

ΒΙΟΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Χαλκίδη Ιωάννη

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Σχολή Περιβάλλοντος

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



Αργοστόλι Κεφαλληνίας

Φεβρουάριος 2024

ΒΙΟΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

Η πτυχιακή εργασία εγκρίθηκε από:

Χαρίλαος Γιώτης

Αικατερίνη Παπαδάκη

Χαρίλαος Παπαποστόλου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρόοδος στον τομέα των τροφίμων έχει οδηγήσει στην εδραίωση μιας νέας κατηγορίας τροφίμων, των λειτουργικών τροφίμων, τα οποία αποτελούν μέρος της διατροφής τους ανθρώπου και η κατανάλωσή τους προσφέρει ποικίλα οφέλη στην υγεία. Στα λειτουργικά τρόφιμα συμπεριλαμβάνονται τρόφιμα φυσικής προέλευσης και εμπλουτισμένα/ενισχυμένα τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία με διάφορες τεχνικές προκειμένου να προστεθούν ένα ή/και περισσότερα θρεπτικά συστατικά. Εξαιτίας της συμπερίληψης βιοενεργών συστατικών (π.χ. λιπαρά οξέα, βιταμίνες, φυτικές στερόλες/στανόλες, προβιοτικά/πρεβιοτικά κ.α.) η κατανάλωσή τους συνεισφέρει σημαντικά στην υγεία και την ευεξία του ανθρώπου, προλαμβάνοντας απειλητικές για την υγεία ασθένειες (π.χ. καρδιαγγειακές παθήσεις, διαβήτη) αλλά κι ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα. Ειδικότερα, στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται ο όρος, οι κατηγορίες των λειτουργικών τροφίμων και τα βιοενεργά συστατικά τα οποία είναι υπεύθυνα για τις λειτουργικές ιδιότητες. Επιπλέον παρατίθενται παραδείγματα λειτουργικών τροφίμων και τα οφέλη που προσφέρουν στην υγεία του ανθρώπου καθώς και προϊόντα τα οποία συναντώνται στην ελληνική αγορά. Ακολούθως, αναλύονται οι διαδικασίες ανάπτυξης ενός λειτουργικού τροφίμου με έμφαση στα εργαλεία μεταφοράς βιοενεργών συστατικών και την τεχνική ενθυλάκωσης. Τέλος, αναφέρεται το νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρώπη και την Αμερική σύμφωνα με το οποίο ένα λειτουργικό προϊόν μπορεί να γίνει αποδεκτό και να ενταχθεί στην αγορά.

ABSTRACT

Advances in the food sector have led to the emergence of a new category of food, identified as functional foods, which are part of the human diet and their consumption offers a variety of health benefits. Functional foods include natural/conventional foods and fortified/enriched foods processed by various techniques to add one and/or more nutrients. Due to the inclusion of bioactive ingredients (e.g. fatty acids, vitamins, plant sterols/stanols, probiotics/prebiotics, etc.), their consumption contributes significantly to human health and well-being, preventing health-threatening diseases (e.g. cardiovascular diseases, diabetes) and strengthening the immune system. This thesis presents the term, the categories of functional foods, and the bioactive ingredients responsible for the functional properties. In addition, examples of functional foods and the benefits they offer to human health and products found in the Greek market are listed. Subsequently, the development processes of functional food are analyzed with an emphasis on bioactive ingredient delivery tools and encapsulation techniques. Finally, the legislative framework in Europe and America according to which a functional product can be accepted and placed on the market is mentioned.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ^ο : Διατροφή του ανθρώπου.....	1
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	3
Κεφάλαιο 2 ^ο : Βιολειτουργικά Τρόφιμα.....	5
2.1 Ορισμός των λειτουργικών τροφίμων.....	5
2.2 Κατηγορίες λειτουργικών τροφίμων.....	6
2.2.1 Συμβατικά λειτουργικά τρόφιμα.....	7
2.2.2 Τροφοφάρμακα (nutraceuticals).....	7
2.2.3 Εμπλουτισμένα ή ενισχυμένα τρόφιμα.....	8
2.2.4 Νεοφανή τρόφιμα.....	8
2.2.5 Τρόφιμα για ειδικές διατροφικές χρήσεις.....	9
2.2.6 Λειτουργικά τρόφιμα και υπερτροφές.....	9
2.3 Δραστικά Συστατικά.....	10
2.3.1 Αντιοξειδωτικά.....	12
2.3.2 Πρεβιοτικά/Προβιοτικά/Συνβιωτικά.....	13
2.3.3 Φυτικές στερόλες και στανόλες.....	14
2.3.4 Καροτενοειδή.....	15
2.4 Παραδείγματα λειτουργικών τροφίμων.....	16
2.4.1 Ψωμί και αυγά ενισχυμένα με ω-3 λιπαρά οξέα.....	16
2.4.2 Ψωμί εμπλουτισμένο με φυλλικό οξύ.....	17
2.4.3 Μαργαρίνες με φυτικές στερόλες/στανόλες.....	18
2.4.4 Γιαούρτι με προβιοτικά.....	18
2.4.5 Παραδείγματα λειτουργικών τροφίμων στην ελληνική αγορά.....	19
2.5 Οφέλη των λειτουργικών τροφίμων στην υγεία.....	20
Κεφάλαιο 3 ^ο : Διαδικασία ανάπτυξης λειτουργικού τροφίμου.....	22
3.1 Κύκλος ανάπτυξης λειτουργικού τροφίμου.....	23
3.3.1 Προσδιορισμός στόχου και σχεδιασμός.....	23
3.3.2 Στάδιο ανάπτυξης.....	24
3.3.3 Αξιολόγηση ασφάλειας και βιοδραστικότητας των βιοενεργών συστατικών.....	26
3.2 Εργαλεία για την μεταφορά βιοδραστικών ενώσεων.....	28
3.2.1 Μικροενθυλάκωση.....	29
3.3 Μέθοδοι ανάλυσης και προσδιορισμού βιοενεργών συστατικών.....	34
Κεφάλαιο 4 ^ο : Νομοθετικό Πλαίσιο.....	37
4.1 Νομοθεσία στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	37

4.2	Νομοθεσία στις ΗΠΑ.....	40
	Συμπεράσματα.....	42
	Βιβλιογραφία.....	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας

Σελίδα

Πίνακας 2.1: Κατηγορίες των λειτουργικών τροφίμων.....	6
Πίνακας 2.2: Παραδείγματα βιοενεργών συστατικών προερχόμενα από ορισμένα λειτουργικά τρόφιμα και πιθανά οφέλη στην υγεία του ανθρώπου.....	11
Πίνακας 3.1 Στόχος, στρατηγική και τακτική που πρέπει να εφαρμοστούν για το σχεδιασμό λειτουργικών τροφίμων.....	24

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνες

Σελίδα

Εικόνα 1: Πυραμίδα Μεσογειακής Διατροφής	2
Εικόνα 2: Οφέλη των λειτουργικών τροφίμων στην υγεία	21
Εικόνα 3: Μεθοδολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας των τροφίμων και των σχετικών δεικτών.....	28
Εικόνα 4: Πλεονεκτήματα και εφαρμογές της ενθυλάκωσης στον τομέα των τροφίμων.....	30

Κεφάλαιο 1^ο: Διατροφή του ανθρώπου

Από τις αρχές της εμφάνισης του ανθρώπινου είδους, ο άνθρωπος ασχολείται στενά με την διατροφή του προσπαθώντας να εντάξει τις σωστές διατροφικές συνήθειες στην καθημερινότητά οι οποίες θα του εξασφαλίσουν σωματική και ψυχική υγεία. Έτσι, προήγαγε θεωρίες στηριζόμενες στις σχέσεις μεταξύ της κατανάλωσης τροφής και των θετικών/αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία του. Οι διατροφικές θεωρίες αναπτύσσονταν συναρτήσει των κλιματολογικών συνθηκών αλλά και των θρησκευτικών αρχών, εντάσσοντας ως εκ τούτου τις νηστείες και απαγορεύοντας κάποια φαγητά, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου συγκροτήσαν κομμάτι των διατροφικών του συνηθειών του σύγχρονου ανθρώπου (Πλέσσας & Nelson, 2010).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ο άνθρωπος χρειάζεται να λαμβάνει από τις τροφές περίπου 50 θρεπτικά συστατικά προκειμένου να είναι υγιής. Αρκετές εξ αυτών περιέχουν περισσότερα από ένα θρεπτικά συστατικά, αλλά σαφώς καμία δεν τα περιέχει είτε όλα και στις ποσότητες που απαιτούνται. Ως εκ τούτου μια ισορροπημένη σε θρεπτικά συστατικά διατροφή πρέπει να εμπεριέχει ποικιλία από φρέσκες τροφές, ευνοϊκές για την υγεία του ατόμου και οι οποίες λαμβάνονται σε σωστές αναλογίες και ποσότητες. Μια διατροφή φτωχή σε θρεπτικά συστατικά ή ακόμα κι εμπλουτισμένη με κατά κύριο λόγο επεξεργασμένα τρόφιμα, μπορεί να είναι επιζήμια στην υγεία, προκαλώντας παρενέργειες στον οργανισμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα παρενέργειας αποτελεί το σκορβούτο (το οποίο αποδίδεται στην έλλειψη της βιταμίνης C στον οργανισμό) ή απειλητικές και χρόνιες παθήσεις, όπως η παχυσαρκία και το μεταβολικό σύνδρομο και τα καρδιαγγειακά νοσήματα και ο σακχαρώδης διαβήτης, αντίστοιχα.

Αξιίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (W.H.O., 2021) η παχυσαρκία έχει καταγραφεί σαν επιδημία. Χαρακτηριστικά, περισσότεροι από 1,9 δισεκατομμύρια ενήλικες βρέθηκαν υπέρβαροι έπειτα από μετρήσεις του δείκτη μάζας σώματος (ΔΜΣ) που πραγματοποιήθηκαν το 2016, ενώ μόλις το 13% του παγκόσμιου ενήλικου πληθυσμού ήταν παχύσαρκος. Τα άτομα με υψηλό ΔΜΣ, τα οποία χαρακτηρίζονται από παχυσαρκία, εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης καρδιαγγειακών νοσημάτων. Επιπλέον, οι υψηλές τιμές ΔΜΣ έχουν συσχετιστεί με νευροεκφυλιστικές ασθένειες όπως η νόσος του Alzheimer, μυοσκελετικές διαταραχές όπως οστεοαρθρίτιδα αλλά και ορισμένους τύπους καρκίνου. Ως εκ τούτου άγεται το συμπέρασμα ότι η ισορροπημένη διατροφή

διαδραματίζει ενεργό ρόλο στην πρόληψη μεταβολικών διαταραχών όπως της παχυσαρκίας και της εμφάνισης επικίνδυνων νοσημάτων που απορρέουν από την εκδήλωση του πρώτου. Παράλληλα η εξατομικευμένη τροποποίηση της καθημερινής διατροφής σύμφωνα με τις ανάγκες του ανθρώπου που την λαμβάνει μπορεί άμεσα να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτών των παθήσεων/ασθενειών.

Το μεσογειακό πρότυπο διατροφής (Εικόνα 1) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ισορροπημένης συμπερίληψης ποικίλων τροφίμων και θρεπτικών συστατικών. Ο σχεδιασμός έχει πραγματοποιηθεί με γνώμονα την τακτική πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από εποχιακά φρούτα/λαχανικά και δημητριακά σε συνδυασμό με την χαμηλή κατανάλωση ζωικών πρωτεϊνών. Η μεσογειακή διατροφή έχει συσχετιστεί με χαμηλά επίπεδα κινδύνου καρδιαγγειακών νοσημάτων στις νότιες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), οι οποίες παρουσιάζουν υψηλότερο προσδόκιμο ζωής σε σύγκριση με τις βόρειες χώρες της ΕΕ και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η κλινική δοκιμή «Πρόληψη με τη Μεσογειακή Διατροφή» (PREDIMED) η οποία διεξήχθη το χρονικό διάστημα 2003-2010 στην Ισπανία εξακρίβωσε ότι ο κίνδυνος για καρδιαγγειακά νοσήματα, καρκίνο του μαστού και διαβήτη μειώθηκε σημαντικά σε μια ομάδα ατόμων (ηλικίας 55-80 ετών) με υψηλό καρδιαγγειακό κίνδυνο έπειτα από κατανάλωση τροφίμων που ανήκαν στο μεσογειακό πρότυπο διατροφής συμπληρωμένα με έξτρα παρθένο ελαιόλαδο ή ξηρούς καρπούς (Martínez-González et al., 2015).



Εικόνα 1: Πυραμίδα Μεσογειακής Διατροφής (Philipos Hellenic Goods, 2023).

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Από την Αρχαία Ελλάδα μέχρι και τα σημερινά χρόνια η ισορροπημένη διατροφή διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Ο Ιπποκράτης τον 4^ο αιώνα π.Χ. την διατύπωσε στην φράση «*Φάρμακό σας ας γίνει η τροφή σας και η τροφή σας ας γίνει φάρμακό σας*». Ο Ιπποκράτης πίστευε ότι τα τρόφιμα που καταναλώνονται ενισχύουν το σώμα στην αντιμετώπιση διάφορων ασθενειών. Επιπροσθέτως, σύμφωνα την ρήση που διατύπωσε εκφράζεται ότι τα τρόφιμα πρέπει να χρησιμοποιούνται ως μηχανισμός πρόληψης των ασθενειών, αποτελώντας την πρώτη γραμμή άμυνας για την αντιμετώπισή τους. Με άλλα λόγια, αυτό που αποδίδεται στον Ιπποκράτη, αντικατοπτρίζει την πανάρχαια επιθυμία των ανθρώπων να θεραπεύουν ή και να προλαμβάνουν ασθένειες με ορισμένα τρόφιμα. Αυτή η σκέψη αποτελεί τη βάση των λειτουργικών τροφίμων (functional foods), δηλαδή των τροφίμων που μπορούν να αποτελέσουν ισχυρό αποτρεπτικό παράγοντα για την εμφάνιση πολλών ασθενειών και παθήσεων αλλά είναι ικανά να συμβάλουν στην θεραπεία τους. Ο όρος "λειτουργικά τρόφιμα", που επινοήθηκε στην Ιαπωνία τη δεκαετία του 1970, αναφέρεται σε τρόφιμα εμπλουτισμένα με διάφορα προβιοτικά ή μικροοργανισμούς, φυσικά ή επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν γνωστές βιολογικά δραστικές ενώσεις, που προάγουν την υγεία. Τα οφέλη που προσφέρουν από την κατανάλωσή τους θα πρέπει να είναι επαρκώς επιστημονικά τεκμηριωμένα (Bjelakovic & Gluud, 2007).

Στη σύγχρονη εποχή ο άνθρωπος αντιμετωπίζει καθημερινά πληθώρα επιβαρυντικών για την υγεία παραγόντων όπως το άγχος, το στρες, οι περιβαλλοντικοί ρύποι κ.α. Ταυτόχρονα η πολύωρη εργασία και η έλλειψη ελεύθερου χρόνου, έχουν συμβάλει δραματικά σε αλλαγές των διατροφικών του συνηθειών. Η ανάγκη κατανάλωσης ισορροπημένων, υγιεινών, φιλικών προς το περιβάλλον και ασφαλή τροφίμων ολοένα αυξάνεται. Ταυτόχρονα, με την αύξηση του αριθμού των δημοσιευμένων μελετών που παρέχουν αποδείξεις ότι τα τρόφιμα και τα συστατικά τους παρέχουν σημαντικά οφέλη στην ανθρώπινη υγεία, η αντίληψη των καταναλωτών για τα τρόφιμα έχει διαφοροποιηθεί σημαντικά. Πλέον, η επιλογή των κατάλληλων τροφίμων έγκειται, πέρα από την ικανοποίηση της ανάγκης του οργανισμού να τραφεί στην συνεισφορά των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών τα οποία συμβάλουν στην προστασία και την ενίσχυση του οργανισμού έναντι ασθενειών που σχετίζονται με την διατροφή. Ως εκ τούτου, η υγεία και η ευεξία των ανθρώπων συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την κατανάλωση θρεπτικών τροφίμων στα πλαίσια μιας ισορροπημένης

διατροφής. Θρεπτικά συστατικά τα οποία εντοπίζονται σε αυξημένες συγκεντρώσεις σε διάφορα τρόφιμα και τα οποία δύναται να ενισχύσουν την υγεία των ανθρώπων έχουν λάβει αρκετή προσοχή τόσο από την επιστημονική κοινότητα όσο και από τους καταναλωτές και ακολούθως τις βιομηχανίες παρασκευής προϊόντων διατροφής.

Αρκετές επιδημιολογικές μελέτες τα τελευταία 50 χρόνια επέδειξαν ότι οι δίαιτες στις οποίες κυριαρχούν τα φρούτα, τα λαχανικά, και φυτικές ίνες (από τρόφιμα φυτικής προέλευσης) προλαμβάνουν και μειώνουν τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών όπως είναι τα καρδιαγγειακά νοσήματα, η παχυσαρκία και ο διαβήτης μεταξύ άλλων, τα οποία αποτελούν τις κύριες αιτίες θανάτου στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η υψηλή μέση ημερήσια πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από πηγές όπως τα φρούτα, τα λαχανικά και τα δημητριακά ολικής άλεσης έχουν συνδεθεί στενά με μειωμένο κίνδυνο εμφάνισης απειλητικών για την ζωή ασθενειών, προάγοντας έτσι την υγεία και την ευεξία. Παράλληλα υπολογίζεται ότι ένα τρίτο των θανάτων που οφείλονται στην εκδήλωση καρκίνου σε ανεπτυγμένες/βιομηχανικές χώρες θα μπορούσε να αποφευχθεί μέσω της κατανάλωσης διατροφικών σκευασμάτων με υψηλά ποσοστά θρεπτικών συστατικών. Αυτό συνεπάγεται ότι αλλαγές στις διατροφικές συνήθειες, εντάσσοντας στην ημερήσια διατροφή λειτουργικά τρόφιμα ή/και υπερτροφές αλλά και αλλαγές στον τρόπο ζωής (μείωση άγχους, άθληση κα.) αποτελούν πρακτικές στρατηγικές που μειώνουν τις πιθανότητες εμφάνισης ασθενειών όπως ο καρκίνος (Gul, Singh, & Jabeen, 2016).

Κεφάλαιο 2^ο: Βιολειτουργικά Τρόφιμα

Τα τρόφιμα είναι ευρέως γνωστό πως αποτελούν πλούσιες πηγές βιταμινών και ανόργανων συστατικών που υποστηρίζουν βασικές λειτουργίες του σώματος όπως η αναπνοή, η παραγωγή ενέργειας, και η ανοσολογική απόκριση κι ενισχύουν την υγεία του ανθρώπου. Μεταξύ των τύπων τροφίμων, τα προϊόντα για ειδικούς διατροφικούς σκοπούς (π.χ. ελαφριά, διαιτητικά, χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά) κι εκείνα που είτε είναι από τη φύση τους πλούσια σε θρεπτικά συστατικά (υπερτροφές) είτε εμπλουτίζονται με διάφορες τεχνικές ενίσχυσης (βιολειτουργικά τρόφιμα) είναι οι κύριες κατηγορίες που μελετώνται τα τελευταία 20 χρόνια.

2.1 Ορισμός των λειτουργικών τροφίμων

Ο όρος «λειτουργικά τρόφιμα» καταγράφηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία τη δεκαετία του 1980 όπου διαπιστώθηκε ότι συγκεκριμένα τρόφιμα δύναται να συνδράμουν θετικά στον ανθρώπινο οργανισμό, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και μειώνοντας ακολούθως το κόστος περίθαλψης του ηλικιωμένου πληθυσμού. Ως λειτουργικά ορίστηκαν από την ιαπωνική επιστημονική κοινότητα τα τρόφιμα που επιτελούν τρεις βασικές λειτουργίες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η κάλυψη των βασικών διατροφικών αναγκών, η ικανοποίηση των αισθήσεων και τέλος η ευεργετική επίδραση στον ανθρώπινο οργανισμό. Στη συνέχεια, το 1991, το υπουργείο υγείας της Ιαπωνίας εισήγαγε κανόνες για την έγκριση μιας κατηγορίας τροφίμων στα οποία ήταν υποχρεωτικό να αναγράφεται στην ετικέτα τους συγκεκριμένοι ισχυρισμοί υγείας. Τα τρόφιμα αυτά ονομάστηκαν ως “FOSHU” (Foods for Specified Health Uses) και μέχρι σήμερα, πολλά συμβατικά και μη τρόφιμα έχουν χαρακτηριστεί ως FOSHU στην Ιαπωνία. Χαρακτηριστικά παραδείγματα FOSHU είναι τα τρόφιμα που περιέχουν γαλακτοβακτήρια και ολιγοσακχαρίτες με αποτέλεσμα να τροποποιούν τις εντερικές συνθήκες, αυτά που συμβάλουν στον έλεγχο των λιπιδίων στο αίμα, τα τρόφιμα που περιέχουν επιπλέον ασβέστιο ενισχύοντας τα οστά κα. (Bellisle et al., 1998; Ye, Georges, & Selomulya, 2018).

Η συσχέτιση της διατροφής με την υγεία του ανθρώπου έχει αναγνωριστεί από τους καταναλωτές οδηγώντας τους στην αναζήτηση τροφίμων. Έτσι, η αποδοχή της ευρύτερης έννοιας των λειτουργικών τροφίμων αλλά και ο ρόλος τους στη διεθνή αγορά ώθησε την επιστημονική κοινότητα να δημιουργήσει έναν γενικά αποδεκτό ορισμό για αυτά. Συγκεκριμένα, ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας του ΟΗΕ ορίζει τα λειτουργικά τρόφιμα ως εξής: *Ως λειτουργικό τρόφιμο μπορεί να οριστεί ένα τρόφιμο που αποδεικνύει*

ικανοποιητικά ότι επηρεάζει ευεργετικά μία ή περισσότερες λειτουργίες-στόχους στο σώμα, πέρα από τις επαρκείς διατροφικές επιδράσεις, με τρόπο που σχετίζεται είτε με τη βελτίωση της κατάστασης υγείας και της ευεξίας είτε με τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών.

Οι Diplock et al. όρισαν περαιτέρω τα λειτουργικά τρόφιμα ως εξής: Ένα τρόφιμο μπορεί να θεωρηθεί λειτουργικό εάν έχει αποδειχθεί ικανοποιητικά ότι επηρεάζει ευεργετικά μία ή περισσότερες λειτουργίες-στόχους του οργανισμού, πέραν των επαρκών διατροφικών επιδράσεων, με τρόπο που έχει σχέση είτε με τη βελτίωση της κατάστασης υγείας και της ευεξίας ή/και με τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών. Ένα λειτουργικό τρόφιμο θα πρέπει να καταναλώνεται στα πλαίσια μιας ισορροπημένης διατροφής και δεν είναι υπό τη μορφή χαπιού, κάψουλας ή συμπληρώματος διατροφής (Diplock et al., 1999).

Τέλος, πρόσφατα, οι Granato et al., 2017, παρουσίασαν τα λειτουργικά τρόφιμα ως βιομηχανικά επεξεργασμένα ή φυσικά τρόφιμα που όταν καταναλώνονται τακτικά στο πλαίσιο μιας ποικιλόμορφης διατροφής προσφέρουν δυνητικά θετικές επιδράσεις στην υγεία. Παρά το γεγονός ότι ακόμη δεν υπάρχει ένας καθολικά αποδεκτός όρος, για να ενταχθούν στην κατηγορία αυτή τα τρόφιμα θα πρέπει επιπροσθέτως να αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής διατροφής χωρίς να αποκλείονται τα παρασκευάσματα που λαμβάνονται ως συμπληρώματα διατροφής και να έχουν εκτιμηθεί από ειδικούς οι ευεργετικές ιδιότητες που σχετίζονται με την κατανάλωση τους και την αντιμετώπιση μιας ασθένειας ή ενός κινδύνου (Granato, Nunes, & Barba, 2017).

2.2 Κατηγορίες λειτουργικών τροφίμων

Δεδομένου των διαφορετικών προσεγγίσεων που δίνονται για τα λειτουργικά τρόφιμα, έχουν κατηγοριοποιηθεί σε ομάδες σύμφωνα με την φύση των τροφίμων και την πιθανή επεξεργασία που έχουν υποστεί προκειμένου να αποδοθούν λειτουργικές ιδιότητες. Στην βιβλιογραφία απαντώνται δυο τρόποι κατηγοριοποίησης των βιολειτουργικών τροφίμων όπου ο πρώτος είναι πιο γενικός (Πίνακας 2.1) και ο δεύτερος περιέχει κατηγορίες που έχουν οριστεί σύμφωνα με τις λειτουργίες και τις ιδιότητες των τροφίμων και χρησιμοποιούνται ευρέως από τους επιστήμονες. Πιο συγκεκριμένα οι κατηγορίες που έχουν οριστεί και παρουσιάζονται στην βιβλιογραφία αποτελούν τα συμβατικά λειτουργικά τρόφιμα, τα τροφοφάρμακα (nutraceuticals), τα εμπλουτισμένα ή ενισχυμένα τρόφιμα, τα νεοφανή και αυτά που προορίζονται για ειδικές διατροφικές χρήσεις.

Πίνακας 2.1: Κατηγορίες των λειτουργικών τροφίμων (Gul et al., 2016).

Κατηγορία	Ορισμός	Παράδειγμα
Συμβατικά τρόφιμα	Φυσικά τρόφιμα ή προϊόντα διατροφής που περιέχουν βιοδραστική ένωση	Τα καρότα περιέχουν φυσικά β-καροτένιο
Επεξεργασμένα τρόφιμα με προσθήκη βιοενεργών συστατικών	Η βιοδραστική ουσία προστίθεται στο τρόφιμο κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του	Χυμός πορτοκαλιού με προσθήκη ασβεστίου Γάλα με προσθήκη ωμέγα-3 λιπαρών οξέων
Τρόφιμα ενισχυμένα με περισσότερες από μια βιοδραστικές ουσίες	Η βιοδραστική ουσία υπάρχει φυσικά στο τρόφιμο, αλλά το ποσοστό των βιοδραστικών ουσιών τροποποιείται ή συμπυκνώνεται (π.χ. με γενετική μηχανική ή αναπαραγωγή)	Γιαούρτι με αυξημένα επίπεδα πρεβιοτικών Ντομάτες με αυξημένη περιεκτικότητα σε λυκοπένιο Αυγά με αυξημένα επίπεδα ωμέγα-3 λιπαρών οξέων

2.2.1 Συμβατικά λειτουργικά τρόφιμα

Τα λειτουργικά τρόφιμα είναι παρόμοια με τα συμβατικά τρόφιμα, τα οποία καταναλώνονται και αποτελούν μέρος των διατροφικών συνηθειών. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν με άλλα λόγια τα φυσικά τρόφιμα τα οποία είναι γνωστό ότι βελτιώνουν την υγεία, καθώς περιέχουν δραστικές ουσίες οι οποίες βοηθούν σε αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα φρούτα και τα λαχανικά τα οποία είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά βιοδραστικά συστατικά προστατεύοντας έτσι τον ανθρώπινο οργανισμό από τις ελεύθερες ρίζες (Gul et al., 2016), (Κουτελιδάκης Α., 2015).

2.2.2 Τροφοφάρμακα (nutraceuticals)

Τα τροφοφάρμακα ορίζονται ως τα τρόφιμα ή μέρη των τροφίμων που παρέχουν ιατρικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης και/ή της θεραπείας. Γενικά, τα τροφοφάρμακα έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μια συμπυκνωμένη μορφή ενός βιοδραστικού παράγοντα από ένα τρόφιμο, που παρουσιάζεται σε μια μη διατροφική μήτρα και χρησιμοποιείται με σκοπό την ενίσχυση της υγείας. Με άλλα λόγια τα τροφοφάρμακα αποτελούν προϊόντα που παράγονται από τρόφιμα αλλά πωλούνται σε φαρμακευτικές

μορφές είτε κάψουλας, δισκίου, σκόνης, είτε διαλύματος (διατροφική μήτρα). Επιπλέον, διατίθενται σε δόσεις που υπερβαίνουν αυτές που θα μπορούσαν να ληφθούν από τα συνήθη τρόφιμα προσφέροντας άμεσα οφέλη στην υγεία. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα συμπληρώματα διατροφής και τα αρωματικά φυτά/βότανα (Gul et al., 2016), (Κουτελιδάκης Α., 2015).

2.2.3 Εμπλουτισμένα ή ενισχυμένα τρόφιμα

Οι διεργασίες εμπλουτισμού ή ενίσχυσης των τροφίμων έχουν ως στόχο την πρόληψη ή την αντιμετώπιση διαγνωσμένης ανεπάρκειας στον πληθυσμό/πληθυσμιακή ομάδα. Ωστόσο, εξ' ορισμού τους οι διεργασίες αυτές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Ο εμπλουτισμός (fortification) είναι η διαδικασία της σκόπιμης προσθήκης θρεπτικών συστατικών ή μη θρεπτικών βιοδραστικών συστατικών σε τρόφιμα. Χρησιμοποιείται συνήθως παγκοσμίως για την εξισορρόπηση της διατροφής ή την πρόληψη θρεπτικών συστατικών λόγω συναφών ελλείψεων. Για παράδειγμα, στους χυμούς πορτοκαλιού πραγματοποιείται εμπλουτισμός με φολικό οξύ και βιταμίνη C, τα οποία εκ φύσεως βρίσκονται στα πορτοκάλια (Dwyer et al., 2015). Απεναντίας, η ενίσχυση αποτελεί διαδικασία προσθήκης ενός συστατικού που δεν συναντάται φυσιολογικά στο τρόφιμο. Η διεργασία της ενίσχυσης συμβαίνει στην περίπτωση προσθήκης ασβεστίου σε χυμούς ή στερολών σε μαργαρίνες. Τέλος, είναι σημαντικό να επισημανθεί πως σε περιπτώσεις τροφίμων στα οποία προστίθενται ενεργά συστατικά για την αναπλήρωση των χαμηλών επιπέδων που παρουσιάζουν κατά την επεξεργασία, τότε το τρόφιμο δεν θεωρείται λειτουργικό αλλά απλώς εμπλουτισμένο (Κουτελιδάκης Α., 2015).

2.2.4 Νεοφανή τρόφιμα

Τα νεοφανή (novel) τρόφιμα είναι μια νέα κατηγορία τροφίμων που συναντάται κυρίως στην Αμερική και αναφέρεται σε τρόφιμα που δεν αποτελούν μέρος της συμβατικής/παραδοσιακής διατροφής ενός ανθρώπου. Αυτά προκύπτουν ύστερα από γενετικές τροποποιήσεις των καρπών καλλιέργειας βασιζόμενες κυρίως στην τεχνολογία ανασυνδυασμένου DNA ή από βιοτεχνολογικές ζυμώσεις, με στόχο αφενός την αύξηση της παραγωγής κι αφετέρου τον εμπλουτισμό των συλλεγόμενων καλλιεργημένων τροφίμων. Ωστόσο λόγω της νέα προσθήκης τους στην αγορά, τα δυνητικά θετικά ή αρνητικά αποτελέσματα που μπορεί να προκαλέσουν μετά την κατανάλωση τους, μελετώνται ακόμα. Κάποια παραδείγματα που ανήκουν στην κατηγορία των νεοφανών τροφίμων είναι το καλαμπόκι με υψηλή περιεκτικότητα λυσίνης, φρούτα με αυξημένη περιεκτικότητα σε

βιταμίνες και λαχανικά πλούσια σε φυτοχημικές ουσίες (Zarbà, Chinnici, & D'Amico, 2020) (Κουτελιδάκης Α., 2015).

2.2.5 Τρόφιμα για ειδικές διατροφικές χρήσεις

Στην κατηγορία των τροφίμων για ειδικές διατροφικές χρήσεις περιλαμβάνονται αυτά που έχουν υποστεί βιομηχανική επεξεργασία με στόχο να υποστηρίξουν συγκεκριμένες ανάγκες, συνήθως σε ορισμένες πληθυσμιακές ομάδες. Τα τρόφιμα που αφορούν αποκλειστικά βρέφη, παιδιά και ηλικιωμένους είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα ομάδων τα οποία λαμβάνουν τρόφιμα με ειδικές διατροφικές ανάγκες. Παραδείγματα τέτοιων τροφών είναι τα υποαλλεργικά τρόφιμα όπως τα τρόφιμα ελεύθερα από την γλουτένη και τη λακτόζη (για άτομα με δυσανεξία σε αυτά) και τρόφιμα που στοχεύουν στην απώλεια βάρους (Κουτελιδάκης Α., 2015).

2.2.6 Λειτουργικά τρόφιμα και υπερτροφές

Οι υπερτροφές (superfoods) είναι ο όρος που συναντάται περισσότερο αναφερόμενος στα λειτουργικά τρόφιμα. Οι υπερτροφές σχετίζονται με τροφές πλούσιες σε διάφορους τύπους μικρο- και μακρο- θρεπτικών συστατικών τα οποία συμβάλουν στην ανθρώπινη ευζωία (Meyerding, Kürzdörfer, & Gassler, 2018). Ωστόσο, σύμφωνα τόσο και με την βιβλιογραφία όσο και με την αγορά, ο όρος υπερτροφές και η συσχέτιση με τα λειτουργικά τρόφιμα παρουσιάζουν ένα θολό τοπίο. Κάποιες επιστημονικές μελέτες παρομοιάζουν τις υπερτροφές με προϊόντα που επιτελούν παρόμοιες λειτουργίες με αυτές των λειτουργικών τροφίμων. Επίσης, αυτές οι τροφές φαίνεται να συνδέονται με τα τροφοφάρμακα, τα οποία αποτελούν μια κατηγορία των λειτουργικών τροφίμων. Μάλιστα, έχει προταθεί η κατάταξη των υπερτροφών στην ομάδα των τροφοφαρμάκων λόγω της περιεκτικότητας πληθώρα συνεργατικών συστατικών (Wolfe, 2009). Εντούτοις, άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι υπερτροφές διαφέρουν από τα λειτουργικά τρόφιμα ως προς τον τρόπο δημιουργίας τους και την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά, καθώς τα λειτουργικά τρόφιμα συχνά εμπλουτίζονται από βιοδραστικές ενώσεις με λειτουργικές και ανοσοενισχυτικές ιδιότητες (Fernández-Ríos et al., 2022).

Καταλυτικά, οι υπερτροφές, παρά το γεγονός ότι μοιάζουν με τα λειτουργικά τρόφιμα, διαφέρουν σε ορισμένες σημαντικές πτυχές. Σύμφωνα με όσα έχουν αναλυθεί προηγουμένως έχει γίνει αντιληπτό ότι τα λειτουργικά τρόφιμα αποτελούν τρόφιμα τα οποία καταναλώνονται καθημερινά και προσδίδουν οφέλη στην υγεία επηρεάζοντας θετικά διάφορες λειτουργίες του οργανισμού και μειώνοντας ακολούθως τον κίνδυνο εκδήλωσης ασθενειών. Αντιθέτως, οι υπερτροφές αποτελούν προϊόντα διατροφής των οποίων οι

λειτουργικές ιδιότητες δεν ενισχύονται μέσω μεθόδων επεξεργασίας (π.χ. διεργασίες ενσωμάτωσης θρεπτικών συστατικών, γενετικής τροποποίησης κα.) (Tacer-Caba, 2019).

2.3 Δραστικά Συστατικά

Η κατανάλωση των λειτουργικών τροφίμων έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να επιδράσει ευεργετικά σε μία ή και περισσότερες λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Η ικανότητα αυτή οφείλεται στην παρουσία ενός ή και περισσότερων μακρο- και μικρο-θρεπτικών συστατικών. Με τον όρο βιοενεργά ή βιοδραστικά συστατικά εννοούμε τα στοιχεία εκείνα των τροφίμων τα οποία είναι ικανά να επιτελέσουν μια συγκεκριμένη λειτουργία του οργανισμού. Η λειτουργία αυτή θα πρέπει να είναι επιστημονικά επαρκώς τεκμηριωμένη προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ιδιότητα αποδίδοντας ως εκ τούτου στα συστατικά που την πραγματοποιούν τον όρο «βιοενεργά συστατικά». Τα βιοενεργά συστατικά πρόκειται για ουσίες που εντοπίζονται σε συμβατικά/παραδοσιακά τρόφιμα και που αποδεικνύεται από μελέτες (σε πειραματόζωα, κλινικές, επιδημιολογικές) ότι βελτιστοποιούν την υγεία μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών ή/και ενισχύοντας την λειτουργία των συστημάτων του οργανισμού.

Τα λειτουργικά συστατικά κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη δράση τους:

- ο ευεργετικά/πλεονεκτικά συστατικά, π.χ. διαιτητικές ίνες, φυτοστερόλες
- ο πρόσθετα συστατικά, ιδιαίτερα ευεργετικά/πλεονεκτικά, π.χ. βιταμίνη ή μεταλλικό στοιχείο ή προβιοτική καλλιέργεια,
- ο εκείνα που βοηθούν την απομόνωση των αρνητικών συστατικών, π.χ. αλλεργιογόνα
- ο εκείνα που αντικαθιστούν ένα αρνητικό συστατικό, π.χ. υποκατάστατο λιπαρού (Μπουσδούνη Π, 2020).

Τα σημαντικότερα μικρο- και μακρο- βιοενεργά συστατικά τα οποία έχουν αποδειχθεί ότι είναι υπεύθυνα για τις ευεργετικές ιδιότητες των λειτουργικών τροφίμων είναι τα καροτενοειδή, οι διαιτητικές ή φυτικές ίνες, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (ω-3, ω-6), τα φλαβονοειδή, οι φαινόλες και οι ταννίνες, τα σουλφίδια/θειόλες, διάφορες πρωτεΐνες και πεπτίδια, βιταμίνες (Α, Β, C, Κ κτλ.), μέταλλα, οξυγαλακτικά βακτήρια, κα. Η υψηλή διατροφική τους αξία αναγνωρίζεται εξαιτίας της ενισχυμένης απορροφητικότητας από τον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και της χαμηλής επιβάρυνσης του καθημερινού ενεργειακού φορτίου. Στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα βιοενεργών συστατικών που εντοπίζονται σε ορισμένες τροφές, καθώς και οι ωφέλιμες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου σύμφωνα με επιστημονικές

μελέτες που έχουν διεξαχθεί. Επιπλέον, παρακάτω αναλύονται κάποια αντιπροσωπευτικά βιοενεργά συστατικά όπως τα αντιοξειδωτικά, τα πρεβιοτικά/προβιοτικά/συνβιωτικά, οι φυτικές στερόλες και οι στανόλες και καρετονειδή.

Πίνακας 2.2: Παραδείγματα βιοενεργών συστατικών προερχόμενα από ορισμένα λειτουργικά τρόφιμα και πιθανά οφέλη στην υγεία του ανθρώπου.

Βιοενεργό συστατικό	Λειτουργικό Τρόφιμο	Οφέλη στην υγεία	Πηγή
Καροτονειδή			
β-καροτένιο	Κίτρινα, πορτοκαλί και πράσινα φυλλώδη λαχανικά και φρούτα (π.χ. καρότο, μάνγκο, πορτοκάλι, κ.λπ.)	ΑΟΞ, προλαμβάνει οφθαλμικές παθήσεις, ακτινοπροστατευτικό και αντιμεταλλαξιογόνο	(Kim, 2016)
Λουτεΐνη	Πράσινα φυλλώδη λαχανικά π.χ. λάχανο	ΑΟΞ, αντιφλεγμονώδες, αντιδιαβητικό, κατά του έλκους, προλαμβάνει οφθαλμικές παθήσεις, ↓κινδύνου εμφάνισης καρκίνου	(Kim & Park, 2016)
Λυκοπένιο	Ντομάτα, πεπόνι, ροδάκινο	↓CVD, ↓κινδύνου εμφάνισης καρκίνου, ΑΟΞ	(Costa-Rodrigues, Pinho, & Monteiro, 2018)
Κουρκουμίνη	Κουρκουμά	ΑΟΞ, ↓CVD, ↓εκδήλωσης διαβήτη και ΝΔ	(Salehi et al., 2019)
Πολυφαινόλες			
Ανθοκυανίνες	Σταφύλι, βατόμουρα, κακάο	ΑΟΞ, ↓CVD	(Tacer-Caba, 2019)
Ισοφλαβόνες	Σόγια, miso, tofu, λιναρόσπορος	↓CVD, ↓ LDL-C, ↓κινδύνου εκδήλωσης διαβήτη, οστεοπόρωσης και ηπατικής νόσου	(de Piano, Masquio, & Dâmaso, 2019)
Λιγνάνες	Ελιές/ελαιόλαδο, μπρόκολο, φράουλες	↓CVD και κινδύνου εμφάνισης καρκίνου	(López-Biedma, Sánchez-Quesada, Delgado-Rodríguez, & Gaforio, 2016)
Πρεβιοτικά/προβιοτικά			
Φρουκτοολιγοσακχαρίτες (FOS)	Κρεμμύδια, σκόρδο, σπαράγγια, πράσα	↓Συμπτώματα κατάθλιψης, ↓αθηροσκλήρωσης	(Kazemi, Noorbala, Azam, & Djafarian,

			2019)
<i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i>	Γάλατα που έχουν υποστεί ζύμωση, επιδόρπια π.χ. γιαούρτι μη γαλακτοκομικά τρόφιμα ενισχυμένα με προβιοτικούς μικροοργανισμούς	Διαχείριση της εντερικής χλωρίδας, έλεγχος βάρους, ↓γλυκόζη ορού, ↓ινσουλίνη, ↓LDL-C, ↑ επίπεδα γλουταθειόνης ορού στο αίμα, ↓δείκτες φλεγμονής, ↓υπέρταση, ↓υπεργλυκαιμία, ↑HDL-C	(Roshan et al., 2019), (Ejtahed et al., 2019)
Φυτικές στερόλες			
Στερόλες και στανόλες	Φιστίκι, σιτάρι	↓ολικής χοληστερόλης, ↓LDL-C, αντιφλεγμονώδη, και ΝΔ	(Plat et al., 2019)
Λιπαρά Οξέα			
Ωμέγα-3 λιπαρά οξέα - DHA / EPA	Ψάρια π.χ. σολομός, κέφαλος και σκουμπρί	↓CVD, ενίσχυση όρασης, ↓τριγλυκεριδίων, πρόληψη φλεγμονής	(Saini et al., 2021)
Διαιτητικές ίνες			
B-γλυκάνη	Μαγιά, βρώμη, βακτήρια κ.λπ.	↓CVD, ελέγχει τον διαβήτη, διεγείρει το ανοσοποιητικό σύστημα, ενισχύει το μικροβίωμα του εντέρου	(Chen, Huang, Wang, Geng, & Nie, 2022)
Ινουλίνη	Σπαράγγια, σκόρδο, κρεμμύδι, κ.λπ.	Προβιοτική δράση, ↓αθηροσκλήρωσης,	(Kishan, Akhila, Sahoo, & Kulkarni, 2021)

Συντομογραφίες: ΑΟΞ: αντιοξειδωτικό, CVD: καρδιαγγειακές παθήσεις (cardiovascular diseases), ΝΔ: νευρολογικές διαταραχές, LDL-C: λιποπρωτεϊνική χοληστερόλη χαμηλής πυκνότητας, HDL-C: λιποπρωτεϊνική χοληστερόλη υψηλής πυκνότητας.

2.3.1 Αντιοξειδωτικά

Τη δεκαετία του 1930, οι αντιοξειδωτικές ουσίες, δηλαδή το ασκορβικό οξύ και οι τοκοφερόλες εφαρμόζονταν αποκλειστικά ως πρόσθετα για την πρόληψη της οξείδωσης των ελαίων σε τρόφιμα με υψηλές συγκεντρώσεις λιπιδίων (Carocho, Morales, & Ferreira, 2018). Τη δεκαετία του 1970, οι κλινικές δοκιμές αποκάλυψαν ότι οι αντιοξειδωτικές ενώσεις ανέστειλαν τις διαδικασίες οξείδωσης και απέτρεψαν το οξειδωτικό στρες. Η εξουδετέρωση του οξειδωτικού στρες πραγματοποιείται μέσω αναστολής των αλυσιδωτών αντιδράσεων πολυμερισμού που αρχίζουν από τις ελεύθερες ρίζες ή σχηματίζοντας άλλες ρίζες λιγότερο δραστικές. Η απόρροια της εκδήλωσης του οξειδωτικού στρες είναι η κυτταρική καταστροφή. Ως εκ τούτου, μετά την αποκάλυψη αυτή, η χρήση των

αντιοξειδωτικών ουσιών εκτοξεύτηκε παγκοσμίως, με εφαρμογή όχι μόνο ως πρόσθετα τροφίμων αλλά και ως συμπληρώματα διατροφής λόγω των ευεργετικών επιδράσεων στην υγεία του ανθρώπου (Cömert & Gökmen, 2020).

Οι Halliwell & Gutteridge δήλωσαν ότι «ένα αντιοξειδωτικό είναι μια ουσία που, όταν υπάρχει σε χαμηλή συγκέντρωση σε σύγκριση με εκείνη ενός οξειδώσιμου υποστρώματος στο μέσο, αναστέλλει την οξείδωση του υποστρώματος» (Halliwell & Gutteridge, 2015). Στο πλαίσιο αυτής της ταξινόμησης, οι φαινολικές ενώσεις (π.χ. φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, κουμαρίνες, λιγνοειδή), καροτενοειδή (π.χ. καροτένια), τερπενοειδή (π.χ. μονοτερπένια, τριτερπένια) και ορισμένα λιπίδια (π.χ. τοκοφερόλες και τοκοτριενόλες) θεωρούνται αντιοξειδωτικοί παράγοντες. Ανάλογα με τον τόπο προέλευσης, τα αντιοξειδωτικά μπορεί να είναι ενδογενή (π.χ. καταλάση, αναγωγή της γλουταθειόνης, δισμουτάση του υπεροξειδίου) ή εξωγενή (τοκοφερόλες, καροτενοειδή, φαινολικές ενώσεις και τερπενοειδή). Τα αντιοξειδωτικά συστατικά αλληλοεπιδρούν με τις ελεύθερες ρίζες τερματίζοντας την αλυσίδα των αντιδράσεων πριν ακόμα προκληθεί καταστροφή ζωτικών συστατικών των κυττάρων. Η συγκεκριμένη ικανότητα των αντιοξειδωτικών μάλιστα αποτελεί έναν από τους βασικότερους προστατευτικούς μηχανισμούς. Χαρακτηριστικά οφέλη της δράσης των αντιοξειδωτικών στον ανθρώπινο οργανισμό περιλαμβάνουν την πρόληψη του διαβήτη, την αντικαρκινική δράση, την πρόληψη των καρδιαγγειακών παθήσεων και την καταπολέμηση φλεγμονών, αλλεργιών, οιδημάτων κα. (Wilson et al., 2017).

2.3.2 Πρεβιοτικά/Προβιοτικά/Συνβιωτικά

Τα προβιοτικά είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί που όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες προκαλούν οφέλη στην υγεία του ξενιστή. Για να θεωρηθεί ένας μικροοργανισμός (π.χ. γένη *Lactobacillus* και *Bifidobacterium*) ως προβιοτικό θα πρέπει να επιβιώνει σε όξινο περιβάλλον και όταν εκτίθεται σε χολικά άλατα που βρίσκονται στον ανθρώπινο οργανισμό, ενώ πρέπει να έχει καλή ικανότητα απορρόφησης στο έντερο και αποδεδειγμένα από κλινικές δοκιμές να επιφέρει οφέλη στην υγεία. Αντιθέτως, τα πρεβιοτικά, είναι μη ζώντα πρόσθετα τροφίμων, τα οποία καταλήγουν άπεπτα στο λεπτό έντερο και ζυμώνονται επιλεκτικά από το εντερικό μικροβίωμα ενώ αποδεδειγμένα έχουν ευεργετική επίδραση στον ξενιστή. Τα πρεβιοτικά και τα προβιοτικά αποτελούν μέσα διατήρησης μιας υγιούς εντερικής μικροχλωρίδας, ενώ είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο εντερικών παθήσεων, την πρόληψη λοιμώξεων του ουροποιητικού και του αναπνευστικού

συστήματος αλλά και καρδιαγγειακών παθήσεων (Roshan et al., 2019), (Gibson et al., 2017).

Παραδοσιακά, τα προβιοτικά έχουν προστεθεί σε προϊόντα όπως το γιαούρτι και σε άλλα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση, ενώ πρόσφατα έχουν ενσωματωθεί σε ποτά και παρουσιάζονται στην αγορά ως συμπληρώματα με τη μορφή δισκίων και καψουλών. Μερικά παραδείγματα προβιοτικών είναι το γιαούρτι, η ξινή κρέμα, το γάλα σε σκόνη, το κεφίρ, το βουτυρόγαλα, τα κατεψυγμένα επιδόρπια και τα ζυμωμένα προϊόντα σόγιας. Η πρόσληψη προβιοτικών έχει αποδειχθεί ότι έχει επιπτώσεις στην υγεία, όπως η μείωση των επιπέδων της χοληστερόλης, η προστασία από γαστρεντερικές παθήσεις, η ανακούφιση από τη δυσανεξία στη λακτόζη και την ενίσχυση ανοσίας αλλά και την ενίσχυση του οργανισμού έναντι της εμφάνισης του καρκίνου. Από την άλλη, τα πιο γνωστά πρεβιοτικά είναι οι ολιγοσακχαρίτες σόγιας και οι φρουκτάνες τύπου ινουλίνης. Τα οφέλη των πρεβιοτικών για την υγεία είναι αρκετά συμπεριλαμβανομένου της ανακούφισης από τη δυσκοιλιότητα, της μείωσης του κινδύνου οστεοπόρωσης, αθηροσκληρωτικής καρδιαγγειακής νόσου, παχυσαρκίας και ενδεχομένως διαβήτη τύπου 2 (Al Saqqa, 2021).

Τέλος, τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί στην αγορά και τα συνβιωτικά, τα οποία είναι ένας συνδυασμός προβιοτικών και πρεβιοτικών που παρέχουν ευεργετικά αποτελέσματα στον καταναλωτή βελτιώνοντας αποτελεσματικά την επιβίωση των ζωντανών μικροβίων στο πεπτικό σύστημα σε σύγκριση με τα προβιοτικά ή τα πρεβιοτικά από μόνα τους. Η ορολογία των συνβιωτικών διακρίνεται σε συμπληρωματικά (δηλαδή, το προβιοτικό στέλεχος δεν ζυμώνει απαραίτητα το συστατικό και θα μπορούσε θεωρητικά να υποστηρίξει άλλα μέλη του γαστρεντερικού μικροβιόκοσμου) και συνεργατικά (δηλαδή, το πρεβιοτικό συστατικό προστίθεται σε ένα σκεύασμα τροφίμου με συγκεκριμένο σκοπό την υποστήριξη της ανάπτυξης του προβιοτικού στελέχους) (Krumbeck, Walter, & Hutkins, 2018).

2.3.3 Φυτικές στερόλες και στανόλες

Οι φυτικές στερόλες και οι στανόλες είναι λιπόφιλες ενώσεις που βρίσκονται φυσικά στα φυτά σε μη δεσμευμένη μορφή ή ομοιοπολικά συνδεδεμένες μέσω ενός εστερικού ή γλυκοζιτικού δεσμού. Οι ενώσεις αυτές έχουν δομές και ρόλους παρόμοιους με εκείνους της χοληστερόλης στα ζωικά κύτταρα. Οι φυτικές στερόλες συναντώνται σε ξηρούς καρπούς, σπόρους, δημητριακά, φρούτα και λαχανικά. Οι φυτικές στερόλες και οι στανόλες είναι τοξικολογικά ασφαλείς στα πρότυπα συγκεντρώσεων που απαντώνται στα φυτικά και επεξεργασμένα τρόφιμα (έως 20 g/ημέρα) (Granato et al., 2017).

Λόγω της χημικής ομοιότητας με την χοληστερόλη, οι φυτικές στερόλες και οι στανόλες έχουν κλινικά αποδειχθεί ότι μειώνουν την απορρόφηση της χοληστερόλης τόσο *in vitro* όσο και *in vivo*. Ο μηχανισμός που σχετίζεται με την μείωση της χοληστερόλης οφείλεται από τις φυτικές στερόλες είναι αναστολή της απορρόφησης της πρώτης στον εντερικό σωλήνα (Danesi, Gómez-Caravaca, de Biase, Verardo, & Bordoni, 2016). Έτσι, εξαιτίας των ανασταλτικών επιδράσεων των φυτικών στερολών στην απορρόφηση της χοληστερόλης, αρκετές μελέτες αξιολόγησαν της επιπτώσεις του μηχανισμού αυτού συναρτήσει των καρδιαγγειακών βιοδεικτών, όπως η υποχοληστερολαιμία (hypocholesterolemic effect). Καθώς η κυκλοφορούσα χοληστερόλη, ιδίως η LDL-C (λιποπρωτεϊνική χοληστερόλη χαμηλής πυκνότητας), είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες κινδύνου για καρδιαγγειακά νοσήματα, η παρεμπόδιση της απορρόφησης της χοληστερόλης οδηγεί ενδεχομένως σε μειωμένο κίνδυνο καρδιακών παθήσεων (Ferguson, Stojanovski, MacDonald-Wicks, & Garg, 2018). Κλινικές μελέτες έχουν δείξει μια μέση μείωση κατά 8-15% στην κυκλοφορούσα LDL-C όταν οι φυτικές στερόλες/στανόλες προστίθενται στη συνήθη διατροφή σε δόση 1,5-3 g/ημέρα. Οι αρχές τροφίμων, όπως η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA), έχουν εγκρίνει τα αποτελέσματα των μελετών και κλινικών δοκιμών κι έχουν αποδεχθεί τον ισχυρισμό ότι η προσθήκη αυτών των ενώσεων στα τρόφιμα μπορεί να συμβάλει στη μείωση της LDL-C στο γενικό πληθυσμό. Ωστόσο, οι περισσότερες κλινικές μελέτες ήταν βραχυπρόθεσμης διάρκειας μεταξύ 3 και 6 εβδομάδων, ενώ απαιτείται μακροχρόνια επίδραση για να υποστηριχθεί οποιαδήποτε μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακής νόσου. Η έκθεση των Bard et al. 2015 συνοψίζει δεδομένα σχετικά με την αποτελεσματικότητα των φυτικών στερολών/στανόλων στη μείωση της κυκλοφορούσας LDL, εστιάζοντας στις μακροπρόθεσμες επιδράσεις των εν λόγω ενώσεων σε άλλους υποκατάστατους δείκτες καρδιαγγειακού κινδύνου (Bard, Paillard, & Lecerf, 2015). Επιπλέον, πολλές επιστημονικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι φυτοστερόλες και οι στανόλες προσδίδουν κι άλλες επιδράσεις που προάγουν την υγεία καθώς δρουν ως αντιοξειδωτικά, δεσμευτές ελεύθερων ριζών, αντιφλεγμονώδη συστατικά *in vitro* καθώς λειτουργούν και ως κυτταροτοξικά κατά καρκινικών κυττάρων (Poli et al., 2021).

2.3.4 Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι φυσικές χρωστικές που συντίθενται από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς και ορισμένα μη φωτοσυνθετικά βακτήρια και μύκητες. Οι καροτενοειδείς ενώσεις δεν συντίθενται από τον ανθρώπινο οργανισμό, με αποτέλεσμα να

μπορεί να τα προμηθεύεται μόνο μέσω της διατροφής ή συμπληρωμάτων. Η κύρια πηγή καροτενοειδών είναι τα φυτά αλλά κυρίως οι ρίζες, τα άνθη, οι καρποί και οι σπόροι τους. Τα καροτενοειδή που λαμβάνονται κυρίως από φρούτα και λαχανικά, έχουν συσχετιστεί με χαμηλότερο κίνδυνο εμφάνισης χρόνιων ασθενειών, συμπεριλαμβανομένου του διαβήτη τύπου 2, της καρδιαγγειακής νόσου, του εκφυλισμού της ωχράς κηλίδας, διάφορους τύπους καρκίνου, αντιφλεγμονώδεις δράσεις αλλά και την ενίσχυση της ανοσολογικής απόκρισης. Ορισμένες από αυτές τις λειτουργίες μπορεί να οφείλονται στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες των καροτενοειδών, της προστασίας δηλαδή των κυττάρων από τις ελεύθερες ρίζες που δημιουργούνται. Αναφορικά με την προστασία της ανθρώπινης όρασης, η λουτεΐνη (η επικρατέστερη μορφή καροτενοειδούς στα φυτά) και η ζεαξανθίνη προωθούν την επιλεκτική απορρόφηση από το εύρος μηκών κύματος του φωτός. Ακολουθώντας, η ασταξανθίνη είναι υπεύθυνη για την αποτροπή της οξείδωσης της LDL χοληστερόλης αυξάνοντας παράλληλα τα επίπεδα της HDL-χοληστερόλης, κι ενισχύοντας έτσι την ομαλή λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος (Rivera-Madrid, Carballo-Uicab, Cárdenas-Conejo, Aguilar-Espinosa, & Siva, 2020). Τέλος, η αύξηση της πρόσληψης φρούτων και λαχανικών πλούσια σε καροτενοειδή έχει συσχετιστεί με τη διατήρηση των γνωστικών λειτουργιών. Μάλιστα, το λυκοπένιο έχει αποδειχθεί ότι έχει αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις επιδράσεις τόσο *in vivo* όσο και *in vitro*, καθώς είναι ικανό να διασχίσει τον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και να συμβάλλει στη μείωση της νευροεκφυλιστικής νόσου Alzheimer μειώνοντας την παραγωγή του β-αμυλοειδούς (η συσσώρευση ανώμαλων πεπτιδίων β-αμυλοειδών στον εγκέφαλο, οδηγεί σε απώλεια μνήμης) (Zhao et al., 2017).

2.4 Παραδείγματα λειτουργικών τροφίμων

2.4.1 Ψωμί και αυγά ενισχυμένα με ω-3 λιπαρά οξέα

Τα ω-3 λιπαρά οξέα είναι γνωστό πως συναντώνται σε μεγάλες ποσότητες στα λιπαρά ψάρια όπως για παράδειγμα είναι ο σολομός, ο τόνος και οι σαρδέλες καθώς και στους ξηρούς καρπούς π.χ. στα καρύδια. Χαρακτηριστική λειτουργική ιδιότητα των ω-3 λιπαρών οξέων είναι η συμβολή στη βελτίωση του λιπιδαιμικού προφίλ και στη μείωση της αρτηριακής πίεσης, ενώ παράλληλα εμφανίζουν αντιφλεγμονώδη δράση και φαίνεται ότι προστατεύουν από καρδιοπάθειες, ενώ διερευνάται ο ρόλος τους σε χρόνιες παθήσεις (π.χ. καρκίνος και ρευματοειδής αρθρίτιδα).

Δεδομένων των ευεργετικών ιδιοτήτων αυτού του βιοενεργού συστατικού, η βιομηχανία κατάφερε να αναπτύξει βιολειτουργικά και ασφαλή ως προς την κατανάλωση ενισχυμένα τρόφιμα. Ένα αρτοποιείο στη Δυτική Αυστραλία ενσωμάτωσε επιτυχώς

νανοκάψουλες αποτελούμενες από ιχθυέλαιο τόνου σε ψωμί. Οι διαδικασίες δημιουργίας των νανοσυσκευών και της ενσωμάτωσης του τροφίμου αυτού που αποτελεί σημαντική πηγή ωμέγα-3 λιπαρών οξέων στηρίζονται στην επιστήμη της νανοτεχνολογίας και θα αναλυθούν εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο. Οι μικροκάψουλες αυτές είναι σχεδιασμένες να ανοίγουν μόνο όταν φτάσουν στο στομάχι. Με αυτό τρόπο η απελευθέρωση του θρεπτικού συστατικού πραγματοποιείται απευθείας στο στομάχι ενώ επίσης ο καταναλωτής αποφεύγει τη δυσάρεστη γεύση του ιχθυελαίου κατά την κατανάλωση του ψωμιού. Αξίζει να σημειωθεί πως το προϊόν αυτό, το οποίο πωλείται με το όνομα “Tip-Top Up bread” έχει καταγράψει μεγάλο αριθμό πωλήσεων, γεγονός που προσδίδει μια θετική χροιά ως προς την απήχηση των επεξεργασμένων λειτουργικών προϊόντων στους καταναλωτές (Rennie, Morgan, Schutz, & Drummond, 2003).

Επιπροσθέτως, ορισμένα αυγά είναι εμπλουτισμένα με τρία διαφορετικά ωμέγα-3 λιπαρά οξέα: DHA (δοκοσαεξανοϊκό οξύ), EPA (εικοσαπεντανοϊκό οξύ) και ALA (α-λινολενικό οξύ). Σύμφωνα με τους Rokka et al. 2002 το προφίλ των λιπαρών οξέων των κρόκων των αυγών είναι ικανό να μεταβληθεί με την αλλαγή της τροφής που λαμβάνουν οι όρνιθες. Έτσι εάν στις όρνιθες δίνονται τροφές πλούσιες σε ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, όπως για παράδειγμα σπόρους καμελίνας (*Camelina sativa L.*) τότε τα αυγά που θα γεννούν θα περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες του συγκεκριμένου βιοενεργού συστατικού. Η κατανάλωση των αυγών αυτών ακολούθως προσφέρει οφέλη στην ανάπτυξη και συντήρηση των εγκεφαλικών κυττάρων ενώ επίσης παρέχουν προστασία έναντι των καρδιακών παθήσεων (Rokka, Alén, Valaja, & Ryhänen, 2002). Τα ενισχυμένα σε ω-3 αυγά μπορούν, κατά συνέπεια, να αποτελέσουν εναλλακτική λύση έναντι των ψαριών και των ελαιούχων σπόρων, τόσο ως πηγή λιπαρών οξέων όσο και από οικονομικής άποψης λόγω της χαμηλής τιμής που παρουσιάζουν. Επιπλέον, η εισαγωγή παραλλαγών των αυγών (όπως τα αυγά εμπλουτισμένα με ωμέγα-3 λιπαρά οξέα) στην αγορά φαίνεται πως έχει αποτελέσει μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση λόγω της αυξανόμενης ζήτησης των καταναλωτών για υγιεινά και ασφαλή τρόφιμα (Palmieri, Stefanoni, Latterini, & Pari, 2022).

2.4.2 Ψωμί εμπλουτισμένο με φυλλικό οξύ

Το φυλλικό οξύ είναι απαραίτητο για την παραγωγή DNA και τη δημιουργία νέων κυττάρων, ενώ θεωρείται ότι μειώνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Σύμφωνα με τις μελέτες, το συγκεκριμένο βιοενεργό συστατικό, διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην πρόληψη νευρολογικών παθήσεων των εμβρύων κατά το πρώτο στάδιο ανάπτυξης.

Μεγάλες ποσότητες φυλλικού οξέος συναντώνται στα φυλλώδη λαχανικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εμπλουτισμού προϊόντος με φυλλικό οξύ αποτελεί το ψωμί. Η ζύμη του ψωμιού χρειάζεται θερμική επεξεργασία για να αυξηθεί η πεπτικότητα, η γευστικότητα και οι φυσικές και θρεπτικές ιδιότητές της, γεγονός που προκαλεί πρόσθετη μείωση ή καταστροφή των βιοδραστικών ενώσεων. Ως εκ τούτου, το αλεύρι που χρησιμοποιείται ή απευθείας το ίδιο το ψωμί εμπλουτίζονται με βιταμίνες, μέταλλα ή φυτικά εκχυλίσματα, τα οποία είναι απαραίτητα από διατροφικής άποψης. Οι Green et al. 2013 στην μελέτη τους αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα των ψωμιών σίτου εμπλουτισμένων με μικροενθυλακωμένο ασβέστιο L-5-μεθυλοτετραϋδροφυλλικό οξύ (L-5-MTHF) ή ισοδύναμο φυλλικό οξύ σε σύγκριση με ψωμιά σίτου που δεν περιείχαν πρόσθετο φυλλικό οξύ (εικονικό φάρμακο). Τα αποτελέσματα επέδειξαν αύξηση των συγκεντρώσεων των ερυθρών κυττάρων και του φυλλικού οξέος στο πλάσμα μετά από κατανάλωση ψωμιού εμπλουτισμένου με μικροενθυλακωμένο L-5-MTHF σε σχέση με την κατανάλωση ψωμιού με εικονικού φαρμάκου σε έναν υγιή πληθυσμό κατά τη διάρκεια 16 εβδομάδων (Green et al., 2013).

2.4.3 Μαργαρίνες με φυτικές στερόλες/στανόλες

Ο ρόλος των φυτικών στερολών και στανολών (όπως αναπτύχθηκε στο 2.3.3) έγκειται στην ομοιότητα τους με τη χοληστερίνη επιτρέποντάς τους έτσι να καταλαμβάνουν τη θέση της χοληστερίνης, με αποτέλεσμα να μειώνεται σε ένα βαθμό η απορρόφησή της και η αύξηση των επιπέδων της στο αίμα (Bard et al., 2015). Πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη στην Πολωνία διερεύνησε τη σχέση μεταξύ της συνήθους πρόσληψης συνολικών και μεμονωμένων φυτικών στερολών (β-σιτοστερόλη, καμπεστερόλη και στιγμαστερόλη) ή μιας δίαιτας σε συνδυασμό με προϊόντα εμπλουτισμένα με φυτοστερόλες (π.χ. μαργαρίνες) και των καρδιαγγειακών νοσημάτων σε μια ομάδα ενηλίκων συμμετεχόντων στην Πολυκεντρική Εθνική Έρευνα Υγείας II (WOBASZ II). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πρόσληψη φυτικών στερολών ήταν χαμηλότερη τόσο μεταξύ των ανδρών όσο και των γυναικών με καρδιαγγειακή νόσο σε σύγκριση με εκείνους χωρίς καρδιαγγειακή νόσο, ενώ τέλος η μελέτη αυτή υποδήλωσε ότι η συνήθης διαιτητική πρόσληψη φυτικών στερολών μπορεί να σχετίζεται με μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης καρδιαγγειακής νόσου, ιδίως στους άνδρες (Witkowska et al., 2022).

2.4.4 Γιαούρτι με προβιοτικά

Η ανάπτυξη νέων λειτουργικών τροφών που περιέχουν προβιοτικά είναι ένας ιδιαίτερα αναπτυσσόμενος τομέας της βιομηχανίας τροφίμων και προσελκύει ιδιαίτερο

ενδιαφέρον από τον χώρο της διατροφής, λόγω των ευεργετικών ιδιοτήτων τους για την ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, τα προβιοτικά πρέπει να υπάρχουν στα τρόφιμα πάνω από ένα όριο ($>6 \log_{cfu/g}$) τη στιγμή της κατανάλωσης, προκειμένου να μπορούν να τους αποδοθούν ισχυρισμοί ενισχυμένης λειτουργικότητας. Το όριο αυτό έχει οριστεί σύμφωνα με την ικανότητα επιβίωσης των προβιοτικών κατά τη διέλευση από το ανώτερο και το κατώτερο τμήμα του γαστρεντερικού (GI). Το στέλεχος *Lactobacillus casei* ATCC 393 έχει αναφερθεί ότι έχει ευεργετικά αποτελέσματα ως προς την ρύθμιση των επιπέδων της χοληστερόλης, της μείωσης του κινδύνου οστεοπόρωσης και της δράσης κατά του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων. Επίσης ρυθμίζει την εντερική μικροχλωρίδα και προλαμβάνει εντερικές παθήσεις. Το στέλεχος αυτό έχει πολυάριθμες εφαρμογές στην παραγωγή προϊόντων διατροφής όπως τα γάλατα που έχουν υποστεί ζύμωση και τα γιαούρτια (Marinaki, Kandyli, Dimitrellou, Zakynthinos, & Varzakas, 2016). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η καθημερινή κατανάλωση ενός προβιοτικού γιαουρτιού που περιέχει *Lactobacillus acidophilus* La5 και *Bifidobacterium lactis* Bb12 για 8 εβδομάδες συσχετίστηκε με μειωμένα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα σε ασθενείς με μεταβολικό σύνδρομο ενώ δύναται να συνδράμει στην μείωση καρδιαγγειακού κινδύνου (Rezazadeh, Gargari, Jafarabadi, & Alipour, 2019).

2.4.5 Παραδείγματα λειτουργικών τροφίμων στην ελληνική αγορά

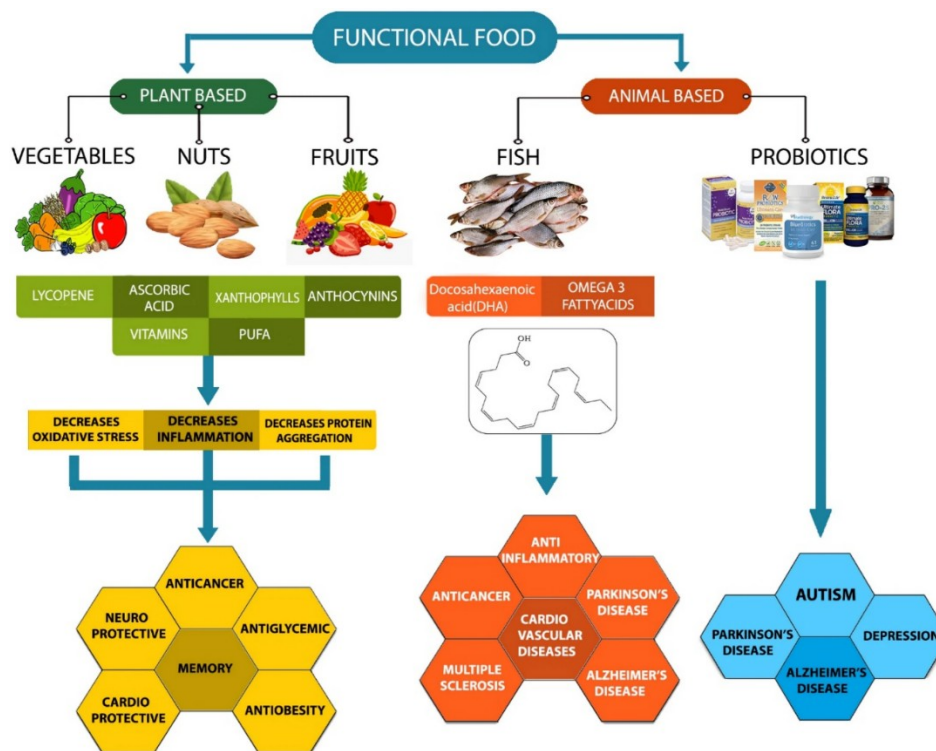
Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται ραγδαία εισροή λειτουργικών προϊόντων διατροφής στην ελληνική αγορά. Τα πιο γνωστά εξ' αυτών ανήκουν στις κατηγορίες που έχουν υποστεί επεξεργασία εμπλουτισμό με φυτικές στερόλες και στανόλες (Becel Proactiv και Benecol) αντικατοπτρίζοντας την αναγνώριση των Ελλήνων καταναλωτών στην θρεπτικά αξία τόσο των συγκεκριμένων συστατικών όσο και γενικότερα των ευεργετικών οφελών από την κατανάλωση τροφίμων υψηλής θρεπτικής αξίας. Τα προϊόντα Becel Proactiv συμπεριλαμβανομένου των Becel πλούσιο σε ω -3 λιπαρά οξέα, Becel light πλούσιο σε ω -3 και Becel ω -3 plus πρόκειται για βούτυρα από τα οποία έχει αφαιρεθεί η χοληστερόλη και το αλάτι κι έχουν ενισχυθεί με ω -3 λιπαρά οξέα και στοχεύουν στην μείωση της χοληστερόλης. Στην ομάδα των γαλακτοκομικών προϊόντων συναντώνται τυριά από τα οποία έχει αφαιρεθεί ποσότητα λίπους ή/κι έχει πραγματοποιηθεί εμπλουτισμός με ασβέστιο ενώ στοχεύουν στην μείωση της κακής χοληστερόλης και στην συμβολή της υγείας των οστών (π.χ. MILNER εν λευκό (40% λιγότερα λιπαρά) Philadelphia light 12% , La Vache qui rit light). Στα γάλατα επίσης έχει ανααιρεθεί ποσότητα λακτόζης ή έχουν προστεθεί βιταμίνες, σίδηρος και ιχνοστοιχεία (π.χ. φρέσκο γάλα

ΔΕΛΤΑ άπαχο 0% λιπαρά, φρέσκο γάλα ΜΕΒΓΑΛ ελαφρύ 1,5% λιπαρά, ΝΟΥΝΟΥ Calci plus 33% ασβέστιο, ΝΟΥΝΟΥ Kid, Sanilac Γάλα 2ης βρεφικής ηλικίας σε σκόνη με σίδηρο κα.). Επιπρόσθετα συναντώνται προϊόντα δημητριακών και παξιμαδιού εμπλουτισμένα με φυτικές ίνες ή βιταμίνες και ιχνοστοιχεία και βοηθάνε στην καλή λειτουργία του εντέρου και την μείωση της χοληστερόλης (δημητριακά Kellogg' s special K., Kellogg' s ail bran και Το Μάννα κριθαρένια παξιμάδια και το Μάννα με λάδι ελιάς). Τέλος, υπάρχουν διάφοροι φυσικοί χυμοί εμπλουτισμένοι με φυτικές ίνες, βιταμίνες και ιχνοστοιχεία με στόχο την συμβολή στην καλή υγεία και λειτουργία του οργανισμού (π.χ. Amita χυμός πορτοκάλι με ω-3 λιπαρά και Amita χυμός φρούτων με δαμάσκηνο και σύκο με edwdimex/ φυτικές ίνες) (Κόκκος, 2015).

2.5 Οφέλη των λειτουργικών τροφίμων στην υγεία

Τα λειτουργικά τρόφιμα και η συμπερίληψή τους στην καθημερινή διατροφή προάγουν την ανθρώπινη υγεία κι ευεξία καθώς περιέχουν αυξημένα επίπεδα βιολογικών ενεργών συστατικών που προσδίδουν σημαντικά οφέλη για την υγεία πέραν των βασικών θρεπτικών συστατικών. Παρέχουν επίσης κλινικά αποδεδειγμένα και τεκμηριωμένα οφέλη στην υγεία όπως είναι συνδράμουν στην θεραπεία χρόνιων ασθενειών ενώ συμβάλουν στην καλύτερη πέψη, την μείωση των λιπιδίων του αίματος, την καλύτερη εντερική λειτουργία, την ενίσχυση των ενεργειακών επιπέδων κ.α. (Loyer 2016).

Ανάλογα με τις βιοδραστικές ενώσεις από τις οποίες αποτελούνται ή/και εμπλουτίζονται ή/και ενισχύονται μπορούν να επηρεάσουν ευεργετικά την υγεία ενός καταναλωτή καθώς επηρεάζουν βασικές λειτουργίες των συστημάτων του οργανισμού (Εικόνα 2) (Πίνακας 2.2). Η κατανάλωσή τους μπορεί να συμβάλει στη μείωση της απορρόφησης της χοληστερόλης και την σύνθεση της κακής χοληστερόλης, στη μείωση των συγκεντρώσεων των τριγλυκεριδίων αλλά και την ρύθμιση των επιπέδων των λιπιδίων και των σακχάρων προστατεύοντας ταυτόχρονα τα αγγεία από την δημιουργία θρόμβων (Asgary, Rastqar, & Keshvari, 2018). Επιπλέον μελέτες υποδεικνύουν ότι μπορούν να αναγνωριστούν ως προϊόντα διατροφής, που συμβάλουν στην ενίσχυση του μεταβολικού ρυθμού του σώματος χωρίς να επηρεάσει τις φυσιολογικές λειτουργίες του σώματος (Konstantinidi & Koutelidakis, 2019). Επιπλέον τα λειτουργικά τρόφιμα έχουν την δυνατότητα να ενισχύσουν το μυοσκελετικό σύστημα και το ανοσολογικό μειώνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης οστεοπόρωσης και καρκίνου, αλλεργιών και φλεγμονών αντίστοιχα (Gul et al., 2016), (Essa et al., 2023).



Εικόνα 2: Οφέλη των λειτουργικών τροφίμων στην υγεία (Essa et al., 2023).

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι ανεξάρτητα από οφέλη που προσφέρουν τα λειτουργικά τρόφιμα, η καθημερινή διατροφή δεν θα πρέπει να βασίζεται αποκλειστικά σε αυτά. Για ένα υγιεινό και ισορροπημένο διατροφικό πρότυπο, θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται βασικά θρεπτικά συστατικά από διαφορετικές ομάδες τροφίμων, δίνοντας παράλληλα προσοχή στα όρια πρόσληψης θερμίδων. Διατροφικά πρότυπα, όπως αυτό της μεσογειακής διατροφής, είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο εδώ και δεκαετίες ότι προσφέρουν σπουδαία οφέλη όπως μείωση του κινδύνου εμφάνισης χρόνιων ασθενειών (Ghazanfar et al., 2022).

Κεφάλαιο 3^ο: Διαδικασία ανάπτυξης λειτουργικού τροφίμου

Τα λειτουργικά τρόφιμα παρουσιάζουν αυξημένη ζήτηση, καθώς οι καταναλωτές στρέφονται στα πιο υγιεινά και βιώσιμα διατροφικά πρότυπα. Τα λειτουργικά τρόφιμα, όπως αναλύθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι φυσικά ή επεξεργασμένα τρόφιμα τα οποία παρέχουν ευεργετικές ιδιότητες, λόγω της τροποποίησής τους μέσω διαδικαστικών ενσωμάτωσης διαφόρων θρεπτικών συστατικών όπως οι βιταμίνες, τα ιχνοστοιχεία, τα ω-3 λιπαρά οξέα, τα φλαβονοειδή, τα προβιοτικά/πρεβιοτικά και τα καροτενοειδή. Είναι γνωστό πως πολλά από τα θρεπτικά συστατικά δεν είναι εφικτό να ενσωματωθούν στην αρχική τους κατάσταση στα τρόφιμα εξαιτίας είτε της φύσης του ίδιου του προϊόντος είτε της μοριακής και φυσικοχημικής κατάστασης των συστατικών, όπως για παράδειγμα εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας σε λάδι και/ή σε νερό, όπου σε αυτήν την περίπτωση η ενσωμάτωση πραγματοποιείται έπειτα από τροποποίηση της αρχικής τους μορφής. Παράλληλα, χημικές διαδικασίες στα οποία υπόκεινται τα θρεπτικά συστατικά εξαιτίας της παρουσίας ενζύμων στα τρόφιμα όπως είναι η οξείδωση, η υδρόλυση και η ισομερίωση, προκαλούν την αλλοίωση της λειτουργικής τους ικανότητας και την υποβάθμισή τους. Ως εκ τούτου, οι προσπάθειες επεξεργασίας των τροφίμων με σκοπό των εμπλουτισμό τους με θρεπτικά συστατικά ενισχύονται ολοένα περισσότερο, μιας και οι προσκλήσεις που συναντώνται προκειμένου να ληφθεί το επιθυμητό λειτουργικό τρόφιμο είναι αρκετές. Σε αυτό το πεδίο εντάσσεται και η νανοτεχνολογία, όπως θα συζητηθεί ακολούθως, μέσω της τεχνικής επεξεργασίας των υλικών μεταφοράς των θρεπτικών συστατικών με νανοδόμηση και νανο-ενθυλάκωση (Βεντούρη, 2018).

Σύμφωνα με τους Diplock et al. 1999 τα λειτουργικά τρόφιμα τροποποιούνται γενικά σύμφωνα με τις ακόλουθες διαδικασίες:

1. Τροποποίηση για αύξηση περιεκτικότητας συστατικού.
2. Εμπλουτισμός με νέα συστατικά με θετική επίδραση στην υγεία.
3. Αντικατάσταση ή αφαίρεση οποιουδήποτε βλαπτικού για την υγεία συστατικού.
4. Εμπλουτισμός με συστατικό που συμβάλει στη διατήρηση των ωφέλιμων επιπτώσεων της κατανάλωσης του λειτουργικού τροφίμου (Diplock et al., 1999).

Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας (π.χ. υψηλή υδροστατική πίεση, παλμικά ηλεκτρικά πεδία, υπέρηχοι, μικροκύματα) έναντι των συμβατικών διαδικασιών, οι οποίες αποτελούν κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις επεξεργασίας τροφίμων. Αυτές οι βιώσιμες τεχνολογίες παρέχουν καλύτερη διατήρηση των εγγενών θρεπτικών συστατικών στα φρούτα και τα λαχανικά, αποφεύγουν την

ανάπτυξη μικροοργανισμών, καθώς και χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια άρα είναι φιλικές προς το περιβάλλον, και μπορούν να εφαρμοστούν για την αξιοποίηση των υποπροϊόντων (Putnik et al., 2017).

3.1 Κύκλος ανάπτυξης λειτουργικού τροφίμου

Η ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων εμφανίζει αξιοσημείωτο ενδιαφέρον τόσο στην βιομηχανία τροφίμων όσο και στα πανεπιστήμια και τους κρατικούς φορείς που διεξάγουν επιστημονικές μελέτες στον κλάδο αυτό. Μάλιστα, έχει καταγραφεί μια σημαντική εισροή διαφόρων κρατικών χρηματοδοτήσεων για την έρευνα, την ανάπτυξη και την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών. Η ανάπτυξη ενός λειτουργικού τροφίμου περιλαμβάνει τα στάδια του σχεδιασμού, της αξιολόγησης των βιοενεργών συστατικών, των διαδικασιών απομόνωσης από φυτικούς ή ζωικούς παράγοντες και της αξιολόγησής τους ως προς την βιοδιαθεσιμότητα, την ανάπτυξη τεχνολογιών εμπλουτισμού ή ενίσχυσης των τροφίμων και τέλος την επιλογή επισήμανσης των διατροφικών ισχυρισμών σύμφωνα με τις εκάστοτε νομοθεσίες και πρότυπα. Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί ότι υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τον ορθολογικό σχεδιασμό των λειτουργικών τροφίμων από το μοριακό έως το μακροσκοπικό επίπεδο (Martirosyan, Lampert, & Lee, 2022).

3.3.1 Προσδιορισμός στόχου και σχεδιασμός

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη ενός λειτουργικού τροφίμου είναι ο προσδιορισμός ενός στόχου. Αυτό μπορεί να επιλεγεί με βάση δύο αντίθετες πορείες: η μία μπορεί να θεωρηθεί ως προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω (top-down approach), που απορρέει από μια νέα ιδέα για την αντιμετώπιση ασθενειών που σχετίζονται με την κατανάλωση τροφίμων. Παρά την καινοτομία που φέρει η προσέγγιση αυτή δεν οδηγεί σε επαρκή συμμετοχή όλων των φορέων. Η δεύτερη πορεία, η οποία μάλιστα εφαρμόζεται στην βιομηχανία, αφορά την προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω (bottom-up approach) και δίνει αποτελεσματικές λύσεις σε θέματα υγείας που σχετίζονται με τα τρόφιμα, με ταυτόχρονη διασφάλιση της αποδοχής από τους καταναλωτές

Στις βιομηχανικές χώρες, λόγω της αύξησης του ιατρικού κόστους και του αυξημένου προσδόκιμου ζωής, οι διατροφικές συστάσεις που διατυπώνονται από τους επαγγελματίες στον χώρο της υγείας έχουν παρακινήσει τη βιομηχανία τροφίμων να παρέχει προϊόντα που βοηθούν τους καταναλωτές να είναι σύμφωνοι με αυτές τις συστάσεις. Λαμβάνοντας υπόψη τις πιο συχνές χρόνιες ασθένειες που σχετίζονται με την υγεία στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η παχυσαρκία, τα καρδιαγγειακά νοσήματα και ο διαβήτης, δύο είναι οι κύριοι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν μέσω του σχεδιασμού των

λειτουργικών τροφίμων, α) η μείωση της ενεργειακής πρόσληψης και β) η εισαγωγή τροφίμων με λειτουργικές ιδιότητες με στόχο την ενίσχυση της υγείας και της ευημερίας. Για να μειωθεί η ενεργειακή πρόσληψη, είναι απαραίτητο να μειωθεί η πρόσληψη μακροθρεπτικών συστατικών ή η επιβράδυνση της πέψης τους, διατηρώντας έτσι σταθερή τη συγκέντρωσή τους στην κυκλοφορία του αίματος. Αυτό, με τη σειρά του, θα συνέβαλε στην αύξηση του αισθήματος κορεσμού, επιδρώντας ως εκ τούτου στην ενεργειακή πρόσληψη. Απεναντίας, η εισαγωγή τροφίμων με ιδιότητες που ενισχύουν την υγεία συνεπάγονται με την παροχή μικροθρεπτικών συστατικών τα οποία βοηθούν στην πρόσληψη και διαχείριση χρόνιων ασθενειών που συνδέονται στενά με τη διατροφή. Έτσι λοιπόν, οι στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν μέσω του σχεδιασμού των λειτουργικών τροφίμων μπορούν να συγκεντρωθούν μέσω διαφόρων τακτικών, όπως απλές διατροφικές προσεγγίσεις, καθώς και τεχνολογικές παρεμβάσεις, που αποσκοπούν στη διαμόρφωση ή την επεξεργασία τους (Πίνακας 3.1) (Alongi & Anese, 2021).

Πίνακας 3.1 Στόχος, στρατηγική και τακτική που πρέπει να εφαρμοστούν για το σχεδιασμό λειτουργικών τροφίμων (Alongi & Anese, 2021).

Στόχος	Στρατηγική	Τακτική
Μείωση της ενέργειας πρόσληψης	-Μείωση πρόσληψης μακροθρεπτικών συστατικών	-Χρήση τροφίμων με φυσική χαμηλή ενέργεια
	-Επιβράδυνση της πέψης των μακροθρεπτικών συστατικών	-Μείωση των μερίδων
Εισαγωγή τροφίμων με ευεργετικές ιδιότητες	-Αύξηση του αισθήματος κορεσμού	-Διαμόρφωση τροφίμων χαμηλής ενέργειας
	Ενίσχυση πρόσληψης και απορρόφησης μικροθρεπτικών συστατικών	-Σχεδιασμός «δομών τροφίμων» που επιβραδύνουν τον ρυθμό πέψης
		-Χρήση τροφίμων που παρέχουν εκ φύσεως βιοδραστικές ενώσεις με
		-Διαμόρφωση τροφίμων εμπλουτισμένων/ενισχυμένων με βιοδραστικές ενώσεις

3.3.2 Στάδιο ανάπτυξης

Το στάδιο της ανάπτυξης αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά βήματα για την αποδοχή ενός λειτουργικού προϊόντος. Από τεχνολογικής άποψης περιλαμβάνει όλες εκείνες τις τακτικές για την επίτευξη των στόχων που αναφέρονται και στον Πίνακα 3.1. Οι τακτικές αυτές αφορούν διάφορες διαδικασίες όπως η κατάλληλη επιλογή της βιοενεργής ουσίας στην οποία θα αποδίδονται οι λειτουργικές ιδιότητες καθώς και η ορθή επιλογή του

μέσου μεταφοράς, της μορφής των συστατικών και των αναλογιών που θα προστεθούν. Η γεύση, το άρωμα, η υφή και το χρώμα του τροφίμου καθώς και η επίδραση του προστιθέμενου βιοενεργού συστατικού σε αυτά τα χαρακτηριστικά αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοχή τους από τους καταναλωτές (Alongi & Anese, 2021).

Προκειμένου να αποδοθούν συγκεκριμένες λειτουργικές ιδιότητες στα τρόφιμα τα οποία υπόκεινται συγκεκριμένες επεξεργασίες, θα πρέπει κατά το στάδιο της ανάπτυξης, η τροποποίησή τους να πραγματοποιείται εξατομικευμένα. Με άλλα λόγια, οι τακτικές διαμόρφωσης δύναται να στοχεύουν για παράδειγμα στην αφαίρεση/αντικατάσταση ορισμένων συστατικών ή προσθήκη άλλων βιοδραστικών ενώσεων, έτσι ώστε να συλλεχθούν:

- i. Ελαφρά τρόφιμα, στα οποία η συγκέντρωση ενός ανεπιθύμητου συστατικού είναι μειωμένη, π.χ. «χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά», "χαμηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη». Αυτό προκύπτει από την αύξηση του μη θερμιδικού κλάσματος ή από την αφαίρεση (και αντικατάσταση) ανεπιθύμητων συστατικών.
- ii. Εμπλουτισμένα ή ενισχυμένα τρόφιμα, στα οποία η συγκέντρωση μιας βιοενεργής ουσίας έχει αυξηθεί. Χαρακτηρισμό παράδειγμα αποτελούν η αύξηση της συγκέντρωσης πρεβιοτικών, προβιοτικών, βιταμινών A, D, B12 ή ασβεστίου σε γαλακτοκομικά προϊόντα και τα παράγωγά τους ή η ενίσχυση των προϊόντων αρτοποιίας με διαιτητικές ίνες ή η ενίσχυση χυμών φρούτων με βιταμίνες. Ο εμπλουτισμός ή η ενίσχυση μπορεί να επιτευχθεί είτε με την ενίσχυση των ήδη υπάρχοντων βιοδραστικών ενώσεων, είτε με την προσθήκη τους στο προϊόν με διαδικασίες επεξεργασίας των φορέων μεταφοράς τους είτε με την πρόκληση σχηματισμού τους κατά το στάδιο της επεξεργασίας.
- iii. Ενισχυμένα τρόφιμα, στα οποία η περιεκτικότητα μιας βιοδραστικής ένωσης έχει βελτιωθεί με ειδική γεωργική επεξεργασία (π.χ. σελήνιο στις πατάτες), γενετικά (π.χ. βιταμίνη A στο ρύζι) και αναπαραγωγικά (π.χ. ω-3 στα αυγά) (Alongi & Anese, 2021).

Αξίζει να επισημανθεί πως στο στάδιο της ανάπτυξης θα πρέπει να λαμβάνεται σημαντικά υπόψιν η πιθανή ταυτόχρονη χορήγηση του εν λόγω προϊόντος στα πλαίσια ενός γεύματος/διατροφής με άλλα φάρμακα τα οποία δρουν θεραπευτικά έναντι χρόνιων

ασθενειών. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τροφίμων και φαρμάκων εξετάζονται κυρίως από την άποψη των παρενεργειών, ωστόσο όμως ορισμένες μελέτες έχουν υπογραμμίσει την δυνατότητα αξιοποίησης των μηχανισμών των φαρμακοκινητικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ τροφίμων και φαρμάκων με στόχο την παροχή ευεργετικών αποτελεσμάτων (Koziolek et al., 2019). Παράλληλα είναι σημαντικό να αξιολογούνται *in vitro* και *in vivo* οι μηχανισμοί δράσεις των εξαχθέντων βιοενεργών συστατικών καθώς και οι αλληλεπιδράσεις με άλλους βιολογικούς μηχανισμούς. Σε περιπτώσεις μάλιστα που πραγματοποιείται εμπλουτισμός των τροφίμων με τη χρήση κατάλληλων φορέων μεταφοράς των δραστικών συστατικών θα πρέπει να εξετάζεται και η συνεργατική επίδραση με τη μήτρας τροφίμου. Ως εκ τούτου, το στάδιο ανάπτυξης καθίσταται ιδιαίτερα πολύπλοκο επειδή ανάλογα με την τακτική διαμόρφωσης, θα πρέπει να μελετώνται προσεκτικά οι επιθυμητές και ανεπιθύμητες επιδράσεις των βιοενεργών συστατικών προκειμένου να συλλεχθούν τρόφιμα που καλύπτουν πλήρως τον ισχυρισμό τους ως λειτουργικά (Martirosyan et al., 2022).

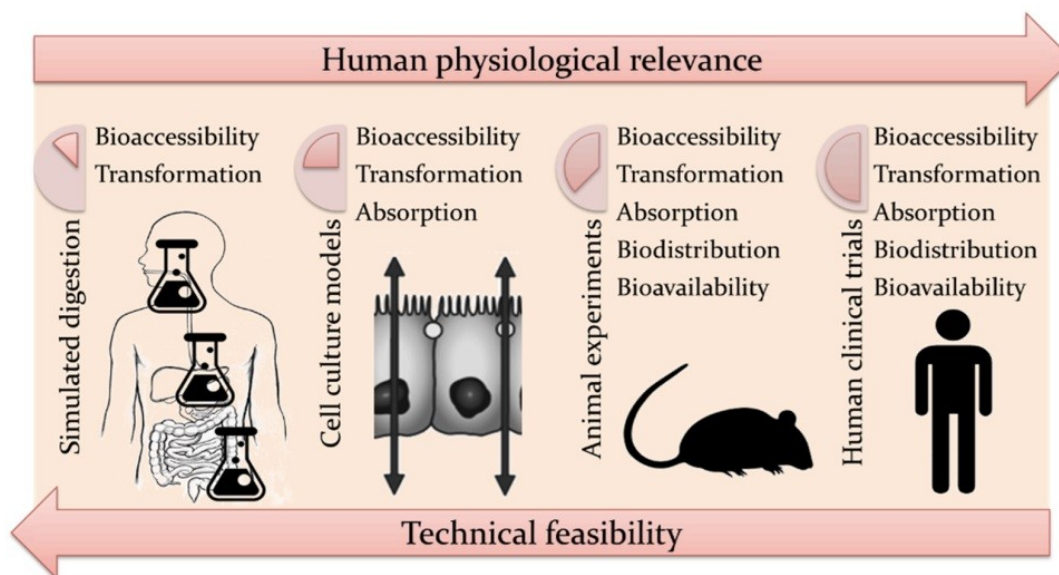
3.3.3 Αξιολόγηση ασφάλειας και βιοδραστικότητας των βιοενεργών συστατικών

Ο πραγματικός αντίκτυπος των τεχνολογικών παρεμβάσεων, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη σύνθεση και την επεξεργασία, όσο και τη συγχορήγηση με άλλα τρόφιμα και/ή φάρμακα καθώς και την δραστικότητα των βιοδραστικών ενώσεων που περιέχονται σε μήτρες τροφίμων και τους μηχανισμούς δράσης (όπως αναλύθηκαν στο 3.3.2), θα πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά. Ακολούθως, η εξακρίβωση της ικανότητας πρόληψης ασθενειών ενός πρόσφατα αναπτυγμένου λειτουργικού τροφίμου απαιτεί την κατανόηση των παραγόντων που διέπουν την απελευθέρωση των βιοδραστικών ενώσεων από τα τρόφιμα, το βαθμό απορρόφησης και την τύχη τους στον οργανισμό, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στάδια της διαδρομής από τη μήτρα του τροφίμου στον ιστό ή το όργανο-στόχο. Οι βασικοί δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των βιοδραστικών ενώσεων και ως εκ τούτου των εν δυνάμει λειτουργικών τροφίμων περιλαμβάνουν την βιοπροσβασιμότητα, τον μετασχηματισμό, την απορρόφηση, την βιοδιανομή και την βιοδιαθεσιμότητα (Alongi & Anese, 2021).

1. Βιοπροσβασιμότητα: Αφορά το κλάσμα της προσλαμβανόμενης ένωσης που απελευθερώνεται από την μήτρα τροφίμου και είναι διαθέσιμο για εντερική απορρόφηση. Ο δείκτης αυτός εξαρτάται τόσο από την απελευθέρωση από τη μήτρα του τροφίμου αλλά και από τη διαλυτότητα στα γαστρεντερικά υγρά και τις αλληλεπιδράσεις με άλλα συστατικά στον γαστρεντερικό σωλήνα.

2. Μετασχηματισμός: Οι βιοδραστικές ενώσεις μπορεί να υποστούν χημικούς (π.χ. οξείδωση/αναγωγή, υδρόλυση) ή βιοχημικούς (π.χ. ενζυμικός μεταβολισμός) μετασχηματισμούς εντός του γαστρεντερικού σωλήνα, οι οποίοι μπορεί να μεταβάλλουν τη μοριακή τους δομή
3. Απορρόφηση: Αναφέρεται στη διέλευση βιοδραστικών ενώσεων μέσω των κυττάρων του επιθηλίου στο σύστημα κυκλοφορία κι εξαρτάται από τους μηχανισμούς μεταφοράς (π.χ. ενεργητική, παθητική, στεγανή σύνδεση).
4. Βιοδιανομή: Αντιπροσωπεύει τη χρονική και χωρική κατανομή των βιοδραστικών ενώσεων σε διάφορα διαμερίσματα ιστών μετά την εντερική απορρόφηση.
5. Βιοδιαθεσιμότητα: Αντιπροσωπεύει το κλάσμα των προσλαμβανόμενων βιοδραστικών ενώσεων που καταλήγουν στη συστηματική κυκλοφορία φτάνοντας στο ενεργό κέντρο σε ενεργό μορφή (McClements et al., 2015) (Alongi & Anese, 2021).

Η διατύπωση ενός διατροφικού ισχυρισμού και ακολούθως η επισήμανση του προϊόντος ως λειτουργικό θα πρέπει να συνοδεύεται από κλινικές μελέτες και στοιχεία που το αποδεικνύουν. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι τα βιοενεργά συστατικά στα οποία αποδίδονται οι ισχυρισμοί περί λειτουργικότητας είναι ασφαλή κι εμφανίζουν επαρκή δράση εντός του οργανισμού, όταν εμπεριέχονται στα τρόφιμα τα οποία καταναλώνονται. Τα αποδεικτικά στοιχεία μπορούν να συλλεχθούν με την εφαρμογή της ίδιας προσέγγισης με εκείνη που χρησιμοποιείται για τα φάρμακα που λαμβάνονται από το στόμα, όπως οι μηχανικές αναλύσεις *in vitro*, συμπεριλαμβανομένων μοντέλων προσομοίωσης πέψης και κυτταροκαλλιέργειας, ακολουθούμενες από *in vivo* μελέτες, συμπεριλαμβανομένων πειραμάτων σε ζώα και κλινικών δοκιμών σε ανθρώπους (Εικόνα 3). Τέλος, για να επιτραπεί η εμπορική διάθεση και η διεκδίκηση της βιοδραστικότητας των λειτουργικών τροφίμων, είναι απαραίτητο να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά τους στα πλαίσια της νομοθεσίας της εκάστοτε χώρας στα οποία πρόκειται να διατεθούν προς πώληση και κατανάλωση. Αναφορικά με την Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, για να αποδοθεί ο ισχυρισμός της λειτουργικότητας σε ένα προϊόν θα πρέπει να καλύπτει τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στον Καν. (ΕΕ) ν.1924/2006 (Alongi & Anese, 2021).



Εικόνα 3: Μεθοδολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας των τροφίμων και των σχετικών δεικτών (Alongi & Anese, 2021).

3.2 Εργαλεία για την μεταφορά βιοδραστικών ενώσεων

Η ορθολογική ανάπτυξη των τακτικών διαμόρφωσης και ανάπτυξης ενός λειτουργικού τροφίμου περιλαμβάνει την χημική αξιολόγηση των βιοδραστικών ενώσεων. Πολλά συστατικά είναι γνωστό ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες ενίσχυσης της θρεπτικής αξίας διαφόρων προϊόντων εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας, και της έλλειψης σταθερότητας και βιοδιαθεσιμότητας που παρουσιάζουν είτε κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους είτε ακόμα και μετά την κατανάλωση του προϊόντος στο οποίο περιέχονται. Γι' αυτό το σκοπό έχουν αναπτυχθεί συστήματα χορήγησης με βάση τα νανοσωματίδια προερχόμενα από υλικά ασφαλή στον ανθρώπινο οργανισμό τα οποία λειτουργούν σαν μήτρες μεταφοράς των βιοενεργών συστατικών. Στην πραγματικότητα, τα συστήματα αυτά μπορούν να αναπτυχθούν σε διάφορες μορφές όπως υγρές, μορφές γελών και σε στερεές μορφές ανάλογα με τη κατάσταση του λειτουργικού προϊόντος το οποίο πρόκειται να αναπτυχθεί.

Η επιλογή του κατάλληλου φορέα μεταφοράς τροφίμων εξαρτάται από την αποδοχή, τη σταθερότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών μέσα στο τρόφιμο, καθώς και από τις πρακτικές κατανάλωσης και τον τρόπο ζωής του προοριζόμενου πληθυσμού. Ένας φορέας προοριζόμενος για λειτουργικά προϊόντα τροφίμων θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

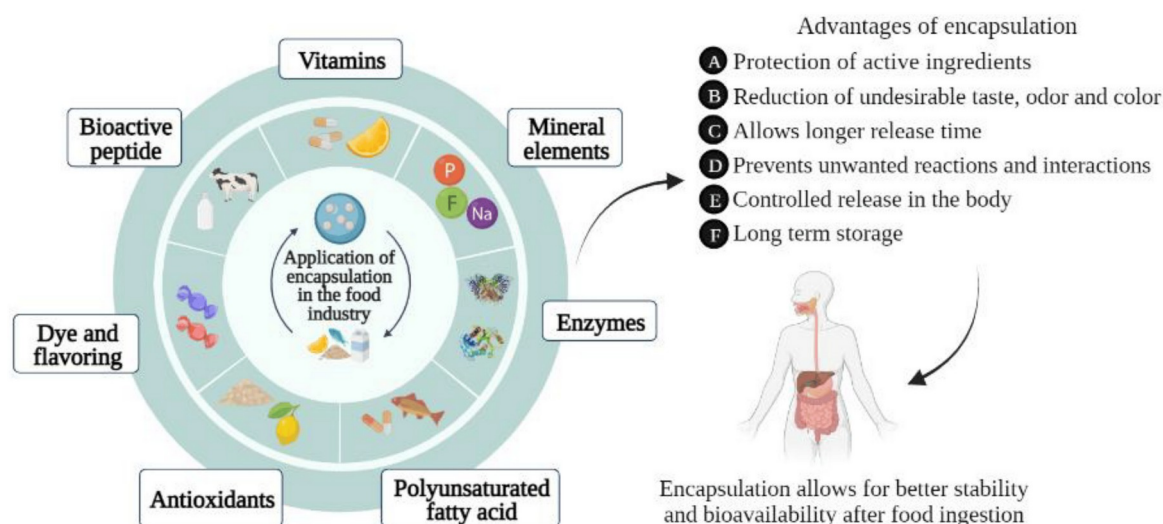
1. Το επιλεγμένο όχημα τροφίμων (food vehicle) πρέπει να καταναλώνεται από ένα μεγάλο τμήμα του πληθυσμού στα επίπεδα τα οποία είναι ωφέλιμα για τον οργανισμό, αλλά όχι σε επίπεδα τόσο μεγάλα ώστε να προκαλείται τοξικότητα.
2. Το όχημα θα πρέπει να περιέχει τις ποσότητες των θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για να προσδώσουν το επιθυμητό ωφέλιμο αποτέλεσμα υπό φυσιολογικές δράσεις. Το θρεπτικό συστατικό δηλαδή δεν θα πρέπει να είναι ούτε σε περίσσεια ούτε σε ανεπάρκεια και θα πρέπει να λαμβάνεται ταυτοχρόνως υπόψιν η πρόληψη από άλλες διατροφικές πηγές.
3. Το όχημα θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να στοχεύει συγκεκριμένες χρόνιες ασθένειες π.χ. διαβήτη, καρδιαγγειακές ασθένειες κα.
4. Το τρόφιμο θα πρέπει να είναι σταθερό υπό συνθήκες συσκευασίας, αποθήκευσης, διανομής και χρήσης.
5. Τα θρεπτικά συστατικά θα πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμα από τον φορέα του τροφίμου.
6. Ο εμπλουτισμός δεν θα πρέπει να προσδίδει ανεπιθύμητη γεύση, χρώμα, άρωμα ή υφή στο τρόφιμο.
7. Το κόστος του εμπλουτισμένου τροφίμου θα πρέπει να είναι λογικό για τους καταναλωτές (Otunola & Martirosyan, 2021).

Καταλυτικά, δεδομένου των απαιτήσεων αλλά και των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι επιστήμονες κατά την ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων, και κυρίως κατά το στάδιο ενίσχυσης/εμπλουτισμού τους με βιοενεργά συστατικά, ο κλάδος της νανοτεχνολογίας έχει προσφέρει εργαλεία και λύσεις. Μάλιστα, όχι μόνο επιτυγχάνεται η καλύτερη διάθεση των θρεπτικών συστατικών αλλά ενισχύονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των συλλεγόμενων προϊόντων και προσφέρονται δυνατότητες ενίσχυσης της διατήρησής τους σε συνθήκες αποθήκευσης.

3.2.1 Μικροενθυλάκωση

Η μικροενθυλάκωση ή νανοενθυλάκωση αποτελεί μια διεργασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η ενσωμάτωση/εγκόλπωση ενός δραστικού συστατικού εντός ενός συγκεκριμένου συστήματος με μέγεθος στη μικροκλίμακα ή νανοκλίμακα, παρέχοντας ως εκ τούτου ενισχυμένη λειτουργικότητα στο τελικό προϊόν. Η τεχνική της μικρο/νανοενθυλάκωσης εφαρμόζεται στην τεχνολογία τροφίμων προκειμένου να ελέγξει τις αλληλεπιδράσεις των ενεργών συστατικών στο τρόφιμο αλλά και της αποδέσμευσης των ενεργών παραγόντων στον οργανισμό. Επιπλέον, επιτυγχάνει ελεγχόμενη

απελευθέρωση και κατ' επέκταση της διαθεσιμότητας του των βιοενεργών ουσιών από την κοιλότητα στην οποία έχουν ενσωματωθεί σε συγκεκριμένο χρόνο και με καθορισμένο ρυθμό (Εικόνα 4). Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου μικρο/νανοενθυλάκωσης αποτελεί η προστασία τους κατά την επεξεργασία και αποθήκευση όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η αυξημένη υγρασία και η θερμότητα δύναται να υποβαθμίσουν τόσο βιολογικά όσο και χημικά προκαλώντας για παράδειγμα οξείδωση ή ταχεία απώλεια της ενεργότητάς τους. Επιπρόσθετα, αποφεύγεται το ενδεχόμενο αλληλεπίδρασης με άλλα συστατικά του τροφίμου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της βιοδιαθεσιμότητας του λειτουργικού συστατικού ή ακόμα και αλλαγή της γεύσης και της υφής του τροφίμου. Η διεργασία της μικρο/νανοενθυλάκωσης στοχεύει στο διαχωρισμό των συστατικών, την αλλαγή των επιφανειακών ιδιοτήτων ενός συστατικού, την αύξηση της διαλυτότητας εντός του τροφίμου και την επικάλυψη δυσάρεστων γεύσεων και οσμών. Τέλος, επιτρέπει στις βιοδραστικές ουσίες να διασπείρονται σε περιβάλλοντα με αντίθετη πολικότητα (Sekhon, 2010).



Εικόνα 4: Πλεονεκτήματα και εφαρμογές της ενθυλάκωσης στον τομέα των τροφίμων (Zabot et al., 2022).

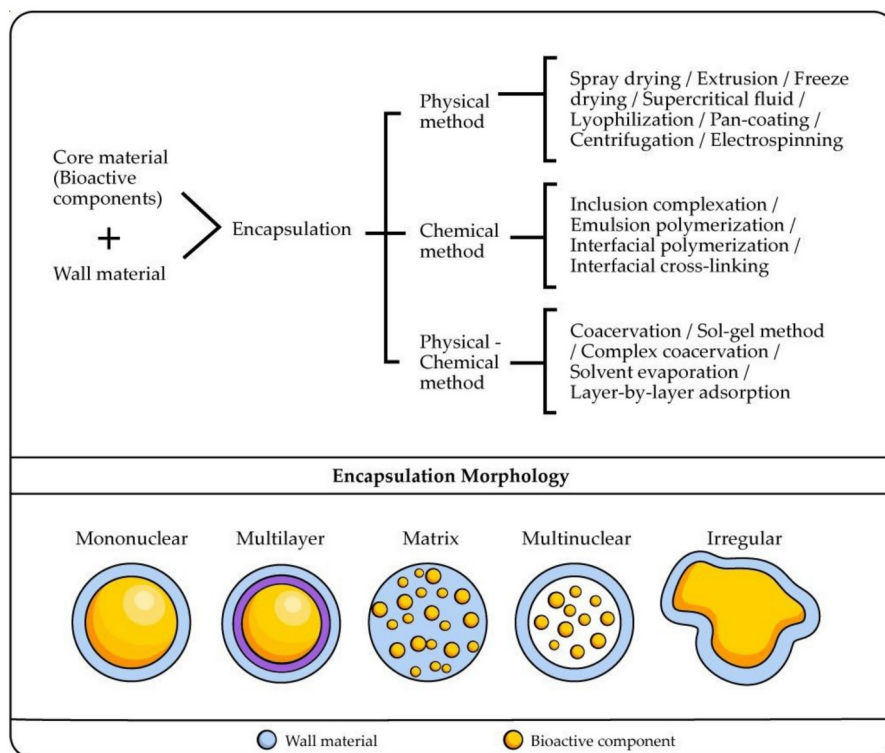
Παρόλο που έχει πραγματοποιηθεί μία ποικιλία μελετών για την ανάπτυξη συστημάτων μεταφοράς που αυξάνουν τη διαλυτότητα, τη σταθερότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών ενώσεων, μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που παραμένει είναι η δυσκολία κλιμάκωσης των εργαστηριακών αποτελεσμάτων σε εμπορικά επίπεδα. Συχνά προκύπτουν προβλήματα καθώς τα συστατικά ή οι διαδικασίες επεξεργασίας δεν είναι εμπορικά εφαρμόσιμες. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι μετά την εγκόλπωση των βιοδραστικών ενώσεων στις μήτρες μεταφοράς τους, μπορεί να

προκληθούν αλλαγές στην σταθερότητα των ουσιών ή ακόμα και αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, η ανάπτυξη ενός επαρκούς συστήματος χορήγησης είναι δαπανηρό, διότι πρέπει να γίνουν αυστηρές δοκιμές σε ανθρώπους και ζώα για την ακριβή αξιολόγηση της βιοδιαθεσιμότητάς τους και της πιθανής τοξικότητάς τους. Για παράδειγμα, είναι απαραίτητο να αξιολογηθεί κατά πόσον η χορήγηση ενός συστήματος πλούσιου σε βιοδραστικά συστατικά επιτρέπει στη βιοδραστική ένωση (ή τις βιοδραστικές ενώσεις) να είναι σταθερές και βιολογικά ενεργές κατά τη διέλευση μέσω του γαστρεντερικού σωλήνα και της επακόλουθης απορρόφησης και κατά πόσον μετά την απελευθέρωση τους δεν προκαλούνται φαινόμενα τοξικότητας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα φαινόμενα τοξικότητας μπορούν να συσχετιστούν με την μη ελεγχόμενη απελευθέρωση/αποδέσμευση των βιοδραστικών ενώσεων, με την φύση της μήτρας που αποτελεί τον φορέα μεταφοράς (π.χ. υλικό, μέγεθος κ.α.) με την αλληλεπίδραση με άλλους μηχανισμούς δράσης κ.α. (Alongi & Anese, 2021; Granato et al., 2017).

Για τη διαδικασία ενθυλάκωσης βιοδραστικών ενώσεων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η επιλογή του κατάλληλου υλικού ενθυλάκωσης και η τεχνική ενθυλάκωσης. Ορισμένες τεχνικές που έχουν αναφερθεί είναι η γαλακτωματοποίηση (emulsification), η καταβύθιση με αντιδιαλυτικό (anti-solvent precipitation), η ηλεκτροϊννοποίηση (electrospinning) και η συγκαταβύθιση (coacervation), μεταξύ άλλων. Τα υλικά επικάλυψης επηρεάζουν τις ιδιότητες του γαλακτώματος, όπως το μέγεθος των σταγονιδίων, το ιξώδες, τη σταθερότητα και τα χαρακτηριστικά της σκόνης. Η νανοενθυλάκωση παρουσιάζει μέγεθος σωματιδίων μικρότερο του 1 μικρομέτρου ενώ η μικροενθυλάκωση παρουσιάζει μέγεθος σωματιδίων μεταξύ 1 και 1000 μικρομέτρων (Daneshniya, Nezhad, Maleki, Jalali, & Behrouzian, 2020).

Η μικροενθυλάκωση προστατεύει τις βασικές βιοδραστικές ενώσεις σε μια ετερογενή ή ομογενή μήτρα. Σταγονίδια υγρού ή μικρά σωματίδια επικαλύπτονται από ένα πολυμερές για να παραχθούν σωματίδια, όπως μικροσφαιρίδια ή μικροκάψουλες. Από τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά βιοδραστικών ενώσεων, τα μικροσφαιρίδια είναι συστήματα πυκνής μήτρας, ενώ οι μικροκάψουλες είναι κοίλες εσωτερικά και διαθέτουν σύστημα «δεξαμενής» ή «κοιλότητας». Τα μικροσωματίδια μπορούν να παρουσιάσουν πολλές μορφολογίες, οι οποίες εξαρτώνται από τις ιδιότητες του πυρήνα με τις βιοδραστικές ενώσεις, το υλικό επικάλυψης και την τεχνική μικροενθυλάκωσης (Corrêa-Filho, Moldão-Martins, & Alves, 2019). Οι κυριότεροι τύποι

μεθόδων ενθυλάκωσης είναι οι φυσικές, οι χημικές και οι φυσικοχημικές, παρουσιάζονται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5: Ενθυλάκωση και μορφολογία της μικροκάψουλας (Zabot et al., 2022).

Η ενθυλάκωση επιτρέπει την παγίδευση δραστικών συστατικών όπως πολυφαινόλες, καροτενοειδή, χρωστικές ουσίες, λιπαρά οξέα, φυτοστερόλες, προβιοτικά, βιταμίνες, μέταλλα και βιοενεργά πεπτίδια μέσα σε μια μήτρα διαφορετικών φορέων. Γενικά, η σταθερότητα αυτών των βιοδραστικών ενώσεων είναι χαμηλή και η διαδικασία της ενθυλάκωσης προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα έναντι μεταβολών στη θερμοκρασία, το φως, το pH ή το οξυγόνο, αυξάνοντας το ρυθμό απελευθέρωσης αυτών των δραστικών συστατικών.

Η βιταμίνη E, για παράδειγμα, είναι ένα ασθενώς υδατοδιαλυτό βιοδραστικό συστατικό, με περιορισμένη ικανότητα απορρόφησης από το γαστρεντερικό σύστημα, η οποία ακολούθως επηρεάζει και την συνολική βιοδιαθεσιμότητά της. Ως εκ τούτου, η ενθυλάκωση είναι απαραίτητη για την αύξηση της απορρόφησής της. Επιπλέον, η α-τοκοφερόλη είναι πολύ ευαίσθητη σε οξειδωτικές αντιδράσεις, οι οποίες διαμεσολαβούνται από το οξυγόνο, το φως, τη θερμότητα και τις ελεύθερες ρίζες. Η ξήρανση με ψεκασμό (spray-drying) είναι μια γνωστή τεχνική ενθυλάκωσης επειδή έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει την βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης E από το στόμα (Parthasarathi &

Anandharamakrishnan, 2016). Επίσης, οι Jiang et. al 2019 επέδειξαν σύμφωνα με τα πειράματα in vitro ότι οι μικροκάψουλες που παρήχθησαν από μείγμα αμύλου όξινης υδρόλυσης-καρβοξυμεθυλικού αμύλου (H-CMS) και ξανθάνης (XG) αποτελούμενες από βιταμίνη E (μέσω της τεχνικής ξήρανση με ψεκασμό) θα μπορούσαν να παραδώσουν την βιταμίνη στο ανώτερο τμήμα του λεπτού εντέρου και ως εκ τούτου να αποτελέσουν πιθανό σύστημα ελεγχόμενης παράδοσης (Jiang et al., 2019).

Επιπλέον, αρκετές μελέτες στην βιβλιογραφία παρουσιάζουν την επιτυχημένη ενθυλάκωση και απελευθέρωση των προβιοτικών και πρεβιοτικών από μικροκάψουλες. Μεταξύ των κύριων συστατικών που χρησιμοποιούνται στη μικροενθυλάκωση προβιοτικών περιλαμβάνονται η κ-καραγενάνη, η χιτοζάνη, το αλγινικό, η ξανθάνη, το πολυακρυλαμίδιο και η πολυβινυλική αλκοόλη. Το αλγινικό ασβέστιο χρησιμοποιείται συνήθως την ενθυλάκωση προβιοτικών, ιδίως βακτήρια γαλακτικού οξέος, σχηματίζοντας μήτρες και παγιδεύοντας τα ευαίσθητα προβιοτικά. Μελέτη έδειξε ότι τα στελέχη *Lactobacillus acidophilus* και *Lactobacillus casei* ενθυλακώθηκαν χρησιμοποιώντας αλγινικού ασβεστίου-ζελατίνης και πρεβιοτικών (δηλ. ινουλίνη και λακτουλόζη) μέσω της τεχνικής της εξώθησης (extrusion technique) και επιβίωσαν σε προσομοιωμένες του γαστρεντερικού συστήματος συνθήκες (Chew et al., 2019). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες ταυτόχρονης ενθυλάκωσης προβιοτικών με άλλα βιοενεργά συστατικά όπως ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, κουρκουμινοειδή, αντιοξειδωτικά από φρούτα εκχυλίσματα χυμών και πρεβιοτικά σε μια ενιαία μορφή χορήγησης με τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών καθώς έτσι παρέχονται ταυτόχρονα αρκετά οφέλη στην υγεία, βελτιώνεται η προσκόλληση των προβιοτικών βακτηρίων στο εντερικό τοίχωμα κατά την διάρκεια της πέψης και ενισχύεται η βιοδραστικότητα των επιμέρους βιοδραστικών ουσιών. Στην βιβλιογραφική ανασκόπηση των Misra et al. 2021 αναλύεται διεξοδικά η συν-ενθυλάκωση βιοδραστικών ενώσεων και προβιοτικών βακτηρίων σε ένα ενιαία προϊόντα παρουσιάζοντας ποικίλες πρόσφατες μελέτες (Misra, Pandey, & Mishra, 2021).

Τέλος, τα φυτικά αιθέρια έλαια παρουσιάζουν υποσχόμενες αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές δραστηριότητες στα τρόφιμα. Για παράδειγμα, διάφορα φυτικά έλαια, όπως τα έλαια λιναρόσπορου, καρυδιού, κάνναβης, κανόλα, σόγιας, ηλίανθου, κρόκου και καλαμποκιού, τα οποία αποτελούν πηγή απαραίτητων λιπαρών οξέων (δηλ. λινολεϊκό οξύ (LA) και α -λινολενικό οξύ (ALA)), μπορούν να εφαρμοστούν στη διαμόρφωση τροφίμων για τη βελτίωση του υγιεινού προφίλ λιπαρών οξέων τους. Ωστόσο, οι λειτουργικές ιδιότητες των φυτικών αιθέριων ελαίων είναι περιορισμένες λόγω της ευαισθησίας τους σε

σκληρές συνθήκες και της χαμηλής διαλυτότητάς τους, της μη ελεγχόμενης απελευθέρωσης και της χαμηλής βιοδιαθεσιμότητάς τους. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία και τις επιστημονικές μελέτες, η ενσωμάτωση των φυτικών αιθέριων ελαίων σε συστήματα μικρο/νανοενθυλάκωσης μπορεί να βελτιώσει τις λειτουργικές τους ιδιότητες στα νέα τρόφιμα που αναπτύσσονται. Τα συστήματα ενθυλάκωσης προστατεύουν τις λειτουργικές ουσίες από περιβαλλοντικές καταπονήσεις όπως η οξείδωση, ενισχύουν την ελεγχόμενη απελευθέρωσή τους, αποτρέπουν την αλληλεπίδρασή τους με άλλα συστατικά των τροφίμων και βελτιώνουν τη διαλυτότητά τους. Ορισμένα ενθυλακωμένα φυτικά έλαια, όπως πηκτώματα γαλακτώματος που περιέχουν έλαια, χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα λίπους στη σύνθεση τροφίμων, τα οποία μπορούν να αυξήσουν την αναλογία μη κορεσμένων λιπαρών οξέων/κορεσμένων λιπαρών οξέων σε σύγκριση με τα δείγματα ελέγχου (Delshadi, Bahrani, Tafti, Barba, & Williams, 2020).

3.3 Μέθοδοι ανάλυσης και προσδιορισμού βιοενεργών συστατικών

Η εισαγωγή των βιολειτουργικών τροφίμων στην αγορά και η αποδοχή τους από τους καταναλωτές καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, με κυριότερο αυτόν που αφορά την διατήρηση των λειτουργικών ιδιοτήτων και της ενεργότητας των βιοενεργών συστατικών για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η βιοδραστικότητα των λειτουργικών συστατικών είναι στενά συνυφασμένη με τις ευεργετικές ιδιότητες που προσφέρουν στον ανθρώπινο οργανισμό. Ως εκ τούτου στον κλάδο της χημείας τροφίμων εφαρμόζονται ποικίλες μέθοδοι ανάλυσης και τεχνικές προκειμένου να προσδιορίζονται με ακρίβεια τα βιοενεργά συστατικά που εμπεριέχονται στα τρόφιμα. Από την διαδικασία της παραγωγής ενός λειτουργικού τροφίμου, της επεξεργασίας και της αποθήκευσής του είναι πιθανό να συμβούν υποβαθμίσεις του τροφίμου, ως αποτέλεσμα της απώλειας κάποιων εκ των συστατικών του ή της ενεργότητάς τους. Για την αποφυγή αυτού του ενδεχομένου οι τακτικές δειγματοληψίες και οι αναλύσεις τόσο των βιοδραστικών συστατικών, όσο και των άλλων βασικών ουσιών που εμπεριέχονται στο εν λόγω τρόφιμο αποτελούν αναγκαία προϋπόθεση κατά το στάδιο ανάπτυξης ενός λειτουργικού τροφίμου (Κόκκος, 2015).

Η απομόνωση λοιπόν των βιοενεργών συστατικών τόσο από τις φυτικές ή ζωικές πηγές όσο και από το ίδιο τρόφιμο στο οποίο έχουν ενσωματωθεί παραμένει δύσκολη, δεδομένου ότι συχνά περιλαμβάνεται ένα μείγμα διαφόρων ειδών βιοδραστικών ενώσεων ή φυτοχημικών ουσιών. Πολλές αναλυτικές, χρωματογραφικές και μοριακές τεχνικές και προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση βιοδραστικών χημικών ουσιών. Οι πιο γνωστές εξ' αυτών αποτελούν η Υγρή Χρωματογραφία Υψηλής Απόδοσης (High

Performance Liquid Chromatography – HPLC), η Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (Fourier-transform infrared spectroscopy - FTIR, και ο ανοσολογικός έλεγχος (immunoassay techniques).

Οι χημικοί διαχωρισμοί μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση της HPLC αξιοποιώντας το γεγονός ότι ορισμένες ενώσεις έχουν διαφορετικές ρυθμούς μετανάστευσης δεδομένης μιας συγκεκριμένης στήλης και κινητής φάσης. Η έκταση ή ο βαθμός διαχωρισμού καθορίζεται κυρίως από την επιλογή της σταθερής φάσης και της κινητής φάσης. Γενικά, η ταυτοποίηση και ο διαχωρισμός των φυτοχημικών ουσιών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ισοκρατικού συστήματος (με χρήση ενιαίου συστήματος αμετάβλητης κινητής φάσης). Βαθμιδωτή έκλουση κατά την οποία η αναλογία των οργανικών διαλύτη προς το νερό μεταβάλλεται με το χρόνο μπορεί να είναι επιθυμητή εάν μελετώνται περισσότερα του ενός συστατικά του δείγματος και διαφέρουν μεταξύ τους μεταξύ τους σημαντικά ως προς την κατακράτηση υπό τις χρησιμοποιούμενες συνθήκες. Επιπλέον, κάθε ένωση πρέπει να έχει μια χαρακτηριστική κορυφή υπό ορισμένες χρωματογραφικές συνθήκες. Ανάλογα με το τι πρέπει να διαχωριστεί και πόσο στενά συνδεδεμένα είναι τα δείγματα, η χρωματογράφος μπορεί να επιλέξει τις συνθήκες, όπως η κατάλληλη κινητή φάση, ο ρυθμός ροής, οι κατάλληλοι ανιχνευτές και οι στήλες για να πάρει μια βέλτιστο διαχωρισμό. Για την ανάλυση λιποδιαλυτών και υδατοδιαλυτών βιταμινών εφαρμόζεται η μέθοδος HPLC, ενώ για τις βιταμίνες D και E εφαρμόζεται η μέθοδος Αέριας Χρωματογραφίας (Gas Chromatography) λόγω της παρουσίας των πτητικών μεθυλεστέρων των λιπαρών οξέων (Sasidharan, Chen, Saravanan, Sundram, & Latha, 2011).

Ακολούθως η φασματοσκοπία FTIR έχει αποδειχθεί ως πολύτιμο εργαλείο για τον χαρακτηρισμό και την ταυτοποίηση ενώσεων ή λειτουργικών ομάδων (χημικοί δεσμοί) που υπάρχουν σε ένα άγνωστο μείγμα. Επιπλέον, τα φάσματα FTIR καθαρών ενώσεων είναι συνήθως τόσο μοναδικά που μοιάζουν με μοριακό "δακτυλικό αποτύπωμα". Για τις πιο κοινές βιοενεργές ενώσεις, το φάσμα μιας άγνωστης ένωσης μπορεί να ταυτοποιηθεί με σύγκριση με μια βιβλιοθήκη γνωστών ενώσεων. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η δυνατότητα μέτρησης του δείγματος σε στερεή και υγρή κατάσταση (Sasidharan et al., 2011).

Τέλος, ο ανοσολογικός έλεγχος χρησιμοποιούνται στην ανάλυση βιοδραστικών ενώσεων καθώς παρουσιάζουν υψηλή εξειδίκευση και ευαισθησία. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η δυνατότητα ανάλυση σύνδεσης υποδοχέων, η

ενζυμική ανάλυση και η ποσοτική και ποιοτική μελέτη των βιοδραστικών χημικών ουσιών. Αναφορικά με την ανάλυση αποτυπωμάτων από μίγματα εκχυλισμάτων στα οποία περιλαμβάνονται οι βιοδραστικές ενώσεις προς εξέταση, η μέθοδος ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) είναι γρηγορότερη και ακριβέστερη από οποιαδήποτε παραδοσιακή HPLC τεχνολογία που χρησιμοποιείται επί του παρόντος. Η βιοχημική μέθοδος ανίχνευσης ELISA στηρίζεται στην παρουσία ενός αντισώματος ή ενός αντιγόνου σε ένα δείγμα (Sasidharan et al., 2011).

Κεφάλαιο 4^ο: Νομοθετικό Πλαίσιο

Παρά το γεγονός ότι η έννοια των λειτουργικών τροφίμων χρησιμοποιείται ευρέως από τους επιστήμονες, δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός καθώς δεν αναγνωρίζεται νομικά από αρκετές χώρες. Προτού διατυπωθούν ισχυρισμοί ως προς τα δυνητικά οφέλη στην υγείας ενός ανθρώπου από την κατανάλωση ορισμένων τροφίμων, απαιτούνται επαναληπτικές τυχαίες κλινικές δοκιμές ελεγχόμενες ταυτοχρόνως με εικονικό φάρμακο για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητά τους. Ως εκ τούτου χωρίς κατάλληλες κλινικές δοκιμές και σημαντικές πειραματικές μελέτες που αποδεικνύουν την ασφάλεια του, δηλαδή την έλλειψη τοξικότητας, και την λειτουργικότητα του εν λόγω τροφίμου δεν μπορεί να θεωρηθεί ως λειτουργικό. Καθορίζοντας ένα γενικότερο νομοθετικό πλαίσιο στο οποίο συμπεριλαμβάνονται αυστηρά οι προαναφερθείσες μελέτες, τα λειτουργικά τρόφιμα δύναται να γίνουν αποδεκτά από την διεθνή αγορά (Assmann et al., 2014).

4.1 Νομοθεσία στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν έχει αποδώσει ορισμό για τα «λειτουργικά τρόφιμα» στην νομοθεσία υποστηρίζοντας ότι όλα τα τρόφιμα διαδραματίζουν ένα λειτουργικό ρόλο για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα τρόφιμα με αποδεδειγμένη ευεργετική δράση στον ανθρώπινο οργανισμό καλύπτονται νομοθετικά από τον Κανονισμό 1924/2006, ο οποίος αφορά τους διατροφικούς ισχυρισμούς υγείας και διατροφής. Ο ισχυρισμός υγείας περιλαμβάνει κάθε ισχυρισμό που υπονοεί, δηλώνει ή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σχέση μεταξύ μιας κατηγορίας τροφίμων, ενός τροφίμου ή ενός συστατικού του και της υγείας.

Ακολουθώς ο ισχυρισμός διατροφής αποτελεί κάθε ισχυρισμό που δηλώνει, υπονοεί ή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ένα τρόφιμο διαθέτει ιδιαίτερες ευεργετικές θρεπτικές ιδιότητες λόγω

- a) της ενέργειας (θερμιδικής αξίας) που
 - i. παρέχει,
 - ii. παρέχει σε μειωμένο ή αυξημένο ποσοστό ή
 - iii. δεν παρέχει ή/και
- b) των θρεπτικών και άλλων ουσιών που
 - i. περιέχει,
 - ii. περιέχει σε μειωμένο ή αυξημένο ποσοστό ή
 - iii. δεν περιέχει.

Τέλος, ο ισχυρισμός μείωσης του κινδύνου εκδήλωσης ασθένειας αφορά κάθε ισχυρισμό υγείας που δηλώνει, υπονοεί ή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κατανάλωση μιας κατηγορίας τροφίμων, ενός τροφίμου ή ενός συστατικού του μειώνει σημαντικά τον παράγοντα κινδύνου για την εκδήλωση μιας ανθρώπινης ασθένειας.

Ο Κανονισμός 1924/2006 θέτει ως σημαντικούς στόχους:

1. Την εξασφάλιση ενός υψηλού επιπέδου προστασίας των καταναλωτών.
2. Την διευκόλυνση των επιλογών των καταναλωτών με άξονα την ποικιλία και ισορροπία στη διατροφή.
3. Την προστασία της ελεύθερης κυκλοφορίας των προϊόντων και την υποστήριξη του υγιούς ανταγωνισμού.
4. Την ενίσχυση της ήδη υπάρχουσας νομοθεσίας.

Οι ισχυρισμοί επί θεμάτων διατροφής και υγείας μπορούν να χρησιμοποιούνται στην επισήμανση, στην παρουσίαση και στη διαφήμιση των τροφίμων που διατίθενται στην αγορά εντός της Κοινότητας μόνον εάν συμμορφώνονται με τις διατάξεις του παρόντος κανονισμού.

Με την επιφύλαξη των οδηγιών 2000/13/EK και 84/450/ΕΟΚ, η χρήση των ισχυρισμών επί θεμάτων διατροφής και υγείας δεν πρέπει

1. να είναι ψευδής, διφορούμενη ή παραπλανητική
2. να δημιουργεί αμφιβολίες σχετικά με την ασφάλεια ή/και τη θρεπτική επάρκεια των άλλων τροφίμων,
3. να ενθαρρύνει ή να εμφανίζει ως αποδεκτή την υπερβολική κατανάλωση ενός τροφίμου,
4. να δηλώνει, να υποδηλώνει ή να υπονοεί ότι μια ισορροπημένη και ποικίλη διατροφή δεν μπορεί να παρέχει επαρκείς ποσότητες των θρεπτικών ουσιών γενικά.
5. να αναφέρεται σε αλλαγές των λειτουργιών του οργανισμού, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν αισθήματα φόβου στον καταναλωτή ή να εκμεταλλευθούν το φόβο του, είτε μέσω λεκτικών, είτε εικαστικών, γραφικών ή συμβολικών παραστάσεων.

Στο παράρτημα του Κανονισμού 1924/2006 υπάρχει μια λίστα ισχυρισμών διατροφής, στην οποία παρουσιάζονται οι αναλογίες που πρέπει να βρίσκονται συγκεκριμένα συστατικά στο τρόφιμο ώστε να είναι εφικτή η σήμανση αυτών με τον εκάστοτε ισχυρισμό. Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά παραδείγματα όπως αυτά παρουσιάζονται στο παράρτημα

των ισχυρισμών επί θεμάτων διατροφής και προϋποθέσεις χρήσης τους αναφορικά με την ενεργειακή αξία, τις πρωτεΐνες και εδώδιμων ινών.

Χαμηλή Ενεργειακή Αξία

Ο ισχυρισμός ότι τρόφιμο έχει χαμηλή ενεργειακή αξία καθώς και κάθε ισχυρισμός που ενδέχεται να έχει το ίδιο νόημα για τον καταναλωτή, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν το προϊόν δεν περιέχει περισσότερες από 40 kcal (170 kJ)/100 g για στερεές τροφές ή περισσότερες από 20 kcal (80 kJ)/100 ml για υγρές τροφές. Για τα επιτραπέζια γλυκαντικά, ισχύει το όριο των 4 kcal (17 kJ)/μερίδα, με ισοδύναμες γλυκαντικές ιδιότητες 6 g καλαμοσακχάρου (περίπου 1 κουταλάκι του γλυκού καλαμοσακχάρου).

Μειωμένη Ενεργειακή Αξία

Ο ισχυρισμός ότι τρόφιμο έχει μειωμένη ενεργειακή αξία καθώς και κάθε ισχυρισμός που ενδέχεται να έχει το ίδιο νόημα για τον καταναλωτή, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν η ενεργειακή αξία έχει μειωθεί κατά 30 % τουλάχιστον, με ένδειξη του ή των χαρακτηριστικών που μειώνουν τη συνολική ενεργειακή αξία του τροφίμου.

Χωρίς Ενεργειακή Αξία:

Ο ισχυρισμός ότι τρόφιμο δεν έχει ενεργειακή αξία καθώς και κάθε ισχυρισμός που ενδέχεται να έχει το ίδιο νόημα για τον καταναλωτή, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν το προϊόν δεν περιέχει περισσότερες από 4 kcal (17 kJ)/100 ml. Για τα επιτραπέζια γλυκαντικά, ισχύει το όριο των 0,4 kcal (1,7 kJ)/μερίδα, με ισοδύναμες γλυκαντικές ιδιότητες 6 g καλαμοσακχάρου (περίπου 1 κουταλάκι του γλυκού καλαμοσακχάρου).

Πηγή Πρωτεϊνών:

Ο ισχυρισμός ότι τρόφιμο αποτελεί πηγή πρωτεϊνών, καθώς και κάθε ισχυρισμός που ενδέχεται να έχει το ίδιο νόημα για τον καταναλωτή, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν τουλάχιστον το 12 % της ενεργειακής αξίας του τροφίμου παρέχεται από πρωτεΐνες.

Υψηλή Περιεκτικότητα σε Πρωτεΐνες:

Ο ισχυρισμός ότι τρόφιμο έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, καθώς και κάθε ισχυρισμός που ενδέχεται να έχει το ίδιο νόημα για τον καταναλωτή, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν τουλάχιστον το 20 % της ενεργειακής αξίας του τροφίμου παρέχεται από πρωτεΐνες.

Πηγή Εδώδιμων Ινών

Ο ισχυρισμός ότι τρόφιμο αποτελεί πηγή εδώδιμων ινών, καθώς και κάθε ισχυρισμός που ενδέχεται να έχει το ίδιο νόημα για τον καταναλωτή, μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον όταν το προϊόν περιέχει τουλάχιστον 3 g εδώδιμων ινών ανά 100 g ή τουλάχιστον 1,5 g εδώδιμων ινών ανά 100 kcal.

4.2 Νομοθεσία στις ΗΠΑ.

Το Ινστιτούτο Ιατρικής της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών στις Ηνωμένες Πολιτείες, ορίζει τα λειτουργικά τρόφιμα ως «κάθε τροποποιημένη τροφή ή συστατικό τροφής που ωφελεί την υγεία πέρα από τις παραδοσιακές θρεπτικές ουσίες που περιέχει». Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιος νομικός ορισμός των λειτουργικών τροφίμων από τις ΗΠΑ, έχουν δημιουργηθεί αρκετοί ορισμοί για τρόφιμα και συμπληρώματα τροφίμων με απώτερο σκοπό να διευκολύνεται ο διαχωρισμός τους σε κατηγορίες. Ως εκ τούτου, η Διοίκηση Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (Food and Drug Administration / FDA) έχει ορίσει τις εξής κατηγορίες:

1. Παραδοσιακά/συμβατικά τρόφιμα,
2. τρόφιμα για συγκεκριμένη διαιτητική χρήση,
3. ιατρικά τρόφιμα και
4. διαιτητικά συμπληρώματα.

Δεδομένου των κατηγοριών των τροφίμων και των συμπληρωμάτων που έχουν δοθεί από τον FDA, τα λειτουργικά τρόφιμα θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε από αυτές (Berner & O'Donnell, 1998). Για παράδειγμα, ένας χυμός ενισχυμένος με διαιτητικές ίνες θα μπορούσε να θεωρηθεί ως παραδοσιακό/συμβατικό τρόφιμο το οποίο έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα λειτουργικό όφελος. Επιπροσθέτως, αρκετά από τα ιατρικά τρόφιμα θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως λειτουργικά εφόσον αποτελούν τροποποιημένα τρόφιμα με σκοπό την ενίσχυση της ανθρώπινης υγείας. Ακολούθως, η κατηγορία των διαιτητικών συμπληρωμάτων διατίθεται στην αγορά και παρουσιάζεται για πρακτικούς λόγους ως λειτουργικά τρόφιμα, εφόσον αποτελούν προϊόντα τα οποία δύναται να συμπληρώσουν την διατροφή και φέρουν την διακριτή ένδειξη του συμπληρώματος διατροφής. Η ζελατίνη Knox ενισχυμένη με ασβέστιο και βιταμίνη C διατίθεται στην αγορά ως διαιτητικό συμπλήρωμα Knox Nutrajoint. Στόχος του προϊόντος αυτού είναι να διατηρήσει την υγεία των αρθρώσεων και των οστών. Το ίδιο συστατικό προϊόν, μάλιστα, δηλαδή χωρίς την προσθήκη αυτών των θρεπτικών συστατικών, διατίθεται επίσης ως παραδοσιακό προϊόν. Πολλά προϊόντα σε σκόνη, τα οποία περιέχουν πρωτεΐνες καθώς και κάποια άλλα συστατικά, πωλούνται ως διαιτητικά συμπληρώματα, κι στοχεύουν στην

ενίσχυση των μυών και την αύξηση της αθλητικής απόδοσης. Εν κατακλείδι, παρά το γεγονός ότι ο FDA έχει παρουσιάσει κατηγορίες ορισμών τροφίμων σύμφωνα με τους ισχυρισμούς και τις λειτουργίες τους, πρακτικά φαίνεται να υπάρχει σημαντική σύγχυση ως προς τον διαχωρισμό του συμβατικού τροφίμου και του συμπληρώματος διατροφής (Berner & O'Donnell, 1998).

Συμπεράσματα

Η ενασχόληση του ανθρώπου με την διατροφή και η ανάγκη για κατανάλωση προϊόντων πλούσιων με θρεπτικά συστατικά οδήγησε τους επιστήμονες στην ανάπτυξη των λειτουργικών τροφίμων. Τα λειτουργικά τρόφιμα έχει αποδειχθεί επιστημονικά από *in vitro* και *in vivo* πειράματα και κλινικές μελέτες ότι επηρεάζουν ευεργετικά μία ή/και περισσότερες λειτουργίες και μηχανισμούς δράσης του οργανισμού, βελτιώνοντας ως εκ τούτου την κατάσταση της υγείας και της ευεξίας. Οι λειτουργικές ικανότητες αποδίδονται στην παρουσία βιοενεργών συστατικών όπως βιταμίνες, διαιτητικές ίνες, φυτικές στερόλες/στανόλες, προβιοτικά/πρεβιοτικά, αντιοξειωτικά κ.α. Μάλιστα η υψηλή διατροφική αξία έγκειται στο γεγονός ότι παρουσιάζουν ενισχυμένη απορροφητικότητα ενώ παράλληλα έχουν χαμηλό ενεργειακό φορτίο. Έτσι, η συμπερίληψη λειτουργικών τροφίμων και η κατανάλωσή τους έχει αποδεδειγμένα συσχετιστεί με την πρόληψη απειλητικών για την υγεία ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο διαβήτης, η παχυσαρκία, η οστεοπόρωση ενώ επηρεάζουν επίσης ορισμένους δείκτες όπως η αρτηριακή πίεση, οι συγκεντρώσεις τριακυλογλυκερόλης, γλυκόζης και χοληστερόλης στο αίμα και ο δείκτης μάζας σώματος.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η υπέρμετρη κατανάλωση λειτουργικών τροφίμων μπορεί να επιφέρει τοξικές κι άλλες ανεπιθύμητες παρενέργειες στον οργανισμό. Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο τόσο κατά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη τους όσο και κατά την ενσωμάτωσή τους στην διατροφή να λαμβάνονται σημαντικά υπόψιν περιπτώσεις συγχωρήγησης με άλλα φάρμακα ή τρόφιμα εξίσου εμπλουτισμένα. Τέλος, προκειμένου να αποφευχθούν παραπλανήσεις των καταναλωτών αναφορικά με τις ευεργετικές ιδιότητες των εν λόγω τροφίμων, θα πρέπει η διατύπωση ενός διατροφικού ισχυρισμού και ακολούθως η επισήμανση του προϊόντος ως λειτουργικό να συνοδεύεται από κλινικές μελέτες και στοιχεία που το αποδεικνύουν. Με άλλα λόγια, θα πρέπει να αποδεικνύεται ότι τα βιοενεργά συστατικά στα οποία αποδίδονται οι ισχυρισμοί περί λειτουργικότητας είναι ασφαλή κι εμφανίζουν επαρκή δράση εντός του οργανισμού, όταν εμπεριέχονται στα τρόφιμα τα οποία καταναλώνονται ενώ μάλιστα καλύπτουν τις προϋποθέσεις των νομοθετικών πλαισίων στις εκάστοτε χώρες ανάπτυξης.

Βιβλιογραφία

- Al Saqqa, G. (2021). Some functional foods and benefits of their bioactive components. *Journal of the Saudi Society for Food and Nutrition*, 14(1), 1-11.
- Alongi, M., & Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal of Functional Foods*, 81, 104466.
- Asgary, S., Rastqar, A., & Keshvari, M. (2018). Functional food and cardiovascular disease prevention and treatment: a review. *Journal of the American College of Nutrition*, 37(5), 429-455.
- Assmann, G., Buono, P., Daniele, A., Della Valle, E., Farinaro, E., Ferns, G., . . . Merino, J. (2014). Functional foods and cardiometabolic diseases: International task force for prevention of cardiometabolic diseases. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 24(12), 1272-1300.
- Bard, J. M., Paillard, F., & Lecerf, J. M. (2015). Effect of phytosterols/stanols on LDL concentration and other surrogate markers of cardiovascular risk. *Diabetes & Metabolism*, 41(1), 69-75.
- Bellisle, F., Blundell, J., Dye, L., Fantino, M., Fern, E., Fletcher, R., . . . Westenhöfer, J. (1998). Functional food science and behaviour and psychological functions. *British journal of nutrition*, 80(S1), S173-S193.
- Berner, L. A., & O'Donnell, J. A. (1998). Functional foods and health claims legislation: applications to dairy foods. *International Dairy Journal*, 8(5-6), 355-362.
- Bjelakovic, G., & Gluud, C. (2007). Surviving antioxidant supplements. *Journal of the National Cancer Institute*, 99(10), 742-743.
- Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2018). Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 107-120.
- Chen, C., Huang, X., Wang, H., Geng, F., & Nie, S. (2022). Effect of β -glucan on metabolic diseases: a review from the gut microbiota perspective. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100907.
- Chew, S.-C., Tan, C.-H., Pui, L.-P., Chong, P.-N., Gunasekaran, B., & Nyam, K. (2019). Encapsulation technologies: A tool for functional foods development. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(5), 154-162.
- Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2020). Chapter Five - Physiological relevance of food antioxidants. In F. Toldrá (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 93, pp. 205-250): Academic Press.
- Corrêa-Filho, L. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Sciences*, 9(3), 571.
- Costa-Rodrigues, J., Pinho, O., & Monteiro, P. (2018). Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease? *Food chemistry*, 245, 1148-1153.
- Daneshniya, M., Nezhad, H., Maleki, M., Jalali, V., & Behrouzian, M. (2020). A Review of Encapsulation of Bioactive Peptides with Antimicrobial and Antioxidant Activity. *Int. J. Acad. Eng. Res*, 4(7).
- Danesi, F., Gómez-Caravaca, A. M., de Biase, D., Verardo, V., & Bordoni, A. (2016). New insight into the cholesterol-lowering effect of phytosterols in rat cardiomyocytes. *Food Research International*, 89, 1056-1063.
- de Piano, A., Masquiao, D. C., & Dâmaso, A. R. (2019). The effects of soy products and isoflavones in metabolic syndrome and nonalcoholic fatty liver disease. *Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes*, 121-136.

- Delshadi, R., Bahrami, A., Tafti, A. G., Barba, F. J., & Williams, L. L. (2020). Micro and nano-encapsulation of vegetable and essential oils to develop functional food products with improved nutritional profiles. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 72-83.
- Diplock, A., Aggett, P., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E., & Roberfroid, M. (1999). The European Commission concerted action on functional foods science in Europe (FUFOSE). Scientific concepts of functional foods in Europe. Consensus document. *Br J Nutr*, 81, 1-27.
- Dwyer, J. T., Wiemer, K. L., Dary, O., Keen, C. L., King, J. C., Miller, K. B., . . . Gaine, P. C. (2015). Fortification and health: challenges and opportunities. *Advances in nutrition*, 6(1), 124-131.
- Ejtahed, H.-S., Angoorani, P., Soroush, A.-R., Atlasi, R., Hasani-Ranjbar, S., Mortazavian, A. M., & Larijani, B. (2019). Probiotics supplementation for the obesity management; A systematic review of animal studies and clinical trials. *Journal of Functional Foods*, 52, 228-242.
- Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., . . . Qoronfleh, M. W. (2023). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 820-834. doi:10.1007/s13197-021-05193-3
- Ferguson, J. J., Stojanovski, E., MacDonald-Wicks, L., & Garg, M. L. (2018). Curcumin potentiates cholesterol-lowering effects of phytosterols in hypercholesterolaemic individuals. A randomised controlled trial. *Metabolism*, 82, 22-35.
- Fernández-Ríos, A., Laso, J., Hoehn, D., Amo-Setién, F. J., Abajas-Bustillo, R., Ortego, C., . . . Balcells, M. (2022). A critical review of superfoods from a holistic nutritional and environmental approach. *Journal of Cleaner Production*, 134491.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agenda Item 1: Overview of global developments in functional foods. (Conclusion and Recommendations From the Papers Presented and Discussed.) In: Report of the Regional Expert Consultation of the Asia-Pacific Network for Food and Nutrition on Functional Foods and their implications in the Daily Diet. Bangkok; 2004.
- Ghazanfar, S., Ali, G. M., Abid, R., Farid, A., Akhtar, N., Batool, N. A., . . . Alwasel, Y. A. (2022). An overview of functional food. *Current Topics in Functional Food; Shiomi, N., Savitskaya, A., Eds.*
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., . . . Cani, P. D. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 14(8), 491-502.
- Granato, D., Nunes, D. S., & Barba, F. J. (2017). An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 13-22.
- Green, T. J., Liu, Y., Dadgar, S., Li, W., Böhn, R., & Kitts, D. D. (2013). Wheat Rolls Fortified with Microencapsulated L-5-Methyltetrahydrofolic Acid or Equimolar Folic Acid Increase Blood Folate Concentrations to a Similar Extent in Healthy Men and Women. *The Journal of Nutrition*, 143(6), 867-871.
- Gul, K., Singh, A., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and functional foods: the foods for the future world. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(16), 2617-2627.
- Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). Antioxidant defences synthesized in vivo. *Free radicals in biology and medicine*, 5, 896.

- Jiang, M., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z., & Li, C. (2019). Preparation of a starch-based carrier for oral delivery of Vitamin E to the small intestine. *Food Hydrocolloids*, 91, 26-33.
- Kazemi, A., Noorbala, A. A., Azam, K., & Djafarian, K. (2019). Effect of prebiotic and probiotic supplementation on circulating pro-inflammatory cytokines and urinary cortisol levels in patients with major depressive disorder: A double-blind, placebo-controlled randomized clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 52, 596-602.
- Kim, J. K. (2016). An update on the potential health benefits of carotenes.
- Kim, J. K., & Park, S. U. (2016). Current results on the potential health benefits of lutein.
- Kishan, C. S., Akhila, A., Sahoo, S., & Kulkarni, P. (2021). A comprehensive review on pharmaceutical and nutritional applications of inulin. *Int. J. Appl. Pharm*, 13, 30-38.
- Konstantinidi, M., & Koutelidakis, A. E. (2019). Functional Foods and Bioactive Compounds: A Review of Its Possible Role on Weight Management and Obesity's Metabolic Consequences. *Medicines (Basel)*, 6(3).
- Koziolek, M., Alcaro, S., Augustijns, P., Basit, A. W., Grimm, M., Hens, B., . . . Corsetti, M. (2019). The mechanisms of pharmacokinetic food-drug interactions – A perspective from the UNGAP group. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 134, 31-59.
- Krumbeck, J. A., Walter, J., & Hutkins, R. W. (2018). Synbiotics for improved human health: recent developments, challenges, and opportunities. *Annual review of food science and technology*, 9, 451-479.
- López-Biedma, A., Sánchez-Quesada, C., Delgado-Rodríguez, M., & Gaforio, J. J. (2016). The biological activities of natural lignans from olives and virgin olive oils: A review. *Journal of Functional Foods*, 26, 36-47.
- Marinaki, E., Kandyli, P., Dimitrellou, D., Zakyntinos, G., & Varzakas, T. (2016). Probiotic yogurt production with *Lactobacillus casei* and prebiotics. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 4(Special Issue Nutrition in Conference October 2016), 48-53.
- Martínez-González, M. A., Salas-Salvadó, J., Estruch, R., Corella, D., Fitó, M., Ros, E., & Investigators, P. (2015). Benefits of the Mediterranean diet: insights from the PREDIMED study. *Progress in cardiovascular diseases*, 58(1), 50-60.
- Martirosyan, D., Lampert, T., & Lee, M. (2022). A comprehensive review on the role of food bioactive compounds in functional food science. *Functional Food Science*, 2(3), 64-78.
- McClements, D. J., Zou, L., Zhang, R., Salvia-Trujillo, L., Kumosani, T., & Xiao, H. (2015). Enhancing Nutraceutical Performance Using Excipient Foods: Designing Food Structures and Compositions to Increase Bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 824-847.
- Meyerding, S. G., Kürzdörfer, A., & Gassler, B. (2018). Consumer preferences for superfood ingredients—The case of bread in Germany. *Sustainability*, 10(12), 4667.
- Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H. N. (2021). Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 340-351.
- Otunola, G. A., & Martirosyan, D. (2021). Choosing suitable food vehicles for functional food products. *Functional Foods in Health and Disease*, 11(2), 44-55.
- Palmieri, N., Stefanoni, W., Latterini, F., & Pari, L. (2022). Factors Influencing Italian Consumers' Willingness to Pay for Eggs Enriched with Omega-3-Fatty Acids. *Foods*, 11(4), 545.

- Parthasarathi, S., & Anandharamakrishnan, C. (2016). Enhancement of oral bioavailability of vitamin E by spray-freeze drying of whey protein microcapsules. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 469-476.
- Philippos Hellenic Goods (2023). Olive oil Nutrition, Available online: https://www.philipposhg.gr/page/olive-oil-nutrition?lang=en_US (Πρόσβαση: 20 Σεπτεμβρίου 2023)
- Plat, J., Baumgartner, S., Vanmierlo, T., Lütjohann, D., Calkins, K., Burrin, D., . . . Vreugdenhil, A. (2019). Plant-based sterols and stanols in health & disease: “Consequences of human development in a plant-based environment?”. *Progress in lipid research*, 74, 87-102.
- Poli, A., Marangoni, F., Corsini, A., Manzato, E., Marrocco, W., Martini, D., . . . Visioli, F. (2021). Phytosterols, Cholesterol Control, and Cardiovascular Disease. *Nutrients*, 13(8), 2810.
- Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Režek Jambrak, A., Barba, F. J., Cravotto, G., Binello, A., . . . Shpigelman, A. (2017). Innovative “green” and novel strategies for the extraction of bioactive added value compounds from citrus wastes—A review. *Molecules*, 22(5), 680.
- Rennie, M., Morgan, W., Schutz, P., & Drummond, H. (2003). Tip Top® Up™ bread with omega-3 DHA: Result of partnership between Clover Corporation Ltd and George Weston Foods Ltd. 55, 506-509.
- Rezazadeh, L., Gargari, B. P., Jafarabadi, M. A., & Alipour, B. (2019). Effects of probiotic yogurt on glycemic indexes and endothelial dysfunction markers in patients with metabolic syndrome. *Nutrition*, 62, 162-168.
- Rivera-Madrid, R., Carballo-Uicab, V. M., Cárdenas-Conejo, Y., Aguilar-Espinosa, M., & Siva, R. (2020). Overview of carotenoids and beneficial effects on human health *Carotenoids: properties, processing and applications* (pp. 1-40): Elsevier.
- Rokka, T., Alén, K., Valaja, J., & Ryhänen, E.-L. (2002). The effect of a Camelina sativa enriched diet on the composition and sensory quality of hen eggs. *Food Research International*, 35(2-3), 253-256.
- Roshan, H., Ghaedi, E., Rahmani, J., Barati, M., Najafi, M., Karimzadeh, M., & Nikpayam, O. (2019). Effects of probiotics and synbiotic supplementation on antioxidant status: A meta-analysis of randomized clinical trials. *Clinical nutrition ESPEN*, 30, 81-88.
- Saini, R. K., Prasad, P., Sreedhar, R. V., Akhilender Naidu, K., Shang, X., & Keum, Y.-S. (2021). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs): Emerging Plant and Microbial Sources, Oxidative Stability, Bioavailability, and Health Benefits—A Review. *Antioxidants*, 10(10), 1627.
- Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharifi-Rad, M., Kumar, N. V. A., Martins, N., & Sharifi-Rad, J. (2019). The therapeutic potential of curcumin: A review of clinical trials. *European journal of medicinal chemistry*, 163, 527-545.
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K., & Latha, L. Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plants’ extracts. *African journal of traditional, complementary and alternative medicines*, 8(1).
- Sekhon, B. S. (2010). Food nanotechnology—an overview. *Nanotechnology, science and applications*, 1-15.
- Tacer-Caba, Z. (2019). The concept of superfoods in diet *The role of alternative and innovative food ingredients and products in consumer wellness* (pp. 73-101): Elsevier.
- Wilson, D. W., Nash, P., Buttar, H. S., Griffiths, K., Singh, R., De Meester, F., . . . Takahashi, T. (2017). The Role of Food Antioxidants, Benefits of Functional Foods,

- and Influence of Feeding Habits on the Health of the Older Person: An Overview. *Antioxidants*, 6(4), 81.
- Witkowska, A. M., Waśkiewicz, A., Zujko, M. E., Cicha-Mikołajczyk, A., Mirończuk-Chodakowska, I., & Drygas, W. (2022). Dietary Plant Sterols and Phytosterol-Enriched Margarines and Their Relationship with Cardiovascular Disease among Polish Men and Women: The WOBASZ II Cross-Sectional Study. *Nutrients*, 14(13), 2665.
- Wolfe, D. (2009). *Superfoods: the food and medicine of the future*: North Atlantic Books.
- Ye, Q., Georges, N., & Selomulya, C. (2018). Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 167-179.
- Zabot, G. L., Schaefer Rodrigues, F., Polano Ody, L., Vinícius Tres, M., Herrera, E., Palacin, H., . . . Olivera-Montenegro, L. (2022). Encapsulation of Bioactive Compounds for Food and Agricultural Applications. *Polymers*, 14(19), 4194.
- Zarbà, C., Chinnici, G., & D'Amico, M. (2020). Novel Food: The impact of innovation on the paths of the traditional food chain. *Sustainability*, 12(2), 555.
- Zhao, B., Ren, B., Guo, R., Zhang, W., Ma, S., Yao, Y., . . . Liu, X. (2017). Supplementation of lycopene attenuates oxidative stress induced neuroinflammation and cognitive impairment via Nrf2/NF-κB transcriptional pathway. *Food and Chemical Toxicology*, 109, 505-516.
- KANONΙΣΜΟΣ (ΕΚ) ΑΡΙΘ. 1924/2006 ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 20ής Δεκεμβρίου 2006 σχετικά με τους ισχυρισμούς επί θεμάτων διατροφής και υγείας που διατυπώνονται για τα τρόφιμα. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1924-20100302&from=EN>
- Κόκκος, Θ. (2015). Λειτουργικά τρόφιμα: σπουδαιότητα και προοπτικές.
- Κουτελιδάκης Α, «ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΤΡΟΦΙΜΑ - Ο ρόλος τους στην προαγωγή της Υγείας» 2015 Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- Μπουσδούνη Π., 2020. Σύγκριση της συχνότητας κατανάλωσης λειτουργικών τροφίμων και του βαθμού υιοθέτησης της Μεσογειακής Διατροφής (KidMed) ανάμεσα σε έφηβους μαθητές σε Λήμνο και Αθήνα, Πτυχιακή Μελέτη, Λήμνος
- Πλέσσας, Σ., & Nelson, M. (2010). Διαιτητική του ανθρώπου. *Εκδόσεις Φάρμακον Τύπος, Αθήνα*.