

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Ο ρόλος των συστατικών οσπρίων και δημητριακών στα ποιοτικά
χαρακτηριστικά των υποκατάστατων προϊόντων κρέατος φυτικής
προέλευσης»**

Ιωάννης Ελευθεριάδης

ΒΟΛΟΣ 2024

**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**«The role of leguminous and cereal components in the quality
characteristics of plant-based meat substitute products»**

John Eleftheriadis

VOLOS 2024

**«Ο ρόλος των συστατικών οσπρίων και δημητριακών στα ποιοτικά
χαρακτηριστικά των υποκατάστατων προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Γεωργόπουλος Θεοφάνης, Λέκτορας Εφαρμογών Τεχνολογίας και Ποιοτικού Ελέγχου Σιτηρών και Αρτοσκευασμάτων, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Επιβλέπων.**
- 2. Παρλαπάνη Φωτεινή, Επίκουρος Καθηγήτρια Μοριακής Μικροβιολογίας και Ποιότητας Αλιευτικών Προϊόντων – Τροφίμων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.**
- 3. Κακαγιάννη Μυρσίνη, Επίκουρος Καθηγήτρια Τεχνολογίας, Ποιότητας και Ασφάλειας Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος.**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη των φυτικών υποκατάστατων κρέατος (PBMS) υπαγορεύτηκε κυρίως από την ανάγκη μετάβασης σε ένα περισσότερο βιώσιμο και υγιεινό σύστημα τροφίμων, με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ικανό να αντικαταστήσει το συμβατικό κρέας και τα προϊόντα του στην ανθρώπινη διατροφή. Η παραγωγή των PBMS επικεντρώνεται στην προσομοίωση των αισθητηριακών ιδιοτήτων του κρέατος ζωικής προέλευσης, όπως η εμφάνιση, η υφή και η γεύση, καθώς και στην εξασφάλιση διατροφικής ποιότητας ανάλογης με εκείνην του συμβατικού κρέατος.

Τα τελευταία χρόνια, ένα ευρύ φάσμα PBMS με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά διατίθεται στην αγορά (μπιφτέκια, κοτομπουκιές, κεφτεδάκια, λουκάνικα κ.ά.), σε μια προσπάθεια της βιομηχανίας τροφίμων για αύξηση της δημοτικότητας και της αποδοχής τους από το καταναλωτικό κοινό. Η σύνθεσή τους περιλαμβάνει πλήθος φυτικών συστατικών, καθένα από τα οποία συμβάλλει σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό στην διαμόρφωση των επιθυμητών ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος.

Η συγκεκριμένη εργασία είχε ως στόχο την αναζήτηση μέσω συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης συστατικών οσπρίων και δημητριακών που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη φυτικών υποκατάστατων κρέατος, τη διερεύνηση του ρόλου που εξυπηρετούν και την επίδρασή τους στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων αυτών.

Η μελέτη των ερευνητικών αναφορών έδειξε ότι οι πρωτεΐνες, οι εμπορικοί τύποι των οποίων περιλαμβάνουν άλευρα, συμπυκνώματα και προϊόντα απομόνωσης, διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην διαμόρφωση της υφής. Καθοριστικοί παράγοντες

για την εξασφάλιση της επιθυμητής υφής και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με αυτήν (ικανότητα μάσησης, αίσθηση του χυμώδους, τρυφερότητα) αποτελούν οι λειτουργικές ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων πρωτεϊνών, ανάμεσα στις οποίες περιλαμβάνονται η ικανότητα συγκράτησης νερού και ελαίου/λίπους, η γαλακτωματοποίηση και η ζελατινοποίηση. Για τον λόγο αυτό, στην παραγωγή των PBMS γίνεται συνδυαστική χρήση πρωτεϊνών οσπρίων και δημητριακών, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται επίσης βελτίωση της διατροφικής ποιότητας των προϊόντων. Συνηθέστερες πηγές προέλευσής τους αποτελούν η σόγια, η γλουτένη σίτου και τα μπιζέλια, ενώ η μορφοποίησή τους πραγματοποιείται με εφαρμογή κυρίως της τεχνολογίας εξώθησης.

Η χρήση λιπαρών και υδατανθράκων στην ανάπτυξη των PBMS γίνεται σε περιορισμένο βαθμό, διότι οι αυξημένες ποσότητες των συστατικών αυτών δημιουργούν προβλήματα στην διαμόρφωση της υφής. Ωστόσο, τα λιπαρά (έλαιο σόγιας, έλαιο καλαμποκιού κ.ά.) λειτουργούν ως πλαστικοποιητές, ενισχύουν τη γεύση και προσδίδουν τρυφερότητα, ενώ οι υδατάνθρακες (συνήθως άμυλα και άλευρα) δρουν ως συνδετικοί παράγοντες και πυκνωτικά βελτιώνοντας την αλληλεπίδραση πρωτεϊνών, λιπιδίων και νερού και κατά συνέπεια την υφή και τη συνοχή των παραγόμενων προϊόντων.

Μεταξύ των προκλήσεων που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι βιομηχανίες παραγωγής PBMS περιλαμβάνονται η ελάττωση/εξάλειψη ανεπιθύμητων γεύσεων και οσμών, αντιδιατροφικών παραγόντων, αλλεργιογόνων καθώς και η προσομοίωση του χρώματος του συμβατικού κρέατος. Παρά το γεγονός ότι τόσο προς την κατεύθυνση αυτή όσο και σε ό,τι αφορά τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας των PBMS γίνονται συνεχείς προσπάθειες, η αποδοχή των συγκεκριμένων προϊόντων από τους

καταναλωτές παραμένει χαμηλή. Ο υπερβολικά μεγάλος αριθμός των χρησιμοποιούμενων συστατικών σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των εφαρμοζόμενων μεθόδων επεξεργασίας έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία επιφυλάξεων και την διατύπωση ανησυχιών σχετικά με την διατροφική αξία, την ασφάλεια των PBMS και τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία αλλά και στο περιβάλλον.

Συμπερασματικά, τα PBMS υπολείπονται ως προς τις αισθητηριακές ιδιότητες των αντίστοιχων προϊόντων ζωικής προέλευσης, θεωρείται ότι δεν μπορούν να αποτελέσουν διατροφικά τους υποκατάστατα και το μέλλον τους στην αγορά τροφίμων κρίνεται αβέβαιο.

Λέξεις-κλειδιά: υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης, πρωτεΐνες οσπρίων και δημητριακών, μορφοποίηση πρωτεϊνών, αισθητηριακές ιδιότητες, διατροφική ποιότητα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Συμβατικό κρέας και Προϊόντα κρέατος φυτικής προέλευσης.....	1
1.2. Σκοπός της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.....	8
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	9
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	10
3.1. Συστατικά οσπρίων και δημητριακών στην παραγωγή PBMS.....	10
3.2. Πρωτεΐνες.....	14
3.2.1. Γενικά.....	14
3.2.2. Σύσταση και Διατροφική αξία.....	16
3.2.3. Τεχνολογίες εξαγωγής πρωτεϊνών.....	21
3.2.4. Λειτουργικές Ιδιότητες.....	24
3.2.5. Μορφοποιημένες ή Ανάγλυφες πρωτεΐνες (TVP).....	29
3.2.5.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την δομική ποιότητα των TVP.....	30
3.2.5.2. Τεχνολογίες μορφοποίησης πρωτεϊνών.....	32
3.3. Λιπαρά.....	40
3.4. Γευστικοί και Αρωματικοί παράγοντες.....	42
3.5. Χρωστικές.....	44
3.6. Υδατάνθρακες.....	46
3.7. Αντιοξειδωτικά.....	47
3.8. Αντιδιατροφικοί παράγοντες.....	49
3.9. Αλλεργιογόνα.....	51
3.10. Εφαρμογές στην παραγωγή φυτικών υποκατάστατων κρέατος.....	53
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	56

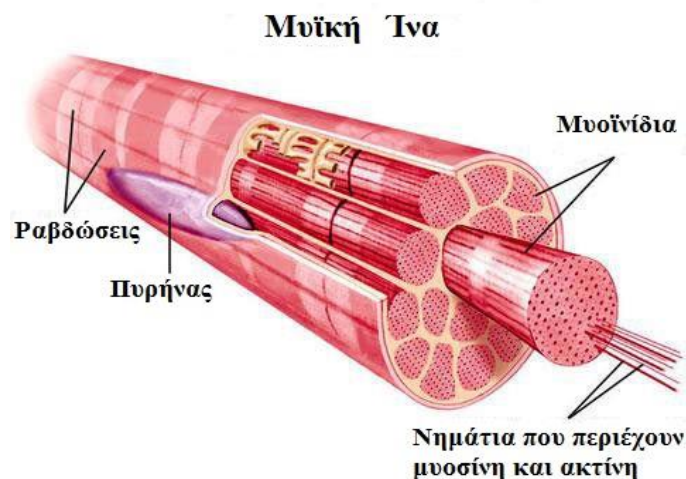
► ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
► ABSTRACT.....	71

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Συμβατικό κρέας και Προϊόντα κρέατος φυτικής προέλευσης

Ο όρος «κρέας» αναφέρεται στα τμήματα των σφάγιων θερμόαιμων ζώων (θηλαστικών και πτηνών) τα οποία είναι κατάλληλα για την ανθρώπινη διατροφή. Με βάση τις καταναλωτικές αντιλήψεις, είναι το μέρος του σφάγιου που αποτελείται κυρίως από σκελετικό μυϊκό ιστό, συνοδευόμενο από λίπος, συνδετικό ιστό ή ακόμη και οστά (Μπλούκας και συν. 2021).

Οι βασικές μονάδες των σκελετικών μυών των θηλαστικών (μοσχάρι, χοιρινό, αρνί κ.λ.π.) και των πτηνών (κοτόπουλο, γαλοπούλα κ.λ.π.) είναι οι μυϊκές ίνες. Πρόκειται για επιμήκη, λεπτά, παράλληλα κύτταρα, διατεταγμένα σε δεσμίδες, των οποίων κύρια συστατικά αποτελούν οι πρωτεΐνες ακτίνη και μυοσίνη. Μια μυϊκή ίνα αποτελείται από μυοϊνίδια και αυτά με τη σειρά τους από παχιά νημάτια μυοσίνης και λεπτά νημάτια με κύριο συστατικό την ακτίνη (Belitz *et al.* 2018, Sha & Xiong 2020).



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση μυϊκής ίνας (*Online Biology Notes*)

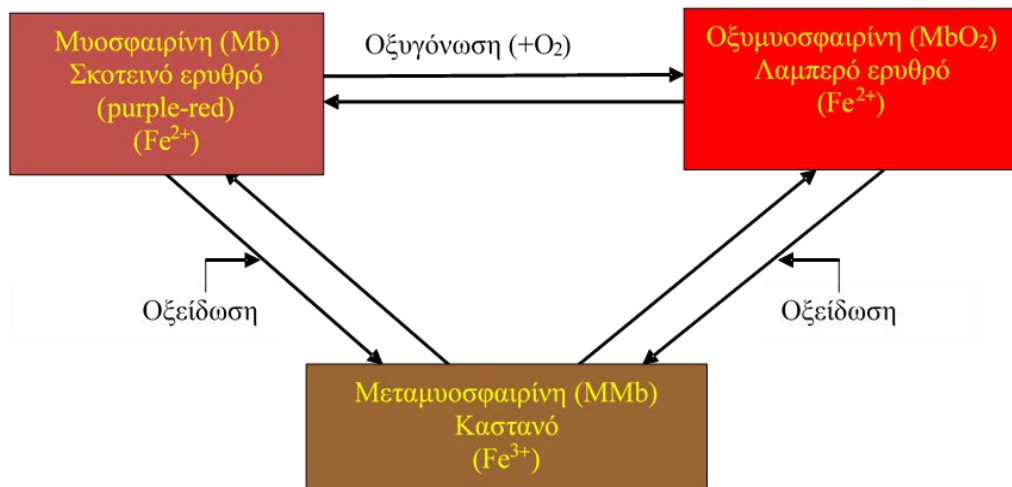
Οι μυϊκές πρωτεΐνες παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην ποιότητα του κρέατος και των προϊόντων επεξεργασίας του λόγω των λειτουργικών τους ιδιοτήτων, οι οποίες επηρεάζουν τα φυσικά και αισθητηριακά χαρακτηριστικά τόσο των ακατέργαστων όσο και των τελικών προϊόντων. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η ικανότητα συγκράτησης νερού, η ικανότητα γαλακτωματοποίησης και η ζελατινοποίηση (σχηματισμός πηκτής) (Xiong & Kenney, 1999). Οι συγκεκριμένες ιδιότητες ευθύνονται για τη διαμόρφωση της υφής και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών όπως η ικανότητα μάσησης, η αίσθηση στο στόμα και η τρυφερότητα, τα οποία εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ προϊόντων ολικής μυϊκής μάζας (φιλέτα, μπριζόλες κ.λ.π.) και επεξεργασμένων προϊόντων κρέατος (μπιφτέκια, λουκάνικα κ.λ.π.) (Sha & Xiong 2020).

Τα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος είναι ετερογενή μίγματα τα οποία εκτός από κρέας περιέχουν και άλλα συστατικά, όπως αλάτι, φωσφορικά άλατα, πολυσακχαρίτες και αρωματικούς παράγοντες. Στα προϊόντα αυτά, ο σχηματισμός της υφής και κατά συνέπεια οι οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου που σχετίζονται με αυτήν εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα ζελατινοποίησης και γαλακτωματοποίησης των μυοϊνδιακών πρωτεϊνών. Η μυοσίνη έχει τη δυνατότητα σχηματισμού μιας ιξωδοελαστικής και συγκολλητικής γέλης κατά το μαγείρεμα και επιπλέον διαθέτει εξαιρετική ικανότητα γαλακτωματοποίησης του λίπους (Xiong & Kenney 1999, Sha & Xiong 2020).

Στα προϊόντα κρέατος, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η προσθήκη χλωριούχου νατρίου και φωσφορικών αλάτων. Το μαγειρικό αλάτι (τυπικό επίπεδο εφαρμογής 1,5-2,5%) προκαλεί εκχύλιση και διαλυτοποίηση των μυοϊνδιακών πρωτεϊνών συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη διαμόρφωση της επιθυμητής υφής,

ενισχύει τη γεύση και αναστέλλει την ανάπτυξη μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση (Sha & Xiong 2020, Kim *et al.* 2021). Τα φωσφορικά άλατα έχουν την ικανότητα να διασπούν το σύμπλοκο ακτίνης-μυοσίνης (ακτομυοσίνη) και να αυξάνουν τις ηλεκτροστατικές απώσεις μεταξύ των μυοϊνιδίων, με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας δέσμευσης νερού και λίπους και τη βελτίωση των ιδιοτήτων γαλακτωματοποίησης και ζελατινοποίησης των πρωτεϊνών (Xiong & Kenney 1999, Goemaere *et al.* 2021).

Ένα από τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κρέατος και των προϊόντων του είναι το χρώμα, για το οποίο κατά κύριο λόγο ευθύνεται η μυοσφαιρίνη, μια υδατοδιαλυτή πρωτεΐνη που περιέχεται στο κυτταρόπλασμα (σαρκόπλασμα) των μυϊκών ινών. Το χρωμοφόρο συστατικό του μορίου είναι ο πορφυρινικός δακτύλιος της αίμης, που φέρει στο κέντρο του ένα άτομο σιδήρου. Το χρώμα του κρέατος επηρεάζεται από την ποσότητα και τη χημική κατάσταση της μυοσφαιρίνης (Listrat *et al.* 2016, Τσακαλίδου 2023). Το θαμπό καστανό χρώμα των προϊόντων του μαγειρεμένου κρέατος αποδίδεται στην μετουσίωση της μυοσφαιρίνης λόγω θέρμανσης (Suman *et al.* 2016), ενώ το χαρακτηριστικό ροζ χρώμα ορισμένων αλλαντικών όπως το ζαμπόν οφείλεται στην ένωση νιτροζυλο-αιμοχρωμίνη, η παραγωγή της οποίας πραγματοποιείται έπειτα από επεξεργασία του κρέατος με νιτρώδη άλατα (Τσακαλίδου 2023).



Σχήμα 1: Μορφές μυοσφαιρίνης νωπού κόκκινου κρέατος (Τσακαλίδου 2023)

Το κρέας ζωικής προέλευσης αποτελεί σημαντική πηγή ενέργειας και πολλών θρεπτικών συστατικών, σημαντικότερα από τα οποία θεωρούνται οι πρωτεΐνες. Επιπλέον, είναι πλούσιο σε μικροθρεπτικά συστατικά, όπως σίδηρο, σελήνιο, ψευδάργυρο και βιταμίνες του συμπλέγματος B, ιδιαίτερα της B12. Οι πρωτεΐνες του κρέατος είναι υψηλής βιολογικής αξίας διότι περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα και είναι εξαιρετικά εύπεπτες (η βαθμολογία της πεπτικότητάς τους ανέρχεται σε 0,92 σύμφωνα με τη μέθοδο PDCAAS¹). Παρά το γεγονός ότι το συμβατικό κρέας διαθέτει σημαντικά διατροφικά πλεονεκτήματα, η έρευνα έχει δείξει ότι η υπερβολική κατανάλωση ειδικά του κόκκινου κρέατος αυξάνει τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων, μεταβολικού συνδρόμου, παχυσαρκίας, διαβήτη τύπου 2

¹ PDCAAS: Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (Διορθωμένη ως προς την πεπτικότητα βαθμολογία αμινοξέων πρωτεΐνης)

και ορισμένων μορφών καρκίνου (Pereira *et al.* 2013, Toribio-Mateas *et al.* 2021). Κατά συνέπεια, προέκυψε η επιτακτική ανάγκη για αναζήτηση εναλλακτικών πηγών πρωτεΐνης, οι οποίες σήμερα περιλαμβάνουν προϊόντα διατροφής με βάση φυτά (plant-based), βρώσιμους μύκητες, φύκια και έντομα (Zhu & Begho 2022).

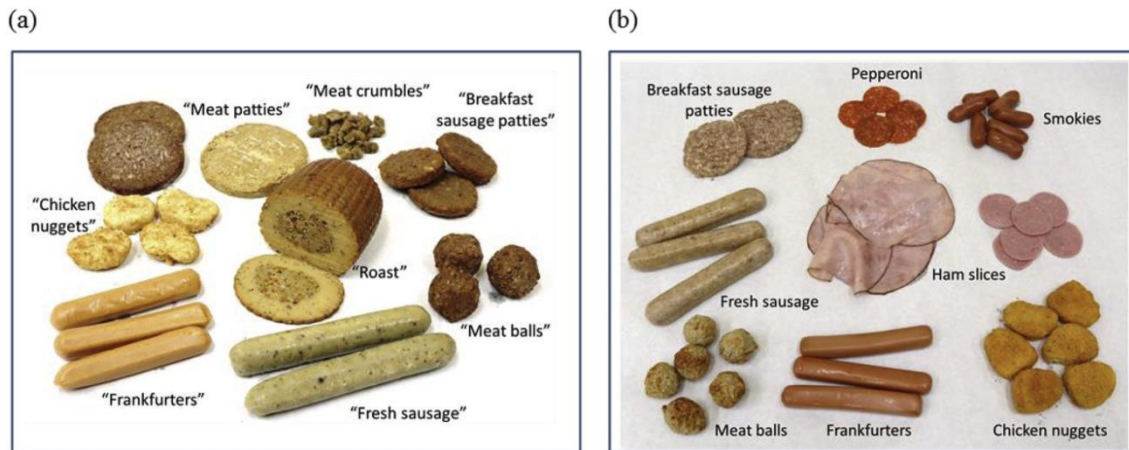
Αν και η αυξημένη κατανάλωση κρέατος εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία, τα άτομα που επιλέγουν μια δίαιτα η οποία δεν περιλαμβάνει κρέας αποτελούν μειοψηφία. Στις Η.Π.Α., ποσοστό περίπου 5% του πληθυσμού ακολουθεί χορτοφαγική (vegetarian) και μόλις 3% vegan διατροφή, τα ποσοστά όμως αυτά σταδιακά σημειώνουν αύξηση, ενώ παράλληλα αυξάνεται και ο αριθμός των ατόμων που ακολουθούν μια ευέλικτη δίαιτα (flexitarian diet), η οποία περιορίζει την κατανάλωση κρέατος (Kolodziejczak *et al.* 2022, Romão *et al.* 2023).

Δεδομένου ότι ιδανική για την ανθρώπινη υγεία αποτελεί η επιλογή μιας ισορροπημένης διατροφής, η ολοκληρωτική απουσία ζωικών προϊόντων στη δίαιτα γενικά δεν ενδείκνυται. Η ελάττωση όμως της κατανάλωσής τους με αύξηση της πρόσληψης υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης θα μπορούσε να είναι εξαιρετικά ωφέλιμη (Szenderák *et al.* 2022). Ωστόσο, ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν ότι μειονεκτήματα της δίαιτας με τρόφιμα τέτοιου είδους αποτελούν η έλλειψη ορισμένων θρεπτικών ουσιών λόγω υπερεπεξεργασίας των συστατικών που εμπλέκονται στην παρασκευή τους, η υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι και η αξιοποίηση γενετικά τροποποιημένων φυτών (Ismail *et al.* 2020).

Τα τελευταία χρόνια, η ζήτηση για υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης εμφανίζει αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο (Romão *et al.* 2023). Οι πρόσφατες ανησυχίες που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα, την υγεία των καταναλωτών, τις επιπτώσεις της

κτηνοτροφίας στο περιβάλλον, την ευημερία των ζώων, τις ηθικές και θρησκευτικές πεποιθήσεις αποτελούν ορισμένους από τους λόγους, οι οποίοι λειτούργησαν ως κίνητρο για τη στροφή του ενδιαφέροντος της έρευνας και της βιομηχανίας τροφίμων προς την κατεύθυνση παραγωγής ανάλογων κρέατος με βάση συστατικά των φυτών (Ahmad *et al.* 2022, Imran & Liyan 2023).

Τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος (plant based meat substitutes, συντομογραφικά PBMS) είναι τρόφιμα που έχουν παρόμοια υφή, γεύση και εμφάνιση με εκείνη των προϊόντων του συμβατικού κρέατος και, παρά το γεγονός ότι φαίνεται να έχουν παρόμοια δομή με αυτά, διαφέρουν σημαντικά ως προς τη σύνθεση (Ahmad *et al.* 2022, Franca *et al.* 2022). Η παρασκευή και κατανάλωση ορισμένων παραδοσιακών προϊόντων τέτοιου είδους ήταν γνωστή από παλαιωτάτων χρόνων στην Ασία. Στα περισσότερο δημοφιλή συγκαταλέγονται το tofu, γνωστό και ως "τυρί" σόγιας, το tempeh, που παρασκευάζεται με ζύμωση μαγειρεμένων σπόρων σόγιας και το seitan, μια χορτοφαγική εναλλακτική λύση με γεύση κρέατος από γλουτένη σίτου (Marcus 2013). Ουσιαστικά, το πρώτο φυτικό ανάλογο κρέατος, η κυκλοφορία του οποίου ανάγεται στα μέσα με τέλη του 20ού αιώνα, ήταν η φυτική ξηρή ανάγλυφη πρωτεΐνη (Textured Vegetable Protein, συντομογραφικά TVP), για την παραλαβή της οποίας χρησιμοποιήθηκαν απολιπασμένο αλεύρι σόγιας, συμπυκνώματα πρωτεΐνης σόγιας ή γλουτένη σίτου, με αξιοποίηση της τεχνικής της εξώθησης (Ismail *et al.* 2020). Την τελευταία δεκαετία διάφορες εταιρείες δυτικών χωρών επιδόθηκαν με επιτυχία στην ανάπτυξη φυτικών υποκατάστατων προϊόντων κρέατος όπως το "Beyond burger" και το "Impossible burger" (Ismail *et al.* 2020), ενώ ανάμεσα σε αυτά που διατίθενται σήμερα στην αγορά περιλαμβάνονται μπιφτέκια, λουκάνικα, nuggets καθώς και προϊόντα που μοιάζουν με κιμά ή μπιριζόλες (Ishaq *et al.* 2022).



Εικόνα 2: (a) Υποκατάστατα προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης (b) Προϊόντα κρέατος ζωικής προέλευσης (Sha & Xiong 2020)

Κατά κύριο λόγο, το εναλλακτικό κρέας φυτικής προέλευσης αποτελείται από νερό και φυτικές πρωτεΐνες, οι οποίες έχουν υποστεί κατάλληλη επεξεργασία. Πηγές των πρωτεϊνών αυτών είναι συνήθως διάφορα όσπρια, όπως η σόγια και τα μπιζέλια καθώς και δημητριακά, όπως το σιτάρι. Η σημαντικότερη διεργασία κατά την παρασκευή υποκατάστατων κρέατος είναι η επεξεργασία των φυτικών πρωτεϊνών για την επίτευξη ινώδους δομής, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να δίνει την αίσθηση ιστών συμβατικού κρέατος. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές, ανάμεσα στις οποίες περιλαμβάνονται η εξώθηση, η διάτμηση, η περιδίνηση (στροβιλισμός) και η τρισδιάστατη (3D) εκτύπωση (Ahmad *et al.* 2022, Zhao *et al.* 2022). Επιπλέον, κατά την παρασκευή τους γίνεται χρήση φυτικών ελαίων και λιπών (λάδι καρύδας, σογιέλαιο, ηλιέλαιο κ.ά.) τα οποία επηρεάζουν τον σχηματισμό της δομής και προκαλούν βελτίωση της γεύσης (Ahmad *et al.* 2022). Η προσομοίωση του χρώματος του κρέατος εξασφαλίζεται με φυτικές χρωστικές, όπως τα εκχυλίσματα κόκκινων τεύτλων και καρότων (Sha & Xiong 2020). Κατά την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται

επίσης ενισχυτικά γεύσης και συνδετικοί παράγοντες (Ahmad *et al.* 2022), ενώ ορισμένα από αυτά εμπλουτίζονται με βιταμίνες και μέταλλα για την ενίσχυση του θρεπτικού τους περιεχομένου (Curtain & Grafenauer 2019).

Οι επιτυχείς προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας των PBMS τα τελευταία χρόνια, η αυξημένη διαθεσιμότητά τους στα ράφια των super markets, οι σημαντικές επενδύσεις στην αγορά τροφίμων καθώς και η αναμενόμενη αύξηση των πωλήσεων στο προσεχές μέλλον δηλώνουν ότι το πεδίο των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης αξίζει να διερευνηθεί ενδελεχώς, τόσο σε ό,τι αφορά την υπάρχουσα κατάσταση της επιστημονικής έρευνας όσο και τις μελλοντικές εξελίξεις στον εν λόγω τομέα τροφίμων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι σε πολλές μη αναπτυγμένες χώρες, στις οποίες η διατροφή με ζωική πρωτεΐνη είναι περιορισμένη, η ανάπτυξη των PBMS αποτελεί μια επιλογή που συμβάλλει στην κάλυψη των αναγκών του πληθυσμού σε πρωτεΐνη και στην πρόληψη του υποσιτισμού (He *et al.* 2020, Andreani *et al.* 2023).

1.2. Σκοπός της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία είχε ως σκοπό την διεξαγωγή μιας συστηματικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με τον ρόλο των συστατικών οσπρίων και δημητριακών στη διαμόρφωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των υποκατάστατων προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης, με επιμέρους στόχους την μελέτη, τις τεχνολογικές και λειτουργικές ιδιότητες, τις μεθόδους επεξεργασίας καθώς και την επίδραση στα αισθητηριακά χαρακτηριστικά και την διατροφική ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Διεξοδική βιβλιογραφική έρευνα πραγματοποιήθηκε αναφορικά με τον ρόλο των πρωτεϊνών των πρώτων υλών (οσπρίων και δημητριακών), οι οποίες αποτελούν τα

βασικά δομικά συστατικά των φυτικών υποκατάστατων κρέατος και κατά συνέπεια η επιτυχής επιλογή τους αποτελεί καθοριστικό παράγοντα παραγωγής προϊόντων επιθυμητής υφής, προκειμένου να τύχουν ευνοϊκής αποδοχής από το καταναλωτικό κοινό. Επιπλέον, υπογραμμίστηκε ο ρόλος λιπαρών και υδατανθράκων και εξετάστηκαν περιορισμοί κατά την εφαρμογής τους, μελετήθηκαν μέθοδοι εξάλειψης ανεπιθύμητων γεύσεων και οσμών και επισημάνθηκαν αντιδιατροφικοί παράγοντες και αλλεργιογόνα που εγκυμονούν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Ειδική αναφορά έγινε στις χρησιμοποιούμενες χρωστικές ουσίες καθώς και στην πρόληψη υποβάθμισης της ποιότητας των PBMS λόγω οξείδωσης λιπαρών και πρωτεϊνών.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα συστατικά οσπρίων και δημητριακών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή PBMS και την επίδρασή τους στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων αυτών έγινε κυρίως με τη χρήση πηγών του διαδικτύου. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε αναζήτηση βιβλιογραφίας στα Scopus, PubMed, Web of Science, Google Scholar και ScienceDirect. Παράλληλα αξιοποιήθηκαν πληροφορίες από βιβλία τριτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Για την συλλογή των δεδομένων και πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν λέξεις-κλειδιά όπως: υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης, ποιοτικά χαρακτηριστικά, σύνθεση συστατικών, όσπρια, δημητριακά, πρωτεΐνες οσπρίων και δημητριακών, μορφοποίηση πρωτεϊνών, αισθητηριακές ιδιότητες, διατροφική ποιότητα.

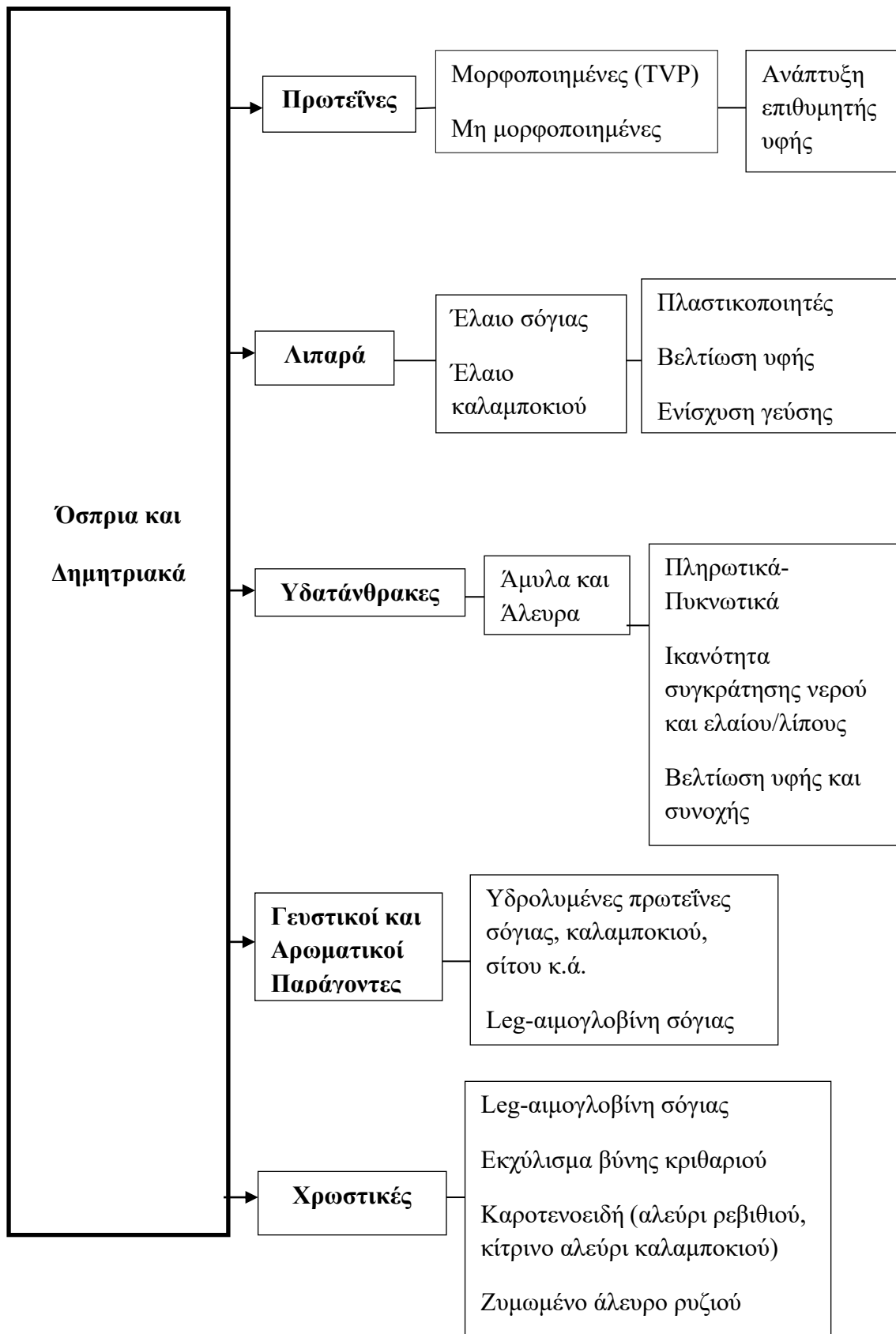
Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε συγκέντρωση δεδομένων σε πίνακες και σχεδιασμός διαγραμμάτων, έτσι ώστε η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

να αποτελέσει τη βάση για περαιτέρω διερεύνηση του θέματος από την ακαδημαϊκή κοινότητα και ένα χρήσιμο εργαλείο για τους επαγγελματίες που προτίθενται να ασχοληθούν με την παραγωγή PBMS.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

3.1. Συστατικά οσπρίων και δημητριακών στην παραγωγή PBMS

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εναλλακτικού φυτικού κρέατος εξαρτώνται από τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του και η μεγαλύτερη πρόκληση για τις βιομηχανίες τροφίμων είναι η ανάπτυξη αποδεκτών από τους καταναλωτές αισθητηριακών ιδιοτήτων. Η εμφάνιση, η γεύση, η υφή, το χρώμα, η αίσθηση στο στόμα κατά την μάσηση και η ιδιότητα του χυμώδους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες επιλογής, ενώ ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται και η διατροφική αξία του τελικού προϊόντος. Ένα τυπικό υποκατάστατο κρέατος φυτικής προέλευσης περιέχει σημαντική ποσότητα νερού, πρωτεΐνες σε ανάγλυφη και μη ανάγλυφη μορφή, αρωματικές ύλες, λιπαρά (έλαια ή λίπη), συνδετικούς παράγοντες και χρωστικές (Kyriakopoulou *et al.* 2021).



Σχήμα 2: Συστατικά οσπρίων και δημητριακών στην παραγωγή PBMS

Με βάση τα χαρακτηριστικά τους και τα απαιτούμενα για την παρασκευή τους συστατικά, τα φυτικά υποκατάστατα προϊόντων κρέατος μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: (α) προϊόντα τύπου γαλακτώματος (λουκάνικα, μορταδέλα, κ.λ.π.) (β) προϊόντα που προσομοιάζουν με εκείνα που παρασκευάζονται από ζωικής προέλευσης κιμά (μπιφτέκια, nuggets) και (γ) αυτά που μιμούνται ολόκληρα τμήματα μυών ζώων (κομμάτια κοτόπουλου, μπριζόλες) (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Ο ακόλουθος Πίνακας 1 περιλαμβάνει τη βασική σύνθεση ορισμένων συμβατικών προϊόντων κρέατος και των αντίστοιχων υποκατάστατων φυτικής προέλευσης.

Πίνακας 1: Κύρια συστατικά ενδεικτικών συμβατικών προϊόντων κρέατος και των αντίστοιχων υποκατάστατων φυτικής προέλευσης (περιεκτικότητες εκφρασμένες σε g/100g προϊόντος)

Τύπος προϊόντος	Συστατικά	Πηγή
Burger	Βοδινό (99%), αλάτι	Abdullah <i>et al.</i> 2022
Burger φυτικής προέλευσης	Πρωτεΐνη σόγιας (19,9%), φυτικά έλαια (κραμβέλαιο, έλαιο καρύδας), ξίδι από ζύμωση αλκοόλης, αρώματα, σταθεροποιητής (μεθυλοκυτταρίνη), φυτικά συμπυκνώματα (μήλο, τεύτλα, καρότο, ιβίσκος), εκχύλισμα βύνης κριθαριού	
Λουκάνικο Φρανκφούρτης	Χοιρινό (71%), νερό, αλάτι, πρωτεΐνη σόγιας, τροποποιημένο άμυλο, χοιρινό κολλαγόνο, γλυκόζη, σταθεροποιητές (διφωσφορικά, τριφωσφορικά),	Daszkiewicz <i>et al.</i> 2023

	ενισχυτικό γεύσης (γλουταμινικό μονονάτριο), μπαχαρικά, εκχυλίσματα μπαχαρικών, αντιοξειδωτικό (ασκορβικό νάτριο), συντηρητικό (νιτρώδες νάτριο)	
Λουκάνικο Φρανκφούρτης φυτικής προέλευσης	Νερό, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας (10,9%), κραμβέλαιο, γλουτένη σίτου (7,3%), τροποποιημένο άμυλο καλαμποκιού, αλάτι, αρωματικές ουσίες, πυκνωτικό (καραγενάνη), τριμμένο κόκκινο πιπέρι, χρωστικές (οξειδία και υδροοξειδία του σιδήρου), υγρός καπνός	Daszkiewicz <i>et al.</i> 2023
Σαλάμι	Χοιρινό (28%), νερό, χοιρινό δέρμα, βοδινό κρέας (12%), λαρδί, άμυλο πατάτας, αλάτι, χοιρινή πρωτεΐνη, σταθεροποιητές (διφωσφορικά, τριφωσφορικά), τροποποιημένο άμυλο, πηκτωματοποιητές (καραγενάνη, ξανθάνη, κόμμι γκουάρ), γαλακτωματοποιητές (μονο- και δι-γλυκερίδια λιπαρών οξέων), αντιοξειδωτικά (ασκορβικό νάτριο, κιτρικό οξύ), ρυθμιστής οξύτητας (ανθρακικό νάτριο), φυτικές ίνες, ενισχυτικά γεύσης (γλουταμινικό	Abdullah <i>et al.</i> 2022 Wikipedia (12/1/2024)

	μονονάτριο και ριβονουκλεοτίδια του νατρίου), χρωστικές (καρμίνιο, καραμελόχρωμα, εκχύλισμα παντζαριού), μπαχαρικά, σκόρδο, εκχυλίσματα μπαχαρικών, συντηρητικό (νιτρώδες νάτριο)	
Σαλάμι φυτικής προέλευσης	Πρωτεΐνη σόγιας (9%), ανάγλυφη πρωτεΐνη σόγιας (7%), κραμβέλαιο, πρωτεΐνη σίτου (5%), τροποποιημένο άμυλο καλαμποκιού, αρωματικές ουσίες, αλάτι, πυκνωτικό (καραγενάνη), μπαχαρικά, ξίδι σε σκόνη, εκχύλισμα βύνης κριθαριού, χρωστικές (οξειδία και υδροοξειδία του σιδήρου)	Abdullah <i>et al.</i> 2022 Wikipedia (12/1/2024)

3.2. Πρωτεΐνες

3.2.1. Γενικά

Οι φυτικές πρωτεΐνες με υφή (ή ανάγλυφες πρωτεΐνες) αποτελούν τη βασική σκελετική δομή του εναλλακτικού κρέατος φυτικής προέλευσης (Zhao *et al.* 2022). Παρά το γεγονός ότι το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη του προϊόντος είναι η επιλογή της φυτικής πρωτεΐνης η οποία θα έχει τις κατάλληλες λειτουργικές ιδιότητες ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, στην πραγματικότητα αυτή συχνά εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα της πρωτεΐνης, τη δυνατότητα εξαγωγής της από την πρώτη ύλη και την απόδοση των καλλιεργειών (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Οι

σημαντικότερες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται σήμερα ως πηγές πρωτεΐνης είναι τα όσπρια (Zhao *et al.* 2022), που αποτελούν τους ώριμους σπόρους των φυτών της οικογένειας *Fabaceae* (Belitz *et al.* 2018). Ανάμεσα σε αυτά που μελετήθηκαν για τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών τους, όπως η γαλακτωματοποίηση, η σταθεροποίηση αφρού και ο σχηματισμός γέλης περιλαμβάνονται η σόγια, τα μπιζέλια, οι φακές, το λούπινο, τα ρεβίθια και διάφοροι τύποι φασολιών (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Η χημική σύσταση των κυριότερων οσπρίων περιλαμβάνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Χημική σύσταση αντιπροσωπευτικών οσπρίων (Μέσες τιμές εκφρασμένες ως % w/w ξηρής ουσίας) (Belitz *et al.* 2018)

Όσπριο	Πρωτεΐνη	Λιπαρά	Διαθέσιμοι υδατάνθρακες	Διαιτητικές ίνες	Ανόργανα στοιχεία
Σόγια	41,0	19,6	7,6	24,0	5,5
Μπιζέλια	25,7	1,4	53,7	18,7	3,0
Φακές	28,6	1,6	57,6	11,9	3,6
Ρεβίθια	22,7	5,0	54,6	10,7	3,0
Λευκά φασόλια	24,1	1,8	54,1	19,2	4,4
Φασόλια mung	26,7	1,3	51,7	21,7	3,8
Φιστίκια	31,4	50,7	7,9	12,3	2,7

Επιπλέον, στην παραγωγή των φυτικών υποκατάστατων κρέατος χρησιμοποιούνται πρωτεΐνες δημητριακών, όπως το σιτάρι, η βρόμη και το ρύζι. Η πιο κοινή είναι η γλουτένη σίτου, λόγω των ιξωδοελαστικών της ιδιοτήτων (Kurek *et al.* 2022).



Όσπρια

Δημητριακά

Εικόνα 3: Πηγές φυτικών πρωτεϊνών για την παραγωγή PBMS (Benković *et al.* 2023)

3.2.2. Σύσταση και Διατροφική αξία

Γενικά, η ποιότητα των πρωτεϊνών σχετίζεται με την περιεκτικότητά τους σε απαραίτητα αμινοξέα και την πεπτικότητά τους μετά την κατανάλωση, η οποία εκφράζει την αναλογία των προσλαμβανόμενων αμινοξέων που μπορούν να διατεθούν για χρήση από τον οργανισμό μετά την πέψη και την απορρόφηση. Οι πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης, όπως αυτές του κρέατος, θεωρούνται "πλήρεις" διότι περιέχουν και τα εννέα απαραίτητα αμινοξέα (ιστιδίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, λυσίνη, μεθειονίνη, φαινυλαλανίνη, θρεονίνη, τρυπτοφάνη και βαλίνη) και επιπλέον χαρακτηρίζονται από υψηλή πεπτικότητα (90-95%). Αντίθετα, οι φυτικές πρωτεΐνες συχνά παρουσιάζουν έλλειψη ορισμένων απαραίτητων αμινοξέων και σε σύγκριση με τις ζωικές πρωτεΐνες έχουν σχετικά χαμηλή πεπτικότητα (75-80%) (Qin *et al.* 2022).

Τα όσπρια, από διατροφική άποψη, χαρακτηρίζονται ως τροφή υψηλής θρεπτικής αξίας. Αποτελούν πλούσια πηγή διαιτητικών ινών, βιταμινών, μετάλλων (μαγνήσιο, σίδηρος, ψευδάργυρος, κάλιο), φωσφόρου και αντιοξειδωτικών ενώσεων. Επιπλέον, έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λίπη και αρκετά μεγάλη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, η οποία κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 20% έως 35%

(Kurek *et al.* 2022). Ωστόσο, η ποιότητα των πρωτεϊνών των οσπρίων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους παράγοντες, όπως η βιοδιαθεσιμότητα², η πεπτικότητα, το προφίλ των αμινοξέων και η πιθανή περιεκτικότητα σε αντιθρεπτικά συστατικά (Neji *et al.* 2022). Οι πρωτεΐνες των οσπρίων, συγκρινόμενες με εκείνες των δημητριακών, περιέχουν σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα των αμινοξέων λυσίνη (ειδικά τα μπιζέλια) και θρεονίνη, όμως η ανεπαρκής περιεκτικότητά τους σε θειούχα αμινοξέα (μεθειονίνη, κυστεΐνη) και σε τρυπτοφάνη περιορίζει τη βιολογική τους αξία (Kurek *et al.* 2022). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η αλλεργιογόνος δράση ορισμένων πρωτεϊνών, όπως η πρωτεΐνη της σόγιας, θεωρείται ότι αποτελεί κίνδυνο για την υγεία ορισμένων καταναλωτών (Sha & Xiong 2020), ενώ αρνητική καταναλωτική στάση εκδηλώνεται απέναντι στη σόγια και λόγω της συσχέτισής της με γενετική τροποποίηση (Kurek *et al.* 2022). Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες (έως 46%) έχουν οι σπόροι του λούπινου και, λόγω της παρουσίας λειτουργικών συστατικών, εμφανίζουν αντιοξειδωτική, υποχοληστερολαιμική, αντιαλλεργική και αντιφλεγμονώδη δράση, έχουν χαμηλό γλυκαιμικό δείκτη³ και αυξάνουν τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων (Kurek *et al.* 2022). Οι κύριες πηγές πρωτεΐνης στην ανάπτυξη των φυτικών υποκατάστατων κρέατος είναι η σόγια και τα μπιζέλια, λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας και του χαμηλού τους κόστους (Sha & Xiong 2020).

Η σόγια περιέχει υψηλής ποιότητας πρωτεΐνη, με βαθμολογία αμινοξέων διορθωμένη ως προς την πεπτικότητα (PDCAAS) παρόμοια με αυτήν του κρέατος και

² Βιοδιαθεσιμότητα: ο όρος αναφέρεται στην ποσότητα μιας ουσίας που εισέρχεται στο αίμα μέσω διαφόρων οδών, συμπεριλαμβανομένης της διατροφής.

³ Γλυκαιμικός δείκτης: μέτρο αξιολόγησης της ταχύτητας με την οποία ένας υδατάνθρακας επηρεάζει το επίπεδο γλυκόζης στο αίμα.

καλή ισορροπία απαραίτητων αμινοξέων, με εξαίρεση εκείνα που περιέχουν θείο, όπως η μεθειονίνη (Qin *et al.* 2022).

Η πρωτεΐνη μπιζελιού κατέχει επίσης σημαντική θέση στην παραγωγή των εναλλακτικών προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης. Σε αντίθεση με την πρωτεΐνη σόγιας, δεν έχει αλλεργιογόνο δράση και προέρχεται από μη γενετικά τροποποιημένους οργανισμούς, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από υψηλή βιοδιαθεσιμότητα (Zhao *et al.* 2022). Η βαθμολογία PDCAAS για τα μπιζέλια κυμαίνεται μεταξύ 0,66 και 0,91, ενώ περιοριστικά αμινοξέα για τα όσπρια αυτά αποτελούν τα θειούχα και η θρεονίνη (Qin *et al.* 2022).

Τα κύρια πρωτεϊνικά κλάσματα στους σπόρους των οσπρίων είναι οι γλοβουλίνες (σφαιρίνες) και οι αλβουμίνες (λευκωματίνες). Οι αλβουμίνες, που αποτελούν το 10-25% του συνολικού πρωτεϊνικού περιεχομένου, είναι δομικές και ενζυμικές πρωτεΐνες, διαλυτές στο νερό, που σχηματίζουν σύνθετους δεσμούς με υδατάνθρακες, λιπίδια και νουκλεϊκά οξέα. Οι γλοβουλίνες είναι αποθηκευτικές πρωτεΐνες, διαλυτές σε αραιά διαλύματα ουδέτερων αλάτων (Kurek *et al.* 2022). Στη σόγια και τα μπιζέλια οι σφαιρίνες αντιπροσωπεύουν έως και το 90% της ολικής πρωτεΐνης. Στις γλοβουλίνες της σόγιας κυριαρχούν η β-κονγλυκινίνη και η γλυκινίνη, ενώ σε εκείνες των μπιζελλιών η λεγγιουμίνη και η βισιλίνη (Sha & Xiong 2020).

Εκτός από τα όσπρια, πηγές πρωτεϊνών στην ανάπτυξη υποκατάστατων προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης μπορούν να αποτελέσουν διάφορα δημητριακά. Σε σχέση με τα όσπρια, τα δημητριακά έχουν μικρότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλή πεπτικότητα και μη ικανοποιητική σύνθεση αμινοξέων, ιδιαίτερα λόγω έλλειψης λυσίνης και θρεονίνης.

Δεδομένου ότι οι περισσότερες πρωτεΐνες οσπρίων υπολείπονται στα αμινοξέα μεθειονίνη και κυστεΐνη, ενώ εκείνες των δημητριακών σε λυσίνη, για την εξισορρόπηση των αμινοξέων και κατά συνέπεια για τη βελτίωση της βιολογικής αξίας των προϊόντων εναλλακτικού κρέατος με βάση τα φυτά, απαιτείται η συνδυαστική χρήση πρωτεϊνών οσπρίων και δημητριακών (Zhao *et al.* 2022).

Πίνακας 3: Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες δημητριακών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή PBMS (Benković *et al.* 2023)

Δημητριακό	Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (εκφρασμένη ως % w/w ξηρής ουσίας)
Σιτάρι	8–17.5
Καλαμπόκι	8.8–11.9
Ρύζι	7–10
Βρόμη	8.7–16

Κυρίαρχη θέση ανάμεσα στα πρωτεϊνικά συστατικά των δημητριακών κατέχει η γλουτένη σίτου, καθώς αποτελεί βασικό συστατικό πολλών φυτικών υποκατάστατων κρέατος και ως υποπροϊόν της βιομηχανίας αμύλου σίτου έχει σχετικά χαμηλό κόστος (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Ορίζεται ως η ελαστική μάζα που παραμένει όταν η ζύμη σίτου υφίσταται πλύση με νερό για την αφαίρεση των κόκκων αμύλου και των υδατοδιαλυτών συστατικών. Αποτελείται από δύο κύριες ομάδες πρωτεϊνών, τις μονομερείς γλιαδίνες και τις πολυμερείς γλουτενίνες. Η ξηρή γλουτένη περιέχει 75%-85% πρωτεΐνη και 5%-10% λιπίδια, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του απομένοντος

ποσοστού αντιστοιχεί σε άμυλο και άλλους υδατάνθρακες (Žilić 2013). Το κύριο διατροφικής φύσης μειονέκτημά της είναι ότι ένα μέρος των καταναλωτών εμφανίζει δυσανεξία στη γλουτένη (Kyriakopoulou *et al.* 2021).

Πρόσφατα, η πρωτεΐνη του ρυζιού έχει κινήσει το ενδιαφέρον στην ανάπτυξη ανάλογων κρέατος χωρίς γλουτένη. Περιέχει λευκωματίνη (30,9%), γλοβουλίνη (24,9%), γλουτενίνη (32,5%) και προλαμίνη (11,6%) και αποτελεί πλούσια πηγή των αμινοξέων αργινίνη, κυστεΐνη, ιστιδίνη, μεθειονίνη και βαλίνη. Χαρακτηρίζεται από υποαλλεργική και υποχοληστερολαιμική δράση και σε σχέση με την πρωτεΐνη σόγιας έχει πιο ήπια γεύση. Επιπλέον, η βιολογική της αξία και η πεπτικότητα συγκριτικά με την απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας είναι υψηλότερη (Kumar *et al.* 2022).

Ανάμεσα στα δημητριακά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης περιλαμβάνεται, όπως αναφέρθηκε, και η βρόμη. Η περιεκτικότητα των κόκκων της βρόμης σε πρωτεΐνες ανέρχεται σε 12-20%, ποσοστό που είναι υψηλότερο σε σύγκριση με άλλα δημητριακά όπως το ρύζι και το σιτάρι, χαμηλότερο όμως σε σχέση με εκείνο των οσπρίων, όπως τα μπιζέλια και η σόγια. Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο περιλαμβάνει γλοβουλίνες, που αποτελούν το κύριο πρωτεϊνικό κλάσμα (70-80%), αλβουμίνες (1-12%), προλαμίνες (4-15%) και γλουτενίνες ($\leq 10\%$) (Rafique *et al.* 2022). Η πρωτεΐνη της βρόμης περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα βασικών αμινοξέων (λυσίνη, βαλίνη, ισολευκίνη, θρεονίνη, ιστιδίνη και μεθειονίνη) συγκριτικά με άλλα δημητριακά (Rafique *et al.* 2022), χαρακτηρίζεται από υψηλή πεπτικότητα και βιολογική αξία και είναι ελεύθερη γλουτένης, επομένως κατάλληλη για κατανάλωση από άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη (Kumar *et al.* 2021).

3.2.3. Τεχνολογίες εξαγωγής πρωτεϊνών

Οι πρωτεΐνες των οσπρίων παραλαμβάνονται από τους σπόρους μέσω μιας σειράς διεργασιών και μεταποιούνται σε τρεις εμπορικούς τύπους: άλευρα, συμπυκνώματα και προϊόντα απομόνωσης, η περιεκτικότητα των οποίων σε πρωτεΐνη ανέρχεται περίπου σε 50%, 70% και 90% αντίστοιχα (Kyriakopoulou *et al.* 2021, Onyango 2022, Qin *et al.* 2022). Οι κύριες μέθοδοι που εφαρμόζονται για την εξαγωγή της πρωτεΐνης είναι η ξηρή και η υγρή κλασμάτωση, ενώ νέες τεχνολογίες όπως τα μικροκύματα, η ενέργεια υπερήχων και το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο αποτελούν τεχνικές οι οποίες πιθανόν θα κυριαρχήσουν τις επόμενες δεκαετίες (Eze *et al.* 2022). Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο των οσπρίων και την επιθυμητή καθαρότητα και λειτουργικότητα της εξαγόμενης πρωτεΐνης (Onyango 2022).

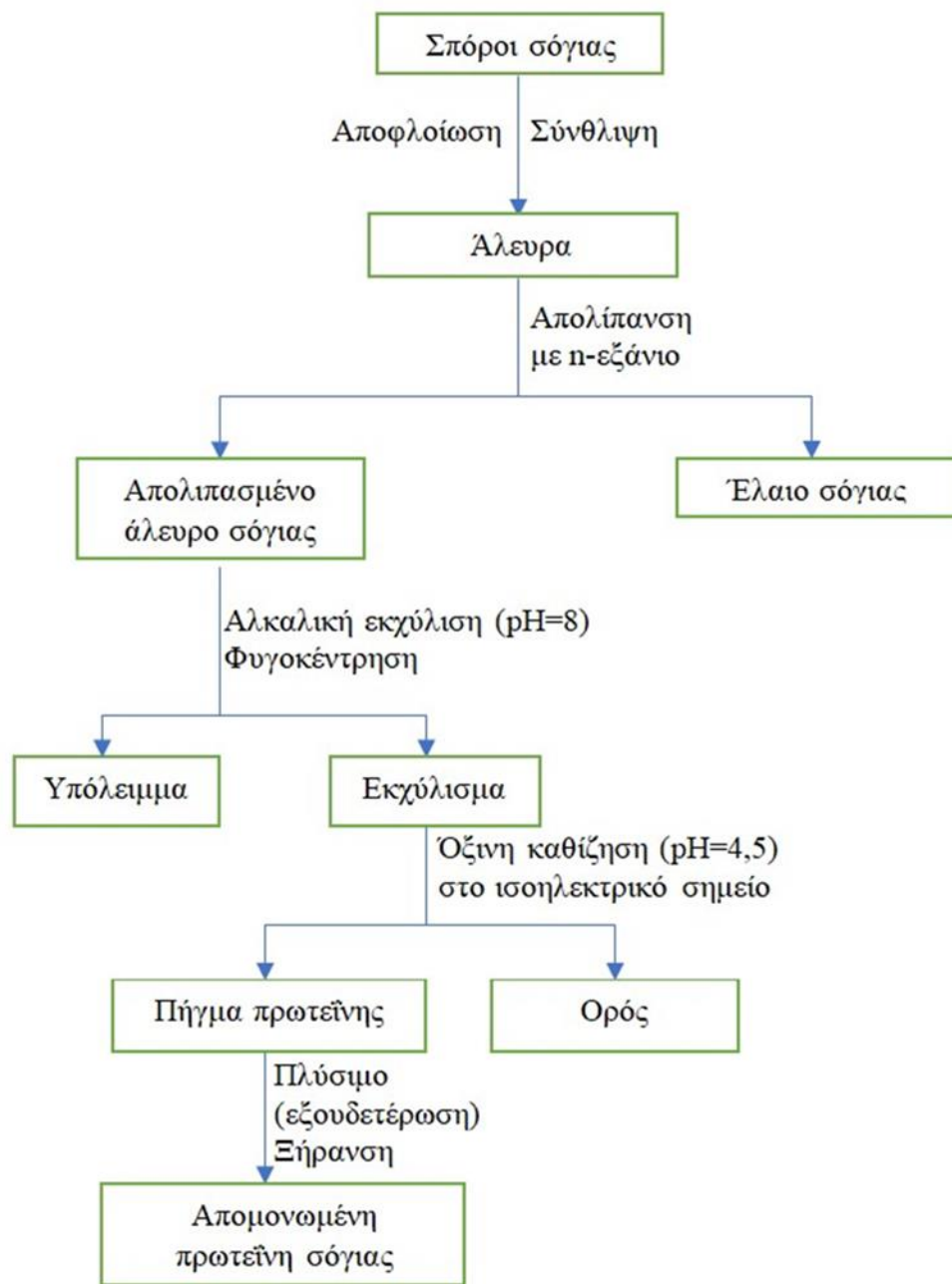
Η τεχνική της ξηρής εξαγωγής περιλαμβάνει λεπτή άλεση των σπόρων που ακολουθείται από την κλασμάτωση των σωματιδίων του αλεύρου στα συστατικά του, συνήθως με τη χρήση αέρα (Neji *et al.* 2022). Πρόκειται για ήπια διεργασία, κατά την οποία πραγματοποιείται φυσικός διαχωρισμός αμύλου και πρωτεΐνης (Onyango 2022). Ωστόσο, η καθαρότητα της πρωτεΐνης στο κλάσμα που λαμβάνεται μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι χαμηλή (38-65%) και συνήθως απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία (Klupšaitė & Juodeikiene 2015). Η μέθοδος είναι κατάλληλη για όσπρια πλούσια σε άμυλο όπως τα μπιζέλια και η φάβα, γενικά όμως δεν εφαρμόζεται στην επεξεργασία ελαιούχων σπόρων, όπως η σόγια και τα φιστίκια (Onyango 2022).

Η υγρή κλασμάτωση (εκχύλιση) είναι μια αποτελεσματική μέθοδος, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή απομονώσεων και συμπυκνωμάτων περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη έως 90% και 70% αντίστοιχα (Neji *et al.* 2022). Γενικά, η συγκεκριμένη διεργασία περιλαμβάνει καθαρισμό των σπόρων για την απομάκρυνση

ξένων σωμάτων, αποφλοΐωση (π.χ. σόγια, ρεβίθια), παραγωγή νιφάδων ή αλεύρου, απολίπανση (συνήθως με εξάνιο), εκχύλιση πρωτεϊνών, εξουδετέρωση και ξήρανση (Onyango 2022).

Για την παραγωγή συμπυκνωμάτων πρωτεΐνης, η εκχύλιση πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους, όπως η χρήση υδατικής αλκοόλης (60–90%) ή όξινου διαλύτη που εφαρμόζονται ευρέως για την παραλαβή πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων σόγιας (Kyriakopoulou *et al.* 2021, Onyango 2022). Σύμφωνα με τους Belitz *et al.* (2018) η εκχύλιση με όξινο διαλύτη περιλαμβάνει μούλιασμα απολιπασμένων νιφάδων σόγιας σε νερό, οξίνιση του υδατικού εκχυλίσματος σε pH 4-5, απομάκρυνση των διαλυτοποιημένων συστατικών με φυγοκέντρηση και στη συνέχεια πλύσιμο και ξήρανση του ιζήματος που συλλέχθηκε.

Η πιο κοινή μέθοδος που εφαρμόζεται για την παραλαβή των προϊόντων απομόνωσης είναι η αλκαλική εκχύλιση που ακολουθείται από όξινη καθίζηση και εξουδετέρωση (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στο γεγονός ότι οι πρωτεΐνες εμφανίζουν υψηλή διαλυτότητα σε αλκαλικές συνθήκες, ενώ αντίθετα παρουσιάζουν ελάχιστη διαλυτότητα στο ισοηλεκτρικό τους σημείο (pH=4-5) (Shanthakumar *et al.* 2022). Σε αλκαλικό περιβάλλον, το οποίο δημιουργείται με την προσθήκη NaOH ή KOH, η απόδοση της εκχύλισης είναι υψηλότερη, λόγω διάσπασης των πρωτεϊνικών δισουλφιδικών δεσμών (Yu *et al.* 2023). Στο Σχήμα 1 που ακολουθεί απεικονίζεται η παραγωγή απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας.



Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής παρασκευής απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας
(Tian et al. 2019)

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στην εμπορική παραγωγή φυτικών πρωτεϊνών χρησιμοποιείται ευρέως η τεχνική της ενζυμικά υποβοηθούμενης εκχύλισης, μέσω της οποίας υπάρχει η δυνατότητα ανάκτησης πρωτεϊνών υψηλής ποιότητας από υπολείμματα δημητριακών και ελαιούχων σπόρων. Η εφαρμογή της μεθόδου

συνίσταται στην αξιοποίηση ενζύμων (π.χ. πηκτινάση, κυτταρινάση), τα οποία διευκολύνουν την εκχύλιση των πρωτεϊνών μέσω αποικοδόμησης των κυτταρικών τοιχωμάτων. Έρευνα έδειξε ότι η συνδυαστική χρήση ενζύμων και αλκαλικής εκχύλισης σε άλευρο σόγιας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης σε πρωτεΐνη της τάξης του 21% (Yu *et al.* 2023).

3.2.4. Λειτουργικές Ιδιότητες

Η επιτυχής ανάπτυξη ενός υποκατάστατου προϊόντος κρέατος φυτικής προέλευσης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών που χρησιμοποιούνται, στις οποίες περιλαμβάνονται η διαλυτότητά τους στο νερό, η σταθερότητα, η ικανότητα συγκράτησης νερού και ελαίου/λίπους, η δυνατότητα γαλακτωματοποίησης, οι ιδιότητες ζελατινοποίησης και η ικανότητα αφρισμού (Munialo & Vriesekoop 2023). Οι ιδιότητες αυτές εξαρτώνται κυρίως από την πηγή προέλευσης, τον τύπο, την τρισδιάστατη διαμόρφωση, την πρωτογενή δομή, τις τεχνικές εκχύλισης και την ικανότητά τους να αλληλεπιδρούν με άλλα συστατικά του τροφίμου, κυρίως μέσω δεσμών υδρογόνου, ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων, υδρόφοβων και δισουλφιδικών δεσμών (Gasparre *et al.* 2022, Xiao *et al.* 2023). Μελέτες έχουν δείξει ότι η συμπλοκοποίηση με άλλες ενώσεις μπορεί να βελτιώσει τις θρεπτικές και ορισμένες λειτουργικές ιδιότητες των φυτικών πρωτεϊνών, όπως η ζελατινοποίηση, η γαλακτωματοποίηση και η διαλυτότητα (Xiao *et al.* 2023). Οι περισσότερες πρωτεΐνες που προέρχονται από όσπρια διαθέτουν ικανότητα σχηματισμού γέλης. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς η ιξωδοελαστική δομή της γέλης παίζει σημαντικό ρόλο στην προσκόλληση σωματιδίων, την ακινητοποίηση του λίπους και την παγίδευση του νερού μέσα στη μήτρα των

πρωτεϊνικών εναλλακτικών προϊόντων κρέατος τύπου γαλακτώματος (Kurek *et al.* 2022).

Η πρωτεΐνη της σόγιας διαθέτει εξαιρετικές ιδιότητες επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης της καλής ζελατινοποίησης, γαλακτωματοποίησης, κατακράτησης νερού και σχηματισμού ανισότροπης δομής ινών (Zhao *et al.* 2022). Το προϊόν απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας που λαμβάνεται με κατεργασία αλκαλικής εκχύλισης/όξινης καθίζησης εμφανίζει καλή διαλυτότητα, ζελατινοποίηση και γαλακτωματοποίηση, το αντίστοιχο προϊόν που υπέστη μετουσίωση λόγω θερμικής επεξεργασίας χαρακτηρίζεται από μειωμένη διαλυτότητα, αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού και καλή ικανότητα σχηματισμού γέλης και τα συμπυκνώματα σόγιας διαθέτουν καλές ιδιότητες υφής (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Σε άρθρο των Zhao *et al.* (2022) αναφέρεται η παραγωγή μπιφτεκιών φυτικής προέλευσης από την Impossible Foods (Η.Π.Α.) με χρήση συμπυκνωμάτων σόγιας, καθώς επίσης και φυτικής μπιριζόλας από την Qishan Food (Κίνα) με κύριο συστατικό απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας.

Η πρωτεΐνη μπιζελίου μπορεί να απορροφήσει περισσότερο λίπος με την ίδια περιεκτικότητα σε νερό και έχει καλές ιδιότητες συγκράτησης νερού και ελαίου, αλλά σχετικά ασθενή ικανότητα ζελατινοποίησης. Η εταιρεία Beyond Meat (Η.Π.Α.) κυκλοφόρησε στην αγορά μπιφτέκια κρέατος φυτικής προέλευσης με κύριο συστατικό την πρωτεΐνη μπιζελίου, ενώ η Shuangta Foods (Κίνα) παρασκεύασε φυτικά nuggets κοτόπουλου χρησιμοποιώντας ως συστατικά ανάγλυφη (TVP) και απομονωμένη (isolate) πρωτεΐνη μπιζελίου (Zhao *et al.* 2022). Η απομονωμένη πρωτεΐνη μπιζελίων (~85%) διαθέτει ικανότητες δέσμευσης νερού και λίπους και σταθερή υφή έπειτα από θερμική επεξεργασία. Η δόμηση της συγκεκριμένης πρωτεΐνης με εξώθηση υψηλής

υγρασίας και διάτμηση για την παραγωγή ανάλογων κρέατος αποδείχτηκε επιτυχής, ωστόσο βρέθηκε ότι οι παραγόμενες ινώδεις δομές ήταν πιο αδύναμες σε σχέση με τις αντίστοιχες από σόγια, γεγονός που εξηγεί τον λόγο για τον οποίο σε υποκατάστατα κρέατος που περιέχουν πρωτεΐνη μπιζελιού συχνά προστίθενται υδροκολλοειδή (Kyriakopoulou *et al.* 2021).

Η πρωτεΐνη ρεβιθιού χαρακτηρίζεται από καλές ιδιότητες σε ό,τι αφορά την υφή, την ικανότητα δέσμευσης νερού και ελαίου/λίπους καθώς και την ικανότητα σχηματισμού πηκτής (γέλης). Το προϊόν απομόνωσης πρωτεΐνης ρεβιθιού δείχνει ικανότητα απορρόφησης μεγαλύτερης ποσότητας λίπους και παρόμοιας ποσότητας νερού σε σύγκριση με το προϊόν απομόνωσης πρωτεΐνης σόγιας. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει πως η μερική αντικατάσταση της ανάγλυφης φυτικής πρωτεΐνης από αλεύρι ρεβιθιού έχει ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της αποδοχής χρώματος των φυτικής προέλευσης nuggets, λόγω των καροτενοειδών που περιέχονται στα ρεβίθια (Kurek *et al.* 2022). Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τις πρωτεΐνες του ρεβιθιού αποτελεί η μικρή διαλυτότητά τους στο νερό και η εξάρτηση των λειτουργικών τους ιδιοτήτων (πηκτωματοποίηση, γαλακτωματοποίηση και ικανότητα αφρισμού) από την τιμή pH του μέσου. Ωστόσο, αυτό είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί μέσω τροποποίησης των πρωτεϊνών με εφαρμογή θερμικής, μηχανικής ή ενζυμικής επεξεργασίας (Benković *et al.* 2023).

Οι πρωτεΐνες της φάβας διαθέτουν εξαιρετικές ιδιότητες σταθεροποίησης γαλακτωμάτων και αφρού, αλλά σε μικρότερο βαθμό από την απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, γεγονός που αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη χρήση τους ως συστατικών σε φυτικά υποκατάστατα κρέατος (Kurek *et al.* 2022). Τα πρωτεϊνικά συστατικά του λούπινου και της φακής έχουν επίσης δείξει καλή ικανότητα σταθεροποίησης

γαλακτώματος και αφρού, υστερούν όμως στην ικανότητα ζελατινοποίησης σε σχέση με τη σόγια (Kyriakopoulou *et al.* 2019). Οι πρωτεΐνες των φασολιών mung (γλοβουλίνες 60%, αλβουμίνες 25% και άλλες σφαιρίνες) διαθέτουν ικανότητα σταθεροποίησης αφρού και γαλακτωμάτων και χρησιμοποιούνται στα υποκατάστατα κρέατος για την εξασφάλιση ισορροπημένου προφίλ αμινοξέων και επιθυμητών ιδιοτήτων υφής (Kurek *et al.* 2022).

Γενικά, οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες πρωτεΐνες στα φυτικά υποκατάστατα κρέατος είναι εκείνες της σόγιας και του μπιζελίου. Ωστόσο, οι πρωτεΐνες αυτές δεν είναι δυνατόν να εξασφαλίσουν την ινώδη υφή και την ιδιότητα του χυμώδους που χαρακτηρίζουν το συμβατικό κρέας. Για τον λόγο αυτό, συχνά στα διάφορα σκευάσματα γίνεται ενσωμάτωση γλουτένης σίτου, η οποία λόγω ελαστικότητας και εκτασιμότητας προάγει τη διασύνδεση πρωτεϊνών και δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μακρομοριακό δίκτυο (Gasparre *et al.* 2022). Η λειτουργικότητα της γλουτένης δίνει τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί τόσο ως δομικό συστατικό όσο και ως συνδετικός παράγοντας και καθορίζεται από την αναλογία γλουτενίνης : γλιαδίνης, που όπως προαναφέρθηκε αποτελούν τα κύρια πρωτεϊνικά της κλάσματα. Οι λειτουργικές ιδιότητες γλουτενίνης και γλιαδίνης είναι διαφορετικές, λόγω διαφορών στη δομική τους σύνθεση. Η σταθεροποίηση των πολυμερών που σχηματίζουν οι γλουτενίνες πραγματοποιείται μέσω διαμοριακών δισουλφιδικών δεσμών ανάμεσα στις αλυσίδες, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα τρισδιάστατο πρωτεϊνικό δίκτυο που παρέχει συνεκτικότητα και ελαστικότητα. Οι μονομερείς γλιαδίνες διαθέτουν κυρίως ενδομοριακούς δισουλφιδικούς δεσμούς και αλληλεπιδρούν με τα πολυμερή γλουτενίνης μέσω μη ομοιοπολικών δυνάμεων και ειδικότερα μέσω δεσμών υδρογόνου.

Λειτουργούν ως πλαστικοποιητές του δικτύου γλουτενίνης και ευθύνονται για το ιξώδες και την εκτατότητα (Kyriakopoulou *et al.* 2021, Zang *et al.* 2022).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον ανάμεσα στις πρωτεΐνες των δημητριακών παρουσιάζει λόγω της ινώδους φύσης της η ζεΐνη, που αποτελεί κύρια αποθηκευτική πρωτεΐνη του αραβόσιτου. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το σημείο υαλώδους μετάπτωσης (θερμοκρασία στην οποία μια σκληρή υαλώδης δομή μετατρέπεται σε ελαστική) η συγκεκριμένη πρωτεΐνη σχηματίζει ιξωδοελαστικά δίκτυα, στερείται όμως της δυνατότητας σχηματισμού επιμηκών ινών σε θερμοκρασία δωματίου, γεγονός που αποτρέπει τη χρήση της στην παρασκευή φυτικών ανάλογων κρέατος. Ωστόσο, η λειτουργικότητά της θα μπορούσε να βελτιωθεί μέσω ενζυμικών και χημικών διεργασιών με αποτέλεσμα την ευρύτερη εφαρμογή της στην παραγωγή τέτοιου είδους προϊόντων (Kumar *et al.*, 2022). Οι Xiao *et al.* (2023) αναφέρουν ότι σύμφωνα με έρευνα των Ozturk *et al.* (2022) η διασπορά ζεΐνης σε πρωτεΐνη μπιζελιού με την προσθήκη αλκαλικών παραγόντων οδήγησε στην παρασκευή φυτικών υποκατάστατων κρέατος με βελτιωμένες ιξωδοελαστικές και συνεκτικές ιδιότητες.

Σχετικά με τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών άλλων δημητριακών, σε άρθρο των Kumar *et al.* (2021) αναφέρεται ότι σύμφωνα με ορισμένες μελέτες η φυσική απομονωμένη πρωτεΐνη βρόμης έχει καλή διαλυτότητα σε αλκαλικές συνθήκες και σε πολύ χαμηλές τιμές pH καθώς και καλές γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες, εμφανίζει όμως περιορισμένη διαλυτότητα σε ουδέτερο και ελαφρώς όξινο pH (4-7), γεγονός που δρα περιοριστικά σε ό,τι αφορά τις εφαρμογές της. Ωστόσο, η λειτουργικότητα των πρωτεϊνών της βρόμης έχει βελτιωθεί με τη χρήση ενζυμικών και χημικών τροποποιήσεων (Immonen *et al.* 2021). Επιπλέον, οι Kurek *et al.* (2022) αναφέρουν ότι η χρήση αλεύρου ρυζιού 4–6% αυξάνει αποτελεσματικά τη σκληρότητα

των φυτικών προϊόντων κρέατος τύπου λουκάνικου, ενώ σύμφωνα με τον Bohrer (2019), το φυτικό υποκατάστατο "Beyond burger" περιλαμβάνει στην σύνθεσή του πρωτεΐνες ρυζιού και φασολιών mung. Σε άρθρο των Ishaq et al. (2022) γίνεται αναφορά σε έρευνα σύμφωνα με την οποία η μερική αντικατάσταση απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας από απομονωμένη πρωτεΐνη ρυζιού στην παραγωγή φυτικών υποκατάστατων κρέατος προκάλεσε βελτίωση του πορώδους και της ικανότητας συγκράτησης νερού.

Γενικά, οι πρωτεΐνες των δημητριακών, παρά το γεγονός ότι περιέχονται σε αυτά σε μικρότερες ποσότητες σε σύγκριση με τους υδατάνθρακες, παρουσιάζουν ιδιαίτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον στην παραγωγή PBMS, λόγω του ιξωδοελαστικού δομικού δικτύου, το οποίο δεσμεύει τα συστατικά και συμβάλλει στην επίτευξη συνοχής και ινώδους υφής (Benković *et al.* 2023).

3.2.5. Μορφοποιημένες ή Ανάγλυφες πρωτεΐνες (TVP)

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μεγαλύτερο ποσοστό των πρωτεϊνών που προορίζονται για την ανθρώπινη διατροφή είναι φυτικής προέλευσης. Οι φυτικές πρωτεΐνες είναι διαθέσιμες σε μεγάλες ποσότητες, ωστόσο η χρήση τους στην επεξεργασία τροφίμων είναι περιορισμένη. Δεδομένου ότι η δομή πολλών φυτικών πρωτεϊνών είναι σφαιρική, στα μέσα της δεκαετίας του 1950 αναπτύχθηκαν τεχνικές με στόχο τη μετατροπή τους σε πρωτεΐνες ινώδους δομής και κατά συνέπεια τη διεύρυνση της χρήσης τους στις διάφορες διεργασίες παραγωγής τροφίμων. Αποτέλεσμα των προσπαθειών αυτών ήταν η δημιουργία texturized (textured) vegetable proteins, δηλαδή πρωτεϊνών με υφή (ή ανάγλυφων πρωτεϊνών), των οποίων η δομή προσομοιάζει με εκείνη των πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης. Οι πρωτεΐνες αυτές (TVP) αποτελούν

σήμερα τη βάση για την ανάπτυξη φυτικών υποκατάστατων προϊόντων κρέατος. Κατάλληλες πρώτες ύλες για την παραγωγή τους θεωρούνται μεταξύ άλλων η σόγια, η γλουτένη σίτου, τα φιστίκια (αραχίδες), οι ηλιόσποροι και η ελαιοκράμβη (Belitz *et al.* 2018). Στη βιομηχανία παραγωγής φυτικών υποκατάστατων κρέατος, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες TVP είναι εκείνες που βασίζονται στις πρωτεΐνες σόγιας, σίτου και μπιζελίου ή σε μίγματα αυτών (Kyriakopoulou *et al.* 2021).

3.2.5.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την δομική ποιότητα των TVP

Η ποιότητα της μορφοποιημένης πρωτεΐνης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις πηγές και τις ιδιότητες των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται. Ανάμεσα στις φυσικοχημικές και λειτουργικές ιδιότητες των αρχικών φυτικών πρωτεϊνών που είναι σημαντικές για τη διαμόρφωση της υφής περιλαμβάνονται η διαλυτότητα, η ικανότητα πηκτωματοποίησης, η γαλακτωματοποίηση και η ικανότητα απορρόφησης νερού και ελαίου. Επιπλέον, στη διαμόρφωση των τελικών προϊόντων σημαντική είναι και η συμβολή των ακολουθούμενων μεθόδων και συνθηκών μορφοποίησης (Hong *et al.* 2022).

Μία από τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την παραγωγή TVP είναι το μοριακό βάρος της αρχικής πρωτεΐνης. Πρωτεΐνες με μοριακό βάρος μικρότερο των 10 kDa (1kDa=1kg/mol) σχηματίζουν ασθενείς ίνες, ενώ εκείνες που το μοριακό τους βάρος είναι μεγαλύτερο από 50 kDa μειονεκτούν λόγω του υψηλού ιζώδους και της τάσης τους να σχηματίζουν πηκτές στην αλκαλική περιοχή του pH. Κατά συνέπεια, το μοριακό βάρος των πρωτεϊνών που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή TVP θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 10-50 kDa. Επιπλέον, η αρχική πρωτεΐνη θα πρέπει να διαθέτει υψηλή αναλογία αμινοξέων με πολικές πλευρικές

ομάδες, ώστε να προάγεται η διαμοριακή σύνδεση των αλυσίδων, ενώ ο αριθμός των αμινοξέων με ογκώδεις πλευρικές ομάδες θα πρέπει να είναι μικρός, διότι παρεμποδίζουν την ανάπτυξη διαμοριακών αλληλεπιδράσεων (Belitz *et al.* 2018). Είναι επίσης σημαντικό, οι σφαιρικές φυτικές πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες να περιέχουν επαρκή ποσότητα αμινοξέων που περιέχουν θείο στις μοριακές τους αλυσίδες για την ανάπτυξη δισουλφιδικών δεσμών και κατά συνέπεια για τον σχηματισμό ινώδους πλέγματος (Zhao *et al.* 2022).

Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος των λιπιδίων στη διαμόρφωση της δομικής ποιότητας και των αισθητηριακών ιδιοτήτων των ανάγλυφων πρωτεϊνών, δεδομένου ότι κατά την παραγωγή των TVP μπορούν να λειτουργήσουν ως πλαστικοποιητές, συμβάλλοντας στην επίτευξη βελτιωμένης υφής και ακεραιότητας του προϊόντος. Επιπλέον, δρουν και ως λιπαντικά, μειώνοντας τις τριβές μεταξύ του υλικού και της μηχανής επεξεργασίας (Zhao *et al.* 2022). Ωστόσο, η χρήση τους σε μεγάλες ποσότητες (> 5%) κατά τη διάρκεια θερμομηχανικών διεργασιών όπως η εξώθηση και η διάτμηση παρουσιάζει αρνητική επίδραση στη διαδικασία σχηματισμού ινών λόγω ολίσθησης (Kyriakopoulou *et al.* 2021).

Αναφορικά με τη χρήση υδατανθράκων στην παραγωγή TVP, οι De Angelis *et al.* (2020) αναφέρουν ότι η χρήση μικρής ποσότητας αμύλου στη διαδικασία εξώθησης ευνοεί τον σχηματισμό τους, η υψηλή όμως περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες προκαλεί απώλεια της ινώδους υφής, λόγω της τάσης του αμύλου να απορροφά νερό, να διογκώνεται και να διαστέλλεται στην έξοδο της μήτρας.

3.2.5.2. Τεχνολογίες μορφοποίησης πρωτεϊνών

Η μορφοποίηση των φυτικών πρωτεϊνών εξασφαλίζεται μέσω εφαρμογής διαφόρων τεχνολογιών, κατά τις οποίες πραγματοποιούνται μη αναστρέψιμες μεταβολές στη δευτεροταγή και τριτοταγή δομή των μορίων της πρωτεΐνης, ενώ μετασχηματισμοί στην πρωτοταγή δομή συμβαίνουν σπάνια (Xiao *et al.* 2023).

Η περισσότερο διαδεδομένη τεχνολογία παρασκευής TVP είναι η εξώθηση, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως κυρίως λόγω της υψηλής απόδοσης και του χαμηλού της κόστους (Sha & Xiong 2020). Πρόκειται για μια διαδικασία συνεχούς επεξεργασίας που βασίζεται στη θερμομηχανική καταπόνηση των υλικών και περιλαμβάνει τη συνδυασμένη επίδραση θερμότητας, πίεσης και μηχανικής διάτμησης (Baune *et al.* 2022). Κάθε φυτική πρωτεΐνη έχει ιδανική θερμοκρασία επεξεργασίας στην οποία δημιουργείται η υψηλότερη ποιότητα υφής. Η θερμοκρασία αυτή μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 120°C και 160°C, αλλά συνήθως οι βέλτιστες τιμές ανέρχονται στους 130°C έως 135°C (Plattner 2020). Μέσω της εξώθησης, οι φυτικές πρωτεΐνες μετατρέπονται σε δομημένα συσσωματώματα ή ινίδια με σκοπό την μεταγενέστερη χρήση τους στην παρασκευή εναλλακτικών προϊόντων κρέατος. Για την επίτευξη ινώδους δομής το πρωτεϊνικό περιεχόμενο των πρώτων υλών θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 50% και 70% (Sha & Xiong 2020, Baune *et al.* 2022).

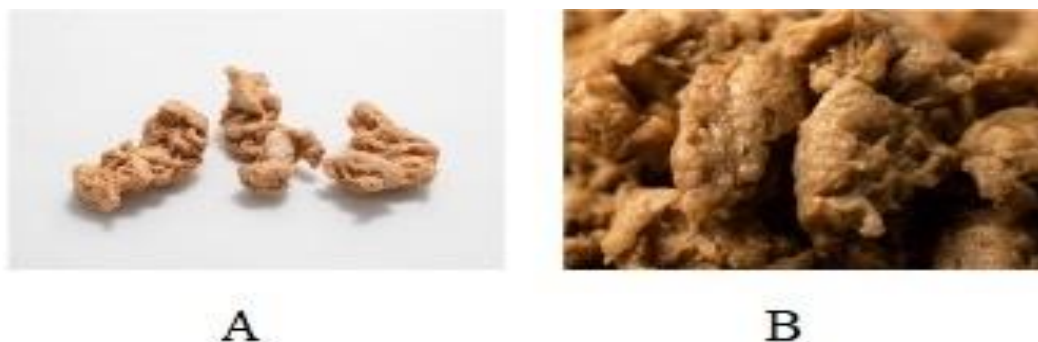
Με βάση την περιεκτικότητα σε υγρασία, οι ανάγλυφες φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: ξηρή ή χαμηλής υγρασίας TVP (LM-TVP) και υγρή ή υψηλής υγρασίας TVP (HM-TVP), που περιέχουν περίπου 20–40% και 40–80% υγρασία αντίστοιχα. Οι δύο μορφές TVP διαφέρουν ως προς τη δομή, τη μορφή, τις συνθήκες αποθήκευσης και τη λειτουργικότητα. Για την παρασκευή της ξηρής TVP (Low Moisture TVP) εφαρμόζεται τεχνολογία εξώθησης χαμηλής υγρασίας

διπλού κοχλίου. Ο τύπος αυτός TVP έχει σπογγώδη δομή και αποτελείται από προσυνδυασμένα ξηρά συστατικά και νερό, κατά κανόνα χωρίς τη χρήση λίπους κατά την εξώθηση. Για την παραγωγή της χρησιμοποιούνται άλευρα και συμπυκνώματα πρωτεϊνών με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Μετά την εξώθηση, ξηραίνεται, συσκευάζεται και πωλείται ως τελικό συστατικό. Λόγω της σκληρής τους υφής, οι ξηρές TVP απαιτούν ενυδάτωση πριν από την κατανάλωση. Κατά την ενυδάτωση, αποκτούν τύπο υφής που μοιάζει με εκείνον σωματιδίων κρέατος και κατά συνέπεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κύρια συστατικά σε φυτικά υποκατάστατα κρέατος. Οι TVP που παρασκευάζονται από συμπυκνωμένη πρωτεΐνη σόγιας και πρωτεΐνη μπιζελίου είναι δυνατό να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία για την παραγωγή ανακατασκευασμένων τεμαχίων με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, ψηγμάτων (nuggets) και λωρίδων (strips) (Kinney *et al.* 2019, Kyriakopoulou *et al.* 2019, Zhang *et al.* 2019, Sha & Xiong 2020, Baune *et al.* 2022, Lee *et al.* 2022).

Οι Lee *et al.* (2022) μελέτησαν τη δυνατότητα παραγωγής TVP με εξώθηση χαμηλής υγρασίας χρησιμοποιώντας ως κύριες πρώτες ύλες μείγματα πρωτεΐνης ρυζιού και σόγιας σε διάφορες αναλογίες. Η έρευνα έδειξε ότι η μερική αντικατάσταση της πρωτεΐνης σόγιας από πρωτεΐνη ρυζιού προκάλεσε ελάττωση του πορώδους, της ικανότητας απορρόφησης νερού, της ελαστικότητας, της συνεκτικότητας και της ικανότητας μάσησης και αύξηση της πυκνότητας και της σκληρότητας του παραγόμενου προϊόντος.

Για την παραγωγή υγρής TVP (High Moisture TVP) εφαρμόζεται εξώθηση υψηλής υγρασίας με διπλό κοχλίο. Η υγρή TVP διαφέρει από την ξηρή TVP στην ποσότητα του νερού που εισάγεται μαζί με τα ξηρά φυτικά πρωτεϊνούχα συστατικά, στην ενσωμάτωση λίπους κατά τη διαδικασία εξώθησης, καθώς επίσης και στην

απουσία ξήρανσης μετά την εξώθηση (Kinney *et al.* 2019). Οι TVP υψηλής υγρασίας χαρακτηρίζονται από ινώδη δομή παρόμοια με αυτήν του πραγματικού κρέατος και κατά συνέπεια προσομοιάζουν με ολόκληρα κομμάτια κρέατος ζωικής προέλευσης. Σε σύγκριση με τις LM-TVP έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και αποθηκεύονται συνήθως υπό κατάψυξη (Sha & Xiong 2020, Baune *et al.* 2022). Η όλη διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολύπλοκο σύστημα εισροών-εκροών, στο οποίο τα συστατικά τροφοδοσίας (κυρίως η πρωτεΐνη) υφίστανται περίπλοκες φυσικές και χημικές μεταβολές και εξέρχονται από τον εξωθητή ως μετασχηματισμένο προϊόν (Zhang *et al.* 2022). Κατά τη συγκεκριμένη διεργασία, η αλληλεπίδραση ανάμεσα στις πρώτες ύλες, ο σχηματισμός της ινώδους δομής και η ποιότητα του τελικού προϊόντος επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία εξώθησης, την ταχύτητα του κοχλία, την περιεκτικότητα των υλικών σε υγρασία και τον ρυθμό τροφοδοσίας (Arora *et al.* 2023).



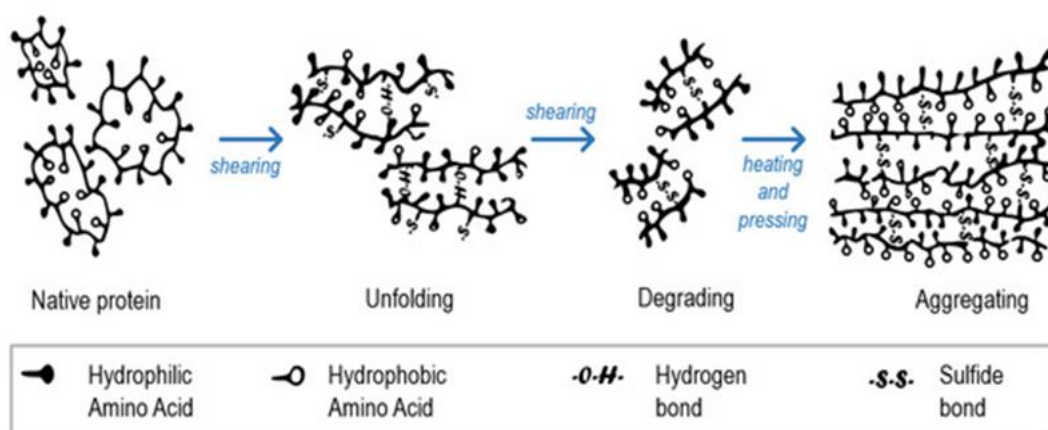
Εικόνα 4: TVP χαμηλής υγρασίας: Α. Ξηρές Β. Ενυδατωμένες (Baune *et al.* 2022)



Εικόνα 5: TVP υψηλής υγρασίας: Α. Εξωτερική υφή Β. Εσωτερική υφή (*Baune et al. 2022*)

Οι Zhang et al. (2018) μελέτησαν την επεξεργασία μιγμάτων αποτελούμενων από σκόνη πρωτεΐνης φιστικιών και (α) απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας (β) γλουτένης σίτου, μέσω εξώθησης υψηλής υγρασίας (55%). Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, τα εξωθημένα προϊόντα στην πρώτη περίπτωση παρουσίασαν περισσότερο λεία και πυκνή δομή σε σχέση με τη δεύτερη περίπτωση, κατά την οποία έδειξαν πιο τραχιά και χαλαρή δομή. Επιπλέον οι ερευνητές αναφέρουν ότι για την βελτίωση της ποιότητας υφής της TVP από πρωτεΐνη φιστικιού απαιτείται η χρήση τόσο της απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας όσο και της γλουτένης σίτου. Οι Ahmad et al. (2022) αναφέρουν ότι ο συνδυασμός ινών βρόμης και πρωτεΐνης μπιζελιού σε διάφορες αναλογίες οδήγησε, μέσω επεξεργασίας με εξώθηση υψηλής υγρασίας, στην ανάπτυξη ινώδους δομής αποτελούμενης από επιμήκεις και λεπτές ίνες. Επιπλέον, σε έρευνα των Jiang et al. (2022) διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη πίτουρου ρυζιού 10% σε προϊόν απομόνωσης πρωτεΐνης σόγιας προκάλεσε αύξηση της σκληρότητας του παραγόμενου με εξώθηση υψηλής υγρασίας προσομοιωμένου κρέατος, λόγω εξασθένησης της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στους δεσμούς υδρογόνου, τους υδρόφοβους και δισουλφιδικούς δεσμούς, ενώ η προσθήκη 5% πίτουρου ρυζιού είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμικής σταθερότητας του προϊόντος.

Κατά την διαδικασία εξώθησης, υπό την συνολική επίδραση της θερμοκρασίας, της δύναμης διάτμησης και της πίεσης, πραγματοποιείται μετουσίωση, αποικοδόμηση, σύνδεση και συσσωμάτωση πρωτεϊνών, με αποτέλεσμα η σφαιρική δομή των μορίων των φυτικών πρωτεϊνών να μετασχηματίζεται σε γραμμική, η διατήρηση της οποίας οφείλεται στην ανάπτυξη δισουλφιδικών δεσμών, υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων και δεσμών υδρογόνου. Ταυτόχρονα με τις παραπάνω αλλαγές στη διαμόρφωση των πρωτεϊνών, προκαλείται αποικοδόμηση υδατανθράκων και οξείδωση λιπών. (Zhang *et al.* 2019).



Εικόνα 6: Μεταβολές στη διαμόρφωση των πρωτεϊνών κατά τη διάρκεια της εξώθησης (Zahari *et al.* 2020)

Παρά το γεγονός ότι μόνον η εξώθηση εφαρμόζεται σε βιομηχανική κλίμακα, για την παραγωγή TVP υψηλής υγρασίας έχουν αναπτυχθεί και άλλες τεχνολογίες, μία από τις οποίες είναι η τεχνολογία κυψελών διάτμησης. Σε αντίθεση με την εξώθηση υψηλής υγρασίας η συγκεκριμένη διεργασία είναι ασυνεχής, βασίζεται όμως επίσης στη θερμομηχανική καταπόνηση των υλικών και περιλαμβάνει τρία στάδια: (α) ανάμειξη και ενυδάτωση (β) θερμομηχανική επεξεργασία και (γ) ψύξη. Μία επιπλέον διαφορά της από την εξώθηση υψηλής υγρασίας αποτελεί το γεγονός ότι το στάδιο της ανάμειξης και ενυδάτωσης πραγματοποιείται εκτός της συσκευής. Το αποτέλεσμα

εφαρμογής της τεχνολογίας αυτής είναι η παραγωγή ινώδους προϊόντος μεγάλου μεγέθους, που θα μπορούσε να μιμηθεί ολόκληρα τμήματα μυών ζώων. Ωστόσο, σε αντίθεση με τη χρήση συμπυκνωμάτων σόγιας, η επεξεργασία απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας μέσω της τεχνολογίας διάτμησης οδηγεί στην παραγωγή προϊόντος που στερείται ινώδους δομής λόγω έλλειψης υδατανθράκων, οι οποίοι περιέχονται στα συμπυκνώματα και συμβάλλουν στον σχηματισμό ινών (Baune *et al.* 2022).

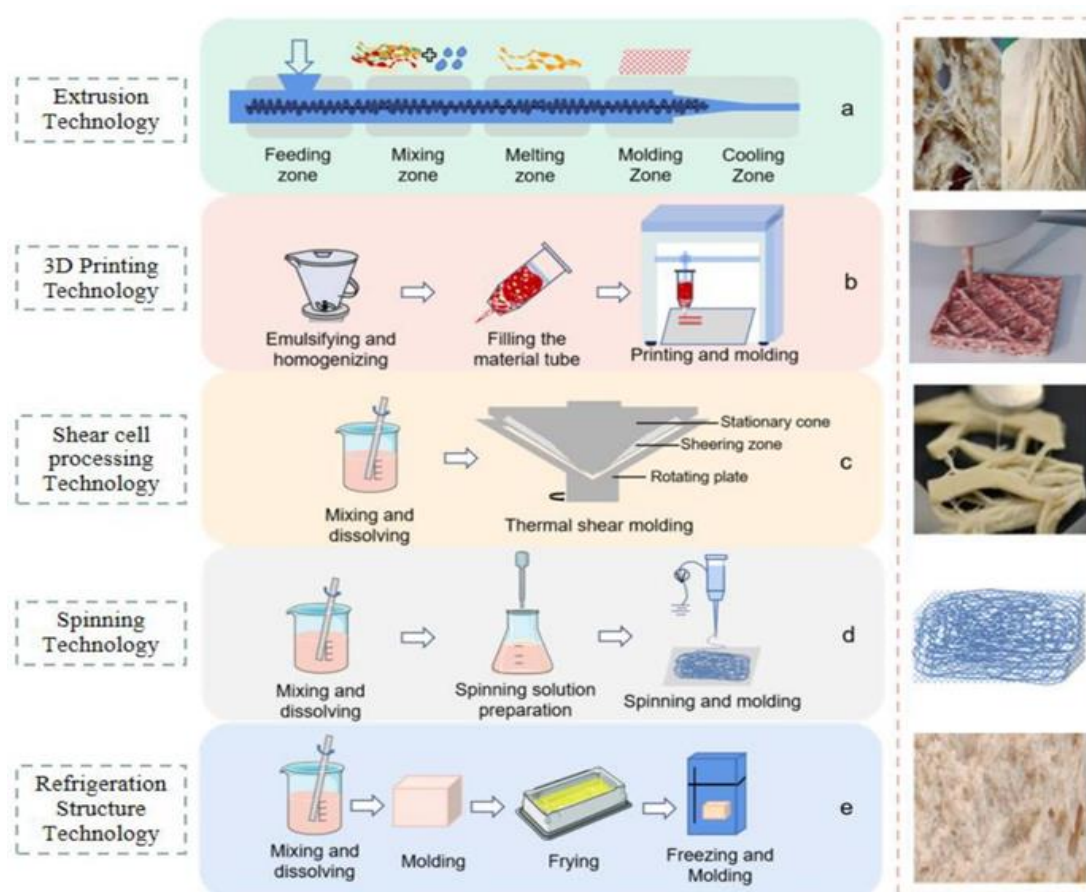
Ο στροβιλισμός είναι μια διαδικασία παραγωγής TVP κατά την οποία ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται απομονωμένη φυτική πρωτεΐνη (συνήθως σόγιας), η οποία αρχικά αιωρείται σε νερό και διαλυτοποιείται με την προσθήκη αλκαλικών αντιδραστηρίων. Το διάλυμα παραμένει σε τιμή pH=11 υπό ανάδευση για ορισμένο χρονικό διάστημα, κατά τη διάρκεια του οποίου η πρωτεΐνη μετουσιώνεται και το ιξώδες αυξάνει και στη συνέχεια πιέζεται μέσω των στομιών της μήτρας για τον σχηματισμό ινών, οι οποίες υφίστανται πήξη σε όξινο λουτρό. Ακολουθεί ένα στάδιο "περιέλιξης" κατά το οποίο οι πρωτεϊνικές ίνες επιμηκύνονται και έπειτα συνδέονται για τον σχηματισμό παχύτερων ινών. Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιείται απομάκρυνση του διαλύτη, τοποθέτηση των ινών σε λουτρό εξουδετέρωσης και περιστασιακά σε λουτρό σκλήρυνσης πυκνού NaCl. Για την βελτίωση της θερμικής σταθερότητας και του αρώματος της παραγόμενης TVP εφαρμόζεται πρόσθετη επεξεργασία που περιλαμβάνει διαβίβαση των ινών σε λουτρό που περιέχει συνδετική ουσία και άλλα πρόσθετα (πρωτεΐνη που πήζει κατά τη θέρμανση, τροποποιημένο άμυλο ή άλλους πολυσακχαρίτες, αρωματικές ενώσεις, λιπίδια). Τέλος, οι ενυδατωμένες δέσμες ινών θερμαίνονται και τεμαχίζονται (Belitz *et al.* 2018). Τα προϊόντα που βασίζονται στην τεχνολογία του στροβιλισμού είναι ακριβότερα σε σχέση με αυτά που παράγονται με εξώθηση, λόγω του μεγαλύτερου κόστους της διεργασίας και της πρώτης ύλης. Για τον λόγο αυτό, πωλούνται ως

υποκατάστατα σε εξειδικευμένες αγορές για την πλήρη αντικατάσταση του κρέατος (Featherstone 2015).

Η τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί νέα μέθοδο παραγωγής TVP που συνδυάζεται με εξώθηση και αναφέρεται στην κατασκευή στερεών τρισδιάστατων δομών που δημιουργούνται από εικονικά μοντέλα μέσω σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη τεχνική, οι τηγμένες φυτικές πρωτεΐνες στερεοποιούνται με εξώθηση μέσω ενός κινητού ακροφύσιου και στοιβάζονται κατά στρώματα σχηματίζοντας ινώδη δομή, παρόμοια με αυτήν του κρέατος. Η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί πλήρως, ωστόσο χρησιμοποιήθηκε από ερευνητές για την παραγωγή υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης με βάση απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας (Zhao *et al.* 2022, Xiao *et al.* 2023). Οι Sha & Xiong (2020) αναφέρουν την εφαρμογή της τρισδιάστατης εκτύπωσης από την εταιρεία NovaMeat για την παραγωγή φυτικών ανάλογων κρέατος όπως μοσχαρίσιες μπιριζόλες, τα οποία προσομοιάζουν ως προς την υφή, τη γεύση, την εμφάνιση και τις θρεπτικές ιδιότητες με τα αντίστοιχα προϊόντα κρέατος ζωικής προέλευσης.

Εκτός από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων, η επίτευξη των ανισότροπων δομικών χαρακτηριστικών του κρέατος είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με μορφοποίηση των φυτικών πρωτεϊνών μέσω της τεχνολογίας κατάψυξης. Η συγκεκριμένη τεχνική περιλαμβάνει αρχικά την κατάψυξη ενός γαλακτώματος φυτικής πρωτεΐνης και στη συνέχεια απομάκρυνση των σχηματιζόμενων παγοκρυστάλλων με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας πορώδους και ινώδους δομής, παρόμοιας με αυτή των μυών του κρέατος ζωικής προέλευσης. Η επιτυχία ή μη της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πηγή της χρησιμοποιούμενης φυτικής πρωτεΐνης (Zhao *et al.*

2022). Έρευνα των Chantanuson et al. (2022) έδειξε ότι για τη δημιουργία μιας ανισότροπης δομής που μοιάζει με κρέας μέσω της τεχνολογίας κατάψυξης είναι απαραίτητη η ελάττωση της ικανότητας ζελατινοποίησης της αρχικής φυτικής πρωτεΐνης. Οι παραπάνω ερευνητές διαπίστωσαν ότι η χρήση αλεύρου σόγιας περιεκτικότητας 10% σε στερεά είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μιας πορώδους και ανισότροπης δομής, με αντοχή θραύσης ισοδύναμη με αυτήν του κρέατος. Αντίθετα, η χρήση απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας κατά την εφαρμογή της τεχνικής κατάψυξης δεν οδήγησε στην επιθυμητή υφή, γεγονός που αποδόθηκε στην υψηλή πηκτωματοποιητική της ικανότητα.



Εικόνα 7: Σχηματικό διάγραμμα της αρχής επεξεργασίας, της διαδικασίας και των τελικών προϊόντων τεχνολογιών μορφοποίησης φυτικών πρωτεϊνών (a) Εξώθηση (b) Τρισδιάστατη εκτύπωση (c) Κυψέλες διάτμησης (d) Στροβιλισμός (e) Κατάψυξη (Zhao et al. 2022)

3.3. Λιπαρά

Τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος που διατίθενται μέχρι σήμερα στην αγορά περιέχουν μικρή ποσότητα λιπαρών, καθώς για την παρασκευή τους χρησιμοποιούνται συνήθως πρώτες ύλες οι οποίες προηγουμένως έχουν απολιπανθεί (Ahmad *et al.* 2022). Τα λιπαρά επηρεάζουν τη δομή, την πλαστικότητα και την υφή των προϊόντων αυτών και κατά συνέπεια η εφαρμογή τους θα πρέπει να είναι σωστά ισορροπημένη (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Προκαλούν ελάττωση του ιξώδους των μιγμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την εξώθηση και είναι δυνατόν να λιπάνουν τον εξωθητή, με αποτέλεσμα την μείωση της διάτμησης, της τριβής και της μηχανικής ενέργειας που απαιτείται για την εκτέλεση της διεργασίας. Το γεγονός αυτό μεταβάλλει την συμπεριφορά αντίδρασης των πρωτεϊνών, οδηγώντας σε μια λιγότερο ινώδη δομή (Benkonić *et al.* 2023). Έρευνες έδειξαν ότι η χρήση λιπαρών κατά την διεργασία εξώθησης σε ποσοστό μεγαλύτερο από 15% έχει δυσμενή επίδραση στην ευθυγράμμιση των μακρομορίων (Ahmad *et al.* 2022). Ωστόσο, η παρουσία ελαίων και λιπών συμβάλλει θετικά στα αισθητηριακά χαρακτηριστικά των φυτικών υποκατάστατων του κρέατος, προσδίδοντας τρυφερότητα, δημιουργώντας την αίσθηση του χυμώδους και ενισχύοντας τη γεύση (Kyriakopoulou *et al.* 2021, Ahmad *et al.* 2022). Επιπλέον, τα λιπαρά αποτελούν πηγές λιποδιαλυτών βιταμινών και λιπαρών οξέων (Benkonić *et al.* 2023).

Σε ό,τι αφορά τα προϊόντα που μιμούνται ολόκληρα κομμάτια κρέατος (κοτόπουλου, χοιρινής ή μοσχαρίσιας μπριζόλας), τα οποία χαρακτηρίζονται από την παρουσία επιμηκών ινών ή πολυεπίπεδης δομής, τα λιπαρά προστίθενται σε περιορισμένη ποσότητα κατά τη διάρκεια της διεργασίας δόμησης. Για τον συγκεκριμένο τύπο προϊόντων προτιμάται η χρήση ελαίων αντί του στερεού λίπους,

ενώ είναι δυνατό να γίνει μεταγενέστερος εμπλουτισμός σε λιπαρά κατά το στάδιο του μαριναρίσματος. Στα προϊόντα τύπου burger (μπιφτέκια, κεφτεδάκια, nuggets), η παρασκευή των οποίων βασίζεται στη χρήση ανάγλυφων πρωτεϊνών TVP, η προσθήκη των λιπαρών πραγματοποιείται με ανάμιξή τους με τα προεπεξεργασμένα συστατικά. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται λιπαρά σε υγρή ή στερεή μορφή, ελεύθερα ή γαλακτωματοποιημένα, προτιμάται όμως η προσθήκη λιπαρών που αρχικά βρίσκονται σε στερεά μορφή και μετατρέπονται σε υγρά κατά την θέρμανση, προσδίδοντας στο στόμα την ευχάριστη αίσθηση του χυμώδους κατά την κατανάλωση των προϊόντων αυτών. Τέλος, στα φυτικά υποκατάστατα τύπου γαλακτώματος όπως τα λουκάνικα, η περιεκτικότητα των οποίων σε λιπαρά είναι παρόμοια με εκείνη των αντίστοιχων ζωικής προέλευσης (μέχρι και 25%), το λίπος αρχικά γαλακτωματοποιείται και στη συνέχεια αναμιγνύεται με την πρωτεΐνη και τα υπόλοιπα συστατικά. Σημαντική παράμετρος στην παρασκευή των προϊόντων αυτών αποτελεί η σταθεροποίηση του λίπους, η οποία επιτυγχάνεται μέσω επιλογής φυτικών πρωτεϊνών που διαθέτουν καλές ιδιότητες γαλακτωματοποίησης (Kyriakopoulou *et al.* 2021). Ωστόσο, τα συγκεκριμένα προϊόντα υπόκεινται σε αρνητική κριτική λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε κορεσμένα λιπαρά (Benković *et al.* 2023).

Σχετικά με τη χρήση λιπαρών που προέρχονται από όσπρια και δημητριακά, οι Ahmad *et al.* (2022) αναφέρουν ότι στα φυτικά υποκατάστατα κρέατος είναι δυνατό να προστεθούν πρωτεϊνούχα συστατικά που περιέχουν λιπαρά στη φυσική τους μορφή, όπως πρωτεΐνες σόγιας οι οποίες έχουν υποβληθεί σε μέτρια ζύμωση. Σύμφωνα με τους Kyriakopoulou *et al.* (2021), ανάμεσα στις περισσότερο χρησιμοποιούμενες λιπαρές ουσίες συγκαταλέγονται έλαια που προέρχονται από σόγια και καλαμπόκι. Σε έρευνα του Bohrer (2019) διαπιστώθηκε ότι στην παρασκευή των φυτικής προέλευσης

μπιφτεκιών "MorningStar farms grillers original burger" και "Boca all American veggie burger" γίνεται χρήση ελαίου καλαμποκιού, ενώ οι Curtain & Grafenauer (2019) αναφέρουν τη χρήση ελαίου από φλοιό (πίτουρο) ρυζιού σε υποκατάστατα κρέατος φυτικής προέλευσης.

3.4. Γευστικοί και Αρωματικοί παράγοντες

Η γεύση και το άρωμα των τροφίμων αποτελούν βασικούς παράγοντες αποδοχής τους από τους καταναλωτές (Senanayake *et al.* 2023). Τα προϊόντα του κρέατος ζωικής προέλευσης χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα γεύσεων και αρωμάτων, η οποία περιλαμβάνει την αντίδραση Maillard και την παρουσία ορισμένων αμινοξέων και λιπών. Κατά συνέπεια, μια από τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι βιομηχανίες παραγωγής φυτικών υποκατάστατων κρέατος είναι η αποτελεσματική αναπαραγωγή του περίπλοκου γευστικού προφίλ του πραγματικού κρέατος (Liu *et al.* 2023).

Τα όσπρια, που αποτελούν βασικές πρώτες ύλες στην παραγωγή φυτικών υποκατάστατων κρέατος, είναι δυνατόν να προσδώσουν σε αυτά δυσάρεστη γεύση και οσμή. Τα ανεπιθύμητα αυτά χαρακτηριστικά, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται η γεύση φασολιού, η αίσθηση του πικρού, η οσμή και γεύση χόρτου, οφείλονται σε πτητικές (αλδεϋδες, εστέρες, αλκοόλες, κετόνες) και μη πτητικές ενώσεις (ισοφλαβόνες, σαπωνίνες, φαινολικά συστατικά και πεπτίδια) (Senanayake *et al.* 2023). Οι Belitz *et al.* (2018) αναφέρουν ότι γευστικά και αρωματικά ελαττώματα είναι δυνατό να εμφανιστούν σε προϊόντα για την παρασκευή των οποίων χρησιμοποιούνται ελαιούχοι σπόροι, όπως η σόγια και τα φιστίκια εξαιτίας του ταγγίσματος που προκαλείται από υπεροξείδωση των λιπιδίων. Για παράδειγμα, ο σχηματισμός της 2-

πεντυλοπυριδίνης, μιας έντονα οσμηρής ένωσης, έχει ως αποτέλεσμα τα προϊόντα σόγιας να εμφανίζουν οσμή χόρτου. Επιπλέον, οι συγγραφείς αναφέρουν ότι για την εξασφάλιση της παραλαβής προϊόντος χωρίς ελαττωματική γεύση και άρωμα εφαρμόζεται ως αρχικό μέτρο η απομάκρυνση των λιπιδίων, ιδιαίτερα στην περίπτωση παραγωγής απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας. Σύμφωνα με τους Senanayake et al. (2023) η πικρή γεύση οφείλεται στην παρουσία πεπτιδίων χαμηλού μοριακού βάρους που περιέχουν υδρόφοβα αμινοξέα (λευκίνη, προλίνη, φαινυλαλανίνη και τυροσίνη), ενώ παράλληλα συμβάλλουν σε αυτήν και οι σαπωνίνες. Σε άρθρο των Li X. και Li J. (2020) δηλώνεται ότι στα φυτικά υποκατάστατα κρέατος που βασίζονται στην απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, τόσο η γεύση χόρτου όσο και η γεύση φασιολιού δημιουργούνται λόγω υπεροξειδωσής πολυακόρεστων λιπαρών οξέων όπως το λινολεϊκό και το λινολενικό, η οποία επιταχύνεται από το ένζυμο λιποξυγενάση.

Εκτός από την απολίπανση, για την ελάττωση ή ακόμη και την εξάλειψη της ανεπιθύμητης γεύσης και οσμής εφαρμόζονται και άλλες μέθοδοι, μία από τις οποίες είναι η τροποποίηση των πρωτεϊνών των οσπρίων μέσω ζύμωσης. Έρευνα έδειξε ότι η ζύμωση πρωτεΐνης μπιζελιού με τη χρήση απομονωμένων στελεχών του βακτηρίου *Lactobacillus casei* οδήγησε στη μείωση της έντασης της πικρής γεύσης έπειτα από 48 ώρες. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στην έντονη δράση της πεπτιδάσης έναντι των πικρών πεπτιδίων. Εξάλλου, η χρήση του *Lactobacillus perolen* στη ζύμωση απομονωμένης πρωτεΐνης μπιζελιού προσέδωσε στην πρωτεΐνη βουτυρώδες άρωμα, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων διακετύλιου που παράχθηκαν από το συγκεκριμένο βακτήριο (Liu et al. 2023).

Η τεχνολογία κάλυψης οσμών αποτελεί μια άλλη μέθοδο που εφαρμόζεται στα προϊόντα κρέατος φυτικής προέλευσης. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη δημιουργία ενός

νέου αρωματικού προφίλ που μπορεί να καλύψει τα αρχικά δυσάρεστα γευστικά και αρωματικά χαρακτηριστικά και περιλαμβάνει την προσθήκη φυσικών καρυκευμάτων, πρόδρομων ενώσεων της αντίδρασης Maillard (μονοσακχαριτών, αμινοξέων, θειαμίνης, νουκλεοτιδίων γεύσης) ή και εκχυλίσματος μαγιάς (Liu *et al.* 2023).

Οι Li X. και Li J. (2020) αναφέρουν τη χρήση υδρολυμένης φυτικής πρωτεΐνης (HVP) στην παραγωγή φυτικών ανάλογων κρέατος, η οποία λειτουργεί ως αρωματικός παράγοντας αλλά και ως ενισχυτικό γεύσης. Για την παρασκευή της είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν φυτικές πρωτεΐνες διαφόρων οσπρίων και δημητριακών, όπως σόγιας, καλαμποκιού, σίτου, φιστικιών, οι οποίες διασπώνται σε αμινοξέα και πεπτίδια μέσω όξινης ή ενζυμικής υδρόλυσης. Σύμφωνα με τους Kyriakopoulou *et al.* (2021), η χρήση τροποποιημένης μέσω ενζυμικής υδρόλυσης φυτικής πρωτεΐνης έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αρωμάτων που μοιάζουν με κοτόπουλο και βόειο κρέας.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι για τη βελτίωση της γεύσης σε φυτικά υποκατάστατα κιμά βόειου κρέατος χρησιμοποιείται τελευταία και η leg-αιμογλοβίνη σόγιας, μια πρωτεΐνη αίμης που βρίσκεται στους όζους των ριζών των οσπρίων και η οποία, μετά το μαγείρεμα, προσδίδει στα προϊόντα αυτά γεύση και άρωμα πραγματικού κρέατος (Devaere *et al.* 2022).

3.5. Χρωστικές

Η εμφάνιση και ιδιαίτερα το χρώμα αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης. Σε αντίθεση με το ζωικό κρέας, το χρώμα των φυτικών ανάλογων κρέατος είναι κίτρινο, λόγω της απουσίας μυοσφαιρίνης, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την αποδοχή τους από τους καταναλωτές (Ryu *et al.* 2023). Κατά συνέπεια, οι βιομηχανίες παραγωγής των προϊόντων αυτών έπρεπε να

στραφούν στην αναζήτηση φυσικών χρωστικών για την προσομοίωση τόσο του κόκκινου χρώματος του νωπού, όσο και του φαιοκάστανου χρώματος του μαγειρεμένου ζωικού κρέατος. Ωστόσο, η χρήση φυτικών χρωστικών εμφανίζει πολλούς περιορισμούς, όπως η ασταθής φύση τους κατά την επεξεργασία σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, η αποικοδόμηση λόγω οξείδωσης και η υποβάθμιση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών κατά την αποθήκευση και τη συντήρηση (Bakhsh *et al.* 2023).

Ανάμεσα στις φυτικές χρωστικές που χρησιμοποιούνται σήμερα στην παραγωγή υποκατάστατων κρέατος περιλαμβάνονται το εκχύλισμα κόκκινων τεύτλων, ο τοματοπολτός, ο χυμός καρότου και το λυκοπένιο (Ryu *et al.* 2023). Σε ό,τι αφορά τη χρήση χρωστικών που προέρχονται από όσπρια και δημητριακά, σε άρθρο του Bohrer (2019) αναφέρεται ότι στην παρασκευή του "Impossible burger" χρησιμοποιείται η leg-αιμογλοβίνη σόγιας. Η συγκεκριμένη ένωση έχει παρόμοια δομή με τη μυοσφαιρίνη, την κύρια χρωστική του πραγματικού κρέατος και μπορεί να παρασκευαστεί σε μεγάλες ποσότητες μέσω εισαγωγής του γονιδίου που την κωδικοποιεί στο γονιδίωμα της ζύμης *Pichia pastoris* (Bakhsh *et al.* 2023). Σε άρθρο της Caldwell (2021) αναφέρεται ότι η leg-αιμογλοβίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επίπεδο έως και 0,8% του τελικού βάρους ενός προϊόντος για την προσομοίωση του χρώματος του κρέατος. Επιπλέον, μεταξύ των χρησιμοποιούμενων χρωστικών περιλαμβάνεται εκχύλισμα βύνης (Ishaq *et al.* 2022), ενώ οι Kyriakopoulou *et al.* (2021) αναφέρουν τη χρήση ρυζάλευρου που έχει υποστεί ζύμωση στην παρασκευή φυτικών υποκατάστατων τύπου "μπολόνια".

Η εφαρμογή των χρωστικών πραγματοποιείται με τη μορφή διαλυμάτων, τα οποία κατά την εξώθηση είτε αναμιγνύονται με τις φυτικές πρωτεΐνες πριν από την

διεργασία δόμησης είτε προστίθενται μετά την είσοδο των πρωτεϊνούχων υλικών στον εξωθητήρα (Kyriakopoulou *et al.* 2019).



Myoglobin Leghemoglobin

Εικόνα 8: Σύγκριση χρώματος μυοσφαιρίνης και leg-αιμογλοβίνης (Bakhsh *et al.* 2023)

3.6. Υδατάνθρακες

Το κρέας ζωικής προέλευσης δεν περιέχει υδατάνθρακες. Ωστόσο, προσθήκη υδατανθράκων γίνεται συχνά κατά την διαδικασία επεξεργασίας του, ιδιαίτερα κατά την παρασκευή γαλακτωματοποιημένων και μορφοποιημένων προϊόντων. Αντίθετα, τα υποκατάστατα προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης περιέχουν σχεδόν πάντοτε υδατάνθρακες, η προσθήκη των οποίων εξυπηρετεί τη βελτίωση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στις πρωτεΐνες, τα λιπίδια και το νερό. Συστατικά όπως η μεθυλοκυτταρίνη, η ξανθάνη και η καραγενάνη χρησιμοποιούνται ως συνδετικοί παράγοντες, συμβάλλοντας στον σχηματισμό σταθερής δομής και στη μορφοποίηση των προϊόντων (Bohrer 2019). Άμυλα και άλευρα λειτουργούν ως πληρωτικά και διαθέτουν ικανότητα συγκράτησης νερού και λίπους (Ahmad *et al.* 2022), ενώ η προσθήκη τους έχει ως

αποτέλεσμα τη βελτίωση της υφής και της συνοχής των παραγόμενων προϊόντων (Bohrer 2019). Οι Imran & Liyan (2023) αναφέρουν την εφαρμογή αλεύρου σίτου, ινών βρόμης, αλεύρου ρυζιού που έχει υποστεί ζύμωση και τροποποιημένου άμυλου καλαμποκιού ως πυκνωτικών παραγόντων στην παραγωγή PBMS, με σκοπό τη δέσμευση νερού, την ακινητοποίηση του λίπους, την βελτίωση της ρεολογίας, της υφής και της συνοχής, καθώς και την γαλακτωματοποίηση των λιπαρών. Μελετώντας τις πληροφορίες που παρέχονται στις ετικέτες ορισμένων σύγχρονων φυτικών υποκατάστατων κρέατος ο Bohrer (2019) διαπίστωσε ότι στην παρασκευή των "MorningStar farms grillers original burgers" χρησιμοποιείται αλεύρι σόγιας και άμυλο καλαμποκιού, ενώ μεταξύ των συστατικών των "Gardein meatless meatballs" περιλαμβάνεται εμπλουτισμένο άλευρο σίτου. Σύμφωνα με άρθρο της Caldwell (2021), ανάμεσα στα πολυμερή υδατανθράκων που χρησιμοποιούνται για περαιτέρω δέσμευση νερού συγκαταλέγονται ακατέργαστες ίνες από σιτάρι και βρόμη, ενώ οι Romão et al. (2023), βάσει βιβλιογραφικής ανασκόπησης που διενήργησαν, αναφέρουν ότι το ποσοστό υδατανθράκων στα φυτικά υποκατάστατα κρέατος κυμαίνεται μεταξύ 5,85 % και 13,83 %.

3.7. Αντιοξειδωτικά

Η οξείδωση των λιπιδίων και των πρωτεϊνών αποτελεί μια από τις κύριες αιτίες υποβάθμισης του κρέατος και των προϊόντων του κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης. Η παρουσία ακόρεστων λιπαρών, χρωστικών αίμης, μετάλλων που δρουν ως καταλύτες και οξειδωτικών παραγόντων στους μυϊκούς ιστούς έχει ως αποτέλεσμα το κρέας και τα προϊόντα του να γίνονται επιρρεπή σε οξειδωτική αποικοδόμηση, με συνέπεια τον αποχρωματισμό και την αλλοίωση της γεύσης τους,

τον σχηματισμό επιβλαβών για την υγεία ενώσεων, την απώλεια θρεπτικών συστατικών και την μείωση της διάρκειας ζωής. Παρά το γεγονός ότι το κρέας περιέχει αντιοξειδωτικά που υπάρχουν φυσικά σε αυτό, για την προστασία από την οξείδωση έχουν αναπτυχθεί στρατηγικές όπως η εφαρμογή εξωγενών αντιοξειδωτικών στο κρέας και τα προϊόντα του ή ο εμπλουτισμός με αυτά της τροφής των υπό σφαγή ζώων (Hadidi *et al.* 2022).

Αντίστοιχα, στα υποκατάστατα προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης η προσθήκη αντιοξειδωτικών (προερχόμενων από φυτικές πηγές) είναι απαραίτητη για την πρόληψη της τάγγισης των λιπαρών και της οξείδωσης των πρωτεϊνών (Abdullah *et al.* 2022). Στα φυτικά αντιοξειδωτικά περιλαμβάνονται κυρίως πολυφαινόλες (φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, ανθοκυανίνες, λιγνάνες και στιλβένια), καροτενοειδή (ξανθοφύλλες και καροτένια) και βιταμίνες (βιταμίνη E και C) (Xu *et al.* 2017).

Οι Abdullah *et al.* (2022) αναφέρουν ότι τα προϊόντα σόγιας, η οποία αποτελεί κύριο συστατικό πολλών φυτικών υποκατάστατων κρέατος, χαρακτηρίζονται από μεγάλη περιεκτικότητα σε φαινολικές ενώσεις με υψηλές αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Επιπλέον, από τους παραπάνω ερευνητές διαπιστώθηκε ότι το συνολικό περιεχόμενο σε πολυφαινόλες καθώς και οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες προϊόντων κρέατος φυτικής προέλευσης ήταν υψηλότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα του συμβατικού κρέατος.

Σε έρευνα των Li *et al.* (2022) μελετήθηκε η μερική αντικατάσταση απομονωμένης πρωτεΐνης σόγιας από πίτουρο ρυζιού που είναι πλούσιο σε πολυφαινόλες, για την παραγωγή προσομοιωμένου κρέατος φυτικής προέλευσης μέσω εξώθησης υψηλής υγρασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη πίτουρου

ρυζιού σε ποσοστό 20% στο προϊόν απομόνωσης σόγιας προκάλεσε αύξηση του ολικού φαινολικού περιεχομένου του φυτικού κρέατος κατά 35, 90%.

3.8. Αντιδιατροφικοί παράγοντες

Παρά το γεγονός ότι τα όσπρια και τα δημητριακά αποτελούν πλούσιες πηγές μακροθρεπτικών και μικροθρεπτικών συστατικών, η ύπαρξη στους σπόρους τους αντιθρεπτικών ουσιών δημιουργεί προβλήματα που σχετίζονται με τη διατροφή και επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Στους αντιδιατροφικούς παράγοντες περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων το φυτικό οξύ, σαπωνίνες, ταννίνες, λεκτίνες, αναστολείς ενζύμων (Samtiya *et al.* 2020), καθώς και μη εύπεπτοι ολιγοσακχαρίτες (Senanayake *et al.* 2023). Οι παράγοντες αυτοί είναι δυνατό να μειώσουν τη βιοδιαθεσιμότητα βασικών θρεπτικών συστατικών περιορίζοντας την πέψη των πρωτεϊνών ή την απορρόφηση μετάλλων (Bogueva & Mc Clements 2023). Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, η εξάλειψη ορισμένων αντιθρεπτικών συστατικών δεν είναι επιθυμητή, καθώς μικρές ποσότητες παρέχουν οφέλη για την υγεία έναντι ορισμένων χρόνιων ασθενειών (Das *et al.* 2022). Για παράδειγμα, οι λεκτίνες προκαλούν επιβράδυνση της πέψης και της απορρόφησης των υδατανθράκων. Η συγκεκριμένη δράση των λεκτινών είναι δυνατόν να έχει θετικές επιπτώσεις σε άτομα που πάσχουν από διαβήτη και μπορεί επίσης να βοηθήσει στη διαχείριση του βάρους. Επιπλέον, ολιγοσακχαρίτες όπως η ραφινόζη και η σταχυόζη μπορούν να δράσουν ως πρεβιοτικά, προάγοντας την ανάπτυξη ωφέλιμων βακτηρίων στο έντερο (Senanayake *et al.* 2023). Αντιθρεπτικά συστατικά υπάρχουν φυσικά σε ορισμένα φυτά ως αποτέλεσμα αμυντικών μηχανισμών με τους οποίους προστατεύονται από το περιβάλλον (López-

Moreno *et al.* 2022). Μελέτες έχουν δείξει ότι ορισμένα από αυτά είναι δυνατόν να υπάρχουν στο άμυλο καλαμποκιού και σόγιας (Bogueva & McClements 2023).

Το φυτικό οξύ περιέχεται κυρίως στα κοινά φασόλια, τις φακές, τα φιστίκια, τον αρακά και τη σόγια και αποτελεί την κύρια μορφή αποθήκευσης του φωσφόρου (Das *et al.* 2022). Σε ορισμένα δημητριακά όπως το σιτάρι και το ρύζι βρίσκεται στο κλάσμα του πίτουρου, ενώ στο καλαμπόκι όπως και στους σπόρους των οσπρίων εντοπίζεται στο ενδοσπέρμιο (Gupta *et al.* 2015). Έχει τη δυνατότητα να προσκολληθεί στις πρωτεΐνες κατά την εκχύλιση/κλασματοποίηση για την παραγωγή συμπυκνωμάτων και απομονώσεων πρωτεΐνης. Σύμφωνα με αναφορά, σε συμπυκνώματα σόγιας διαπιστώθηκε η παρουσία περίπου 11% φυτικού οξέος (Bryngelsson *et al.* 2022). Στις αντιδιατροφικές του ιδιότητες περιλαμβάνεται ο σχηματισμός συμπλόκων με μεταλλικά ιόντα με αποτέλεσμα την ελάττωση της βιοδιαθεσιμότητά τους (Samtiya *et al.* 2020), ενώ έχει αναφερθεί ότι αναστέλλει την απορρόφηση σιδήρου, ψευδαργύρου, ασβεστίου, μαγνησίου και μαγγανίου (Gupta *et al.* 2015). Ωστόσο, το φυτικό οξύ μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικό συντηρητικό των τροφίμων, συμβάλλοντας στην επέκταση της διάρκειας ζωής τους (Senanayake *et al.* 2023).

Οι λεκτίνες είναι γλυκοζυλιωμένες πρωτεΐνες με εκτεταμένη παρουσία στα όσπρια και σε ορισμένους ελαιούχους σπόρους όπως η σόγια. Είναι δυνατό να βλάψουν τα εντερικά κύτταρα και να μειώσουν την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών με αποτέλεσμα τη διείσδυση βακτηρίων στην κυκλοφορία του αίματος. Οι σαπωνίνες επηρεάζουν την πεπτικότητα των πρωτεϊνών και προκαλούν υποβάθμιση της ανάπτυξης. Οι υψηλές συγκεντρώσεις σαπωνινών προσδίδουν στυπτικότητα και πικρή γεύση στα φυτικά τρόφιμα (Salim *et al.* 2023). Επιπλέον, έχουν αρνητική επίδραση

στην απορρόφηση των βιταμινών Α και Ε, καθώς και των λιπιδίων (Samtiya *et al.* 2020).

Η ελάττωση της ποσότητας των προαναφερθέντων αντιδιατροφικών παραγόντων είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη χρήση μηχανικής επεξεργασίας, όπως η αποφλοΐωση και η άλεση, αλλά και με εφαρμογή άλλων μεθόδων, όπως το μούλιασμα, η βλάστηση, η ακτινοβολήση και η ζύμωση. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό τεχνικές όπως η επεξεργασία υψηλής πίεσης αλλά και η εξώθηση, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του επιπέδου των αντιθρεπτικών ουσιών (Nikmaram *et al.* 2017). Οι Nikbakht Nasrabadi *et al.* (2021) αναφέρουν ότι οι υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που εφαρμόζονται κατά την εξώθηση έχουν την ικανότητα να προκαλούν καταστροφή των αντιθρεπτικών συστατικών και βελτίωση της πεπτικότητας των φυτικών πρωτεϊνών αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα των αμινοξέων τους. Ωστόσο, σύμφωνα με τους Bogueva & McClements (2023) η απομάκρυνση ή η απενεργοποίησή των παραγόντων αυτών ενδέχεται να μην είναι πλήρης κατά τη διάρκεια των διεργασιών εκχύλισης και εξώθησης.

Δεδομένου ότι η αποφλοΐωση και η άλεση αποτελούν στάδια επεξεργασίας των πρώτων υλών και η εξώθηση είναι η συνηθέστερη μέθοδος παραγωγής TVP, είναι δυνατό να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι γενικά η περιεκτικότητα των φυτικής προέλευσης υποκατάστατων κρέατος σε αντιδιατροφικούς παράγοντες βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα.

3.9. Αλλεργιογόνα

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αύξηση των αλλεργιών που σχετίζονται με τα τρόφιμα σε παγκόσμιο επίπεδο και, κατά συνέπεια, η παρουσία αλλεργιογόνων

στα φυτικής προέλευσης υποκατάστατα κρέατος δημιουργεί ιδιαίτερη ανησυχία σε ό,τι αφορά την ασφάλειά τους. Κοινά συστατικά των PBMS, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, είναι δυνατόν να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις σε ορισμένους ανθρώπους, τα συμπτώματα των οποίων μπορεί να είναι ήπια (κνησμός, οίδημα, πόνος στο στομάχι) ή ιδιαίτερα σοβαρά (αναφυλαξία). Επομένως, ο προσδιορισμός των αλλεργιογόνων στα PBMS θεωρείται σημαντικός για να διασφαλιστεί ότι δεν ενέχουν κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών (Bogueva & McClements 2023).

Στα πλέον γνωστά αλλεργιογόνα περιλαμβάνονται διάφορες πρωτεΐνες οσπρίων και δημητριακών, όπως εκείνες που βρίσκονται στη σόγια, το σιτάρι, τα μπιζέλια, τα φιστίκια, τη σίκαλη, το κριθάρι και το λούπινο. Οι αλλεργικές αντιδράσεις που προκαλούν σχετίζονται με την αντίστασή τους στην πέψη από τις πρωτεάσες του γαστρεντερικού σωλήνα. Ορισμένες πρωτεΐνες που προέρχονται από γενετικά τροποποιημένα φυτά δημιουργούν ανησυχία στους καταναλωτές για τυχόν πρόκληση νέων κινδύνων αλλεργίας και κατά συνέπεια επιβάλλεται η αυστηρή τους αξιολόγηση για ενδεχόμενη αλλεργιογόνο δράση, ενώ κρίνεται απαραίτητη και η επισήμανση τέτοιου είδους συστατικών στις ετικέτες των προϊόντων (Bogueva & McClements 2023).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η δήλωση αλλεργιογόνων είναι προς το παρόν υποχρεωτική μόνο για τα φιστίκια, τη σόγια, το λούπινο και τους ξηρούς καρπούς. Οι πρωτεΐνες των μπιζελλιών, η χρήση των οποίων με τη μορφή απομονώσεων και συμπυκνωμάτων είναι πλέον εκτεταμένη στην παραγωγή PBMS, δεν περιλαμβάνονται στον κατάλογο αλλεργιογόνων με υποχρεωτική δήλωση. Επομένως οι συγκεκριμένες πρωτεΐνες αποτελούν "κρυμμένα" αλλεργιογόνα και σε συνδυασμό με το γεγονός ότι

είναι ανθεκτικές στη θέρμανση ενδέχεται να προκαλέσουν αλλεργικές αντιδράσεις (Präger *et al.* 2023).

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι ανάμεσα σε ορισμένες αλλεργιογόνες πρωτεΐνες των οσπρίων εκδηλώνεται το φαινόμενο της διασταυρούμενης αντιδραστικότητας, εξαιτίας της μεγάλης ομοιότητας στην αλληλουχία των αμινοξέων και κατά συνέπεια στην τρισδιάστατη δομή. Για παράδειγμα, άτομα που εμφανίζουν αλλεργία στα φιστίκια έχει παρατηρηθεί ότι παρουσιάζουν επίσης ευαισθησία στη σόγια λόγω διασταυρούμενης αντιδραστικότητας (Negi & Braun 2017, Präger *et al.* 2023).

Στο πλαίσιο διασφάλισης της υγείας των καταναλωτών από ενδεχόμενα συμπτώματα αλλεργικών αντιδράσεων, η εταιρεία παραγωγής φυτικών υποκατάστατων κρέατος Beyond Meat επισημαίνει στις ετικέτες των προϊόντων της ότι αυτά δεν περιέχουν συστατικά από γενετικά τροποποιημένες πηγές, ενώ έχει αντικαταστήσει πλήρως την πρωτεΐνη σόγιας από πρωτεΐνες άλλων οσπρίων. Επιπλέον, σε προϊόντα της εταιρείας που περιέχουν πρωτεΐνη μπιζελιών, υπάρχει προειδοποίηση σύμφωνα με την οποία άτομα με σοβαρές αλλεργίες σε όσπρια όπως τα φιστίκια θα πρέπει να είναι προσεκτικά κατά την κατανάλωση της συγκεκριμένης πρωτεΐνης, λόγω της πιθανότητας εκδήλωσης αλλεργίας (<https://www.beyondmeat.com/en-US/products/>, 24-11-2023).

3.10. Εφαρμογές στην παραγωγή φυτικών υποκατάστατων κρέατος

Η ανάγκη βελτίωσης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της διατροφικής αξίας των φυτικών υποκατάστατων κρέατος, προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της αποδοχής τους από τους καταναλωτές, οδήγησε τις βιομηχανίες παραγωγής

των προϊόντων αυτών και την ακαδημαϊκή κοινότητα στην ανάπτυξη ενός σημαντικού πεδίου έρευνας. Σήμερα, ένα πλήθος "meatless" τροφίμων φυτικής προέλευσης που προσομοιάζουν με εκείνα του πραγματικού κρέατος κατακλύζει την αγορά, η παραγωγή των οποίων βασίζεται στη συνδυαστική χρήση συστατικών οσπρίων και δημητριακών. Ανάμεσα στις κορυφαίες εταιρείες παραγωγής PBMS περιλαμβάνονται η MorningStar Farms, η Beyond Meat, η Impossible Foods, η Boca Foods Company, η Gardein και η Quorn Foods (<https://www.imarcgroup.com/plant-based-meat-companies>, 24-11-2023).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας διενεργήθηκε έρευνα, αναφορικά με τα συστατικά οσπρίων και δημητριακών που χρησιμοποιούν ορισμένες από τις παραπάνω εταιρείες στην παρασκευή των προϊόντων τους. Το εξαιρετικά ευρύ φάσμα των παραγόμενων PBMS, σε συνδυασμό με παραλλαγές στη συνταγή για πολλά από αυτά, οδήγησε σε υποχρεωτικό περιορισμό των ορίων της έρευνας, με αποτέλεσμα αυτή να επικεντρωθεί αποκλειστικά σε συγκεκριμένα προϊόντα, τα οποία κρίθηκε ότι αποτελούν τα δημοφιλέστερα μεταξύ των καταναλωτών. Οι πληροφορίες αντλήθηκαν από τις ιστοσελίδες των αντίστοιχων εταιρειών και παρατίθενται με βάση το είδος του προϊόντος.

Burgers (μπιφτέκια):

Beyond Burgers: πρωτεΐνη μπιζελίου, πρωτεΐνη ρυζιού, πρωτεΐνη φάβας (Beyond Meat)

Grillers Original Veggie Burgers: γλουτένη σίτου, συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, έλαιο καλαμποκιού, άμυλο καλαμποκιού, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, σάλτσα σόγιας (MorningStar Farms)

Ultimate plant-based burger: TVP μπιζελίου, TVP σίτου, γλουτένη σίτου, εκχύλισμα βόνης κριθαριού (Gardein)

Nuggets κοτόπουλου (κοτομπουκιές):

Beyond chicken nuggets: αλεύρι σίτου, γλουτένη σίτου, πρωτεΐνη φάβας, τροποποιημένο άμυλο καλαμποκιού, άμυλο μπιζελίου, αλεύρι ρυζιού, άμυλο καλαμποκιού, πρωτεΐνη μπιζελίου (Beyond Meat)

MorningStar Farms Veggie chik'n nuggets: αλεύρι σίτου, συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, έλαιο καλαμποκιού, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, κίτρινο αλεύρι καλαμποκιού, άμυλο μπιζελίου, άμυλο σίτου, αλεύρι ρυζιού

Ultimate plant-based chick'n nuggets: εμπλουτισμένο αλεύρι σίτου, γλουτένη σίτου, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, συμπύκνωμα πρωτεΐνης μπιζελίου, κίτρινο αλεύρι καλαμποκιού, ανάγλυφη πρωτεΐνη σίτου (Gardein)

Sausages (λουκάνικα):

Beyond sausage: πρωτεΐνη μπιζελίου, πρωτεΐνη ρυζιού (Beyond Meat)

MorningStar Farms veggie breakfast sausage links: γλουτένη σίτου, έλαιο καλαμποκιού, συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, υδρολυμένη φυτική πρωτεΐνη (σόγιας, σίτου, καλαμποκιού), σκόνη σάλτσας σόγιας, έλαιο σόγιας

Meatballs (κεφτεδάκια)

Beyond meatballs: πρωτεΐνη μπιζελίου, πρωτεΐνη ρυζιού (Beyond Meat)

MorningStar Farms veggie meatballs: γλουτένη σίτου, έλαιο καλαμποκιού, αλεύρι σόγιας, συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, αλεύρι σίτου

Gardein plant-based meatballs: TVP από συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, γλουτένη σίτου, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, εμπλουτισμένο αλεύρι σίτου, εκχύλισμα βύνης κριθαριού (Gardein)

Impossible meatballs made from plants, homestyle: συμπύκνωμα πρωτεΐνης σόγιας, απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας, τροποποιημένο άμυλο τροφίμων, leg-αιμογλοβίνη σόγιας, υδρολυμένη πρωτεΐνη σόγιας (Impossible™)

(<https://www.beyondmeat.com/en-US/products/>, 30-11-2023)

(https://www.morningstarfarms.com/en_US/products/, 30-11-2023)

(<https://www.gardein.com/>, 30-11-2023)

(<https://impossiblefoods.com/products/>, 30-11-2023)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η ανάπτυξη φυτικών υποκατάστατων κρέατος αποτελεί πρόκληση για τη βιομηχανία τροφίμων και έχει ως κύριο στόχο την παραγωγή βιώσιμων αναδομημένων προϊόντων, τα οποία διαθέτουν παρόμοιες οργανοληπτικές ιδιότητες και ανάλογη διατροφική ποιότητα με εκείνα του συμβατικού κρέατος. Η σύνθεσή τους περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα φυτικών συστατικών, η κατάλληλη επιλογή των οποίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παραγωγή προϊόντων με ικανοποιητικά ποιοτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, υφή, γεύση) ώστε να είναι αποδεκτά από τους καταναλωτές.

Κατά κύριο λόγο, πηγές των συστατικών των PBMS αποτελούν διάφορα όσπρια και δημητριακά, ανάμεσα στα οποία κυρίαρχη θέση κατέχουν η σόγια, τα μπιζέλια και το σιτάρι, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί επιτυχείς προσπάθειες εφαρμογής συστατικών προερχόμενων από τη φάβα, το ρύζι, το καλαμπόκι κ.ά. Η δομική ποιότητα των PBMS και κατά συνέπεια τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αυτήν καθορίζεται κυρίως από τις χρησιμοποιούμενες για την παραγωγή τους πρωτεΐνες. Η βιβλιογραφική έρευνα έδειξε ότι ο κατάλληλος συνδυασμός φυτικών

πρωτεϊνών, οι οποίες διαθέτουν τις απαιτούμενες για κάθε προϊόν λειτουργικές ιδιότητες, είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση ποιοτικών χαρακτηριστικών παρόμοιων με εκείνα των προϊόντων του συμβατικού κρέατος. Επιπλέον, σε αντίθεση με τις πρωτεΐνες του πραγματικού κρέατος, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή βιολογική αξία και πεπτικότητα, οι πρωτεΐνες των οσπρίων και των δημητριακών εμφανίζουν έλλειψη ορισμένων απαραίτητων αμινοξέων. Επομένως, η συνδυαστική χρήση πρωτεϊνών οσπρίων και δημητριακών συμβάλλει επίσης στην βελτίωση της διατροφικής αξίας των παραγόμενων προϊόντων, μέσω αλληλοσυμπλήρωσης των περιοριστικών τους αμινοξέων, καθώς η ανεπάρκεια θειούχων αμινοξέων στα όσπρια αντισταθμίζεται από τα δημητριακά και η έλλειψη λυσίνης στα δημητριακά εξισορροπείται από τα όσπρια. Στις σημαντικότερες λειτουργικές ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων πρωτεϊνών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην παραγωγή των φυτικών υποκατάστατων κρέατος περιλαμβάνονται η ικανότητα συγκράτησης νερού, η ικανότητα δέσμευσης ελαίου/λίπους, η γαλακτωματοποίηση και η πηκτωματοποίηση.

Οι εμπορικοί τύποι των πρωτεϊνών οσπρίων και δημητριακών περιλαμβάνουν άλευρα, συμπυκνώματα και προϊόντα απομόνωσης, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή PBMS είτε ως έχουν, είτε έπειτα από μορφοποίηση, η οποία οδηγεί στον σχηματισμό "textured vegetable proteins" (TVP), δηλαδή ανάγλυφων φυτικών πρωτεϊνών. Η μορφοποίηση επιτυγχάνεται μέσω διαφόρων τεχνολογιών, από τις οποίες η πλέον χρησιμοποιούμενη στη βιομηχανία είναι η εξώθηση.

Η περιεκτικότητα των φυτικών υποκατάστατων κρέατος σε λιπαρά είναι γενικά χαμηλή, διότι η εφαρμογή τους κατά την εξώθηση σε μεγάλες ποσότητες επιδρά δυσμενώς στην διαμόρφωση της επιθυμητής υφής. Για τον λόγο αυτό οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή των PBMS έχουν προηγουμένως υποστεί

απολίπανση. Ωστόσο, δεν μπορεί να αγνοηθεί η θετική συμβολή των λιπαρών στην ενίσχυση της γεύσης, της τρυφερότητας και της αίσθησης του χυμώδους των παραγόμενων προϊόντων. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έδειξε ότι ανάμεσα στις φυτικές λιπαρές ουσίες που προέρχονται από όσπρια και δημητριακά, εκείνες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα έλαια καλαμποκιού και σόγιας.

Στη παραγωγή των PBMS απαραίτητη είναι η χρήση υδατανθράκων, οι οποίοι προάγουν την αλληλεπίδραση ανάμεσα στις πρωτεΐνες, τα λιπαρά και το νερό. Τα άλευρα και τα άμυλα, των οποίων η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είναι χαμηλή ή μηδενική, λειτουργούν ως συνδετικοί παράγοντες και ως πληρωτικά, βελτιώνοντας την υφή και τη συνοχή των φυτικών υποκατάστατων κρέατος. Με βάση τις ετικέτες των προϊόντων που προαναφέρθηκαν, αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα άλευρα σίτου, σόγιας, καλαμποκιού και ρυζιού καθώς και τα άμυλα μπιζελιού και καλαμποκιού. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί η θετική συμβολή των υδατανθράκων που περιέχονται σε πρωτεϊνικά συμπυκνώματα, όπως αυτά της σόγιας, στην επίτευξη ινώδους δομής.

Το χρώμα, η γεύση και το άρωμα αποτελούν χαρακτηριστικά των PBMS που επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Η εφαρμογή χρωστικών, γευστικών και αρωματικών παραγόντων προερχόμενων από όσπρια και δημητριακά στην παραγωγή φυτικών υποκατάστατων κρέατος είναι γενικά περιορισμένη. Ωστόσο, σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές, στη σύνθεση ορισμένων PBMS περιλαμβάνονται χρωστικές όπως καροτενοειδή που περιέχονται στο αλεύρι ρεβιθιού και στο κίτρινο αλεύρι καλαμποκιού, εκχύλισμα βύνης από κριθάρι, ζυμωμένο αλεύρι ρυζιού και η leg-αιμογλοβίνη σόγιας, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για την προσομοίωση του χρώματος της μυοσφαιρίνης του κόκκινου κρέατος όσο και για την

βελτίωση της γεύσης. Επιπλέον, αναφέρεται η χρήση υδρολυμένων πρωτεϊνών καλαμποκιού, σόγιας, σίτου και φιστικιών οι οποίες συμβάλλουν στην ανάπτυξη επιθυμητού αρώματος και γεύσης.

Η διατροφική ποιότητα των υποκατάστατων κρέατος φυτικής προέλευσης επηρεάζεται αρνητικά από την παρουσία αντιθρεπτικών συστατικών, όπως το φυτικό οξύ, οι λεκτίνες και οι σαπωνίνες. Επιπλέον, η εκτεταμένη χρήση της γλουτένης σίτου στην παραγωγή τους καθιστά σχεδόν απαγορευτική την κατανάλωσή τους από άτομα που πάσχουν από κοιλιοκάκη ή εμφανίζουν δυσανεξία στη γλουτένη, ενώ ιδιαίτερη ανησυχία για την υγεία των καταναλωτών προκαλεί η ύπαρξη αλλεργιογόνων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί η διατύπωση επιφυλάξεων σχετικά με την ασφάλειά τους, λόγω ενδεχόμενης χρησιμοποίησης συστατικών από γενετικά τροποποιημένες πηγές.

Η συγκριτική αξιολόγηση της διατροφικής αξίας των φυτικών υποκατάστατων κρέατος σε σχέση με τα αντίστοιχα προϊόντα ζωικής προέλευσης είναι δύσκολη, καθώς η σύνθεσή των PBMS περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος φυτικών συστατικών, τα οποία διαφέρουν ακόμη και ανάμεσα σε προϊόντα του ίδιου τύπου. Σύμφωνα με τους Andreani et al. (2023), μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στις Η.Π.Α. και σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες έδειξαν ότι η περιεκτικότητα των PBMS σε ενέργεια, ολικά και κορεσμένα λιπαρά είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τα προϊόντα του συμβατικού κρέατος, ενώ διαπιστώθηκε ότι περιέχουν υψηλότερες ποσότητες υδατανθράκων και φυτικών ινών.

Έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε ισπανικά supermarkets το 2020 έδειξε ότι η περιεκτικότητα των περισσότερων από τα 148 προϊόντα που αξιολογήθηκαν ως προς το θρεπτικό τους περιεχόμενο και τα συστατικά τους ήταν χαμηλή σε σάκχαρα, μέτρια σε

υδατάνθρακες, ολικά και κορεσμένα λιπαρά και υψηλή σε αλάτι. Συνολικά, τα PBMS της έρευνας ταξινομήθηκαν στην κατηγορία των υπερεπεξεργασμένων τροφίμων σύμφωνα με το σύστημα NOVA⁴. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι οι κύριες πηγές πρωτεΐνης ήταν η σόγια (91/148) και η γλουτένη σίτου (42/148), ενώ 43 από τα προϊόντα περιείχαν ζωική πρωτεΐνη, κυρίως αβγού (Rizzolo-Brime *et al.* 2023).

Η στροφή του ενδιαφέροντος στην ανάπτυξη φυτικών υποκατάστατων κρέατος τα τελευταία χρόνια βασίζεται κυρίως στην αυξανόμενη συνειδητοποίηση των επιβλαβών συνεπειών της υψηλής κατανάλωσης κρέατος στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και στην μεγάλη ανησυχία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος παραγωγής τροφίμων, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, κατά την μετάβαση σε φυτικές δίαιτες που αποκλείουν την κατανάλωση ζωικού κρέατος θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η διατροφική ποιότητα των PBMS, λόγω του κινδύνου ανεπάρκειας ορισμένων θρεπτικών συστατικών, όπως για παράδειγμα της βιταμίνης B12. Κατά συνέπεια, κλινικές δοκιμές οι οποίες θα επικεντρώνονται στην αξιολόγηση των επιπτώσεων στη διατροφή και την υγεία αποκλειστικά των φυτικών υποκατάστατων κρέατος είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν στο άμεσο μέλλον (Andreani *et al.* 2023).

Η πολυπλοκότητα της επεξεργασίας των συστατικών των PBMS έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, ωστόσο, μελέτες στις οποίες εξετάστηκαν δείκτες όπως η χρήση γης, νερού και ενέργειας καθώς και η κλιματική αλλαγή, έχουν δείξει ότι η παραγωγή PBMS είναι περισσότερο βιώσιμη σε σχέση με τα ζωικά προϊόντα. Για την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των φυτικών υποκατάστατων κρέατος και τη σύγκρισή τους με εκείνες των προϊόντων ζωικής προέλευσης έχει εφαρμοστεί η μεθοδολογία αξιολόγησης του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment,

συντογραφικά LCA), που βασίζεται στα πρότυπα ISO 14040 και ISO 14044. Παρόλα αυτά, ο αριθμός των μελετών LCA που πραγματοποιήθηκαν είναι μικρός και κατά συνέπεια περισσότερες μελέτες απαιτούνται για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, ενώ η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας παρουσιάζει πολλούς περιορισμούς, οι οποίοι θα πρέπει να αντιμετωπιστούν (Andreani *et al.* 2023).

Παρά το γεγονός ότι τα PBMS κυκλοφορούν στην αγορά τροφίμων για αρκετά χρόνια, δεν έχει σημειωθεί ελάττωση της κατανάλωσης κρέατος και η μετάβαση σε δίαιτες που βασίζονται στα προϊόντα αυτά είναι μικρή και αργή. Η μειωμένη αισθητηριακή ποιότητα, η προσκόλληση σε διατροφικές συνήθειες που περιλαμβάνουν κρέας ζωικής προέλευσης, η έλλειψη εξοικείωσης με τα φυτικά υποκατάστατα και η υψηλότερη τιμή τους σε σύγκριση με τα προϊόντα του συμβατικού κρέατος, αποτελούν πιθανές αιτίες της χαμηλής τους αποδοχής. Προκειμένου να υπάρξει αύξηση στο μερίδιο αγοράς των PBMS απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση της αγοραστικής συμπεριφοράς και των προτιμήσεων των καταναλωτών, ενώ η εφαρμογή λιγότερο δαπανηρών και ενεργοβόρων μεθόδων επεξεργασίας θα οδηγήσει σε μείωση της τιμής τους (Safdar *et al.* 2022). Επιπλέον, στο πλαίσιο της προώθησης μιας υγιεινής διατροφής, επιβάλλεται η ανάπτυξη προγραμμάτων διατροφικής εκπαίδευσης, για τη βελτίωση της γνώσης και της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών σχετικά με τις διαφορές μεταξύ προϊόντων ζωικής και φυτικής προέλευσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση η στρατηγική "Farm to Fork" συμβάλλει προς την κατεύθυνση αυτή, στοχεύοντας στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου, φιλικού προς το περιβάλλον συστήματος τροφίμων (Andreani *et al.* 2023).

Αν και η δημοτικότητα των PBMS παρουσιάζει αύξηση, στο άμεσο μέλλον οι βιομηχανίες τροφίμων θα πρέπει να προβούν σε σημαντικές βελτιώσεις σε ό,τι αφορά

τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά και τη θρεπτική τους αξία, προκειμένου να ικανοποιήσουν τις προσδοκίες των καταναλωτών που επιθυμούν να μειώσουν την κατανάλωση κρέατος (Safdar *et al.* 2022). Προς το παρόν, τα PBMS αποτελούν διατροφική επιλογή μικρού μέρους του παγκόσμιου πληθυσμού, η μελλοντική υποκατάσταση από αυτά των προϊόντων του συμβατικού κρέατος δεν θεωρείται πιθανή και η εξέλιξη της αγοράς στον συγκεκριμένο τομέα τροφίμων παραμένει άγνωστη (Ahmad *et al.* 2022, Arora *et al.* 2023).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdullah, F. A. A., Dordevic, D., Kabourkova, E., Zemancová, J., & Dordevic, S. (2022). Antioxidant and Sensorial Properties: Meat Analogues versus Conventional Meat Products. *Processes*, 10(9), 1864. <https://doi.org/10.3390/pr10091864>
2. Ahmad, M., Qureshi, S., Akbar, M. H., Siddiqui, S. A., Gani, A., Mushtaq, M., Hassan, I., & Dhull, S. B. (2022). Plant-based meat alternatives: Compositional analysis, current development and challenges. *Applied Food Research*, 2(2), Article 100154. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100154>
3. Andreani, G., Sogari, G., Marti, A., Frolidi, F., Dagevos, H., & Martini, D. (2023). Plant-Based Meat Alternatives: Technological, Nutritional, Environmental, Market, and Social Challenges and Opportunities. *Nutrients*, 15, 452. <https://doi.org/10.3390/nu15020452>
4. Arora, S., Kataria, P., Nautiyal, M., Tuteja, I., Sharma, V., Ahmad, F., Haque, S., Shahwan, M., Capanoglu, E., Vashishth, R., & Gupta, A. K. (2023). Comprehensive Review on the Role of Plant Protein as a Possible Meat Analogue: Framing the Future of Meat. *ACS Omega*, 8(26), 23305–23319. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01373>
5. Bakhsh, A., Cho, C., Baritugo, K. A., Kim, B., Ullah, Q., Rahman, A., & Park, S. (2023). Production and Analytical Aspects of Natural Pigments to Enhance Alternative Meat Product Color. *Foods*, 12(6), 1281. <https://doi.org/10.3390/foods12061281>
6. Baune, M-C., Terjung, N., Tülbek, M. Ç., & Boukid, F. (2022). Textured vegetable proteins (TVP): Future foods standing on their merits as meat alternatives. *Future Foods*, 6, Article 100181. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100181>
7. Belitz, H. D., Grosch, W., Schieberle, P. (2018). Κρέας [Meat]. In *Χημεία Τροφίμων, 4η Έκδοση* [Food Chemistry, 4th Edition] (pp. 581, 584, 606, 759, 761, 778, 120, 121, 777). Θεσσαλονίκη [Thessaloniki]: Εκδόσεις Τζιόλα [Tziola Publications].
8. Benković, M., Jurinjak Tušek, A., Sokač Cvetnić, T., Jurina, T., Valinger, D., & Gajdoš Kljusurić, J. (2023). An Overview of Ingredients Used for Plant-Based Meat Analogue Production and Their Influence on Structural and Textural Properties of the Final Product. *Gels*, 9(12), 921. <https://doi.org/10.3390/gels9120921>
9. Bogueva, D., & McClements, D. J. (2023). Safety and Nutritional Risks Associated with Plant-Based Meat Alternatives. *Sustainability*, 15(19), 14336. <https://doi.org/10.3390/su151914336>
10. Bohrer, B. M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, 8(4), 320-329. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>
11. Bryngelsson, S., Moshtaghian, H., Bianchi, M., & Hallström, E. (2022). Nutritional assessment of plant-based meat analogues on the Swedish market. *International Journal*

- of Food Sciences and Nutrition, 73(7), 889-901. <https://doi.org/10.1080/09637486.2022.2078286>
12. Caldwell, J. M. (2021). How Safe Are Plant-Based Meat Alternatives? *Institute of Food Technologists, Food Technology Magazine*, 75(1).
 13. Chantanuson, R., Nagamine, S., Kobayashi, T., & Nakagawa, K. (2022). Preparation of soy protein-based food gels and control of fibrous structure and rheological property by freezing. *Food Structure*, 32(1), Article 100258. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100258>
 14. Curtain, F., & Grafenauer, S. (2019). Plant-Based Meat Substitutes in the Flexitarian Age: An Audit of Products on Supermarket Shelves. *Nutrients*, 11(11), 2603. <https://doi.org/10.3390/nu11112603>
 15. Das, G., Sharma, A., & Sarkar, P. K. (2022). Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. *Applied Food Research*, 2(1), Article 100112. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100112>
 16. Daszkiewicz, T., Florek, M., Wodzak, M., Kubiak, D., & Burczyk, E. (2023). Comparison of the Quality of Selected Meat Products and Their Plant-Based Analogs. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(2), 109–119. DOI: 10.31883/pjfn/162504
 17. De Angelis, D., Kaleda, A., Pasqualone, A., Vaikma, H., Tamm, M., Tammik, M-L., Squeo, G., & Summo, C. (2020). Physicochemical and Sensorial Evaluation of Meat Analogues Produced from Dry-Fractionated Pea and Oat Proteins. *Foods*, 9(12), 1754. <https://doi.org/10.3390/foods9121754>
 18. Devaere, J., De Winne, A., Dewulf, L., Fraeye, I., Šoljić, I., Lauwers, E., de Jong, A., & Sanctorem, H. (2022). Improving the Aromatic Profile of Plant-Based Meat Alternatives: Effect of Myoglobin Addition on Volatiles. *Foods*, 11(13), 1985. <https://doi.org/10.3390/foods11131985>
 19. Eze, C. R., Kwofie, E. M., Adewale, P., Lam, E., & Ngadi, M. (2022). Advances in legume protein extraction technologies: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103199. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103199>
 20. Featherstone, S. (2015). Ingredients used in the preparation of canned foods. In *A Complete Course in Canning and Related Processes (Fourteenth Edition)* (Vol. 2, pp. 147-211). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-678-4.00008-7>
 21. Franca, P. A. P., Duque-Estrada, P., Fraga da Fonseca e Sá, B., Jan van der Goot, A., & Trindade Rocha Pierucci, A. P. (2022). Meat substitutes - past, present and future of products available in Brazil: changes in the nutritional profile. *Future Foods*, 5, 100133. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100133>
 22. Gasparre, N., Van den Berg, M., Oosterlinck, F., & Sein, A. (2022). High-Moisture Shear Processes: Molecular Changes of Wheat Gluten and Potential Plant-Based Proteins for Its Replacement. *Molecules*, 27(18), 5855. doi: 10.3390/molecules27185855

23. Goemaere, O., Glorieux, S., Govaert, M., Steen, L., & Fraeye, I. (2021). Phosphate Elimination in Emulsified Meat Products: Impact of Protein-Based Ingredients on Quality Characteristics. *Foods*, 10(4), 882. doi: 10.3390/foods10040882
24. Gupta, R.K., Gangoliya, S.S., & Singh, N.K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 676–684. doi: 10.1007/s13197-013-0978-y
25. Hadidi, M., Orellana-Palacios, J.C., Aghababaei, F., Gonzalez-Serrano, D.J., Moreno, A., & Lorenzo, J.M. (2022). Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. *LWT, Volume 169*, 114003. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114003>
26. He, J., Evans, N.M., Liu, H., & Shao, S. (2020). A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. doi: 10.1111/1541-4337.12610
27. Hong, S., Shen, Y., & Li, Y. (2022). Physicochemical and Functional Properties of Texturized Vegetable Proteins and Cooked Patty Textures: Comprehensive Characterization and Correlation Analysis. *Foods*, 11(17), 2619. <https://doi.org/10.3390/foods11172619>
28. Immonen, M., Myllyviita, J., Sontag-Strohm, T., & Myllärinen, P. (2021). Oat Protein Concentrates with Improved Solubility Produced by an Enzyme-Aided Ultrafiltration Extraction Method. *Foods*, 10(12), 3050. <https://doi.org/10.3390/foods10123050>
29. Imran, M., & Liyan, Z. (2023). Production of plant-based meat: functionality, limitations and future prospects. *European Food Research and Technology*, 249(2023), 2189–2213. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04287-w>
30. Ishaq, A., Irfan, S., Sameen, A., & Khalid, N. (2022). Plant-based meat analogs: A review with reference to formulation and gastrointestinal fate. *Current Research in Food Science*, 5, 973-983. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.06.001>
31. Ismail, I., Huang, Y. H., & Joo, S. T. (2020). Meat analog as future food: a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(2), 111-120. doi: 10.5187/jast.2020.62.2.111
32. Jiang, R., Xiao, Z., Huo, J., Wang, H., Li, H., Su, S., Duan, Y., & Gao, Y. (2022). Effects of rice bran content on plant-based simulated meat: From the aspects of apparent properties and structural characteristics. *Food Chemistry, Volume 380*, 131842. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131842>
33. Kim, T-K., Yong, H. I., Jung, S., Kim, H. W., & Choi, Y. S. (2021). Effect of reducing sodium chloride based on the sensory properties of meat products and the improvement strategies employed: a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(4), 725-739. doi: 10.5187/jast.2021.e74
34. Kinney, M. J., Weston, Z., & Bauman, J. D. (2019). Plant-based meat manufacturing by extrusion. *Overview of Plant-based meat manufacturing*. The Good Food Institute.

35. Klupšaitė, D., & Juodeikiene, G. (2015). Legume: composition, protein extraction and functional properties. A review. *Chemical Technology*, 66(1). DOI:10.5755/j01.ct.66.1.12355
36. Kolodziejczak, K., Onopiuk, A., Szpicer, A., & Poltorak, A. (2021). Meat Analogues in the Perspective of Recent Scientific Research: A Review. *Foods*, 11(1), 105. <https://doi.org/10.3390/foods11010105>
37. Kumar, L., Sehrawat, R., & Kong, Y. (2021). Oat proteins: A perspective on functional properties. *LWT, Volume* 152, 112307. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112307>
38. Kumar, P., Sharma, N., Ahmed, M. A., Verma, A. K., Umaraw, P., Mehta, N., Abubakar, A. A., Hayat, M. N., Kaka, U., Lee, S-J., & Sazili, A. Q. (2022). Technological interventions in improving the functionality of proteins during processing of meat analogs. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1044024. doi: 10.3389/fnut.2022.1044024
39. Kurek, M. A., Onopiuk, A., Pogorzelska-Nowicka, E., Szpicer, A., Zalewska, M., & Póltorak, A. (2022). Novel Protein Sources for Applications in Meat-Alternative Products—Insight and Challenges. *Foods*, 11(7), 957. <https://doi.org/10.3390/foods11070957>
40. Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & Van der Goot, A. J. (2019). Plant-Based Meat Analogues. In *Sustainable Meat Production and Processing, Chapter 6*, 103-126. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00006-7>
41. Kyriakopoulou, K., Keppler, J. K., & Van der Goot, A. J. (2021). Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues. *Foods*, 10(3), 600. <https://doi.org/10.3390/foods10030600>
42. Lee, J-S., Choi, I., & Han, J. (2022). Construction of rice protein-based meat analogues by extruding process: Effect of substitution of soy protein with rice protein on dynamic energy, appearance, physicochemical, and textural properties of meat analogues. *Food Research International* 2022, Volume 161, 111840. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111840>.
43. Li, X., & Li, J. (2020). The Flavor of Plant-Based Meat Analogues. *CEREAL FOODS WORLD, 2020, VOL. 65, NO. 4*. <https://doi.org/10.1094/CFW-65-4-0040>
44. Li, Y., Jiang, R., Gao, Y., Duan, Y., Zhang, Y., Zhu, M., & Xiao, Z. (2022). Investigation of the Effect of Rice Bran Content on the Antioxidant Capacity and Related Molecular Conformations of Plant-Based Simulated Meat Based on Raman Spectroscopy. *Foods*, 11(21), 3529. <https://doi.org/10.3390/foods11213529>
45. Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. *Scientific World Journal*, 2016: 3182746. doi.org/10.1155/2016/3182746
46. Liu, X., Yang, C., Qin, J., Li, Jiam., Li, Jian., & Chen, J. (2023). Challenges, process technologies, and potential synthetic biology opportunities for plant-based meat production. *LWT, Volume* 184, 2023, 115109. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115109>

47. López-Moreno, M., Garcés-Rimón, M., & Miguel, M. (2022). Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe? *Journal of Functional Foods*, Volume 89, February 2022, 104938. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104938>
48. Marcus, J. B. (2013). *Protein Basics: Animal and Vegetable Proteins in Food and Health*. In *Culinary Nutrition* (pp. 189-230). doi: 10.1016/B978-0-12-391882-6.00005-4
49. Munialo, C. D., & Vriesekoop, F. (2023). Plant-based foods as meat and fat substitutes. *Food Science & Nutrition*, 11(3). doi: 10.1002/fsn3.3421
50. Negi, S. S., & Braun, W. (2017). Cross-React: a new structural bioinformatics method for predicting allergen cross-reactivity. *Bioinformatics*, 33(7), 1014–1020. doi: 10.1093/bioinformatics/btw767
51. Neji, C., Semwal, J., Kamani, M. H., Máthé, E., & Sipos, P. (2022). Legume Protein Extracts: The Relevance of Physical Processing in the Context of Structural, Techno-Functional and Nutritional Aspects of Food Development. *Processes*, 10(12), 2586. <https://doi.org/10.3390/pr10122586>
52. Nikbakht Nasrabadi, M., Sedaghat Doost, A., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
53. Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., ... Roohinejad, S. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, 79, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.027>
54. Onyango, E. (2022). Legume Protein: Properties and Extraction for Food Applications. In *Legumes Research - Volume 2*. Edited by Jose C. Jimenez-Lopez and Alfonso Clemente. DOI: 10.5772/intechopen.100393
55. Pereira, P. M. C. C., & Vicente, A. F. R. B. (2013). Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Science*, 93(3), 586–592. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.09.018 [core.ac.uk]
56. Plattner, B. (2020). Extrusion Techniques for Meat Analogues. *CEREAL FOODS WORLD*, 65(4). <https://doi.org/10.1094/CFW-65-4-0043>
57. Präger, L., Simon, J.C., Treudler, R. (2023). Food allergy – New risks through vegan diet? Overview of new allergen sources and current data on the potential risk of anaphylaxis. *Journal of the German Society of Dermatology*, 21(11), 1308-1313. <https://doi.org/10.1111/ddg.15157>
58. Qin, P., Wang, T., Luo, Y. (2022). A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100265. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265>
59. Rafique, H., Dong, R., Wang, X., Alim, A., Aadil, R.M., Li, L., Zou, L., Hu, X. (2022). Dietary-Nutraceutical Properties of Oat Protein and Peptides. *Frontiers in Nutrition*, 9, 950400. doi: 10.3389/fnut.2022.950400

60. Rizzolo-Brime, L., Orta-Ramirez, A., Puyol Martin, Y., Jakszyn, P. (2023). Nutritional assessment of plant-based meat alternatives: A comparison of nutritional information of plant-based meat alternatives in Spanish supermarkets. *Nutrients*, 15(6), 1325. <https://doi.org/10.3390/nu15061325>
61. Romão, B., Botelho, R., Torres, M., Maynard, D., Machado de Holanda, M., Borges, V., Raposo, A., Zandonadi, R. (2023). Nutritional Profile of Commercialized Plant-Based Meat: An Integrative Review with a Systematic Approach. *Foods*, 12(3), 448. <https://doi.org/10.3390/foods12030448>
62. Ryu, K.K., Kang, Y.K., Jeong, E.W., Baeq, Y., Lee, K.Y., Lee, H.G. (2023). Applications of various natural pigments to a plant-based meat analog. *LWT*, 174, 114431. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114431>
63. Safdar, B., Zhou, H., Li, H., Cao, J., Zhang, T., Ying, Z., Liu, X. (2022). Prospects for Plant-Based Meat: Current Standing, Consumer Perceptions, and Shifting Trends. *Foods*, 11(23), 3770. <https://doi.org/10.3390/foods11233770>
64. Salim, R., Nehvi, I.B., Mir, R.A., Tyagi, A., Ali, S., Bhat, O.M. (2023). A review on anti-nutritional factors: unraveling the natural gateways to human health. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1215873. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1215873>
65. Samtiya, M., Aluko, R.E., Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2, 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
66. Senanayake, D., Torley, P.J., Chandrapala, J., Terefe, N.S. (2023). Microbial Fermentation for Improving the Sensory, Nutritional and Functional Attributes of Legumes. *Fermentation*, 9(7), 635. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070635>
67. Sha, L., Xiong, Y.L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.022>
68. Shanthakumar, P., Klepacka, J., Bains, A., Chawla, P., Dhull, S.B., Najda, A. (2022). The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry. *Molecules*, 27(16), 5354. doi: 10.3390/molecules27165354
69. Suman, S.P., Nair, M.N., Joseph, P., Hunt, M.C. (2016). Factors influencing internal color of cooked meats. *Meat Science*, 120, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.006>
70. Szenderák, J., Fróna, D., Rákó, M. (2022). Consumer Acceptance of Plant-Based Meat Substitutes: A Narrative Review. *Foods*, 11(9), 1274. <https://doi.org/10.3390/foods11091274>
71. Tian, T., Teng, F., Zhang, S., Qi, B., Wu, C., Zhou, Y., Li, L., Wang, Z., Li, Y. (2019). A Study of Structural Change during In Vitro Digestion of Heated Soy Protein Isolates. *Foods*, 8(12), 594. <https://doi.org/10.3390/foods8120594>
72. Toribio-Mateas, M. A., Bester, A., Klimenko, N. (2021). Impact of Plant-Based Meat Alternatives on the Gut Microbiota of Consumers: A Real-World Study. *Foods*, 10, 2040. doi: 10.3390/foods10092040

73. Xiao, X., Zou, P-R., Hu, F., Zhu, W., Wei, Z-J. (2023). Updates on Plant-Based Protein Products as an Alternative to Animal Protein: Technology, Properties, and Their Health Benefits. *Molecules*, 28(10), 4016. <https://doi.org/10.3390/molecules28104016>
74. Xiong, Y.L., Kenney, P.B. (1999). Functionality of Proteins in Meat Products. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*, 52, 1999.
75. Xu, D-P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., Zhang, J-J., Li, H-B. (2017). Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 96. doi:10.3390/ijms18010096
76. Yu, J., Wang, L., Zhang, Z. (2023). Plant-Based Meat Proteins: Processing, Nutrition Composition, and Future Prospects. *Foods*, 12(22), 4180. <https://doi.org/10.3390/foods12224180>
77. Zahari, I., Ferawati, F., Helstad, A., Ahlström, C., Östbring, K., Rayner, M., Purhagen, J.K. (2020). Development of High-Moisture Meat Analogues with Hemp and Soy Protein Using Extrusion Cooking. *Foods*, 9(6), 772. <https://doi.org/10.3390/foods9060772>
78. Zang, P., Gao, Y., Chen, P., Lv, C., Zhao, G. (2022). Recent Advances in the Study of Wheat Protein and Other Food Components Affecting the Gluten Network and the Properties of Noodles. *Foods*, 11(23), 3824. <https://doi.org/10.3390/foods11233824>
79. Zhang, J., Liu, L., Zhu, S., Wang, Q. (2018). Texturisation behaviour of peanut-soy bean/wheat protein mixtures during high moisture extrusion cooking. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(11), 2535-2541. doi.org/10.1111/ijfs.13847
80. Zhang, J., Liu, L., Liu, H., Yoon, A., Rizvi, S.S.H., Wang, Q. (2019). Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(20), 3267-3280. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1487383>
81. Zhang, J-C., Meng, Z., Cheng, Q-L., Li, Q-Z., Zhang, Y-J., Liu, L., Shi, A-M., Wang, Q. (2022). Plant-based meat substitutes by high-moisture extrusion: Visualizing the whole process in data systematically from raw material to the products. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(8), 2435-2444. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63892-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63892-3)
82. Zhao, D., Huang, L., Li, H., Ren, Y., Cao, J., Zhang, T., Liu, X. (2022). Ingredients and Process Affect the Structural Quality of Recombinant Plant-Based Meat Alternatives and Their Components. *Foods*, 11(15), 2202. <https://doi.org/10.3390/foods11152202>
83. Zhu, Y., Begho, T. (2022). Towards responsible production, consumption and food security in China: A review of the role of novel alternatives to meat production. *Future Foods*, 6, 100186. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100186>
84. Žilić, S. (2013). Wheat Gluten: Composition and Health Effects. In D.B. Walter (Ed.), *Gluten: Sources, Composition and Health Effects* (pp. 71-86). Nova Science Publisher, Inc.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μπλούκας Ι., Ζερφυρίδης Γ. Μοάτσου Γ., Γιουτανής Ε. (2021). Μεταποίηση Ζωικών Προϊόντων. Κεφ.1. Σελ.37. Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος»
2. Τσακαλίδου Ε. (2023). Μαθήματα Βιοχημείας Τροφίμων. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής. Σελ.22-25

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<https://www.beyondmeat.com/en-US/products/> (Πρόσβαση: 24-11-2023 και 30-11-2023)

<https://www.gardein.com/> (Πρόσβαση: 30-11-2023)

(<https://impossiblefoods.com/products/>, (Πρόσβαση: 30-11-2023)

<https://www.imarcgroup.com/plant-based-meat-companies> (Πρόσβαση: 24-11-2023)

https://www.morningstarfarms.com/en_US/products/ (Πρόσβαση: 30-11-2023)

https://el.wikipedia.org/wiki/Πρόσθετα_τροφίμων (Πρόσβαση: 12-1-2024)

ABSTRACT

The development of Plant-Based Meat Substitutes (PBMS) has been primarily driven by the need to transition to a more sustainable and healthier food system, with a low environmental footprint, capable of replacing conventional meat and its products in the human diet. The production of PBMS focuses on mimicking the sensory properties of animal-derived meat, such as appearance, texture, and taste, as well as ensuring a nutritional quality comparable to that of conventional meat.

In recent years, a wide range of PBMS with improved sensory characteristics has been introduced in the market (burgers, chicken nuggets, meatballs, sausages, etc.), in an attempt by the food industry to increase their popularity and acceptance among consumers. Their composition incorporates a variety of plant-based ingredients, each contributing to a greater or lesser extent to the formation of the desired properties of the final product.

This particular study aims to explore, through a systematic literature review, legume and cereal ingredients used in the development of plant-based meat substitutes, investigating their roles and their impact on the qualitative characteristics of these products.

The study of research references has demonstrated that proteins, whose commercial forms include flours, concentrates and isolates, play a dominant role in texture formation. Critical factors for ensuring the desired texture and organoleptic characteristics associated with it (such as chewiness, juiciness sensation, and tenderness) are the functional properties of the utilized proteins, including water and oil/fat holding capacity, emulsification and gelation. For this reason, in the production

of PBMS, a combination of legume and cereal proteins is used, through which an improvement in the nutritional quality of the products is also achieved. The most common sources of their origin are soy, wheat gluten and peas, while their structuring is carried out mainly by applying extrusion technology.

The utilization of fats and carbohydrates in the development of PBMS is limited, as increased quantities of these components present difficulties in texture formation. However, fats (such as soybean oil, corn oil, etc.) act as plasticizers, enhancing flavor and imparting tenderness, while carbohydrates (typically starches and flours) serve as binding agents and thickeners, improving the interaction between proteins, lipids, and water, and consequently, the texture and consistency of the resulting products.

Among the challenges facing PBMS production industries are the reduction/elimination of undesirable flavors and odors, anti-nutritional factors, allergens, as well as the simulation of the color of conventional meat. Despite continuous efforts towards this direction and the improvement of the overall quality of PBMS, consumer acceptance of these specific products remains low. The excessively large number of ingredients used in combination with the complexity of the applied processing methods results in the creation of reservations and expression of concerns regarding the nutritional value, safety of PBMS, and long-term health and environmental impacts.

In conclusion, PBMS fall short in terms of sensory properties compared to their animal-derived counterparts, it is considered that they cannot serve as nutritional substitutes, and their future in the food market is deemed uncertain.

Keywords: plant-based meat substitutes, legume and cereal proteins, protein structuring, sensory properties, nutritional quality
