως 15% κ.β.) φαίνεται να έχουν ένα ευχάριστο κίτρινο χρώμα, το οποίο υποδηλώνει καλή ποιότητα. Αντίθετα, τα δείγματα μακαρονιών που έγιναν με περισσότερο από 15% αλεύρι μπιζελιού φάνηκαν να έχουν έντονο καφέ χρώμα, το οποίο είναι διαφορετικό από τα κοινά ζυμαρικά και υποδηλώνει μια υποδεέστερη ποιότητα. Επιπλέον, τα δείγματα σπαγγέτι που εμπλουτίστηκαν με υψηλότερες ποσότητες αλεύρων μπιζελιού είχαν πολύ έντονη γεύση και οσμή σε σύγκριση με τα δείγματα που εμπλουτίστηκαν με χαμηλότερο ποσοστό αλεύρι μπιζελιού και τα δείγματα ελέγχου αποκλειστικά από σιμιγδάλι σκληρού σίτου. Στην πραγματικότητα, τα δείγματα με υψηλή ποσότητα (20-30%) αλεύρι

μπιζελιού έδειξαν τη μικρότερη βαθμολογία ως προς τις παραμέτρους οσμής και γεύσης. Ως εκ τούτου, τα δείγματα που ήταν εμπλουτισμένα με αλεύρι μπιζελιού σε επίπεδο υψηλότερο από 15% δε χρησιμοποιήθηκαν για την επακόλουθη ανάλυση επειδή οι συνολικές βαθμολογίες ποιότητας τους ήταν κοντά ή χαμηλότερα από το όριο αισθητηριακής αποδοχής. (Padalino et al., 2013)

Με την ενσωμάτωση 30% αφυδατωμένου μπιζελιού στα προϊόντα ζυμαρικών, το χρώμα είχε μέτρια αποδοχή, όμως οι τιμές μέτρησης του χρώματος έδειξαν ότι η προσθήκη αλεύρων αφυδατωμένου μπιζελιού βελτίωσε το πράσινο χρώμα των ζυμαρικών, υποδεικνύοντας ότι έδωσαν φυσικό πράσινο χρώμα. Σε ποσοστό εμπλουτισμού 30%, η αίσθηση του στόματος ή η υφή των ζυμαρικών ήταν ελαφρώς μαλακή, όπως έδειξε η μείωση των τιμών σκληρότητας που μετρήθηκαν ενόργανα. (Sudha & Leelavathi, 2011)

Όσον αφορά το χρώμα στα μαγειρεμένα λαζάνια, εκείνα τα οποία παρασκευάζονται αποκλειστικά από σιμιγδάλι σκληρού σίτου ή περιέχουν μικρές ποσότητες αλεύρου ρεβιθιών (έως 10%) φάνηκε να έχουν ένα ευχάριστο κίτρινο χρώμα, το οποίο αποτελεί δείκτη καλής ποιότητας. Όσα παρασκευάστηκαν με υψηλότερο ποσοστό από 30% αλεύρι ρεβιθιών φάνηκε να έχουν έντονο καφέ χρώμα, το οποίο διαφέρει από τα κοινά λαζάνια και αποδίδει μια ένδειξη μειωμένης ποιότητας. Τα λαζάνια που παρασκευάζονται από 30% και 50% άλευρα ρεβιθιών είχαν μια σκοτεινή, μη ελκυστική εμφάνιση. Επίσης, όταν βραστούν, δίνουν μια γλοιώδη επιφάνεια και μια μαλακή και χυλώδη υφή φαγητού.

Η γεύση είναι ιδιαίτερα έντονη και μπορεί να ανιχνευθεί ακόμη και αν προστεθεί σάλτσα στα λαζάνια. Αυτός είναι πιθανώς ο λόγος για τον οποίο οι δοκιμαστές έδωσαν σε αυτά τα δείγματα πολύ χαμηλή βαθμολογία. Τα λαζάνια που παρασκευάστηκαν με προσθήκη 5% αλεύρου ρεβιθιού, είχαν ευχάριστη γεύση η οποία, αν και διαφορετική από αυτή που συναντάται στα κοινά λαζάνια, συνδυαζόταν αρμονικά με τη γεύση της σάλτσας. Αυτό έδωσε τη θετικότερη εντύπωση στους δοκιμαστές και αυτός είναι ο λόγος που τοποθετήθηκε στην κορυφή των προτιμήσεών τους. Τέλος, οι Sabanis et al. (2006) σημειώνουν πως παρόλο που αυτό το τεστ οργανοληπτικής αξιολόγησης ήταν πολύ προκαταρκτικό, έδωσε μία ένδειξη προτίμησης από τους καταναλωτές, με τους περισσότερους συμμετέχοντες να βαθμολογούν τα εμπλουτισμένα λαζάνια με 5% και

10%, εξίσου αποδεκτά με εκείνα που παρασκευάζονται από 100% σκληρό αλεύρι σίτου. (Sabanis et al., 2006)

Με την αυξημένη ενσωμάτωση αλεύρου ρεβιθιών στη σύνθεση των νουντλς, υπήρξε μείωση της συνολικής αισθητηριακής ποιότητας. Η μασητικότητα, η οποία αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ποιότητας για νουντλς καλής ποιότητας, μειώθηκε επίσης με την ενσωμάτωση των αλεύρων, κάτι που δεν ήταν επιθυμητό. (Porwal et al., 2014)

Τα προϊόντα ζυμαρικών τα οποία περιέχουν έως και 20% όσπρια παρουσιάζουν γενικώς υψηλότερα σκορ όσον αφορά το άρωμα και τη γεύση. Σε υψηλότερο επίπεδο ο εμπλουτισμός με όσπρια οδηγεί σε φτωχή γεύση και σε δυσάρεστο άρωμα φασολιού (Zhao et al., 2005; Wójtowicz & Mościcki, 2014). Οι Zhao et al., (2005) επίσης ανέφεραν το ίδιο φαινόμενο, το οποίο θα μπορούσε να προέρχεται από το ακατέργαστο αλεύρι των οσπρίων και τα μακαρόνια που περιέχουν αλεύρι φακής. Είχαν χαμηλότερη βαθμολογία, ως προς το χρώμα, από τα προϊόντα που περιέχουν άλευρα αρακά κίτρινου μπιζελιού και ρεβιθιού. Παρόλα αυτά, παρουσίασαν υψηλότερη αποδοχή γεύσης από τα μακαρόνια που περιέχουν ρεβίθια και κίτρινα μπιζέλια. Η συνοχή και οι βαθμολογίες κολλώδους ήταν οι χαμηλότερες για τα προϊόντα που περιείχαν 40% αλεύρι οσπρίων. Αυτές οι παρατηρήσεις είναι σύμφωνες με τα ευρήματα των Sabanis et al. (2006), που επισημαίνουν ότι σε επίπεδο εμπλουτισμού με ρεβίθια το οποίο υπερβαίνει το 30%, μειώνεται η ποιότητα των προϊόντων ζυμαρικών. Η συνολική ποιότητα η οποία εξετάστηκε οργανοληπτικά μέσω της οργανοληπτικής αξιολόγησης επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της αισθητηριακής ποιότητας. Αποτελέσματα πάνω από 6,0 επιτεύχθηκαν όταν οι προσθήκες των οσπρίων δεν υπερβαίνουν το 30% της μάζας του αλεύρου. (Wójtowicz & Mościcki, 2014)

Στη μελέτη των Zhao et al. (2005) αναφέρεται επίσης πως με την αύξηση στην περιεκτικότητα των αλεύρων οσπρίων, η γυαλιστερή εμφάνιση, η ελαστικότητα και η συνολική ποιότητα μειώθηκαν, το χρώμα έγινε πιο σκούρο, η σκληρότητα αυξήθηκε, και η γεύση βελτιώθηκε. Η κολλητικότητα αυξήθηκε ελαφρώς, εκτός από τα μακαρόνια που περιέχουν πράσινο μπιζέλι, αλλά η αύξησή της δεν ήταν σημαντική. Η αλλαγή της λαμπερής εμφάνισης και του χρώματος οφείλεται στην ανάμειξη αλεύρου σιμιγδαλιού και οσπρίων. Τα αποτελέσματα της αισθητηριακής σκληρότητας ήταν παράλληλα με τις

τιμές της ενόργανης ανάλυσης της σκληρότητας. Τα συνολικά χαρακτηριστικά ποιότητας των ζυμαρικών που περιέχουν αλεύρι ρεβιθιών και κίτρινου μπιζελιού ήταν καλύτερα από αυτά που περιείχαν άλευρα αρακά και φακής στα ίδια επίπεδα αντικατάστασης. Οι Zhao et al. (2005) τελικά καταλήγουν πως με βάση τα αποτελέσματα των φυσικών και μαγειρικών χαρακτηριστικών και της αισθητηριακής αξιολόγησης των προϊόντων, επιλέχθηκαν τα επίπεδα εμπλουτισμού 15% με άλευρα αρακά και φακής και 20% με άλευρα ρεβιθιών και κίτρινου μπιζελιού, ως το βέλτιστο ποσοστό εμπλουτισμού των ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων.

Με βάση την αποδοχή των καταναλωτών σημειώνεται πως η συνολική αποδοχή, το χρώμα, η γεύση και η υφή μεταξύ των δειγμάτων μαρτύρων και εκείνων που περιέχουν άλευρα οσπρίων είχε σημαντικές διαφορές. Οι δοκιμαστές εμφάνισαν την προτίμησή τους περισσότερο για τα δείγματα μακαρονιών ελέγχου (παρασκευασμένα από 100% σιμιγδάλι σκληρού σίτου). Τα ζυμαρικά τα οποία περιείχαν άλευρα οσπρίων, δε διέφεραν γενικά στη συνολική αποδοχή και υφή τους. Εκείνα που περιέχουν αλεύρι φακής όμως, είχαν χαμηλότερη βαθμολογία χρώματος από τα προϊόντα που περιείχαν αλεύρια αρακά κίτρινου μπιζελιού και ρεβιθιών. Ωστόσο, είχαν μεγαλύτερη αποδεκτότητα ως προς τη γεύση από τα μακαρόνια που περιέχουν ρεβίθια και κίτρινα μπιζέλια. Τα γενικά σχόλια των δοκιμαστών έδειξαν ότι τα σπαγγέτι με όσπρια ήταν πιο σφιχτά από τα δείγματα ελέγχου, το οποίο συμφωνεί με την προηγούμενη ενόργανη και αισθητηριακή αξιολόγηση. Ως προς την οσμή των οσπρίων στα προϊόντα ζυμαρικών ενδέχεται να ευθύνονται οι λιποξυγενάσες στο ακατέργαστο αλεύρι των οσπρίων, οι οποίες μπορεί να είναι ενεργές κατά την προετοιμασία των μακαρονιών πριν από την ξήρανση και το μαγείρεμα. (Zhao et al., 2005)

5 Επίδραση του εμπλουτισμού ζυμαρικών με όσπρια στην υγεία

5.1 Εισαγωγή

Τα λειτουργικά τρόφιμα έχουν οριστεί από το Συμβούλιο Τροφίμων και Διατροφής της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών ως "κάθε τροποποιημένο τρόφιμο ή συστατικό τροφίμων που μπορεί να προσφέρει όφελος για την υγεία πέρα από αυτό των θρεπτικών συστατικών που περιέχει". Τα ζυμαρικά από μόνα τους είναι μια υγιεινή, θρεπτική διατροφή και παρουσιάζουν μεγάλη προοπτική ως ιδανικό λειτουργικό τρόφιμο εάν συμπληρωθούν με πρόσθετα υγιεινά συστατικά. Τα ζυμαρικά έχουν προφανώς αναγνωριστεί σε όλο τον κόσμο ως χαρακτηριστικό συστατικό μιας παραδοσιακής υγιεινής διατροφής. Η έλλειψη κατανόησης του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν τα ενεργά συστατικά στα συστήματα τροφίμων και στην προαγωγή της υγείας συνδέεται με την ταχεία αύξηση του ενδιαφέροντος για τα λειτουργικά τρόφιμα.

Οι Krishnan & Prabhasankar (2012) κατηγοριοποιούν τα λειτουργικά προϊόντα ζυμαρικών σύμφωνα με το σκοπό τους. Έτσι, υποκατηγοριοποιούνται σε όσα σκοπεύουν να αυξήσουν τη θρεπτικότητα των προϊόντων και να βελτιώσουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους και σε όσα στοχεύουν να μειώσουν τον κίνδυνο μίας συγκεκριμένης πάθησης. Επιπροσθέτως, τονίζουν την ανάγκη της στιγμής για λειτουργικά και παράλληλα υγιεινά τρόφιμα, αναφέροντας ότι η υπερβολική κατανάλωση τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και υψηλές θερμίδες αυξάνει τον κίνδυνο για καρδιαγγειακές παθήσεις, ορισμένες μορφές διαβήτη και υποβαθμίζει γενικότερα την ανθρώπινη υγεία. Ως οδηγός για καλύτερη διατροφή, το USDA το 1992 παρουσίασε την Πυραμίδα Οδηγού Τροφίμων για να προωθήσει δίαιτες που θα μείωναν το λίπος και τις θερμίδες προτείνοντας συχνότερη κατανάλωση προϊόντων δημητριακών, φρούτων και λαχανικών, και φυσικά οσπρίων. Τα προϊόντα δημητριακών είναι μια διαφορετική ομάδα που αποτελείται από δημητριακά ολικής αλέσεως έως έτοιμα προς κατανάλωση ή μαγειρεμένα φαγητά. Τα ζυμαρικά, ένα επεξεργασμένο προϊόν δημητριακών είναι μέρος της καθημερινής διατροφής των περισσότερων ανθρώπων. Ως εκ τούτου, έχει τεράστιο εύρος και δυνατότητες ώστε να χρησιμεύσει ως υγιείς ρυθμιστικός παράγοντας μίας λειτουργικής διατροφής.

Κατά τα τελευταία χρόνια, συναντάται ένα ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον μεταξύ των χορτοφάγων και ανθρώπων οι οποίοι επιλέγουν την υγιεινή διατροφή

καταναλώνοντας για παράδειγμα τρόφιμα εμπλουτισμένα με πρωτεΐνες από φυτικές πηγές, που δεν περιέχουν χοληστερόλη και έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα γενικότερα. Σε γενικές γραμμές, έχει επιχειρηθεί εμπλουτισμός των ζυμαρικών με συστατικά υψηλότερης περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες που φάνηκε να βελτιώνει τις θρεπτικές ιδιότητες των τροφίμων (Krishnan & Prabhasankar, 2012), ενώ παράλληλα αριθμείται αξιόλογος αριθμός μελετών οι οποίες τονίζουν τον αντίκτυπο του εμπλουτισμού των ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων στην ανθρώπινη υγεία. Μεταξύ των επιδράσεων των συστατικών αυτών στα τελικά προϊόντα είναι η συμβολή τους σε παθήσεις που σχετίζονται με το μυοκάρδιο, η θετική επίδραση στον γλυκαιμικό δείκτη, την απόκριση ινσουλίνης και τις περισσότερες μορφές διαβήτη (κατά κύριο λόγο σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2), την αντιοξειδωτική δράση και τις αντικαρκινικές ιδιότητες των τελικών τροφίμων.

Επίσης, τα ζυμαρικά αποτελούν πηγή πρωτεϊνών και υδατανθράκων βραδείας αποδέσμευσης, όπου το άμυλο χωνεύεται αργά και απορροφάται στο λεπτό έντερο, οδηγώντας σε χαμηλές μεταγευματικές ανταποκρίσεις γλυκόζης στο αίμα και ινσουλίνη στους ανθρώπους, επομένως κατέχουν χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη (GI). Υπάρχουν στοιχεία ότι οι δίαιτες με υψηλό GI αυξάνουν τον κίνδυνο χρόνιων παθήσεων που σχετίζονται με τον τρόπο ζωής. Αντίθετα, η κατανάλωση τροφίμων με χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη σχετίζεται με μειωμένο κίνδυνο χρόνιων παθήσεων όπως ο διαβήτης τύπου 2, η στεφανιαία νόσος και ορισμένες μορφές καρκίνου. (Petitot & Micard, 2010)

5.2 Μεταβολισμός

Ο μεταβολισμός των ζυμαρικών με βάση τα όσπρια σχετίζεται κατά κύριο λόγο με τον μεταβολισμό του αμύλου στο έντερο, ενώ τη βασικότερη παράμετρο αποτελεί η πεπτικότητα του αμύλου.

Η απορρόφηση του αμύλου μειώθηκε ελαφρώς με την αύξηση της ποσότητας του αλεύρου αρακά, παρόλο που δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ του δείγματος μάρτυρα από σιμιγδάλι σκληρού σίτου και των εμπλουτισμένων με άλευρα μπιζελιού σε ποσοστό 5%. Εξαιρεση αποτελεί το δείγμα που ήταν εμπλουτισμένο κατά 15% που κατέγραψε τη χαμηλότερη τιμή απορρόφησης αμύλου. (Padalino et al., 2013) Είναι πιθανό ότι η αντικατάσταση του σιμιγδαλιού με αλεύρι οσπρίων να προκάλεσε δομικές αλλαγές στα ζυμαρικά (Petitot et al., 2010). Η χαμηλή πεπτικότητα του αμύλου

των ζυμαρικών σκληρού σίτου μπορεί να αποδοθεί στη συγκεκριμένη συμπαγή δομή του, που γενικά περιγράφεται ως ένα πρωτεϊνικό δίκτυο που εγκλωβίζει κόκκους αμύλου. Ως εκ τούτου, η συμπερίληψη ινών και η αραίωση των πρωτεϊνών γλουτένης με λευκωματίνες και σφαιρίνες θα μπορούσε να ευνοήσει την υψηλότερη ευαισθησία του αμύλου στα πεπτικά ένζυμα (Petitot et al., 2010). Στην πραγματικότητα, από άλλες έρευνες έχει αποδειχθεί ότι η εισαγωγή 7,5% αδιάλυτων ινών μπιζελιού σε ζυμαρικά σκληρού σίτου αύξησε την ευαισθησία του αμύλου στα πεπτικά ένζυμα, λόγω της διαταραχής του δικτύου πρωτεϊνών που εγκλωβίζει κόκκους αμύλου. Αντίθετα, άλλοι έχουν παρουσιάσει ότι η προσθήκη 25% αλεύρου ρεβιθιών σε ζυμαρικά σκληρού σίτου προκάλεσε χαμηλότερο βαθμό *in vitro* υδρόλυσης αμύλου και του *in vivo* γλυκαιμικού δείκτη, λόγω της υψηλότερης ποσότητας άπεπτου υδατάνθρακα (μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες, ανθεκτικό άμυλο, ολιγοσακχαρίτες) σε ζυμαρικά ενισχυμένα με όσπρια. (Padalino et al., 2013)

Οι φυσιολογικές επιδράσεις του αμύλου εξαρτώνται από τον ρυθμό και την έκταση της πέψης στο λεπτό έντερο, γεγονός που επηρεάζει έντονα τη γλυκαιμική απόκριση σε διαφορετικά τρόφιμα. Οι Petitot et al. (2010) αναφέρουν πως η εισαγωγή 35% αλευρου φάβας ή αλεύρου κουκιών δεν είχε καμία σημαντική επίπτωση στην τιμή της άμεσα διαθέσιμης γλυκόζης στα ζυμαρικά (59,4% και 59,8% για ζυμαρικά φάβας και κουκιών, αντίστοιχα). Η μεταγευματική γλυκαιμική ανταπόκριση φάνηκε να είναι βραδεία μετά την κατανάλωση είτε ζυμαρικών σκληρού σίτου είτε ζυμαρικών οσπρίων. (Petitot et al. 2010)

Σε προϊόντα που ήταν εμπλουτισμένα με άλευρα κουκιών, παρατηρήθηκε μια μικρή αλλά σημαντική αύξηση ($p < 0,05$) στο ποσοστό *in vitro* απορρόφησης πρωτεΐνης, καθώς αυξήθηκε το επίπεδο υποκατάστασης από 69,8% στα παραδοσιακά φρέσκα ζυμαρικά σε 71,5% στα υποκατεστημένα εμπλουτισμένα με 50% αλεύρι κουκιών, αντίστοιχα. Ο λόγος για αυτή τη βελτίωση είναι πιθανώς ότι η προσθήκη αλεύρων κουκιών, η οποία αύξησε την περιεκτικότητα σε πιο εύπεπτες πρωτεΐνες (σφαιρίνες) σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη μείωση των δύσπεπτων πρωτεϊνών του σκληρού σίτου. (Tazart et al., 2016)

5.3 Γλυκαιμικός δείκτης και σακχαρώδης διαβήτης

Ως γλυκαιμικός δείκτης (GI) ορίζεται ένας αριθμός ο οποίος λαμβάνει τιμές από το 0 έως

το 100 και αποδίδει την τιμή της αύξησης της γλυκόζης στο αίμα, 2 ώρες μετά την κατανάλωση 50 g ενός επιλεγμένου τροφίμου. (Turco et al., 2019)

Τα ζυμαρικά είναι δημοφιλή για την ευκολία μαγειρέματος και τις θρεπτικές τους ιδιότητες. Μια σημαντική υγιεινή πτυχή των ζυμαρικών είναι ο χαμηλός γλυκαιμικός τους δείκτης. Αν και τα ζυμαρικά είναι μια ενδιαφέρουσα πηγή υδατανθράκων βραδείας απορρόφησης, όπως τα περισσότερα προϊόντα δημητριακών, παρουσιάζουν έλλειψη λυσίνης και θρεονίνης, δύο εκ των οκτώ απαραίτητων αμινοξέων. Αυτά τα απαραίτητα αμινοξέα μπορούν να βρεθούν σε άλλες πηγές φυτικών πρωτεϊνών, όπως σπόρους οσπρίων. Σε μελέτη των Petitot et al. (2010) διερευνηθηκε εάν η προσθήκη αλεύρων οσπρίων στα ζυμαρικά επηρεάζει τον γλυκαιμικό δείκτη. Ο χαμηλός γλυκαιμικός δείκτης των ζυμαρικών μπορεί να εξηγηθεί από πολλούς δομικούς παράγοντες, από τη μακροσκοπική έως τη μοριακή κλίμακα, όπως το μέγεθος και το σχήμα των ζυμαρικών, η ενθυλάκωση κόκκων αμύλου από ένα πρωτεϊνικό δίκτυο, η φυσική δομή του αμύλου, όπως ο βαθμός του ζελατινοποίησης και η αναλογία αμυλόζης-αμυλοπηκτίνης. Μια τροποποίηση ενός ή περισσότερων από αυτά τα δομικά στοιχεία μέσω της προσθήκης αλεύρου οσπρίων μπορεί επομένως να προκαλέσει αλλαγή στον γλυκαιμικό δείκτη. Πράγματι, αποδείχθηκε πρόσφατα ότι ο εμπλουτισμός των ζυμαρικών με 25% αλεύρι ρεβιθιών μείωσε το γλυκαιμικό δείκτη τους σε υγιείς εθελοντές (από 73,0 για ζυμαρικά σκληρού σίτου, σε 58,6 για ζυμαρικά παρασκευασμένα από ρεβίθια). Αποδείχθηκε επίσης ότι η εισαγωγή 7,5% αδιάλυτων ινών μπιζελιού στα ζυμαρικά αύξησε την ευαισθησία του αμύλου στα πεπτικά ένζυμα, λόγω της διαταραχής του δικτύου πρωτεϊνών που εγκλωβίζει κόκκους αμύλου.

Οι Goñi & Valentín-Gamazo (2003) μελέτησαν τη συμπλήρωση αλεύρου από μπιζέλια σε ζυμαρικά. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι ζυμαρικών. Τα ζυμαρικά 1 υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με σκληρό αλεύρι σίτου και τα ζυμαρικά 2 επεξεργάστηκαν από ένα μείγμα (75/25) σκληρού αλεύρου σίτου και αλεύρι από ρεβίθια. Και τα δύο είδη μακαρονιών βράστηκαν σε νερό για 10 λεπτά. Οι μεταγευματικές αυξήσεις στις συγκεντρώσεις γλυκόζης στο αίμα ήταν μικρότερες στην περίπτωση των μακαρονιών που ήταν εμπλουτισμένα με αλεύρι ρεβιθιών. Το άλευρο ρεβιθιών μείωσε την κορυφή της υπεργλυκαιμίας και τη συνολική φάση υπεργλυκαιμίας. Ο γλυκαιμικός δείκτης του αλεύρου ρεβιθιών που ενσωματώθηκε στα μακαρόνια ήταν

σημαντικά χαμηλότερος από τα μακαρόνια σίτου. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το αλεύρι ρεβιθιών μείωσε την κορυφή της υπεργλυκαιμίας και τη συνολική φάση υπεργλυκαιμίας.

Σε μελέτη που διεξήχθη σχετικά με την υπογλυκαιμική επίδραση των προϊόντων σόγιας και μεθειονίνης, εμπλουτισμένων σε προϊόντα ζυμαρικών σκληρού σίτου, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χορήγηση όλων των δοκιμαστικών δειγμάτων ζυμαρικών πέτυχε τη μείωση της υπεργλυκαιμίας των πειραματόζων αρουραίων, για περίοδο 50 ημερών. Δεδομένου ότι τα ζυμαρικά που ήταν παρασκευασμένα από άλευρα σόγιας περιέχουν ένα μεγάλο μέρος ινών που επηρεάζουν την υπεργλυκαιμία, η μείωση των επιπέδων χοληστερόλης θα μπορούσε να επηρεαστεί από τη βελτίωση του διαβήτη, η οποία προκάλεσε υπερχοληστερολαιμία σε εκείνα τα πειραματόζωα. Όχι μόνο η χοληστερόλη, αλλά και τα τριγλυκερίδια, τα φωσφολιπίδια και τα ολικά λιπίδια μειώθηκαν σημαντικά στην ομάδα των αρουραίων οι οποίοι έλαβαν προϊόντα ζυμαρικών με υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες. Η επίδραση της δίαιτας με υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες, θα μπορούσε να εξηγηθεί μέσω της επαφής τους με τον βλεννογόνο του εντέρου, καθώς μπορούν να ασκήσουν σημαντική επίδραση στη μεταφορά. Αυτό ίσως να συμβαίνει λόγω του σχηματισμού ενός gel σε ένα εντερικό στρώμα και μειώνει τη διέλευση της γλυκόζης. Συνολικά, λαμβάνοντας υπόψη τη διατροφική αξιολόγηση, τις πρωτεΐνες και το υπογλυκαιμικό αποτέλεσμα σε συνδυασμό, 12% αλεύρων σόγιας σε αλεύρι σκληρού σίτου με 0,3% μεθειονίνη, αντιπροσώπευαν το καλύτερο προϊόν υψηλής περιεκτικότητας σε φυτικές ίνες και πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας και θα μπορούσαν να είναι ευεργετικά για ειδικές ομάδες ανθρώπων όπως οι διαβητικοί, οι παχύσαρκοι και όσοι πάσχουν από αθηροσκλήρωση και δυσκοιλιότητα, καθώς και καταναλωτές που έχουν επίγνωση της διατροφής τους.

Μελέτη από τους Yokoyama et al. (1997) έχουν δείξει ότι η γλυκαιμική απόκριση των ζυμαρικών μπορεί να μειωθεί περαιτέρω με την προσθήκη διαλυτών ινών, συμπεριλαμβανομένης της β-γλυκάνης, που συναντώνται στα όσπρια. Τα πιο ευρέως γνωστά διατροφικά οφέλη των β-γλυκανών είναι η εξασθένηση της γλυκόζης στο αίμα και της ινσουλίνης. Οι διαλυτές διαιτητικές ίνες πιστεύεται ότι επιβραδύνουν την απελευθέρωση των σακχάρων από τα τρόφιμα και ως εκ τούτου μειώνουν το επίπεδο γλυκόζης στο αίμα μετά το γεύμα μέσω διαφόρων μηχανισμών, συμπεριλαμβανομένης

της μειωμένης αμυλόλυσης, αλλά πιο συγκεκριμένα στο γαστρεντερικό επίπεδο, μέσω καθυστερημένης γαστρικής εκκένωσης και μειωμένης κινητικότητας θρεπτικών συστατικών. (Krishnan & Prabhasankar, 2012)

Οι Tazart et al (2016) στην έρευνά τους σημειώνουν πως υπάρχουν σημαντικά ($p < 0,05$) περισσότερα αναγωγικά σάκχαρα που απελευθερώθηκαν από ζυμαρικά φτιαγμένα από αποκλειστικά σιμιγδάλι σκληρού σίτου παρά από δείγματα σύνθετων ζυμαρικών κουκιών. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες των εμπλουτισμένων ζυμαρικών σε σύγκριση με τον έλεγχο φρέσκων ζυμαρικών. (Tazart et al., 2016)

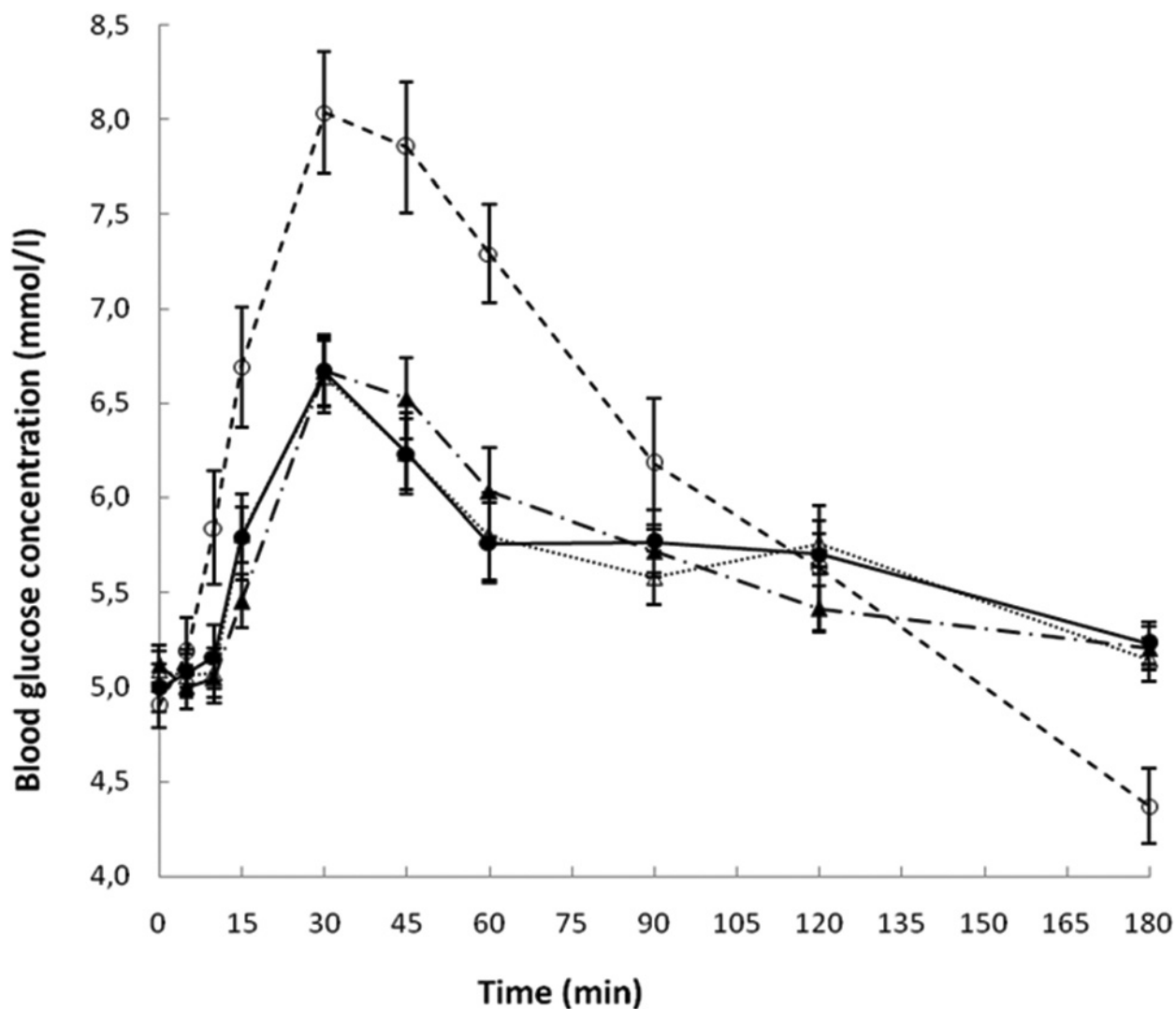
Πέρα από την πλέον γνωστή επιρροή που έχει ο εμπλουτισμός των ζυμαρικών με όσπρια στον γλυκαιμικό δείκτη και γενικότερα στην υγεία, οι Greffeuille et al. (2015) στη μελέτη τους προσδιορίζουν πως ο εμπλουτισμός με άλευρα κουκιών δεν επηρεάζει τον γλυκαιμικό δείκτη ή την απόκριση ινσουλίνης, όταν τα προϊόντα ξηρανθούν σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Έτσι, μελετώντας την in vivo απόκριση γλυκόζης και τον γλυκαιμικό δείκτη χρησιμοποίησαν 15 υγιείς εθελοντές και τρία διαφορετικά προφίλ ζυμαρικών σπαγγέτι. Το πρώτο ήταν παρασκευασμένο εξολοκλήρου από σκληρό σίτο σε χαμηλή θερμοκρασία ξήρανσης ($55\text{ }^{\circ}\text{C}$), ως δείγμα ελέγχου (DW-LT), το δεύτερο ήταν εμπλουτισμένο με άλευρα κουκιών σε αναλογία 35%, το οποίο επίσης είχε υποστεί ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία (F-LT) και το τρίτο ήταν εμπλουτισμένα μακαρόνια με 35% άλευρα κουκιών σε πολύ υψηλή θερμοκρασία ξήρανσης ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 4h) (F-VHT).

Στη συνέχεια, συμπέραναν τα εξής:

- Το προφίλ της γλυκαιμικής απόκρισης στο διάλυμα γλυκόζης ήταν το αναμενόμενο, με υψηλή κορυφή στα 30 λεπτά και πτώση κάτω από την αρχική γραμμή μετά από 120 λεπτά (Εικ. 27).
- Δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών προφίλ των ζυμαρικών.
- Οι συγκεντρώσεις γλυκόζης στο αίμα που προκλήθηκαν και από τους τρεις τύπους ζυμαρικών ήταν σημαντικά χαμηλότερες ($p < 0,05$) από αυτές που προκλήθηκαν από το διάλυμα γλυκόζης από 10 έως 90 λεπτά μετά την κατάποση.
- Δεν παρατηρήθηκε πτώση κάτω από την αρχική τιμή για οποιαδήποτε

ζυμαρικά μετά από 120 ή ακόμη και 180 λεπτά.

- Όταν τα άτομα έλαβαν ζυμαρικά DW-LT ή F-LT, παρατηρήθηκε μια μικρή δεύτερη «κορυφή» γλυκαιμίας στα 120 λεπτά.



Εικόνα 26. Νηστεία και μεταγευματική απόκριση γλυκόζης. Οι τιμές, με τυπικά σφάλματα των μέσων που αντιπροσωπεύονται ως κάθετες ράβδοι. Διακεκομμένες γραμμές-διάλυμα γλυκόζης, μπάρες-DW-LT, μικρές διακεκομμένες-F-LT, τρίγωνα-F-VHT (Greffeuille et al., 2015)

Η αυξητική περιοχή κάτω από την καμπύλη (iAUC) και η μέγιστη αυξητική κορυφή (iPeak max) στη γλυκαιμία που ελήφθη με διάλυμα γλυκόζης ήταν σημαντικά υψηλότερες από τις τιμές που ελήφθησαν για τα ζυμαρικά, ενώ ο χρόνος αιχμής (peak time) δεν διέφερε σημαντικά. Έτσι, το γλυκαιμικό προφίλ ήταν σημαντικά χαμηλότερο για το διάλυμα γλυκόζης σε σύγκριση με τα ζυμαρικά. Επίσης, δεν υπήρχε διαφορά στην αυξητική περιοχή γλυκόζης κάτω από την καμπύλη, στη μέγιστη κορυφή, στις

συγκεντρώσεις γλυκόζης στο αίμα ή στις τιμές peak time μεταξύ των τριών τύπων ζυμαρικών. Ο γλυκαιμικός δείκτης που υπολογίστηκε στα 120 λεπτά δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των τριών τύπων ζυμαρικών και αντιστοιχούσε σε τρόφιμα χαμηλού γλυκαιμικού δείκτη.

Πραγματοποιώντας σύγκριση της συγκεκριμένης μελέτης με άλλες δύο, ως προς την επίδραση της ενσωμάτωσης ενός οσπρίου στη γλυκαιμική απόκριση των προϊόντων, η πρώτη ανέφερε πως η ενσωμάτωση 25% αλεύρου ρεβιθιών σε μακαρόνια είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά χαμηλότερο δείκτη (58,9) από το δείκτη σε παραδοσιακού τύπου σπαγγέτι (72,8). Ωστόσο, στη δεύτερη μελέτη, φάνηκε ότι η προσθήκη 30% αλεύρου ολικής κίτρινου μπιζελιού σε ζυμαρικά, δεν κατάφερε να μειώσει, αλλά ακόμη και αύξησε ελαφρώς τον γλυκαιμικό δείκτη (93,3) σε σύγκριση με τα ζυμαρικά ολικής αλέσεως (83,6). Στη συγκεκριμένη μελέτη των Greffeuille et al. (2005), ο GI ζυμαρικών εμπλουτισμένων με 35% κουκιά (41,9 για F-LT και 49,4 για F-VHT) δεν διέφερε σημαντικά από τον GI των παραδοσιακών ζυμαρικών σκληρού σίτου (52,3). Συνεπώς, η επίδραση της προσθήκης οσπρίων σε ζυμαρικά φαίνεται να διαφέρει ανάλογα με τη φύση και την αναλογία του οσπρίου που χρησιμοποιείται για τον εμπλουτισμό, και επίσης πιθανώς από τη δομή της αρχικής μήτρας ζυμαρικών που χρησιμοποιούνται ως αναφορά. Ο γλυκαιμικός δείκτης για 35% αλεύρι κουκιών ήταν ακόμη χαμηλότερος από εκείνον των άλλων δύο μελετών για 25% αλεύρο ρεβιθιού και 30% αλεύρι ολικής κίτρινου μπιζελιού, γεγονός που θα μπορούσε να εξηγήσει γιατί δεν επιτεύχθηκε επιπλέον μείωση του GI με ξήρανση πολύ υψηλής θερμοκρασίας. (Greffeuille et al., 2005)

5.4 Φαινολικό περιεχόμενο και αντιοξειδωτική δράση

Τα όσπρια είναι μια καλή πηγή ινών, πρωτεϊνών και μετάλλων. Περιέχουν επίσης βιοδραστικές ενώσεις όπως πολυφαινόλες. Οι κύριες ενώσεις πολυφαινόλης περιλαμβάνουν τανίνες, φαινολικά οξέα και φλαβονοειδή, όπως ανθοκυανίνες και συμπυκνωμένες τανίνες (προανθοκυανιδίνες). Τα όσπρια με υψηλότερη περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες δείχνουν επίσης υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση. Ως εκ τούτου, θεωρούνται λειτουργικά τρόφιμα και τα αλεύρα οσπρίων έχουν προταθεί ως συστατικά για την παραγωγή τροφίμων προστιθέμενης αξίας.

Οι Turco et al. (2019) αξιολόγησαν τα επίπεδα πολυφαινολών, φλαβονοειδών και

αντιοξειδωτικής ικανότητας των ζυμαρικών που παρασκευάζονται με άλευρα οσπρίων. Πιο συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν ζυμαρικά από 100% άλευρο μπιζελιού, 100% άλευρο κόκκινης φακής, 60% άλευρο μπιζελιού και 40% άλευρο ρεβιθιών. Η περιεκτικότητα ολικών πολυφαινολών αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Folin-Ciocalteu. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε mg ισοδυνάμων γαλλικού οξέος (GAE) ανά 100 g ξηρού προϊόντος. Για τη συνολική περιεκτικότητα σε φλαβονοειδή, τα αποτελέσματα εκφράζονται ως mg κατεχίνης (CE) ανά 100 g ξηρού προϊόντος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 14, όπου για τις ολικές φαινόλες και για τα ολικά φλαβονοειδή αντίστοιχα την μεγαλύτερη περιεκτικότητα την έχει το άλευρο ρεβιθιών, κι ακολουθούν οι φακές, έπειτα τα μπιζέλια και τέλος το σιμιγδάλι σκληρού σίτου. Η ίδια ακολουθία ισχύει και για την αντιοξειδωτική ικανότητα των αλεύρων (Turco et al., 2019). Η παρασκευή λοιπόν ζυμαρικών με βάση τα όσπρια φάνηκε να ενισχύει σημαντικά την περιεκτικότητα των τελικών προϊόντων σε συστατικά που προάγουν την ανθρώπινη υγεία.

Πίνακας 8. Περιεκτικότητες ολικών φαινολών και ολικών φλαβονοειδών σε άλευρα κόκκινης φακής, μπιζελιών, ρεβιθιών και σιμιγδαλιού σκληρού σίτου. (Turco et al. (2019))

	Κόκκινες φακές	Μπιζέλια	Ρεβίθια	Σιμιγδάλι σκληρού σίτου
Ολικές φαινόλες (mg GAE/100g)	102.4 ± 9.5	87±8,2	176±8,9	63,8±7
Ολικά φλαβονοειδή (mg CE/100g)	4,1±0,27	2,43±0,37	7,9±0,5	1,1±0,5

Μεταξύ των καλύτερα διερευνημένων πηγών φυσικών αντιοξειδωτικών είναι οι σπόροι οσπρίων. Στην παρούσα μελέτη των Tsaliki et al., (1999), η αντιοξειδωτική δράση προσδιορίστηκε με μέτρηση της συζευγμένης οξειδωσης του καροτένιου και του λινολεϊκού οξέος. Ο ρυθμός λεύκανσης του διαλύματος β-καροτίνης καθορίστηκε από τη διαφορά στην ένδειξη φασματικής απορρόφησης, στα 470 nm, μεταξύ της αρχικής ένδειξης και της τελευταίας ένδειξης για την οποία η λεύκανση παρέμεινε ουσιαστικά γραμμική (συνήθως 180 λεπτά). Η απορρόφηση αξιολογήθηκε ανά 30 λεπτά. Σύμφωνα

με τις αλλαγές απορρόφησης, προσδιορίστηκε ο συντελεστής αντιοξειδωτικής δράσης (AAC). Οι τιμές του AAC έδειξαν ξεκάθαρα ότι τα εκχυλίσματα αλεύρου σπόρων λούπινου και απομονωμένης πρωτεΐνης σπόρων λούπινου έχουν υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση σε σύγκριση με το αλεύρι σόγιας. Το αλεύρι σόγιας είχε μόνο υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση από εκείνη του αλεύρου λούπινου χωρίς αλκαλοειδή. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να συσχετιστεί η παρατηρούμενη αντιοξειδωτική δράση με το φαινολικό περιεχόμενο και το περιεχόμενο φωσφολιπιδίων των εκχυλισμάτων και επίσης να ανιχνευθούν ορισμένα συστατικά, όπως οι φαινόλες και τα πεπτιδία/αμινοξέα, που μπορεί να συμβάλλουν στην αντιοξειδωτική δράση. Υπήρξε σημαντική μείωση της υψηλής περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες του αλεύρου λούπινου μετά την απομάκρυνση των αλκαλοειδών του. Αυτή η μείωση φαινόλης μπορεί να προκαλέσει σημαντικά χαμηλότερη αντιοξειδωτική δράση. Επίσης, προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα φωσφόρου στο λίπος που εξήχθη από άλευρα λούπινου. Ο προσδιορισμός του φωσφόρου χρησιμοποιήθηκε ως ένδειξη των φωσφολιπιδίων, αφού τα φωσφολιπίδια είναι συχνά συνεργαζόμενα σε συνδυασμό με τα φαινολικά αντιοξειδωτικά. Τέλος, πλάκες TLC που ψεκάστηκαν με κατάλληλα αντιδραστήρια και υπέδειξαν την παρουσία φαινολών, καθώς και την παρουσία φλαβονοειδών, αμινοξέων και πεπτιδίων. Έχει ολοκληρωθεί σημαντική ερευνητική εργασία σχετικά με την αντιοξειδωτική δράση των φλαβονοειδών, ειδικά σε συνδυασμό με όπως κιτρικό οξύ, ασκορβικό οξύ ή φωσφορικό οξύ, τα οποία δρουν συνεργιστικά. (Tsaliki et al., 1999)

Οι επιδράσεις της επεξεργασίας εξώθησης στις φυτικές ίνες (διαλυτές και αδιάλυτες), τους συνολικούς διαθέσιμους υδατάνθρακες, τις τοκοφερόλες, τα οργανικά οξέα, τα ολικά φαινολικά, τις φλαβονόλες, τα υδροξυκινναμικά και υδροξυβενζοϊκά οξέα, καθώς και την αντιοξειδωτική ικανότητα των διαφόρων ινών εμπλουτισμένων με αλεύρι φακής, αξιολογήθηκαν πριν και μετά από διαδικασία εξώθησης, από τους Morales et al. (2015). Η συνολική περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες μειώθηκε εν μέρει μετά από εξώθηση, η οποία συσχετίστηκε με σημαντική αύξηση του κλάσματος των διαλυτών ινών. Παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη μείωση 83-94% της συνολικής περιεκτικότητας σε τοκοφερόλες μετά την εξώθηση. Αντιστρόφως, βρέθηκε αύξηση στα περισσότερα πολυφαινολικά κλάσματα, πιθανώς λόγω της επίδρασης της εξώθησης στην υδρόλυση των πολυφαινολών που συνδέονται με φυτικές ίνες και πρωτεΐνες, με αύξηση της

αντιοξειδωτικής δραστηριότητας. Μόνο οι φλαβονόλες παρουσίασαν εκτεταμένη μείωση (62-82%) μετά την επεξεργασία.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των Morales et al. (2015) για την αντιοξειδωτική ικανότητα των αλεύρων φακής αξιολογήθηκαν από τέσσερις διαφορετικές *in vitro* δοκιμές. Οι αντιοξειδωτικές δράσεις των λειτουργικών συστατικών στα τρόφιμα εξαρτώνται όχι μόνο από το επίπεδο των βιοδραστικών ενώσεων, αλλά και από τη σύνθεση των αυτών των ενώσεων. Στην παρούσα μελέτη, η αντιοξειδωτική δράση των δειγμάτων που προσδιορίστηκαν με τον προσδιορισμό του 2,2-διφαινυλο-1-πικρυλοϋδραζύλιο (DPPH), παρουσίασε υψηλότερες τιμές από όλες τις άλλες μεθόδους για όλα τα μη επεξεργασμένα και εξωθημένα δείγματα. (Morales et al., 2015)

Οι Gallegos-Infante et al.. (2010) αξιολογώντας το ολικό φαινολικό περιεχόμενο στα πειραματικά δείγματα καταλήγουν πως οι υψηλότερες τιμές περιεκτικότητας ολικών φαινολών σε ζυμαρικά παρατηρήθηκαν σε δείγματα αλεύρου φασολιών. Η θερμοκρασία επηρεάζει θετικά το συνολικό φαινολικό περιεχόμενο στα ζυμαρικά. Γενικά, σε υψηλότερες θερμοκρασίες, παρατηρήθηκε υψηλότερο φαινολικό περιεχόμενο. Αυτό το φαινόμενο έχει παρατηρηθεί ομοίως από άλλους ερευνητές, οι οποίοι υποστήριξαν ότι έγινε διάσπαση πολυμερών πολυφαινόλης, αυξάνοντας τη σχετική παρουσία πιο απλών φαινολικών μορίων. Με αυτή την έννοια, οι Xu et al. (2007) ανέφεραν αύξηση της περιεκτικότητας σε φαινολικά οξέα σε μαγειρεμένα φασόλια. Ωστόσο, η μέθοδος Folin Ciocalteu μπορεί να υπερεκτιμήσει το συνολικό φαινολικό περιεχόμενο επειδή τα προϊόντα της αντιδράσεως Maillard ενδέχεται να αντιδράσουν με το αντιδραστήριο Folin Ciocalteu και απαιτείται περισσότερη πειραματική έρευνα για να αποσαφηνιστεί το πραγματικό φαινολικό περιεχόμενο και η αντιοξειδωτική ικανότητα που σχετίζεται με τα προϊόντα αντίδρασης Maillard ή τις πολυφαινόλες. (Gallegos-Infante et al., 2010)

6 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα ζυμαρικά αποτελούν πλούσια πηγή υδατανθράκων, είναι φτωχά σε πρωτεΐνες, ίνες και βιταμίνες, ενώ υπολείπονται των απαραίτητων αμινοξέων λυσίνη και θρεονίνη. Αντιθέτως, τα όσπρια αποτελούν πλούσια πηγή πρωτεϊνών, ινών αλλά και βιταμινών, ενώ παράλληλα περιέχουν τα απαραίτητα για τον οργανισμό αμινοξέα, λυσίνη και θρεονίνη. Γίνεται έτσι κατανοητή η ανάγκη εμπλουτισμού των ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων. Σκοπός του εμπλουτισμού είναι αφενός η αύξηση της διατροφικής αξίας του προϊόντος, αλλά αφετέρου κι η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων.

Όσον αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζυμαρικών εμπλουτισμένων με άλευρα οσπρίων, η επίδραση του εμπλουτισμού στη ζύμη, εκτιμάται πως αύξησε την απορρόφηση νερού, όσο αυξάνεται το επίπεδο εμπλουτισμού. Η αύξηση αυτή φαίνεται να είναι αποτέλεσμα της υψηλότερης περιεκτικότητας πρωτεΐνης στα μίγματα των οσπρίων προκαλώντας υψηλότερη ικανότητα ενυδάτωσης της ζύμης, ενώ άλλες έρευνες αποδίδουν το φαινόμενο και σε άλλους παράγοντες όπως, η αύξηση της περιεκτικότητας σε ίνες. Παράλληλα όμως, υπάρχουν ορισμένες ολιγάριθμες έρευνες οι οποίες έδειξαν πως ο εμπλουτισμός μειώνει την απορρόφηση νερού. Για τον χρόνο ανάπτυξης, κατά κύριο λόγο τα φαρινογραφήματα έδειξαν πως ο χρόνος ανάπτυξης μειώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό υποκατάστασης με άλευρα οσπρίων. Ωστόσο, υπάρχουν και έρευνες που αναφέρουν πως με αύξηση του επιπέδου εμπλουτισμού μειώνεται σημαντικά η απορρόφηση νερού κι έχει ως αποτέλεσμα τους υψηλότερους χρόνους ανάπτυξης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αποδυνάμωση της μήτρας της γλουτένης, λόγω της ενσωμάτωσης αλεύρων οσπρίων. σχετικά υψηλά ποσοστά υποκατάστασης οι ζύμες έγιναν αδύναμες, με μειωμένη σταθερότητα και αντίσταση, αλλά και με αυξημένο βαθμό μαλακώματος. Αυτό το αποτέλεσμα της εξασθένησης αποδίδεται στην αραίωση της δομής της γλουτένης του σκληρού σίτου από την προστιθέμενη πρωτεΐνη των οσπρίων. Τα αποτελέσματα μπορούν επίσης να αποδοθούν στην παρουσία ενζύμων ή συστατικών στα άλευρα των οσπρίων, τα οποία αλληλεπιδρούν έντονα με τις πρωτεΐνες της γλουτένης και αναστέλλουν την ανάπτυξη

των επιθυμητών ρεολογικών χαρακτηριστικών.

Στα ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά την ξήρανση των τελικών προϊόντων, αξιοποιώντας κατά κύριο λόγο φωτογραφίες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, φαίνεται πως η ποσότητα και ο τύπος του οσπρίου επηρεάζει την επιφάνεια και τη μικροδομή των προϊόντων. Γενικά, η δομή των ζυμαρικών εξαρτάται από τις συνθήκες επεξεργασίας και τον τύπο των ζυμαρικών.

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εμπλουτισμένων ζυμαρικών με άλευρα οσπρίων κατά την υδροθερμική επεξεργασία, φάνηκε πως το βάρος μαγειρεμένου προϊόντος αυξήθηκε κάτι που μπορεί να οφείλεται στην υψηλότερη ικανότητα διόγκωσης του αμύλου του αλεύρου. Διαπιστώθηκε ότι το βάρος του μαγειρέματος σχετίζεται άμεσα με το βαθμό διόγκωσης των κόκκων αμύλου. Επιπλέον, η απορρόφηση νερού αυξάνεται, κάτι που πιθανώς να οφείλεται στη φύση της αλληλεπίδρασης του αμύλου των οσπρίων με τις φυτικές ίνες και τις πρωτεΐνες. Μια άλλη παράμετρος που έχει εξετασθεί σε μεγάλο βαθμό στη βιβλιογραφία είναι η απώλεια μάζας που παρατηρείται στα ζυμαρικά κατά το μαγείρεμα. Στα εμπλουτισμένα ζυμαρικά, κατά τον βρασμό, παρουσιάζεται συνήθως αύξηση της απώλειας στερεών σε σχέση με τα αντίστοιχα ζυμαρικά σίτου. Αυτό μπορεί να συμβαίνει κυρίως για 2 λόγους:

- Αφενός, στις περισσότερες περιπτώσεις με την προσθήκη ποσότητας οσπρίου αυξάνεται ο απαιτούμενος χρόνος προετοιμασίας του ζυμαρικού, έως ότου φτάσουμε στον βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος, οπότε αυξάνονται και οι απώλειες στερεών στο νερό,
- και αφετέρου, η προσθήκη αλεύρου οσπρίου το οποίο δεν περιέχει γλουτένη οδηγεί σε πιθανή διαταραχή και εξασθένηση του πλέγματος της γλουτένης και κατ' επέκταση της δομής του ζυμαρικού. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της απώλειας στερεών κατά τον βρασμό, δηλαδή έκπλυση, κυρίως αμυλόζης και πρωτεϊνικών μορίων, από το ζυμαρικό στο νερό.

Για τον βέλτιστο χρόνο μαγειρέματος, έρευνες έδειξαν πως ο εμπλουτισμός αύξησε το χρόνο μαγειρέματος κάτι που πιθανώς οφείλεται στον υψηλότερο χρόνο που χρειάζονται τα όσπρια να μαγειρευτούν. Άλλες έρευνες όμως, έδειξαν μείωση, η οποία πιθανώς οφείλεται στη διαφορετική σύσταση των πρωτεϊνών των οσπρίων σε σύγκριση με εκείνες των πρωτεϊνών σίτου και στην υψηλότερη συμβολή σε διαιτητικές ίνες, που

μπορεί να διευκόλυνε τη διείσδυση του νερού στον πυρήνα των ζυμαρικών.

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των τελικών προϊόντων έδειξε πως σε σχετικά χαμηλά επίπεδα υποκατάστασης ο εμπλουτισμός είχε θετικά αποτελέσματα, ενώ σε χαμηλά επίπεδα είχε αρνητικά αποτελέσματα.

Έρευνες βασισμένες στην επίδραση του εμπλουτισμού στην υγεία έδειξαν γενικότερα θετικά αποτελέσματα. Με βάση την παράμετρο του μεταβολισμού, σε περιπτώσεις υψηλού ποσοστού υποκατάστασης παρατηρήθηκε αύξηση του κλάσματος των άπεπτων ουσιών εντός του ζυμαρικού, όπως μη αμυλούχοι πολυσακχαρίτες και ανθεκτικό άμυλο, που οδηγεί σε χαμηλότερους βαθμούς υδρόλυσης του αμύλου. Χαμηλότερα επίπεδα υποκατάστασης μπορούν να επιφέρουν αύξηση στην ευπεπτότητα του αμύλου, όπου φαίνεται να υπερισχύει ο παράγοντας της εξασθένησης του πλέγματος γλουτένης και κατ' επέκταση γίνεται πιο εύκολα η διείσδυση των πεπτικών ενζύμων στο ζυμαρικό και η προσβολή των μορίων αμύλου από αυτά.

Ως προς την αντιοξειδωτική ικανότητα στη βιβλιογραφία αναφέρεται αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης με τον εμπλουτισμό των οσπρίων στα ζυμαρικά, ενώ για τον γλυκαιμικό δείκτη των εμπλουτισμένων ζυμαρικών, οι μελέτες έδειξαν πως μειώνεται με την προσθήκη αλεύρων οσπρίου.

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Abdel-Aal, E. M., Youssef, M. M., Shehata, A. A., & El-Mahdy, A. R.** (1987). Some legume proteins as bread fortifier and meat extender. *Alexandria Journal of Agricultural Research*, 32(2), 179–189
- Arribas, C., Cabellos, B., Guillamón, E., & Pedrosa, M. M.** (2020). Cooking and sensorial quality, nutritional composition and functional properties of cold-extruded rice/white bean gluten-free fettuccine fortified with whole carob fruit flour. *Food & Function*, 11, 7913-7924.
- Bahnassey Y, Khan K.** (1986). Fortification of spaghetti with edible legumes. II. Rheological, processing, and quality evaluation studies. *Cereal chemistry*, 63(3):216-219.
- Berteli, M. N., & Marsaioli, A.** (2005). Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process. *Journal of Food Engineering*, 68(2), 175–183.
- Bouchenak, M., & Lamri-Senhadj, M.** (2013). Nutritional quality of legumes, and their role in cardiometabolic risk prevention: A Review. *Journal of Medicinal Food*, 16(3), 185–198.
- Boukid, F., Zannini, E., Carini, E., & Vittadini, E.** (2019). Pulses for bread fortification: a necessity or a choice? *Trends in Food Science & Technology*, 88, 416-428.
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A.** (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414–431.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P., & Duc, G.** (2010). Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research*, 115(3), 329–339.
- Dahl, W. J., Foster, L. M., & Tyler, R. T.** (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S3–S10.
- Dalgetty, D. D., & Baik, B. K.** (2006). Fortification of bread with hulls and cotyledon fibers isolated from peas, lentils and chickpeas. *Cereal Chemistry*, 83, 269–274.

- De Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Pissini Machado Reis, S. M., & de Oliveira, A. C.** (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 94(3), 327–330.
- Doxastakis, G., Papageorgiou, M., Mandalou, D., Irakli, M., Papalamprou, E., D'Agostina, A., ... Arnoldi, A.** (2007). Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chemistry*, 101(1), 57–64.
- Doxastakis, G., Zafiriadis, I., Irakli, M., Marlani, H., & Tananaki, C.** (2002). Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chemistry*, 77(2), 219–227.
- Du, S., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J.** (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 308–313.
- Foschia, M., Horstmann, S. W., Arendt, E. K., & Zannini, E.** (2017). Legumes as functional ingredients in gluten-free bakery and pasta products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8(1), 75–96.
- Fu, B. X.** (2008). Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. *Food Research International*, 41(9), 888–902.
- Fuad, T., & Prabhasankar, P.** (2010). Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 787–798.
- Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzman, N. E., Gonzalez-Laredo, R. F., Ochoa-Martínez, L. A., Corzo, N., Bello-Perez, L. A., ... Peralta-Alvarez, L. E.** (2010). Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 119(4), 1544–1549.
- Giménez, M. A., Drago, S. R., De Greef, D., Gonzalez, R. J., Lobo, M. O., & Samman, N. C.** (2012). Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation. *Food Chemistry*, 134(1), 200–206.
- Giménez, M. A., González, R. J., Wagner, J., Torres, R., Lobo, M. O., & Samman, N. C.** (2013). Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (*Vicia faba*) spaghetti type pasta. *Food Chemistry*, 136(2), 538–545.
- Goñi, I., & Valentín-Gamazo, C.** (2003). Chickpea flour ingredient slows glycaemic

response to pasta in healthy volunteers. *Food Chemistry*, 81(4), 511–515.

Greffeulle, V., Marsset-Baglieri, A., Molinari, N., Cassan, D., Sutra, T., Avignon, A., & Micard, V. (2015). Enrichment of pasta with faba bean does not impact glycemic or insulin response but can enhance satiety feeling and digestive comfort when dried at very high temperature. *Food & Function*, 6(9), 2996–3005.

Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11–S26.

Krishnan, M., & Prabhasankar, P. (2012). Health based pasta: Redefining the concept of the next generation convenience food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(1), 9–20.

Ladizinsky, G., & Adler, A. (1976). The origin of chickpea *Cicer arietinum* L. *Euphytica*, 25(1), 211–217.

Lu, X., Brennan, M. A., Serventi, L., Mason, S., & Brennan, C. S. (2016). How the inclusion of mushroom powder can affect the physicochemical characteristics of pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(11), 2433–2439.

Margier, M., Georgé, S., Hafnaoui, N., Remond, D., Nowicki, M., Du Chaffaut, L., ... Reboul, E. (2018). Nutritional composition and bioactive content of legumes: Characterization of pulses frequently consumed in France and effect of the cooking method. *Nutrients*, 10(11), 1668.

Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Des Marchais, L.-P. (2011). Evolution of porosity, shrinkage and density of pasta fortified with pea protein concentrate during drying. *LWT - Food Science and Technology*, 44(4), 883–890.

Messina, M. J. (1999). Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3), 439s–450s.

Monnet, A. F., Laleg, K., Michon, C., & Micard, V. (2019). Legume enriched cereal products: A generic approach derived from material science to predict their structuring by the process and their final properties. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 131-143.

Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, R. M., Reis, F. S., Barros, L., Berrios, J. D. J., Ferreira I. C.F.R. & Cámara, M. (2015). Lentil flour formulations to develop

new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 19, 537–544.

Nielsen MA, Sumner AK, Whalley LL (1980) Fortification of pasta with pea flour and air classified pea protein concentrate. *Cereal Chemistry*, 57, 203–206.

Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Contò, F., & Del Nobile, M. A. (2013). Chemical composition, sensory and cooking quality evaluation of durum wheat spaghetti enriched with pea flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(6), 1544–1556.

Petitot, M., & Micard, V. (2010). Legume-fortified pasta. Impact of drying and precooking treatments on pasta structure and inherent in vitro starch digestibility. *Food Biophysics*, 5(4), 309–320.

Petitot, M., Barron, C., Morel, M.-H., & Micard, V. (2010). Impact of legume flour addition on pasta structure: consequences on its in vitro starch digestibility. *Food Biophysics*, 5(4), 284–299.

Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., & Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43(2), 634–641.

Porwal, V. B., Bharath Kumar, S., Madhumathi, R., & Prabhasankar, P. (2014). Influence of health based ingredient and its hydrocolloid blends on noodle processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8(4), 283–295.

Rawal, V. & Navarro, D. K., eds. (2019). *The Global Economy of Pulses*. Rome, **FAO**.

Rebello, C. J., Greenway, F. L., & Finley, J. W. (2014). A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and its related co-morbidities. *Obesity Reviews*, 15(5), 392–407.

Sabanis, D., Makri, E., & Doxastakis, G. (2006). Effect of durum flour enrichment with chickpea flour on the characteristics of dough and lasagne. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(12), 1938–1944.

Saget, S., Costa, M., Barilli, E., Wilton de Vasconcelos, M., Santos, C. S., Styles, D., & Williams, M. (2020). Substituting wheat with chickpea flour in pasta production delivers more nutrition at a lower environmental cost. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 26–38.

- Sęczyk, Ł., Świeca, M., & Gawlik-Dziki, U.** (2016). Effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flour on the antioxidant potential, nutritional quality, and sensory characteristics of fortified durum wheat pasta. *Food Chemistry*, 194, 637–642.
- Serdaroğlu, M., Yıldız-Turp, G., & Abrodímov, K.** (2005). Quality of low-fat meatballs containing Legume flours as extenders. *Meat Science*, 70(1), 99–105.
- Shelke, K.** (2016) Pasta and noodles a global history. *Reaktion Books* ISBN: 9781780236490
- Singh, K. B.** (1997). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 53(1-3), 161-170.
- Sudha, M. L., & Leelavathi, K.** (2011). Effect of blends of dehydrated green pea flour and amaranth seed flour on the rheological, microstructure and pasta making quality. *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 713–720.
- Tazart, K., Lamacchia, C., Zaidi, F., & Haros, M.** (2016). Nutrient composition and in vitro digestibility of fresh pasta enriched with *Vicia faba*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 47, 8–15.
- Tosh, S. M., & Yada, S.** (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43(2), 450–460.
- Tsaliki, E., Lagouri, V., & Doxastakis, G.** (1999). Evaluation of the antioxidant activity of lupin seed flour and derivatives (*Lupinus albus* ssp. *Graecus*). *Food Chemistry*, 65(1), 71–75.
- Turco, I., Bacchetti, T., Morresi, C., Padalino, L., & Ferretti, G.** (2019). Polyphenols and glycaemic index of legume pasta. *Food & Function*, 10, 5931-5938.
- Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barbera, C.** (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221–226.
- WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Guidelines on food fortification with micronutrients/edited by Lindsay Allen ... [et al.].** 1. Food, Fortified. 2. Micronutrients. 3. Nutritional requirements. 4. Deficiency diseases – prevention and control. 5. Guidelines. I. Allen, Lindsay H. II. *World Health Organization*. ISBN 92 4 159401 2

- Wójtowicz, A., & Mościcki, L.** (2014). Influence of legume type and addition level on quality characteristics, texture and microstructure of enriched precooked pasta. *LWT - Food Science and Technology*, 59(2), 1175–1185.
- Wood, J. A.** (2009). Texture, processing and organoleptic properties of chickpea-fortified spaghetti with insights to the underlying mechanisms of traditional durum pasta quality. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 128–133.
- Xu, G., Ye, X., Chen, J., & Liu, D.** (2007). Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 330–335.
- Yokoyama, W. H., Hudson, C. A., Knuckles, B. E., Chiu, M.-C. M., Sayre, R. N., Turnlund, J. R., & Schneeman, B. O.** (1997). Effect of barley β -glucan in durum wheat pasta on human glycemic response. *Cereal Chemistry Journal*, 74(3), 293–296.
- Zhao, Y. H., Manthey, F. A., Chang, S. K. C., Hou, H.-J., & Yuan, S. H.** (2006). Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flours. *Journal of Food Science*, 70(6), 371–376.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Τσιάρας Ν.Γ.** (1986) Τεχνολογία σιτηρών Τ.Ε.Ι Αθήνας
- Εφημερίδα της κυβερνήσεως** (1993). Ζυμαρικά, Άρθρο 115

Διαδικτυακές πηγές

<http://www.food-info.net/gr/index.html>

<https://www.cwbrabender.com>