



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εναλλακτικά τρόφιμα ως πηγές βιοδραστικών ενώσεων

MSc Thesis

Alternative foods as sources of bioactive compounds



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Παναγιώτης Μπαλός
Panagiotis Balos

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Ευτυχία Κρίτση
Eftichia Kritsi

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2024



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

Master of Science
FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

Alternative foods as sources of bioactive compounds



Balos Panagiotis

22014

SUPERVISOR

Eftichia Kritsi

AIGALEO 2024

Επιτροπή Αξιολόγησης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Οι υπογράφωντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο «**Εναλλακτικά Τρόφιμα ως πηγές βιοδραστικών ενώσεων**» που παρουσιάστηκε από τον Παναγιώτη Μπαλό, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΕΥΤΥΧΙΑ ΚΡΙΤΣΗ	Επίκουρη Καθηγήτρια / Επιβλέπουσα	
2	ΕΥΣΤΑΘΙΑ ΤΣΑΚΑΛΗ	Αναπληρώτρια Καθηγήτρια / Μέλος	
3	ΘΑΛΕΙΑ ΤΣΙΑΚΑ	Επίκουρη Καθηγήτρια / Μέλος	

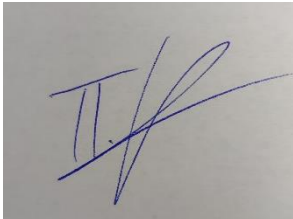
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Παναγιώτης Μπαλός** του **Ιωάννη** με αριθμό μητρώου **22014** φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (Π.Μ.Σ.) «ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου μελέτης υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ατόμων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο μου, την Επίκουρο Καθηγήτρια κα. Κρίση Ευτυχία, η οποία με εμπιστεύτηκε για την ολοκλήρωση αυτής της έρευνας και με υποστήριξε σε όλη τη διάρκεια της ερευνητικής μου προσπάθειας, καθώς και για την τεράστια υπομονή της κατά τη διάρκεια της συγγραφής μου διπλωματικής εργασίας. Ακόμα θα ήθελα να την ευχαριστήσω για τις πολύτιμες παρατηρήσεις, τα σχόλια και τις συμβουλές όσον αφορά την τελική μορφή της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την οικογένεια μου και τους φίλους μου, για την ώθηση και το κουράγιο που μου έδιναν καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας μου. Ευχαριστώ επίσης την φίλη μου Μαρία, για την αγάπη της, τη συνεχή της συμπαράσταση και τη ψυχολογική υποστήριξη, ιδιαίτερα τις τελευταίες εβδομάδες συγγραφής της εργασίας μου. Τέλος, να ευχαριστήσω την τριμελή μου επιτροπή για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση με στόχο την ανάλυση των βιοδραστικών ενώσεων που εντοπίζονται σε εναλλακτικές πηγές τροφίμων, όπως τα φυτικής προέλευσης και τα εδώδιμα έντομα. Συγκεκριμένα, εξετάζεται το προφίλ των βιοδραστικών ενώσεων και οι ευεργετικές τους επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, η εργασία διερευνά τους τρόπους ενσωμάτωσης αυτών των ενώσεων σε εναλλακτικά τρόφιμα καθώς και τις ευρύτερες επιπτώσεις της κατανάλωσής τους στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, εξετάζονται οι οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις της αξιοποίησης των εναλλακτικών τροφίμων, καθώς και η σημασία της ενημέρωσης των καταναλωτών για τις ευεργετικές τους ιδιότητες. Η εργασία αποσκοπεί στην ανάδειξη της αυξανόμενης σημασίας των εναλλακτικών τροφίμων ως μια βιώσιμη και υγιεινή επιλογή διατροφής, ικανοποιώντας παράλληλα τις σύγχρονες τάσεις που συνδέουν την τροφή με την προαγωγή της υγείας και της ευεξίας. Οι διατροφικές ανάγκες συνεχώς εξελίσσονται με τέτοιο ρυθμό που πλέον αναζητούνται τρόφιμα που δεν θα είναι μόνο εύγευστα αλλά και ευεργετικά για την ανθρώπινη υγεία.

Λέξεις κλειδιά: βιοδραστικές ενώσεις, εναλλακτικά τρόφιμα, εδώδιμα έντομα, μικροφύκη

ABSTRACT

The present thesis conducts an extensive literature review aiming to analyze the bioactive compounds found in alternative food sources, such as plants and edible insects. Specifically, it examines the profile of these bioactive compounds and their beneficial effects on human health, focusing on actions such as anticancer, antioxidant, and antibacterial properties. Additionally, the thesis explores ways to incorporate these compounds into alternative foods, such as microalgae and insects, as well as the broader impacts of their consumption on human health. Finally, it examines the economic, social, and environmental dimensions of utilizing alternative foods, and the importance of educating consumers about their beneficial properties. This thesis aims to highlight the growing importance of alternative foods as a sustainable and healthy dietary choice, while also satisfying contemporary trends that link food to promoting health and well-being. Dietary needs are constantly evolving at such a rate that people are now seeking foods that are not only tasty but also beneficial to human health.

Keywords: bioactive compounds, alternative foods, microalgae, edible insects

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT	6
Κατάλογος Πινάκων	9
Κατάλογος Σχημάτων	9
Κατάλογος Εικόνων	9
Κεφάλαιο 1: Βιοδραστικές ενώσεις και εναλλακτικά τρόφιμα	11
1.1 Ορισμός και ταξινόμηση βιοδραστικών ενώσεων	11
1.1.1 Κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων	14
1.2 Εναλλακτικές πηγές τροφίμων	25
1.2.1 Ορισμός και πεδίο εφαρμογής εναλλακτικών τροφίμων	28
1.2.2 Κατηγορίες εναλλακτικών τροφίμων	29
2.1 Πρωτεΐνες από δημητριακά και όσπρια	34
2.2 Λειτουργικά συστατικά σε ξηρούς καρπούς και σπόρους	34
Κεφάλαιο 3: Εναλλακτικά τρόφιμα από εδώδιμα έντομα.....	37
3.1 Διατροφική σύσταση εδώδιμων εντόμων	37
3.2 Βιοδραστικές ενώσεις εδώδιμων/βρώσιμων εντόμων.....	38
3.3 Παραλαβή βιοδραστικών ενώσεων εδώδιμων εντόμων	42
3.4 Προϊόντα προερχόμενα από εδώδιμα έντομα	45
Κεφάλαιο 4: Εναλλακτικά τρόφιμα από μικροοργανισμούς	48
4.1 Βιοδραστικές ενώσεις προερχόμενες από μικροοργανισμούς	48
4.2 Ζυμώμενα τρόφιμα και βιοδραστικά συστατικά.....	50
4.3 Φύκη ως εναλλακτικά τρόφιμα.....	54
Κεφάλαιο 5: Οφέλη για την ανθρώπινη υγεία και πιθανές εφαρμογές.....	58
5.1 Εισαγωγή.....	58
5.2 Αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδης δράση	61
5.2.1 Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης	62
5.2.2 Μηχανισμοί αντιφλεγμονώδους δράσης	65
5.3 Αντικαρκινική δράση	67
5.4 Εντερικό μικροβίωμα και μεταβολικά οφέλη.....	69
5.4.1 Αλληλεπιδράσεις Βιοδραστικών Ενώσεων με το Μικροβίωμα του Εντέρου	69
Κεφάλαιο 6: Εφαρμογές και μελλοντικές προοπτικές εναλλακτικών τροφίμων.....	72
6.1 Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων	72
6.2 Αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων από το καταναλωτικό κοινό	76

Γενικά συμπεράσματα	79
Βιβλιογραφία	81

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Διάφορες βιοδραστικές ενώσεις, προέλευση και βιολογική δράση [12].	24
Πίνακας 2. Ορισμός εναλλακτικών τροφίμων με βάση διάφορους οργανισμούς [30].	31
Πίνακας 3. Κατηγορίες εναλλακτικών τροφίμων [30].	32
Πίνακας 4. Σύγκριση παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη παραδοσιακών νέων προϊόντων και νέων λειτουργικών τροφίμων [105].	75

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Κατάταξη και δομικός σκελετός των διάφορων κατηγοριών των πολυφαινολών [9].	16
Σχήμα 2. Χαρακτηριστική δομή των τριτερπενοειδών [14].	17
Σχήμα 3. Δομές διάφορων αλκαλοειδών ενώσεων α) νικοτίνη, β) μορφίνη και γ) καφεΐνη. (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/)	19
Σχήμα 4. Σχηματική δομή του γλυκοζίτη στεβιόλης. (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Stevioside)	19
Σχήμα 5. Οι δομές των βιταμινών E, K και C.	20
Σχήμα 6. Χαρακτηριστική δομή της φυτοστερόλης. (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222284)	20
Σχήμα 7. Οι δομές διάφορων καρτονοειδών και ξανθυλλών [5].	21
Σχήμα 8. Κατηγοριοποίηση των φυτοχημικών ενώσεων [12].	24
Σχήμα 12. Οι δομές του λινολενικού και α-λινολενικού οξέος.	40
Σχήμα 13: Μέθοδος παραλαβής πρωτεϊνών από τα εδώδιμα έντομα [46].	44

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Σημαντικές κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων [9].	14
Εικόνα 2. Οι χημικές δομές της καμπεστερόλης, της σιτοστερόλης και της στιγμαστερόλης. (Pubchem).	18
Εικόνα 3. Η συμβολή των λειτουργικών τροφίμων για την επίτευξη μιας βιώσιμης ανάπτυξης [19].	27
Εικόνα 4. Θρεπτική σύσταση των εδώδιμων εντόμων [46].	41
Εικόνα 5. Η χρήση της σπιρουλίνας για την ανάπτυξη εναλλακτικών τροφίμων [81].	57

Εικόνα 6: Τομείς στους οποίους επιδρούν οι βιοδραστικές ενώσεις και σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία [12].....	59
Εικόνα 7. Η βασική δομή των κατεχινών του τσαγιού [87]	60
Εικόνα 8. Μηχανισμός αντιοξειδωτικής δράσης των βιοδραστικών ενώσεων [4].	64
Εικόνα 9. Απεικόνιση του γενικού μοτίβου για την ανάπτυξη νέων εναλλακτικών τροφίμων [105].	73

Κεφάλαιο 1: Βιοδραστικές ενώσεις και εναλλακτικά τρόφιμα

1.1 Ορισμός και ταξινόμηση βιοδραστικών ενώσεων

Τα τελευταία χρόνια οι εναλλακτικές διατροφικές προσεγγίσεις έχουν αρχίσει να οδηγούν σε ριζικές αλλαγές στον τρόπο κατανόησης της ανθρώπινης υγείας. Η αυξανόμενη γνώση σχετικά με την επίπτωση της διατροφής σε γενετικό και μοριακό επίπεδο αλλάζει τον τρόπο αντίληψης της σημαντικότητας του ρόλου της διατροφής. Επομένως, δημιουργούνται νέες διατροφικές στρατηγικές-πλάνα, καθώς η διατροφή δεν συνεισφέρει αποκλειστικά στην επαρκή ποσότητα συστατικών για την κάλυψη μεταβολικών αναγκών, αλλά συνεισφέρει και στη βελτίωση την ανθρώπινης υγείας. Συνεπώς, φυτικά εκχυλίσματα ή ενώσεις αυτών θεωρείται ότι προσφέρουν σημαντικά οφέλη στην ανθρώπινη υγεία. Όμως, απαιτείται η ταυτοποίησή τους, η ανάπτυξη και η διάθεση στην αγορά για την ολοκλήρωση μιας ισορροπημένης διατροφής [1], [2].

Η ιδέα ότι τα τρόφιμα μπορεί να προσφέρουν θεραπευτικά οφέλη δεν είναι κάτι καινούργιο. Το ρητό «Η τροφή σου να είναι το φάρμακό σου και το φάρμακό σου να είναι η τροφή σου» είχε υιοθετηθεί πριν από 2500 χρόνια από τον Ιπποκράτη, τον πατέρα της ιατρικής. Ωστόσο, η φιλοσοφία της «τροφής ως φάρμακο» περιέπεσε σε σχετική αφάνεια τον 19^ο αιώνα με τη χρήση της σύγχρονης φαρμακευτικής θεραπείας. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ο σημαντικός ρόλος της διατροφής στην πρόληψη των ασθενειών και στην προώθηση της υγείας ήρθε και πάλι στο προσκήνιο [3].

Κατά τη διάρκεια των πρώτων 50 ετών του 20^{ου} αιώνα, η επιστημονική έρευνα επικεντρώθηκε στην αναγνώριση βασικών συστατικών και ιδιαίτερα των βιταμινών καθώς και στον ρόλο τους στην πρόληψη διαφόρων ασθενειών που προέχονται από την έλλειψη ή τον περιορισμό τροφής. Η έμφαση στη διατροφική ανεπάρκεια ή στην «υποσιτίση» άλλαξε δραματικά κατά τη δεκαετία του 1970, όταν οι ασθένειες που συνδέονται με την υπερβολική κατανάλωση και τον «υπερσιτισμό» έγιναν σημαντικό ζήτημα δημόσιας υγείας. Έτσι, ξεκίνησε μια σειρά από κατευθυντήριες γραμμές για τη δημόσια υγεία, συμπεριλαμβανομένων των Dietary Goals for the United States (1977) της Γερουσίας, των Dietary Guidelines for Americans (1980, 1985, 1990, 1996, 2000 - κοινή δημοσίευση του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ και του Υπουργείου Υγείας και Ανθρωπίνων Υπηρεσιών, του Diet and Health του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας (1989) και των Healthy People

2000 και 2010 από την Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας των ΗΠΑ. Το σύνολο των αναφορών αυτών στοχεύει στη δημόσια πολιτική και εκπαίδευση, υπογραμμίζοντας τη σημασία της κατανάλωσης μιας διατροφής χαμηλής σε κορεσμένα λιπαρά και πλούσια σε λαχανικά, φρούτα, δημητριακά ολικής αλέσεως και όσπρια για τη μείωση του κινδύνου χρόνιων ασθενειών, όπως οι καρδιακές παθήσεις, ο καρκίνος, η οστεοπόρωση, ο διαβήτης και το εγκεφαλικό επεισόδιο [3].

Οι επιστήμονες άρχισαν επίσης να αναγνωρίζουν φυσικά δραστικά συστατικά σε τρόφιμα, τόσο από φυτικές όσο και από ζωικές πηγές (γνωστά ως φυτοχημικά και ζωοχημικά, αντίστοιχα), τα οποία ενδεχομένως θα μπορούσαν να μειώσουν τον κίνδυνο διαφόρων χρόνιων ασθενειών. Αυτές οι εξελίξεις, σε συνδυασμό με έναν γηράσκοντα πληθυσμό, με τις αλλαγές στους κανονισμούς τροφίμων, με τις πολυάριθμες τεχνολογικές προόδους και μια αγορά έτοιμη για την εισαγωγή προϊόντων που προάγουν την υγεία, οδήγησαν στη δεκαετία του 1990 στη δημιουργία της τάσης που είναι ευρέως γνωστή σήμερα ως «εναλλακτικά τρόφιμα» [3].

Οι ευεργετικές δράσεις των εναλλακτικών τροφίμων στην ανθρώπινη υγεία οφείλονται στην ύπαρξη ορισμένων συστατικών τα οποία ονομάζονται βιοενεργά ή βιοδραστικά συστατικά.

Τί είναι όμως οι βιοδραστικές ενώσεις;

Βιοδραστικές ενώσεις χαρακτηρίζονται όλες οι απαραίτητες και μη ουσίες (πχ. βιταμίνες και πολυφαινόλες) οι οποίες απαντώνται στη φύση, είναι μέρος της τροφικής αλυσίδας και επιδρούν σημαντικά στην ανθρώπινη υγεία. Οι βιοδραστικές ενώσεις έχουν αναφερθεί ως φαρμακευτικά προϊόντα διατροφής, ένας όρος που δημιουργήθηκε από των Stephan DeFelice το 1979, αντικατοπτρίζοντας την ύπαρξη τους στην ανθρώπινη διατροφή και τη βιολογική τους δράση. Οι βιοδραστικές ενώσεις παρουσιάζονται ως φυσικά συστατικά στα τρόφιμα τα οποία επιδρούν θετικά στην υγεία εκτός από τη βασική διατροφική αξία του προϊόντος [2].

Σύγχρονες τεχνικές στη βιολογία παρέχουν περαιτέρω γνώσεις για τις μοριακές και κυτταρικές ανάγκες του οργανισμού και συνδέουν την πρόσληψη βιοδραστικών ενώσεων μέσω της διατροφής με ορισμένες χρόνιες ασθένειες. Για παράδειγμα, κλινικά συμπτώματα χρόνιων ασθενειών ενδέχεται να είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιας χαμηλής πρόσληψης βιοδραστικών ενώσεων. Παρόμοιες επιδράσεις μπορούν να παρουσιαστούν στην αντίθετη περίπτωση,

δηλαδή κατά την υπερβολική πρόσληψη βιοδραστικών μορίων. Από το σύνολο των βιοδραστικών ενώσεων έχουν μελετηθεί περισσότερο οι αντιοξειδωτικές ενώσεις. Η πρόσληψη αντιοξειδωτικών ενώσεων έχει συνδεθεί με τη μειωμένη πιθανότητα ανάπτυξης κάποιας χρόνιας πάθησης συμπεριλαμβανόμενου του καρκίνου καθώς και των καρδιαγγειακών ασθενειών [4], [5].

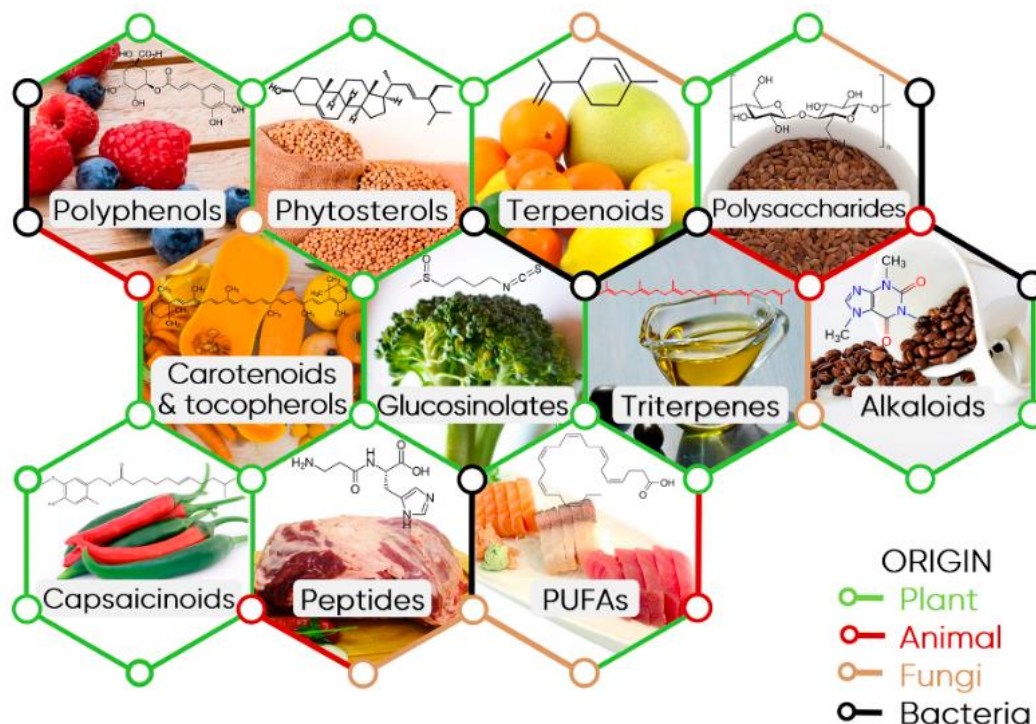
Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι ορισμένα άτομα παρόλο που έλαβαν τη βέλτιστη ποσότητα αντιοξειδωτικών, εμφάνισαν υψηλό κίνδυνο σε ασθένειες, όπως καρκίνο και στεφανιαία νόσο. Αυτά τα άτομα αποδείχθηκε ότι φέρουν μια μετάλλαξη σε ένα ένζυμο ή σε διάφορα ένζυμα τα οποία εμπλέκονται στον μεταβολισμό ή στην μεταφορά των βιοδραστικών ενώσεων στον οργανισμό. Η ύπαρξη αυτών των μεταλλάξεων έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλή συγκέντρωση μικροθρεπτικών συστατικών στους ιστούς, γεγονός που δημιουργεί επιπλοκές στην υγεία των ατόμων [4].

Η ταξινόμηση και η συγκέντρωση των βιοδραστικών ενώσεων αποτελεί μια τεράστια πρόκληση που αντιμετωπίζεται από διάφορους ερευνητές σε όλο τον κόσμο. Σχετικά με αυτό, 3 κύριες βάσεις δεδομένων συγκεντρώνουν πληροφορίες που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία για τα βιοδραστικά συστατικά διαφόρων τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων φλαβονοειδών του USDA (https://agdatacommons.nal.usda.gov/articles/dataset/USDA_Database_for_the_Flavonoid_Content_of_Selected_Foods_Release_3_1_May_2014_/24659802) [6], η Phenol-Explorer (<http://phenol-explorer.eu/>) [7] και το eBASIS (Bioactive Substances in Food Information Systems, <https://www.eurofir.org/our-tools/ebasis/>) [8].

Στην πραγματικότητα, η ύπαρξη βιοδραστικών ενώσεων δεν είναι αποκλειστική για τα φυτά και ενδέχεται να αφορά τρόφιμα ζωικής προέλευσης, όπως το κρέας και τα γαλακτοκομικά προϊόντα. Οι μύκητες, ειδικά οι εδώδιμοι και οι άγριοι μύκητες, θεωρούνται κατάλληλες πηγές μη-φυτικών βιοδραστικών ενώσεων. Τα ζυμωμένα τρόφιμα είναι πολύ δημοφιλή στην ανθρώπινη διατροφή λόγω των πολλαπλών ωφέλιμων ιδιοτήτων τους, όπως των αντιυπερτασικών και αντιοξειδωτικών. Οι ιδιότητες αυτές προκαλούνται κυρίως από βιοδραστικές ενώσεις (προβιοτικά) που παράγονται από τους μικροοργανισμούς που ευθύνονται για τη διαδικασία ζύμωσης, συνήθως μύκητες και βακτήρια [9].

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων [9].

Major Food Bioactive Compounds (FBCs) sources and classification



Εικόνα 1. Σημαντικές κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων [9].

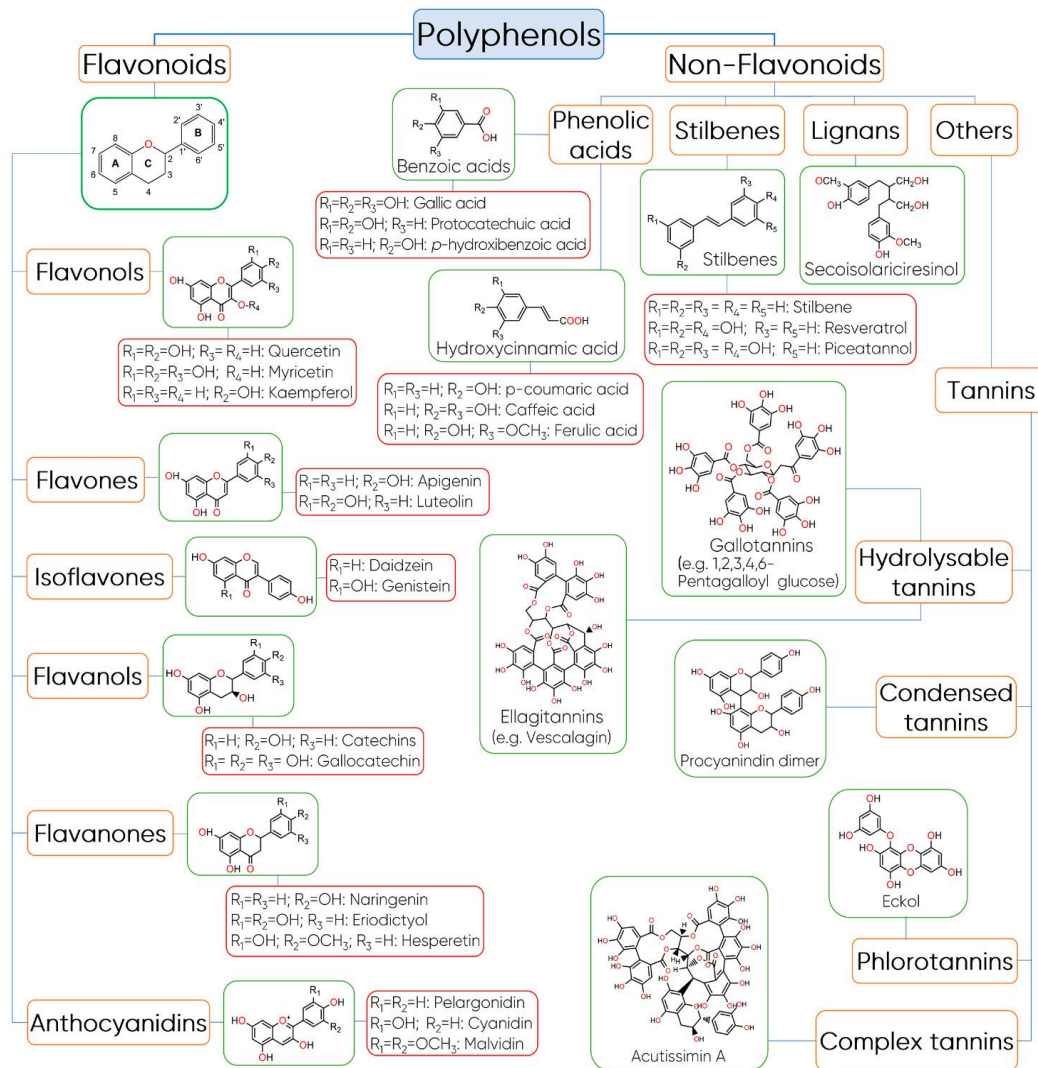
1.1.1 Κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων

Οι βιοδραστικές ουσίες, προέρχονται από φυτά, ζώα ή μικροοργανισμούς και ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες με βάση τη χημική τους δομή και τη βιολογική τους δράση. Οι κύριες βιοδραστικές ενώσεις που παράγονται από φυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν ως πολυφαινόλες, τριτερπένια και φυτοστερόλες, τερπενοειδή, πολυσακχαρίτες, καψαϊκινοειδή, καροτενοειδή και τοκοφερόλες, αλκαλοειδή και γλυκοσινολικά ένζυμα, μεταξύ άλλων.

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται ορισμένες από τις κύριες κατηγορίες [4], [9], [10], [11]:

- **Φαινόλες:** Η γνωστότερη κατηγορία βιοδραστικών ενώσεων, η οποία περιλαμβάνει πολυφαινόλες, φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, στυλβένια,

ανθοκυανίνες και λιγνάνες. Οι φαινόλες φέρουν ισχυρές αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και σχετίζονται με ευεργετικά οφέλη για την υγεία, όπως η μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, καρκίνου και νευροεκφυλιστικών ασθενειών. Απαντώνται στα φρούτα, στα λαχανικά, στο τσάι, στον καφέ και στο κρασί. Οι πολυφαινόλες αποτελούν μία από τις πιο κοινές και ευρέως διαδεδομένες ομάδες φυτοχημικών στο φυτικό βασίλειο, με περισσότερες από 8000 γνωστές φαινολικές δομές. Αυτή η ετερογενής ομάδα ενώσεων χαρακτηρίζεται χημικά από έναν αρωματικό δακτύλιο με τουλάχιστον μια υδροξυλομάδα και η δομή τους μπορεί να κυμαίνεται από απλά μόρια, όπως τα φαινολικά οξέα έως πολυμερισμένα συστατικά όπως οι ταννίνες. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την ταξινόμηση των πολυφαινολών, συμπεριλαμβανομένης της προέλευσης, της βιολογικής τους λειτουργίας και της χημικής τους δομής. Στο Σχήμα 1 απεικονίζονται οι κατηγορίες και η διάκριση των πολυφαινολών [4], [9].



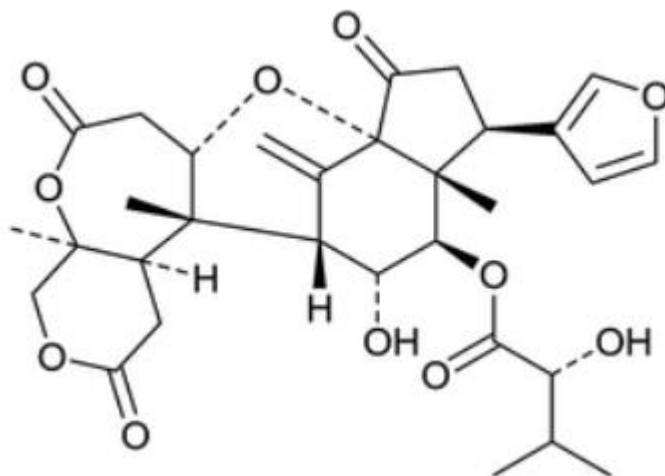
Σχήμα 1. Κατάταξη και δομικός σκελετός των διάφορων κατηγοριών των πολυφαινολών [9].

Οι λιγνάνες είναι πολυφαινολικές ενώσεις που βρίσκονται σε φυτά, σπόρους και δημητριακά. Έχουν μελετηθεί για την πιθανή επίδρασή τους στην ισορροπία των ορμονών και για τον ρόλο τους στη μείωση του κινδύνου ανάπτυξης ορμονολογικών τύπων καρκίνου, όπως ο καρκίνος του μαστού και του προστάτη [12].

Τα γλυκοσινολικά (GSLs) βρίσκονται κυρίως σε φυτά της οικογένειας των σταυρανθών φυτών, τα οποία είναι χαρακτηριστικά στη μεσογειακή διαίτα (μπρόκολο, λάχανο, κουνουπίδι) και είναι υπεύθυνα για τη χαρακτηριστική τους γεύση και οσμή. Πολλά GSLs έχουν συσχετιστεί με διάφορες δράσεις στον οργανισμό, συμπεριλαμβανομένων των χημειοπροστατευτικών και αντιφλεγμονώδων ιδιοτήτων. Αυτό ισχύει για τη σουλφοραφάνη, ένα συστατικό που

υπάρχει στο μπρόκολο και μελετάται ως ένας εν δυνάμει αντικαρκινικός παράγοντας. Τελικά, αυτός ο τύπος ενώσεων μπορεί να εξηγήσει τα επιδημιολογικά αποτελέσματα που συσχετίζουν την κατανάλωση των σταυρανθών λαχανικών με μια χαμηλότερη εμφάνιση ογκολογικών νόσων [12].

- **Τερπενοειδή:** Τα τερπενοειδή αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη ομάδα δευτερογενών μεταβολιτών με ποικίλες βιολογικές δράσεις, όπως αντιμικροβιακή, αντιμυκητιασική, αντιφλεγμονώδη και αντικαρκινική. Απαντώνται σε φρούτα, λαχανικά, βότανα και αιθέρια έλαια και ευθύνονται για τα χαρακτηριστικά αρώματα πολλών φυτών. Τα τερπένια (Σχήμα 2) χαρακτηρίζονται ως ενώσεις που αποτελούνται από απλές υδρογονανθρακικές αλυσίδες, ενώ τα τερπενοειδή (υδρογονάνθρακες που περιέχουν οξυγόνο) ορίζονται ως μια τροποποιημένη κατηγορία τερπενίων που περιέχουν διάφορες λειτουργικές ομάδες που έχουν μετακινηθεί ή αφαιρεθεί σε διάφορες θέσεις. Έχει αναφερθεί ότι τα τερπένια διαθέτουν αντιμικροβιακή δράση τόσο κατά των βακτηρίων που είναι ευαίσθητα στα αντιβιοτικά όσο και κατά των ανθεκτικών στα αντιβιοτικά, κυρίως μέσω της ικανότητάς τους να προάγουν τη ρήξη των κυττάρων και την αναστολή της σύνθεσης πρωτεϊνών και DNA [13].

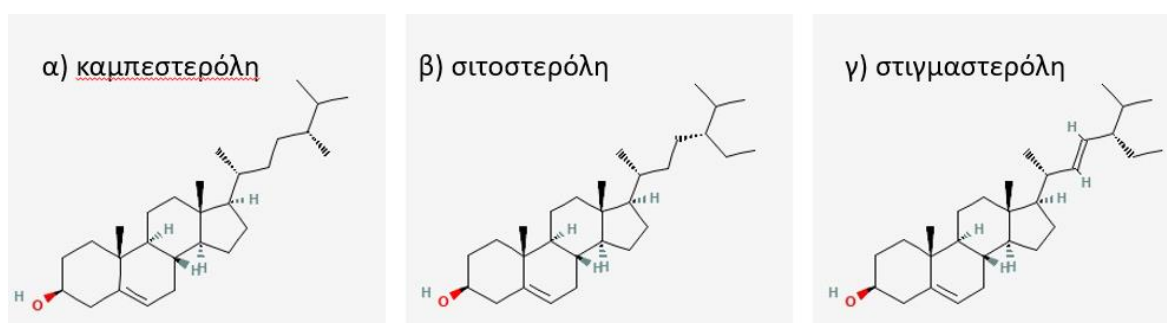


Σχήμα 2. Χαρακτηριστική δομή των τριτερπενοειδών [14].

Τα καροτενοειδή είναι χρωστικές ουσίες που ευθύνονται για το κόκκινο, πορτοκαλί και κίτρινο χρώμα πολλών φρούτων και λαχανικών. Χαρακτηριστικά

παραδείγματα περιλαμβάνουν το β-καροτένιο, το λυκοπένιο και τη λουτεΐνη. Επιπλέον, διαθέτουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες και θεωρείται ότι συνεισφέρουν προστατευτικά κατά κάποιων χρόνιων νόσων, όπως η αναπτυξιακή αμβλυωπία και ορισμένων τύπων καρκίνου. Τα καροτενοειδή (όπως το β-καροτένιο) και οι τοκοφερόλες (όπως οι α- και γ-τοκοφερόλες) ομαδοποιήθηκαν ως βιοδραστικές ενώσεις καθώς αποτελούν βασικές πηγές για την άμεση πρόσληψη βιταμίνης Α και Ε, αντίστοιχα, οι οποίες αποτελούν βασικά στοιχεία της ανθρώπινης διατροφής [11].

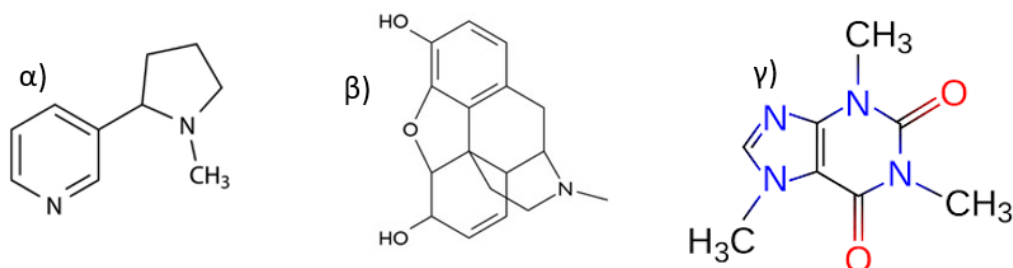
Τα τριτερπένια περιλαμβάνουν τουλάχιστον 18 υποκατηγορίες ενώσεων, από τις οποίες τα παράγωγα του σκουαλενίου και οι σαπωνίνες είναι οι πιο γνωστές. Οι φυτοστερόλες προέρχονται επίσης από τριτερπένια και αποτελούν βασικά συστατικά της δομής όλων των φυτικών κυττάρων, διαδραματίζοντας παρόμοιο ρόλο με τη χοληστερίνη στα κύτταρα των ζώων. Αξιοσημείωτο είναι ότι αρκετές κλινικές μελέτες έδειξαν ότι μια διατροφή πλούσια σε φυτοστερόλες, όπως η καμπεστερόλη, η σιτοστερόλη και η σιγμαστερόλη (Εικόνα 2) προάγει ένα σημαντικό αποτέλεσμα μείωσης της χοληστερόλης χαμηλής πυκνότητας (LDL). Τέλος, οι σαπωνίνες είναι γλυκοζίδες που βρίσκονται στα φυτά, ιδιαίτερα στα ρεβύθια και ορισμένα βότανα. Μερικές σαπωνίνες έχουν μελετηθεί για τα πιθανά οφέλη στην υγεία, συμπεριλαμβανομένων της μείωσης των επιπέδων χοληστερόλης και της ανοσορύθμισης [5].



Εικόνα 2. Οι χημικές δομές της καμπεστερόλης, της σιτοστερόλης και της σιγμαστερόλης. (Pubchem)

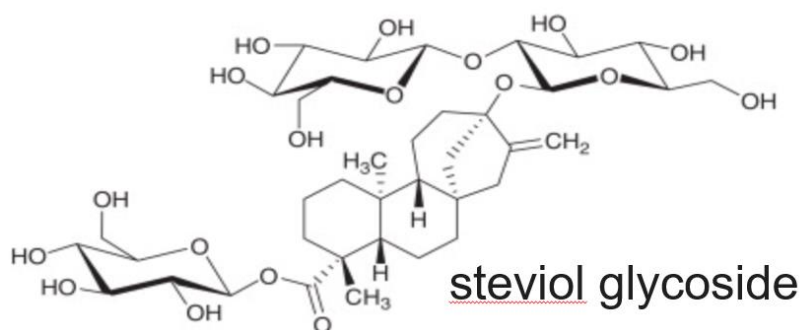
Αλκαλοειδή: Μια ομάδα αζωτούχων ενώσεων, οι οποίες περιέχουν τουλάχιστον ένα άτομο αζώτου στη δομή του κυκλικού δακτυλίου με ισχυρή βιολογική δράση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η νικοτίνη, η μορφίνη αλλά και η καφεΐνη (Σχήμα 3). Η καφεΐνη αποτελεί ένα από τα πλέον δημοφιλή βιοδραστικά συστατικά της ανθρώπινης διατροφής που προέρχεται κυρίως από την κατανάλωση καφέ ή

τσαγιού. Κάποιες θετικές επιδράσεις είναι η ενίσχυση του νευρικού συστήματος και η ανακούφιση του πόνου [15].



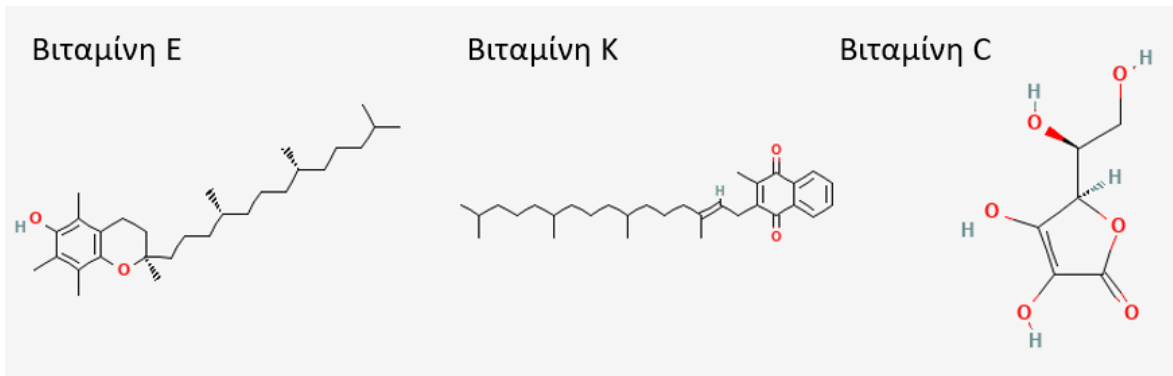
Σχήμα 3. Δομές διάφορων αλκαλοειδών ενώσεων α) νικοτίνη, β) μορφίνη και γ) καφεΐνη.
(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>)

- **Γλυκοζίτες:** Μοριακές ενώσεις που αποτελούνται από ένα σάκχαρο συνδεδεμένο με άλλη ένωση, όπως μια φαινόλη ή μια στερόλη (Σχήμα 4). Έχουν ποικίλες βιολογικές δράσεις, όπως αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδη καθώς και αντικαρκινική δράση [4].



Σχήμα 4. Σχηματική δομή του γλυκοζίτη στεβιόλης.
(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Stevioside>)

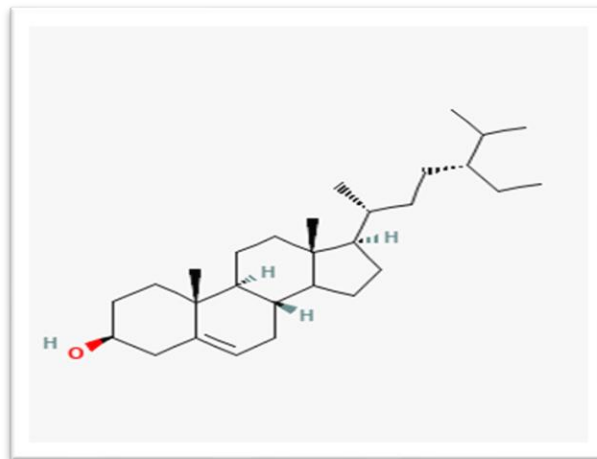
- **Βιταμίνες:** Ουσίες απαραίτητες για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού, οι οποίες δεν μπορούν να συντεθούν από το σώμα και λαμβάνονται από τη διατροφή (Σχήμα 5). Οι βιταμίνες χωρίζονται σε λιποδιαλυτές (A, D, E, K) και υδατοδιαλυτές (C, ομάδα B) [1].



Σχήμα 5. Οι δομές των βιταμινών E, K και C.

(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound>)

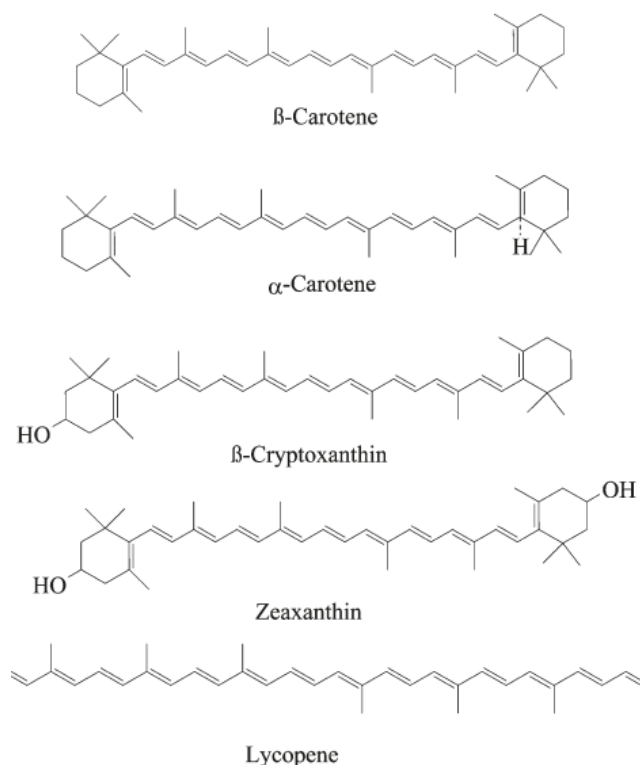
- **Φυτοστερόλες:** Χημικές ενώσεις που ομοιάζουν με τη χοληστερόλη και βρίσκονται στα φυτά (Σχήμα 6). Μπορούν να μειώσουν τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα καθώς και τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων [9].



Σχήμα 6. Χαρακτηριστική δομή της φυτοστερόλης.
(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222284>)

- **Καροτενοειδή:** Χρωστικές ενώσεις που απαντώνται σε φυτά και άλγες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της ομάδας είναι τα β-καροτένιο, το λυκοπένιο και η λουτεΐνη. Τα καροτενοειδή είναι γνωστά για τις αντιοξειδωτικές και ενισχυτικές για την όραση ιδιότητές τους. Τα καροτενοειδή είναι λιποδιαλυτές χρωστικές που βρίσκονται συνήθως στους φυτικούς ιστούς και έχουν «καλή» αντιοξειδωτική δράση. Υπάρχουν δύο

κατηγορίες καροτενοειδών: (i) οι ξανθοφύλλες, που περιέχουν οξυγόνο και προσδίδουν κίτρινο χρώμα και (ii) τα καροτένια, που δεν περιέχουν οξυγόνο αλλά μόνο γραμμικούς υδρογονάνθρακες και προσδίδουν πορτοκαλί χρώμα. Τα καροτενοειδή χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων για την αναπλήρωση του χρώματος που χάνεται λόγω θερμικής επεξεργασίας [16]. Η ομάδα των Islamian και Mehrali [17] πρότεινε ότι τα καροτενοειδή διαθέτουν εξαιρετική ικανότητα απορρόφησης ελευθέρων ριζών και ρίζας οξυγόνου (singlet Oxygene). Αυτό το φαινόμενο σχετίζεται με την αναστολή πολυάριθμων ασθενειών που επηρεάζονται από την ύπαρξη ελεύθερων ριζών, όπως οι καρδιοαγγειακές παθήσεις που σχετίζονται με την αθηροσκλήρωση, την πολλαπλή σκλήρυνση, τις εκφυλιστικές ασθένειες και την εκφύλιση της ωχράς κηλίδας [17]. Οι χημικές δομές χαρακτηριστικών καροτενοειδών απεικονίζονται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. Οι δομές διάφορων καροτονοειδών και ξανθοφύλλων [5].

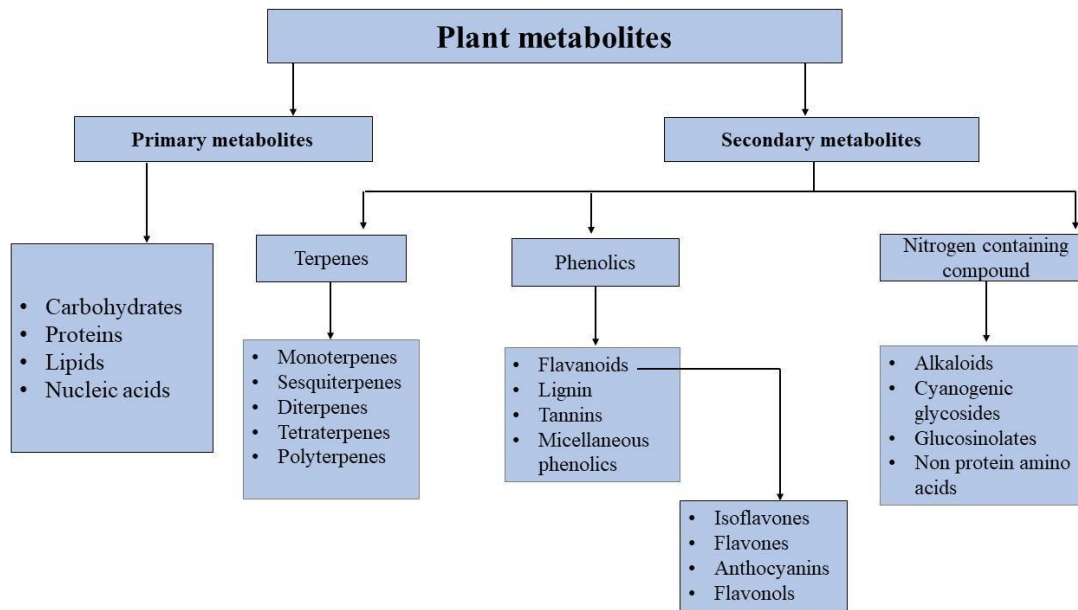
- **Ανόργανα Στοιχεία:** Τα ανόργανα στοιχεία είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία. Βρίσκονται σε διάφορες τροφές και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία των οστών, στη μεταφορά οξυγόνου, στη

λειτουργία του ανοσοποιητικού και στην ενζυματική δραστηριότητα. Παραδείγματα ανόργανων στοιχείων είναι ο σίδηρος, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος [11].

- **Πεπτίδια:** Τα πεπτίδια αποτελούν μικρές αλυσίδες αμινοξέων. Απαντώνται σχεδόν σε όλες τις κατηγορίες τροφίμων, όπως στα γαλακτοκομικά προϊόντα, το κρέας και σε φυτικές πηγές. Οι ενώσεις αυτές είναι γνωστές για τις αντιυπερτασικές, αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές τους ιδιότητες. Τα πιο γνωστά πεπτίδια είναι τα πεπτίδια φωσφοπρωτεϊνών καζεΐνης και τα πεπτίδια σόγιας [10]. Υπάρχουν πολλά πεπτίδια κρυπτογραφημένα στη δομή της διατροφικής πρωτεΐνης που κατά την πρωτεολυτική διάσπαση προέρχονται από μόρια όπως καρνοσίνη, κρεατίνη, ταυρίνη ή καρνιτίνη. Αυτά τα πεπτίδια έχουν εντοπιστεί σε διάφορα κρέατα, όπως χοιρινό, βοδινό ή κοτόπουλο και σε διάφορα είδη ιχθυηρών και θαλάσσιων οργανισμών και θεωρούνται βιοδραστικές ενώσεις λόγω διαφόρων βιοδραστικών επιπτώσεων που προκαλούν στον οργανισμό. Μεταξύ αυτών είναι η μείωση των νόσων απώλειας μυών (όπως η σαρκοπενία), η μείωση του κινδύνου μεταβολικού συνδρόμου (μέσω μείωσης της κατανάλωσης τροφής και θερμίδων), η ισορροπία της αρτηριακής πίεσης (μέσω ACE-ανασταλκικών συστατικών από συνδετικό ιστό) και η διατήρηση ενός λειτουργικού περιβάλλοντος του εντέρου (μέσω του εφοδιασμού με νουκλεοτίδια και νουκλεοσίδια που προέρχονται από κρέας) [10].
- Το άμυλο και το γλυκογόνο (ενεργειακή αποθήκη σε φυτικά και ζωικά κύτταρα, αντίστοιχα) και η κυτταρίνη (δομική μονάδα σε φυτικά κύτταρα) είναι παραδείγματα γνωστών πολυσακχαριτών, αλλά υπάρχουν πολλές άλλες βιοδραστικές ενώσεις εντός αυτής της κλάσης που είναι πολύ σημαντικές για την ανθρώπινη υγεία. Μεταξύ αυτών, η ινουλίνη, μια φυτική ίνα και τα παράγωγά της φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (FOS) έχουν δείξει ότι συμβάλλουν σημαντικά στην ισορροπία της συμβίωσης του εντερικού μικροβιώματος. Τέτοιες επιδράσεις φαίνεται ότι επηρεάζουν θετικά τη διατροφή των βρεφών, την αρτηριακή πίεση και το μεταβολισμό των λιπιδίων, μειώνοντας τον κίνδυνο για παχυσαρκία και για την ανάπτυξη καρκίνου του παχέος εντέρου [12].

- Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), όπως το λινολεϊκό οξύ, το εικοσαπενταενοϊκό οξύ (EPA) και το δοκοσαεξαενοϊκό οξύ (DHA), αποτελούν επίσης σημαντικές βιοδραστικές ενώσεις. Η σημαντικότητα τους βασίζεται στην επιδημιολογική συσχέτιση μεταξύ μιας διατροφής φτωχής σε ορισμένα PUFAs, ιδίως αυτών από τις οικογένειες ω -6 και ω -3, και της υψηλής προδιάθεσης για χρόνιες ασθένειες όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές νόσοι και ο διαβήτης. Αυτή η συσχέτιση φαίνεται να εμπλέκει τη ρύθμιση της φλεγμονώδους απάντησης (στο επίπεδο έκφρασης γονιδίων και σύνθεσης κυτταρικών μεμβρανών) που προκαλείται από λιπιδικούς μεσολαβητές που προέρχονται από PUFAs ω -6 και ω -3. Ωστόσο, πρέπει να αποφεύγεται η υπερκατανάλωση αυτών των ενώσεων, καθώς μπορεί να προκαλέσει οξειδωτικές βλάβες στις δομές των κυττάρων, ιδιαίτερα στα αγγεία, οι οποίες είναι χαρακτηριστικά της προόδου των καρδιαγγειακών νοσημάτων. Καθώς τα θηλαστικά δεν μπορούν να συνθέσουν PUFAs, πρέπει να αποκτώνται μέσω της διατροφής. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες πηγές PUFAs, όπως καρύδες, σπόροι και έλαια από ηλιέλαιο, λιναρόσπορο, σόγια και καλαμπόκι, ή ιχθυηρά όπως σολομός, σαρδέλα και σκουμπρί, μεταξύ άλλων. Επιπλέον, η γενετική μηχανική χρησιμοποιείται για την αύξηση της παραγωγής PUFAs, ειδικότερα του αραχιδονικού οξέος, σε διάφορα φυτά και οργανισμούς που χρησιμοποιούνται στην ανθρώπινη διατροφή μας [12].

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι βιοδραστικές ουσίες συχνά δρουν συνεργιστικά, με αποτέλεσμα η κατανάλωση μιας ποικιλίας τροφίμων πλούσιων σε βιοδραστικές ουσίες να προσφέρει τα μέγιστα οφέλη για την υγεία [4]. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω οι βιοδραστικές ενώσεις μπορεί να είναι είτε φυτικής είτε ζωικής προέλευσης. Αν προέρχονται από τα φυτά είναι γνωστές ως φυτοχημικά και θεωρούνται δευτερογενείς μεταβολίτες τους. Στο Σχήμα 8 απεικονίζεται η διάκριση των φυτοχημικών ενώσεων [12].



Σχήμα 8. Κατηγοριοποίηση των φυτοχημικών ενώσεων [12].

Πολλές φυσικές ενώσεις προερχόμενες από ζωικούς οργανισμούς έχουν απομονωθεί, κατηγοριοποιηθεί και χρησιμοποιούνται ως διατροφικά ή φαρμακευτικά συμπληρώματα για την πρόληψη, την ανακούφιση ή τη θεραπεία διαφόρων ασθενειών και σχετικών συμπτωμάτων [12]. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρουσιάζονται ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις (φυτικής ή ζωικής προέλευσης), οι πηγές από τις οποίες προέρχονται καθώς και οι βιολογικές δράσεις για τις οποίες είναι γνωστές [12].

Πίνακας 1. Διάφορες βιοδραστικές ενώσεις, προέλευση και βιολογική δράση [12].

Είδος Τρόφιμου	Βιοδραστική Ουσία	Βιολογική Δράση
Μπρόκολο, κουνουπίδι, λαχανάκια Βρυξελλών, σκόρδο, κρεμμύδια	Γλυκοζινολικά, Ισοθειοκυανικά, Διαλλυλσουλφίδια	Αντιμικροβιακή-Αντικαρκινική-Ανοσορυθμιστική δράση, Αποτοξίνωση
Δημητριακά ολικής αλέσεως, βρώμη, φρούτα με το δέρμα	Διαιτητικές Ίνες	Μείωση των λιπιδίων
Σταφύλια, Κόκκινο κρασί, Τσάι, Φρέσκα φρούτα και λαχανικά	Ισοφλαβονοειδή, Πολυφαινόλες	Αντιοξειδωτική-Αντικαρκινική δράση, Μείωση των λιπιδίων,

Καρύδα	Φυτοστερόλες, Χαμηλή περιεκτικότητα σε τριγλυκερίδια	Αντιφλεγμονώδες, Αντιοξειδωτικές, Αντιμυκητιασικές, Αντιμικροβιακές ιδιότητες, Αναλγητικό, Αντιπυρετικό, Ηπατοπροστατευτικό, Αντιοστεοπορωτικό, Καρδιοπροστατευτικό
Μέλι	Καφεϊκό οξύ, Κουμαρικό οξύ, Γαλλικό οξύ Φλαβονοειδή	Αντιβακτηριακή, Αντικυκητιασική ικανότητα, αντιφλεγμονώδης δράση
Γάλα	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	Ρύθμιση της ειδικής και μη ειδικής άμυνας του οργανισμού
Αυγό	Φωσφολιπίδια, Αλβουμίνη, Οβοτρανσφερίνη, Λυσοζύμη, Οβομουκίνη και Αβιδίνη	Αντιμικροβιακή, Ανοσορυθμιστική, Αντικαρκινική και αντιυπερτασική δράση
Κρέας	Βιταμίνες, Πεπτίδια, Λιπαρά Οξέα, Ανόργανα στοιχεία	Αντιυπερτασική και Αντιοξειδωτική δράση
Ψάρι	Λιπαρά Οξέα, Πολυσακχαρίτες, Πεπτίδια, Πρωτεΐνες, Ένζυμα και Λεκτίνες	Αντιυπερτασικές, Αντιθρομβωτικές, Αντιοξειδωτικές, Αντικαρκινικές και Αντιμικροβιακές ιδιότητες
Στρείδια	Υδρολυμένα πεπτίδια	Ικανότητα αναστολής ανάπτυξης του ιού του Έρπητα

1.2 Εναλλακτικές πηγές τροφίμων

Η παγκόσμια διατροφική σκηνή αντιμετωπίζει σοβαρές δυσκολίες που οφείλονται σε πλήθος παραγόντων, όπως είναι η αύξηση του πληθυσμού, η κλιματική αλλαγή, η παρατεταμένη περίοδος πολλαπλών κρίσεων (π.χ., πολέμοι, γεωπολιτικές συγκρούσεις και επιπτώσεις από την πανδημία) καθώς επίσης και την εξέλιξη των διατροφικών προτιμήσεων του καταναλωτικού κοινού [18].

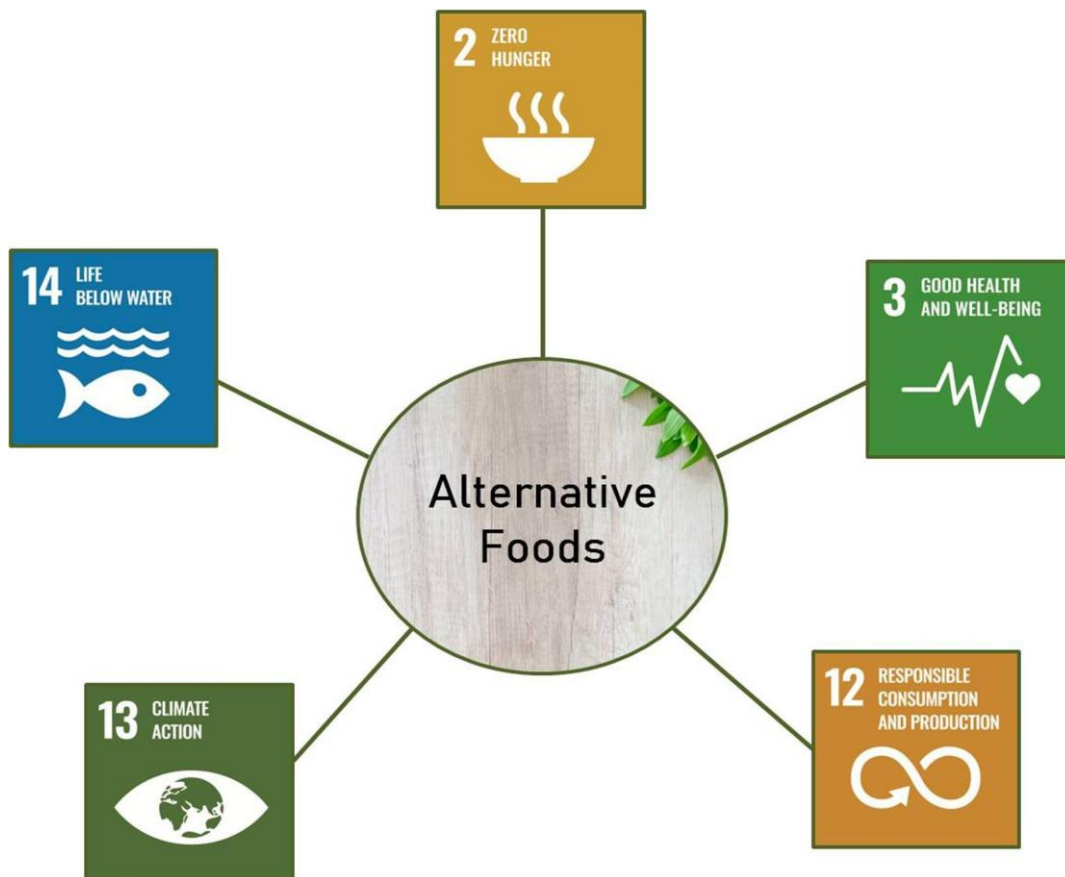
Ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται ότι θα αυξηθεί σε 9,7 δισεκατομμύρια έως το 2050 [18], ασκώντας πίεση στη διαχείριση των πόρων και

θέτοντας μια όλο και πιο επείγουσα απαίτηση για την παραγωγή ασφαλών, θρεπτικών και βιώσιμων τροφίμων. Η ταχεία αύξηση της παγκόσμιας ζήτησης για τρόφιμα συνοδεύεται από την αστικοποίηση, αντίστοιχη αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και γεωργική επέκταση, η οποία απαιτεί τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα του συστήματος τροφίμων [18]. Επομένως, η αναζήτηση προσιτών πηγών τροφίμων πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά αποτελεί μια εναλλακτική λύση για την παράκαμψη της επισιτιστικής ανασφάλειας και τη διασφάλιση της πρόσβασης σε υγιεινά τρόφιμα για τον γενικό πληθυσμό [19].

Παρά την επιχειρηματολογία για τη διατήρηση των υφιστάμενων πηγών στη διατροφή, είναι σαφές ότι ο τρόπος με τον οποίο παράγονται και καταναλώνονται σήμερα τρόφιμα έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη και ζωική υγεία. Προσπάθειες γίνονται από τη δεκαετία του 1960 για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των υφιστάμενων πηγών πρωτεΐνης, ιδιαίτερα των ζωικής προέλευσης, όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τη χρήση γης, νερού και ενέργειας, καθώς και τις κοινωνικές και δημόσιες επιπτώσεις στην υγεία. Οι προσπάθειες αναπαραγωγής, διαχείρισης και διατροφής έχουν οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας μετατροπής ζωοτροφών, των αποδόσεων ανά ζώο και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά κιλό ζωικού προϊόντος [20], [21]. Τέτοιες στρατηγικές βελτίωσης της αποδοτικότητας αναφέρεται ότι έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε μείωση έως και 30% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον κτηνοτροφικό τομέα, εάν εφαρμοστούν παγκοσμίως [20]. Σε αυτή την αυξημένη στρατηγική αποδοτικότητας, ο κτηνοτροφικός τομέας ταυτοποιείται ως σημαντικός παράγοντας στην υλοποίηση των απαραίτητων προσπαθειών μετριασμού για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη βελτίωση του περιβαλλοντικού του αποτυπώματος [20], με τη δημόσια πολιτική να υποστηρίζει τις επενδύσεις στην εκμετάλλευση και να μειώνει τον κίνδυνο που συνδέεται με την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών [20].

Ως εναλλακτικές πηγές τροφίμων (alternative foods) θεωρούνται όλα τα φυσικά ή επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν βιοδραστικά συστατικά σε μικρές συγκεντρώσεις. Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται η συμβολή των εναλλακτικών τροφίμων για την επίτευξη μιας βιώσιμης ανάπτυξης [18]. Οι βιοδραστικές ενώσεις (bioactive compounds, BACs) έχουν την ικανότητα να αλληλεπιδρούν με ένα ή περισσότερα συστατικά ενός ζωντανού ιστού, προκαλώντας θετικά αποτελέσματα

στην υγεία του καταναλωτή και προέρχονται από φυτικές, ζωικές ή άλλες πηγές όπως μικροοργανισμοί, οι οποίοι "γενικά θεωρούνται ασφαλείς (Generally regarded as safe, GRAS)" [12]. Το θεραπευτικό δυναμικό των εναλλακτικών τροφίμων και των διατροφικών συμπληρωμάτων οφείλεται σε ορισμένες μοναδικές λειτουργικές ομάδες που παράγονται λόγω του μεταβολισμού των τροφίμων και των μοριακών τους παραλλαγών. Τα συστατικά των εναλλακτικών τροφίμων συνήθως βρίσκονται σε διάφορες μορφές, όπως γλυκοζυλιωμένες, εστεροποιημένες, θειολυωμένες ή υδροξυλιωμένες μορφές [1].



Εικόνα 3. Η συμβολή των λειτουργικών τροφίμων για την επίτευξη μιας βιώσιμης ανάπτυξης [19].

Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι τα βιοδραστικά συστατικά τροφίμων βρίσκονται κυρίως σε φυτικά τρόφιμα, όπως τα δημητριακά ολικής αλέσεως, τα φρούτα και τα λαχανικά. Ομοίως, ζωικά προϊόντα όπως το γάλα, τα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα και τα ιχθυηρά περιέχουν επίσης βιοδραστικά συστατικά όπως προβιοτικά, λινολεϊκό οξύ, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, ωμέγα-3 [12].

Η ενσωμάτωση των παραπροϊόντων φρούτων και λαχανικών σε εναλλακτικά τρόφιμα αποτελεί μια βιώσιμη προσέγγιση, ανακυκλώνοντας αποτελεσματικά τα παραπροϊόντα και μειώνοντας το οικολογικό αποτύπωμα. Οι βιοδραστικές ενώσεις, όπως αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, ρυθμιστές νευροδιαβιβαστών, αντιδιαβητικοί παράγοντες, αντιμυκητιασικές και αντικαρκινικές ενώσεις, προσφέρουν σε αυτά τα προϊόντα πρόσθετη λειτουργικότητα και ιδιότητες που προάγουν την υγεία [15].

Η ευελιξία των εναλλακτικών τροφίμων είναι μεγάλη, διεισδύοντας σε διάφορες κατηγορίες, συμπεριλαμβανομένων των προϊόντων ζωικής προέλευσης, γαλακτοκομικών προϊόντων, ποτών, αρτοποιημάτων, καραμελών. Για παράδειγμα, η οξείδωση των λιπαρών οξέων, ένα χρόνιο πρόβλημα στην επεξεργασία τροφίμων, ενδέχεται να αντιμετωπιστεί από την προσθήκη βιοδραστικών ενώσεων σε τυριά, βούτυρα, γιαούρτια, κρέας και ιχθυοπροϊόντα [12].

Οι χυμοί θεωρούνται ως ένας εύκολος τρόπος για την πρόσληψη βιοδραστικών συστατικών, με αναφορές που τονίζουν σημαντικές βελτιώσεις στο συνολικό φαινολικό περιεχόμενο και στην αντιοξειδωτική δράση μετά την προσθήκη παραπροϊόντων φρούτων και λαχανικών. Τα αρτοποιήματα υφίστανται μια διατροφική αναβάθμιση με την ενσωμάτωση παραπροϊόντων φρούτων ή/και λαχανικών σε μορφή σκόνης ή εκχυλισμάτων, εμπλουτίζοντάς τα με πολλαπλές ενώσεις που προάγουν την υγεία [4].

Οι μέθοδοι εκχύλισης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκμετάλλευση των βιοδραστικών ενώσεων από τα παραπροϊόντα φρούτων και λαχανικών. Σήμερα, η παραλαβή των βιοδραστικών ενώσεων από παραπροϊόντα πραγματοποιείται κυρίως μέσω εκχύλισης. Ωστόσο, η εύρεση μη θερμικών τεχνικών, όπως η εκχύλιση με υπερήχους, η εκχύλιση με χρήση μικροκυμάτων μικροκυμάτων (MAE), η εκχύλιση με εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF), η εκχύλιση με εφαρμογή υπερκρίσιμου υγρού (SCFE) και η εκχύλιση με πεπιεσμένα υγρά (PLE) δείχνει ότι υπόσχονται μελλοντικές καινοτομίες [16].

1.2.1 Ορισμός και πεδίο εφαρμογής εναλλακτικών τροφίμων

Η επιστήμη της διατροφής πρωτοεμφανίστηκε τον 19^ο αιώνα, αργότερα ακόμα και από την έννοια της «δίαιτας». Αυτός ο νέος κλάδος της επιστήμης συνδύασε τη γνώση των τροφίμων με την υγεία και τη φυσιολογία του ανθρώπου. Καθώς ο τομέας της διατροφής προόδευε, οι επιστήμονες μπορούσαν να

απομονώσουν και να εντοπίσουν τα θρεπτικά συστατικά που είναι απαραίτητα για την επιβίωση και την ανάπτυξη του ανθρώπου [22].

Αρχίζοντας από τη δεκαετία του 1970, οι επιστήμονες προχώρησαν ακόμη περισσότερο, συνιστώντας ημερήσιες ποσότητες θρεπτικών συστατικών για την υποστήριξη της ανθρώπινης υγείας με τη μορφή των συνιστώμενων ημερήσιων δόσεων (Recommended daily allowances, RDAs) και των αναφορών για τη διατροφική πρόσληψη (reference nutrition intakes, RNIs). Τελικά, οι επιστήμονες δημιούργησαν ένα μοντέλο πρόσληψης τροφίμων για υγιεινή διαβίωση, ιδιαίτερα όσον αφορά την ανάπτυξη, το σωματικό βάρος, την πρόληψη του υποσιτισμού και τη θεραπεία του υπερσιτισμού [23].

Συγκεκριμένα, οι ερευνητές μελετούν τα συστατικά των τροφίμων και τα ευεργετικά τους αποτελέσματα στην υγεία. Μετρούν τις αλλαγές στην υγεία και τη συμπεριφορά της ομοιόστασης μέσω της χρήσης βιοδεικτών ή "δεικτών" στο σώμα. Από αυτήν την έρευνα, οι επιστήμονες των εναλλακτικών τροφίμων καθορίζουν τις επιδράσεις στην υγεία και τις κατάλληλες/ασφαλείς δόσεις των εναλλακτικών τροφίμων [23].

Μια παγκόσμια στροφή προς βιώσιμα συστήματα τροφίμων είναι κρίσιμη για την επίτευξη των στόχων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής παγκοσμίως. Σε χώρες με υψηλό και μεσαίο εισόδημα, οι φυτικές εναλλακτικές για το κρέας και τα γαλακτοκομικά «ανοίγουν» έναν δρόμο για τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες διατροφές [24]. Υπάρχουν πλέον πολλά στοιχεία που υποδηλώνουν ότι τα τρέχοντα παγκόσμια συστήματα τροφίμων και τα πρότυπα κατανάλωσης είναι μη βιώσιμα για την ανθρώπινη υγεία και την υγεία του πλανήτη [25].

Το σύστημα τροφίμων ευθύνεται για περίπου 21-37% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η γεωργία αντιπροσωπεύει περίπου το 70% της χρήσης γλυκού νερού παγκοσμίως (<https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o.fwag.zs>) [24].

1.2.2 Κατηγορίες εναλλακτικών τροφίμων

Η επισιτιστική ανασφάλεια δεν περιορίζεται μόνο στον υποσιτισμό, αλλά επίσης στην πανδημία του υπερβολικού βάρους και της παχυσαρκίας που αντιμετωπίζει ο παγκόσμιος πληθυσμός. Η υιοθέτηση μιας πιο ισορροπημένης, θρεπτικής και βιώσιμης διατροφής απασχολεί τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health

Organization, WHO) και άλλους οργανισμούς που σχετίζονται με την επισιτιστική ασφάλεια και την υγεία [19],[20].

Η αναζήτηση προσβάσιμων πηγών τροφίμων πλούσιων σε βιοδραστικές ενώσεις ενδέχεται να είναι μια εναλλακτική λύση για την παράκαμψη της επισιτιστικής ανασφάλειας και την εξασφάλιση πρόσβασης σε υγιεινά τρόφιμα για τον γενικό πληθυσμό. Με αυτόν τον τρόπο, θα υπάρξει μεταστροφή στην κατανάλωση μη συμβατικών φυτικών τροφίμων καθώς και στην ενσωμάτωση στη διατροφή σιτηρών, άνθρων, μελιού, γύρης και βρώσιμων εντόμων [19].

Τα εναλλακτικά τρόφιμα, συνδέονται συχνά με φυτικές ή vegan επιλογές και κερδίζουν σημαντικό έδαφος στο κομμάτι της διατροφής λόγω διαφόρων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των ανησυχιών για την υγεία, της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας και των ηθικών πεποιθήσεων. Αυτά τα τρόφιμα προσφέρουν μια ποικιλία επιλογών που μιμούνται τα παραδοσιακά ζωικά προϊόντα, όπως το κρέας, τα γαλακτοκομικά και τα αυγά [12]. Οι πιο γνωστές κατηγορίες εναλλακτικών τροφίμων είναι:

- **Εναλλακτικές φυτικές τροφές κρέατος:** Τόφου, τέμπε, σέιταν, τζακφρούτ, και όλο και πιο εξελιγμένα προϊόντα που προσεγγίζουν στενά την υφή και τη γεύση του κρέατος, χρησιμοποιώντας συχνά συστατικά όπως πρωτεΐνη αρακά, πρωτεΐνη σόγιας και μυκοπρωτεΐνη [27].
- **Εναλλακτικές φυτικές γαλακτοκομικές τροφές:** Σόγια, γάλα αμυγδάλου, βρώμης, καρύδας και άλλες μη γαλακτοκομικές επιλογές που παρέχουν παρόμοια διατροφικά προφίλ και γαστρονομικές εφαρμογές παρόμοιες με τα παραδοσιακά γαλακτοκομικά [28].
- **Αντικαταστάτες αυγών:** Αλεύρι λιναρόσπορου, σπόροι τσία, τόφου και εμπορικοί αντικαταστάτες αυγών για αρτοσκευάσματα και γαστρονομικές χρήσεις [29].
- **Εναλλακτικές πρωτεΐνες:** Η πρόσληψη πρωτεϊνών από την κατανάλωση εδώδιμων εντόμων, τα θαλασσινά φύκη, το κρέας καλλιέργειας [20].

Το Συμβούλιο Τροφίμων και Διατροφής (FNB) του Εθνικού Ινστιτούτου Υγείας (NHS) των ΗΠΑ όρισε τα λειτουργικά τρόφιμα το 1995 ως «κάθε τρόφιμο ή συστατικό τροφίμου που μπορεί να προσφέρει ιατρικό όφελος εκτός από τα συνήθη θρεπτικά συστατικά που παρέχει» [30]. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2)

συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών τροφίμων με βάση διάφορους οργανισμούς [30].

Πίνακας 2. Ορισμός εναλλακτικών τροφίμων με βάση διάφορους οργανισμούς [30].

Χαρακτηριστικά	Οργανισμός
Τα πλήρη τρόφιμα και τα ενισχυμένα, εμπλουτισμένα ή βελτιωμένα τρόφιμα έχουν θεωρητικά θετική επίδραση στην υγεία όταν καταναλώνονται τακτικά σε βέλτιστες ποσότητες ως μέρος μιας ποικίλης διατροφής.	Ακαδημία Διατροφής και Διαιτολογίας (AND)
Μια διατροφή που, παρά τα κατάλληλα διατροφικά οφέλη, έχει θετική επίδραση αποκλειστικά σε μία ή περισσότερες λειτουργίες του σώματος με τρόπο που σχετίζεται είτε με την καλύτερη κατάσταση υγείας και ευεξίας, είτε με τη μείωση του κινδύνου ασθενειών. Αποτελεί μέρος της κανονικής διατροφής. Δεν είναι δισκίο, χάπι ή οποιοδήποτε άλλο είδος συμπληρώματος βιταμινών.	Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EC)
Μια μερίδα λειτουργικού τροφίμου ομοιάζει, αλλά δεν είναι ίδια με ένα παραδοσιακό γεύμα, καταναλώνεται ως μέρος ενός κανονικού γεύματος και έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει φυσιολογικά πλεονεκτήματα και/ή μειώνει τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών, πέρα από τις βασικές διατροφικές απαιτήσεις.	Τμήμα Υγείας του Καναδά (CDH)
Τρόφιμα ή συμπληρώματα διατροφής που μπορούν να προσφέρουν οφέλη για την υγεία εκτός από τη βασική διατροφή, όπως τη μείωση ή την εξάλειψη του κινδύνου ορισμένων ασθενειών και άλλων επιπλοκών υγείας.	Συμβούλιο Πληροφοριών Τροφίμων των Ηνωμένων Εθνών (FICUN)

Οι εταιρείες τροφίμων με βάση τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 2) μπορούν πλέον να χρησιμοποιούν τέσσερις διαφορετικούς τύπους περιπτώσεων στις ετικέτες για την ενημέρωση των καταναλωτών. Όπως αναφέρεται στον Πίνακα 3, οι

συγκεκριμένες κατηγορίες περιλαμβάνουν βελτιωμένα προϊόντα, τροποποιημένα και μη τροποποιημένα προϊόντα, ενισχυμένα προϊόντα και εμπλουτισμένα προϊόντα.

Πίνακας 3. Κατηγορίες εναλλακτικών τροφίμων [30].

Είδος Εναλλακτικού Τροφίμου	Περιγραφή	Παραδείγματα
Βελτιωμένα τρόφιμα	Τρόφιμα που έχουν συμπληρωθεί με νέα μέταλλα ή συστατικά που δεν βρίσκονται συνήθως σε αυτό το τρόφιμο.	Προβιοτικά, Πρεβιοτικά και μαργαρίνες με φυτικές στερόλες
Τροποποιημένα και μη τροποποιημένα τρόφιμα	Τροποποιημένα προϊόντα: Τρόφιμα από τα οποία έχουν αφαιρεθεί, μειωθεί ή αντικατασταθεί επικίνδυνες χημικές ουσίες με μια χημική ουσία που έχει θετικά οφέλη. Μη τροποποιημένα προϊόντα: Τρόφιμα που έχουν εξαιρετικά υψηλά επίπεδα μετάλλων ή στοιχείων.	Στα τροποποιημένα: Κρέας και παγωτό, οι φυτικές ίνες λειτουργούν ως μειωτές λιπιδίων. Στα μη τροποποιημένα: Προϊόντα ψαριών (LCn-3 PUFA).
Ενισχυμένα τρόφιμα	Τρόφιμα στα οποία έχει ενισχυθεί οργανικά ένα συστατικό μέσω μοναδικών συνθηκών παραγωγής, τρόφιμα με νέα σύνθεση, τρόφιμα που έχουν τροποποιηθεί γενετικά ή τρόφιμα που έχουν μετασχηματιστεί με διάφορους τρόπους	Αυγά με αυξημένη συγκέντρωση ωμέγα-3 ως αποτέλεσμα αλλαγής στη διατροφή των κοτόπουλων

Εμπλουτισμένα τρόφιμα	Τρόφιμα που έχουν συμπληρωθεί με επιπλέον θρεπτικά συστατικά	Χυμός φρούτων εμπλουτισμένος με βιταμίνη C
--------------------------	--	--

Κεφάλαιο 2: Εναλλακτικά τρόφιμα φυτικής προέλευσης

2.1 Πρωτεΐνες από δημητριακά και όσπρια

Μια νέα τάση στην υγιεινή διατροφή, η οποία παρέχει σημαντικές ποσότητες φυτικών πρωτεϊνών είναι τα όσπρια. Τα όσπρια ανήκουν στην οικογένεια των ψυχανθών (*Leguminosae*) ή Κυμαμοειδών (*Fabaceae*). Ανάμεσα στα όσπρια που καταναλώνονται ευρέως από τον άνθρωπο είναι τα φασόλια, οι φακές, τα ρεβίθια και η σόγια, ενώ ιδιαίτερη σημασία έχει και το λούπινο, που ανήκει στο γένος *Lupinus*. Τα συγκεκριμένα τρόφιμα έχουν χαμηλό κόστος καθώς επίσης διατίθεται στην αγορά [31]. Τα όσπρια υπήρξαν από τα πρώτα φυτά που καλλιεργήθηκαν από τον άνθρωπο και αποτέλεσαν βασικό συστατικό για τη διατροφή του, προσφέροντας μια σταθερή πηγή πρωτεΐνης σε περιοχές που δεν υπήρχε επαρκής ποσότητα κρέατος. Ωστόσο, με την οικονομική ανάπτυξη, η κατανάλωσή τους έχει μειωθεί σε πολλές δυτικές χώρες [32].

Η σόγια, οι φακές, τα ρεβίθια, τα λευκά φασόλια και το λούπινο διαθέτουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και χρησιμοποιούνται συχνά σε διατροφή με χαμηλές θερμίδες, καθώς μπορούν να ενισχύσουν τους μηχανισμούς οξειδωσης των λιπαρών οξέων στα μιτοχόνδρια, να επιταχύνουν τον μεταβολισμό και να συμβάλλουν στην απώλεια βάρους [33].

Η παχυσαρκία, η οποία αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη καρδιοαγγειακών παθήσεων, μπορεί να αντιμετωπιστεί με μια υποθερμιδική διατροφή πλούσια σε πρωτεΐνες, βελτιώνοντας το βιοτικό επίπεδο. Επιπλέον, η χαμηλή περιεκτικότητα σε αμινοξέα που περιέχουν θείο (μεθειονίνη, κυστεΐνη) σχετίζεται με την αυξημένη κατακράτηση ασβεστίου, σε αντίθεση με τις ζωικές πρωτεΐνες και τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Συνεπώς, οι πρωτεΐνες των οσπρίων μπορούν να μειώσουν την έκκριση ασβεστίου από τα ούρα, ενισχύοντας την υγεία των οστών [34].

2.2 Λειτουργικά συστατικά σε ξηρούς καρπούς και σπόρους

Μεταξύ των φυσικών βιοδραστικών συστατικών τροφίμων, οι ξηροί καρποί και οι σπόροι περιέχουν υψηλά επίπεδα μονοακόρεστων και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, πρωτεϊνών, φυτικών ινών, βιταμίνης E, βιταμινών του συμπλέγματος B και μετάλλων όπως το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο [35]. Διάφοροι καρποί και σπόροι καταναλώνονται σε πολλές περιοχές του κόσμου, είτε

μόνοι τους είτε σε συνδυασμό με άλλα προϊόντα, όπως σάλτσες, ροφήματα και σνακ [35].

Ξηροί καρποί όπως τα φιστίκια και τα αμύγδαλα καθώς και οι περισσότεροι σπόροι, όπως οι σπόροι κάνναβης και κολοκύθας, διαθέτουν χαμηλή περιεκτικότητα σε λυσίνη και σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε λευκίνη, αλλά υψηλή παρουσία τόσο L-τυροσίνης όσο και αργινίνης, γεγονός που βοηθά στη διατήρηση της ελαστικότητας των αιμοφόρων αγγείων [36]. Ειδικότερα, τα φιστίκια θεωρούνται συγκρίσιμα με τα φασόλια όσον αφορά την ποιότητα των πρωτεϊνών τους, οι οποίες περιέχουν όλα τα απαραίτητα αμινοξέα με την αργινίνη να βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα [36]. Οι φυτικές πρωτεΐνες αυτής της κατηγορίας εμφανίζουν «καλή» γαλακτοματοποιητική δράση, σταθερότητα και υψηλή διαλυτότητα στα τελικά προϊόντα [36].

Η κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε πρωτεΐνες από ορισμένους κελυφωτούς καρπούς και σπόρους συνδέεται με πολλές θετικές βιολογικές επιδράσεις, όπως η πρόληψη καρδιοαγγειακών νοσημάτων, καρκίνου και νευροεκφυλιστικών ασθενειών [37]. Η υψηλή περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες και φυτικές ίνες βελτιώνει την αίσθηση κορεσμού και πληρότητας και συμβάλλει στη διατήρηση του βάρους [38]. Παρ' όλα αυτά, όλοι οι ξηροί καρποί και οι σπόροι έχουν πιθανότητα να προκαλέσουν αλλεργίες, κυρίως σε βρέφη και παιδιά. Οι φυτικές πρωτεΐνες, που περιέχονται στον πυρήνα, φαίνεται να είναι η κύρια πηγή αλλεργιογόνων [39]. Επιπλέον, η αραχίδα, τα αμύγδαλα και άλλοι ξηροί καρποί και σπόροι συχνά μολύνονται από μύκητες (είδη *Aspergillus flavus* και *Aspergillus parasiticus*). Οι μύκητες παράγουν αφλατοξίνες, οι οποίες είναι ισχυροί τοξικοί καρκινογόνοι παράγοντες [36]. Ο Οργανισμός Ελέγχου Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) των Ηνωμένων Πολιτειών και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν καθορίσει τα ακριβή επίπεδα για τις αφλατοξίνες που υπάρχουν στα τρόφιμα. Αν και η νομοθεσία δεν παρέχει απόλυτη ασφάλεια, μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο για επιβλαβείς συνέπειες [39].

Συμπερασματικά, οι φυτικές πρωτεΐνες είναι μια εξαιρετική πηγή πρωτεϊνών και απαραίτητων θρεπτικών συστατικών. Παρά την ύπαρξη ελλείψεων σε απαραίτητα αμινοξέα που απαιτούνται για την πλήρη κάλυψη του πρωτεϊνικού προφίλ του ανθρώπου, η συνδυασμένη χρήση τους σε εξατομικευμένες δίαιτες μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη για την υγεία, όπως η αύξηση του

προσδόκιμου ζωής και η βελτίωση της ποιότητας ζωής με λιγότερα καρδιακά προβλήματα [32].

Κεφάλαιο 3: Εναλλακτικά τρόφιμα από εδώδιμα έντομα

3.1 Διατροφική σύσταση εδωδιμων εντόμων

Η εντομοφαγία, η πρακτική της κατανάλωσης εντόμων ως τροφή από τον άνθρωπο, δεν αποτελεί ένα νέο φαινόμενο και έχει τεκμηριωθεί εδώ και πολύ καιρό. Η εντομοφαγία αποτελεί κοινή πρακτική, από την αρχαία Κίνα έως τη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Εξακολουθεί να επικρατεί σε χώρες όπως η Κίνα, η Ταϊλάνδη, η Ιαπωνία, η Κολομβία, το Μεξικό, το Περού, η Βραζιλία και σε ορισμένα μέρη της Αφρικής [40]. Η κατανάλωση βρώσιμων εντόμων ξεκίνησε πριν από σχεδόν 7000 χρόνια [41]. Περισσότερα από 2300 είδη από 18 τάξεις έχουν αναφερθεί ως βρώσιμα έντομα, εκ των οποίων 5 τάξεις έχουν τουλάχιστον 100 καταγραφές. Αυτά τα έντομα ζουν τόσο υδάτινα όσο και χερσαία περιβάλλοντα [42]. Η πλειονότητα αυτών συλλέγεται από τη φύση, αν και κάποια είδη εκτρέφονται σε μεγάλη κλίμακα [43]. Τα λεπιδοπτερα, τα ορθόπτερα, τα ισόπτερα και τα υμενόπτερα θεωρούνται κοινές πηγές τροφής σε πολλές περιοχές. Πολιτισμικά και θρησκευτικά, η εντομοφαγία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές λόγω του ζεστού και υγρού κλίματος [42].

Τα τροπικά έντομα είναι γενικά μεγάλα σε μέγεθος με σταθερή βιολογία γεγονός που διευκολύνει τη συγκομιδή [43]. Οι ανώριμες μορφές εντόμων (κουκούλια και προνύμφες) προτιμώνται δεδομένης της αφθονίας τους σε αμινοξέα και λιπαρά οξέα, που όχι μόνο διασφαλίζουν τη θρεπτική αξία αλλά και παρέχουν μια μοναδική και εξαιρετική γεύση [43].

Η ανάγκη για την παραγωγή πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης συνεχώς αυξάνεται, καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ταχύτατα [21],[24]. Ως αποτέλεσμα, οι ερευνητές αναζητούν εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών. Η εντομοφαγία θεωρείται μία από τις καλύτερες επιλογές. Εφόσον μπορεί να προσφέρει μεγάλες ποσότητες πολλών θρεπτικών συστατικών γρήγορα, ενδέχεται να προσφέρει λύση για την καταπολέμηση της πείνας [40]. Έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στη χρησιμοποίηση και παραγωγή βρώσιμων εντόμων. Ωστόσο, η βιομηχανική αλυσίδα των βρώσιμων εντόμων, από τη θεμελιώδη έρευνα μέχρι την εμπορία, εξακολουθεί να χρειάζεται ανάπτυξη [43].

3.2 Βιοδραστικές ενώσεις εδώδιμων/βρώσιμων εντόμων

Τα έντομα σε όλα τα στάδια της ζωής του αποτελούν πλούσιες πηγές ζωικής πρωτεΐνης. Η αναλογία πρωτεΐνης κυμαίνεται γενικά από 40 έως 75% βάσει ξηρού βάρους, με τις μέσες τιμές ανά τάξη να κυμαίνονται από 33 έως 60% [44]. Τα βρώσιμα έντομα συνήθως περιέχουν περισσότερη πρωτεΐνη σε σύγκριση με το συμβατικό κρέας, αν και οι συνθέσεις αμινοξέων τους είναι συνήθως ανάλογες. Ως τροφή, μπορούν να παρέχουν τα απαραίτητα αμινοξέα σε ιδανικό επίπεδο, τα οποία κυμαίνονται γενικά σε ποσοστό 76 έως 96% [44], [45]. Τα περιεχόμενα σε απαραίτητα και ημι-απαραίτητα αμινοξέα των συνήθως καταναλισκόμενων ειδών εμφανίζονται μαζί με τις απαιτήσεις αμινοξέων για ενήλικες, όπως δημοσιεύτηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO 2007) [43], [44].

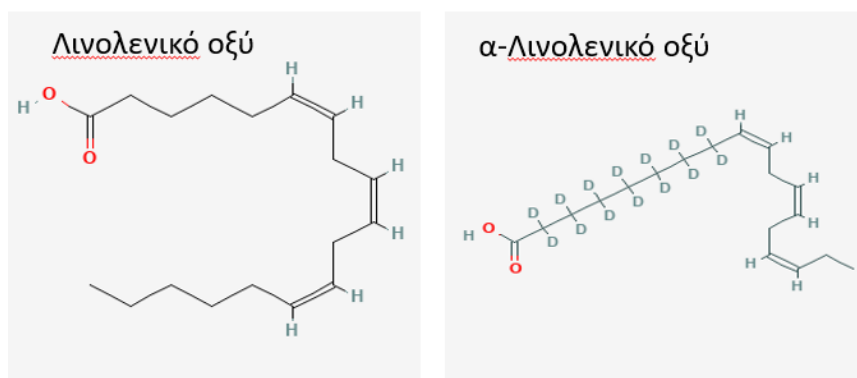
Σε ορισμένα έντομα έχει βρεθεί ότι περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες μεθειονίνης, κυστεΐνης και τρυπτοφάνης [43]. Η διατροφή πρέπει να είναι ισορροπημένη εάν αυτά τα έντομα καταναλώνονται ως το κύριο μέρος ενός γεύματος. Ωστόσο, εκτός από αυτά τα είδη, τα έντομα γενικά πληρούν τις συστάσεις του WHO για τα αμινοξέα. Τα περισσότερα έντομα μπορούν να παρέχουν ικανοποιητικές ποσότητες απαραίτητων αμινοξέων, αν καταναλωθεί ένας λογικός συνδυασμός προϊόντων. Τα έντομα μπορούν να παρέχουν επαρκή ποσότητα σε απαραίτητα αμινοξέα, όπως είναι η ισολευκίνη, η λευκίνη, η λυσίνη, η φαινυλαλανίνη, η θρεονίνη, η βαλίνη, η αργινίνη, η ιστιδίνη και η τυροσίνη. Η ποσότητα της λυσίνης, της βαλίνης, της μεθειονίνης, της αργινίνης και της τυροσίνης είναι γενικά η πλουσιότερη στην τάξη των *Blattodea* σε σύγκριση με άλλα έντομα [43], [44].

Η ποσότητα της λευκίνης στα *Coleoptera* [43] είναι υψηλότερη από εκείνη σε άλλες πηγές πρωτεϊνών, συμπεριλαμβανομένων των ζώων. Ομοίως, η ποσότητα της φαινυλαλανίνης στην τάξη των *Hemiptera* είναι γενικά υψηλότερη από εκείνη σε όλες τις άλλες γνωστές πηγές πρωτεϊνών [43]. Σε σύγκριση με τα βρώσιμα έντομα σε άλλα στάδια, οι νύμφες είναι συνήθως η πιο άφθονη πηγή σχεδόν όλων των ειδών αμινοξέων. Είναι ιδιαίτερα πλούσιες σε αργινίνη, η οποία ωφελεί τις καρδιοαγγειακές καταστάσεις και ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα. Η αργινίνη είναι πάνω από δύο φορές πιο άφθονη σε νύμφες κατσαρίδων (*Blatta lateralis*) από ό,τι σε μοσχάρι και χοιρινό κρέας [43], [44].

Σε ορισμένα ήδη εντόμων έχουν βρεθεί ίχνη λιπαρών οξέων, συμπεριλαμβανομένων των ακόρεστων και κορεσμένων λιπαρών [43]. Η περιεκτικότητα σε λίπος των εντόμων κυμαίνεται σε ποσοστό από 8 έως 70% επί ξηρού. Οι συνθέσεις των λιπαρών οξέων είναι παρόμοιες σε διάφορες πηγές κρέατος, συμπεριλαμβανομένων όλων των ομάδων εντόμων [43]. Το περιεχόμενο σε λιπαρά οξέα των προνυμφών *Lepidopteran* και *Heteropteran* είναι υψηλότερο από εκείνο άλλων βρώσιμων εντόμων. Οι προνύμφες είναι η καλύτερη πηγή λιπαρών οξέων ή ελαίων σε σύγκριση με έντομα σε άλλα στάδια. Οι ενήλικες γενικά έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε λίπος, μάλιστα λιγότερη από 20% [43], [44]. Το λίπος στα έντομα είναι κυρίως τριακυλογλυκερόλη [44]. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα (saturated fatty acids, SFAs) και τα μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (monounsaturated fatty acids, MUFAs) συνήθως αποτελούν περισσότερο από το 80% του συνόλου των λιπαρών οξέων [44]. Τα μονοακόρεστα οξέα στα έντομα, σε διάφορα στάδια της ζωής τους, αποτελούνται κυρίως από παλμιτικό οξύ και στεατικό οξύ [43]. Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή των μονοακόρεστων μεταξύ των ενηλίκων. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα μονοακόρεστα οξέα θεωρούνται πιο υγιεινά για την ανθρώπινη διατροφή. Το ελαϊκό οξύ, ένα από τα πιο γνωστά μονοακόρεστα λιπαρά οξέα στην ανθρώπινη διατροφή και ταυτόχρονα το πιο κοινό αντίστοιχα λιπαρό οξύ στα έντομα [43].

Όπως είναι γνωστό το ελαϊκό οξύ βοηθά στη μείωση της αρτηριακής πίεσης και έχει βρεθεί ότι βοηθά στην καταπολέμηση φλεγμονών, ανοσοποιητικών και καρδιοαγγειακών παθήσεων [24]. Ωστόσο, με τον κίνδυνο υπερβολικής κατανάλωσης κορεσμένων λιπαρών οξέων ως τροφή, τα ώριμα έντομα ενδείκνυται ως η καλύτερη πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (poly-unsaturated fatty acids, PUFAs) σε σύγκριση με το χοιρινό, το μοσχάρι και τα έντομα σε άλλα στάδια [43]. Το λινολεϊκό οξύ είναι το κύριο συστατικό των PUFAs στα έντομα, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι δρα ως αντιφλεγμονώδες, μειώνει την ακμή και φωτίζει το δέρμα. Η τάξη *Orthoptera* είναι η καλύτερη πηγή λινολεϊκού οξέος σε σύγκριση με άλλες τάξεις εντόμων. Η τάξη *Lepidoptera*, με υψηλές ποσότητες πολυακόρεστων οξέων, είναι ιδιαίτερα πλούσια σε α-λινολενικό οξύ, το οποίο έχει αναγνωρισθεί ως δυνητικό διατροφικό συμπλήρωμα για την προστασία από εγκεφαλικό επεισόδιο [43]. Επίσης, το λινολεϊκό οξύ και το α-λινολενικό οξύ είναι απαραίτητα για τους ανθρώπους καθώς δεν μπορούν να παραχθούν από τον οργανισμό μας. Τα

συγκεκριμένα λιπαρά οξέα είναι πρόδρομα μόρια για τη σύνθεση των προσταγλανδινών, των θρομβοξανών και των λευκοτριενών, που είναι απαραίτητα για τη διατήρηση των φυσιολογικών οπτικών λειτουργιών [43]. Έχει βρεθεί ότι η ανεπαρκής πρόσληψη λινολενικού οξέος και α-λινολενικού οξέος (Σχήμα 12) μπορούν να προκαλέσουν καθυστέρηση ανάπτυξης, διαταραχές στην αναπαραγωγή, δερματικές βλάβες (εξανθήματα κ.λπ.). Η έλλειψη τους συνδέεται και με ασθένειες των νεφρών, του ήπατος, του νευρικού συστήματος και του οπτικού συστήματος για τον άνθρωπο. Η παραλαβή αυτών των θρεπτικών συστατικών από τα έντομα έχει μεγάλη δυνατότητα στην ιατρική βιομηχανία [43], [44].



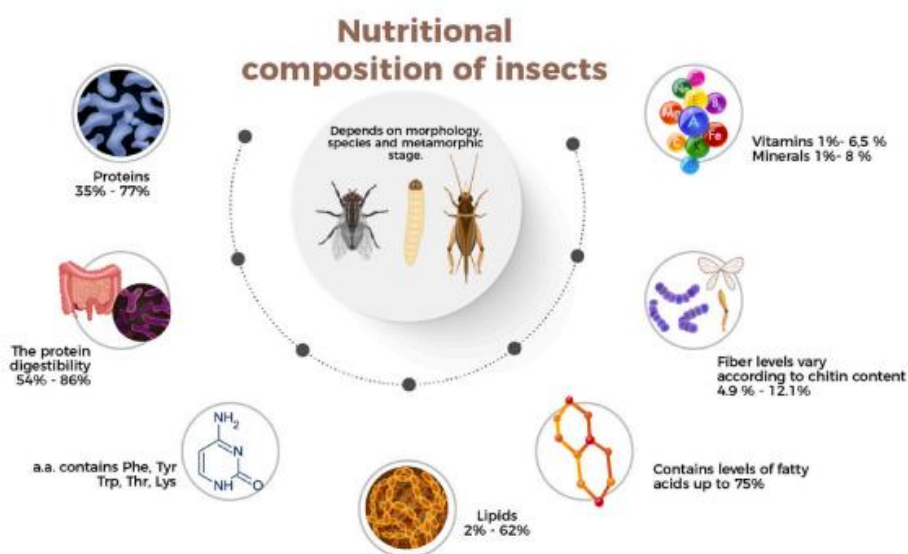
Σχήμα 9. Οι δομές του λινολενικού και α-λινολενικού οξέος.

Επιπλέον, τα έντομα αποτελούν εξαιρετική πηγή βιταμινών και μικροθρεπτικών συστατικών [43]. Μπορούν να παρέχουν βιοχημικές ουσίες, όπως οι βιταμίνες A, B1–12, C, D, E, K, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη φυσιολογική ανάπτυξη και υγεία [44].

Για παράδειγμα, οι κάμπιες είναι ιδιαίτερα πλούσιες σε βιταμίνες B1, B2 και B6 [43]. Το μελίσι είναι πλούσιο σε βιταμίνες A και D [43]. Το κόκκινο σκαθάρι του φοινικόδεντρου (*Rhynchophorus ferrugineus*) είναι μια καλή πηγή βιταμίνης E [43]. Μια ποικιλία μικροθρεπτικών συστατικών μπορεί να βρεθεί στα βρώσιμα έντομα, περιλαμβάνοντας σίδηρο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, φωσφόρο, κάλιο, σελήνιο, νάτριο και ψευδάργυρο [43], [44]. Τα περιεχόμενα των ανόργανων στοιχείων σε διαφορετικά έντομα διαφέρουν σημαντικά. Τα περισσότερα έντομα περιέχουν μόνο μικρές ποσότητες ασβεστίου (λιγότερο από 100 mg/g με βάση το ξηρό βάρος), αλλά οι προνύμφες των *house flies* και οι ενήλικες των καρπών του πεπτονιού είναι συνήθως πλούσιοι σε αυτό. Οι πυγολαβίδες *Polybia occidentalis* μπορούν να παρέχουν μόνο 54 mg καλίου ανά 100 g, ενώ σε όλα τα στάδια ανάπτυξης της *Apis mellifera*, που ανήκει επίσης στην τάξη *Hymenoptera*, μπορούν να παρέχουν τουλάχιστον 1500

mg καλίου ανά 100 g. Οι ενήλικες του *Macrotermes nigeriensis* παρέχουν μόνο 6.1 mg μαγνησίου ανά 100 g, ενώ εκείνοι του *Euschistus egglestoni* παρέχουν 1910 mg ανά 100 g. Τα περιεχόμενα των ιχνών στοιχείων σε έντομα διαφέρουν επίσης αισθητά. Ωστόσο, τα περισσότερα βρώσιμα έντομα είναι ιδιαίτερα πλούσια σε σίδηρο. Η ποσότητα σιδήρου στα έντομα συνήθως είναι υψηλότερη από εκείνη του φρέσκου βόειου κρέατος [44], [45].

Τα βρώσιμα έντομα έχουν επίσης μεγάλη αξία στην παροχή θερμίδων με θερμιδικές συνεισφορές που κυμαίνονται από 290 έως πάνω από 750 kcal/100 g. Οι προνύμφες περιέχουν συνήθως υψηλές ποσότητες πρωτεϊνών και λιπών, αντιστοιχώντας σε υψηλές θερμίδες. Επομένως, τα προϊόντα που παρασκευάζονται από έντομα διαφορετικών σταδίων μπορούν να καλύψουν τις διατροφικές ανάγκες διαφορετικών ατόμων [43], [44], [45]. Η θρεπτική σύσταση των εδωδιμων εντόμων απεικονίζεται στην Εικόνα 4 [46].



Εικόνα 4. Θρεπτική σύσταση των εδωδιμων εντόμων [46].

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διατροφική αξία δεν ισοδυναμεί με την υγειονομική αξιολόγηση. Ένα υγιεινό τρόφιμο θα πρέπει να είναι ισορροπημένο μεταξύ της ενέργειας και της διατροφικής του σύνθεσης [44], [45].

3.3 Παραλαβή βιοδραστικών ενώσεων εδώδιμων εντόμων

Η συλλογή εδώδιμων εντόμων από τα φυσικά τους περιβάλλοντα, σε αντίθεση με την ελεγχόμενη αναπαραγωγή τους σε αποστειρωμένα γεωργικά περιβάλλοντα, φαίνεται να αυξάνει τον κίνδυνο παθογόνων βακτηρίων που ενδέχεται να αποτελούν μεγαλύτερη απειλή για την ανθρώπινη υγεία [46]. Τα ευρήματα υποδεικνύουν την αναγκαιότητα εφαρμογής προληπτικών μέτρων και διατήρησης υψηλών επιπέδων υγιεινής σε όλη την αλυσίδα τροφίμων των εδώδιμων εντόμων, περιλαμβάνοντας τα στάδια της συγκομιδής, επεξεργασίας, αποθήκευσης και κατανάλωσης [47].

Η αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τη ρύπανση του περιβάλλοντος που προκαλείται από τη συμβατική εκτροφή βοοειδών, η επάρκεια της προμήθειας πρωτεϊνών και η εξασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων έχουν οδηγήσει σε μια αύξηση της τάσης των ατόμων προς την κατανάλωση εντόμων ως πηγή τροφής. Η χρήση εδώδιμων εντόμων ως πηγή ζωοτροφών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις ζωοτροφές βασισμένες σε κατοικίδια ζώα. Αυτά τα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν τη μειωμένη ανάγκη για καλλιεργήσιμη γη, υψηλό ρυθμό αναπαραγωγής και υψηλή αποτελεσματικότητα στη μετατροπή της τροφής [47].

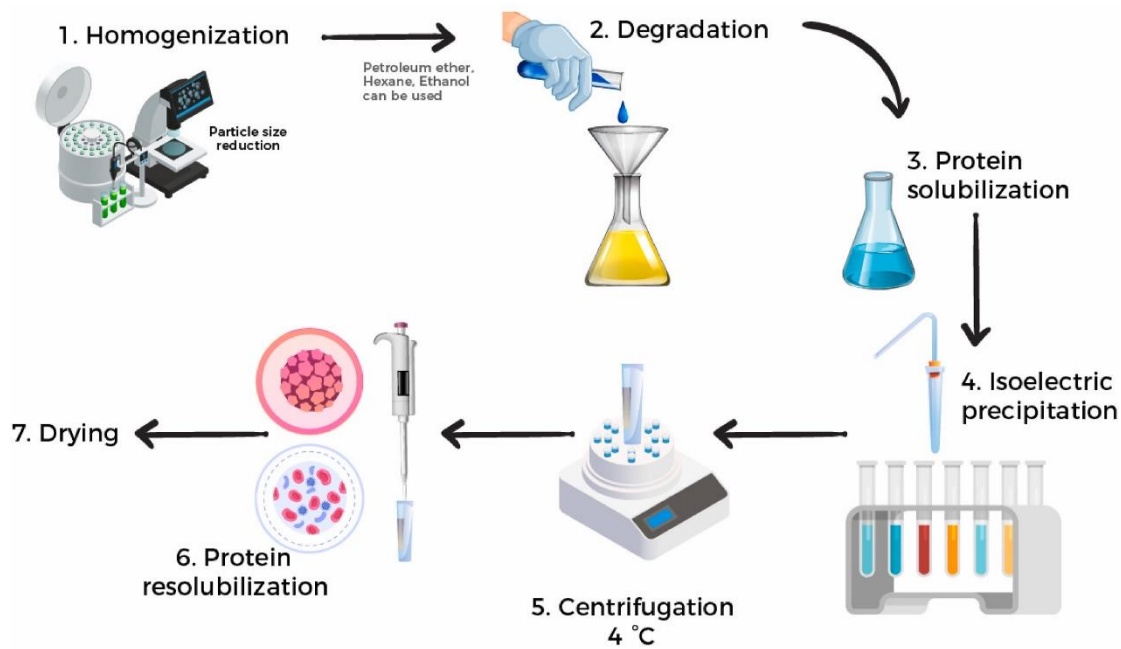
Επιπλέον, τα εδώδιμα έντομα προσφέρουν υψηλότερη διατροφική αξία συγκρινόμενα με το ποσοστό απόδοσης σε πρωτεΐνες (protein efficiency ratio) [46]. Η χρήση εδώδιμων εντόμων ως πηγή πρωτεϊνών έχει θεωρηθεί πρόκληση λόγω της σύνθεσής τους, η οποία συχνά είναι διαλυτή σε λιπαρά οξέα ή στη χιτίνη. Κατά συνέπεια, οι διαδικασίες απολίπανσης και παραλαβής έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την ποιότητα των πρωτεϊνών [46], [47].

Η ομάδα του Devi et al. [48] ανέφερε ότι τα έντομα περιέχουν ποικιλία αμινοξέων, περιλαμβάνοντας τόσο απαραίτητα αμινοξέα όπως η μεθειονίνη, η κυστεΐνη, η λυσίνη και η θρεονίνη, όσο και μη απαραίτητα αμινοξέα όπως η ιστιδίνη, η ισολευκίνη, η λευκίνη, η λυσίνη, η μεθειονίνη, η φαινυλαλανίνη, η θρεονίνη, η τρυπτοφάνη και η βαλίνη, τα οποία είναι αναγκαία για τις μεταβολικές τους διαδικασίες. Αν και η πλειονότητα των εντόμων παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε τρυπτοφάνη και λυσίνη, η συγκέντρωση των απαραίτητων αμινοξέων στα εδώδιμα έντομα κυμαίνεται από 46 % έως 96% [46].

Βιβλιογραφικά δεδομένα έχουν δείξει ότι τα διάφορα είδη εντόμων παρουσιάζουν γενικά σχετικά υψηλή συγκέντρωση πρωτεϊνών, η οποία συνήθως

κυμαίνεται από 50 έως 70 % με βάση το ξηρό βάρος. Συνεπώς, η απομόνωση και η κλασματοποίηση των πρωτεϊνών αποτελούν κρίσιμα στάδια στην παραγωγή παραγώγων πρωτεϊνών από έντομα [46]. Πριν προσδιοριστεί η ποσότητα της πρωτεΐνης που απομονώνεται από τα έντομα, είναι απαραίτητο τα έντομα να υποβληθούν σε διαδικασία ξήρανσης, θρυμματισμού και επαδιαλυτοποίησης με τη χρήση υδατικών μέσων. Οι Zhao et al. [49] εντόπισαν σημαντικές μεταβλητές που επηρεάζουν το αποτέλεσμα του πειράματος, όπως η αναλογία στερεών προς νερό, το pH και η θερμοκρασία. Πριν από την εφαρμογή θερμικών επεξεργασιών, όπως η παστερίωση μετά από κατάψυξη, η κατάψυξη ακολουθούμενη από αφυδάτωση με ψύξη ή ο θρυμματισμός μετά από ξήρανση με ζεστό αέρα στους 60 °C, ενδέχεται να είναι απαραίτητη η απομάκρυνση του εντέρου των εντόμων ή να προταθεί μια 24ωρη νηστεία για τα καλλιεργούμενα έντομα [46], [50]. Η διαδικασία αυτή είναι συγκρίσιμη με τις προεπεξεργασίες που χρησιμοποιούνται στα έντομα πριν από την απομόνωση πρωτεϊνών για να τα προστατεύσουν από την αποδόμηση από ένζυμα και μικροοργανισμούς [50].

Τα βήματα για την απομόνωση της πρωτεΐνης περιλαμβάνουν: (1) ομογενοποίηση, (2) απολίπανση, (3) διάλυση πρωτεϊνών, (4) ισοηλεκτρική καθίζηση των πρωτεϊνών και (5) επαναδιαλυτοποίηση της πρωτεΐνης. Μετά από αυτά τα βήματα μπορεί να ακολουθήσει μια φάση ξήρανσης. Η όλη διαδικασία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του εντόμου [60] (Σχήμα 13). Η ομογενοποίηση συνίσταται στη μείωση των εντόμων σε μικρό μέγεθος σωματιδίων με μηχανικό θρυμματισμό. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται συνήθως σε απιονισμένο νερό με όγκους που κυμαίνονται από 5 έως 50 % (w/v). Αυτό το βήμα επιτρέπει την αύξηση της επιφάνειας μεταξύ των σωματιδίων των εντόμων και του διαλύτη εκχύλισης (για παράδειγμα, νερό), γεγονός που συνήθως οδηγεί σε πιο αποτελεσματική παραλαβή της πρωτεΐνης [46], [50].



Σχήμα 10: Μέθοδος παραλαβής πρωτεϊνών από τα εδώδιμα έντομα [46].

Η διαδικασία απομάκρυνσης του λίπους μπορεί να επιτευχθεί με εκχύλιση χρησιμοποιώντας κάποιον διαλύτη (solvent extraction), όπως για παράδειγμα τον πετρελαϊκό αιθέρα [46], για το είδος *Bombyx mori*, ενώ το εξάνιο έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την απολίπανση των νυμφών του σκουληκιού της μουριάς, του κίτρινου σκουληκιού, του υπερσκουληκιού, του μικρότερου σκουληκιού, της οικιακής κατσαρίδας και της κατσαρίδας *Dubia* [46]. Άλλες διαδικασίες απομάκρυνσης λιπών έχουν περιγραφεί χρησιμοποιώντας αιθανόλη ή εξάνιο: ισοπροπανόλη σε αναλογία (3:2 (v/v)), ενώ το υπερκρίσιμο CO₂ έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση των λιπών των νυμφών του σκουληκιού της μουριάς [46].

Ορισμένες έρευνες έχουν δείξει ότι κάποιες πρωτεΐνες εντόμων παρουσιάζουν διαλυτότητα σε υδατικά διαλύματα, ενώ άλλες όχι. Για την απομόνωση των πρωτεϊνών που είναι διαλυτές στο νερό, η ομογενοποίηση των εντόμων συχνά τροποποιείται για να επιτευχθούν συγκεκριμένα επίπεδα pH. Για να επιτευχθεί η διαλυτότητα των πρωτεϊνών στο νερό, είναι απαραίτητο το pH να υπερβαίνει την τιμή 7.0 [51]. Οι πρωτεΐνες εμφανίζουν διαλυτότητα σε υδατικές φάσεις λόγω της ηλεκτροστατικής απόσβεσης που προκύπτει από την υψηλή γενική φόρτιση [46]. Η διαλυτότητα των πρωτεϊνών επηρεάζεται από το pH του διαλύματος. Σύμφωνα με τους Nongonierma και FitzGerald [52] η φυγοκέντρηση στους 4 °C μπορεί να εξαλείψει αποτελεσματικά τα αδιάλυτα μόρια, επιτρέποντας ταυτόχρονα την παραμονή των υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών στο υπερκείμενο για επακόλουθη

εκχύλιση. Για παράδειγμα, το pH καθίζησης για την κατσαρίδα είναι περίπου pH 3.0, ενώ για το κίτρινο σκουλήκι κυμαίνεται μεταξύ pH 4.0–5.0 [52]. Από την άλλη πλευρά, η νύμφη του σκουληκιού της μουριάς έχει pH καθίζησης pH 4.0 ή pH 4.5, ενώ το χρυσάνθιο σκουλήκι έχει pH καθίζησης pH 5.0 [46].

Η αξιοποίηση των βιοδραστικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης των εντόμων μέσω ενζυματικής υδρόλυσης έχει αποδείξει ότι αποτελεί μια βιώσιμη μέθοδο, παρά την περιορισμένη έρευνα που έχει διεξαχθεί. Η ανάπτυξη πεπτιδίων εντόμων έχει επικεντρωθεί κυρίως σε χαρακτηριστικά όπως οι αντιοξειδωτικές, αντιυπερτασικές, αντιφλεγμονώδεις, αντιδιαβητικές και αντιβακτηριακές ιδιότητες [46]. Παρ' όλα αυτά, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διασφαλιστούν οι βέλτιστες τεχνικές επεξεργασίας και η ασφάλεια αυτών των χημικών ενώσεων για εφαρμογή στη διατροφή [46], [53].

Η τεχνική της φυγοκέντρησης χρησιμοποιείται συχνά για την επεξεργασία πρωτεϊνών σε εδώδιμα έντομα για να βελτιωθεί η τεχνική τους λειτουργικότητα, όπως οι ιδιότητες αφρισμού ή γαλακτωματοποίησης, όπως αναφέρεται από τους Kim et al. [54]. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι οι ιδιότητες διαχωρισμού των πρωτεϊνών των εντόμων που καταναλώνονται μπορούν να ενισχυθούν μέσω της ενζυμικής υδρόλυσης και των τεχνικών απομόνωσης πρωτεϊνών [46]. Επιπλέον, οι μέθοδοι παραλαβής που χρησιμοποιούνται μπορούν να τροποποιήσουν τις ιδιότητες αφρισμού ή γαλακτωματοποίησης των εντόμων [46]. Ωστόσο, οι προαναφερόμενες μελέτες δεν έχουν εμβαθύνει στις αλλαγές στη λειτουργικότητα της πρωτεΐνης που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκχύλισης. Αντίθετα, επικεντρώνονται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος πρωτεΐνης που προέρχεται από τα εδώδιμα έντομα [46].

3.4 Προϊόντα προερχόμενα από εδώδιμα έντομα

Σε πολλές κουλτούρες παγκοσμίως, τα έντομα καταναλώνονται ως παραδοσιακή πηγή τροφής εδώ και αιώνες. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση των εντόμων ως μια βιώσιμη πηγή πρωτεΐνης και άλλων θρεπτικών συστατικών, τόσο για την ανθρώπινη κατανάλωση όσο και για την τροφή των ζώων. Τα έντομα μπορούν να καταναλωθούν ωμά, αλλά κυρίως επεξεργάζονται σε διάφορα προϊόντα για ανθρώπινη κατανάλωση, όπως μπάρες πρωτεΐνης, ζυμαρικά και σνακ. Αυτό συμβαίνει επειδή η επεξεργασία των εντόμων πριν από την

κατανάλωση βελτιώνει πάντα την αποδοχή τους ως πηγή τροφής [55]. Παρά το γεγονός ότι τα έντομα γίνονται όλο και περισσότερο αποδεκτά ως πιθανές πηγές πρωτεΐνης για τρόφιμα και ζωοτροφές, η εμφάνιση του εντόμου μπορεί να είναι αποκρουστική λόγω συνειρμών αποστροφής [56]. Τα εδώδιμα έντομα είναι πιο πιθανό να καταναλωθούν εάν επεξεργαστούν σε μη αναγνωρίσιμες μορφές. Έτσι, τα έντομα απαιτούν τη χρήση εμπορικών μεθόδων επεξεργασίας που θα καταστήσουν την πρωτεΐνη κατάλληλη για διατύπωση τροφίμων/ζωοτροφών, διατηρώντας παράλληλα την ασφάλεια, τη θρεπτική αξία και την αισθητηριακή ποιότητα του τελικού προϊόντος [56]. Μια προσέγγιση για την απόκτηση των διατροφικών και περιβαλλοντικών οφελών από την κατανάλωση εντόμων είναι η άλεση των εντόμων σε μορφή σκόνης ή η χρήση συστατικών που προέρχονται από έντομα, όπως πρωτεΐνες, λιπίδια και χιτίνη [56]. Η ενσωμάτωση εντόμων σε μη αναγνωρίσιμη μορφή (π.χ. σκόνη) μπορεί να μετριάσει τις αρνητικές αντιλήψεις επιτρέποντας τη συσχέτιση των τροφίμων που περιέχουν σκόνη εντόμων με πιο οικεία, βασικά τρόφιμα [56]. Μελέτες έχουν αναφέρει ότι η χαμηλή αποδοχή των εδωδιμων εντόμων σχετίζεται με συναισθηματικούς παράγοντες (π.χ. αποστροφή), καθώς και με άγνωστες γεύσεις και υφές, υποδηλώνοντας ότι η ενσωμάτωση εντόμων ως μέρος ενός συστατικού θα μπορούσε να αποτελέσει μια πιθανή πύλη για ευρύτερη αποδοχή από τους καταναλωτές στη Δύση [57].

Για παράδειγμα, οι Ευρωπαίοι και Αμερικανοί καταναλωτές έχουν δείξει ενδιαφέρον για τρόφιμα που έχουν διαμορφωθεί με έντομα, όπου τα έντομα προστίθενται με τη μορφή πρωτεϊνικών σκονών ή αλεύρων και ως εκ τούτου δεν είναι ορατά (αναγνωρίσιμα) [56]. Τα άλευρα εντόμων παράγονται συνήθως με αφυδάτωση ή ψήσιμο ολόκληρων εντόμων και στη συνέχεια άλεσή τους σε λεπτή σκόνη που αναφέρεται ως αλεύρι [56].

Τα δημητριακά αποτελούν εδώ και πολύ καιρό βασικό στοιχείο της διατροφής πολλών πολιτισμών σε όλο τον κόσμο και είναι η σημαντικότερη πηγή θρεπτικών συστατικών για τους ανθρώπους [58]. Τα πιο καταναλωτικά δημητριακά είναι το ρύζι, το σιτάρι και ο καλαμπόκι. Η ενσωμάτωση εδωδιμων εντόμων για τον εμπλουτισμό των προϊόντων δημητριακών έχει ήδη προταθεί από ορισμένους συγγραφείς [58]. Τα άλευρα εντόμων έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση του 5-40% του αλευριού δημητριακών σε βασικά τρόφιμα ή σνακ, με την ιδανική αντικατάσταση γύρω στο 10% [58]. Το ψωμί σίτου έχει εμπλουτιστεί με αλεύρι από

κατσαρίδες (*Nauphoeta cinerea*), προνύμφες μύγας στρατιώτη (*Hermetia illucens*), ενήλικα τζιτζίκια (*Acheta domesticus*) και κίτρινο αλευρόβρωχο (*Tenebrio molitor*) για εμπλουτισμό πρωτεϊνών. Το ψωμί με αλεύρι κατσαρίδας έχει πλεονέκτημα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε λιπίδια, με υψηλό ποσοστό ακόρεστων λιπαρών οξέων πλούσιων σε ω-6 και ω-9 [59]. Το ψωμί εμπλουτισμένο με 10% αλεύρι κατσαρίδας παρουσίασε τα καλύτερα διατροφικά χαρακτηριστικά (η πρωτεΐνη αυξήθηκε κατά 49%), χωρίς αλλαγές στην αισθητηριακή ποιότητα (χαμηλές τιμές σκληρότητας ψίχουλου και υψηλή συνολική βαθμολογία ποιότητας) σε σύγκριση με το λευκό και το ολικής αλέσεως ψωμί [59]. Η αυξημένη περιεκτικότητα σε αλεύρι κατσαρίδας είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές συμπίεσης του ψίχουλου (η δημιουργία δικτύου γλουτένης αλλοιώθηκε) τόσο στο λευκό όσο και στο ψωμί ολικής αλέσεως. Ένα άλλο βασικό προϊόν δημητριακών, η τορτίγια καλαμποκιού, έχει εμπλουτιστεί αντικαθιστώντας το αλεύρι καλαμποκιού με 6,5% αλεύρι προνύμφης κίτρινου αλευρόβρωχου (*T. molitor*) [58], [59].

Κεφάλαιο 4: Εναλλακτικά τρόφιμα από μικροοργανισμούς

4.1 Βιοδραστικές ενώσεις προερχόμενες από μικροοργανισμούς

Οι μικροοργανισμοί αποτελούν μια ποικιλόμορφη ομάδα μικροσκοπικών οργανισμών, περιλαμβάνοντας αρχαία, βακτήρια, μύκητες, πρωτόζωα, άλγη και ιούς [60]. Η μικροβιακή ποικιλότητα παράγει μια τεράστια δεξαμενή μοναδικών χημικών ουσιών, οι οποίες έχουν καταστεί πολύτιμες για την καινοτόμο βιοτεχνολογία. Περίπου 23.000 δευτερογενείς μεταβολίτες από μικροοργανισμούς είναι γνωστοί, από τους οποίους οι ακτινομύκητες παράγουν αποκλειστικά περίπου το 42%, οι μύκητες σχεδόν το ίδιο ποσοστό (42%), και το υπόλοιπο 16% παράγεται από ευβακτήρια [61]. Οι δευτερογενείς μεταβολίτες των μικροοργανισμών, όπως είναι οι ορμόνες ανάπτυξης, οι χρωστικές, τα αντιβιοτικά, οι αντικαρκινικοί παράγοντες κ.ά., δεν χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη τους, αλλά έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμοι για την ανθρώπινη υγεία. Αυτές οι βιοδραστικές ενώσεις έχουν καταστεί σημαντικές πηγές για τον σχεδιασμό φαρμάκων [62]. Αυτοί οι δευτερογενείς μεταβολίτες παράγονται κυρίως λόγω της ενεργοποίησης ορισμένων γονιδιακών συμπλεγμάτων, τα οποία είναι γενικά ανενεργά υπό κανονικές συνθήκες· επομένως, η έκφρασή τους είναι σημαντική για την αξιοποίηση της χημικής ποικιλότητας των μικροοργανισμών. Πολλοί από αυτούς τους δευτερογενείς μεταβολίτες διαθέτουν συγκεκριμένη αντιοξειδωτική δράση. Τέτοιες βιοδραστικές ενώσεις αποτελούν πολύτιμα στοιχεία για βιοτεχνολογικές εφαρμογές, ειδικά για τη φαρμακευτική, τη βιομηχανία τροφίμων και τη βιομηχανία καλλυντικών [61]. Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση βιοδραστικών ενώσεων που προέρχονται από μικροοργανισμούς [63]:

1. **Αντιβιοτικά:** Η κατηγορία των αντιβιοτικών περιλαμβάνει μια ποικιλία ενώσεων που παράγονται από μικροοργανισμούς, όπως μύκητες και βακτήρια. Έχουν την ικανότητα να αναστέλλουν την ανάπτυξη ή να θανατώνουν μικρόβια και χρησιμοποιούνται ευρέως για τη θεραπεία μολύνσεων στον άνθρωπο.
2. **Αντιμυκητιασικές ενώσεις:** Ορισμένοι μικροοργανισμοί, όπως οι μύκητες, παράγουν ενώσεις που εμποδίζουν την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θεραπεία μυκητιάσεων και άλλων μυκητιατικών νοσημάτων.

3. **Αντιβακτηριακές ενώσεις:** Οι μικροοργανισμοί παράγουν ενώσεις που μπορούν να αναστέλλουν την ανάπτυξη βακτηριδίων ή να τα εξαλείφουν. Αυτές οι ενώσεις είναι κρίσιμες για τη θεραπεία μολύνσεων που προκαλούνται από ανθεκτικά βακτήρια.
4. **Αντιιικές ενώσεις:** Κάποιοι μικροοργανισμοί παράγουν ενώσεις που μπορούν να αναστέλλουν την ανάπτυξη ιών ή να τους καταστρέψουν. Αυτές οι ενώσεις έχουν εφαρμογές στη θεραπεία ιώσεων και άλλων ιογενών νοσημάτων.
5. **Αντικαρκινικές ενώσεις:** Ορισμένες ενώσεις που παράγονται από μικροοργανισμούς έχουν αντικαρκινικές ιδιότητες, όπως η ερυθρόμυκίνη που εξάγεται από το μύκητα *Penicillium rubrum*.
6. **Άλλες βιοδραστικές ενώσεις:** Πολλές άλλες βιοδραστικές ενώσεις, είναι επίσης προϊόντα φυσικής προέλευσης και μπορούν να έχουν ευρείες εφαρμογές στην υγεία.

Τα εναλλακτικά τρόφιμα προσφέρουν συγκεκριμένα οφέλη για την υγεία πέρα από τη βασική διατροφή. Οι μικροοργανισμοί, ιδιαίτερα τα βακτήρια και οι μύκητες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μιας ποικιλίας εναλλακτικών τροφίμων με μοναδικές ιδιότητες και δυνητικά οφέλη για την υγεία.

Τέτοια λειτουργικά τρόφιμα συνοψίζονται παρακάτω [64], [65].

Τρόφιμα Εμπλουτισμένα με Προβιοτικά

- **Προβιοτικά:** Είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί οι οποίοι όταν καταναλώνονται σε επαρκείς ποσότητες, παρέχουν οφέλη για την υγεία του ξενιστή. Μπορούν να προστεθούν σε διάφορα προϊόντα τροφίμων για τη δημιουργία λειτουργικών τροφίμων.
- **Παραδείγματα:** Γιαούρτι, κεφίρ, ζυμωμένα λαχανικά, kombucha και συμπληρώματα προβιοτικών.
- **Οφέλη:** Τα προβιοτικά μπορούν να βελτιώσουν την πεπτική υγεία, να ενισχύσουν την ανοσία και να υποστηρίξουν την ψυχική ευημερία.

Ζυμωμένα Τρόφιμα

- **Ζύμωση:** Η διαδικασία περιλαμβάνει την ελεγχόμενη ανάπτυξη μικροοργανισμών, οι οποίοι μπορούν να αναδιοργανώσουν τα συστατικά τροφίμων και να παράγουν βιοδραστικές ενώσεις.
- **Παραδείγματα:** Γιαούρτι, τυρί, ξινολάχανο, kimchi, tempeh και miso.

- **Οφέλη:** Τα ζυμωμένα τρόφιμα μπορούν να περιέχουν προβιοτικά, ένζυμα, βιταμίνες και μέταλλα που συμβάλλουν στις λειτουργικές τους ιδιότητες.

✚ **Εναλλακτικά Τρόφιμα Βασισμένα στη Μικροβιακή Χλωρίδα**

- **Εναλλακτικά Τρόφιμα Βασισμένα στη Μικροβιακή Χλωρίδα:** Αυτά τα τρόφιμα σχεδιάζονται για να τροποποιήσουν τη μικροβιακή χλωρίδα του εντέρου, η οποία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη συνολική υγεία.
- **Παραδείγματα:** Τρόφιμα εμπλουτισμένα με πρεβιοτικά (π.χ., ινουλίνη, φρουκτοολιγосακχαρίτες) και προϊόντα που περιέχουν μεταβιοτικά (π.χ., εκχυλίσματα ζυμωμένων τροφίμων).
- **Οφέλη:** Τα εναλλακτικά τρόφιμα βασισμένα στη μικροβιακή χλωρίδα μπορούν να βελτιώσουν την πεπτική υγεία, να ενισχύσουν την ανοσία και να ρυθμίσουν τον μεταβολισμό.

✚ **Βιοδραστικές Ενώσεις που Παράγονται από Μικροοργανισμούς**

- **Βιοδραστικές Ενώσεις:** Οι μικροοργανισμοί μπορούν να παράγουν μια ποικιλία βιοδραστικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων ενζύμων, αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών παραγόντων.
- **Παραδείγματα:** Ένζυμα για τη βελτίωση της πεπτικότητας των τροφίμων, αντιοξειδωτικά για τη μείωση του οξειδωτικού στρες και αντιμικροβιακοί παράγοντες για τη συντήρηση τροφίμων.
- **Οφέλη:** Αυτές οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να συμβάλλουν στις λειτουργικές ιδιότητες των τροφίμων και να προσφέρουν δυνητικά οφέλη για την υγεία.

4.2 Ζυμώμενα τρόφιμα και βιοδραστικά συστατικά

Τα ζυμώμενα τρόφιμα αποτελούν σημαντικό μέρος της διατροφής σε πολλές κουλτούρες και είναι γνωστά για τις θρεπτικές τους ιδιότητες και την πλούσια γεύση τους. Προκύπτουν μέσω της δράσης των μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ζύμες και μύκητες και των ενζύμων τους, σε μια διαδικασία που αναφέρεται ως ζύμωση [66].

Οι μικροοργανισμοί μπορεί να είναι εγγενώς παρόντες στο υπόστρωμα ή να προστεθούν ως καλλιέργεια εκκίνησης ή να βρίσκονται στο περιβάλλον. Για να πραγματοποιηθεί η ζύμωση των τροφίμων πρέπει να συνυπάρχουν ένα κατάλληλο υπόστρωμα, κατάλληλοι μικροοργανισμοί και να υπάρχουν σωστές

περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία, το pH και η περιεκτικότητα σε υγρασία [66]. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, οι υδατάνθρακες και οι σχετικές ενώσεις οξειδώνονται μερικώς και απελευθερώνεται ενέργεια χωρίς την παρουσία εξωτερικού αποδεκτή ηλεκτρονίων. Παράγοντες όπως ο τύπος του υδατάνθρακα, η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου, η παρουσία ανταγωνιστικών μικροοργανισμών και ο χρόνος επηρεάζουν τη διαδικασία [66]. Η μεταβολική δράση των μικροοργανισμών σε συνδυασμό με τις ενζυμικές δραστηριότητες που εμφανίζονται στην πρώτη ύλη, αλλάζουν τις θρεπτικές και βιοδραστικές ιδιότητες των τροφίμων και ενδέχεται να παραχθούν ενώσεις με ευεγερτική δράση για την υγεία [67].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ζυμωμένα τρόφιμα εμπλουτίζονται με βιοδραστικά συστατικά [66], [67], [68]:

1. **Δραστηριότητα Μικροοργανισμών:** Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν τα συστατικά των τροφίμων σε ποικιλία βιοδραστικών ενώσεων.
 - Τα βακτήρια, όπως τα γαλακτικά βακτήρια, παράγουν γαλακτικό οξύ, το οποίο συμβάλλει στην όξινη γεύση των ζυμωμένων τροφίμων και έχει πιθανές αντιμικροβιακές ιδιότητες.
 - Οι μύκητες μπορούν να παράγουν βιταμίνες, ιδιαίτερα βιταμίνες του συμπλέγματος B, και να ενισχύσουν το προφίλ γεύσης.
 - Κάποιες μούχλες μπορούν να παράγουν βιοδραστικούς μεταβολίτες, όπως οργανικά οξέα και πολυσακχαρίτες, οι οποίοι μπορεί να έχουν θεραπευτικά οφέλη.
2. **Αυξημένη Διαθεσιμότητα:** Η ζύμωση ενδέχεται να διασπάσει πολύπλοκα μόρια στα τρόφιμα, βελτιώνοντας την απορρόφησή τους από τον οργανισμό. Το γεγονός αυτό, μπορεί να βελτιώσει τη διαθεσιμότητα ορισμένων θρεπτικών ουσιών και μετάλλων, όπως του σιδήρου και του ψευδαργύρου. Επιπλέον, η ζύμωση απελευθερώνει βιοδραστικές ενώσεις καθιστώντας τις διαθέσιμες για βιολογική δράση.
3. **Δημιουργία Νέων Βιοδραστικών Ενώσεων:** Οι μικροοργανισμοί μπορούν να συνθέτουν νέες βιοδραστικές ενώσεις κατά τη διάρκεια της ζύμωσης που δεν ήταν παρούσες στο αρχικό τρόφιμο.

- Πεπτίδια με πιθανά θεραπευτικά οφέλη, όπως αντιυπερτασικές ή ανοσορρυθμιστικές ιδιότητες, μπορεί να δημιουργηθούν.
- Εξωπολυσακχαρίτες, πολύπλοκα σάκχαρα με πιθανή πρεβιοτική δράση, μπορούν να παράγονται από ορισμένα βακτήρια.

Όπως είναι γνωστό κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, μπορεί να συμβεί πρωτεόλυση από τα ένζυμα των μικροοργανισμών. Συνεπώς, πεπτίδια και ελεύθερα αμινοξέα βρίσκονται σε υψηλή περιεκτικότητα στα ζυμωμένα τρόφιμα. Οι Gosh et al. [69] παρατήρησαν ότι ελεύθερη κυστεΐνη, ιστιδίνη και ασπαραγίνη είναι διαθέσιμες σε ζυμωμένο γιαούρτι από γάλα αγελάδας και σόγιας. Οι Lorusso et al. [70] βρήκαν βελτιωμένη πεπτικότητα πρωτεϊνών σε προϊόντα τύπου γιαουρτιού που προήλθαν από ζύμωση με *Lb. rhamnosus SP1*, *Weissella confusa DSM 20194*, και *Lb. plantarum T6B10*.

Τα ζυμωμένα τρόφιμα επηρεάζουν την ευημερία του ανθρώπου χάρη σε πολλές ιδιότητες. Η ζύμωση καθιστά τα τρόφιμα πιο εύπεπτα, λόγω της προ-πέψης που επιτυγχάνεται. Μειώνει πολλούς αντι-θρεπτικούς παράγοντες που αναστέλλουν τα πεπτικά ένζυμα, όπως ο αναστολέας της θρυψίνης, που εμποδίζει τη βέλτιστη απορρόφηση των μετάλλων [66]. Τα ζυμωμένα τρόφιμα μπορεί επίσης να έχουν πρεβιοτική δράση, παρέχοντας στο έντερο βακτήρια που ενισχύουν τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος, βελτιώνουν την πέψη και την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών [66]. Ακολουθεί μια επισκόπηση των βιοδραστικών συστατικών σε ζυμωμένα τρόφιμα:

1. **Πρεβιοτικά:** Ορισμένα ζυμωμένα τρόφιμα περιέχουν πρεβιοτικά, τα οποία είναι άπεπτα συστατικά τροφής που προάγουν την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των ευεργετικών βακτηριδίων στο πεπτικό σύστημα. Τα πρεβιοτικά βοηθούν στην πέψη, την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών και την υποστήριξη του ανοσοποιητικού συστήματος. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη λακτίνη και την ινουλίνη που παράγονται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.
2. **Αντιοξειδωτικά:** Ορισμένα ζυμωμένα τρόφιμα περιέχουν φυσικά αντιοξειδωτικά που μπορούν να προστατεύσουν τα κύτταρα από το οξειδωτικό στρες που προκαλείται από τις ελεύθερες ρίζες. Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο ασθενειών, όπως

καρδιαγγειακές ασθένειες και καρκίνος. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη βιταμίνη C και το σελήνιο που παράγονται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.

3. **Πεπτικά ένζυμα:** Τα ζυμώμενα τρόφιμα μπορούν να περιέχουν πεπτικά ένζυμα που βοηθούν στην πέψη των τροφίμων και την απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών. Αυτά τα ένζυμα μπορούν να βελτιώσουν την πέψη και να ενισχύσουν τη γαστρική υγεία.
4. **Βιταμίνες και μέταλλα:** Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, ορισμένα ζυμώμενα τρόφιμα μπορεί να παράγουν βιταμίνες και μέταλλα που είναι σημαντικά για την υγεία, όπως η βιταμίνη B12 και το φωσφόρος.
5. **Άλλα βιοδραστικά συστατικά:** Πολλά ζυμώμενα τρόφιμα περιέχουν άλλα βιοδραστικά συστατικά, όπως πολυφαινόλες, που μπορούν να έχουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες και να προστατεύουν το καρδιαγγειακό σύστημα.

Τα ζυμωμένα τρόφιμα, επομένως έχουν μοναδικές λειτουργικές ιδιότητες διότι προσφέρουν ορισμένα οφέλη για την υγεία των καταναλωτών λόγω της παρουσίας λειτουργικών μικροοργανισμών, οι οποίοι διαθέτουν προβιοτικές ιδιότητες, αντιμικροβιακή, αντιοξειδωτική δράση, παραγωγή πεπτιδίων κ.ά. Τα οφέλη για την υγεία ορισμένων παγκόσμιων ζυμωμένων τροφίμων περιλαμβάνουν τη σύνθεση θρεπτικών συστατικών, την πρόληψη καρδιαγγειακών νοσημάτων, καρκίνου, γαστρεντερικών διαταραχών, αλλεργικών αντιδράσεων, διαβήτη, μεταξύ άλλων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα οφέλη των βιοδραστικών ενώσεων στα ζυμωμένα τρόφιμα [67], [71], [72]:

- **Βελτίωση της Υγείας του Εντέρου:** Τα πρεβιοτικά στα ζυμωμένα τρόφιμα προάγουν την ανάπτυξη ευεργετικών βακτηρίων του εντέρου, βελτιώνοντας την πέψη, την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος.
- **Ενίσχυση της Αντιοξειδωτικής Δράσης:** Βιοδραστικές ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες μπορούν να συνεισφέρουν στη μείωση του οξειδωτικού στρες, πιθανώς μειώνοντας τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών.
- **Αντιμικροβιακές Ιδιότητες:** Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορεί να έχουν αντιμικροβιακή δράση, αναστέλλοντας την ανάπτυξη επιβλαβών βακτηρίων και προάγοντας την ασφάλεια των τροφίμων.

- **Πιθανές Αντιφλεγμονώδεις Επιδράσεις:** Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις ενδέχεται να ρυθμίζουν μονοπάτια φλεγμονών.
- **Βελτιωμένη Διαθεσιμότητα Θρεπτικών Συστατικών:** Η αυξημένη διαθεσιμότητα βιταμινών, μετάλλων και άλλων θρεπτικών ουσιών ενισχύει την απορρόφησή τους και τη χρησιμοποίησή τους από τον ανθρώπινο οργανισμό.

4.3 Φύκη ως εναλλακτικά τρόφιμα

Τα φύκη κερδίζουν συνεχώς δημοτικότητα ως «υπερτροφές» σε διάφορες κατηγορίες τροφίμων και ποτών, είτε ως κύρια συστατικά, είτε ως αρωματικές ουσίες ή φυσικές χρωστικές σε προϊόντα υψηλής ποιότητας [73]. Εκτός από την τεράστια βιοποικιλότητα και τη βιωσιμότητα, τα φύκη αποτελούν πολύτιμη πηγή πρωτεϊνών, υδατανθράκων, φαινολών, βιταμινών και μετάλλων, ανάλογα με το είδος τους [73], [74]. Τα φύκη ταξινομούνται σε μακροφύκη και αναφέρονται σε μακροσκοπικά, πολυκύτταρα και θαλάσσια φύκη [καφέ (*Phaeophyceae*), κόκκινα (*Rhodophyceae*) και πράσινα (*Chlorophyceae*)] [73], [75] και μικροφύκη που αναφέρονται σε μικροσκοπικά, γλυκόνερα και θαλάσσια μονοκύτταρα είδη, συμπεριλαμβανομένων των κυανοβακτηρίων, κοινώς γνωστών ως μπλε-πράσινα φύκων, καθώς και πράσινα, σκούρα χρωματιστά και κόκκινα φύκη [73], [75].

Στη βιομηχανία τροφίμων, αρκετές εταιρείες επικεντρώνονται στην παραγωγή και εμπορευματοποίηση τροφίμων βασισμένων σε βιομάζα μακροφυκών και προϊόντων που προέρχονται από αυτά [73]. Τα μακροφύκη αποτελούν υποσχόμενες πηγές βιοδραστικών πεπτιδίων και υδατανθράκων με δυνητικά ευεργετικές βιολογικές δράσεις (π.χ. αντιυπερτασική, αντιπηκτική, αντιοξειδωτική, αντιπολλαπλασιαστική και ανοσοδιεγερτική) [74]. Επιπλέον, τα φύκη περιέχουν πολυσακχαρίτες, όπως αλγινικό νάτριο, καρραγενάνες και άγαρ, που χρησιμοποιούνται συνήθως ως υδροκολλοειδή τροφίμων, παρέχοντας σχετική λειτουργικότητα υφής (π.χ. σταθεροποιητές, πυκνωτικά και γαλακτωματοποιητές) σε πολλά επεξεργασμένα τρόφιμα [73].

Τα τελευταία δέκα χρόνια, η παραγωγή τροφίμων εμπλουτισμένων με μικροάλη ή ενώσεις που προέρχονται από μικροάλη έχει κερδίσει όλο και περισσότερη προσοχή λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης των καταναλωτών σχετικά με τη θρεπτική τους σύνθεση και τα σχετικά οφέλη για την υγεία [74]. Τα μικροφύκη χρησιμοποιήθηκαν στην αναδιαμόρφωση πολλών

παραδοσιακών προϊόντων, όπως τα ζυμαρικά [74], η σούπα λαχανικών [73], το ψωμί [73] και τα σνακ [73]. Τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα περιέχουν είτε σπιρουλίνα είτε χλωρέλλα, κυρίως λόγω της διαδεδομένης χρήσης τους, ενώ άλλα είδη πρέπει να υποβληθούν στον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 για τα Νέα Τρόφιμα πριν από την εμπορευματοποίησή τους [76].

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες των θαλασσίων φυκών διαφέρει ανάλογα με διάφορους παράγοντες. Επιπλέον, η σύγκριση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες μεταξύ των φυκών είναι δύσκολη λόγω των μεθοδολογικών διαφορών, ειδικά κατά την εξαγωγή πρωτεϊνών και του μεγάλου αριθμού ειδών που έχουν ταυτοποιηθεί έως σήμερα [74]. Αν και τα καφέ φύκη συνήθως περιέχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες σε σύγκριση με τα πράσινα ή τα κόκκινα φύκη, οι Lourenço, Barbarino, De-Paula, Pereira και Marquez [77] ανέφεραν σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες που κυμαίνεται μεταξύ 10 και 15% για τα είδη *Chnoospora minima*, *Dictyota menstrualis*, *Padina gymnospora* και *Sargassum vulgare* [74]. Τα κοινά καφέ φύκη περιλαμβάνουν τα είδη *Laminaria digitata*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* και *Himanthalia elongata* [74], [77]. Υψηλότερες συγκεντρώσεις πρωτεΐνης αναφέρθηκαν σε κόκκινα φύκη, όπως το *Phorphyra tenera* και το *Palmaria palmata*, τα οποία μπορούν να ανέλθουν έως και το 47% [74]. Αρκετές πρωτεΐνες που προέρχονται από φύκη έχουν ταυτοποιηθεί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία βιολογικά δραστικών πεπτιδίων με ευεργετικές για την υγεία ιδιότητες [74].

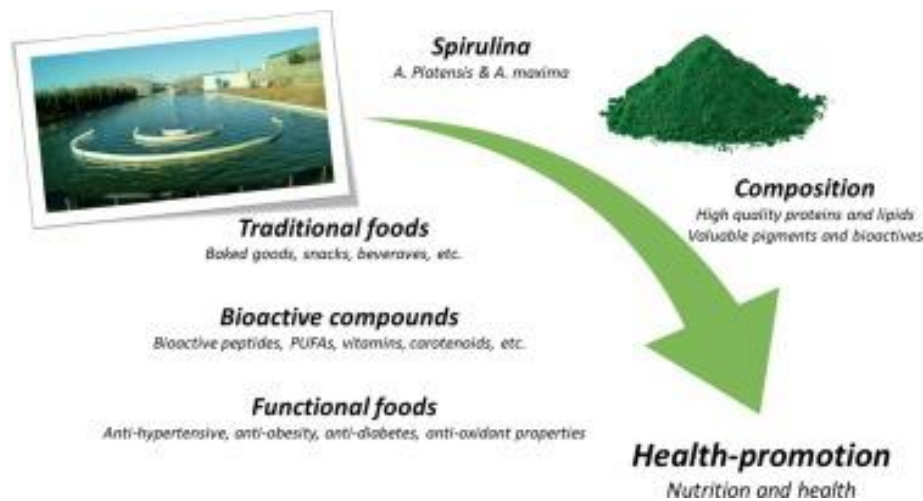
Ωστόσο, μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών πρωτεϊνών που έχουν ταυτοποιηθεί, είναι σημαντικό να τονιστούν οι λεκτίνες και οι φυκοβιλιπρωτεΐνες [74]. Οι λεκτίνες είναι γλυκοπρωτεΐνες με ιδιότητες δεσμεύσεως υδατανθράκων που τους επιτρέπουν να συσσωρεύουν μικρόβια, ζύμες, καρκινικά κύτταρα και ερυθροκύτταρα [78]. Οι λεκτίνες είναι πολύ ενδιαφέρουσες για μια ποικιλία εφαρμογών σε ανοσολογικές και ιστοχημικές μελέτες [79] καθώς και σε γεωργικές και ιατρικές εφαρμογές λόγω των αντιμικροβιακών, αντικαρκινικών και αντιιικών δράσεών τους [74]. Επιπλέον, οι φυκοβιλιπρωτεΐνες είναι χρωμοφόρες ενώσεις και ιδιαίτερα φθορίζοντα συστατικά που χρησιμοποιούνται σήμερα σε πολλές τεχνικές που βασίζονται στον φθορισμό, όπως η ανοσοφθορισμότητα, η ταξινόμηση κυττάρων που ενεργοποιείται με φθορισμό και οι μικροπλακιδιακές αναλύσεις φθορισμού [74].

Τα φύκη περιέχουν επίσης μεγάλες ποσότητες πολυσακχαριτών με σημαντικές λειτουργίες για τα κύτταρα των μακροφυκών, συμπεριλαμβανομένης της δομικής και της αποθήκευσης ενέργειας [74]. Οι συνολικές συγκεντρώσεις πολυσακχαριτών στα μακροφύκη κυμαίνονται από 4 έως 76% του συνολικού ξηρού βάρους με τις υψηλότερες περιεκτικότητες να περιγράφονται στα είδη *Ascophyllum*, *Porphyra* και *Palmaria*, αν και άλλα πράσινα είδη όπως το *Ulva* έδειξαν περιεκτικότητες έως και 65% του συνολικού ξηρού βάρους [74]. Οι πολυσακχαρίτες των φυκών περιλαμβάνουν βιοδραστικές ενώσεις όπως αλγινικό νάτριο, καρραγενάνη, κ.α [74], [80].

Επιπλέον, τα φύκη είναι χαμηλά σε θερμίδες από διατροφική άποψη. Η περιεκτικότητα σε λιπίδια είναι χαμηλή, αν και η περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες είναι υψηλή, το μεγαλύτερο μέρος αυτών είναι διαιτητικές ίνες και δεν απορροφούνται από τον ανθρώπινο οργανισμό. Ωστόσο, οι διαιτητικές ίνες είναι «καλές» για την ανθρώπινη υγεία καθώς δημιουργούν ένα εξαιρετικό εντερικό περιβάλλον [80]. Τα εδώδιμα φύκη περιέχουν 33-62% συνολικές ίνες ανά ξηρό βάρος, ποσοστό υψηλότερο από τα επίπεδα που βρίσκονται στα ανώτερα φυτά, και αυτές οι ίνες είναι πλούσιες σε διαλυτά κλάσματα. Οι διαιτητικές ίνες που περιλαμβάνονται στα θαλάσσια φύκη ταξινομούνται σε δύο τύπους, δηλαδή αδιάλυτες όπως η κυτταρίνη, οι μαννάνες και η ξυλάνη και υδατοδιαλυτές διαιτητικές ίνες όπως το άγαρ, το αλγινικό οξύ, το φουροράνιο, η λαμιναράνη και η πορφυράνη [80].

Το πιο γνωστό είδος από τα μικροφύκη είναι η *Spirulina*, η οποία είναι ένα εμπορικό όνομα που δίνεται για να περιγράψει κυρίως δύο είδη κυανοβακτηρίων: το *Arthrospira platensis* και το *Arthrospira maxima* [81]. Η *Spirulina* είναι το πλέον καλλιεργημένο μικροφύκος παγκοσμίως - πάνω από το 30% της παγκόσμιας παραγωγής βιομάζας μικροφυκών προέρχεται από την *Spirulina* [81], [82]. Η *Spirulina* είναι κυρίως γνωστή λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες, η οποία είναι περίπου 60% σε ξηρό βάρος [81] και ενδέχεται να φτάσει έως και το 70% ανά ξηρό βάρος όταν καλλιεργείται υπό συνθήκες που δεν περιορίζονται από τη πρόσληψη αζώτου [81]. Ωστόσο, αυτός ο πολύτιμος πόρος είναι επίσης πλούσια πηγή άλλων ενώσεων υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως οι χλωροφύλλες, τα καροτενοειδή και οι φυκοβιλιπρωτεΐνες [81]. Τα παραπάνω αποτελούν χρωμοφόρες ενώσεις με πιθανές εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων ως χρωστικές ουσίες. Παρά το γεγονός ότι δεν είναι τόσο σταθερές όσο τα συνθετικά αντίστοιχά τους, οι

χρωστικές ουσίες που προέρχονται από την *Spirulina* έχουν το πρόσθετο πλεονέκτημα της άσκησης πιθανών οφέλων για την υγεία κατά την κατάποση, καθώς για παράδειγμα τα καροτενοειδή έχουν δράση προβιταμίνης A και η κατανάλωσή τους έχει συσχετιστεί με ενισχυμένο ανοσοποιητικό σύστημα και μειωμένο κίνδυνο ανάπτυξης εκφυλιστικών χρόνιων ασθενειών, καρδιαγγειακών παθήσεων και ορισμένων τύπων καρκίνου [81]. Τα πιο συχνά μελετημένα εμπορικά τρόφιμα όπου περιέχουν *Spirulina* είναι τα προϊόντα με βάση τα δημητριακά, όπως τα ζυμαρικά, το ψωμί ή τα μπισκότα. Πρόσφατα, οι Niccolai et al. [83] αξιολόγησαν το δυναμικό της *Spirulina* για χρήση ως συστατικό στην ανάπτυξη του ψωμιού του τοστ (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Η χρήση της σπιρουλίνας για την ανάπτυξη εναλλακτικών τροφίμων [81].

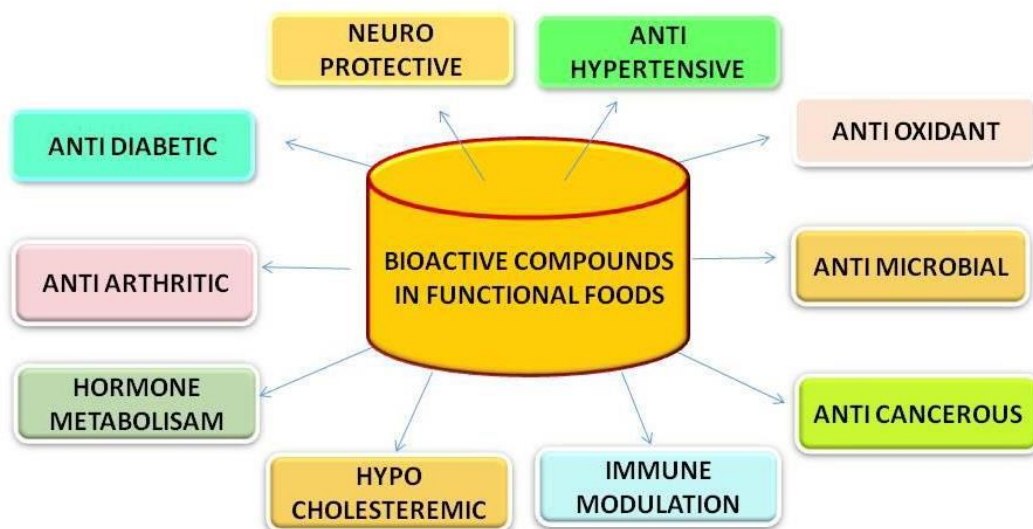
Κεφάλαιο 5: Οφέλη για την ανθρώπινη υγεία και πιθανές εφαρμογές

5.1 Εισαγωγή

Οι βιοδραστικές ουσίες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι γνωστές ως φυσικά συστατικά τροφίμων, είναι μη θρεπτικά συστατικά που απαντώνται στα τρόφιμα φυτικής και ζωικής προέλευσης και ασκούν φυσιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Γι' αυτό το λόγο οι ενώσεις αυτές μελετούνται εκτενώς προκειμένου να αποσαφηνιστεί η βιολογική τους δράση στον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ τα εναλλακτικά τρόφιμα έχουν αναδειχθεί ως υποσχόμενες επιλογές για την πρόληψη και θεραπεία διαφόρων ασθενειών [22].

Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι ο ανθυγιεινός τρόπος ζωής καθώς και το στρες επηρεάζουν συνδυαστικά το ανοσοποιητικό σύστημα, αυξάνοντας τον κίνδυνο πολλαπλών καρδιαγγειακών διαταραχών, εγκεφαλοαγγειακών παθήσεων, λοιμώξεων και ασθενειών, όπως ο καρκίνος (Εικόνα 6). Από την ολοένα αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για την επίδραση της διατροφής στην υγεία, η ζήτηση για λειτουργικά τρόφιμα και συμπληρώματα διατροφής έχει αυξηθεί σημαντικά. Για τον αντιμικροβιακό τους ρόλο και για την επίδρασή τους στο ανοσολογικό σύστημα των ανθρώπων, συγκεκριμένα βιοδραστικά συστατικά έχουν ενσωματωθεί ως πρόσθετα σε λειτουργικά τρόφιμα, συμπληρώματα διατροφής και φάρμακα, όπου οι βιολογικές τους δράσεις μπορούν να βοηθήσουν στον έλεγχο και την πρόληψη ασθενειών [22].

BIOLOGICAL PROPERTIES OF BIOACTIVE COMPOUNDS



Εικόνα 6: Τομείς στους οποίους επιδρούν οι βιοδραστικές ενώσεις και σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία [12].

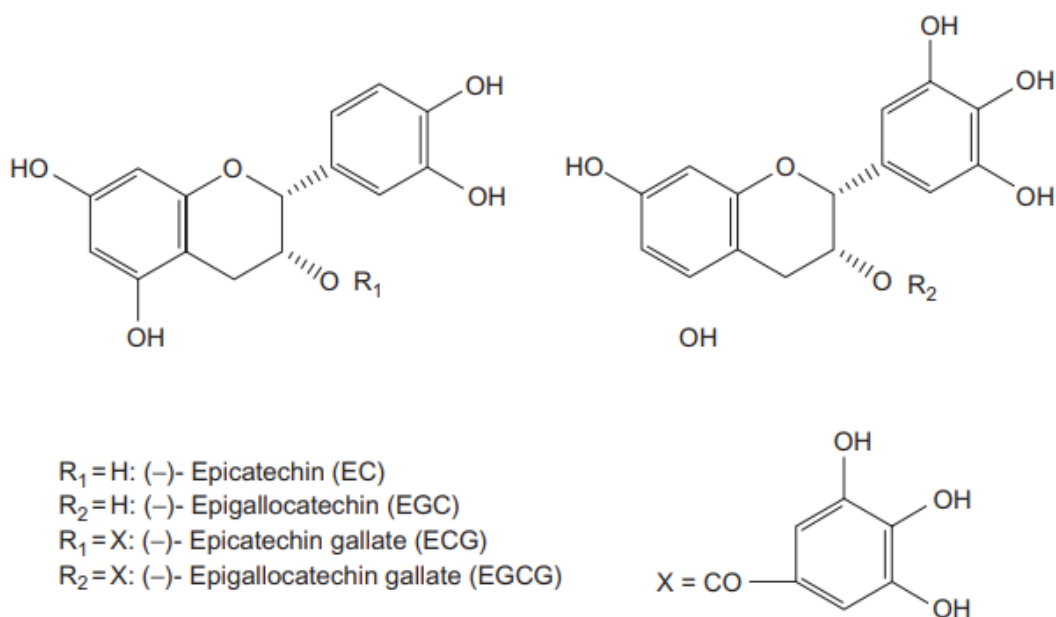
Ο ακριβής βιολογικός μηχανισμός μέσω του οποίου τα βιοδραστικά συστατικά των τροφίμων παρέχουν οφέλη για την υγεία δεν είναι επαρκώς κατανοητός. Μπορούν να λειτουργούν σε διαφορετικούς ή παρόμοιους στόχους ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι τα βιοδραστικά συστατικά των τροφίμων μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο καρκίνου, καρδιαγγειακών παθήσεων, οστεοπόρωσης και λοιμώξεων [84]. Οι επιδράσεις τους πραγματοποιούνται μέσω διαφόρων μηχανισμών δράσης σε μοριακό και κυτταρικό επίπεδο. Παρακάτω παρουσιάζεται μια επισκόπηση των κύριων τρόπων λειτουργίας των βιοδραστικών ενώσεων [4], [22], [85], [86]:

1. Αλληλεπίδραση με Βιομόρια:

Ένζυμα: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να συνδέονται άμεσα με ένζυμα, προκαλώντας είτε την αναστολή τους είτε την ενεργοποίησή τους. Το γεγονός αυτό μπορεί να επηρεάσει διάφορα μεταβολικά μονοπάτια και κυτταρικές διαδικασίες. Για παράδειγμα, η κουρκουμίνη (από την κουρκουμά) μπορεί να αναστέλλει ένζυμα που συμμετέχουν στη φλεγμονή.

DNA και RNA: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να αλληλεπιδρούν με το DNA ή το RNA, επηρεάζοντας την έκφραση γονιδίων. Αυτό μπορεί να

ρυθμίσει την παραγωγή πρωτεϊνών που συμμετέχουν σε διάφορες κυτταρικές λειτουργίες. Οι πολυφαινόλες του πράσινου τσαγιού (οι πιο απλές πολυφαινολικές ενώσεις που απαντώντε στο τσάι είναι οι κατεχίνες (Εικόνα 7) [87], [88], για παράδειγμα, μπορεί να επηρεάσουν την έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με διαδρομές κυτταρικού θανάτου.



Εικόνα 7. Η βασική δομή των κατεχινών του τσαγιού [87].

2. Αντιοξειδωτική Δράση:

Οι ελεύθερες ρίζες είναι ασταθή μόρια που μπορούν να βλάψουν κύτταρα και να συμβάλουν σε διάφορες ασθένειες. Οι βιοδραστικές ενώσεις με αντιοξειδωτικές ιδιότητες μπορούν να αντιδρούν με τις ελεύθερες ρίζες, αναιρώντας τις επιβλαβείς τους επιδράσεις. Η βιταμίνη C και E είναι κλασικά παραδείγματα αντιοξειδωτικών.

3. Αντιφλεγμονώδη Δράση:

Η φλεγμονή είναι μια φυσιολογική ανοσιακή απόκριση, αλλά η χρόνια φλεγμονή μπορεί να είναι βλαβερή. Οι βιοδραστικές ενώσεις με αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες μπορούν να ρυθμίζουν κυτταρικά μονοπάτια που εμπλέκονται στη φλεγμονή, μειώνοντας την ένταση και τη διάρκειά της. Ωμέγα-3 λιπαρά οξέα που βρίσκονται σε ιχθυηρά αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα ενώσεων με αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες.

4. Αντιμικροβιακή Δράση:

Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να διαταράξουν τις κυτταρικές μεμβράνες των μικροβίων (βακτηρίων, ιών, μυκήτων) ή να αναστείλουν την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι επωφελές για την καταπολέμηση των λοιμώξεων και την προώθηση της υγείας του εντέρου. Αιθέρια έλαια όπως η θυμόλη και η καρβακρόλη (που απαντώνται στο θυμάρι και στη ρίγανη) μπορεί να παρουσιάζουν αντιμικροβιακή δράση.

5. Ρύθμιση του Μικροβιώματος του Εντέρου:

Το μικροβίωμα του εντέρου είναι ένα πολύπλοκο οικοσύστημα βακτηρίων που επηρεάζει την πέψη, την απορρόφηση θρεπτικών ουσιών και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να δρουν ως προβιοτικά, προωθώντας την ανάπτυξη ευεργετικών βακτηρίων του εντέρου, ή να ρυθμίζουν άμεσα τη σύνθεση του μικροβιώματος του εντέρου, οδηγώντας σε θετικά αποτελέσματα για την υγεία. Διαιτητικές ίνες και ορισμένες πολυφαινόλες μπορούν να επηρεάσουν το μικροβίωμα του εντέρου.

6. Ρύθμιση Ορμονών:

Κάποιες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να αλληλεπιδρούν με ορμόνες ή ένζυμα που συμμετέχουν στον μεταβολισμό των ορμονών. Αυτό μπορεί να επηρεάσει διάφορες φυσιολογικές διαδικασίες, όπως ο έλεγχος της γλυκόζης του αίματος, η υγεία των οστών και η διάθεση. Φυτοοιστρογόνα της διατροφής, για παράδειγμα, μπορεί να έχουν ασθενή ενδοκρινολογική επίδραση.

5.2 Αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδης δράση

Τα αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που εμποδίζουν ή επιβραδύνουν την οξειδωση των συστατικών. Οι βιοδραστικές ενώσεις, που απαντώνται σε αφθονία στα φυτικά τρόφιμα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία του οργανισμού από τις βλάβες που προκαλούνται από τις ελεύθερες ρίζες [89].

Οι ελεύθερες ρίζες είναι ασταθή μόρια που περιέχουν ένα ή περισσότερα ασύζευκτα ηλεκτρόνια. Η υπερπαραγωγή ελευθέρων ριζών μπορεί να προκληθεί από διάφορους παράγοντες, όπως το άγχος, η κακή διατροφή, η ρύπανση και η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, οδηγώντας σε οξειδωτικό στρες [12].

Το οξειδωτικό στρες βλάπτει τα κύτταρα και το DNA, αυξάνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων ασθενειών όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες [89]. Οι βιοδραστικές ενώσεις, με τις αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες και παρέχοντας προστασία των κυττάρων [89].

5.2.1 Μηχανισμοί αντιοξειδωτικής δράσης

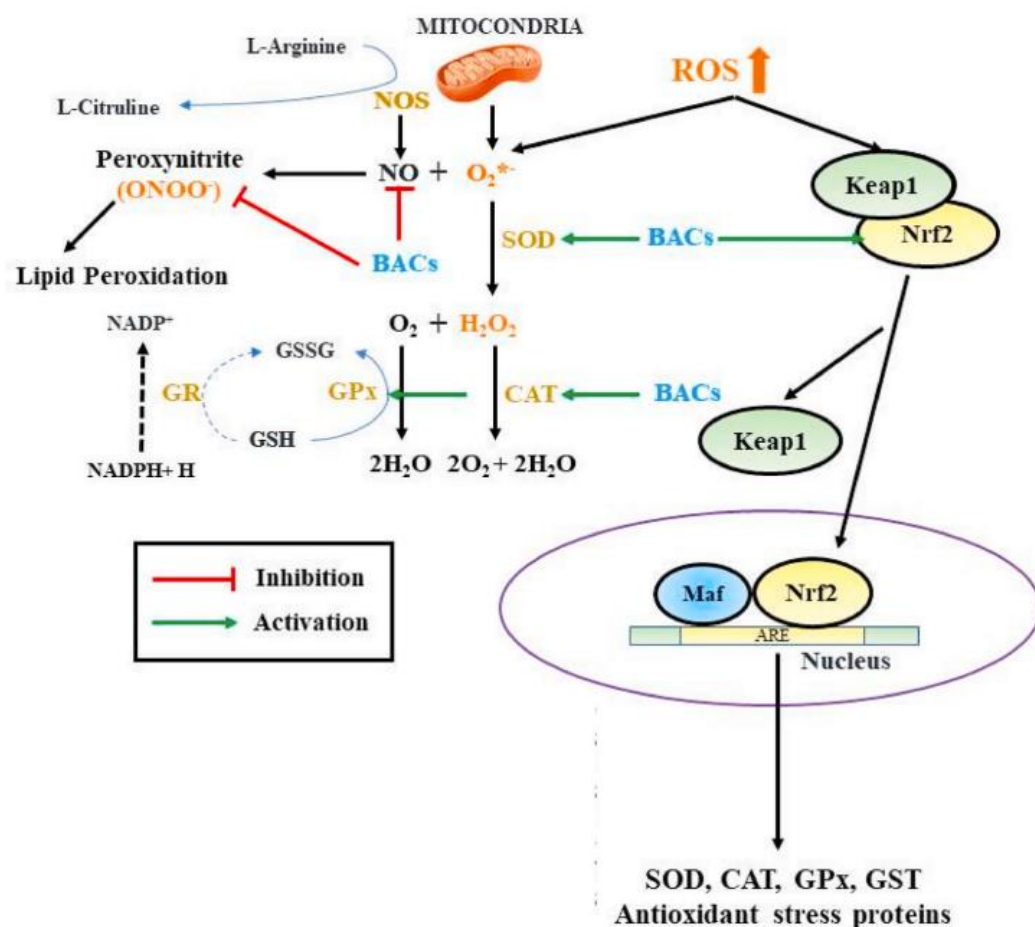
Οι βιοδραστικές ενώσεις ασκούν την αντιοξειδωτική τους δράση μέσω διαφόρων μηχανισμών, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες [89], [90]:

- ↪ Απευθείας εξουδετέρωση ελευθέρων ριζών: Οι βιοδραστικές ενώσεις δρουν ως δότες ηλεκτρονίων σε μια ελεύθερη ρίζα, σταθεροποιώντας την και αποτρέποντας την περαιτέρω βλάβη. Η βιταμίνη C και η βιταμίνη E είναι παραδείγματα βιοδραστικών ενώσεων που δρουν με αυτόν τον τρόπο [91].
- ↪ Προσθήκη πρωτονίου: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να προσθέσουν ένα πρωτόνιο σε μια ελεύθερη ρίζα, εξουδετερώνοντας το φορτίο της και καθιστώντας την λιγότερο δραστήρια. Η γλουταθειόνη είναι ένα παράδειγμα βιοδραστικής ένωσης που δρα με αυτόν τον τρόπο.
- ↪ Χηλίωση μετάλλων μετάπτωσης: Ορισμένα μέταλλα μετάπτωσης, όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, μπορούν να καταλύσουν αντιδράσεις που παράγουν ελεύθερες ρίζες. Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να δεσμεύσουν αυτά τα μέταλλα, αποτρέποντας την παραγωγή ελευθέρων ριζών. Η φερριτίνη είναι ένα παράδειγμα πρωτεΐνης που δρα με αυτόν τον τρόπο.
- ↪ Ενεργοποίηση ενζύμων αντιοξειδωτικής άμυνας: Ο οργανισμός διαθέτει μια σειρά από ένζυμα που μπορούν να διασπάσουν τις ελεύθερες ρίζες και τα τοξικά προϊόντα τους. Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να ενεργοποιήσουν αυτά τα ένζυμα, αυξάνοντας την ικανότητα του οργανισμού να προστατεύεται από το οξειδωτικό στρες. Η οξειδάση του αδενοσινικού (NADPH) είναι ένα παράδειγμα ενζύμου που ενεργοποιείται από βιοδραστικές ενώσεις.
- ↪ Μείωση της παραγωγής ελευθέρων ριζών: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν επίσης να μειώσουν άμεσα την παραγωγή ελευθέρων ριζών, παρεμβαίνοντας στις βιοχημικές αντιδράσεις που τις παράγουν. Η δισμουτάση του σουπεροξειδίου (SOD) είναι ένα παράδειγμα ενζύμου που μειώνει την παραγωγή υπεροξειδίου του υδρογόνου [92].

Το οξειδωτικό στρες σχετίζεται με την ανάπτυξη διάφορων ασθενειών, όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις, οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες και η γήρανση [89], [92]. Η βιταμίνη C και η βιταμίνη E είναι παραδείγματα βιοδραστικών ενώσεων με αντιοξειδωτικές ιδιότητες [91]. Οι αντιοξειδωτικές ενώσεις βρίσκονται σε μεγάλη ποικιλία τροφίμων, όπως [11], [61]:

- **Φρούτα:** Φράουλες, βατόμουρα, πορτοκάλια, μπρόκολο, σπανάκι
- **Λαχανικά:** Ντομάτες, πιπεριές, καρότα, γλυκοπατάτες
- **Ξηροί καρποί και σπόροι:** Αμύγδαλα, καρύδια, ηλιόσποροι
- **Δημητριακά ολικής αλέσεως:** Βρώμη, κινόα, καστανό ρύζι
- **Μαύρη σοκολάτα**
- **Πράσινο τσάι**

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως τα συστατικά που παρουσιάζουν αντιοξειδωτική δράση, έχουν την ικανότητα να αναστέλλουν ή να καθυστερούν την οξειδωτική βλάβη των νουκλεϊκών οξέων και των πρωτεϊνών. Τα προϊόντα διάσπασης λόγω της οξειδωσης, δηλαδή οι ελεύθερες ρίζες και οι δραστικές ρίζες οξυγόνου συνδέονται με χρόνιες ασθένειες, γι' αυτό το λόγο να υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για τις ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση. Τα φαινολικά συστατικά, λόγω της δραστηριότητας των φαινολικών κλασμάτων εμφανίζουν ισχυρή αντιοξειδωτική δράση. Ο μηχανισμός δράσης των αντιοξειδωτικών βιοδραστικών ενώσεων παρουσιάζεται στην Εικόνα 8 [4], [93].



Εικόνα 8. Μηχανισμός αντιοξειδωτικής δράσης των βιοδραστικών ενώσεων [4].

Μεγάλη ποικιλία φαινολικών συστατικών με αντιοξειδωτικές δράσεις υπάρχουν επίσης στα δημητριακά [4]. Επιπλέον, περιλαμβάνονται φαινολικά οξέα, σαπωνίνες, φυτοιστρογόνα και φλαβονοειδή. Ορισμένα από αυτά υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες ενώ άλλα είναι σε πολύ μικρές ποσότητες. Διάφορα εκχυλίσματα από σιτάρι και κριθάρι έχουν δείξει αντιοξειδωτικό δυναμικό μέσω της ικανότητάς τους να εξουδετερώνουν ελεύθερες ρίζες [94]. Το πίτουρο ρυζιού είναι πλούσιο σε φυτοχημικά, γεγονός που του προσδίδει υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα [95].

Επιπλέον, το ρύζι (*Oryza sativa* L.) [96] είναι ένα κοινό τρόφιμο που καταναλώνεται σε όλο τον κόσμο. Υπάρχουν διάφορες ποικιλίες ρυζιού, όπως το μαύρο, το κόκκινο και το καστανό ρύζι. Υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον από τους ερευνητές σχετικά με τις ποικιλίες ρυζιού λόγω των πλούσιων διατροφικών τους χαρακτηριστικών. Έγχρωμες ρίζες λαχανικών, όπως τα μωβ καρότα, το κόκκινο

κρεμμύδι και η μελιτζάνα είναι οι απόλυτες πηγές βιοδραστικών ενώσεων, όπως είναι τα αντιοξειδωτικά και οι ανθοκυανίνες [97].

5.2.2 Μηχανισμοί αντιφλεγμονώδους δράσης

Η φλεγμονή αποτελεί μια φυσιολογική ανοσολογική απάντηση σε βλάβες ή λοιμώξεις, η οποία χαρακτηρίζεται από ερυθρότητα, πόνο, οίδημα και θερμότητα. Ωστόσο, η χρόνια φλεγμονή σχετίζεται με την ανάπτυξη διάφορων ασθενειών, όπως η αρθρίτιδα, ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και οι αυτοάνοσες ασθένειες. Οι βιοδραστικές ενώσεις με αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες μπορούν να συμβάλουν στην πρόληψη και τη θεραπεία φλεγμονωδών ασθενειών με διάφορους μηχανισμούς [89], [98]:

- ↪ Μείωση της παραγωγής φλεγμονών: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να αναστείλουν τα ένζυμα που εμπλέκονται στην παραγωγή φλεγμονών, όπως οι κυκλοοξυγενάσες (COX) και η λιποξυγενάση (LOX). Η κουρκουμίνη, ένα συστατικό του κουρκουμά, είναι ένα παράδειγμα βιοδραστικής ένωσης που αναστέλλει την COX-2, ένα ένζυμο που παράγει προσταγλανδίνες, οι οποίες εμπλέκονται στη φλεγμονή και στον πόνο.
- ↪ Συσσωμάτωση αντιφλεγμονωδών μεσολαβητών: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να δεσμεύσουν φλεγμονώδης μεσολαβητές, όπως οι προσταγλανδίνες και οι λευκοτριένες, μειώνοντας τη δράση τους στα κύτταρα. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, που βρίσκονται στα ιχθυηρά, είναι ένα παράδειγμα βιοδραστικών ενώσεων που μπορούν να συσσωματώσουν φλεγμονώδης μεσολαβητές.
- ↪ Ρύθμιση της έκφρασης γονιδίων: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να επηρεάσουν την έκφραση γονιδίων που εμπλέκονται στη φλεγμονώδη απάντηση. Η ρεσβερατρόλη, ένα συστατικό των σταφυλιών, είναι ένα παράδειγμα βιοδραστικής ένωσης που μπορεί να καταστείλει την έκφραση φλεγμονωδών γονιδίων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αντιφλεγμονώδης δράση των βιοδραστικών ενώσεων μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την ένωση, τη δοσολογία και τον τρόπο χορήγησής της [90]. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί δράσης των βιοδραστικών ενώσεων καθώς και κάποια παραδείγματά τους.

1. Διάσπαση των Κυτταρικών Μembrανών: Πολλές βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στην κυτταρική μεμβράνη των μικροβίων. Αυτή η μεμβράνη λειτουργεί ως φράγμα, ελέγχοντας τι εισέρχεται και τι εξέρχεται από το κύτταρο. Με τη διάσπαση της δομής της, αυτές οι ενώσεις μπορούν να προκαλέσουν διαρροή απαραίτητων κυτταρικών συστατικών, οδηγώντας στον θάνατο του κυττάρου. Παραδείγματα περιλαμβάνουν [86]:

- Αιθέρια έλαια: Θύμολη, καρβακρόλη (που βρίσκονται σε θυμάρι και ρίγανη)
- Σαπωνίνες: Βρίσκονται σε φασόλια και ορισμένα λαχανικά

2. Αναστολή Σύνθεσης Κυτταρικού Τοιχώματος: Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος των μικροβίων. Το κυτταρικό τοίχωμα παρέχει δομική υποστήριξη και προστασία. Χωρίς ένα κανονικό κυτταρικό τοίχωμα, το μικρόβιο γίνεται ευάλωτο και μπορεί να διασπαστεί. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

ο Β-λακτάμες: Μια κατηγορία αντιβιοτικών που στοχεύουν στη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος των βακτηρίων (π.χ. πενικιλίνη)

ο Γλυκοπεπτίδια: Άλλη μια κατηγορία αντιβιοτικών που επίσης στοχεύουν στη σύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος (π.χ. βανκομυκίνη)

3. Αναστολή Σύνθεσης Πρωτεΐνης: Τα μικρόβια χρειάζονται πρωτεΐνες για διάφορες κυτταρικές λειτουργίες. Κάποιες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να αναστείλουν τη σύνθεση πρωτεΐνης στο νανοστάδιο, που είναι η κυτταρική μηχανή παραγωγής πρωτεϊνών. Αυτό εμποδίζει τις ζωτικές διεργασίες και εμποδίζει την ανάπτυξη των μικροβίων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

ο Τετρακυκλίνες: Μια κατηγορία ευρέως φάσματος αντιβιοτικών που αναστέλλουν τη σύνθεση πρωτεΐνης στα βακτήρια

ο Χλοραμφαινικόλη: Άλλο ένα ευρέως φάσματος αντιβιοτικό που επίσης αναστέλλει τη σύνθεση πρωτεΐνης

4. Παρεμπόδιση Αντιγραφής DNA: Η αναπαραγωγή των μικροβίων απαιτεί την αντιγραφή του DNA. Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις εμποδίζουν αυτή τη διαδικασία δεσμεύοντας το DNA ή αναστέλλοντας ένζυμα που εμπλέκονται στην

αντιγραφή. Αυτό εμποδίζει την αναπαραγωγή του μικροβίου και την εξάπλωσή του. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

ο Κινολόνες: Μια κατηγορία αντιβιοτικών που αναστέλλουν την DNA γυράση, ένα ενζύμο απαραίτητο για την αντιγραφή του βακτηριακού DNA (π.χ. κιπροφλοξασίνη)

5. Διαταραχή Μεταβολικών Διαδρόμων: Τα μικρόβια εξαρτώνται από συγκεκριμένα μεταβολικά μονοπάτια να επιβιώσουν και να αυξηθούν. Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να διαταράξουν τα μεταβολικά αυτά μονοπάτια αναστέλλοντας ένζυμα ή διαταράσσοντας μεταβολίτες. Αυτό διαταράσσει την παραγωγή ενέργειας και άλλες ζωτικές λειτουργίες του μικροβίου. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

ο Φλαβονοειδή: Μια κατηγορία φυτικών βιοδραστικών ενώσεων με διάφορες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης και της αντιμικροβιακής δράσης, πιθανώς διαταράσσοντας τον μεταβολισμό των μικροβίων.

5.3 Αντικαρκινική δράση

Η μάχη κατά του καρκίνου είναι μια συνεχής πρόκληση και οι ερευνητές εξετάζουν διαρκώς νέους δρόμους για τη θεραπεία και την πρόληψη του. Οι βιοδραστικές έχουν αναδειχθεί ως υποσχόμενοι υποψήφιοι σε αυτή τη μάχη λόγω της πιθανής αντικαρκινικής τους δράσης. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να στοχεύσουν διάφορα στάδια της ανάπτυξης του καρκίνου, προσφέροντας μια πολυδιάστατη προσέγγιση για την καταπολέμηση της νόσου [99]. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένοι τρόποι με τους οποίους οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να επιδείξουν αντικαρκινική δράση [4], [12], [84], [85]:

⇒ **Αναστολή των Κυττάρων:** Τα καρκινικά κύτταρα διαιρούνται ανεξέλεγκτα. Κάποιες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να διαταράξουν τον κύκλο των κυττάρων, εμποδίζοντας τα καρκινικά κύτταρα από το να διαιρεθούν και να πολλαπλασιαστούν. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί στοχεύοντας πρωτεΐνες που εμπλέκονται στην πρόοδο του κυτταρικού κύκλου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι:

- Κουρκουμίνη: Βιοδραστική ένωση με δυνατότητα να σταματήσει τη διαίρεση των καρκινικών κυττάρων.
 - Αλκαλοειδή: Μια κατηγορία ενώσεων που προέρχονται από φυτά και χρησιμοποιούνται σε ορισμένα χημειοθεραπευτικά φάρμακα, τα οποία λειτουργούν διαταράσσοντας τον κύκλο των κυττάρων.
- **Απόπτωση:** Η απόπτωση είναι μια φυσική διαδικασία που εξουδετερώνει κατεστραμμένα ή ανεπιθύμητα κύτταρα. Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να προκαλέσουν απόπτωση στα καρκινικά κύτταρα, οδηγώντας στην αυτοκαταστροφή τους. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:
- Ρεσβερατρόλη: Δυνατότητα να προκαλέσει απόπτωση στα καρκινικά κύτταρα.
 - Επιγαλλοκατεχίνη (EGCG): Η κύρια βιοδραστική ένωση στο πράσινο τσάι, με μελέτες να υποδεικνύουν τον ρόλο της στην πρόκληση απόπτωσης στα καρκινικά κύτταρα.

Αναστολή Αγγειογένεσης: Τα καρκινικά κύτταρα απαιτούν ένα δίκτυο αιμοφόρων αγγείων (αγγειογένεση) για να αυξηθούν. Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να εμποδίσουν την ανάπτυξη νέων αιμοφόρων αγγείων [22],

Επιδιόρθωση DNA: Τα καρκινικά κύτταρα συχνά φέρουν μεταλλάξεις στο DNA τους. Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να αναστείλουν τα ένζυμα που επιδιορθώνουν το DNA στα καρκινικά κύτταρα, καθιστώντας τα πιο ευαίσθητα στον θάνατο. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Κερκετίνη: Ένα φλαβονοειδές που απαντάται σε διάφορα φρούτα και λαχανικά, με δυνατότητα να αναστείλει τα ένζυμα που επιδιορθώνουν το DNA στα καρκινικά κύτταρα [99].

Αντιφλεγμονώδη Δράση: Η χρόνια φλεγμονή μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη καρκίνου. Βιοδραστικές ενώσεις με αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες μπορούν πιθανώς να μειώσουν τη φλεγμονή και να μειώσουν τον κίνδυνο καρκίνου. Παραδείγματα περιλαμβάνουν [99]:

- Ωμέγα-3 λιπαρά οξέα: Βρίσκονται σε λιπώδη ιχθυηρά και μπορεί να έχουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες που μπορούν να είναι επωφελείς στην πρόληψη του καρκίνου.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι:

- Η αποτελεσματικότητα μιας βιοδραστικής ενώσης κατά του καρκίνου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο καρκίνου και το στάδιό του.
- Οι βιοδραστικές ενώσεις χρησιμοποιούνται συχνά ως συμπληρωματικές θεραπείες σε συμβατικές θεραπείες, όπως η χειρουργική, η ακτινοθεραπεία και η χημειοθεραπεία [99].
- Κρίνεται αναγκαία περαιτέρω έρευνα για να κατανοήσουμε πλήρως τους μηχανισμούς δράσης και τα πιθανά οφέλη των διαφόρων βιοδραστικών ενώσεων στη θεραπεία του καρκίνου [84].

5.4 Εντερικό μικροβίωμα και μεταβολικά οφέλη

5.4.1 Αλληλεπιδράσεις Βιοδραστικών Ενώσεων με το Μικροβίωμα του Εντέρου

Προβιοτικές Επιδράσεις: Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις ενεργούν ως προβιοτικά, δηλαδή προάγουν την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα ευεργετικών βακτηρίων στο εντερικό σύστημα. Παραδείγματα περιλαμβάνουν διαιτητικές ίνες, πολυφαινόλες (π.χ., φλαβονοειδή) και ολιγοσακχαρίτες που περιέχονται σε διάφορα φυτικά τρόφιμα [63], [100].

5.4.2 Ρύθμιση του Μεταβολισμού των Μικροοργανισμών: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να τροποποιήσουν τον μεταβολισμό των μικροοργανισμών στο εντερικό σύστημα, οδηγώντας στην παραγωγή μεταβολιτών όπως τα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (SCFAs). Τα SCFAs, όπως το οξικό οξύ, το προπιονικό οξύ και το βουτυρικό οξύ, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της υγείας του εντέρου και στην επίδραση του συστήματος μεταβολισμού [65], [100].

Αντιφλεγμονώδη Δράση: Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις διαθέτουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες που μπορούν να ρυθμίσουν τη φλεγμονή του εντέρου. Με τη μείωση της φλεγμονής, αυτές οι ενώσεις, μπορούν να συμβάλουν στη συνολική υγεία του εντέρου και στη μεταβολική ισορροπία [63], [100].

Μεταβολικά Οφέλη: Η αλληλεπίδραση μεταξύ των βιοδραστικών ενώσεων και του μικροβιώματος του εντέρου μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολικά οφέλη όπως η βελτίωση του μεταβολισμού της γλυκόζης, η ρύθμιση του λιπιδικού προφίλ και η

ενίσχυση της ρύθμισης της ενέργειας. Αυτές οι επιδράσεις είναι κρίσιμες για την πρόληψη και τη διαχείριση μεταβολικών διαταραχών, όπως η παχυσαρκία και ο διαβήτης [100], [101].

Πώς οι βιοδραστικές ενώσεις επηρεάζουν την υγεία του εντέρου και τον μεταβολισμό:

1. **Προβιοτικά:** Ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις ενεργούν ως προβιοτικά, τα οποία είναι μη πεπερασμένα συστατικά τροφής που προωθούν την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα ευεργετικών βακτηρίων στο εντερικό σύστημα. Αυτά τα "καλά" βακτήρια συμβάλλουν στην πέψη, την παραγωγή θρεπτικών ουσιών και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Παραδείγματα προβιοτικών περιλαμβάνουν:

- Φρουκτοολιγοσακχαρίτες (FOS): Βρίσκονται στη ρίζα της τσικορέας και σε ορισμένα δημητριακά.
- Ινουλίνη: Τύπος ινώδους βιταμίνης που βρίσκεται σε κρεμμύδια, σκόρδα και αγκινάρες [63], [100].

2. **Ρύθμιση της Σύνθεσης του Μικροβιώματος του Εντέρου:** Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση του μικροβιώματος του εντέρου προωθώντας την ανάπτυξη ευεργετικών βακτηρίων και αναστέλλοντας την ανάπτυξη επιβλαβών βακτηρίων. Αυτή η μετατόπιση στη μικροβιακή ισορροπία μπορεί να επηρεάσει θετικά τις μεταβολικές διαδικασίες. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Πολυφαινόλες: Βρίσκονται σε φρούτα, λαχανικά και κακάο, και μπορούν να προωθήσουν την ανάπτυξη ευεργετικών βακτηρίων, όπως *Bifidobacteria* και *Lactobacillus*.
- Κουρκουμίνη: Μέλετες έχουν δείξει τη δυνατότητά της να ρυθμίσει τη σύνθεση του μικροβιώματος του εντέρου [101].

3. **Λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (SCFAs):** Ευεργετικά βακτήρια του εντέρου ζυμώνουν διατροφικές ίνες και προβιοτικά για να παράγουν SCFAs, όπως το βουτυρικό οξύ, το οξικό οξύ και το προπιονικό οξύ. Αυτά τα SCFAs έχουν διάφορα μεταβολικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένων [102]:

1. Βελτιωμένη ευαισθησία στην ινσουλίνη: Τα SCFAs μπορούν να βελτιώσουν τον τρόπο με τον οποίο το σώμα χρησιμοποιεί την ινσουλίνη, ρυθμίζοντας τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα.

- Μείωση της φλεγμονής: Τα SCFAs έχουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, πιθανώς μειώνοντας τη χρόνια φλεγμονή που συνδέεται με μεταβολικές διαταραχές.
- Ενίσχυση της λειτουργίας του εντερικού φραγμού: Τα SCFAs μπορούν να ενισχύσουν τον εντερικό φραγμό, εμποδίζοντας τη διέλευση επιβλαβών ουσιών στην κυκλοφορία του αίματος.

2. Ρύθμιση του Μεταβολισμού της Ενέργειας: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορούν να επηρεάσουν τις ορμόνες του εντέρου που ρυθμίζουν την κατανάλωση και τη δαπάνη ενέργειας. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της διαχείρισης του βάρους και της μεταβολικής υγείας [65], [66], [71].

Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Βερβερίνη: Μια ένωση που προέρχεται από διάφορα φυτά, όπως το *Hydrastis canadensis*, το *Coptis chinensis*, το σταφύλι Όρεγκον, το φελλόδενδρο και τον κουρκουμά, με πιθανές επιδράσεις στη ρύθμιση της γλυκόζης του αίματος και του μεταβολισμού.
- Ρεσβερατρόλη: Βρίσκεται στα σταφύλια και στο κόκκινο κρασί, με μελέτες να υποδεικνύουν τον ρόλο της στη ρύθμιση του μεταβολισμού της ενέργειας.

Κεφάλαιο 6: Εφαρμογές και μελλοντικές προοπτικές εναλλακτικών τροφίμων

6.1 Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων

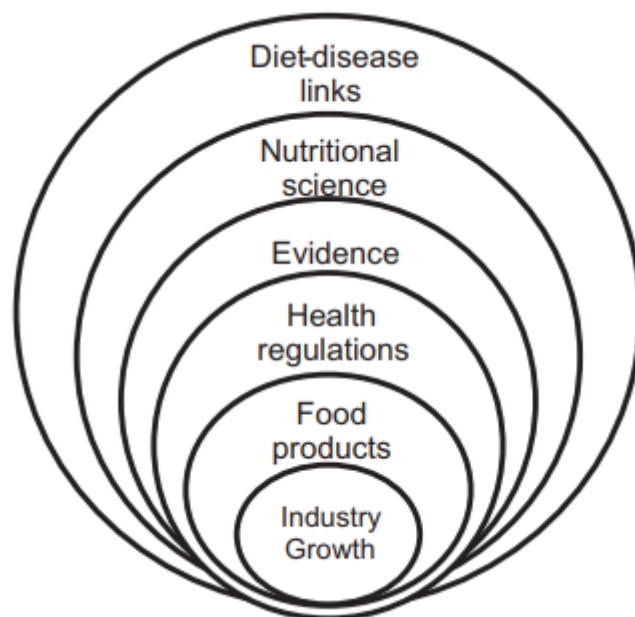
Τα εναλλακτικά τρόφιμα έχουν οριστεί ως προϊόντα που προσφέρουν επιπλέον οφέλη για την υγεία πέρα από την παραδοσιακή θρεπτική αξία του τροφίμου. Ο κύριος λόγος που κινητοποιεί τους καταναλωτές να αγοράζουν εναλλακτικά τρόφιμα είναι η αυξανόμενη επιθυμία να χρησιμοποιούν τρόφιμα είτε για την πρόληψη χρόνιων ασθενειών όπως καρδιοαγγειακές παθήσεις, νόσος Αλτσχάιμερ και οστεοπόρωση, είτε για τη βελτιστοποίηση της υγείας, για παράδειγμα αυξάνοντας την ενέργεια, ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα ή προάγοντας την ευεξία [103].

Η παγκόσμια αγορά τροφίμων, που περιλαμβάνει τα εναλλακτικά τρόφιμα, γνωρίζει ταχεία ανάπτυξη [104]. Το 2023, η αξία της εκτιμήθηκε περίπου στα 925,7 δισεκατομμύρια δολάρια και προβλέπεται να ανέλθει στα 1,6 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030, με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 7,9%. Αυτή η ανάπτυξη οφείλεται στην αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με τη σημασία της διατροφής για την πρόληψη ασθενειών και την προαγωγή της υγείας, καθώς και στις καινοτομίες στη διατροφολογία που κάνουν τα υγιεινά προϊόντα πιο ελκυστικά (<https://www.giiresearch.com/report/sky1554283-functional-foods-market-size-share-growth-analysis.html>).

Ο τομέας των εναλλακτικών τροφίμων, που περιλαμβάνει τρόφιμα με επιπλέον οφέλη για την υγεία πέρα από την απλή θρεπτική αξία, αναπτύσσεται παράλληλα με αυτή την τάση. Αναμένεται επίσης να παρουσιάσει παρόμοιο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 7,9% κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Επιπλέον, παράγοντες όπως η άνοδος του ηλεκτρονικού εμπορίου και το αυξημένο διαθέσιμο εισόδημα, ιδίως στις αναδυόμενες αγορές, συμβάλλουν σε αυτή τη σημαντική επέκταση (<https://www.researchandmarkets.com/reports/5140967/health-and-wellness-foods-global-strategic>).

Αυτό το τμήμα περιλαμβάνει ενισχυμένα/εναλλακτικά τρόφιμα, αλλά και οργανικά τρόφιμα, τρόφιμα και ποτά «καλύτερα για εσάς» (BFY), «φυσικά υγιή» (NH) τρόφιμα, προϊόντα που απευθύνονται σε δυσανεξίες τροφίμων, βιταμίνες και διατροφικά συμπληρώματα, παραδοσιακά φυτικά προϊόντα, προϊόντα αδυνατίσματος και διατροφή για αθλητές. Από αυτήν την αγορά, το τμήμα των εναλλακτικών τροφίμων μόνο του είχε αξία 168 δισεκατομμυρίων δολαρίων σε μια

παγκόσμια αγορά που είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη από αυτή των βιταμινών και των διατροφικών συμπληρωμάτων [105]. Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται το γενικό μοτίβο που εφαρμόζεται για την ανάπτυξη νέων εναλλακτικών τροφίμων.



Εικόνα 9. Απεικόνιση του γενικού μοτίβου για την ανάπτυξη νέων εναλλακτικών τροφίμων [105].

Τα εναλλακτικά τρόφιμα, όπως τα φυτικής προέλευσης-τρόφιμα, το κρέας κυτταροκαλλιέργειας (Cultured Meat) και οι πρωτεΐνες από έντομα, κερδίζουν έδαφος λόγω ανησυχιών για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, την ευημερία των ζώων και τη δημόσια υγεία. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι προτιμήσεις των καταναλωτών αλλάζουν, το μέλλον των εναλλακτικών τροφίμων φαίνεται πολλά υποσχόμενο. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές βασικές προοπτικές [18], [104]:

1. Τεχνολογικές εξελίξεις σε κρέας κυτταροκαλλιέργειας: Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη στη βιολογία και φυσιολογία του κρέατος πρόκειται να το καταστήσει προσιτό και προσβάσιμο προϊόν στον καταναλωτή. Το καλλιεργούμενο κρέας, ουσιαστικά είναι ένα ζωικό προϊόν που παράγεται μετά από απομόνωση κυττάρων, κυτταρική καλλιέργεια και την εφαρμογή πρωτόκολλων μηχανικής ιστών [20]. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες πηγές κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων των εμβρυϊκών βλαστικών κυττάρων από προ- εμφυτευόμενα έμβρυα ή των βλαστικών κυττάρων ενηλίκων [28]. Οι υποστηρικτές υποστηρίζουν ότι ένας βιοαντιδραστήρας καλλιέργειας κρέατος στο μέγεθος μιας πισίνας θα μπορούσε να τροφοδοτήσει 40.000 ανθρώπους για ένα χρόνο και ότι θα χρησιμοποιούσε 99% λιγότερη γη από τον μέσο όρο για τη γεωργική κτηνοτροφία

(<http://www.wrap.org.uk/content/food-futures>). Το πρώτο καλλιεργημένο μπιφτέκι δημιουργήθηκε από τον Mark Post του Πανεπιστημίου του Μάαστριχτ το 2013, κόστισε £200.000 και χρειάστηκαν δύο χρόνια για να δημιουργηθεί [20]. Η Mosa Meat, μια ολλανδική νεοφυής επιχείρηση, συνεχίζει να την αναπτύσσει, επικεντρώνοντας στη βελτίωση της γεύσης μέσω της συν-καλλιέργειας λιποκυττάρων και τη μείωση του κόστους. Άλλες εταιρείες, στις ΗΠΑ και αλλού, εργάζονται επίσης προς παρόμοιους στόχους [20]. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι καταναλωτές ήταν σκεπτικοί από άποψη γεύσης και υγείας, και μόνο μια μειοψηφία θα συνιστούσε ή θα δεχόταν να το καταναλώσει αντί για πραγματικό κρέας. Σε αντίθεση, οι πρωτεΐνες που προέρχονται από έντομα καθιστούν τα τρόφιμα από έντομα πιο ελκυστικά για τους Δυτικούς καταναλωτές [20].

2. Αποδοχή και υιοθέτηση από τους καταναλωτές: Καθώς οι καταναλωτές ενημερώνονται για τα περιβαλλοντικά και υγειονομικά οφέλη των εναλλακτικών τροφίμων, η ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί. Θα υπάρξουν βελτιώσεις στη γεύση και την υφή, οι οποίες θα είναι κρίσιμες για τη ευρεία αποδοχή. Ακόμη οι χαμηλότερες τιμές θα καταστήσουν τα εναλλακτικά τρόφιμα πιο προσιτά σε ευρύτερη καταναλωτική βάση [104].

3. Ρυθμιστικά πλαίσια - σαφείς κανονισμοί: Η ανάπτυξη σαφών και συνεπών ρυθμιστικών πλαισίων είναι απαραίτητη για την ασφαλή και βιώσιμη παραγωγή των εναλλακτικών τροφίμων. Ικανά ρυθμιστικά πλαίσια μπορούν να βοηθήσουν στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης των καταναλωτών για την ασφάλεια και την ποιότητα αυτών των προϊόντων [103].

4. Περιβαλλοντικά και ηθικά ζητήματα / Μειωμένος περιβαλλοντικός αντίκτυπος: Τα εναλλακτικά τρόφιμα μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των [103] εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, της κατανάλωσης νερού και της χρήσης γης σε σύγκριση με παραδοσιακά προϊόντα. Επιπλέον, η ανάπτυξη τροφίμων με βάση τις εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών αναμένεται να συνεισφέρει στο πεδίο των ηθικών ανησυχιών που σχετίζονται με των ζώων [105].

Τα τελευταία είκοσι χρόνια, διάφορες επιχειρήσεις τροφίμων, φαρμακευτικές και λιανικής πώλησης έχουν προσανατολιστεί να ακολουθήσουν τη νέα τάση της αγοράς προκειμένου να αποκτήσουν μεγαλύτερο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και νέο μερίδιο ζήτησης [18], [104]. Η διαδικασία ανάπτυξης νέων εναλλακτικών

προϊόντων τροφίμων έχει χαρακτηριστεί ως σύνθετη, δαπανηρή και υψηλού ρίσκου. [104].

Για την επιτυχή ανάπτυξη εναλλακτικών τροφίμων απαιτείται η συνεργασία μεταξύ ερευνητικών οργανισμών (π.χ. Πανεπιστημιακά Ιδρύματα) και επιχειρηματικού κόσμου. Έτσι, η μετατροπή της βασικής έρευνας σε εφαρμοζόμενη στη βιομηχανία μέσω της κοινής χρήσης πόρων και δεξιοτήτων οδηγεί στην αποτελεσματική ανάπτυξη των προϊόντων αυτών [104], [105].

Η ανάπτυξη καινοτόμων εναλλακτικών τροφίμων με ενσωματωμένα βιοδραστικά συστατικά μπορεί να απαιτήσει μια ουσιαστική αλλαγή παραδείγματος στην παραδοσιακή διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων τροφίμων. Οι σύγχρονες τάσεις στην επιστήμη των τροφίμων και τη διατροφή επικεντρώνονται στην ένταξη συστατικών με αποδεδειγμένα οφέλη για την υγεία. Ωστόσο, η ενσωμάτωση αυτών των συστατικών μπορεί να απαιτεί τεχνολογικές αλλαγές στην παραγωγική διαδικασία, όπως νέες μέθοδοι εκχύλισης, σταθεροποίησης και ενθυλάκωσης. Αυτές οι αλλαγές στοχεύουν στη διατήρηση της βιοδραστικότητας των συστατικών, χωρίς να αλλοιώνεται η υφή, η γεύση ή η ασφάλεια των τροφίμων [105].

Οι νέες καταναλωτικές τάσεις στον τομέα της «Υγείας και Ευεξίας» φέρουν της προσοχής κορυφαίων πολυεθνικών εταιρειών όπως η Nestlé, η DanoneGroup, η Unilever, η Heinz και η Kraft Foods. Αυτό υποδηλώνει ότι η αναδιάρθρωση του χαρτοφυλακίου ανάπτυξης νέων προϊόντων με στροφή προς μια «για τις ανάγκες του καταναλωτή» προσέγγιση στη στρατηγική καινοτομίας των επιχειρήσεων, αποτελεί το επίκεντρο της μελλοντικής ανάπτυξης νέων προϊόντων στη βιομηχανία τροφίμων [105]. Τα παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Σύγκριση παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη παραδοσιακών νέων προϊόντων και νέων λειτουργικών τροφίμων [105].

Κριτικοί Παράγοντες για την Ανάπτυξη Εναλλακτικών Τροφίμων	Χαρακτηριστικά Παραδοσιακής ανάπτυξης νέων προϊόντων τροφίμων	Χαρακτηριστικά ανάπτυξης νέων εναλλακτικών προϊόντων τροφίμων
1. Προσανατολισμός προς την Καινοτομία	Προσανατολισμός κυρίως προς την αγορά και την έρευνα και ανάπτυξη.	Προσανατολισμός κυρίως στο προϊόν. Ανάπτυξη νέων αγορών με αξιοποίηση τεχνολογικής υπεροχής.

	Ανταγωνισμός στην υπάρχουσα αγορά.	
2. Δημιουργία Γνώσης	Εκμάθηση μέσω της πράξης (δοκιμή και λάθος). Έμφαση στη μείωση κόστους.	Εστίαση στη δημιουργία νέας αναλυτικής γνώσης. Χρήση εκτεταμένης έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης.
3. Ανάπτυξη Πόρων της Επιχείρησης	Βασίζεται σε εσωτερικές δυνατότητες και πόρους. Κλειστή καινοτομία.	Ανοιχτή καινοτομία. Συνδυασμός τεχνικών και δεξιοτήτων με παραγωγικές ικανότητες.
4. Δίκτυα και Συνεργασίες	Βραχυπρόθεσμες συνεργασίες με προμηθευτές. Αναζήτηση τεχνικών λύσεων από προμηθευτές.	Διαφορετικές αλληλεπιδράσεις με πολλαπλούς ενδιαφερόμενους φορείς. Συνεχείς και επίμονες συνεργασίες.
5. Στρατηγική Εμπορευματοποίησης	Αποδοτικότητα μάρκετινγκ. Εμπορικά σήματα και συμφωνίες εμπιστευτικότητας.	Ανάπτυξη νέων αγορών, διασφάλιση πνευματικής ιδιοκτησίας και στρατηγικές δικτύωσης για ταχεία προώθηση στην αγορά.

6.2 Αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων από το καταναλωτικό κοινό

Η αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων από το καταναλωτικό κοινό εξαρτάται από έναν συνδυασμό παραγόντων που αφορούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, την αντίληψη των καταναλωτών και τις κοινωνικοπολιτικές τάσεις που διαμορφώνουν τη ζήτηση [89]- [91].

➤ Οργανοληπτικά Χαρακτηριστικά των Προϊόντων

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων (γεύση, άρωμα, υφή, εμφάνιση) παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων. Μελέτες δείχνουν ότι η γεύση και η υφή είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την

προθυμία των καταναλωτών να δοκιμάσουν και να καταναλώσουν νέα προϊόντα. Ειδικά στα εναλλακτικά τρόφιμα, όπως τα φυτικά υποκατάστατα κρέατος ή τα προϊόντα χαμηλών θερμίδων, η διατήρηση μιας οικείας και ευχάριστης γεύσης αποτελεί πρόκληση. Αν τα προϊόντα αυτά δεν πληρούν τις προσδοκίες των καταναλωτών σε επίπεδο γεύσης και υφής, οι πιθανότητες να γίνουν αποδεκτά είναι περιορισμένες. Επίσης, το άρωμα και η εμφάνιση των εναλλακτικών τροφίμων μπορούν να επηρεάσουν την πρόθεση αγοράς και κατανάλωσης, καθώς σχετίζονται άμεσα με τις αισθήσεις και την ψυχολογική αντίδραση του καταναλωτή στο προϊόν.

➤ Αποδοχή από Καταναλωτές

Η αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων από τους καταναλωτές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αντίληψή τους σχετικά με τα οφέλη και τους κινδύνους που συνδέονται με αυτά. Οι καταναλωτές είναι όλο και πιο ευαισθητοποιημένοι σε θέματα υγείας και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, και τα εναλλακτικά τρόφιμα προωθούνται συχνά ως υγιεινότερες και φιλικότερες προς το περιβάλλον επιλογές. Έτσι, τα τρόφιμα αυτά μπορεί να προσελκύσουν καταναλωτές που ανησυχούν για τις διατροφικές τους συνήθειες, τον έλεγχο του βάρους, ή τη μείωση της κατανάλωσης ζωικών προϊόντων. Ωστόσο, η προθυμία να δοκιμαστούν νέα προϊόντα επηρεάζεται και από παράγοντες όπως η τιμή, η διαθεσιμότητα και η ευκολία πρόσβασης.

Παράλληλα, οι κοινωνικές επιρροές διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Μεγάλο ποσοστό καταναλωτών ακολουθεί τις τάσεις που προβάλλονται από τα μέσα ενημέρωσης, τους influencers και τις διαφημιστικές καμπάνιες, ενώ η κοινωνική αποδοχή ενός προϊόντος μπορεί να ενισχυθεί από τη διάδοση πληροφοριών σχετικά με τα οφέλη του για την υγεία ή το περιβάλλον.

➤ Κοινωνικοπολιτικοί Παράγοντες

Οι κοινωνικοπολιτικοί παράγοντες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων. Οι κυβερνητικές πολιτικές και οι κανονισμοί για τη διατροφή και το περιβάλλον επηρεάζουν άμεσα την κατανάλωση τέτοιων προϊόντων. Για παράδειγμα, η προώθηση φυτικών προϊόντων μέσω κυβερνητικών καμπανιών ή η επιβολή φόρων στα μη βιώσιμα προϊόντα μπορεί να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να στραφούν σε εναλλακτικές λύσεις. Επιπλέον, οι κοινωνικές ανησυχίες σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τη βιώσιμη ανάπτυξη έχουν αυξήσει τη ζήτηση για φυτικά

προϊόντα και άλλες μορφές εναλλακτικών τροφίμων, καθώς αυτά συνδέονται με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Τέλος, τα κοινωνικά κινήματα που αφορούν τα δικαιώματα των ζώων και η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για την ευημερία τους ενισχύουν την αποδοχή εναλλακτικών τροφίμων που προωθούνται ως ηθικά ανώτερες επιλογές σε σχέση με τα παραδοσιακά προϊόντα ζωικής προέλευσης. Συνεπώς, οι κοινωνικοπολιτικές εξελίξεις δημιουργούν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την αποδοχή των εναλλακτικών τροφίμων από το καταναλωτικό κοινό, καθώς συνδυάζουν την ηθική, τη βιωσιμότητα και την υγεία.

Γενικά συμπεράσματα

Η χρήση βιοδραστικών ενώσεων στα εναλλακτικά τρόφιμα αποτελεί κεντρικό σημείο για τη διαμόρφωση μιας πιο υγιεινής και βιώσιμης διατροφής. Οι βιοδραστικές ενώσεις, όπως αντιοξειδωτικά, αντιφλεγμονώδεις και αντιμικροβιακές ουσίες, προσφέρουν σημαντικά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία, καθώς προλαμβάνουν ασθένειες όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και ο διαβήτης. Η ενσωμάτωση αυτών των συστατικών σε εναλλακτικά τρόφιμα μπορεί να ενισχύσει τη θρεπτική τους αξία, προάγοντας την ευεξία και μειώνοντας την ανάγκη για πρόσθετα χημικά ή συντηρητικά.

Τα εναλλακτικά τρόφιμα εμπλουτισμένα με βιοδραστικές ενώσεις, όπως εκείνα που προέρχονται από φυτά, βρώσιμα έντομα ή μικροοργανισμούς, έχουν τη δυνατότητα να αποτελέσουν εξαιρετικές πηγές υγείας. Για παράδειγμα, οι πολυφαινόλες και οι πολυσακχαρίτες από μικροφύκη ή οι πρωτεΐνες από έντομα διαθέτουν ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες, ενώ οι φυτοστερόλες και τα καροτενοειδή συνδέονται με τη μείωση της χοληστερόλης και τη βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας. Η επιστημονική έρευνα έχει ήδη αποδείξει τη βιολογική δραστικότητα αυτών των ενώσεων και την ευεργετική τους δράση στον ανθρώπινο οργανισμό.

Παρ' ότι οι τεχνολογίες για την ενσωμάτωση βιοδραστικών ενώσεων στα εναλλακτικά τρόφιμα είναι εξελισσόμενες, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την εξασφάλιση της βιοδιαθεσιμότητας αυτών των συστατικών. Οι μέθοδοι επεξεργασίας και εκχύλισης παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της δραστικότητάς τους και οφείλουν να συνεχίσουν να αναπτύσσονται για τη βελτιστοποίηση των προϊόντων. Η καινοτομία στον τομέα των εναλλακτικών τροφίμων αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη νέων προϊόντων που ανταποκρίνονται στις σύγχρονες διατροφικές ανάγκες. Για να διατηρήσουν τη ανταγωνιστικότητά τους, οι επιχειρήσεις του κλάδου πρέπει να επενδύσουν σε έρευνα και ανάπτυξη, με στόχο τη δημιουργία προϊόντων με βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη θρεπτική αξία.

Η αποδοχή αυτών των τροφίμων από τους καταναλωτές παραμένει σημαντική, αλλά το κύριο ενδιαφέρον εστιάζεται πλέον στη βελτίωση της θρεπτικής αξίας των τροφίμων μέσω της χρήσης βιοδραστικών ενώσεων. Οι σύγχρονοι καταναλωτές αναζητούν τρόφιμα που όχι μόνο καλύπτουν τις διατροφικές τους ανάγκες, αλλά προσφέρουν και επιπλέον οφέλη για την υγεία. Η αυξανόμενη ζήτηση

για εναλλακτικά τρόφιμα καθιστά επιτακτική την ανάγκη για περαιτέρω επιστημονική έρευνα. Κλινικές μελέτες θα μπορούσαν να αποσαφηνίσουν τα συγκεκριμένα οφέλη που προσφέρουν αυτά τα τρόφιμα στον ανθρώπινο οργανισμό και να ενισχύσουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών. Παράλληλα, απαιτείται στενή συνεργασία μεταξύ των αρχών και βιομηχανιών τροφίμων για τον καθορισμό ενός σαφούς ρυθμιστικού πλαισίου που θα διασφαλίζει την ασφάλεια και την ποιότητα των εναλλακτικών τροφίμων. Η διερεύνηση της ασφάλειας των συστατικών τους, ο καθορισμός των βέλτιστων επιπέδων χρήσης τους, καθώς και η επίδρασή τους στη γεύση και τη συνολική αισθητηριακή εμπειρία αποτελούν κρίσιμα ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω μελέτης.

Βιβλιογραφία

- [1] A. Septembre-Malaterre, F. Remize, and P. Poucheret, "Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation," *Food Res. Int.*, vol. 104, pp. 86–99, 2018.
- [2] H.-K. Biesalski *et al.*, "Bioactive compounds: Definition and assessment of activity," *Nutrition*, vol. 25, no. 11, pp. 1202–1205, Nov. 2009, doi: 10.1016/j.nut.2009.04.023.
- [3] C. M. Hasler, "Functional Foods: Benefits, Concerns and Challenges—A Position Paper from the American Council on Science and Health," *J. Nutr.*, vol. 132, no. 12, pp. 3772–3781, Dec. 2002, doi: 10.1093/jn/132.12.3772.
- [4] K. Banwo *et al.*, "Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends," *Food Biosci.*, vol. 43, p. 101320, 2021.
- [5] B. S. Patil, G. K. Jayaprakasha, K. Chidambara Murthy, and A. Vikram, "Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 57, no. 18, pp. 8142–8160, 2009.
- [6] S. Bhagwat, D. B. Haytowitz, and J. M. Holden, "USDA database for the flavonoid content of selected foods, release 3," *US Dep. Agric. Beltsville MD USA*, vol. 159, 2011.
- [7] V. Neveu *et al.*, "Phenol-Explorer: an online comprehensive database on polyphenol contents in foods," *Database*, vol. 2010, 2010.
- [8] J. Plumb *et al.*, "Ebasis (bioactive substances in food information systems) and bioactive intakes: Major updates of the bioactive compound composition and beneficial bioeffects database and the development of a probabilistic model to assess intakes in europe," *Nutrients*, vol. 9, no. 4, p. 320, 2017.
- [9] J. S. Câmara *et al.*, "Food bioactive compounds and emerging techniques for their extraction: Polyphenols as a case study," *Foods*, vol. 10, no. 1, p. 37, 2020.
- [10] A. Sánchez and A. Vázquez, "Bioactive peptides: A review," *Food Qual. Saf.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–46, Mar. 2017, doi: 10.1093/fqsafe/fyx006.
- [11] A. Bernhoft, H. Siem, E. Bjertness, M. Meltzer, T. Flaten, and E. Holmsen, "Bioactive compounds in plants—benefits and risks for man and animals," *Nor. Acad. Sci. Lett. Oslo*, pp. 13–14, 2010.
- [12] N. Pillai, P. Soumya, M. Saraswathy, S. K Sivan, S. Mondal, and S. np, "Bioactive compounds in functional food and their role as therapeutics," *Bioact. Compd. Health Dis.*, vol. 4, pp. 24–39, Mar. 2021, doi: 10.31989/bchd.v4i3.786.
- [13] A. Masyita *et al.*, "Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives," *Food Chem. X*, vol. 13, p. 100217, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.fochx.2022.100217.

- [14] R. A. Hill and J. D. Connolly, "Triterpenoids," *Nat. Prod. Rep.*, vol. 35, no. 12, pp. 1294–1329, 2018, doi: 10.1039/C8NP00029H.
- [15] Muhammad Sajid Arshad *et al.*, "Functional Foods and Human Health: An Overview," in *Functional Foods*, Muhammad Sajid Arshad and Muhammad Haseeb Ahmad, Eds., Rijeka: IntechOpen, 2021, p. Ch. 1. doi: 10.5772/intechopen.99000.
- [16] M. Pattnaik, P. Pandey, G. J. Martin, H. N. Mishra, and M. Ashokkumar, "Innovative technologies for extraction and microencapsulation of bioactives from plant-based food waste and their applications in functional food development," *Foods*, vol. 10, no. 2, p. 279, 2021.
- [17] J. P. Islamian and H. Mehrali, "Lycopene as a carotenoid provides radioprotectant and antioxidant effects by quenching radiation-induced free radical singlet oxygen: an overview," *Cell J. Yakhteh*, vol. 16, no. 4, p. 386, 2015.
- [18] C. M. Galanakis, "The Future of Food," *Foods*, vol. 13, no. 4, 2024, doi: 10.3390/foods13040506.
- [19] L. R. B. Mariutti *et al.*, "The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake," *Food Res. Int.*, vol. 149, p. 110709, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2021.110709.
- [20] M. Henchion, M. Hayes, A. M. Mullen, M. Fenelon, and B. Tiwari, "Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium," *Foods*, vol. 6, no. 7, 2017, doi: 10.3390/foods6070053.
- [21] C. Schader *et al.*, "Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability," *J. R. Soc. Interface*, vol. 12, no. 113, p. 20150891, 2015.
- [22] J. A. Milner, "Functional Foods and Health Promotion 1," *J. Nutr.*, vol. 129, no. 7, pp. 1395S–1397S, Jul. 1999, doi: 10.1093/jn/129.7.1395S.
- [23] D. M. Martirosyan and J. Singh, "A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique?," *Funct. Foods Health Dis.*, vol. 5, no. 6, pp. 209–223, 2015.
- [24] C. Alae-Carew, R. Green, C. Stewart, B. Cook, A. D. Dangour, and P. F. D. Scheelbeek, "The role of plant-based alternative foods in sustainable and healthy food systems: Consumption trends in the UK," *Sci. Total Environ.*, vol. 807, p. 151041, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151041.
- [25] W. Willett *et al.*, "Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems," *The lancet*, vol. 393, no. 10170, pp. 447–492, 2019.
- [26] B. Burlingame and S. Dernini, *Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action*. 2012.

- [27]B. Olmedilla-Alonso, F. Jiménez-Colmenero, and F. J. Sánchez-Muniz, "Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods," *Meat Sci.*, vol. 95, no. 4, pp. 919–930, 2013.
- [28]A. Bernhoft, "A brief review on bioactive compounds in plants," *Bioact. Compd. Plants-Benefits Risks Man Anim.*, vol. 50, pp. 11–17, 2010.
- [29]J. M. Miranda *et al.*, "Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods," *Nutrients*, vol. 7, no. 1, pp. 706–729, 2015.
- [30]Anvi Rana, "Categories and Management of Functional Food," in *Current Topics in Functional Food*, Naofumi Shiomi and Anna Savitskaya, Eds., Rijeka: IntechOpen, 2022, p. Ch. 2. doi: 10.5772/intechopen.104664.
- [31]M. Verni, V. Verardo, and C. G. Rizzello, "How fermentation affects the antioxidant properties of cereals and legumes," *Foods*, vol. 8, no. 9, p. 362, 2019.
- [32]R. Sharma, S. Kumar, V. Kumar, and A. Thakur, "Comprehensive review on nutraceutical significance of phytochemicals as functional food ingredients for human health management," *J. Pharmacogn. Phytochem.*, vol. 8, no. 5, pp. 385–395, 2019.
- [33]I. Abete, D. Parra, and J. A. Martinez, "Legume-, fish-, or high-protein-based hypocaloric diets: effects on weight loss and mitochondrial oxidation in obese men," *J. Med. Food*, vol. 12, no. 1, pp. 100–108, 2009.
- [34]M. J. Messina, "Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects," *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 70, no. 3, pp. 439S–450S, 1999.
- [35]M. Venkatachalam and S. K. Sathe, "Chemical composition of selected edible nut seeds," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 54, no. 13, pp. 4705–4714, 2006.
- [36]S. S. Arya, A. R. Salve, and S. Chauhan, "Peanuts as functional food: a review," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 53, pp. 31–41, 2016.
- [37]P. A. van den Brandt and L. J. Schouten, "Relationship of tree nut, peanut and peanut butter intake with total and cause-specific mortality: a cohort study and meta-analysis," *Int. J. Epidemiol.*, vol. 44, no. 3, pp. 1038–1049, 2015.
- [38]N. R. Damasceno *et al.*, "Mediterranean diet supplemented with nuts reduces waist circumference and shifts lipoprotein subfractions to a less atherogenic pattern in subjects at high cardiovascular risk," *Atherosclerosis*, vol. 230, no. 2, pp. 347–353, 2013.
- [39]H. Brough *et al.*, "Dietary management of peanut and tree nut allergy: what exactly should patients avoid?," *Clin. Exp. Allergy*, vol. 45, no. 5, pp. 859–871, 2015.
- [40]I. Pali-Schöll *et al.*, "83. Edible insects in food and feed—far from being well characterized—step 1: a look at allergenicity and ethical aspects," in *Professionals in food chains*, Wageningen Academic, 2018, pp. 520–525.

- [41] J. Ramos-Elorduy, "Anthropo-entomophagy: Cultures, evolution and sustainability," *Entomol. Res.*, vol. 39, no. 5, pp. 271–288, 2009.
- [42] Y. Jongema, "Worldwide list of recorded edible insects," *Dep. Entomol. Wagening. Univ. Res. Wagening. Neth.*, 2017.
- [43] C. Tang *et al.*, "Edible insects as a food source: a review," *Food Prod. Process. Nutr.*, vol. 1, no. 1, p. 8, Nov. 2019, doi: 10.1186/s43014-019-0008-1.
- [44] R. J. S. de Castro, A. Ohara, J. G. dos Santos Aguilár, and M. A. F. Domingues, "Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 76, pp. 82–89, 2018.
- [45] S. Ganguly, "Chapter-5 Edible Insects as Sources of Novel Bioactive Compounds".
- [46] D. M. Rivas-Navía, A. A. Dueñas-Rivadeneira, J. P. Dueñas-Rivadeneira, S. A. Aransiola, N. R. Maddela, and R. Prasad, "Bioactive compounds of insects for food use: Potentialities and risks," *J. Agric. Food Res.*, vol. 14, p. 100807, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100807.
- [47] K. W. Lange and Y. Nakamura, "Edible insects as future food: chances and challenges," *J. Future Foods*, vol. 1, no. 1, pp. 38–46, 2021.
- [48] W. D. Devi, R. Bonyzana, K. Kapesa, A. K. Rai, P. K. Mukherjee, and Y. Rajashekar, "Potential of edible insects as source of functional foods: biotechnological approaches for improving functionality," *Syst. Microbiol. Biomanufacturing*, vol. 2, no. 3, pp. 461–472, 2022.
- [49] X. Zhao, J. L. Vázquez-Gutiérrez, D. P. Johansson, R. Landberg, and M. Langton, "Yellow mealworm protein for food purposes-extraction and functional properties," *PLoS One*, vol. 11, no. 2, p. e0147791, 2016.
- [50] M. Föste, D. Elgeti, A.-K. Brunner, M. Jekle, and T. Becker, "Isolation of quinoa protein by milling fractionation and solvent extraction," *Food Bioprod. Process.*, vol. 96, pp. 20–26, 2015.
- [51] T.-K. Kim *et al.*, "Technical functional properties of water-and salt-soluble proteins extracted from edible insects," *Food Sci. Anim. Resour.*, vol. 39, no. 4, p. 643, 2019.
- [52] A. B. Nongonierma and R. J. FitzGerald, "Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: A review," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 43, pp. 239–252, 2017.
- [53] S. Borges, P. Sousa, and M. Pintado, "Insects as food sources," 2023.
- [54] T.-K. Kim, H. I. Yong, Y.-B. Kim, H.-W. Kim, and Y.-S. Choi, "Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends," *Food Sci. Anim. Resour.*, vol. 39, no. 4, p. 521, 2019.

- [55]S. A. Okaiyeto *et al.*, “How to enhance the acceptability of insects food—A review,” *Food Front.*, vol. 5, no. 2, pp. 311–328, Mar. 2024, doi: 10.1002/fft2.349.
- [56]A. M. Liceaga, “Processing insects for use in the food and feed industry,” *Neurosci. Spec. Sect. Insects Food Feed Dec. 2021*, vol. 48, pp. 32–36, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.cois.2021.08.002.
- [57]F. G. Hall, O. G. Jones, M. E. O’Haire, and A. M. Liceaga, “Functional properties of tropical banded cricket (*Gryllobes sigillatus*) protein hydrolysates,” *Food Chem.*, vol. 224, pp. 414–422, 2017.
- [58]B. A. Acosta-Estrada, A. Reyes, C. M. Rosell, D. Rodrigo, and C. C. Ibarra-Herrera, “Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products,” *Front. Nutr.*, vol. 8, 2021, [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.687712>
- [59]C. M. González, R. Garzón, and C. M. Rosell, “Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours,” *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 51, pp. 205–210, 2019.
- [60]I. de Castro, S. Mendo, and T. Caetano, “Antibiotics from haloarchaea: what can we learn from comparative genomics?,” *Mar. Biotechnol.*, vol. 22, no. 2, pp. 308–316, 2020.
- [61]A. Rani *et al.*, “Microorganisms: A Potential Source of Bioactive Molecules for Antioxidant Applications,” *Molecules*, vol. 26, no. 4, 2021, doi: 10.3390/molecules26041142.
- [62]R. Singh, M. Kumar, A. Mittal, and P. K. Mehta, “Microbial metabolites in nutrition, healthcare and agriculture,” *3 Biotech*, vol. 7, pp. 1–14, 2017.
- [63]B. Chugh and A. Kamal-Eldin, “Bioactive compounds produced by probiotics in food products,” *Food Microbiol. • Funct. Foods Nutr.*, vol. 32, pp. 76–82, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.cofs.2020.02.003.
- [64]J. P. Ruiz-Sanchez, M. A. Villegas-Mendez, J. Montañez, J. R. Benavente-Valdés, and L. Morales-Oyervides, “Microbial Production of Bioactive Compounds: Recent Advancements and Trends,” in *Microbial Bioactive Compounds: Industrial and Agricultural Applications*, R. Soni, D. C. Suyal, and L. Morales-Oyervides, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 1–20. doi: 10.1007/978-3-031-40082-7_1.
- [65]N.-M. Maftei *et al.*, “The Potential Impact of Probiotics on Human Health: An Update on Their Health-Promoting Properties,” *Microorganisms*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.3390/microorganisms12020234.
- [66]F. Melini, V. Melini, F. Luziatelli, A. G. Ficca, and M. Ruzzi, “Health-Promoting Components in Fermented Foods: An Up-to-Date Systematic Review,” *Nutrients*, vol. 11, no. 5, 2019, doi: 10.3390/nu11051189.

- [67]M. L. Marco *et al.*, “Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond,” *Curr. Opin. Biotechnol.*, vol. 44, pp. 94–102, 2017.
- [68]A. Blandino, M. Al-Aseeri, S. Pandiella, D. Cantero, and C. Webb, “Cereal-based fermented foods and beverages,” *Food Res. Int.*, vol. 36, no. 6, pp. 527–543, 2003.
- [69]D. Ghosh, D. K. Chattoraj, and P. Chattopadhyay, “Studies on changes in microstructure and proteolysis in cow and soy milk curd during fermentation using lactic cultures for improving protein bioavailability,” *J. Food Sci. Technol.*, vol. 50, pp. 979–985, 2013.
- [70]A. Lorusso, R. Coda, M. Montemurro, and C. G. Rizzello, “Use of selected lactic acid bacteria and quinoa flour for manufacturing novel yogurt-like beverages,” *Foods*, vol. 7, no. 4, p. 51, 2018.
- [71]J. P. Tamang, D.-H. Shin, S.-J. Jung, and S.-W. Chae, “Functional Properties of Microorganisms in Fermented Foods,” *Front. Microbiol.*, vol. 7, 2016, [Online]. Available:
<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2016.00578>
- [72]C. Hill *et al.*, “Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic,” *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, 2014.
- [73]F. Boukid and M. Castellari, “Food and Beverages Containing Algae and Derived Ingredients Launched in the Market from 2015 to 2019: A Front-of-Pack Labeling Perspective with a Special Focus on Spain,” *Foods*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.3390/foods10010173.
- [74]T. Lafarga, F. G. Ación-Fernández, and M. Garcia-Vaquero, “Bioactive peptides and carbohydrates from seaweed for food applications: Natural occurrence, isolation, purification, and identification,” *Algal Res.*, vol. 48, p. 101909, 2020.
- [75]A. Lopez-Santamarina *et al.*, “Potential use of marine seaweeds as prebiotics: A review,” *Molecules*, vol. 25, no. 4, p. 1004, 2020.
- [76]T. Lafarga, “Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products,” *Algal Res.*, vol. 41, p. 101566, 2019.
- [77]S. O. Lourenço, E. Barbarino, J. C. De-Paula, L. O. da S. Pereira, and U. M. L. Marquez, “Amino acid composition, protein content and calculation of nitrogen-to-protein conversion factors for 19 tropical seaweeds,” *Phycol. Res.*, vol. 50, no. 3, pp. 233–241, 2002.
- [78]A. J. Smit, “Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review,” *J. Appl. Phycol.*, vol. 16, no. 4, pp. 245–262, 2004.

- [79]K. H. Cardozo *et al.*, “Metabolites from algae with economical impact,” *Comp. Biochem. Physiol. Part C Toxicol. Pharmacol.*, vol. 146, no. 1–2, pp. 60–78, 2007.
- [80]S. L. Holdt and S. Kraan, “Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation,” *J. Appl. Phycol.*, vol. 23, pp. 543–597, 2011.
- [81]T. Lafarga, J. M. Fernández-Sevilla, C. González-López, and F. G. Acién-Fernández, “Spirulina for the food and functional food industries,” *Food Res. Int.*, vol. 137, p. 109356, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109356.
- [82]J. A. V. Costa, B. C. B. Freitas, G. M. Rosa, L. Moraes, M. G. Morais, and B. G. Mitchell, “Operational and economic aspects of Spirulina-based biorefinery,” *Bioresour. Technol.*, vol. 292, p. 121946, 2019.
- [83]A. Niccolai *et al.*, “Development of new microalgae-based sourdough ‘crostini’: Functional effects of *Arthrospira platensis* (spirulina) addition,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 19433, 2019.
- [84]P. M. Kris-Etherton *et al.*, “Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer,” *Am. J. Med.*, vol. 113, no. 9, pp. 71–88, 2002.
- [85]R. H. Liu, “Dietary bioactive compounds and their health implications,” *J. Food Sci.*, vol. 78, no. s1, pp. A18–A25, 2013.
- [86]J. R. Calo, P. G. Crandall, C. A. O’Bryan, and S. C. Ricke, “Essential oils as antimicrobials in food systems – A review,” *Food Control*, vol. 54, pp. 111–119, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.foodcont.2014.12.040.
- [87]C. D. Wu and G. Wei, “19 - Tea as a functional food for oral health,” in *Food Constituents and Oral Health*, M. Wilson, Ed., Woodhead Publishing, 2009, pp. 396–417. doi: 10.1533/9781845696290.2.396.
- [88]A. Güneş Bayir, A. N. Aksoy, and A. KOÇYİĞİT, “The importance of polyphenols as functional food in health,” 2019.
- [89]K. B. Pandey and S. I. Rizvi, “Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease,” *Oxid. Med. Cell. Longev.*, vol. 2, no. 5, pp. 270–278, 2009.
- [90]Q. Qi *et al.*, “Anthocyanins and proanthocyanidins: Chemical structures, food sources, bioactivities, and product development,” *Food Rev. Int.*, vol. 39, no. 7, pp. 4581–4609, 2023.
- [91]M. W. Clarke, J. R. Burnett, and K. D. Croft, “Vitamin E in Human Health and Disease,” *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, vol. 45, no. 5, pp. 417–450, Jan. 2008, doi: 10.1080/10408360802118625.
- [92]H. A. Hassan, H. S. Ahmed, and D. F. Hassan, “Free radicals and oxidative stress: Mechanisms and therapeutic targets,” *Hum. Antibodies*, no. Preprint, pp. 1–17, 2024.

- [93] Q. Bei, Y. Liu, L. Wang, G. Chen, and Z. Wu, "Improving free, conjugated, and bound phenolic fractions in fermented oats (*Avena sativa* L.) with *Monascus anka* and their antioxidant activity," *J. Funct. Foods*, vol. 32, pp. 185–194, May 2017, doi: 10.1016/j.jff.2017.02.028.
- [94] L. G. Ranilla, "Bioactive ingredients from corn and lactic acid bacterial biotransformation," in *Functional Foods and Biotechnology*, CRC Press, 2019, pp. 19–45.
- [95] P. C. Anunciação *et al.*, "Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content," *Food Chem.*, vol. 221, pp. 984–989, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.065.
- [96] D. Sumczynski, E. Kotásková, H. Družbíkóvá, and J. Mlček, "Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties," *Food Chem.*, vol. 211, pp. 339–346, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.05.081.
- [97] A. D. Frond *et al.*, "Phytochemical Characterization of Five Edible Purple-Reddish Vegetables: Anthocyanins, Flavonoids, and Phenolic Acid Derivatives," *Molecules*, vol. 24, no. 8, 2019, doi: 10.3390/molecules24081536.
- [98] A. Belščak-Cvitanović, K. Durgo, A. Huđek, V. Bačun-Družina, and D. Komes, "Overview of polyphenols and their properties," in *Polyphenols: Properties, recovery, and applications*, Elsevier, 2018, pp. 3–44.
- [99] M. Aghajanzpour, M. R. Nazer, Z. Obeidavi, M. Akbari, P. Ezati, and N. M. Kor, "Functional foods and their role in cancer prevention and health promotion: a comprehensive review," *Am. J. Cancer Res.*, vol. 7, no. 4, p. 740, 2017.
- [100] Y. Fan and O. Pedersen, "Gut microbiota in human metabolic health and disease," *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 19, no. 1, pp. 55–71, 2021.
- [101] D. Festi, R. Schiumerini, L. H. Eusebi, G. Marasco, M. Taddia, and A. Colecchia, "Gut microbiota and metabolic syndrome," *World J. Gastroenterol. WJG*, vol. 20, no. 43, p. 16079, 2014.
- [102] R. A. Rastall *et al.*, "Modulation of the microbial ecology of the human colon by probiotics, prebiotics and synbiotics to enhance human health: an overview of enabling science and potential applications," *FEMS Microbiol. Ecol.*, vol. 52, no. 2, pp. 145–152, 2005.
- [103] L. Frewer, J. Scholderer, and N. Lambert, "Consumer acceptance of functional foods: issues for the future," *Br. Food J.*, vol. 105, no. 10, pp. 714–731, 2003.
- [104] Y. Malila *et al.*, "Current challenges of alternative proteins as future foods," *Npj Sci. Food*, vol. 8, no. 1, p. 53, Aug. 2024, doi: 10.1038/s41538-024-00291-w.

- [105] R. S. Khan, J. Grigor, R. Winger, and A. Win, "Functional food product development—Opportunities and challenges for food manufacturers," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 30, no. 1, pp. 27–37, 2013.
- [106] G. Andreani, M. Banovic, H. Dagevos, and G. Sogari, "Consumer perceptions and market analysis of plant-based foods: A global perspective," in *Handbook of Plant-Based Food and Drinks Design*, Elsevier, 2024, pp. 393–408.
- [107] C. Hartmann and M. Siegrist, "Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 61, pp. 11–25, 2017.
- [108] F. Michel, C. Hartmann, and M. Siegrist, "Consumers' associations, perceptions and acceptance of meat and plant-based meat alternatives," *Food Qual. Prefer.*, vol. 87, p. 104063, 2021.