

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ:
ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥΣ
ΑΠΟ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
του
ΡΩΜΑΝΟΥ ΚΑΡΑΚΑΛΙΔΗ

Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων
ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ



Αργοστόλι Κεφαλληνίας
Μάρτιος 2022

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ:
ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥΣ
ΑΠΟ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η πτυχιακή εργασία εγκρίθηκε από:

«Ευλογημένες στους πολέμους δεν είναι οι νίκες, αλλά οι ήττες! Οι νίκες χρειάζονται στις κυβερνήσεις, ενώ οι ήττες χρειάζονται στους λαούς. Ύστερα από μια νίκη, ζητάς κι άλλη νίκη, ενώ ύστερα από μιαν ήττα ζητάς την απελευθέρωση – και συνήθως την πετυχαίνεις. Οι ήττες χρειάζονται στους λαούς, όπως τα βάσανα και οι συμφορές χρειάζονται σε μεμονωμένους ανθρώπους: σε αναγκάζουν να εμβαθύνεις στην εσωτερική σου ζωή, και να ανυψωθείς πνευματικά.»

Αλεξάντρ Σολζενίτσιν, Αρχιπέλαγος Γκουλάγκ

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου στην θαλπωρή επιβλέπουσα καθηγήτρια την Μαρία Αλεξανδρή, η οποία μου συμπαραστάθηκε σαν καθοδηγούμενος φάρος στην όλη πορεία της εργασίας μου. Χωρίς την έμπρακτη συνεισφορά της με την επιμονή, την υπομονή αλλά και με την αμεσότητά της σε αυτούς τους δυσβάσταχτους καιρούς, θα είχα χαθεί στην πυκνή ομίχλη της απέραντης πληροφορίας αλλά και θα είχα εκτροχιαστεί από τη βασική θεματολογία της εργασίας. Η καθοδήγησή της ήταν ζωτικής σημασίας για να αγκυροβολήσω στην πρέπουσα θεματολογία με ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Επίσης, με την ίδια αίγλη θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον καθηγητή Νικόλαο Κοψαχείλη του οποίου οι συμβουλές ήταν σαν το φως το οποίο μπόρεσε να ξεδιαλύνει το σκοτάδι των αμφιβολιών που είχα και με την στιλπνότητά του μπόρεσε να είναι ένα υπόδειγμα ενός σοβαρού συνάμα αξιόλογου καθηγητή. Τον ευχαριστώ βαθύτατα που παραμένει αρωγός και προσηλωμένος στην εργασία του, προσφέροντας την κατάλληλη παιδεία στο πανεπιστημιακό τμήμα.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	9
Abstract	11
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 2 Λειτουργικά συστατικά τροφίμων	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Ορισμός	14
2.3 Σημαντικότητα λειτουργικών τροφίμων.....	17
2.4 Κατηγορίες λειτουργικών τροφίμων	19
2.5 Τρόποι μελέτης της λειτουργικότητας των συστατικών.....	21
2.6 Ισχυρισμοί υγείας.....	22
Κεφάλαιο 3 Κατηγορίες λειτουργικών συστατικών	24
3.1 Υδατάνθρακες.....	24
3.2 Λιπαρά οξέα.....	26
3.3 Αντιοξειδωτικά	27
3.4 Πρωτεΐνες	29
3.5 Βιταμίνες	32
3.6 Προβιοτικά.....	33
3.7 Πρεβιοτικά.....	35
Κεφάλαιο 4 Παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων.....	37
4.1 Γενικά.....	37
4.2 Τεχνικές εκχύλισης.....	39
4.2.1 Εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (SFE)	40
4.2.2 Εκχύλιση με χρήση υποκρίσιμου νερού (SWE)	42
4.2.3 Εκχύλιση με υποβοήθηση μικροκυμάτων (MAE)	43
4.2.4. Εκχύλιση με τη χρήση ενζύμων (EAE).....	45
4.2.5. Εκχύλιση με πεπιεσμένο υγρό (PLE)	46
4.2.6. Εκχύλιση με βοήθεια παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF)	48
4.2.7. Εκχύλιση υποβοηθούμενη από υπερήχους (UAE).....	49
4.2.8 Περιπτώσεις μελέτης	51
Κεφάλαιο 5 Μέθοδοι ενσωμάτωσης λειτουργικών συστατικών στα τρόφιμα	54
5.1 Γενικά.....	54

5.2 Παραδείγματα ενσωμάτωσης λειτουργικών συστατικών σε τρόφιμα.....	58
5.3 Μέθοδοι ενθυλάκωσης λειτουργικών συστατικών	59
5.3.1 Ξήρανση με ψεκασμό (<i>Spray drying</i>).....	59
5.3.2 Ηλεκτροπεριστροφή (<i>Electrospinning</i>)	61
5.4 Περιπτώσεις μελέτης	63
Κεφάλαιο 6 Επίδραση λειτουργικών συστατικών στην υγεία.....	67
6.1 Υδατάνθρακες.....	67
6.2 Λιπαρά οξέα.....	69
6.3 Αντιοξειδωτικά	71
6.4 Πρωτεΐνες	74
6.5 Βιταμίνες	75
6.6 Προβιοτικά.....	79
6.7 Πρεβιοτικά.....	81
Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα.....	84
Βιβλιογραφία.....	85

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Επιπλέον ορισμοί από διάφορους οργανισμούς (Chukwuebuka Egbuna et al., 2020)	17
Πίνακας 2: Σύνοψη σύγχρονων μεθόδων ανάκτησης λειτουργικών συστατικών από διάφορες εναλλακτικές πρώτες ύλες και αποδόσεις.	51
Πίνακας 3: Περιπτώσεις μελέτης ενθυλάκωσης πυρήνα (λειτουργικών συστατικών) με διάφορες κάψες	64
Πίνακας 4: Παραδείγματα επίδρασης βιταμινών στην υγεία	78
Πίνακας 5: Ευεργετικές επιδράσεις των πρεβιοτικών στην υγεία του ανθρώπου.	83

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1:Βασικά μέρη της SFE και διαδικασία εκχύλισης(Kooi-Yeong Khaw et. al., 2017)....	41
Εικόνα 2: Βασικά μέρη της τεχνικής SWE και η διαδικασία εκχύλισης (Monalisha Pattnaik et. al., 2021).....	43
Εικόνα 3: a) τεχνική MAE κλειστού συστήματος b) τεχνική MAE ανοιχτού συστήματος (Le Wen et. al., 2019).....	45
Εικόνα 4: Τα βασικά έρη της τεχνικής PLE (Diego Ballesteros-Vivas et. al., 2020).....	47
Εικόνα 5: 1) τεχνική UAE σε λουτρά 2) τεχνική UAE με καθετήρα. (Le Wen et. al., 2019).....	50
Εικόνα 6: A) πολλαπλός πυρήνας με μονό ή πολλαπλό τοίχωμα B) μονός πυρήνας με μονό ή πολλαπλό τοίχωμα (Seid Mahdi Jafari 2017).....	55
Εικόνα 7: Διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό (Yakindra Prasad Timilsena et. al., 2020).....	61
Εικόνα 8: Ηλεκτροπεριστροφή οριζόντιας διάταξης (Nieuwland et al.,2013).....	62
Εικόνα 9: Ηλεκτροπεριστροφή κάθετης διάταξης (Lingli Deng and Hui Zhang 2020)	62

Περιεχόμενα γραφημάτων

Γράφημα 1: Ετήσια σπατάλη τροφίμων σε επιλεγμένες χώρες. (Pour & Makawi, 2021).	38
--	----

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη στοχεύει στην ανασκόπηση των σύγχρονων μεθόδων ανάκτησης λειτουργικών συστατικών και ενσωμάτωσής τους στα τρόφιμα.

Τα λειτουργικά συστατικά αποτελούν χημικές ενώσεις που βρίσκονται στα τρόφιμα και που παρέχουν πολλαπλά οφέλη στον ανθρώπινο οργανισμό. Ένα τρόφιμο μπορεί να χαρακτηριστεί ως «λειτουργικό» ή «βιολειτουργικό» όταν περιέχει συστατικά που προσφέρουν επιπλέον πλεονεκτήματα στον οργανισμό, εκτός από τη θρεπτική αξία. Στα πιο ευρέως αναγνωρισμένα λειτουργικά συστατικά των τροφίμων υπάγονται διάφοροι ολιγοσακχαρίτες, τα φαινολικά συστατικά, οι βιταμίνες, κάποιες πρωτεΐνες, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, τα προβιοτικά και τα πρεβιοτικά.

Η έρευνα στην ανάπτυξη νέων τροφίμων με πολλαπλά οφέλη στην υγεία στοχεύει στον εμπλουτισμό τους με λειτουργικά συστατικά. Για το σκοπό αυτό, η ανάκτησή τους από παραπροϊόντα του αγροτο-διατροφικού τομέα είναι υψίστης σημασίας, συμβάλλοντας παράλληλα στην παραγωγή τροφίμων στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας. Η ανάκτηση των λειτουργικών συστατικών από τα διάφορα παραπροϊόντα μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση διαφόρων τεχνικών, είτε συμβατικών είτε σύγχρονων. Οι σημαντικότερες μέθοδοι ανάκτησης λειτουργικών συστατικών είναι η εκχύλιση με υπερκρίσιμο ρευστά (*SFE*), η εκχύλιση με υποκρίσιμο νερό (*SWE*), η εκχύλιση υποβοηθούμενη με μικροκύματα (*MAE*), η εκχύλιση με τη χρήση ενζύμων (*EAE*), η εκχύλιση με πεπιεσμένο υγρό (*PLE*), η εκχύλιση με τη βοήθεια παλμικών πεδίων (*PEF*) και η εκχύλιση υποβοηθούμενη από υπερήχους (*UAE*). Αναλόγως με το υπόστρωμα και το λειτουργικό συστατικό-στόχο, επιλέγεται και η κατάλληλη μέθοδος. Στη βιβλιογραφία έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες, οι οποίες αναφέρουν υψηλές αποδόσεις ανάκτησης λειτουργικών συστατικών από απόβλητα ή παραπροϊόντα με κάποια από τις προαναφερόμενες μεθόδους.

Τα λειτουργικά συστατικά μπορούν να ενθυλακωθούν πριν την προσθήκη τους σε κάποιο τρόφιμο, ώστε να προστατευτεί η δραστηρότητά τους κατά την επεξεργασία και αποθήκευση του τροφίμου. Οι τεχνικές ενθυλάκωσης χωρίζονται στην μακρο-, μικρο- και νανο-ενθυλάκωση, εκ των οποίων οι μικρο- και η νανο-ενθυλάκωση αποτελούν τις πιο χρησιμοποιούμενες. Ανάλογα με το συστατικό προς ενθυλάκωση, επιλέγονται και οι κατάλληλες μέθοδοι με την ξήρανση με ψεκασμό (*spray drying*) και την ηλεκτροπεριστροφή (*electrospinning*) να είναι από τις αποδοτικότερες. Η σύγχρονη

έρευνα στοχεύει στην παραγωγή καινοτόμων τροφίμων που θα φέρουν αποδεδειγμένα θετικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό με ταυτόχρονο σεβασμό στο περιβάλλον.

Λέξεις κλειδιά: λειτουργικά συστατικά, ενθυλάκωση, πράσινες μέθοδοι εκχύλισης, αντιοξειδωτικά, προβιοτικά, πρεβιοτικά, ξήρανση με ψεκασμό, ηλεκτροπεριστροφή

Abstract

The present study aims to review the current methods for recovering functional components and integrating them into foodstuffs.

Functional ingredients are chemical compounds that can be found in food and provide multiple benefits to the human body. Food can be described as "functional" or "biofunctional" when it contains ingredients that offer additional benefits to the body, and not just nutritional value. The most widely recognized functional components in food include various oligosaccharides, phenolic constituents, vitamins, some proteins, polyunsaturated fatty acids, probiotics and prebiotics.

Current research is aiming to the development of novel foods with multiple health benefits via their supplementation with functional ingredients. For this purpose, their recovery from by-products of the agri-food sector is of utmost importance, while contributing to food production in the context of the circular economy. The recovery of functional components from the various by-products can be accomplished using a variety of techniques, either conventional or modern. The most important methods for recovering functional components are supercritical fluid extraction (SFE), subcritical water extraction (SWE), microwave assisted extraction (MAE), enzyme assisted extraction (EAE), pressurized liquid extraction (PLE), pulsed field extraction (PEF) and ultrasound assisted extraction (UAE). The selection of the appropriate method depends on the substrate and the target functional component. Numerous studies in the open literature report the efficient recovery of functional components from food waste or by-products using the above methods.

Functional ingredients can be encapsulated before being added into food formulations, to protect their activity during food processing and storage. Encapsulation techniques are divided into macro-, micro- and nano-encapsulation, from which micro- and nano-encapsulation are the most widely used. Depending on the compound to be encapsulated, the appropriate methods are selected with spray drying and electrospinning being the most efficient. Modern research aims to develop innovative foods with proven positive effects on the human body, while respecting the environment.

Keywords: functional ingredients, encapsulation, green extraction methods, antioxidants, probiotics, prebiotics, spray drying, electrospinning

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η ιστορία των λειτουργικών τροφίμων ξεκινά από τα αρχαία χρόνια. Εκτιμάται πως πρωτοεμφανίστηκαν πριν από 3000 χρόνια με τις πρώτες αναφορές να γίνονται στα βεδικά κείμενα της Ινδίας αλλά και στην παραδοσιακή ιατρική των Κινέζων (CJ Henry, 2010). Η σημαντικότητα των τροφίμων αυτών είχε τονιστεί και στην αρχαία Ελλάδα από τον Ιπποκράτη, ο οποίος δήλωσε: «αφήστε τα τρόφιμα να είναι το φάρμακό σας και το φάρμακό σας να είναι τα τρόφιμά σας» (460–377 Π.Χ.) (Egbuna et al., 2020). Ωστόσο, ο ορισμός όπως τον γνωρίζουμε σήμερα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία την δεκαετία του 1980, περιγράφοντας επεξεργασμένα τρόφιμα, τα οποία, εκτός από θρεπτική αξία παρέχουν στον οργανισμό και επιπλέον πλεονεκτήματα. (Καρβέλα Ε., 2020).

Καθώς το ενδιαφέρον των καταναλωτών ως προς την κατανάλωση τροφίμων που εμφανίζουν οφέλη για την υγεία ολοένα και αυξάνεται, η ανάπτυξη νέων τροφίμων, εμπλουτισμένων με λειτουργικά συστατικά αποτελεί σήμερα ένα σημαντικό αντικείμενο μελέτης. Παράλληλα, στα πλαίσια της αειφορίας και της κυκλικής οικονομίας, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ανάκτησης συστατικών υψηλής προστιθέμενης αξίας (φαινολικών συστατικών, χρωστικών, ολιγοσακχαριτών κ.ά.) από παραπροϊόντα. Ειδικά ο τομέας της αγροτο-διατροφής είναι υπεύθυνος για την παραγωγή υψηλών ποσοτήτων αποβλήτων και παραπροϊόντων, τα οποία όμως δύνανται να είναι πλούσια σε λειτουργικά συστατικά (Helkar et al., 2016).

Σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι η ανάδειξη της σημαντικότητας των τροφίμων στην υγεία του ανθρώπου μέσα από την χρήση των παραπροϊόντων τροφίμων, ως πηγές λειτουργικών συστατικών και την εφαρμογή τους στα τρόφιμα. Αρχικά, παρουσιάζεται ο ορισμός των λειτουργικών τροφίμων και τα συστατικά εκείνα που προσδίδουν τις ωφέλιμες ιδιότητες σε αυτά (Κεφάλαιο 2). Οι κατηγορίες λειτουργικών συστατικών που μελετήθηκαν ανήκουν στους υδατάνθρακες, στα λιπαρά οξέα, στα αντιοξειδωτικά, στις πρωτεΐνες, στις βιταμίνες, στα προβιοτικά και στα πρεβιοτικά (Κεφάλαιο 3). Έπειτα, πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση και περιγραφή των σύγχρονων μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση λειτουργικών συστατικών από τα διάφορα παραπροϊόντα της αγροτο-διατροφής (Κεφάλαιο 4). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία για την ενθυλάκωση λειτουργικών συστατικών, ώστε να ενσωματωθούν στα τρόφιμα (Κεφάλαιο 5). Η μελέτη αυτή

ολοκληρώνεται με την επίδραση που έχουν τα υπό μελέτη λειτουργικά συστατικά στην υγεία (Κεφάλαιο 6).

Κεφάλαιο 2 Λειτουργικά συστατικά τροφίμων

2.1 Γενικά

Ο πρωταρχικός σκοπός της ανάπτυξης λειτουργικών τροφίμων ήταν η βελτίωση της υγείας του ηλικιωμένου πληθυσμού της Ιαπωνίας. Έτσι, από το 1984 και για περίπου 10 χρόνια, έγιναν έρευνες μεγάλης κλίμακας με την χορηγία του Υπουργείου Παιδείας Επιστημών και Πολιτισμού της Ιαπωνίας. Έπειτα, με τη βοήθεια ερευνητών από σχετικούς κλάδους, το πρόγραμμα αυτό κατέληξε στη δημιουργία της πρώτης πολιτικής, παγκοσμίως, η οποία επέτρεπε την εμπορική προώθηση των θετικών επιδράσεων των τροφίμων στον οργανισμό, στο καταναλωτικό κοινό (Shimizu, 2014). Αποτέλεσμα ήταν τα τρόφιμα αυτά να γίνουν γνωστά ως «Τρόφιμα για Συγκεκριμένη Υγιεινή Χρήση» (*Foods for Specified Health Use–FOSHU*) και ο όρος των λειτουργικών τροφίμων εμφανίστηκε για πρώτη φορά στο περιοδικό *Naturenews* το 1993 υπό τον τίτλο «Η Ιαπωνία διερευνά τα όρια μεταξύ τροφίμων και φαρμάκων» (CJ Henry, 2010). Από τα πρώτα προϊόντα που πήραν έγκριση (το 1993) ήταν το υποαλλεργικό ρύζι και γάλα χαμηλού φωσφόρου για κατανάλωση από ασθενείς. Επειδή όμως, τα τρόφιμα αυτά περιλαμβάνουν ιατρικούς ισχυρισμούς όπως η "πρόληψη" ή η "θεραπεία", αργότερα μεταφέρθηκαν από την κατηγορία των λειτουργικών τροφίμων σε άλλη κατηγορία υπό την ονομασία "τροφές για ασθένειες" (Shimizu, 2014).

2.2 Ορισμός

Το ενδιαφέρον για την λειτουργικότητα των τροφίμων ολοένα και αυξάνεται, ειδικότερα στις μέρες μας. Οι άνθρωποι στρέφονται προς έναν πιο υγιεινό τρόπο διατροφής από την στιγμή που αντιλήφθηκαν το όφελος της τροφής στην υγεία τους. Στην πληροφοριοδότησή τους βοήθησε και η εύκολη πρόσβαση στην ενημέρωση. Η ραγδαία αύξηση της ζήτησης λειτουργικών τροφίμων, δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης ενός ορισμού από τις αρμόδιες υπηρεσίες. Ο ορισμός αυτός θα συνείσφερε τόσο στην καλύτερη πληροφόρηση και εξυπηρέτηση των καταναλωτών, όσο και στην αποφυγή της όποιας εξαπάτησης και παραπληροφόρησής τους.

Για τους λόγους αυτούς ήταν επιτακτική η ανάγκη χρήσης ενός ορισμού για τα λειτουργικά τρόφιμα με σαφήνεια και ορθότητα. Παρόλη την αναγκαιότητα, ακόμη και σήμερα, δεν υπάρχει έναν ενιαίο ορισμό ο οποίος να εφαρμόζεται από όλες τις χώρες του κόσμου. Απεναντίας η κάθε χώρα ορίζει τα λειτουργικά τρόφιμα ανάλογα με την

πολιτική που ακολουθεί από τον αρμόδιο κυβερνητικό οργανισμό ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον ορισμό τους. Έτσι, υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί ορισμοί για αυτά (Egbuna et al., 2020).

Ένας ορισμός ο οποίος δίνεται από το Υπουργείο Υγείας του Καναδά (*Health Canada*) είναι: «Τα λειτουργικά τρόφιμα πρέπει να έχουν παρόμοια εμφάνιση με τα συμβατικά τρόφιμα, να καταναλώνονται ως μέρος της συνήθους διατροφής, με αποδεδειγμένα φυσιολογικά οφέλη, ή/και να μειώνουν τον κίνδυνο χρόνιας ασθένειας, πέρα από τις βασικές λειτουργίες του». Το Διεθνές Συμβούλιο Πληροφοριών Τροφίμων (*IFIC*) δίνει έναν ορισμό για τα λειτουργικά τρόφιμα ως εξής: «τρόφιμα ή διαιτητικά προϊόντα που μπορούν να παρέχουν όφελος για την υγεία πέρα από το βασικό προσόν». Ακόμη, σύμφωνα με το Διεθνές Ινστιτούτο Βιοεπιστημών της Βόρειας Αμερικής (*ILSI*) τα τρόφιμα αυτά ορίζονται ως: «τρόφιμα που λόγω των φυσιολογικά ενεργών συστατικών παρέχουν οφέλη για την υγεία πέρα από τη βασική θρεπτική αξία» (CJ Henry, 2010).

Αντιθέτως, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θεωρεί ένα τρόφιμο ως λειτουργικό εάν «αποδειχθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα πως επηρεάζει ευεργετικά μία ή περισσότερες λειτουργίες στο σώμα, πέραν των επαρκών διατροφικών επιπτώσεων, κατά τρόπο που να σχετίζεται είτε με βελτιωμένη κατάσταση της υγείας και της ευημερίας ή/και με τη μείωση του κινδύνου ασθένειας. Τα λειτουργικά τρόφιμα πρέπει να παραμείνουν τρόφιμα και πρέπει να αποδείξουν την ευεργετική τους δράση σε ποσότητες που κανονικά αναμένεται να καταναλωθούν στη διατροφή: δεν είναι χάπια ή κάψουλες, αλλά μέρος μιας κανονικής τροφής» (Stein et al., 2008). Επίσης, στο ίδιο άρθρο αναφέρεται πως: «Ένα λειτουργικό τρόφιμο μπορεί να είναι ένα φυσικό τρόφιμο, ένα τρόφιμο στο οποίο έχει προστεθεί ένα συστατικό ή ένα τρόφιμο από το οποίο ένα συστατικό έχει αφαιρεθεί με τεχνολογικά ή βιοτεχνολογικά μέσα. Μπορεί επίσης να είναι ένα τρόφιμο στο οποίο έχει τροποποιηθεί η φύση ενός ή περισσότερων συστατικών ή ένα τρόφιμο στο οποίο έχει τροποποιηθεί η βιοδιαθεσιμότητα ενός ή περισσότερων συστατικών ή οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών των περιπτώσεων. Μια λειτουργική τροφή μπορεί να είναι λειτουργική για όλα τα μέλη ενός πληθυσμού ή για συγκεκριμένες ομάδες του πληθυσμού, η οποία μπορεί να οριστεί, για παράδειγμα, από την ηλικία (Stein et al., 2008). Τέλος, στην Ευρώπη, όσον αφορά τους ισχυρισμούς υγείας, δεν είναι το ίδιο περιορισμένοι στις δηλώσεις αυτές συγκριτικά με τις άλλες

χώρες και επιτρέπει να αναφέρονται ισχυρισμοί οι οποίοι να μπορούν να συσχετίζουν την λειτουργικότητα του τροφίμου με την υγεία. Ωστόσο, αναφέρεται ρητά ότι απαγορεύεται η αναγραφή στη συσκευασία οποιασδήποτε μορφή προώθησης θεραπείας, αντιμετώπισης ή μετριότητας ασθένειας από την λειτουργικότητα του τροφίμου (Martirosyan et al., 2016).

Αξίζει να σημειωθεί και ο πιο πρόσφατος ορισμός για τα λειτουργικά τρόφιμα από το Κέντρο Λειτουργικών Τροφίμων (*FFC*), ο οποίος αναφέρει πως τα λειτουργικά τρόφιμα ορίζονται ως: «Φυσικά ή επεξεργασμένα τρόφιμα τα οποία περιέχουν γνωστές ή άγνωστες ενεργώς βιολογικές ενώσεις οι οποίες, σε καθορισμένες, μη τοξικές ποσότητες, προκαλούν κλινικά αποδεδειγμένα θετικά οφέλη υγείας για την πρόληψη, τη αντιμετώπιση ή την θεραπεία χρόνιων ασθενειών» (Martirosyan, et al., 2016). Επίσης, στην Ασία, και συγκεκριμένα στην Νότια Κορέα, τα λειτουργικά τρόφιμα ορίζονται ως συμπληρώματα διατροφής των οποίων η λειτουργικότητά τους έχει συμπληρωματική σημασία έναντι της κανονικής διατροφής και πρέπει να διατίθενται στην αγορά σε ελεγχόμενες δόσεις υπό το είδος των χαπιών, δισκίων κ.λπ. (Gul et al., 2016).

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, μπορούν να ενταχθούν και τα φυσικά τρόφιμα στην κατηγορία των λειτουργικών τροφίμων, μιας και αρκετά τρόφιμα έχουν από την φύση τους φυσικά λειτουργικά συστατικά τα οποία είναι ευεργετικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Μερικά παραδείγματα τέτοιων τροφίμων είναι το καρότο το οποίο περιέχει το α-καροτένιο, οι αγκινάρες, τα κρεμμύδια τα οποία περιέχουν φρούκτο-ολιγοσακχαρίτες (*FOS*) και τα φρούτα τα οποία περιέχουν ανθοκυανιδίνες. Φυσικά, για να φέρουν τον ορισμό λειτουργικά θα πρέπει να αποδεικνύουν με νέες επιστημονικές μελέτες την λειτουργικότητά τους (Καρβέλα Ε., 2020). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποιοι ορισμοί των λειτουργικών τροφίμων ορισμοί από επιπλέον οργανισμούς.

Πίνακας 1: Επιπλέον ορισμοί από διάφορους οργανισμούς (Chukwuebuka Egbuna et al., 2020)

Οργανισμός	Ορισμός λειτουργικών τροφίμων
10η Διεθνής διάσκεψη λειτουργικών τροφίμων	Φυσικά ή επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν γνωστές ή άγνωστες βιολογικές δραστικές ενώσεις οι οποίες παρέχουν κλινικά τεκμηριωμένα και αποδεδειγμένα, όφελος υγείας για την πρόληψη, τη διαχείριση ή θεραπεία χρόνιων παθήσεων
17ο Διεθνές συνέδριο που διοργανώθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α (USDA) και Υπηρεσία Αγροτικής Έρευνας (ARS)	Φυσικά ή επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν γνωστές ή άγνωστες βιολογικές δραστικές ενώσεις οι οποίες παρέχουν κλινικά αποδεδειγμένο τεκμηριωμένο όφελος στην υγεία για την πρόληψη, τη διαχείριση ή θεραπεία χρόνιων ασθενειών, σε αποτελεσματικά μη τοξικά ποσά
Ακαδημία Διατροφής και Διαιτολογίας	Ολόκληρα τρόφιμα όπως και ενισχυμένα ή εμπλουτισμένα τρόφιμα τα οποία έχουν πιθανή ευεργετική επίδραση στην υγεία όταν καταναλώνονται ως μέρος μιας ποικίλης τακτικής διατροφής σε επαρκή επίπεδα βασισμένα σε πρότυπα αποδεικτικών στοιχείων
British Nutrition Foundation	Περιλαμβάνει μια πολύ ευρεία γκάμα προϊόντων από τρόφιμα που έχουν αναπτυχθεί για ένα συγκεκριμένο λειτουργικό συστατικό έως και φυσικά τρόφιμα εμπλουτισμένα με ένα θρεπτικό συστατικό το οποίο σπάνια υπάρχει

2.3 Σημαντικότητα λειτουργικών τροφίμων

Από τα αρχαία χρόνια οι άνθρωποι βασίζονταν στο περιβάλλον τους για το είδος της τροφής που θα καταναλώσουν αλλά και για την ποσότητά τους με σκοπό την επιβίωσή τους. Με την πάροδο του χρόνου, ο άνθρωπος μπόρεσε να εξελιχθεί στον τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας (περίπου 1000 π.Χ.) καθώς του δινόταν η δυνατότητα να “παράγει” μόνος του το φαγητό του σε μεγαλύτερες ποσότητες και με μειωμένη έκθεση σε κινδύνους. Παρόλο που δεν υπήρχαν γνώσεις πάνω στα θέματα των

βιταμινών, μετάλλων, πρωτεϊνών, υδατανθράκων και λιπών και στον καθοριστικό τους ρόλο στην ανθρώπινη υγεία, με την πάροδο του χρόνου αλλά συνάμα και με την μετάδοση της γνώσης πάνω σε θέματα υγείας – διατροφής, κατόρθωσε ο άνθρωπος να διατηρήσει την υγεία του σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο. Λαμπρό παράδειγμα αποτελούν οι ιθαγενείς Αμερικανοί οι οποίοι αντλήθηκαν πως η κατανάλωση φλοιού και βελόνων από πεύκο υπό μορφή τσαγιού θα μπορούσε να θεραπεύσει το σκορβούτο.

Αργότερα, διαπιστώθηκε πως το σκορβούτο ήταν μια ασθένεια ανεπάρκειας βιταμίνης C, στην οποία οι πευκοβελόνες είναι πλούσιες (Egbuna et al., 2020). Το ενδιαφέρον για τα οφέλη των συστατικών των τροφίμων προέκυψε στις αρχές του 1980 όπου είχαν ξεκινήσει δοκιμές *in vivo* και *in vitro*, ενώ έως το 1930 είχαν γίνει σημαντικά βήματα πάνω στην έρευνα των βιταμινών. Η πρωτοπορία των ερευνών αυτών μας έδειξαν πως τα θρεπτικά αντιοξειδωτικά, (βιταμίνες C, A, E, β-καροτένιο και σελήνιο) παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία των κυττάρων (Egbuna et al., 2020).

Με το πέρασμα των χρόνων, και σε συνδυασμό με την όλο και μεγαλύτερη έμφαση και προώθηση της σημαντικότητας των συστατικών των τροφίμων για την ευεξία του ανθρώπινου οργανισμού, οι άνθρωποι άρχισαν να κατανοούν όλο και περισσότερο τον ρόλο των τροφίμων στην επίδραση της υγείας τους. Σήμερα, με την πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας έχουμε κατανοήσει σε μεγαλύτερο βαθμό την επίδρασή τους στο σώμα μας και η προώθηση της γνώσης αυτής, δεν μπορεί να έχει παρά μόνο θετικά αποτελέσματα. Η κατανάλωση λειτουργικών τροφίμων δύναται να βελτιώσει την υγεία των καταναλωτών αλλά και να συμβάλλει στην πρόληψη κάποιων ασθενειών. Ακόμη, υπάρχουν ενδείξεις πως τα τρόφιμα αυτά μπορούν να ρυθμίσουν ασθένειες σχετιζόμενες με το οξειδωτικό στρες, τη νόσο Αλτσχάιμερ, τις καρδιαγγειακές ασθένειες, τον καρκίνο, τις παθήσεις των ματιών, τη νόσο του Πάρκινσον και την παχυσαρκία (Egbuna et al., 2020).

Ο πρωταρχικός σκοπός των λειτουργικών τροφίμων ήταν, και εξακολουθεί να είναι, η ενθάρρυνση του καταναλωτή στο να στραφεί στη κατανάλωση τροφίμων τα οποία έχουν ευεργετικές δράσεις με φυσικές μεθόδους, συμβάλλοντας στην πρόληψη διαφόρων ασθενειών, μειώνοντας τελικά την αναγκαιότητα χρήσης των φαρμάκων, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να βλάψουν το σώμα (Mian et al., 2018). Κατ'επέκταση, λόγω της σημαντικότητά τους, οι σχετικές επισημάνσεις των θετικών

επιδράσεων στην υγεία στις ετικέτες των τροφίμων υπόκεινται σε αυστηρούς ελέγχους από τους αρμόδιους φορείς. Η Ευρώπη, καθώς και η Αμερική, έχουν εξετάσει τις πολιτικές τους κανοντάς τις πιο απαιτητικές, έχοντας, παρόλα αυτά διαφορετική προσέγγιση στους ισχυρισμούς υγείας. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) των ΗΠΑ αναφέρει πως «Οι ισχυρισμοί υγείας είναι περιορισμένοι μόνο στο να επισημανθούν ως συμβολή στη μείωση του κινδύνου μιας ασθένειας και δεν μπορούν να αναφέρουν τίποτα που να προωθεί τη θεραπεία ή την πρόληψη μιας ασθένειας». Αντίθετα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει λιγότερους περιορισμούς αναφέροντας: «Ένας ισχυρισμός υγείας είναι οποιαδήποτε δήλωση σχετικά με μια σχέση μεταξύ τροφίμου και υγείας» (Martirosyan et al., 2016).

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ισχυρισμών υγείας, οι οποίοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους λειτουργικούς ισχυρισμούς, όπου αναφέρει την συσχέτιση του τροφίμου με την ανάπτυξη και την λειτουργία του σώματος. Ένα παράδειγμα είναι ο ισχυρισμός “καλό για την όραση”. Η επόμενη κατηγορία συσχετίζει τους ισχυρισμούς με την μείωση κινδύνου εμφάνισης μιας ασθένειας. Ένας τέτοιος ισχυρισμός μπορεί να είναι: “η κατανάλωση φρούτων και λαχανικών μπορεί να μειώσει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου”. Η τελευταία κατηγορία απευθύνεται στα παιδιά, σε ότι έχει να κάνει με την ανάπτυξη και την υγεία τους π.χ. η βιταμίνη D είναι απαραίτητη για τη φυσιολογική ανάπτυξη των οστών των παιδιών (Martirosyan et al., 2016).

2.4 Κατηγορίες λειτουργικών τροφίμων

Όπως με τον ορισμό των λειτουργικών τροφίμων, έτσι και με τα χαρακτηριστικά, δεν υφίσταται μονάχα ένας τύπος κατηγοριοποίησης, μιας και ο κάθε ειδικός οργανισμός έχει αναπτύξει την δική του. Παρόλες τις διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις μπορούμε να διακρίνουμε ένα γενικό μοτίβο στο οποίο η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί επί το πλείστον, τα οποία είναι: α) τα συμβατικά τρόφιμα, β) τρόφιμα στα οποία έχει γίνει τροποποίηση κάποιου συστατικού (προσθήκη, αφαίρεση ή και αντικατάσταση), γ) τα πρεβιοτικά και δ) τα προβιοτικά. Το πρώτο είδος των τροφίμων τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των λειτουργικών τροφίμων είναι τα συμβατικά τρόφιμα. Τα τρόφιμα αυτά δεν έχουν υποστεί καμία τροποποίηση και περιέχουν φυσικές βιοδραστικές ενώσεις οι οποίες προσδίδουν ευεργετικές ιδιότητες πέρα από την

κάλυψη των βασικών διατροφικών αναγκών. Τέτοια τρόφιμα είναι τα φρούτα, τα όσπρια, τα δημητριακά, τα ψάρια και τα κρέατα (Kristi et al., 2013).

Η επόμενη κατηγορία είναι τα τρόφιμα που τα συστατικά τους έχουν υποστεί κάποιο είδος τροποποίηση όπως: βιταμίνες, πρωτεΐνες, αντιοξειδωτικά, λιπαρά οξέα, προβιοτικά, πρεβιοτικά ή/και σάκχαρα. Η τροποποίηση μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση μίας ουσίας από το τρόφιμο, η οποία θεωρείται πως είναι επιβλαβής για τον ανθρώπινο οργανισμό όταν καταναλώνεται. Ένα τέτοιο παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ένα τρόφιμο που περιέχει μια ουσία η οποία είναι αλλεργιογόνος ή προκαλεί δυσανεξίες για κάποιες ομάδες ατόμων. Ακόμη, η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τρόφιμα στα οποία έχει γίνει αύξηση της συγκέντρωσης μιας ουσίας, η οποία προϋπάρχει στο τρόφιμο, με σκοπό την αύξηση της λειτουργικότητάς της στον εκάστοτε οργανισμό, σε επιτρεπτά όρια χωρίς να του προκαλεί επιπτώσεις στην υγεία. Επιπλέον, μπορεί στο τρόφιμο να προστεθεί ένα συστατικό, το οποίο δεν υπήρχε προηγουμένως και αποδεδειγμένα φέρει ευεργετικές ιδιότητες. Η προσθήκη των συστατικών έχει μεγάλη σημασία και στα ωμά τρόφιμα τα οποία μετά την επεξεργασία τους χάνουν κάποια ευεργετικά στοιχεία. Επίσης, μπορεί να γίνει συνδιασμός των τεχνικών αυτών. Στην προκειμένη περίπτωση αντικαθίσταται ένα συστατικό το οποίο έχει αρνητικές ή/και επιβλαβείς επιπτώσεις στον οργανισμό με ένα άλλο συστατικό με ευεργετικές επιδράσεις, καθιστώντας έτσι το τρόφιμο ασφαλές αλλά και συνάμα υγιές με ωφέλιμες ιδιότητες (Tarabella et al., 2019).

Η τελευταία κατηγορία αφορά τα πρεβιοτικά, τα οποία πρωτοεμφανίστηκαν από τους *Glenn Gibson* και *Marcel Roberfroid* το 1995, οι οποίοι ανέδειξαν την σημαντικότητά τους και τα όρισαν ως: «συστατικά τροφής που θρέφουν την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα μιας συγκεκριμένης ομάδας μικροοργανισμών που κατοικούν στο γαστρεντερικό σωλήνα, βελτιώνοντας έτσι την κατάσταση της υγείας του ξενιστή». Οπότε η προσθήκη ή/και ο εμπλουτισμός τους στα τρόφιμα καθίσταται μία από τις σημαντικές συνεισφορές στην υγεία του καταναλωτή με τα κοινά πρεβιοτικά να είναι οι φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες (FOS), οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (GOS) και οι trans-γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες (TOS) (Essa et al., 2021). Ακόμη, είναι σημαντικό να αναφέρουμε και τα προβιοτικά, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία μας παρέχοντας ευεργετικές δράσεις στον γαστρεντερικό σωλήνα. Ο ορισμός που δίνεται

για αυτά είναι: «ζωντανοί μικροοργανισμοί, οι οποίοι όταν καταναλώνονται σε επαρκή αριθμό προσδίδουν οφέλη στην υγεία στον ξενιστή» (Kaur et al., 2011).

2.5 Τρόποι μελέτης της λειτουργικότητας των συστατικών

Φυσικά, όπως προαναφέρθηκε, τα τρόφιμα για να φέρουν τον όρο λειτουργικά θα πρέπει να φέρουν επιστημονική επιβεβαίωση. Η αναφορά στην ετικέτα ενός τροφίμου κάποιων ισχυρισμών υγείας προϋποθέτει την έγκριση από κάποιον αρμόδιο φορέα. Η αναφορά στην υπηρεσία τροφίμων θα πρέπει να γίνει εντός 30 ημερών από την στιγμή που θα κυκλοφορήσει το τρόφιμο στην αγορά, για τον όποιον ισχυρισμό υγείας ενώ η υπηρεσία θα πρέπει είτε να εγκρίνει είτε να απορρίψει τον ισχυρισμό (Díaz et al., 2020).

Η διαδικασία με την οποία ένα συστατικό τροφίμου διερευνάται για την αποτελεσματικότητά τους ως προς την επιπλέον λειτουργικότητα που θα προσφέρει στον οργανισμό, πέρα από τις βασικές θρεπτικές του ιδιότητες, γίνεται είτε *in vitro* σε κυτταροκαλλιέργειες είτε *in vivo* σε ζωικά μοντέλα και τελικά σε ανθρώπους. Ένας καλός τρόπος για τον έλεγχο της δραστηριότητας του συστατικού είναι με βάση την βιοδιαθεσιμότητά του, όπου σύμφωνα τον *FDA* η βιοδιαθεσιμότητα ορίζεται ως: «ο ρυθμός και η έκταση στην οποία το δραστικό συστατικό ή το δραστικό τμήμα απορροφάται από ένα φαρμακευτικό προϊόν και γίνεται διαθέσιμο στο σημείο της δράσης». Μπορούμε να αντιληφθούμε πως στην *in vitro* διαδικασία γίνεται κυρίως έλεγχος της βιοδιαθεσιμότητας του συστατικού, δηλαδή της απορρόφησής του, σε κυτταρικό επίπεδο. Το πρόβλημα με αυτή την διαδικασία έγκειται στο ότι δεν αντικατοπτρίζει πλήρως την πολυπλοκότητα της διαδικασίας απορρόφησης, από την στιγμή που γίνεται σε απομονωμένο περιβάλλον με ελεγχόμενες συνθήκες. Το πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός πως τα συστατικά εντός του τροφίμου επηρεάζονται μεταξύ τους και η αποτελεσματικότητα είναι διαφορετική από αυτή του εργαστηρίου. Έτσι, καθίσταται υψίστης σημασίας οι δοκιμές *in vivo*. Για τη διαδικασία αυτή γίνονται τυχαιοποιημένες, τυφλές ή και με εικονικό φάρμακο μελέτες ώστε να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα του συστατικού. Για τις μελέτες αυτές οι ερευνητές θα πρέπει να γνωρίζουν κάποια ελάχιστα χαρακτηριστικά όπως το υποκείμενο προς δοκιμή και τα χαρακτηριστικά του, τον τύπο δοσολογίας, το είδος της δοσολογίας, την προέλευση της ουσίας, την συχνότητα της δοσολογίας και την διάρκεια της (Kristi et al., 2013).

2.6 Ισχυρισμοί υγείας

Οι αρμόδιες υπηρεσίες των τροφίμων έχουν θεσπίσει σαφείς κανόνες που πρέπει να πληρούνται προκειμένου ένα τρόφιμο να λάβει τη «σήμανση» (ή «επισήμανση») ως λειτουργικό και να αναγράφει ισχυρισμούς υγείας. Οι κανόνες αυτοί αλλάζουν ανάλογα με τον φορέα, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την έκδοσή τους, στις χώρες τις οποίες εκπροσωπεί. Στις Η.Π.Α., ο οργανισμός ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη έγκριση των ισχυρισμών είναι ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (*FDA*). Οι εταιρείες τροφίμων θα πρέπει να περιγράφουν τους ισχυρισμούς ούτως ώστε να αποδεικνύουν την συσχέτιση μεταξύ του συστατικού τροφίμου και την συνεισφορά του στην υγεία. Ο *FDA* κατατάσσει του ισχυρισμούς, ανάλογα με την έγκριση που θα δώσει, σε τρεις κατηγορίες: i) τους ισχυρισμούς με βάση την σημαντική επιστημονική συμφωνία (*Significant Scientific Agreement*) (*SSA*), ii) ισχυρισμούς βασισμένους σε επίσημες έγκυρες δηλώσεις. iii) εγκεκριμένοι ισχυρισμοί υγείας οι οποίοι δεν πληρούν το πρότυπο του *SSA*. Η δεύτερη κατηγορία διαφοροποιείται από την πρώτη κυρίως στο ότι δεν μπορεί να συμπεριλάβει τα συμπληρώματα διατροφής (Alice Yuen-Ting Wong et al., 2015).

Το *SSA* είναι ένα ισχυρό και αυστηρό πρότυπο για την επιβεβαίωση της σχέσης συστατικού τροφίμου και τον ισχυρισμό το οποίο ακολουθείται από εμπειρογνώμονες. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο τα τρόφιμα κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες (Β, Γ και Δ). Οι ομάδες αυτές αντικατοπτρίζουν το βάρος των επιστημονικών στοιχείων (καλή, χαμηλή και χαμηλότερη) και ανάλογα με την ομάδα στην οποία το τρόφιμο κατατάσσεται θα πρέπει να φέρει συγκεκριμένη σήμανση στην ετικέτα. Στην πρώτη ομάδα (Β) οι παραγωγοί θα πρέπει να αναγράφουν: «παρόλο που υπάρχουν επιστημονικά στοιχεία που υποστηρίζουν τον ισχυρισμό, τα στοιχεία δεν είναι πειστικά...». Στη δεύτερη ομάδα (Γ) η σήμανση φέρει τα εξής: «Ορισμένα επιστημονικά στοιχεία υποδηλώνουν... ωστόσο, το *FDA* έχει καθορίσει ότι αυτά τα στοιχεία είναι περιορισμένα και όχι οριστικά». Στην τελευταία ομάδα (Δ) αναφέρεται: «Πολύ περιορισμένη και προκαταρκτική επιστημονική έρευνα υποδηλώνει... το *FDA* καταλήγει στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν λίγα επιστημονικά στοιχεία που υποστηρίζουν αυτόν τον ισχυρισμό» (Díaz et al., 2020).

Από την άλλη μεριά, στην Ευρώπη, η αξιολόγηση του ισχυρισμού υγείας, πέρα από την επιστημονική τεκμηρίωση, περιλαμβάνει και μελέτες σε εθελοντές. Παρόλα αυτά

δεν ακολουθείται κάποιο πρότυπο για το είδος της μελέτης και την περιοδικότητά της κατά την αξιολόγησή του. Φυσικά, από την στιγμή που εγκριθεί η λειτουργικότητά του, ο παραγωγός δεν μπορεί να τοποθετήσει στο τρόφιμό του τους ισχυρισμούς της πρόληψης, αντιμετώπισης ή την θεραπείας μίας ασθένειας. Έτσι, για να υπάρξει καλύτερη κατανόηση από τους καταναλωτές αλλά και η διασφάλιση της σαφήνειας για το τι ακριβώς θα τους προσφέρει το τρόφιμο, θα πρέπει να ακολουθηθούν κάποιοι κανόνες. Αρχικά, ο ισχυρισμός δεν πρέπει να έχει μια στοχοποιημένη ομάδα αλλά πρέπει να έχει τον γενικό πληθυσμό ως στόχο για τους ισχυρισμούς του. Έπειτα, απαγορεύεται η αναφορά σε ασθένειες. Τέλος, δεν επιτρέπεται ο ισχυρισμός μείωσης του κινδύνου ασθένειας αλλά απεναντίας επιτρέπεται η αναφορά σε μείωση παραγόντων κινδύνου μιας ασθένειας. Για να καλυφθούν κάποιες περιπτώσεις ισχυρισμών υγείας τις οποίες δεν καλύπτουν οι προηγούμενοι κανόνες, προστέθηκαν επιπλέον κανονισμοί (κανονισμός Νο 1169/2011) για την αποφυγή της οποιασδήποτε ασάφειας ([EFSA](#), 2021).

Κεφάλαιο 3 Κατηγορίες λειτουργικών συστατικών

3.1 Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες μπορούν να χωριστούν σε απλούς και σύνθετους. Οι απλοί υδατάνθρακες είναι οι μονοσακχαρίτες (ή σάκχαρα) οι οποίοι με υδρόλυση δεν μπορούν να διασπαστούν σε μικρότερα σάκχαρα και χωρίζονται σε αλδόζες και κετόζες. Οι μονοσακχαρίτες αποτελούνται από έναν έως έξι άνθρακες, με τους πιο γνωστούς να είναι η γλυκόζη και η φρουκτόζη. Αντιθέτως, οι πολυσακχαρίτες περιέχουν δύο ή περισσότερα σάκχαρα συνδεδεμένα μεταξύ τους (McMurry, 2017; Σπηλιόπουλος, 2015). Ο μεταβολισμός των σακχάρων επιτυγχάνεται με τη δράση ενζύμων τα οποία διασπούν τον α-γλυκοσидικό δεσμό προς παραγωγή απλών μορίων γλυκόζης, τα οποία χρησιμεύουν ως πηγή ενέργειας (Jurková et. al., 2018). Γενικότερα τα σάκχαρα μπορούν να ταξινομηθούν ευρύτερα σε μονοσακχαρίτες, δισακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες και πολυσακχαρίτες (Li et. al., 2021). Για τον ανθρώπινο οργανισμό είναι απαραίτητοι 8 μονοσακχαρίτες για την σύνθεση γλυκοσυζευγματικών συστατικών των κυτταρικών μεμβρανών (McMurry, 2017). Οι δισακχαρίτες αποτελούνται από δύο κυκλικούς μονοσακχαρίτες συνδεδεμένους μεταξύ τους με γλυκοζιτικούς δεσμούς. Οι πιο γνωστοί δισακχαρίτες είναι αυτοί που αποτελούνται από δύο μονοσακχαρίτες όπως η ζάχαρη ή η σακχαρόζη (Σπηλιόπουλος, 2015) Οι δισακχαρίτες εξάγονται κυρίως από τα φυτά, όπως το ζαχαροκάλαμο ή το ζαχαρότευτλο και μερικά από αυτά είναι η μαλτόζη, η τρεαλόζη και η κελλοβιόζη (Li1 et. al., 2020).

Αντιθέτως, οι ολιγοσακχαρίτες περιέχουν έως 10 μονοσακχαρίτες, ωστόσο υπάρχουν μελετητές που αναφέρουν πως θεωρούνται και αυτοί που αποτελούνται μέχρι και έως 20 μονομερή. Ακόμη, είναι αρκετά σημαντικοί για τα φυτά μιας και υπάρχουν φυσικά στους ιστούς τους σε μεγάλες ποσότητες. Σε γενικές γραμμές οι ολιγοσακχαρίτες είναι δύσπεπτοι εκτός από τους μαλτοολιγοσακχαρίτες και την τρεαλόζη και χρησιμεύουν ως πρεβιοτικά στην εντερική μικροχλωρίδα μιας και το ένζυμο για την διάσπασή τους απουσιάζει από το πεπτικό σύστημα (Osama O. Ibrahim 2018). Οι ολιγοσακχαρίτες που χρησιμεύουν ως πρεβιοτικά συνήθως περιλαμβάνουν περίπου 20 μονομερή (Li1 et. al., 2020). Η πρεβιοτική δράση συμβάλει στην απορρόφηση Ca, Mg και Fe αλλά και έναντι καρδιαγγειακών παθήσεων, καρκίνου, παχυσαρκίας και διαβήτη τύπου 2 (Catenza et. al., 2021). Πέρα από την πρεβιοτική

τους δράση οι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιούνται και στην βιομηχανία τροφίμων λόγω των ιδιοτήτων τους όπως ικανότητα σχηματισμού γέλης, συγκράτησης νερού, πήξης και μπορούν να βελτιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Ακόμη, έχουν χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατα λίπους, ζάχαρης αλλά και ως ενισχυτικοί και διογκωτικοί παράγοντες (Catenza et. al., 2021). Σε γενικές γραμμές οι ολιγοσακχαρίτες μπορεί να παραχθούν από φυτικά προϊόντα μέσω της σύνθεσης των μονο- και δι-σακχαριτών. Ένας άλλος τρόπος είναι η χρήση ορισμένων ενζύμων όπως οι β-γαλακτοσιδάσες οι οποίες παράγουν δι- και ολιγο-σακχαρίτες μέσω χρήσης της λακτόζης (Bujna et. al., 2021).

Οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες (*FOS*) υπάρχουν φυσικά στα φυτικά προϊόντα με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να βρίσκονται στην αγκινάρα Ιερουσαλήμ, το κιχώριο και το γιακόν. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα *FOS* για τον εμπλουτισμό τροφίμων είναι η 1-κεστόζη (*GF2*), η νυστόζη (*GF3*) και η φρουκτοφουρανοσυλνυστόζη (*GF4*). Αυτά τα *FOS* λόγω της υψηλής γλυκύτητας χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα ζάχαρης σε προϊόντα αρτοποιίας. Από την άλλη, οι γαλακτοολιγοσακχαρίτες (*GOS*) βρίσκονται και αυτά σε φυτικά προϊόντα. Παρόλα αυτά, για την βιομηχανική τους χρήση γίνεται η ανάκτησή τους από βιομηχανικά παραπροϊόντα, μέσω της ενζυματικής διαγαλακτοζυλίσωσης της λακτόζης από τη β-γαλακτοσιδάση. Ανάλογα με την πηγή της β-γαλακτοσιδάσης ο βαθμός δράσης του *GOS* μπορεί να ποικίλλει (K.F. Catenza et. al., 2021). Τέλος, οι ξυλοολιγοσακχαρίτες (*XOS*) προέρχονται από την υδρόλυση της ξυλάνης ενώ συνήθως χρησιμοποιούνται ως πηκτωματοποιητές, τροποποιητές ιξώδους και σταθεροποιητές αφρού στα τρόφιμα. Οι πηκτικοολιγοσακχαρίτες (*POS*) παράγονται από την πηκτίνη και έχουν πρεβιοτικές ιδιότητες με τις περισσότερες πηκτινάσες του εμπορίου να λαμβάνονται από τους μύκητες *Aspergillus spp*, οι οποίοι μπορούν να προσφέρουν διαφορετικές δομές *POS* (Catenza et. al., 2021; Liu et. al., 2021).

Οι πολυσακχαρίτες είναι υδατάνθρακες που μπορεί να περιέχουν από εκατοντάδες έως και χιλιάδες μόρια απλών σακχάρων (McMurry, 2017). Είναι χρήσιμα δομικά συστατικά τα οποία χρησιμεύουν για την κατασκευή των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών, μερικά από αυτά είναι η κυτταρίνη και η ξυλάνη (Seidi et. al., 2018). Για την άντλησή τους από τα προϊόντα θα πρέπει να αντιμετωπιστούν κάποιες προκλήσεις όπως για παράδειγμα «προϊόντα και υποπροϊόντα με παρόμοια χημική δομή και φυσικοχημικές ιδιότητες συνήθως αναμιγνύονται μεταξύ τους και είναι δύσκολο να

διαχωριστούν» ή «οι μονοσακχαρίτες είναι ασταθείς υπό τις συνθήκες υδρόλυσης και εκχύλισης βιομάζας, επειδή αφυδατώνονται εύκολα και μετατρέπονται περαιτέρω με αφυδάτωση σε μορφή χαμηλού μοριακού βάρους ενώσεις, όπως οξικό οξύ, μυρμηκικό οξύ και φουρφουράλη» (Li et. al., 2020).

3.2 Λιπαρά οξέα

Τα λιπαρά οξέα θεωρούνται δομικά στοιχεία των κυττάρων αλλά και προμηθευτές ενέργειας (de Carvalho et. al., 2018). Πρόκειται για οργανικά μόρια τα οποία περιέχουν τουλάχιστον μία ομάδα καρβοξυλίου και η ανθρακική τους αλυσίδα, ανάλογα με τον τύπο του λιπαρού οξέος, μπορεί να έχει μονούς (κορεσμένα) ή/και διπλούς δεσμούς (ακόρεστα) (Chen et. al., 2020). Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα έχουν χαμηλότερα σημεία τήξεως από τα κορεσμένα λόγω της παρουσίας των διπλών δεσμών μεταξύ των ανθράκων (McMurry, 2017). Τα περισσότερα λιπαρά οξέα που υπάρχουν στη φύση έχουν μη διακλαδισμένη αλυσίδα ζυγού αριθμού 4–28 ατόμων άνθρακα και ανάλογα με τον αριθμό των διπλών δεσμών χωρίζονται σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (SFA), μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA) και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) (Chen et. al., 2020). Ο άνθρωπος μπορεί να συνθέσει τα περισσότερα λιπίδια ενδογενώς *de novo*, ενώ αντιθέτως αυτά που δεν συνθέτει είναι κυρίως λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας (ω -3, ω -6 και ω -9). Τα ω -3 και ω -6 είναι πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) ενώ τα ω -9 είναι κυρίως μονοακόρεστα (Alhusseiny et. al., 2020).

Άλλη μια ταξινόμηση των λιπαρών οξέων μπορεί να γίνει με βάση το μέγεθος της αλυσίδας, με βάση της οποίας χωρίζονται σε βραχείας αλυσίδας (1-6 άνθρακες), μέσης αλυσίδας (12-14 άνθρακες), μακράς αλυσίδας (14-18 άνθρακες) και πολύ μακράς αλυσίδας (≥ 20 άνθρακες). Τα λιπαρά οξέα με 9 ή λιγότερους άνθρακες βρίσκονται σε υγρή κατάσταση σε θερμοκρασία δωματίου (Cholewski et. al., 2018). Τα μικροφύκη και βακτήρια παράγουν πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, άνω των 20 ατόμων άνθρακα, ενώ τα φυτά παράγουν PUFA μακράς αλυσίδας έως 18 άνθρακες. Έτσι, από την στιγμή που ο ανθρώπινος οργανισμός δεν έχει την δυνατότητα να τα συνθέσει θεωρείται απαραίτητη η πρόσληψη τους από τα τρόφιμα (de Carvalho et. al., 2018). Ακόμη, τα φυτά έχουν την ικανότητα της σύνθεσης του λινολεϊκού οξέως και α-λινολενικού οξέως τα οποία δεν μπορούν να παραχθούν από τα ζώα. Τα δύο αυτά λιπαρά οξέα μπορούν να μετατραπούν σε άλλα ω -6 και ω -3 PUFA. Η μετατροπή τους

στα ζώα γίνεται κυρίως στο ήπαρ. Τα ω-3 και ω-6 ανήκουν στην κατηγορία των *PUFA*, τα οποία μπορούν να είναι είτε φυτικής είτε ζωικής προέλευσης (Calder, 2017)

Τα λιπαρά οξέα ζωικής προέλευσης προέρχονται κυρίως από βοοειδή, πρόβατα, χοίρους και ιχθυέλαια από τα οποία μπορούμε να αντλήσουμε το μυριστικό, το παλμιτικό, το παλμιτολεϊκό, το στεατικό, το ελαϊκό, το εικοσενοϊκό, το αραχιδονικό, το εικοσαπεντανοϊκό (*EPA*), το εικοσινενοϊκό και το εικοσιδυοεξαενοϊκό (*DHA*) (Kenar et. al., 2017). Από την άλλη, σημαντικές ποσότητες *EPA* βρίσκονται κυρίως στην ρέγγα (15%), στην άγρια σαρδέλα (13,6%) και στο αυγοτάραχο (18,8%). Απεναντίας, το α-λινολενικό οξύ παράγεται κυρίως από τα φυτά λινάρι, ισπανική σάλβια και στο καψικόν, ενώ η περιεκτικότητά του στα ψάρια είναι χαμηλή (Cholewski et. al., 2018).

3.3 Αντιοξειδωτικά

Τα αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που βρίσκονται φυσικά στο σώμα μας αλλά και στα τρόφιμα, τα οποία βοηθούν στην καταστολή της δράσης των ελεύθερων ριζών. Η ανισορροπία μεταξύ της συγκέντρωσης αντιοξειδωτικών στο σώμα και δημιουργίας ελεύθερων ριζών προάγει το οξειδωτικό στρες (Comert et. al., 2020). Το οξειδωτικό στρες ορίζεται ως «διαταραχή της σηματοδότησης και του ελέγχου οξειδοαναγωγής ή/και της μοριακής βλάβης». Προκύπτει κυρίως λόγω της αύξησης των δραστικών μορφών οξυγόνου (*ROS*) με αποτέλεσμα να διαταράσσεται η ισορροπία με τα αντιοξειδωτικά και ως εκ τούτου να δημιουργούνται διάφορες αλλοιώσεις στα βιομόρια. Οι αλλοιώσεις φαίνεται να είναι υπεύθυνες για τις εμφάνιση διαφόρων ασθενειών όπως ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις, η αρθρίτιδα, ο διαβήτης, οι αυτοάνοσες διαταραχές, οι νευροεκφυλιστικές παθήσεις αλλά και βλάβες στο σχηματισμό νουκλεϊκών οξέων, πρωτεϊνών, λιπιδίων και μεταβολιτών (Comert et. al., 2020; Pisoschi et. al., 2020; Bu et. al., 2021). Μία ακόμα συνέπεια του οξειδωτικού στρες είναι και η υπεροξείδωση των λιπιδίων, η οποία επηρεάζει κυρίως όργανα πλούσια σε αυτά, όπως ο εγκέφαλος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η σηματοδότηση των νευροδιαβιβαστών και νευρωνικών λειτουργιών (Issac et. al., 2021).

Όπως αναφέρθηκε, τα αντιοξειδωτικά μπορεί να είναι είτε ενδογενή, δηλαδή να προδιαθέτονται μέσα στο σώμα όπως το υπεροξείδιο της δισμουτάσης (*SOD*), η καταλάση και η γλουταθειόνη, είτε εξωγενή δηλαδή να προσλαμβάνονται μέσω των τροφίμων. Μερικά παραδείγματα αντιοξειδωτικών των τροφίμων είναι διάφορες

βιταμίνες (C και E), τα καροτενοειδή, ενώσεις που περιέχουν θείο, λιγνάνες, στυλβένια, φαινολικά οξέα, φαινολικές αλκοόλες, φλαβονοειδή και πολύπλοκες πολυφαινόλες (Comert et. al., 2020). Τα εξωγενή αντιοξειδωτικά βρίσκονται κυρίως σε φυτικές τροφές όπως φρούτα, τα δημητριακά ολικής αλέσεως, το πράσινο και μαύρο τσάι, το κρασί, η μπύρα, ο καφές και τα μπαχαρικά. Ακόμη, έχει φανεί πως και η κατανάλωση πρωτεϊνών με βιοενεργά πεπτίδια μπορεί να προσφέρει παρόμοια δράση (Martinelli et. al., 2021; Pisoschi et. al., 2020).

Τα φλαβονοειδή περιέχονται κυρίως στα βρώσιμα φρούτα και λαχανικά, με τις υποκατηγορίες τους να περιλαμβάνουν τις φλαβονόλες (κρεμμύδια), τις φλαβανόνες (εσπεριδοειδή), τις κατεχίνες (τσάι και κόκκινο κρασί), τις φλαβόνες (κόκκινο πιπέρι και σέλινο), τις ανθοκυανιδίνες (δαμάσκηνα, μελιτζάνα και διάφορα μούρα) και τα ισοφλαβονοειδή (όσπρια, κυρίως στην σόγια). Στην περίπτωση των καροτενοειδών, εκτός του ότι είναι σημαντικά αντιοξειδωτικά, λειτουργούν επίσης και ως φυσικές χρωστικές ουσίες με πιο διαδεδομένα το β-καροτένιο, το λυκοπένιο, τη λουτεΐνη και τη ζεαξανθίνη. Από αυτά, το β-καροτένιο δρα ως προβιταμίνη Α και μπορεί να βρεθεί στα τρόφιμα όπως η ασερόλα, το μάνγκο, η κολοκύθα, το καρότο, οι ξηροί καρποί και το φοινικέλαιο. Το λυκοπένιο υπάρχει μόνο στα λαχανικά (κυρίως προϊόντα ντομάτας) και στους φυτικούς ιστούς. Τέλος, η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη βρίσκονται κυρίως στα λαχανικά όπως το μπρόκολο, το σπανάκι, ο αρακάς και το μαρούλι (Xu et. al., 2017).

Επιπρόσθετα, οι τοκοφερόλες περιέχονται στους ξηρούς καρπούς, φυτικά έλαια, βότανα, μπαχαρικά, σόγια, καλαμπόκι, καρθαμέλαιο, βαμβακέλαιο και τα δημητριακά ολικής αλέσεως. Τα τρόφιμα αυτά είναι κύριες πηγές της α-τοκοφερόλης η οποία σχετίζεται με την δραστηριότητα της βιταμίνης E. Ευρύτερα, μπορούν να χωριστούν περαιτέρω στις ομάδες των α-, β-, γ- ή δ- με την σειρά της αντιοξειδωτικής δράσης να είναι $\alpha > \beta > \gamma > \delta$. Ενδιαφέρον έχει πως σε δοκιμές *in vitro* οι σειρά είναι αντίστροφη (Cömert et. al., 2017; Chen et. al., 2018). Το ασκορβικό οξύ μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο ως αντιοξειδωτικό, παρόλα αυτά το ίδιο δεν ισχύει πάντα και για τα τρόφιμα. Πρόκειται για μια ασταθή βιταμίνη μιας και αποικοδομείται εύκολα, έτσι για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού γίνεται η χρήση τεχνικών ενθυλάκωσης. Βρίσκεται κυρίως σε φυτικές πηγές όπως πράσινα λαχανικά, φρούτα, εσπεριδοειδή, ντομάτες, μούρα, πατάτες και κόκκινη πιπεριά ενώ καταστρέφεται με την θερμική επεξεργασία των τροφίμων (Cömert et. al., 2017; Chen et. al., 2018).

Άλλα αντιοξειδωτικά συστατικά είναι η γλουταθειόνη, το λιποϊκό οξύ και τα φωσφολιπίδια τα οποία περιέχονται στα ζωικά προϊόντα όπως τα αυγά, τα κρέατα, τα ψάρια, το γάλα, τα θαλασσινά και στα φυτά όπως η σόγια, το φύτρο καλαμποκιού, η ελαιοκράμβη, το φιστίκι και το άμυλο σίτου. Ακόμη, κάποιοι πολυσακχαρίτες μπορεί επίσης να παρουσιάζουν αντιοξειδωτική δράση με τις φυσικές πηγές τους να είναι τα φυτά (δενδρόβιο, Κινεζική αγγελική, αστράγαλος ο μεμβρανώδης, βούπλευρο, τζιτζιφιά και η αλόη), τα θαλασσινά και οι μύκητες. Οι πολυσακχαρίτες που έχει παρατηρηθεί να έχουν υψηλή αντιοξειδωτική δράση είναι η πηκτίνη, η χιτίνη, η χιτοζάνη και το γκουάρ (Chen et. al., 2018).

Εκτός από τα φυσικά αντιοξειδωτικά, υπάρχουν και συνθετικά, τα οποία παράγονται εργαστηριακά, με χημικές μεθόδους (Issac et. al., 2021). Τα συνθετικά αντιοξειδωτικά, περιλαμβάνουν το βου-τυλιωμένο υδροξυτολουόλιο (BHT), τη βουτυλιωμένη υδροξυανισόλη (BHA), τη τριτ-βουτυλ-υδροκινόνη (TBHQ) και το αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ (EDTA). Η ανησυχία που υπάρχει για τα συνθετικά αντιοξειδωτικά είναι η πιθανή τοξική τους επίδραση στην υγεία του ανθρώπου (Nooshkam et. al., 2019; Chen et. al., 2018).

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η αντίδραση *Maillard* η οποία μπορεί να βελτιώσει την αντιοξειδωτική δράση των τροφίμων, ενώ παράλληλα μπορούν να παραχθούν κάποια αντιοξειδωτικά από την αντίδρασή της. Μπορεί η αντίδραση *Maillard* να προσφέρει κάποια αντιοξειδωτική δράση παρόλα αυτά δεν παύει να προκαλεί ορισμένες ανεπιθύμητες δράσεις στα τρόφιμα, όπως η απώλεια χρώματος, η απώλεια λυσίνης και η παραγωγή πυριδινών, φουρανίων και μεταλλαξιογόνων ενώσεων καθώς και τελικών προϊόντων προηγμένης γλυκοζυλίωσης (AGEs). Μόνο υπό συγκεκριμένες και υπό ελεγχόμενες συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η αντίδραση προς παραγωγή αντιοξειδωτικών (Nooshkam et. al., 2019).

3.4 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες είναι μακροθρεπτικά συστατικά τα οποία είναι βασικά στην διατροφή του ανθρώπου μιας και είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των κυττάρων, για τους μηχανισμούς επιδιόρθωσης, για τη λειτουργία και την μεταφορά συστατικών στο κυκλοφοριακό σύστημα ή και για τη μεταφορά χημικών μηνυμάτων για τον συντονισμό δραστηριοτήτων του σώματος. Οι πρωτεΐνες είναι πολυμερή αμινοξέων τα οποία

συνδέονται με πεπτιδικούς δεσμούς, ενώ πέρα από τα αμινοξέα μπορεί να περιέχουν και άλλα συστατικά όπως μεταλλικά ιόντα ή ορισμένα πολύπλοκα οργανικά μόρια (Schweigert-Weisz et. al., 2020; Gammon, 2014).

Οι πρωτεΐνες μπορεί να έχουν είτε σφαιρική είτε ινώδη μορφή. Στην περίπτωση της σφαιρικής μορφής, οι πρωτεΐνες είναι υδατοδιαλυτές και πιο ευκίνητες μέσα στα κύτταρα ενώ η ινώδης μορφή έχει μια σκληρή υφή και είναι αδιάλυτη στο νερό. Ακόμη, η δομή των πρωτεϊνών χωρίζεται σε πρωτοταγής, δευτεροταγής, τριτοταγής και τεταρτοταγής. Η δευτεροταγής δομή χωρίζεται σε α-έλικα και β-πτυχωτή δομή. Όλες οι δομές, σε ήπιες θερμοκρασίες, παραμένουν σταθερές εκτός από την τριτοταγή (σφαιρική) δομή, η οποία ξεδιπλώνεται σε μια τυχαία αναδιπλωμένη αλυσίδα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αναδιάταξη αυτή είναι μη αναστρέψιμη. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις όπου η πρωτεΐνη δύναται να ανακτήσει την αρχική της μορφή χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργικότητά της (Mucmurry, 2017).

Τα βιοενεργά πεπτίδια είναι μέρος της πρωτεΐνης και απελευθερώνονται με ενζυμική, χημική και μικροβιακή υδρόλυση. Τα πεπτίδια αυτά αποτελούνται συνήθως 2-20 κατάλοιπα αμινοξέων, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορεί να ξεπεράσουν και το όριο των 20 αμινοξέων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της υγείας και την πρόληψη διαφόρων ασθενειών, μιας και έχουν διάφορες δράσεις όπως ανοσοτροποποιητικές, αντιθρομβωτικές, αντιοξειδωτικές, αντικαρκινικές και αντιμικροβιακές (Karami et. al., 2019). Αυτά τα πεπτίδια μπορούν να απελευθερωθούν ενζυμικά κατά την επεξεργασία τροφίμων ή μέσω μικροβιακής διεργασίας (Forough Jahandideh et. al., 2022). Πέραν από τις δράσεις ως προς την υγεία, τα βιοενεργά πεπτίδια έχει παρατηρηθεί πως μπορούν να βελτιώσουν τις ιδιότητες των τροφίμων όπως την ικανότητα δέσμευσης νερού και λαδιού, τη γαλακτωματοποίηση του λαδιού, τη διατήρηση του αρώματος, τη διαλυτότητα και τις ιδιότητες πηκτωματοποίησης (Görgüs et. al., 2020).

Παράλληλα, η προσθήκη τους στα τρόφιμα προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα όπως συγκράτηση νερού, βελτίωση της υφής, ζελατινοποίησης και γαλακτωματοποίησης. Ακόμη, τα πεπτίδια έχουν και αντιοξειδωτικές ιδιότητες και συγκεκριμένα έχει παρατηρηθεί πως τα πεπτίδια με μοριακό βάρος 500–1500 Da έχουν ισχυρότερη αντιοξειδωτική δράση σε σχέση με τα πεπτίδια άνω των 1500 Da (Karami et. al., 2019). Παράλληλα, τα βιοενεργά πεπτίδια που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα

αποτελούνται κυρίως από ελεύθερα αμινοξέα και πεπτίδια βραχείας αλυσίδας. Τα πεπτίδια βραχείας αλυσίδας είναι πιο εύκολα απορροφήσιμα από τα κύτταρα ενώ τα δι- και τρι-πεπτίδια έχουν μεγαλύτερη βιοδιαθεσιμότητα (Görgüs et. al., 2020). Οι πηγές των βιοενεργών πεπτιδίων είναι τα κρέατα και τα φυτικά προϊόντα. Παρόλα αυτά, τα φυτικά προϊόντα χρησιμοποιούνται ευρύτερα σε σχέση με τα κρέατα για την παραγωγή πρωτεϊνών. Ενώ τα παραπροϊόντα φυτικής προέλευσης είναι μια καλή πηγή βιοενεργών πεπτιδίων τα οποία μπορούν να χωριστούν σε γεωργικά και σε βιομηχανικά (Görgüs et. al., 2020).

Τα βιοενεργά πεπτίδια έχουν βρεθεί σε διάφορα φρούτα και λαχανικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το μάνγκο το οποίο είναι ένα φρούτο με περιεκτικότητα πρωτεΐνης 0,36-0,4%, η οποία εντοπίζεται κυρίως στον πολτό, στην φλούδα και στους σπόρους. Ακόμη, τα δαμάσκηνα περιέχουν περίπου 1,16% πρωτεΐνη, η οποία βρίσκεται κυρίως στους σπόρους οι οποίοι είναι πλούσιοι σε βιοενεργά πεπτίδια. Ο καφές που είναι ένα ευρέως διαδεδομένο ρόφημα είναι πλούσιος σε πρωτεΐνη μιας και η *Robusta* περιέχει 12,6–16,3% w/w ενώ στον καφέ *Arabica* η περιεκτικότητα ανέρχεται στα 9,3-20,8% w/w. Επιπρόσθετα, το σπανάκι είναι πλούσιο σε λειτουργικά συστατικά όπως καροτενοειδή, φαινολικά, λιγνάνες και πρωτεΐνες. Η περιεκτικότητα πρωτεΐνης είναι περίπου στα 3γρ ανα 100γρ και τα πεπτίδιά της παρουσιάζουν βιοενεργή δράση. Η ντομάτα που καταναλώνεται ευρέως είναι πλούσια σε λειτουργικά συστατικά ενώ συγκεκριμένα οι σπόροι περιέχουν 20-30% πρωτεΐνη η οποία κατ'επέκταση περιέχει βιοενεργά πεπτίδια με αντιοξειδωτική δράση. Τέλος, η πατάτα περιέχει 3% πρωτεΐνες οι οποίες έχει παρατηρηθεί πως είναι υψηλής θρεπτικής αξίας (Sosalagere et. al., 2022).

Τα βιοενεργά πεπτίδια προσφέρουν οφέλη στην υγεία του ανθρώπου αλλά λόγω του ότι περιλαμβάνονται “εντός” της πρωτεΐνης είναι ανενεργά, ως εκ τούτου για την απομόνωσή τους γίνεται η χρήση διαφόρων ενζύμων. Έτσι, παρόλη τη χρησιμότητά τους, τα βιοενεργά πεπτίδια, έχουν κάποια μειονεκτήματα με το κυρίως πρόβλημα να είναι η αναποτελεσματικές τεχνικές καθαρισμού τους σε βιομηχανική κλίμακα. Άλλες δυσκολίες έπονται από την παραγωγή τους σε βιομηχανική κλίμακα μιας και το κόστος είναι υψηλό κυρίως στα στάδια διαχωρισμού και καθαρισμού τα οποία αντιπροσωπεύουν το 70% του κεφαλαίου (Sosalagere et. al., 2022).

3.5 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες είναι συστατικά απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό τα οποία παραλαμβάνονται μόνο από την διατροφή, καθώς ο οργανισμός δεν έχει τη δυνατότητα να τα συνθέσει. Οι βιταμίνες χωρίζονται σε λιποδιαλυτές (A, D, E, K) και υδατοδιαλυτές (B και C). Οι πρώτες εάν καταναλωθούν σε περίσσεια έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (εκτός της K) σε αντίθεση με τις υδατοδιαλυτές (Dal Bosco et. al., 2019). Συγκεκριμένα, οι βιταμίνες D (που θεωρείται ως ορμόνη) και C έχει παρατηρηθεί πως παίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου και στην περίπτωση της έλλειψής τους επηρεάζεται άμεσα το ανοσοποιητικό σύστημα αυξάνοντας τους κινδύνους ιογενής μόλυνσης (Ruiz-Valdepeñas Montiel et. al., 2021; Ahmad et. al., 2021).

Η σύνθεση της βιταμίνης D στον άνθρωπο, γίνεται στο δέρμα με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία *UV-B* είναι αυτή που βοηθά την σύνθεση της βιταμίνης D3 ενώ η απορρόφηση της (*UV-B*) εξαρτάται από την συγκέντρωση της μελανίνης. Οι κύριες πηγές της D3 είναι το συκώτι και τα νεφρά των ψαριών, τα λιπαρά ψάρια, οι κρόκοι αυγών, τα γαλακτοκομικά προϊόντα και το μωρουνέλαιο ενώ η βιταμίνη D2 βρίσκεται σε φυτικές πηγές, μύκητες και στη μαγιά (de la Guía-Galipienso et. al., 2021; Ahmad et. al., 2021). Η σύνθεσή της γίνεται από το *7-DHC* σε συνδυασμό με στάδιο υδροξυλίωσης ενώ αργότερα με την βοήθεια πρωτεϊνών μεταφέρεται στο ήπαρ και μεταβολίζεται σε 25-υδροξυ *vitD* (Ahmad et. al., 2021).

Από την άλλη η βιταμίνη C, γνωστή και ως ασκορβικό οξύ, δεν μπορεί να παραχθεί από τον οργανισμό λόγω τη έλλειψης του τελικού ενζύμου στη βιοσυνθετική οδό, την οξειδάση του γουλονο-λακτόνης (Levine et. al., 2020). Επομένως, η κατανάλωσή της από διάφορα φρούτα και λαχανικά, τα οποία είναι πλούσια σε αυτήν, όπως τα εσπεριδοειδή, οι πράσινες πιπεριές, οι φράουλες, το μπρόκολο, τα πράσινα φύλλα και οι πατάτες θεωρείται σημαντική (Kashiouris et. al., 2020). Η εντερική απορρόφηση του ασκορβικού οξέος από τον οργανισμό γίνεται με την βοήθεια δύο πρωτεϊνών, *SVCT1* και *SVCT2*, οι οποίες βοηθούν την βιταμίνη να εισέλθει ή να εξέλθει από τα κύτταρα (Moritz et. al., 2020; Levine et. al., 2020). Η πρωτεΐνη *SVCT2* εκφράζεται από, σχεδόν, όλους τους ιστούς του σώματος, ενώ η *SVCT1* εκφράζεται αποκλειστικά από τα επιθηλιακά κύτταρα του εντέρου, τα εγγύτερα σπειροειδή νεφρικά σωληνάρια και το ήπαρ (Kashiouris et. al., 2020). Ακόμη, έχει παρατηρηθεί, μέσα από μελέτες σε ζώα,

πως η βιταμίνη C αποθηκεύεται κυρίως στον εγκέφαλο, τα επινεφρίδια, το ήπαρ και τους πνεύμονες ενώ στους ανθρώπους, οι σκελετικοί μύες περιέχουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση (Cerullo et. al., 2020).

Οι κοβαλμίνες (βιταμίνες συμπλέγματος B), περιέχουν κοβάλτιο στο κέντρο ενός δακτυλίου κορίν και συνθέτονται από ορισμένα βακτήρια και αρχαία (Li et. al., 2020). Η βιταμίνη B12 είναι μια σημαντική βιταμίνη μιας και χρησιμοποιείται από την εντερική μικροχλωρίδα μέσω διάσπασης λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (SCFA), χρησιμεύει στην σύνθεση νουκλεοτιδίων, στη ρύθμιση των αμινοξέων διακλαδισμένης αλυσίδας (BCAA) και στην κυτταρική ανάπτυξη (Roth et. al., 2021). Για την απορρόφησή της από τον οργανισμό γίνεται η σύνδεσή της από τον ενδογενή παράγοντα (IF), όπου μεταφέρεται στον ειλεό, ο οποίος και προσλαμβάνεται από τον υποδοχέα *cubam*. Η απορρόφηση γίνεται τελικά στον ειλεό όπου από εκεί μέσω του αίματος μεταφέρεται στο ήπαρ και τελικά σε όλους τους ιστούς (Li et. al., 2020; Stabler, 2020; Zik, 2019). Ο ενδογενής παράγοντας παίζει καθοριστικό ρόλο για την απορρόφηση της βιταμίνης B12. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε σε άτομα με έλλειψη του IF πως με την κατανάλωση υψηλών δώσεων B12 (2 mg/ημέρα) επιτεύχθηκε να απορροφηθεί περίπου το 1% (Li et. al., 2020).

Ενδιαφέρον έχει ακόμη και η βιταμίνη K, η οποία είναι απαραίτητη για την πήξη του αίματος ενώ συνάμα επηρεάζει και την υγεία των οστών. Η βιταμίνη K μπορεί να παραχθεί μέσω της βιοσύνθεσης της μικροχλωρίδας του εντέρου ενώ η πρόληψή της μπορεί να γίνει από πράσινα φυλλώδη λαχανικά και ορισμένα φυτικά έλαια. Επιπρόσθετα, η βιταμίνη A, η οποία βρίσκεται κυρίως στα κρέατα και τα ψάρια, αλλά και τα καροτενοειδή που θεωρούνται ως προβιταμίνη A, βρίσκονται στα φρούτα και λαχανικά. Η απορρόφηση της βιταμίνης αυτής κυμαίνεται από 70% έως 90% και λαμβάνει χώρα στον εντερικό βλεννογόνο (Pham et. al., 2021).

3.6 Προβιοτικά

Ο πιο πρόσφατος ορισμός για τα προβιοτικά, το 2014, είναι: «ζωντανοί μικροοργανισμοί που, όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες, προσφέρουν οφέλη στην υγεία στον ξενιστή» (Vittheejongjaroen et. al., 2021). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η μικροχλωρίδα του εντέρου παίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία του ατόμου. Έτσι, η κατανάλωση των προβιοτικών επηρεάζει άμεσα την μικροχλωρίδα,

αυξάνοντας την ποικιλία σε ωφέλιμους μικροοργανισμούς (Eastwood et. al., 2021). Με τη προσθήκη των προβιοτικών στην χλωρίδα του εντέρου ξεκινά η παραγωγή κυτταροτοξινών τα οποία επιδρούν στους τριγύρω μικροοργανισμούς. Η προσκόλλησή τους γίνεται σε συγκεκριμένες θέσεις υποδοχέων. Έπειτα, παράγουν αντιμικροβιακές ενώσεις ικανές να υδρολύουν βακτηριακές τοξίνες, να τροποποιούν τους υποδοχείς τοξινών και να αναστέλλουν την ασθένεια που προκαλείται από τοξίνες. Ο μηχανισμός αυτός είναι ένας ανταγωνιστικός μηχανισμός, ενώ συνάμα τα συστατικά αυτά υποστηρίζουν άμεσα την ευημερία των κυττάρων του ανθρώπινου οργανισμού (Trukhachev et. al., 2021).

Τα γένη που χρησιμοποιούνται περισσότερο ως προβιοτικά είναι του *Bifidobacterium* και του *Lactobacillus*. Πέρα από αυτά τα χρησιμοποιούνται και τα γένη του *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Bacillus*, *Escherichia* και μερικών μη βακτηριακών ζυμομυκήτων όπως ο *Saccharomyces* (Depoorter et. al., 2021). Τα προβιοτικά αυτά βρίσκονται και στο γαστρεντερικό σωλήνα ως μέρος της φυσιολογικής μικροχλωρίδας και είναι υπεύθυνα για την παραγωγή ωφέλιμων συστατικών τα οποία, ανάλογα με τον μικροοργανισμό, μπορούν να έχουν αντιοξειδωτική δράση, να μειώσουν τη συσσώρευση ελεύθερων ριζών, να παράγουν διάφορες βιταμίνες (B1, B2, B6 και K) αλλά και διάφορα βιοενεργά μόρια όπως φολικό οξύ, η νιασίνη και η πυριδοξίνη (Vitheejongjaroen et. al., 2021; Sharma et. al., 2021).

Η διαταραχή της φυσιολογικής μικροχλωρίδας μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Οπότε η αναδιαμόρφωσή του μέσω της κατανάλωσης θα μπορούσε να προάγει την υγεία του ατόμου μέσω της καταστολής των παθογόνων μικροοργανισμών στο γαστρεντερικό σωλήνα (παραγωγή οργανικών οξέων), έλεγχο της χοληστερόλης, τόνωση του ανοσοποιητικού συστήματος, να προσφέρει καλύτερη πέψη της λακτόζης αλλά και να μειώσουν την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου του εντέρου (Rossoni et. al., 2020).

Η κατανάλωση ορισμένων προβιοτικών μέσω στοματικής κοιλότητας είναι ένα σοβαρό ζήτημα από την στιγμή που χάνεται η βιωσιμότητά τους, λόγω της έκθεσής τους στις δυσμενείς συνθήκες του στομάχου. Η μείωση της βιωσιμότητας οφείλεται κυρίως στην υψηλή οξύτητα του στομαχίου (pH 2.5), στα χολικά άλατα στο δωδεκαδάκτυλο και στην ενζυμική δραστηριότητα του ανώτατου γαστρεντερικού συστήματος. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος γίνεται η ενθυλάκωσή τους μέσω

της τεχνικής της μικροενθυλάκωσης, η οποία αναλύεται στο κεφάλαιο 5 (Sharma et. al., 2021; Deka et. al., 2021). Τα προβιοτικά βρίσκονται φυσικά, σε διάφορα γαλακτοκομικά τρόφιμα όπως το γιαούρτι, το τυρί, το παγωτό και το κεφίρ. Στα τρόφιμα αυτά βρίσκονται κυρίως τα γένη *Bifidobacterium* και *Lactobacillus* (Σαζάμη Γ., 2016).

3.7 Πρεβιοτικά

Ο όρος των πρεβιοτικών πρωτοεμφανίστηκε το 1995 από τους Gibson και Roberfroid και ο ορισμός που τους δόθηκε ήταν: «μη εύπεπτα συστατικά τροφίμων που επηρεάζουν ευεργετικά τον ξενιστή διεγείροντας επιλεκτικά την ανάπτυξη ή τη δραστηριότητα περιορισμένου αριθμού βακτηρίων στο κόλον, βελτιώνοντας την υγεία του ξενιστή» (Peredo-Lovillo, et. al., 2020). Ο πιο πρόσφατος ορισμός που δόθηκε σε αυτά, το 2017 είναι: «Το πρεβιοτικό είναι ένα υπόστρωμα που χρησιμοποιείται επιλεκτικά από μικροοργανισμούς-ξενιστές και προσδίδει οφέλη στην υγεία». Η έννοια αυτή καλύπτει τα πρεβιοτικά τα οποία μπορούν να επηρεάσουν βακτήρια τα οποία προσφέρουν οφέλη στην υγεία σε ολόκληρο το γαστρεντερικό σωλήνα, που περιλαμβάνει από τη στοματική κοιλότητα μέχρι το ορθό, το ουρογεννητικό σύστημα, το δέρμα και όχι μόνο το κατώτερο έντερο (Rosa et. al., 2021).

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πρεβιοτικά είναι κατά βάση υδατάνθρακες, ενώ προσφάτως έχουν προταθεί ως πιθανά πρεβιοτικά και άλλα συστατικά όπως: φαινολικές ενώσεις, καροτενοειδή, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) όπως ω-3 και ω-6 και βιταμίνες (βιταμίνη Κ και μερικές βιταμίνες Β) (Rosa et. al., 2021). Οι σημαντικότεροι μη εύπεπτοι υδατάνθρακες με πρεβιοτικές ιδιότητες είναι διάφοροι πολυσακχαρίτες (ανθεκτικό άμυλο, πηκτίνη και δεξτρίνη) και ολιγοσακχαρίτες όπως φρουκτοολιγοσακχαρίτες (FOS), γαλακτοολιγοσακχαρίτες (GOS), ξυλοολιγοσακχαρίτες (XOS), ισομαλτοολιγοσακχαρίτες (Manoligosoligos), οι αραβινοξυλαν-ολιγοσακχαρίτες (AXOS), η λακτουλόζη, η ινουλίνη και άλλοι (Farias et. al., 2019).

Η ταξινόμηση των πρεβιοτικών μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις κύριες ομάδες: α) τις πολυόλες (λακτουλόζη, ξυλιτόλη, μαννιτόλη, λακτιόλη), β) ολιγοσακχαρίτες (FOS, GOS, XOS, IMO, RFOS, ισομαλτουλόζη, ινουλίνη), γ) διαιτητικές ίνες (κυτταρίνη, δεξτρίνες, πηκτίνες, β-γλυκάνες) (Farias et. al., 2019). Ενώ ένας άλλος τρόπος

ταξινόμησής τους μπορεί να γίνει με βάση τον αριθμό των μονομερών που αποτελούνται (π.χ. δισακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες και πολυσακχαρίτες) (Kumari et. al., 2020).

Συγκεκριμένα, η ινουλίνη και οι FOS χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα συστατικά και βρίσκονται σε πολλά λαχανικά όπως το κρεμμύδι, το σκόρδο, το πράσο και τα σπαράγγια. Οι φρουκτάνες (τύπος ινουλίνης) είναι από τα υποστρώματα τα οποία έχουν σημαντική επίδραση στο εντερικό μικροβίωμα, ιδίως στο γένος *Bifidobacterium* το οποίο είναι από τα πιο σημαντικά προβιοτικά (Gyawali et. al., 2019). Μία από τις ωφέλιμες ιδιότητες των πρεβιοτικών είναι πως οι ενώσεις αυτές χρησιμοποιούνται από το μικροβίωμα του εντέρου για την παραγωγή λιπαρών οξέων μικρής αλυσίδας (SCFA). Η παραγωγή τους ευνοεί την φυσιολογική λειτουργία του εντέρου αλλά και σχετίζεται με την βελτίωση της απορρόφησης μετάλλων, τη ρύθμιση του μεταβολισμού των λιπιδίων και της γλυκόζης καθώς και με τη μείωση του κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου του παχέος εντέρου (Farias et. al., 2019).

Η επιλογή των κατάλληλων πρεβιοτικών εξαρτάται από το εντερικό μικροβίωμα του ατόμου, ιδίως από την στιγμή που επηρεάζει την υγεία του άμεσα. Το μικροβίωμα είναι ξεχωριστό για το κάθε άτομο και διαμορφώνεται από την γέννηση του ατόμου, ενώ με τα χρόνια αλλάζει η χλωρίδα του, διατηρώντας, όμως, την λειτουργικότητά της (Neri-Numa et. al., 2020).

Η διαταραχή της σύνθεσής της μπορεί να προκαλέσει διάφορων ειδών προβλήματα υγείας όπως η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου (*IBD*), η ελκώδης κολίτιδα (*UC*) και η νόσος του *Crohn* (*CD*). Διατάραξη του μικροβιώματος σχετίζεται επίσης με την παχυσαρκία, τον διαβήτη και τον καρκίνο του παχέος εντέρου (Khalil et. al., 2021). Ωστόσο, για να έχουν τα πρεβιοτικά την επιθυμητή επίδραση στον οργανισμό, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, πέρα από το μικροβίωμα, η κατάσταση υγείας του ατόμου (δηλαδή αν έχει άλλες παθήσεις), την ηλικία, το φύλο και το pH του περιβάλλοντος του εντέρου (Rosa et. al., 2021; Kumari et. al., 2020).

Κεφάλαιο 4 Παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων

4.1 Γενικά

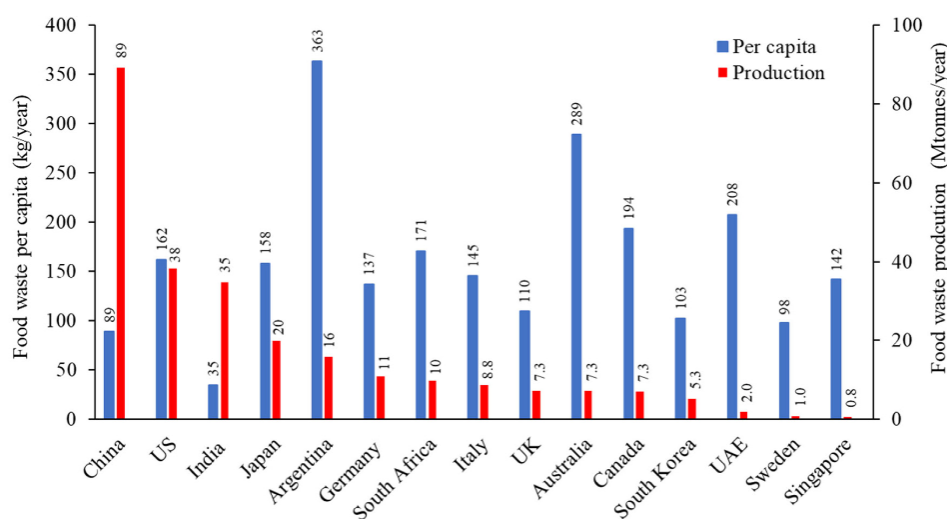
Η κατανάλωση της τροφής έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν αυτή την αύξηση είναι πολύπλοκοι μιας και επηρεάζονται από το εισόδημα των καταναλωτών, τις προτιμήσεις τους, τις τιμές των προϊόντων, τα ήθη και τα έθιμα της περιοχής τους, από κοινωνικούς αλλά και οικονομικούς παράγοντες. Η κατανάλωση της τροφής προσμετράται σε χιλιοθερμίδες (*kcal*) ανά κάτοικο ανά ημέρα ώστε να αξιολογηθεί η εξέλιξη της παγκόσμιας κατάστασης τροφίμων. Η ανάλυση των δεδομένων της FAOSTAT δείχνει πως υπάρχει σταθερή αύξηση της κατανάλωσης θερμίδας ανά άτομο παγκοσμίως. Συγκεκριμένα, από το 1960 έως τα τέλη του 1990 υπήρξε αύξηση θερμίδας ανά κάτοικο περίπου στα 450 *kcal*, ενώ στις πιο αναπτυσσόμενες χώρες η αύξηση καταμετρείται στα 600 *kcal* (Vasileska et al., 2012).

Έτσι, με την αυξημένη ζήτηση της τροφής, οι διαδικασίες παραγωγής, αποθήκευσης αλλά και της κατανάλωσης των τροφίμων έχουν δείξει μία ανοδική πορεία. Ένα αρνητικό αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η υψηλή σπατάλη τροφίμων όπου εκτιμάται πως περίπου το ένα τρίτο της παραγωγής χάνεται, το οποίο αντιστοιχεί σε 1.3 δισεκατομμύρια τόνους τροφίμων ετησίως (Schanes et al., 2018).

Παρόλα αυτά έγινε προσφάτως αντιληπτή η επίπτωση που έχουν τα απόβλητα τροφίμων στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία. Στα απόβλητα αυτά περιλαμβάνονται και ρύποι όπως φαρμακευτικά προϊόντα, φυτοφάρμακα και βαρέα μέταλλα. Υπολογίζεται επίσης πως η σπατάλη των τροφίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2012 ήταν στα 47 εκατομμύρια κιλά αποβλήτων οικιακής τροφής (Voběrková et al., 2020). Η σπατάλη αυτή έγκειται σε παραπροϊόντα που σχηματίζονται από την διαδικασία συγκομιδής, παραγωγής έως την κατανάλωση. Ακόμη, το πρόβλημα αυτό εντείνεται από τις καιρικές συνθήκες, τα παράσιτα και τις κακές πρακτικές προετοιμασίας του τροφίμου (Gibson, 2020).

Στις ΗΠΑ, οι βιομηχανικές χώρες έχουν οικονομική σπατάλη ύψους 680 δισεκατομμύρια δολάρια ενώ στις πιο αναπτυσσόμενες χώρες ανέρχεται στα 310 δισεκατομμύρια δολάρια. Τα έξοδα αυτά προέρχονται κυρίως από την σπατάλη της τροφής από τις βιομηχανίες λιανικής, την εστίαση, τα νοικοκυριά και τις βιομηχανίες μεταποίησης (Morone et al., 2019).

Όσον αφορά την Ευρώπη, η εστίαση θεωρείται ως ο τρίτος μεγαλύτερος παραγωγός αποβλήτων τροφίμων αμέσως μετά τα νοικοκυριά και τη γεωργία/βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων. Στο Ηνωμένο Βασίλειο γίνεται σπατάλη περίπου 0,9 εκατομμύριων τόνων απορριμμάτων τροφίμων ετησίως με το 70% να γίνεται στα εστιατόρια. Υποστηρίζεται πως η σπατάλη της τροφής είναι στα 1.3 δισεκατομμύρια γεύματα που πετιούνται ετησίως το οποίο κοστίζει στους πολίτες εστιατορές τουλάχιστον 0.7 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως. Τέλος, στην Ολλανδία, οι δαπάνες εκτός σπιτιού ανέρχονται στο 37.7% του συνόλου (Filimonau et al., 2020). Στο Γράφημα 1 φαίνεται η ετήσια σπατάλη τροφίμων σε ορισμένες χώρες.



Γράφημα 1: Ετήσια σπατάλη τροφίμων σε επιλεγμένες χώρες. (Pour & Makawi, 2021).

Φυσικά, εγείρονται πολλά ερωτήματα κοινωνικού περιεχομένου, από το γεγονός πως το 10.7% του πληθυσμού (815 εκατομμύρια) είναι υποσιτισμένο, με τα 9 εκατομμύρια από αυτά να πεθαίνουν είτε λόγω της πείνας είτε λόγω ασθενειών σχετιζόμενες με αυτήν. Ενώ από την άλλη, υπάρχει το θέμα της παχυσαρκίας το οποίο είναι αυξανόμενο γεγονός στις μέρες και επηρεάζει περίπου 1.9 δισεκατομμύρια ανθρώπους (Gibson, 2020).

Τα εν λόγω απορρίμματα τροφίμων έχουν συνήθως μεγάλο όγκο και βρίσκονται είτε σε στερεή είτε σε υγρή μορφή. Οπότε, για τον διαχωρισμό των λειτουργικών συστατικών τους θα χρειαστεί να εφαρμοστεί μια φυσική, μηχανική ή και χημική

προεπεξεργασία για την ανάκτησή τους. Ένα παράδειγμα είναι ο καφές, με την παραγωγή του καφέ να αγγίζει τους 9 εκατομμύρια τόνους αφήνοντας ως κατάλοιπα το 65% του βάρους το οποίο περιέχει αρκετά θρεπτικά συστατικά. Υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής φαινολικών συστατικών με τις τεχνικές αυτοϋδρόλυσης, υπερηχητικής επεξεργασίας, με φούρνο μικροκυμάτων και με την εκχύλιση στερεού υγρού (Κεφάλαιο 4.2) (Morone et al., 2019).

Ακόμη, ένα παράδειγμα είναι τα υπολείμματα από ζωοτροφές με συμπυκνωμένη πρωτεΐνη, που από επεξεργασία 153,4 κιλών απορριμμάτων τροφής δύναται να ανακτηθεί 1 κιλό πρωτεΐνης (Albizzati et al., 2021). Φυσικά, οι μέθοδοι απομόνωσης των επιθυμητών λειτουργικών συστατικών διαφέρουν ανάλογα με το συστατικό αλλά και με το είδος του τροφίμου. Οπότε ήταν αναγκαία η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών με στόχο την ανάκτηση των συστατικών με ευεργετική δράση.

4.2 Τεχνικές εκχύλισης

Οι τεχνικές με τις οποίες πραγματοποιείται η ανάκτηση των λειτουργικών συστατικών από τρόφιμα ή από παραπροϊόντα αυτών, χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τις συμβατικές και τις σύγχρονες τεχνικές. Αν και διαφοροποιούνται, ακολουθούν παρόμοια βασικά βήματα τα οποία είναι: i) μακροσκοπική προεπεξεργασία μήτρας ii) διαχωρισμός μορίων iii) εκχύλιση μορίων iv) καθαρισμός και v) σχηματισμός προϊόντος. Οι συμβατικές τεχνικές χρησιμοποιούν οργανικούς διαλύτες, θερμοκρασία και ανάδευση για την ανάκτηση των επιθυμητών συστατικών. Μερικές από τις τεχνικές αυτές είναι η εκχύλιση *Soxhlet*, η διαβροχή και η υδροαπόσταξη (Soquetta et. al., 2018; Barba et. al., 2016).

Παρόλη τη χρησιμότητά τους για δεκαετίες, οι τεχνικές αυτές έχουν κάποια μειονεκτήματα όπως η χρήση επικίνδυνων διαλυτών, η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, η χρήση υψηλής ποσότητας διαλυτών, οι υψηλές θερμοκρασίες και το ότι είναι χρονοβόρες. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη ανάπτυξης καινοτόμων μεθόδων οι οποίες θα είναι πιο ασφαλείς, φιλικές προς το περιβάλλον, οικονομικές αλλά και πιο αποτελεσματικές (da Silva et. al., 2016; Wen. al., 2018).

Η εμφάνιση της πράσινης χημείας το 1990, οδήγησε στη σταδιακή ανάπτυξη τέτοιων καινοτόμων μεθόδων, στοχεύοντας στην επιτάχυνση της ανάκτησης συστατικών, την εξοικονόμηση της ενέργειας και τη μείωση των σταδίων επεξεργασίας

(Khaw et. al., 2017; Soquetta et. al., 2018). Οι σημαντικότερες από αυτές τις τεχνικές είναι η εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (*SFE*), εκχύλιση με χρήση υποκρίσιμου νερού (*SWE*), εκχύλιση υποθετούμενη από μικροκύματα (*MAE*), εκχύλιση με τη χρήση ενζύμων (*EAE*), εκχύλιση με πεπιεσμένο υγρό (*PLE*), εκχύλιση με βοήθεια παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (*PEF*) και η εκχύλιση υποβοηθούμενη από υπερήχους (*UAE*).

4.2.1 Εκχύλιση με υπερκρίσιμα ρευστά (*SFE*)

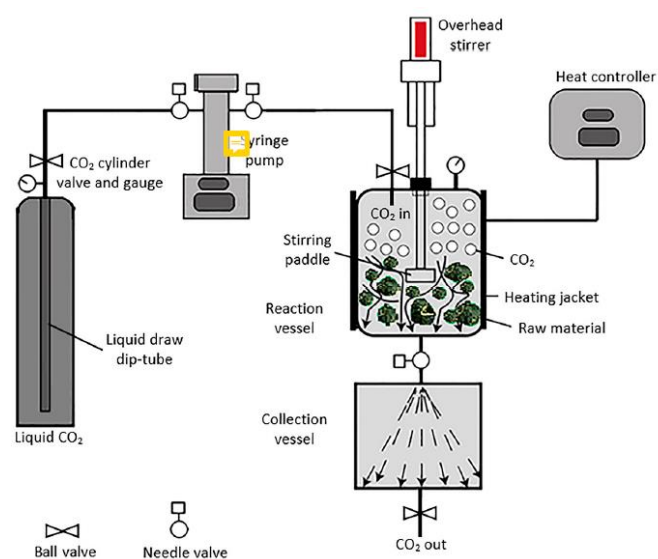
Η εκχύλιση με χρήση υπερκρίσιμου ρευστού βασίζεται στις διάφορες ιδιότητες του ρευστού όπως η πυκνότητα, η διηλεκτρική σταθερά και το ιξώδες. Ακόμη, γίνεται τροποποίηση του υγρού, στις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας για να φτάσει στο σημείο ενός υπερκρίσιμου ρευστού. Οι παράγοντες αυτοί έχουν βασικό ρόλο την διαδικασία της εκχύλισης μιας και έχουν τη δυνατότητα να τροποποιήσουν τον διαλύτη. Η τεχνική αυτή πλεονεκτεί έναντι των συμβατικών τεχνικών όσον αφορά τον χρόνο εκχύλισης και θεωρείται ως περιβαλλοντικά ασφαλής λόγω της χρήσης μη τοξικών διαλυτών (Chávez et. al., 2013).

Στην περίπτωση που αυξηθεί η θερμοκρασία τότε αυξάνεται η ενέργεια σε ένα καθορισμένο σύστημα τοίχου (*fixed wall system*), αυξάνοντας την διάχυση αλλά μειώνοντας έτσι την πίεση και κατά συνέπεια την ισχύ του διαλύτη. Από την άλλη, στην μειωμένη θερμοκρασία αυξάνεται η πυκνότητα και μειώνεται η τάση των ατμών της διαλυμένης ουσίας. Στην περίπτωση της χαμηλής θερμοκρασίας είναι ευνοϊκότερη η ανάκτηση των θερμοευαίσθητων συστατικών ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνονται υψηλότερες αποδόσεις στην διαδικασία της εκχύλισης (Khaw et. al., 2017).

Ως υπερκρίσιμο θεωρείται το ρευστό το οποίο σχηματίζει μια ομοιογενή φάση με ιδιότητες υγρού και αερίου. Στην φάση αυτή, το υγρό βρίσκεται σε ένα σημείο στο οποίο η θερμοκρασία και η πίεση του είναι πάνω από το κρίσιμο σημείο του. Μπορεί να παρομοιαστεί ως ένα συμπιεσμένο υγρό ή ένα πυκνό αέριο, αλλά δεν ακολουθεί τους νόμους του ιδανικού αερίου (Khaw et. al., 2017). Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος διαλύτης είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Το CO_2 είναι αβλαβές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, είναι φθινό και η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι 31,2 °C. Η χαμηλή κρίσιμη θερμοκρασία του τον καθιστά ιδανικό διαλύτη για την εκχύλιση θερμοευαίσθητων συστατικών (da Silva et. al., 2016).

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα μη πολικό μόριο και χρησιμοποιείται για την εκχύλιση μη πολικών ενώσεων αλλά και ορισμένων πτητικών, πολικών ενώσεων με χαμηλό μοριακό βάρος. Για την εκχύλιση πολικών μορίων (π.χ. φυτοχημικών από το κυτταρικό τοίχωμα) απαιτείται η ανάμιξη του με οργανικούς συνδιαλύτες όπως η αιθανόλη, η μεθανόλη ή η ακετόνη (Khaw et. al., 2017). Με την διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η αύξηση ισχύος του διαλύτη (CO_2) επιτρέποντας έτσι την εκχύλιση των πολυφαινόλων (Barba et. al., 2016). Ένας εναλλακτικός διαλύτης έναντι του CO_2 είναι το προπάνιο. Το προπάνιο, συγκριτικά με το CO_2 είναι πιο αποτελεσματικό όσον αφορά τον χρόνο εκχύλισης, έχει χαμηλότερη κατανάλωση διαλύτη, καλύτερη επιλεκτικότητα και υψηλότερες αποδόσεις (Soquetta et. al., 2018).

Αξιοσημείωτο είναι πως υπάρχουν διάφοροι τύποι διεργασιών για την εξαγωγή των συστατικών όπως την διαδικασία παρτίδας (*batch*), συνεχούς ή ημισυνεχούς ροής. Στην πρώτη διαδικασία η ποσότητα του διαλύτη με την διαλυμένη ουσία σταθεροποιούνται σε ένα δοχείο εκχύλισης. Έπειτα από επεξεργασία γίνεται αποσιμπίηση του δοχείου χωρίς περαιτέρω έκθεση σε νέο διαλύτη. Αντίθετα στην διαδικασία συνεχούς ροής ο υπερκρίσιμος διαλύτης δεν είναι σταθερός και στο δοχείο στο οποίο περιέχεται η διαλυμένη ουσία τροφοδοτείται συνεχώς με φρέσκο δαλύτη. Τέλος, η ημισυνεχής διεργασία είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων (Khaw et. al., 2017). Στην εικόνα 1 απεικονίζεται η διαδικασία της τεχνικής *SFE* και τα μηχανικά της μέρη.

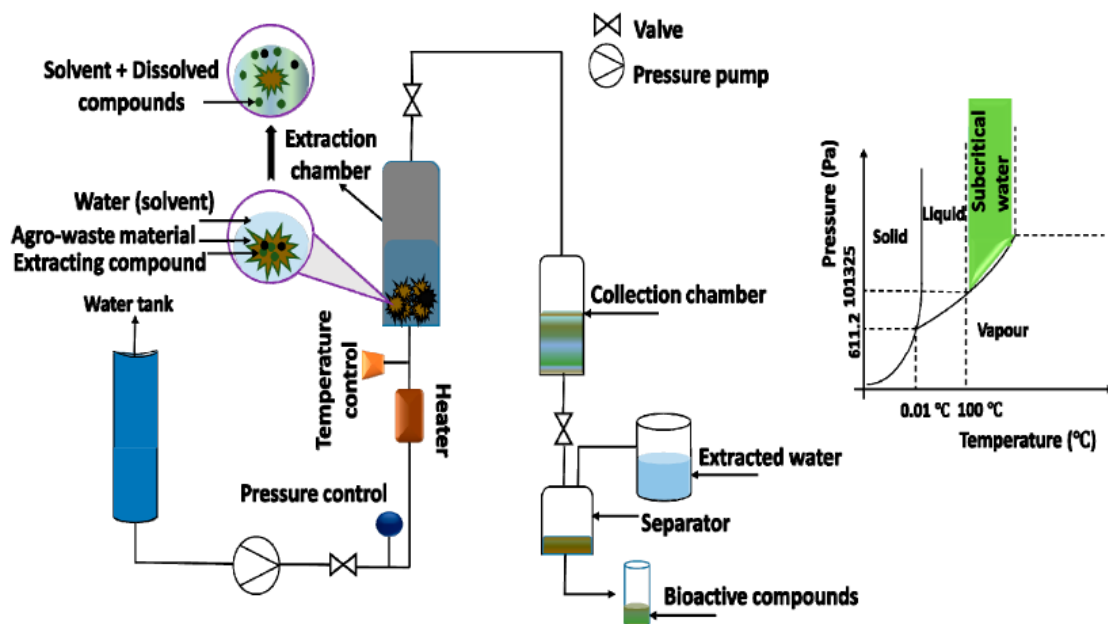


Εικόνα 1:Βασικά μέρη της SFE και διαδικασία εκχύλισης(Kooi-Yeong Khaw et. al., 2017)

4.2.2 Εκχύλιση με χρήση υποκρίσιμου νερού (SWE)

Μια άλλη εναλλακτική τεχνική είναι η εκχύλιση με χρήση υποκρίσιμου νερού, η οποία είναι γνωστή και ως εκχύλιση με θερμό νερό υπό πίεση. Η θερμοκρασία του νερού που κυμαίνεται από 100 έως 374°C, όπου η τελευταία είναι και η κρίσιμη θερμοκρασία του. Η πίεση που εφαρμόζεται είναι συνήθως μεταξύ 10 με 150 *bar* ώστε να νερό να παραμένει σε υγρή κατάσταση (Chávez et. al., 2012). Γενικά το νερό είναι ένας πολύ πολικός διαλύτης σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση, και εξαιτίας των εκτεταμένων δεσμών υδρογόνων στη δομή του, έχει και υψηλή διηλεκτρική σταθερά (ϵ). Ωστόσο, με την αύξηση της θερμοκρασίας, η διηλεκτρική σταθερά, το ιξώδες και η επιφανειακή του τάση μειώνονται σταθερά, ενώ παράλληλα βελτιώνονται σημαντικά τα χαρακτηριστικά διάχυσής του. Για παράδειγμα, η διηλεκτρική σταθερά σε θερμοκρασίες δωματίου είναι 80 ενώ εάν αυξηθεί η θερμοκρασία στους 250°C τότε αυτή πέφτει στους 30. Η ιδιότητα αυτή του νερού, στις συνθήκες αυτές, μπορεί να παρομοιαστεί με τα χαρακτηριστικά ορισμένων οργανικών διαλυτών, όπως η αιθανόλη ή η μεθανόλη. Επιπλέον, η πολικότητα του υποκρίσιμου νερού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί ο διαχωρισμός πολικών, μέτριας πολικότητας, χαμηλής πολικότητας ή ακόμα και άπολων συστατικών (Chávez et. al., 2012; Pattnaik et. al., 2021).

Η συμπεριφορά του νερού διαφέρει από τους άλλους διαλύτες. Οι ιδιαίτερες ιδιότητές του οφείλονται κυρίως στους δυο ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου που το αποτελούν. Σε υψηλές θερμοκρασίες οι δεσμοί αυτοί σπάνε, αλλάζοντας έτσι τις ιδιότητές του, ενώ παράλληλα αυξάνει τη θερμοκρασία και την πίεση (Gbashi et. al., 2016). Η τεχνική αυτή είναι φιλική προς το περιβάλλον με αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών τεχνικών εκχύλισης όπως η ταχύτερη εκχύλιση, το χαμηλότερο κόστος του διαλύτη και καλύτερη ποιότητα εκχύλισης (Kumar et. al., 2017). Στην εικόνα 2 απεικονίζεται η διαδικασία της τεχνικής SWE και τα μηχανικά της μέρη.



Εικόνα 2: Βασικά μέρη της τεχνικής SWE και η διαδικασία εκχύλισης (Monalisha Pattnaik et. al., 2021)

4.2.3 Εκχύλιση με υποβοήθηση μικροκυμάτων (MAE)

Η εκχύλιση με τη βοήθεια των μικροκυμάτων παρουσιάστηκε πρώτη φορά το 1986 από τον Ganzler και την ομάδα του. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την ενέργεια των μικροκυμάτων για την εκχύλιση των συστατικών από διάφορες πρώτες ύλες. Το μήκος κύματος των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών έχουν εύρος από 0,001 m έως 1 m (Gill et. al., 2020). Η συχνότητα που χρησιμοποιείται συνήθως κυμαίνεται από 300 MHz έως 300 GHz, με δύο ταλαντευόμενα πεδία τα οποία είναι κάθετα, όπως οι συχνότητες του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου (Soquetta et. al., 2018).

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται συχνά κυρίως για την εκχύλιση συστατικών από φυτικά προϊόντα. Η χρήση των μικροκυμάτων οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος, μειώνοντας τον χρόνο της εκχύλισης. Η θέρμανση διεισδύει στο εσωτερικό της μήτρας αυξάνοντας τοπικά την θερμοκρασία και την πίεση, ωθώντας τα επιλεγμένα συστατικά από τη μήτρα του δείγματος προς το σώμα του διαλύτη. Αυτό ενισχύει τη διείσδυση του διαλύτη στη μήτρα του δείγματος διευκολύνοντας τη μεταφορά των συστατικών στη μήτρα στον διαλύτη (Wen et. al., 2019). Η θέρμανση γίνεται με τη βοήθεια των μηχανισμών της ιοντικής αγωγιμότητας όπου παράγεται θερμότητα λόγω

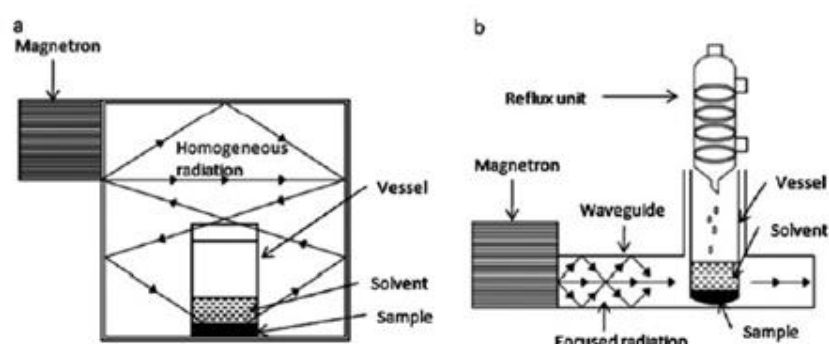
της αντίστασης του μέσου στο ιόν ροής και της περιστροφής διπόλων. Η συχνή εναλλαγή της κατεύθυνσης των ιόντων στο πεδίο έχει κατά συνέπεια την παραγωγή θερμότητας λόγω της σύγκρουσης μεταξύ των μορίων (Azmir et. al., 2013).

Η αποτελεσματικότητα της εκχύλισης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως η ισχύς, η συχνότητα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, το πορώδες της μήτρας, η θερμοκρασία και η πίεση εκχύλισης. Παρόλα αυτά φαίνεται πως τον πιο κρίσιμο ρόλο για την ανάκτηση των λειτουργικών συστατικών τον έχει ο διαλύτης. Οι παράμετροι για την επιλογή του κατάλληλου διαλύτη είναι Α) η διηλεκτρική σταθερά, Β) η διαλυτότητα και Γ) ο συντελεστής διάχυσης. Η υψηλή διηλεκτρική σταθερά συντελεί στην μέγιστη απορρόφηση των μικροκυμάτων. Η παράμετρος αυτή έχει μεγάλη σημασία καθώς η εκχύλιση με μικροκύματα λαμβάνει χώρα με βάση την κινητική ενέργεια. Ο συντελεστής διάχυσης έχει επίσης σημαντικό ρόλο μιας και η απόδοση με την οποία θερμαίνεται ο διαλύτης από τα μικροκύματα επηρεάζεται από την διάχυση (Barba et. al., 2016; Pattnaik et. al., 2021).

Εκχύλιση με την βοήθεια της τεχνολογίας αυτής μπορεί να επιτευχθεί με δύο συστήματα το i) κλειστό σύστημα και το ii) ανοιχτό σύστημα. Στο κλειστό σύστημα η εκχύλιση γίνεται σε σφραγισμένο δοχείο όπου τα μικροκύματα θερμαίνουν ομοιόμορφα, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Συγκριτικά με το ανοιχτό σύστημα, το κλειστό έχει την δυνατότητα να φτάσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες καθώς η υψηλή πίεση ευνοεί το σημείο βρασμού του διαλύτη. Με την διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η γρηγορότερη εκχύλιση με χαμηλότερη κατανάλωση διαλύτη και αυξημένη αποτελεσματικότητα. Παρόλα τα προτερήματα που έχει, είναι μια διαδικασία με απαιτητικό εξοπλισμό και αρκετά ριψοκίνδυνη όσον αφορά την ασφάλεια των εργαζομένων. Από την άλλη το ανοιχτό σύστημα είναι αυτό που χρησιμοποιείται συχνότερα για την εκχύλιση των λειτουργικών συστατικών, ιδίως για πιο θερμοευαίσθητα συστατικά και δεν έχει τους περιορισμούς του κλειστού συστήματος όπως η υψηλή επικινδυνότητα (Wen et. al., 2019).

Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μέσων εκχύλισης. Με την διαδικασία αυτή δίνεται η δυνατότητα της μειωμένης κατανάλωσης διαλυτών, ο χρόνος εκχύλισης είναι χαμηλότερος και έχει μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον. Η εκχύλιση με την βοήθεια μικροκυμάτων εφαρμόζεται κυρίως στα λειτουργικά συστατικά με αντιοξειδωτική δράση, όπως φαινολικές ενώσεις

και καροτενοειδή. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη, για την ανάκτηση των συστατικών σε βιομηχανικό επίπεδο, τουλάχιστον 2 σημαντικοί περιορισμοί. Ο ένας έγκειται στην αποτελεσματικότητα εκχύλισης, κατά κύριο λόγο των πολικών ενώσεων. Ο δεύτερος περιορισμός αφορά τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, αυξάνοντας την πιθανότητα μείωσης ή αλλοίωσης της λειτουργικότητας των εκχυλιζόμενων συστατικών (Chávez et. al., 2013). Στην εικόνα 3 απεικονίζονται τα δύο διαφορετικά συστήματα MAE.



Εικόνα 3: a) τεχνική MAE κλειστού συστήματος b) τεχνική MAE ανοιχτού συστήματος (Le Wen et. al., 2019)

4.2.4. Εκχύλιση με τη χρήση ενζύμων (EAE)

Η τεχνολογία εκχύλισης με τη βοήθεια των ενζύμων είναι μία νέα τεχνική η οποία εφαρμόζεται κυρίως σε φυτικά προϊόντα, λόγω του ότι είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικά. Τα φυτικά τοιχώματα περιέχουν διάφορους πολυσακχαρίτες όπως κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και πηκτίνες που δρουν ως φραγμοί στην απελευθέρωση επιθυμητών ουσιών από το κύτταρο. Έτσι, η χρήση συγκεκριμένων ενζύμων ή συνδυασμών τους, όπως η β-γλυκοσιδάση, η ξυλανάση, η β-γλυκονάση και η πηκτινάση είναι χρήσιμα για την διευκόλυνση ανάκτησης των συστατικών από το κύτταρο, αφού αποικοδομούν το κυτταρικό τοίχωμα (Kumar et. al., 2017).

Η αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής βασίζεται στην κατανόηση των καταλυτικών ιδιοτήτων των επιλεγμένων ενζύμων αλλά και την αποσαφήνιση των βέλτιστων συνθηκών δράσης τους. Η αποτελεσματικότητα των ενζύμων είναι άρρηκτα

συνδεδεμένη με το pH , τη θερμοκρασία, την υγρασία και τη συγκέντρωση του υποστρώματος. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να επιλέγεται το κατάλληλο είδος ενζύμου ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος, αλλά και να επιλεγεί ο κατάλληλος διαλύτης εκχύλισης (Wen et. al., 2019).

Η εκχύλιση με τη χρήση ενζύμων λαμβάνει χώρα με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με υδατική εκχύλιση με τη βοήθεια ενζύμων και ο δεύτερος είναι με τη ψυχρή έκθλιψη με τη βοήθεια ενζύμων. Η πρώτη χρησιμεύει κυρίως για την εκχύλιση ελαίων από διάφορους σπόρους, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί ένζυμα για την υδρόλυση του κυτταρικού τοιχώματος των σπόρων (Azmir et. al., 2013). Παρόλο που είναι μια τεχνική πολλά υποσχόμενη, δεν παύει να έχει κάποια μειονεκτήματα, με το μεγαλύτερο να αποτελεί το υψηλό κόστος των ενζύμων. Επιπλέον, η απόδοση των ενζύμων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον της εκχύλισης το οποίο είναι δύσκολο να προσαρμοστεί στο βέλτιστο της δράσης τους. Ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί το ότι δεν είναι εφικτή η πλήρης υδρόλυση του κυτταρικού τοιχώματος. Εάν, όμως, ξεπεραστούν οι περιορισμοί αυτοί τότε η τεχνική αυτή θα είναι μία καλή εναλλακτική μιας και θα αυξήσει τις αποδόσεις εκχύλισης αλλά και θα είναι μια ηπιότερη εκχύλιση από την στιγμή που γίνεται χρήση χαμηλών θερμοκρασιών (Puri et. al., 2012).

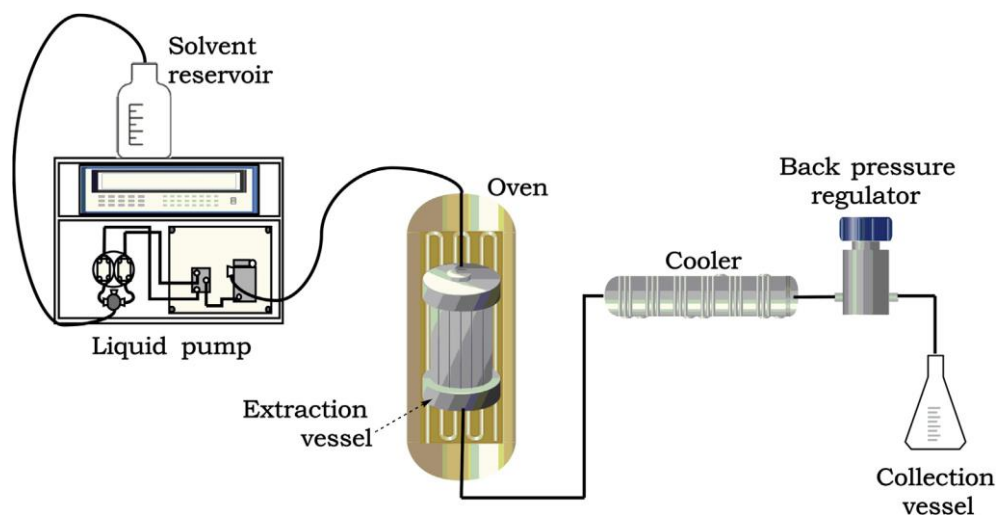
4.2.5. Εκχύλιση με πεπιεσμένο υγρό (PLE)

Μια άλλη εναλλακτική τεχνική εκχύλισης είναι αυτή με τη χρήση υγρού υπό πίεση. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί υψηλές πιέσεις (1450-2175 psi) και υψηλές θερμοκρασίες (50-200 $^{\circ}C$) ώστε το υγρό του διαλύτη που χρησιμοποιείται να φτάνει υψηλότερες τιμές από το σημείο βρασμού και να παραμένει σε υγρή μορφή. Η διηλεκτρική σταθερά (ϵ) αυξάνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα η πολικότητα του διαλύτη να μειώνεται. Ως εκ τούτου, αυξάνεται η διαλυτότητα και η εκχυλισσιμότητα (Gill et. al., 2020).

Οι συχνότερα χρησιμοποιημένοι διαλύτες είναι το νερό, η αιθανόλη και ο οξικός αιθυλεστέρας. Τα χαρακτηριστικά των διαλυτών αυτών, όταν χρησιμοποιούνται στην *PLE*, υπόκεινται αλλαγές. Ένα παράδειγμα είναι πως στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις οι διαλύτες έχουν μειωμένη επιφανειακή τάση διευκολύνοντας έτσι, την διείσδυση του διαλύτη στους πόρους της μήτρας (Soquetta et. al., 2018; Alvarez-Rivera et. al., 2020). Η ανάκτηση των συστατικών μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους,

με στατική ή δυναμική λειτουργία. Η στατική ανάκτηση χρησιμοποιεί σύντομους χρόνους εκχύλισης (5–20 λεπτά) ενώ έχει παρατηρηθεί πως οι μεγαλύτεροι χρόνοι δεν προσδίδουν καλύτερα αποτελέσματα. Στην περίπτωση της δυναμικής εκχύλισης, ο διαλύτης ρέει συνεχώς διαμέσου του προϊόντος, με συνέπεια την υψηλή κατανάλωση σε διαλύτη (Alvarez-Rivera et. al., 2020). Για την ανάκτηση των επιθυμητών συστατικών θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η υγρασία του δείγματος, η εκρόφιση του συστατικού, η διαλυτότητα των συστατικών στον διαλύτη και η διάχυση του διαλύτη γύρω από τη μήτρα. Πέρα από τα παραπάνω θα πρέπει να υπολογιστούν και οι θερμοδυναμικές αλλά και κινητικές παράμετροι για την βέλτιστη απόδοση της εκχύλισης (Alvarez-Rivera et. al., 2020).

Η μέθοδος αυτή είναι μια ελκυστική τεχνική, ειδικά για την ανάκτηση πολικών ενώσεων και πρόκειται για εναλλακτική της εκχύλισης με υπερκρίσιμο υγρό. Ακόμη έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την ανάκτηση ανθοκυανινών από φυτικά προϊόντα, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες τη καθιστούν ακατάλληλη τεχνική για την εκχύλιση θερμοευαίσθητων συστατικών (Soquetta et. al., 2018; Ch´avez et. al., 2013). Στην εικόνα 4 φαίνονται τα βασικά μέρη της διαδικασίας της τεχνικής *PLE*.



Εικόνα 4: Τα βασικά έρη της τεχνικής PLE (Diego Ballesteros-Vivas et. al., 2020)

4.2.6. Εκχύλιση με βοήθεια παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF)

Ο κύριος σκοπός της εκχύλισης με παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι η διευκόλυνση ανάκτησης συστατικών από προϊόντα φυτικής προέλευσης, μέσω επαγωγής της ηλεκτροδιάτρησης της κυτταρικής μεμβράνης. Η τεχνική αυτή δεν χρησιμοποιεί θερμότητα για την εκχύλιση αλλά ένα σύντομο παλμό ηλεκτρικού πεδίου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται και ηλεκτροδιάτρηση και καταστρέφει ή παραμορφώνει την κυτταρική μεμβράνη (Soquetta et. al., 2018; Gill et. al., 2020). Το παλμικό πλάτος της τεχνικής αυτής κυμαίνεται από 100-300 V/cm έως 20-80 kV/cm. Ακόμη, η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες δωματίου ή ελάχιστα αυξημένες από αυτήν, ενώ ο χρόνος επεξεργασίας είναι μικρός καθώς διαρκεί λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο (μs ή ms) (Barba et. al., 2016).

Όσον αφορά την επεξεργασία του προϊόντος, γίνεται η τοποθέτησή του στον θάλαμο επεξεργασίας μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και μέσω της έκθεσης στα ηλεκτρικά πεδία, συσσωρεύονται φορτία στην επιφάνεια της μεμβράνης. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός διαμεμβρανικού δυναμικού στην επιφάνεια του κυττάρου δημιουργώντας πόρους στα ασθενέστερα τμήματα της επιφάνειας της μεμβράνης (Pattnaik et. al., 2021). Έχει παρατηρηθεί πως η κυτταρική μεμβράνη καταστρέφεται υπό ήπιες συνθήκες επεξεργασίας με ηλεκτρικό πεδίο 500 και 1000 V/cm, για 1^{-4} - $1^{-2}s$ με ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασίας. Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η ευκολότερη εκχύλιση των λειτουργικών συστατικών από την πρώτη ύλη. Παρόλα αυτά για την αποτελεσματικότερη ανάκτηση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιες παράμετροι όπως η ισχύς του πεδίου, η ειδική εισροή ενέργειας, ο αριθμός των παλμών, η θερμοκρασία επεξεργασίας αλλά και τα χαρακτηριστικά του ίδιου του δείγματος (Azmir et al., 2013). Όμως, από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση του προϊόντος προς εκχύλιση, που θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά, είναι η ισχύς του ηλεκτρικού πεδίου (Barba et. al., 2016).

Η εκχύλιση, με βοήθεια παλμικού ηλεκτρικού πεδίου, είναι μία τεχνική φιλική προς το περιβάλλον μιας και χρησιμοποιεί διαλύτες όπως το νερό ή άλλους διαλύτες οι οποίοι είναι λιγότερο επιβλαβής (αιθανόλη και μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων από φυτικά έλαια). Από τα πλεονεκτήματα της εκχύλισης αυτής είναι η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας καθώς και παραγωγή εκχυλισμάτων υψηλής ποιότητας και καθαρότητας (Soquetta et. al., 2018).

4.2.7. Εκχύλιση υποβοηθούμενη από υπερήχους (UAE)

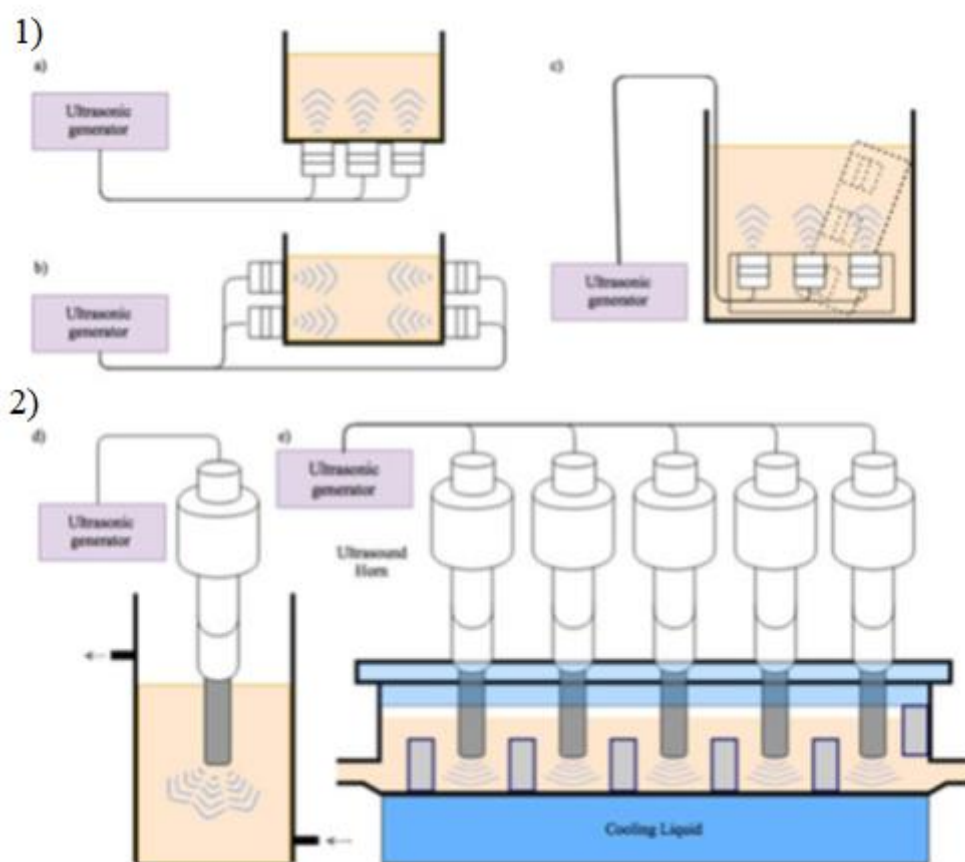
Οι υπέρηχοι είναι ήχοι οι οποίοι ξεπερνούν το φάσμα συχνοτήτων της ανθρώπινης ακοής το οποίο είναι τα 20 kHz. Στην περίπτωση της εκχύλισης με υπερήχους γίνεται χρήση ηχητικών κυμάτων από 20 kHz έως 100 MHz. Με την χρήση υψηλών συχνοτήτων δημιουργούνται κοιλότητες ή μικροφουσαλίδες οι οποίες απορροφούν ενέργεια από τα κύματα. Οι μικροφουσαλίδες αυτές μέσα από μια αλληλουχία από παραγωγή, αύξηση και κατάρρευση διευκολύνουν τη διάρρηξη των κυττάρων. Οι φουσαλίδες αυτές αυξάνονται έως το καθοριστικό σημείο της κατάρρευσης όπου δημιουργούνται ηχητικά κύματα με υψηλές πιέσεις (1000 atm) και υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 5000 K). Η έκρηξη των φουσαλίδων αυτών έχει ως συνέπεια την αποσύνθεση των κυττάρων. Ενώ, η διαδικασία αυτή είναι εφικτή μόνο σε υγρό μέσο και οι φουσαλίδες αυτές ονομάζονται φουσαλίδες σπηλαίωσης (Gill et. al., 2020). Οι κοιλότητες δημιουργημένες από την διαδικασία αυτή εξαρτώνται από τον αριθμό των ακουστικών κύκλων. Επίσης, οι φουσαλίδες διαστέλλονται κατά την χρήση αρνητικής πίεσης ενώ αντιθέτως κατά την θετική πίεση συστέλλονται (Pattnaik et. al. 2021).

Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος διαλύτης είναι το νερό ενώ ως εναλλακτικοί είναι η αιθανόλη, η μεθανόλη και το εξάνιο. Ως μέσο μετάδοσης χρησιμοποιείται ένα υγρό από το οποίο περνούν οι υπέρηχοι και στη συνέχεια μέσα από το τοίχωμα του δοχείου. Το αποτέλεσμα είναι χαμηλότερης έντασης υπέρηχοι να καταφτάνουν στο προϊόν προς εκχύλιση (Wen et. al., 2018).

Υπάρχουν δύο ειδών εκχυλίσσεις με υπερήχους, η εκχύλιση σε λουτρά υπερήχων και η εκχύλιση με καθετήρα (*probe*). Στην περίπτωση χρήσης λουτρού υπερήχων, οι μετατροπείς διαθέτουν συνήθως μεγάλη επιφάνεια. Οι μετατροπείς αυτοί δύνανται να προσδεθούν στην επιφάνεια του λουτρού (στον πυθμένα ή στα πλάγια του λουτρού), οι οποίοι παράγουν υπερηχητικά κύματα στο υγρό της δεξαμενής (Wen et. al., 2019). Τα πλεονεκτήματά της είναι πως η λειτουργία της είναι εύκολη στη χρήση και ταυτόχρονα οικονομική. Από την άλλη, οι υπέρηχοι εξασθενούν τους διαλύτες και τα γυάλινα σκεύη παρεμβαίνοντας στην αποτελεσματικότητα της εκχύλισης (Wen et. al., 2018). Στην περίπτωση της εκχύλισης με καθετήρα πραγματοποιείται βύθιση της συσκευής απευθείας στο μέσο με αποτέλεσμα να υπάρχουν ελάχιστες απώλειες των υπερήχων. Λόγω χαμηλού εμβαδού έχουν την δυνατότητα να παράγουν μεγαλύτερης συχνότητας υπερήχους το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση θερμοκρασίας του δείγματος. Η

χρήση του είναι κυρίως για εκχυλίσματα μικρού όγκου (Wen et. al., 2019; Wen et. al., 2018).

Για τη βέλτιστη χρήση της τεχνολογίας αυτής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η ένταση/πλάτος του κύματος, η ισχύς, η συχνότητα των κυμάτων, οι φυσικές ιδιότητες του προϊόντος αλλά και η θερμοκρασία. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας, η σπηλαιώση ενισχύεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία ενώ το μέγεθος των φυσαλίδων σχετίζεται άμεσα με τις συχνότητες. Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και το ιζώδες (Wen et. al., 2019; Wen et. al., 2018). Η ανάκτηση με υπερήχους είναι μια σημαντική τεχνική μιας και έχει πολλά πλεονεκτήματα για την εξαγωγή λειτουργικών συστατικών. Μερικά παραδείγματα εξ' αυτών είναι: η μεγαλύτερη διείσδυση του διαλύτη στο προϊόν, μικρός χρόνος επεξεργασίας, υψηλές αποδόσεις, και χαμηλή κατανάλωση διαλύτη (Barba et. al., 2016). Στην εικόνα 5 απεικονίζονται οι δύο τεχνικές UAE, σε λουτρά και με καθετήρα.



Εικόνα 5: 1) τεχνική UAE σε λουτρά 2) τεχνική UAE με καθετήρα. (Le Wen et. al., 2019)

4.2.8 Περιπτώσεις μελέτης

Στον πίνακα 3 παρατηρούμε πως η τεχνική *SFE* είναι πολλά υποσχόμενη με απόδοση της ανάκτησης των περισσότερων συστατικών να είναι κατά μέσο όρο στο 90% ενώ σε μερικές περιπτώσεις ήταν >90% (Viganó et. al., 2014). Στην περίπτωση της *SWE* τα ολικά φαινολικά ήταν αυτά που ανακτήθηκαν σε μεγαλύτερη συχνότητα. Ακόμη, όσον αφορά τα ολικά φαινολικά, με την τεχνική *MAE* ανακτήθηκαν 0,86%/100gr μέσα σε δύο λεπτά από φύλλα λαχάνου (Pattnaik et. al., 2021). Επιπρόσθετα, η τεχνική *EAE* χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την ανάκτηση διαφόρων καροτενοειδών όπως το β-καροτένιο και το λυκοπένιο. Όσον αφορά την *PLE*, διάφορα αντιοξειδωτικά όπως τα φαινολικά συστατικά είναι αυτά που ανακτήθηκαν σε υψηλές ποσότητες. Από την άλλη, η *PEF* εξήγαγε το 90% της συνολικής βετανίνης ενώ ενδιαφέροντα αποτελέσματα έδειξε και στην ανάκτηση ασβεστίου. Τέλος, η *UAE* εξήγαγε πολυφαινόλες με τιμές στο 50% ενώ δεν είχε πολύ επιτυχία στην εκχύλιση πολυσακχαριτών και αντιοξειδωτικών από φλούδες αχλαδιού αφού η ανάκτηση ήταν μόλις στο 5,16%.

Πίνακας 2: Σύνοψη σύγχρονων μεθόδων ανάκτησης λειτουργικών συστατικών από διάφορες εναλλακτικές πρώτες ύλες και αποδόσεις.

ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	ΠΗΓΗ
Εξευγενισμένο χοιρινό λίπος	SFE	335°C, 500 rpm, 20 MPa, 15 min	Λιπαρά οξέα	Απόδοση 89,91%	Viganó et. al., 2014
Κέλυφος φουντουκιάς, κέλυφος ηλιόσπορου και φλοιός ελιάς	SFE	380°C	Ελαϊκό οξύ, λινολεϊκό οξύ	Απόδοση 99,1% από κέλυφος ηλιόσπορου, 98,9% από κέλυφος φουντουκιάς και 98,5% από φλοιό ελιάς.	Viganó et. al., 2014
Φλούδες καρότου, κολοκύθας και τομάτας	SFE	59 °C, 350 bar, 30 min	β καροτένιο, λυκοπένιο	Απόδοση β καροτενίου 94% εκτός της κολοκύθας (88,2%) απόδοση λυκοπένιου 92,5% για τομάτα (1,18mg/gr δειγματος)	Vidovi et. al., 2020
Σκόνη αγριαψιθιάς, τριαντάφυλλου και μείγμα τους	SFE	60 °C, 300 bar	Καροτενοειδή	max απόδοση 0,4553 mg/gr min απόδοση 0,1956 mg/gr	Vidovi et. al., 2020

Υπολείμματα φυτού <i>crocus sativus</i>	SFE	62 °C, 164 bar, 47 min	Αντιοξειδωτικά	1423 mg/100 g συνολικών φαινολικών, 180 mg/100 g ολικού φλαβονοειδούς και 103,4 mg/100 g συνολικής περιεκτικότητας σε ανθοκυανίνες.	Kumar et. al., 2017
Απορριμμάτα καφέ, σκόνη και απολίπασμένο κέικ	SWE	200 °C και 225 bar για καφέ και 175 °C για το κέικ	Ολικά φαινολικά	max περιεκτικότητα 26,64mg GAE/gr για καφέ και 55,7 mg GAE/gr για το κέικ	Vidovi et. al., 2020
Φλούδες πατάτας	SWE	180 °C, 30 min	Γαλλικό οξύ, χλωρογενικό οξύ, καφεϊκό οξύ, πρωτο-κατεχικό οξύ, συριγικό οξύ, <i>p</i> -υδροξυλοβενζοϊκό οξύ, φερουλικό οξύ και κουμαρικό οξύ	Ανάκτηση συνόλου φαινολικών 81,83 mg/100 g. Ενώ, Το χλωρογενικό οξύ 14,59 mg/100 g και το γαλλικό οξύ 29,56 mg/100 g	Kumar et. al., 2017
Υπολείμματα καφέ	SWE	200 °C, 22,5 Mpa	Ολικά φαινολικά	26,64 mg GAE/gr	Kumar et. al., 2017
Σκόνη από βότανο <i>A. uva ursi</i>	SWE	170 °C, 10 min	Ολικά φαινολικά	10,64 gr GAE/100GR	Vidovi et. al., 2020
Πέταλα από <i>Crocus sativus</i>	SWE	159 °C, 54 min	Ολικά φαινολικά, και ολικές φλαβονόλες	1616 mg/100 g ολικών φαινολικών, 239 mg/100 g συνολικής περιεκτικότητας σε φλαβονόλη.	Kumar et. al., 2017
Φύλλα ινδικού μάγκο	MAE	272 W, 5 min	Μαγγιφερίνη	55 mg/gr	Kumar et. al., 2017
Βασιλικός	MAE	442 W, 15 min	Ολικά φαινολικά, ολικά φλαβονοειδή	4,299 gr GAE/100gr φαινολικών και 0,849 gr DW φλαβονοειδών	Kumar et. al., 2017
Φύλλα λάχανου	MAE	100 W, 2 min	Ολικά φαινολικά	0,86%	Pattnaik et. al., 2021
Υπολείμματα τομάτας	EAE	45 - 55 °C, ένζυμα πηκτινάση και κυτταρινάση	Καροτένιο και λυκοπένιο	καροτένιο 127 mg/kg ξ.β. και λυκοπένιο 89,4 mg/kg ξ.β.	Irini et. al., 2014
Υπολείμματα τομάτας	EAE	40 °C, ένζυμα Pectinex Ultra SP-L, Celluclast, Viscozyme L	Λυκοπενίου	11,5 mg/g	Catalkaya et. al., 2019
Σπόροι λευκών σταφυλιών	PLE	105 °C, 1500 psi, 10 min	Κατεχίνη, επικατεχίνη	κατεχίνη 8221 μg/g ξ.β. Και για επικατεχίνη 431 μg/g ξ.β.	Garcia-Jares et. al., 2015

Πυρηνόμουρα	PLE	70 °C, 45 min	Αντιοξειδωτικά	42.98 mg GAE/g	Kitrytè et. al., 2020
Γκουαράνα	PLE	50 °C, 10 Mpa, 60 min	Αντιοξειδωτικά, καφεΐνη	Αντιοξειδωτικά 86,21mol Trolox/g 46,19 gr/100 gr κεφεΐνης	Santana et. al., 2019
Πυρηνόμουρα	PLE	130 °C, 30 min, 75 min	Φαινολικά συστατικά	61,77 gr	Kitrytè et. al., 2020
Υπολείματα από πατζάρια	PEF	1KV/cm, 7kJ/kg	Βετανίνη	90% συνολικής βετανίνης	Pattnaik et. al., 2021
Υπολείματα τομάτας	PEF	5 kV/cm, 1,5 ms	Πρωτεΐνη	145.1 mg/100 g	Andreou et. al., 2019
Φλούδες αυγών	PEF	20 kV/cm, 24 μs	Ασβέστιο	7.075 mg/ml	Arshad et. al., 2020
κόκαλα	PEF	70 kV/cm με 12 κύκλους	Ασβέστιο	4,324.8 mg/l	Arshad et. al., 2020
κόκαλα ψαριών	PEF	16,88 kV/cm με 9 κύκλους	Θευική χονδροϊτίνη	6,92 gr/l	Arshad et. al., 2020
σπόρος σταφυλιού	UAE	150 W, 20kHz, 30min	Πολυφαινόλες	14 gr/ 100gr	Barba et. al., 2016
υπολείματα σταφυλιών	UAE	35 kHz, 70 °C, 1 min	Πολυφαινόλες	50%	Barba et. al., 2016
υπολείματα αχλαδιών	UAE	230 W, 70 °C	Πολυσακχαρίτες, αντιοξειδωτικά	5,16%	Soquetta et. al., 2018

Κεφάλαιο 5 Μέθοδοι ενσωμάτωσης λειτουργικών συστατικών στα τρόφιμα

5.1 Γενικά

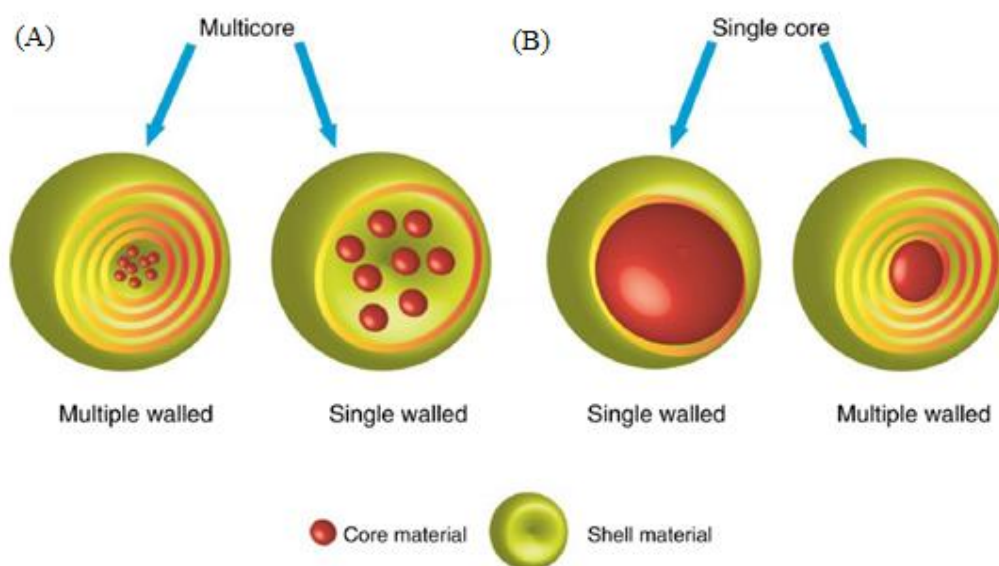
Η ενσωμάτωση των λειτουργικών συστατικών είναι μια τεχνολογία με ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Η ενθυλάκωση έχει την αρχή της το 1953 από τους *B.K. H Green & L. Schleicher* όπου με την χρήση της τεχνολογίας αυτής γίνεται δυνατός ο εγκλωβισμός μιας ή περισσότερων ουσιών σε ένα κέλυφος. Η κάψα αυτή ονομάζεται «φορέας» (*carrier*) ενώ το συστατικό προς ενθυλάκωση ονομάζεται «πυρήνας» (*core*). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται με στόχο την απομόνωση αλλά και τη προστασία ευαίσθητων συστατικών από την έκθεση σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες όπως την έκθεση στο φως, την υγρασία και το οξυγόνο. Ο σκοπός είναι η ακέραια απελευθέρωσή τους με ελεγχόμενους ρυθμούς και υπό συγκεκριμένες συνθήκες στον ανθρώπινο οργανισμό (Waterhouse et. al., 2018; Trojanowska et. al., 2017; Timilsena et. al., 2020).

Η επιλογή του κατάλληλου φορέα, αναλόγως με το λειτουργικό συστατικό, είναι υψίστης σημασίας για την εξασφάλιση μιας αποτελεσματικής ενσωμάτωσης. Η σταθερότητα της κάψας είναι από τους κυριότερους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ πυρήνα και φορέα αλλά και τις συνθήκες επεξεργασίας. Επίσης, η χωρική κατανομή του πυρήνα μέσα στη κάψουλα επηρεάζει σημαντικά την σταθερότητα αλλά και την απελευθέρωση του πυρήνα (Timilsena et. al., 2020).

Ένας ακόμη αξιοσημείωτος παράγοντας είναι το ίδιο το συστατικό του κελύφους, αφού μπορεί και αυτό να επηρεάσει την επίδραση του πυρήνα. Τα πολυμερή τροφίμων είναι αυτά που χρησιμοποιούνται περισσότερο λόγω των διαφόρων ιδιοτήτων τους όπως η διαλυτότητα, η βιοσυμβατότητα, η δυνατότητα τροποποίησης και η ικανότητα παροχής δομής. Τα σημαντικότερα συστατικά που χρησιμοποιούνται ως φορείς είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες, οι πολυσακχαρίτες, τα λιπίδια και το νερό με διαφορετικές δομές, διαμορφώσεις, τοπολογίες, σχήματα και μέγεθος. Για να μπορέσουν, όμως, οι κάψουλες αυτές να έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη τεχνική (Waterhouse et. al., 2018; Bharathi et. al., 2018).

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η μακρο-ενθυλάκωση, η μικρο-ενθυλάκωση και η νανο-ενθυλάκωση. Η διαφοροποίηση βρίσκεται στο μέγεθος του κελύφους το

οποίο είναι $>1\text{ nm}$, 100 nm – $1\text{ }\mu\text{m}$ και 1 – 100 nm αντίστοιχα (Waterhouse et. al., 2018). Στις περιπτώσεις των μικρο- και νανο-, οι κάψουλες μπορεί να περιέχουν έναν ή και παραπάνω πυρήνες ενώ και το τοίχωμα μπορεί να είναι είτε μονό είτε πολλαπλό (Jafari 2017). Στην εικόνα 6 απεικονίζεται η ενθυλάκωση με μονό ή πολλαπλό πυρήνα και μονό ή πολλαπλό τοίχωμα.



Εικόνα 6: A) πολλαπλός πυρήνας με μονό ή πολλαπλό τοίχωμα B) μονός πυρήνας με μονό ή πολλαπλό τοίχωμα (Seid Mahdi Jafari 2017)

Το συστατικό του πυρήνα μπορεί να βρίσκεται είτε σε υγρή είτε σε στερεή μορφή, ενώ για να μπορέσει να παραμείνει λειτουργικό θα πρέπει να δοθεί σημασία στην μοριακή δομή, τη φυσική κατάσταση, τη βιολογική λειτουργία, τις οπτικές ιδιότητες και τη χημική του σταθερότητα (Ye, et. al., 2018). Για την καλύτερη αποτελεσματικότητα της ενθυλάκωσης θα πρέπει να δοθεί σημασία και στο υλικό του τοιχώματος. Τα πολυμερή είναι αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως, όπως για παράδειγμα η χιτοζάνη, τα αλγινικά, οι κυκλοδεξτρίνες και τα φωσφολιπίδια. Η ενσωμάτωση μπορεί να επηρεαστεί από το pH, τη διαλυτότητα, την ικανότητα γαλακτωματοποίησης και το πορώδες του τελικού προϊόντος (Ribeiro et. al., 2021; Bazana et. al., 2019).

Εκτός από τα ανωτέρω, οι ιδιότητες που καθιστούν ένα υλικό κατάλληλο για την χρήση ως κέλυφος ενθυλάκωσης είναι η απουσία αντίδρασης με τον πυρήνα, να είναι ικανό να διατηρεί ανέπαφο το συστατικό μέσα στην κάψουλα, να μπορεί να το προστατεύει από περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να το επηρεάσουν αρνητικά, να μην προσδίδει δυσάρεστη γεύση στο τελικό προϊόν, να είναι βρώσιμο, μη τοξικό και οικονομικά βιώσιμο (Dhakal et. al., 2020). Επιπρόσθετα, ο πυρήνας προκειμένου να προσδώσει χρήσιμες ιδιότητες στον οργανισμό θα πρέπει να απελευθερωθεί από την κάψα την κατάλληλη στιγμή. Οι κύριοι μηχανισμοί για την διευκόλυνση της διαδικασίας αυτής έχουν να κάνουν με την πτητικότητα του πυρήνα, την αναλογία του πυρήνα και του υλικού του τοιχώματος, το μέγεθος των σωματιδίων και το ιξώδες του υλικού τοιχώματος (Dhakal et. al., 2020). Ειδικότερα, η απελευθέρωσή του στον ανθρώπινο οργανισμό είναι μια διαδικασία η οποία θα πρέπει να συμπεριλάβει διάφορους παράγοντες όπως οι πεπτικοί, η σύνθεση χολικού άλατος, η ισορροπία ηλεκτρολυτών, η θερμοκρασία, το pH και η μηχανική καταπόνηση (Khorasanian et. al., 2019).

Η ενσωμάτωση των λειτουργικών συστατικών στα τρόφιμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραταθεί η διάρκεια ζωής αλλά και για την βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων όπως η κάλυψη της δυσάρεστης οσμής, γεύσης, χρώματος, βελτίωση της υδατοδιαλυτότητας ή η χρήση ως αντιμικροβιακοί παράγοντες. Ακόμη, η τεχνική της ενθυλάκωσης έχει χρησιμοποιηθεί και στην συσκευασία των τροφίμων ως βρώσιμες μεμβράνες ή ως συστατικό της «ενεργού» συσκευασίας (Chew et. al., 2019; Coelho et. al., 2021; Muñoz-Shugulí et. al., 2021).

Τα βιοενεργά συστατικά που ενθυλακώνονται στα τρόφιμα μπορεί να είναι διάφορες φαινολικές ενώσεις, όπως προκυανιδίνες, πολυφαινόλες, ανθοκυανίνες, όπως επίσης βιταμίνες και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα τα οποία μπορούν να συλλεχθούν από διάφορα παραπροϊόντα τροφίμων μιας και είναι πλούσια σε αυτά. Ο ανανάς, το μήλο, η μπανάνα και το πορτοκάλι είναι από τα φρούτα που καταναλώνονται συχνότερα είτε ωμά είτε σε μορφή χυμού. Λόγω της υψηλής ζήτησής τους παράγονται πολλά παραπροϊόντα τα οποία είναι πλούσια σε λειτουργικά συστατικά όπως βιταμίνη C, A και E, φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, καροτενοειδή, λιπαρά οξέα, ημικυτταρίνες, πρωτεΐνες, αμινοξέα, άμυλο και φρουκτοολιγοσακχαρίτες (Comunian et. al., 2021).

Πέρα από αυτά τα συστατικά μπορεί να γίνει ενθυλάκωση και προβιοτικών. Η τεχνική για την ενθυλάκωσή τους γίνεται με την βοήθεια της μικροενθυλάκωσης, λόγω του μεγέθους τους μιας και η νανοτεχνολογία δεν ενδείκνυται για αυτά. Τα τελικά προϊόντα στα οποία ενθυλακώνονται είναι τα γαλακτομικά προϊόντα, προϊόντα αρτοποιείας, κρέατος, οι χυμοί και άλλα (παγωτό, μαγιονέζα, ζυμωμένα ποτά). Στα προϊόντα αυτά, η τελική κυτταροκαλλιέργεια θα πρέπει να περιέχει περίπου 105 CFU/g για να έχει ευεργετική δράση (Reque et. al., 2021).

Οι φυτικοί πολυσακχαρίτες όπως η πηκτίνη, το άμυλο, το αλγινικό νάτριο το αραβικό κόμμι και η κυτταρίνη χρησιμεύουν στην βιομηχανία τροφίμων ως παράγοντες πηκτωματοποίησης, σταθεροποίησης και πήξης πέρα από τη λειτουργία τους ως κάψα ενθυλάκωσης. Ακόμη, τα αιθέρια έλαια χρησιμοποιούνται ως αρωματικοί παράγοντες και ως συντηρητικά για την παράταση διάρκειας ζωής των τροφίμων. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται και ως παράγοντες για την αποτροπή αντιδράσεων οξείδωσης. Αντιθέτως, τα καροτενοειδή χρησιμεύουν ως χρωστικές τροφίμων καθώς και ως συντηρητικά λόγω των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων τους (Ozogul et. al., 2021).

Από την άλλη, η τεχνολογία της νανοενθυλάκωσης αποτελεί ακόμα αντικείμενο επιστημονικών μελετών, κυρίως λόγω των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων που μπορούν να παρουσιάσουν τα προϊόντα νανοτεχνολογίας στον ανθρώπινο οργανισμό. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, τα νανο-προϊόντα μπορούν να εισέλθουν και να επηρεάσουν το κυκλοφορικό και το λεμφικό σύστημα αλλά και διάφορα όργανα του σώματος προκαλώντας μη αναστρέψιμες βλάβες. Το μικρό τους μέγεθος σε συνδυασμό με λανθασμένη χρήση της τεχνικής μπορεί να οδηγήσει σε διάφορα προβλήματα. Για παράδειγμα ο πυρήνας μπορεί να απελευθερωθεί ατελώς ή να είναι ανθεκτικός στην πέψη, μπορεί ακόμα να περάσει στο επιθήλιο και να εισέλθει στην κυκλοφορία του αίματος προκαλώντας ανοσολογικές αντιδράσεις στον οργανισμό. Επιπλέον, ο λανθάνων χρόνος απελευθέρωσης, πριν από τον επιθυμητό χρόνο, επιτρέπει στα σωματίδια αυτά να πλανούνται στην ατμόσφαιρα και να απορροφηθούν μέσω της εισπνοής ή μέσω του δέρματος. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η τοξικές επιπλοκές που μπορούν να προκαλέσουν στον άνθρωπο, όπως καρδιαγγειακές ή εξωπνευμονικές επιπλοκές (Bazana et. al., 2019).

Παρά την αυξημένη πρόοδο στις τεχνικές ενθυλάκωσης τις τελευταίες δεκαετίες, μονάχα μερικές τεχνικές εφαρμόζονται επιτυχώς βιομηχανικά, με την ξήρανση με

ψεκασμό και την εξώθηση να χρησιμοποιούνται ευρύτερα σε ποσοστά πάνω από το 80% (Waterhouse et. al., 2018).

5.2 Παραδείγματα ενσωμάτωσης λειτουργικών συστατικών σε τρόφιμα

Η ενσωμάτωση διαφόρων λειτουργικών συστατικών στα τρόφιμα με στόχο την παραγωγή προϊόντων με ανώτερες ιδιότητες, αφορά ένα πεδίο με μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλά επιτυχημένα παραδείγματα ενσωμάτωσης λειτουργικών συστατικών. Η ενσωμάτωση ενθυλακωμένων φαινολικών σε παγωτό οδήγησε σε ένα νέο προϊόν με αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Η ενσωμάτωσή τους σε πάστα φουντουκιού είχε ως αποτέλεσμα την παράταση ζωής του προϊόντος μειώνοντας τον σχηματισμό υπεροξειδίου. Σε άλλη μελέτη, πραγματοποιήθηκε προσθήκη φαινολικών σε γάλα πριν υποστεί ζύμωση (για να γίνει γιαούρτι), όπου στο τελικό προϊόν (γιαούρτι) παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά φαινολικών και αντιοξειδωτική δράση (Marcillo-Parra et. al., 2021).

Προσθήκη ενθυλακωμένων προβιοτικών σε χυμό ανανά και πορτοκαλιού οδήγησε σε αύξηση της βιωσιμότητας των κυττάρων έπειτα από 28 ημέρες με τιμές $2,3 \times 10^7$ CFU/g και $5,5 \times 10^7$ CFU/g αντίστοιχα. Επιπλέον, ενθυλακώθηκαν προβιοτικά με αλγινικό νάτριο ή καραγενάνη και προστέθηκαν σε γιαούρτι όπου η βιωσιμότητα των κυττάρων έπειτα από 28 ημέρες κυμάνθηκε από 9.91 log και 9.89 log CFU/ml στα 8.74 log και 8.39 log CFU/ml αντίστοιχα, ενώ στην περίπτωση που τα προβιοτικά δεν είχαν ενθυλακωθεί η βιωσιμότητά τους μειώθηκε από τα 9,91 log στα 6,12 log CFU/ml (Reque et. al., 2021).

Στη μελέτη των Liu et al. (2020) με ενθυλάκωση μείγματος νισίνης, με αιθέρια έλαια από αστέρι γλυκάνισου και πολυλυσίνης σε μορφή νανογαλάκτωματος καθιστάθηκε δυνατή η αύξηση της διάρκειας ζωής προϊόντων κρέατος. Επιπλέον, η ενσωμάτωση β-καροτενίου από φλούδες πορτοκαλιού σε χυμό φρούτων βελτίωσε το χρώμα του χυμού. Παρατηρήθηκε ακόμη, πως η ενθυλάκωση αιθέριων ελαίων με κάψα χιτοζάνης, σε γάλα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της οξείδωσης του γάλακτος, ενώ σε άλλη μελέτη φάνηκε πως η ενθυλάκωση 100 ppm θυμόλης με λιπιδικά νανοσωματίδια σε σνάκ μπάρας είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη οξείδωση του προϊόντος (Saini et. al., 2020).

Σύμπλεγμα κυκλοδεξτρίνης χρησιμοποιήθηκε για τη συσκευασία με άμεση επαφή σε τρόφιμα, μιας και έχουν μη τοξικό χαρακτήρα. Στην μελέτη των Buendía-Moreno et al., (2019) με χρήση τους σε φιλμ για την επικάλυψη προϊόντος βοείου κρέατος οδήγησε σε μειωμένο αριθμό βακτηρίων σε θερμοκρασίες των 4 °C. Ακόμη σε ενσωμάτωση σε βρώσιμα φιλμ σε ξεφλουδισμένο μήλο παρατηρήθηκε παράταση της οξείδωσης για 3 ώρες. Πέρα από τις κυκλοδεξτρίνες έχουν χρησιμοποιηθεί και τα λιποσώματα ως βρώσιμες μεμβράνες όπου σε μελέτη φάνηκε πως η επικάλυψη τυριών με κάψα λιποσωμάτων ενθυλακωμένων με έλαια λεμονιού είχαν αντιμικροβιακές δράσεις έναντι της *Listeria* και βελτίωσε τις οργανοληπτικές ιδιότητες του τυριού (Cui, Wu, & Lin, 2016).

Σε λουκάνικα έγινε επεξεργασία με φιλμ χιτοζάνης και πρωτεΐνης ορού γάλακτος που περιέχουν λιποσώματα με τα αποτελέσματα να δείχνουν μείωση οξείδωσης των λιπών και αυξημένη αντιμικροβιακή δράση κατά τη διάρκεια αποθήκευσης 50 ημερών του τελικού προϊόντος (Muñoz-Shugulí et. al., 2021).

Σε μελέτη των Gowda et. al., (2018) πραγματοποιήθηκε εμπλουτισμός παγωτού με μικροενθυλάκωση σκόνης ελαίου λιναρόσπορου με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να έχει αυξημένα ελεύθερα λιπαρά οξέα τις πρώτες 15 μέρες, ενώ αύξηση στο υπεροξειδίο και στο θειοβαρβιτουρικό οξύ παρατηρήθηκε τις πρώτες 30-45 μέρες. Ακόμη, πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν πως τα αιθέρια έλαια μπορούν να χρησιμοποιηθούν έναντι του νιτρώδους νάτριου σε προϊόντα κρέατος. Σε μια άλλη μελέτη παρατηρήθηκε πως η προσθήκη των αιθέριων ελαίων από γαρίφαλο, ενθυλακωμένο σε αλγινικό νάτριο, γλυκερόλη, μονοστεατικό πολυοξυαιθυλένιο και μονολαυρική σορβιτάνη είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της βακτηριακής ανάπτυξης ενώ ταυτόχρονα παρείχε και αντιοξειδωτική δράση (Delshadi et. al., 2020).

5.3 Μέθοδοι ενθυλάκωσης λειτουργικών συστατικών

5.3.1 Ξήρανση με ψεκασμό (*Spray drying*)

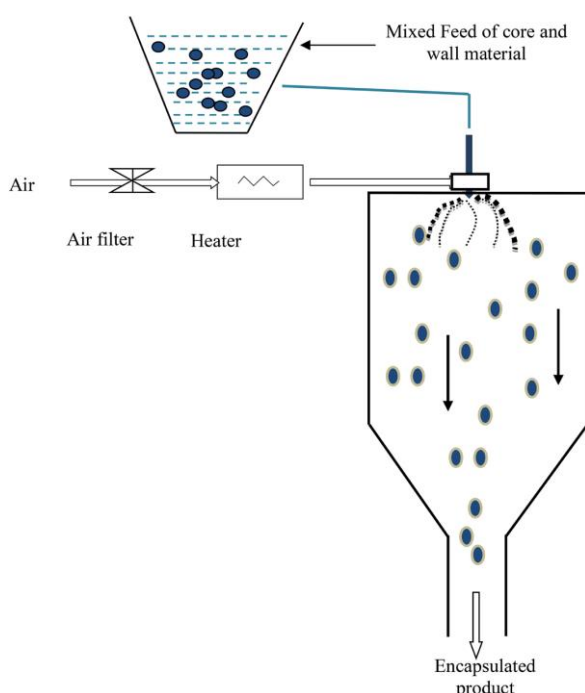
Η τεχνολογία ξήρανσης με ψεκασμό είναι μία μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για ενθυλάκωση μεγάλου φάσματος λειτουργικών συστατικών και είναι μία από τις παλαιότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Είναι μία μέθοδος με την οποία καθίσταται εφικτή η ενθυλάκωση ακόμη και θερμοευαίσθητων συστατικών αλλά και ζώντων μικροοργανισμών όπως τα προβιοτικά. Η ενθυλάκωσή τους υφίσταται

δυνατή λόγω του ότι η διαδικασία αυτή διαρκεί μόλις λίγα δευτερόλεπτα. Στην μέθοδο αυτή γίνεται χρήση υψηλών θερμοκρασιών με στόχο την αφυδάτωση των σταγονιδίων ψεκασμού και τη στιγμιαία μετατροπή των σταγονιδίων σε μια λεπτή ξηρή σκόνη (Assadpour et. al., 2019; Azhar et. al., 2021).

Η διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό πραγματοποιείται σε έναν θάλαμο ξήρανσης στο οποίο εισέρχεται ζεστό αέριο. Το υλικό προς ενθυλάκωση, αναμεμειγμένο με έναν διαλύτη, ψεκάζεται μέσα στο θάλαμο και μέσω της επαφής του με τον ζεστό αέρα εξατμίζεται δημιουργώντας σταγονίδια και προκαλώντας ομοιόμορφη και ταχεία εξάτμιση του υγρού μείγματος. Στη συνέχεια, τα σωματίδια, τα οποία έχουν ξηρανθεί διαχωρίζονται από τον αέρα εξόδου και συλλέγονται. Τα σωματίδια αυτά απομακρύνονται σε χρονικό περιθώριο λίγων δευτερολέπτων υπό τη μορφή ξηρής σκόνης, με μέγεθος περίπου $10\ \mu m$. Οι θερμοκρασίες του αέρα εξόδου είναι συνήθως μεταξύ 70 και 90 °C ενώ η θερμοκρασία του αερίου εισόδου κυμαίνεται από 150 έως 200 °C (Jafari et. al., 2021; Parfait Kouamé et. al., 2021).

Στα πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτή η τεχνική είναι η ευκολία στην χρήση, ο έλεγχος του μεγέθους των σωματιδίων και του σχήματός τους, το χαμηλό κόστος λειτουργίας, καθώς και η δυνατότητα ενθυλάκωσης των θερμοευαίσθητων ουσιών και η υψηλή απόδοση ενθυλάκωσης (Assadpour et. al., 2019).

Η νανοτεχνολογία έχει συνδράμει και αυτή στην διαδικασία της ενθυλάκωσης με την μέθοδο του ξηρού ψεκασμού, ή ακόμη καλύτερα νανοψεκασμού. Είναι μία μέθοδος εύκολη στην χρήση και εξαιρετικά ευέλικτη, το οποίο την καθιστά ως κατάλληλη μέθοδο για την εφαρμογή της σε γαλακτώματα, εναιωρήματα, ευαίσθητα στη θερμότητα συστατικά, βιοενεργά πεπτίδια, πρωτεΐνες και ένζυμα. Παρόλη την τεχνολογική ανάπτυξη αλλά και την ευχέρεια που προσφέρει η μέθοδος αυτή, δυσκολεύει την συλλογή των νανοσωματιδίων καθώς αυτά συνήθως χάνονται με τον αέρα εξαγωγής (Assadpour et. al., 2019). Στην εικόνα 7 απεικονίζεται η μέθοδος ξήρανσης με ψεκασμό.



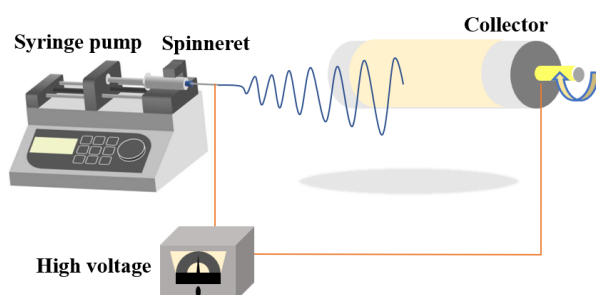
Εικόνα 7: Διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό (Yakindra Prasad Timilsena et. al., 2020)

5.3.2 Ηλεκτροπεριστροφή (*Electrospinning*)

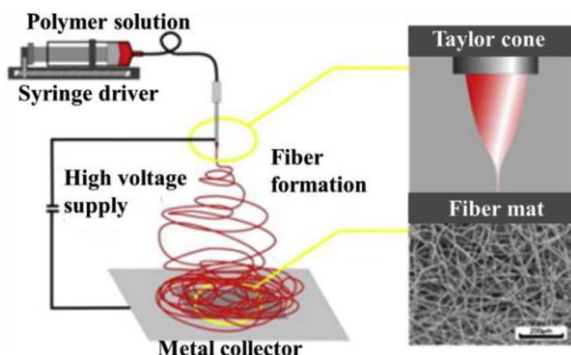
Μια άλλη εναλλακτική μέθοδος για την διαδικασία της ενθυλάκωσης συστατικών είναι η τεχνική *electrospinning*, η οποία εισήχθει το 1934 από τον *Anton Formhals*. Για την διαδικασία αυτή γίνεται χρήση ηλεκτρικού φορτίου στο διάλυμα ώστε να ληφθούν τα ενθυλακωμένα συστατικά σε μορφή μικρο- και νανο- λεπτών ινών (Muñoz-Shugulí et. al., 2021; Deng et. al., 2020). Η διαδικασία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε οριζόντια είτε σε κάθετη διάταξη και τα βασικά λειτουργικά μέρη της είναι ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, μια αντλία σύριγγας, μια σύριγγα με μια μεταλλική βελόνα και ένας ηλεκτρικά αγώγιμος συλλέκτης που μπορεί να είναι είτε μία πλάκα είτε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο (Rostamabadi et. al., 2020; Wen et. al., 2017b).

Αρχικά, το διάλυμα, το οποίο περιέχει την ουσία προς ενθυλάκωση, οδηγείται στην σύριγγα και το υγρό αυτό εξωθείται σε μορφή σταγονιδίων. Έπειτα, γίνεται χρήση υψηλής τάσης (10-20 kV) στην άκρη της βελόνας και το σχήμα της σταγόνας παραμορφώνεται σε κωνικό σχήμα. Η τάση του ρεύματος μεταφέρεται στον συλλέκτη και στην συνέχεια, ο πίδακας αυτός που αντλείται, εκτείνεται αρχικά σε ευθεία γραμμή ενώ στη συνέχεια υφίσταται ταλαντώσεις λόγω του ότι η ηλεκτρική τάση ξεπερνάει την

κρίσιμη επιφανειακή τάση του πολυμερούς υγρού. Ο πίδακας εναποτίθεται τελικά στον συλλέκτη ο οποίος έχει αντίθετα φορτία. Κατά τη διαδικασία αυτή η συνήθης απόσταση μεταξύ σύριγγας και συλλέκτη είναι μεταξύ 5-25 *cm* ενώ οι ίνες οι οποίες συλλέγονται έχουν μέσο μέγεθος περίπου στα 150 *nm* (Deng et. al., 2020; Wen et. al., 2017b; Wen et. al., 2017a). Στην εικόνα 8 και 9 απεικονίζονται οι τεχνικές ηλεκτροπεριστροφής με οριζόντια και κάθετη διάταξη.



Εικόνα 8: Ηλεκτροπεριστροφή οριζόντιας διάταξης (Nieuwland et al., 2013)



Εικόνα 9: Ηλεκτροπεριστροφή κάθετης διάταξης (Lingli Deng and Hui Zhang 2020)

Για να υπάρξει ένα επιθυμητό αποτέλεσμα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιες παράμετροι προτού ξεκινήσει η διαδικασία μιας και οι ίνες επηρεάζονται από διάφορους συντελεστές. Οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν τις ίνες για την καλύτερη απόδοση της διαδικασίας αυτής είναι συγκέντρωση του πολυμερούς, το μοριακό βάρος, το ιξώδες του διαλύματος, η εφαρμοζόμενη τάση, η απόσταση της σύριγγας από τον συλλέκτη, τον ρυθμό ροής και από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, το ιξώδες του διαλύματος σχετίζεται άμεσα με τη

συγκέντρωσή του, το μοριακό βάρος και τη διαμόρφωση της αλυσίδας του πολυμερούς. Η αύξηση του ιξώδους οδηγεί στον σχηματισμό περισσότερο ομοιόμορφων ινών και με μεγαλύτερη διάμετρο. Από την άλλη ο διαλύτης επηρεάζει τον σχηματισμό αλλά και το πορώδες των ινών (Castro Coelho et. al., 2021).

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές παραμέτρους η θερμοκρασία και η υγρασία παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο. Η τεχνική νανοψεκασμού (*nanospraying*) πραγματοποιείται συνήθως σε θερμοκρασίες δωματίου ενώ η υγρασία <35% είναι η ιδανικότερη για την διαδικασία αυτή, ενώ υγρασίες άνω των 35% δυσκολεύουν την διατήρηση και την παραγωγή συνεχών ινών (Rostamabadi et. al., 2020).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνική αυτή έναντι άλλων τεχνικών είναι πως είναι εύκολη στην χρήση, είναι μία οικονομική μέθοδος και είναι εύκολη η ενθυλάκωση των λειτουργικών συστατικών. Δεδομένου του ότι αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα απουσία θερμότητας, καθίσταται κατάλληλη για την ενθυλάκωση θερμοευαίσθητων συστατικών και έχει την ικανότητα της επικάλυψης ανεπιθύμητων οσμών και γεύσεων βελτιώνοντας έτσι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος (Wen et. al., 2017b). Ακόμη, η μέθοδος αυτή βελτιώνει την ενθυλάκωση προσφέροντας καλύτερη σταθερότητα αλλά και λειτουργικότητα. Παράλληλα, οι ίνες που ελήφθησαν έχουν υψηλό πορώδες και εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες (Wen et. al., 2017a).

Παρόλη την καινοτομία της τεχνική ηλεκτροπεριστροφής αλλά και της ευχρηστίας που προσφέρει, δεν παύει να είναι μια μέθοδος που έχει κάποια μειονεκτήματα. Η απόδοσή της δεν είναι από τις βέλτιστες σε σχέση με άλλες τεχνικές, περιορίζοντας την χρήση της σε βιομηχανική κλίμακα. Επιπρόσθετα, εμπίπτει και το ερώτημα της ασφάλειάς των τροφίμων μιας και οι ίνες που παράγονται μπορεί να βρίσκονται στην νανο- κλίμακα. Το ερώτημα αυτό της κατανάλωσης, δηλαδή τροφίμων με υλικά νανοκλίμακας, εξακολουθεί να παραμένει και πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου αλλά και του περιβάλλοντος (Wen et. al., 2017b).

5.4 Περιπτώσεις μελέτης

Στον πίνακα 4 φαίνονται εφαρμογές διαφόρων τεχνικών ενθυλάκωσης στα τρόφιμα. Οι τεχνικές *electrospinning* και *spray drying* έδειξαν καλά αποτελέσματα όσον αφορά

τα ποσοστά ενθυλάκωσης διαφόρων λειτουργικών συστατικών, με τις περισσότερες να ανέρχονται κοντά στο 90%. Στην περίπτωση των προβιοτικών αυξήθηκε η βιωσιμότητά τους. Μπορούμε να παρατηρήσουμε πως στις περισσότερες περιπτώσεις η κάψα που επιλέχθηκε ήταν μια πρωτεΐνη και κατά κύριο λόγο η πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Εξίσου, συστηματικά ως κάψα χρησιμοποιήθηκαν το αραβικό κόμμι και το τραγακάνθινο κόμμι. Ακόμη, οι βιταμίνες E και C αποδείχθηκε πως παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά ενθυλάκωσης με τιμές άνω του 95%. Αντίθετα, η ενθυλάκωση του λαδιού ιπποφαούς με τη τεχνική της σύνθετης συγκατακρήμνισης (*Complex coacervation*) δεν είχε καλά ποσοστά ενθυλάκωσης με τις τιμές να είναι κάτω του 50%. Τέλος, φαίνεται πως οι τεχνικές *Spray drying* ήταν αυτές που χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο είτε με τη μικρο- είτε με την νανο- τεχνική ενθυλάκωσης.

Πίνακας 3: Περιπτώσεις μελέτης ενθυλάκωσης πυρήνα (λειτουργικών συστατικών) με διάφορες κάψες.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗΣ	ΧΗΜΙΚΗ ΕΝΩΣΗ (ΠΥΡΗΝΑΣ)	ΥΛΙΚΟ ΚΑΨΑΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΠΗΓΗ
Freeze drying, Spray drying	Φαινολικές ενώσεις	Μαλτοδεξτρίνη, Αραβικό κόμμι και μείγμα τους	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 62% και 73%	Smaoui et. al., 2021
Spray drying	Καρβακρόλη	Μείγμα πηκτίνης και αλγινικού νατρίου	-	Smaoui et. al., 2021
Coacervation	β-καροτένιο	Καζεΐνη και κόμμι τραγακάνθου	-	Bharathi et. al., 2018
Fluid bed coating	β-καροτένιο	Υδροξυπροπυλοκυτταρίνη	Μέγεθος κάψας 48.6–69.5 μm , περιεκτικότητα υγρασίας 1.69–8.53 g/100 g	Bharathi et. al., 2018
Emulsification-Solvent Evaporation	Αλάτι σιδήρου (FeSO ₄ · 7H ₂ O)	Κόμμι τραγακάνθου	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωση 60,13% και μέγεθος κάψας 55,31μm	Bharathi et. al., 2018
Electrospraying	Γαλλική επιγαλλοκατεχίνη	Ζελατίνη	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 96%	Bharathi et. al., 2018

Spray Drying	Ασκορβικό οξύ	Κόμμι τραγακάνθου	Μέγεθος κάψας 9,3μm και αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 100,8%	Bharathi et. al., 2018
Spray chilling	Ασκορβικό οξύ	Στεατικό οξύ , υδρογονωμένο φυτικό λίπος	Μέγεθος κάψας 31,2μm και αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 97,8%	Bharathi et. al., 2018
Spray Freeze Drying	Βιταμίνη E	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος	-	Bharathi et. al., 2018
Complex coacervation	Λάδι ιπποφαούς	Πρωτεΐνη ορού γάλακτος και κίμμι τραγακάνθου	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 41,34 - 46,18%	de Freitas Santos et. al., 2021
Spray drying	Αιθέριο έλαιο κόλιανδρου	Χιτοζάνη, αλγινικό, μείγμα χιτοζάνη - αλγινικό και μείγμα χιτοζάνη - ινουλίνη	Δείκτης συμπίεστότητας 29,09 - 32,25%	Trojanows ka et. al., 2017
Co-extraction	Φαινολικές ενώσεις	Χλωριούχο ασβέστιο (CaCl ₂)	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 74 - 84,9% και μέγεθος κάψας 985μm	Trojanows ka et. al., 2017
Co-extraction	Προβιοτικό Lactobacillus paracasei BGP-1	Αλγινικό, μείγμα αλγινικού - shellac	Μέγεθος κάψας 0.71 και 0.86mm. Βιωσιμότητα μετά από 60 μέρες σε 25°C έως και 6logCFU/g (90% του αρχικού προβιοτικού πληθυσμού)	Trojanows ka et. al., 2017
Nano spray drying	Βιταμίνη E	Αραβικό κόμμι, μαλτοδεξτρίνη, τροποποιημένο άμυλο και πρωτεΐνη ορού γάλακτος.	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 100%	Assadpour et. al., 2019
Nano spray drying	Ισοφλαβόνη σόγιας	Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη με διαλύτη αιθανόλης	Μέγεθος κάψας 650 nm και Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 78 - 89%	Jafari et. al., 2021
Nano spray drying	Φολικό οξύ	Συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος και ανθεκτικό άμυλο του εμπορίου	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 83,9% με πρωτεΐνη ως κάψα ενώ 52,5% με κάψα αμύλου	Jafari et. al., 2021

Electrospinning	Νισίνη, φολικό οξύ	Πρωτεΐνη αμάρανθου	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης >95%	Wen et. al., 2017a
Electrospinning	Lactobacillus paracasei	Μυρμηκικό αμύλο/γλυκερόλης (SFG)	Βιωσιμότητα σε 4°C για 21 μέρες	Wen et. al., 2017a
Electrospinning	Λυκοπένιο	Δεξτράνη, συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (WPC) και χιτοζάνη	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 75%	Wen et. al., 2017b
Electrospinning	Βιταμίνη E	Δεξτράνη	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης 98%	Castro Coelho et. al., 2021
Microencapsulation	Βιταμίνη D3	Μείγμα β-λακτοσφαιρίνης και λευκής λυσοζύμης αυγού 343	Αποτελεσματικότητα ενθυλάκωσης (90%)	Chang et. al., 2021

Κεφάλαιο 6 Επίδραση λειτουργικών συστατικών στην υγεία

6.1 Υδατάνθρακες

Οι ολιγοσακχαρίτες είναι σημαντικοί για την διατροφή μιας και προσφέρουν πληθώρα θετικών επιδράσεων ως πρεβιοτικά, ενισχύουν την απορρόφηση μικροθρεπτικών συστατικών στην εντερική οδό, βοηθούν στην αφόδευση και μειώνουν τον χρόνο διέλευσης των υπολειμμάτων της τροφής εντός του παχέος εντέρου (Wen et. al., 2021). Ακόμη, οι μαλτο-ολιγοσακχαρίτες, οι οποίοι είναι εύπεπτοι ολιγοσακχαρίτες χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα όπως ποτά, γαλακτοκομικά προϊόντα, χυμούς, μαρμελάδες, κέικ και κρασιά. Μερικά από τα οφέλη που προσφέρουν με την κατανάλωσή τους είναι η βελτίωση της περισταλτικής/λειτουργίας των εντέρων και η πρόληψη της δυσκοιλιότητας (Ibrahim 2018).

Στην βιομηχανία τροφίμων γίνεται η χρήση και των φρουκτοολιγοσακχαριτών (FOS) οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα σακχαρόζης στα τρόφιμα (π.χ. γιαούρτι, μπάρες διατροφής ή και διαιτητικά ποτά). Μπορούν να χρησιμεύσουν και ως διαιτητικές ίνες βοηθώντας στη δυσκοιλιότητα και τη διάρροια, ενώ φαίνεται να βελτιώνουν την απορρόφηση των μετάλλων και να μειώνουν τα φωσφολιπίδια, τη χοληστερόλη ορού και τα τριγλυκερίδια (Ibrahim 2018).

Σε μελέτη με ποντίκια τα οποία κατανάλωσαν σιρόπι και πούδρα εμπλουτισμένα με κεστόζη για 16 εβδομάδες παρατηρήθηκαν αυξημένη αναλογία *Firmicutes/Bacteroidetes*, ενώ παράλληλα φάνηκε να έχουν αυξημένα επίπεδα SCFA (*short-chain fatty acids*), οξικό και βουτυρικό οξύ (Kim et. al., 2021). Ακόμη, έγινε εμπλουτισμός παστεριωμένου γάλακτος με ολιγοσακχαρίτες GOS, MOS και FOS το οποίο χορηγήθηκε σε ποντίκια για 4 εβδομάδες. Αποτέλεσμα ήταν να αυξηθεί η ποικιλομορφία των εντερικών μικροβίων με τα MOS να έχουν την μεγαλύτερη επίδραση, ενώ αντιθέτως η μικροβιακή συγκέντρωση αυξήθηκε περισσότερο με τα GOS. Οι βακτηριακοί πληθυσμοί που αναπτύχθηκαν κυρίως ήταν οι *Bacteroidetes*, *Firmicutes* και *Proteobacteria*. Ο πληθυσμός των *Lactobacillus* αυξήθηκε με τα FOS (29,8%), ενώ στα *Bacteroides* παρατηρήθηκε αύξηση 23,02% με χρήση GOS, ενώ τα MOS είχαν την μεγαλύτερη επίδραση στα *Parabacteroides* (4,88%) (Wen et. al., 2021).

Επιπρόσθετα, οι ολιγοσακχαρίτες είναι χρήσιμοι και για τα βρέφη, ειδικά οι ευρισκόμενοι στο μητρικό γάλα. Με την κατανάλωσή τους, τα βρέφη, μπορούν να

προστατευτούν από λοιμώξεις εμποδίζοντας την προσκόλληση παθογόνων όπως ο αναπνευστικός συγκυτιακός ιός, ο οποίος είναι κοινός ιός στα βρέφη. Έχει παρατηρηθεί, πως η κατανάλωση του μητρικού γάλακτος για 3 ή περισσότερους μήνες μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο εισαγωγής στο νοσοκομείο λόγω των λοιμώξεων από ιούς του αναπνευστικού συστήματος τους πρώτους 6 μήνες ενώ παράλληλα είναι καλή πηγή σιαλικού οξέος (*sialic acid*). Το σιαλικό οξύ βρίσκεται στη φαιά ουσία του εγκεφάλου και η συγκέντρωσή της, σε σχέση με το αγελαδινό, είναι μεγαλύτερη όταν καταναλώνεται από μητρικό γάλα από τα βρέφη. Μελέτες έχουν δείξει πως το σιαλικό οξύ βελτιώνει τις ικανότητες μάθησης σε ποντίκια ενώ σε μελέτη με ινδικά χοιρίδια που κατανάλωσαν τροφή εμπλουτισμένη με σιαλικό οξύ πέρα από τις καλύτερες ικανότητες μάθησης φάνηκε να έχουν αυξημένη μνήμη και σιαλυλιωμένες πρωτεΐνες εγκεφάλου (Verardo et. al., 2018).

Τα FOS παρόλο που έχουν θετικές επιδράσεις στον οργανισμό, η περίσσεια κατανάλωσή τους, μεγαλύτερη των 20 γραμμαρίων/ημέρα για τους ενήλικες, μπορεί να προκαλέσει εντερικά αέρια (μετεωρισμός), κράμπες στομάχου, διάρροια και μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ασθενείς που έχουν σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου (*inflammatory bowel disease-IBS*) (Ibrahim 2018).

Από την άλλη, οι πολυσακχαρίτες είναι βασικά συστατικά για τον ανθρώπινο οργανισμό παρόλο που δεν μπορούν να απορροφηθούν ή να επεξεργαστούν (με εξαίρεση το άμυλο). Παρόλα αυτά χρησιμεύουν ως σημαντική πηγή για το εντερικό μικροβίωμα ως πρεβιοτικά (Song et. al., 2020). Οι πολυσακχαρίτες βρίσκονται σε τρόφιμα όπως διάφορα φυτά, ζώα, μικρόβια και φύκια ενώ στην βιομηχανία τροφίμων βρίσκουν εφαρμογή ως γαλακτωματοποιητές, πηκτικοί παράγοντες ενυδατικοί παράγοντες, κροκιδωτικά και πρόσθετα τροφίμων (Adetunji et. al., 2021).

Οι πολυσακχαρίτες μπορούν να βοηθήσουν στην προστασία του εντερικού επιθηλίου ώστε να αποτραπεί η ζημιά σε αυτό, ρυθμίζοντας την έκφραση πρωτεϊνών στα εντερικά επιθηλιακά κύτταρα ενώ ταυτόχρονα παίζουν σημαντικό αμυντικό ρόλο έναντι της δράσης επιβλαβών ουσιών. Η συγκεκριμένη λειτουργία φάνηκε σε μελέτη με ποντίκια στα οποία χορηγήθηκε φυτικός πολυσακχαρίτης (*Dendrobium huoshanense*) όπου έγινε έκφραση πρωτεϊνών (*Occludin* και του *ZO-1*) στο έντερο. Ακόμη, έχει φανεί να είναι υπεύθυνα για την έκκριση ορισμένων κυτοκινών και ορμονών οι οποίες βοηθούν στην άμυνα του εντέρου. Σε μελέτη με ποντίκια παρατηρήθηκε πως η χρήση

πολυσακχαριτών αύξησε ορισμένες κυτοκίνες και οι ανοσοσφαιρίνες *IgA* και *IgG* (Song et. al., 2020).

Ακόμη έχει παρατηρηθεί πως οι πολυσακχαρίτες μπορούν να αποικοδομηθούν σε *SCFA* με τα κυριότερα να είναι τα οξικά, προπιονικά και βουτυρικά οξέα. Παρόλα αυτά ο τύπος του πολυσακχαρίτη παίζει ρόλο στον τύπο των *SCFA* που θα παραχθεί. Ένας ακόμα παράγοντας στον οποίο συνεισφέρουν οι πολυσακχαρίτες είναι η επιβράδυνση της γαστρικής κένωσης, στη βελτίωση λειτουργίας του εντέρου, στη ρύθμιση εντερικού μικροβιώματος και στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος. Οι διαιτητικές ίνες μπορούν να βελτιώσουν τον μεταβολισμό της γλυκόζης, ενώ διατροφή σε συνδυασμό με υδατάνθρακες μπορεί να μειώσει τα επίπεδα χοληστερόλης στο πλάσμα σε διαβητικούς ασθενείς χωρίς την αύξηση της ινσουλίνης και τριγλυκεριδίων. Στη μελέτη των Yue et al. (2015) έγινε χορήγηση πολυσακχαριτών από τζίτζιφιές σε αρουραίους με κολίτιδα για την παρακολούθηση της δράσης τους έναντι της φλεγμονώδους νόσου του εντέρου (*IBD*). Η νόσος αυτή μπορεί να προκαλέσει διάρροια, εμετό, αιμάτωση, απώλεια βάρους και πόνο. Φάνηκε πως μειώθηκε η φλεγμονή λόγω της μείωσης της δραστηριότητας των *TNF-α*, *IL-1β*, *IL-6* και *MPO*, ενώ αυξήθηκε η δραστηριότητα των *AMPK* (Zhang et. al., 2018).

Ένα από τα μειονεκτήματα των πολυσακχαριτών είναι πως το μεθάνιο που παράγεται κατά την κατανάλωσή τους από το μικροβίωμα του εντέρου έχει φανεί να επηρεάζει τη νευρομυϊκή λειτουργία του γαστρεντερικού συστήματος. Ακόμη, φάνηκε να σχετίζεται και με άλλες ασθένειες όπως ο καρκίνος του παχέος εντέρου, το σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου και του εκκολπώματος (Song et. al., 2020). Παράλληλα, είναι υπεύθυνα για την τερηδόνα μιας και οι υδατάνθρακες που καταναλώνονται βοηθούν την ανάπτυξη μικροβιώματος του στόματος με αποτέλεσμα την παραγωγή κυρίως του γαλακτικού οξέος. Η έκθεση στο οξύ μπορεί να προκαλέσει οδοντική πλάκα (Benahmed et. al., 2021).

6.2 Λιπαρά οξέα

Τα λιπαρά οξέα αποτελούν καλή πηγή δομικών συστατικών για τα κύτταρα, μπορούν να προμηθεύσουν τον ανθρώπινο οργανισμό με ενέργεια αλλά και να έχουν επίπτωση στην υγεία του ατόμου. Είναι γενικά αποδεκτό πως η κατανάλωση των ω-3 *PUFA* μπορεί να βοηθήσει στην μείωση φλεγμονώδων ασθενειών όπως της

καρδιαγγειακής νόσου (CVD), της μη αλκοολικής στεατοηπατίτιδας και της αντίστασης στην ινσουλίνη ενώ η αναλογία των λιπαρών οξέων, συγκεκριμένα των ω-3 και ω-6, παίζει σημαντικό ρόλο στις μεταβολικές και φλεγμονώδεις διεργασίες (Fan et. al., 2019). Ακόμα, Τα SCFA μπορούν να επιδράσουν θετικά στο ανθρώπινο πεπτικό σύστημα ως διαιτητικές ίνες ή και ως πρεβιοτικά επιδρώντας θετικά στην μικροχλωρίδα του εντέρου. Τέλος, τα SCFA βοηθούν τον μεταβολισμό των β-κυττάρων συμβάλλοντας στην μείωση εμφάνισης ασθενειών όπως ο διαβήτης, ενώ παράλληλα μπορούν να βοηθήσουν και στην παχυσαρκία ρυθμίζοντας τις ορμόνες του εντέρου (González-Bosch et. al., 2021).

Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί πως η κατανάλωση των ω-3 PUFA (*α-linolenic acid-ALA*, *eicosapentaenoic acid-EPA* και *docosahexaenoic acid-DHA*) μπορούν να μειώσουν τις οξειδωτικές βλάβες και κατ' επέκταση τις ασθένειες σχετιζόμενες με καρδιακά προβλήματα, τον καρκίνο και στον νευροεκφυλισμό. Ακόμη, έχουν φανεί θετικές επιδράσεις στην καρδιά από την κατανάλωση θαλασσινών προϊόντων πλούσιων σε EPA/DHA και φυτών με ALA. Για παράδειγμα τα θαλασσινά έχει αναγνωριστεί πως έχουν την ικανότητα να μειώσουν την πιθανότητα εμφάνισης της στεφανιαίας νόσου, γεγονός που φάνηκε σε διάφορες μελέτες με ζώα τα οποία κατανάλωναν ω-3 PUFA (Joumard-Cubizolles et. al., 2017). Παράδειγμα αποτελεί η μελέτη που πραγματοποίησαν οι Fan et. al., (2021) οι οποίοι τάισαν ποντίκια, με συμβατικό βούτυρο, βούτυρο εμπλουτισμένο με ω-3 ή μαργαρίνη. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα ποντίκια που κατανάλωσαν μαργαρίνη παρουσίασαν αύξηση βάρους σε σχέση με τα υπόλοιπα. Παρόλο που η κατανάλωση βουτύρου εμπλουτισμένου με ω-3 δεν είχε επίδραση στο συνολικό βάρος των ποντικών, η μάζα λίπους μειώθηκε. Παράλληλα, μειώθηκαν τα επίπεδα γλυκόζης και ινσουλίνης (Fan et. al., 2019).

Ο εγκέφαλος περιέχει μεγάλες ποσότητες λιπαρών οξέων τα οποία σχετίζονται με την εξέλιξη των γνωστικών ικανοτήτων στα πρωτεύοντα ζώα με τα κυρίως λιπαρά να αποτελούν τα PUFA μακράς αλυσίδας (>90%). Τα PUFA αποτελούν το 50-70% του ξηρού βάρους του εγκεφάλου και είναι σημαντικά για την ανάπτυξη, την λειτουργία της μεμβράνης και των νευροδιαβιβαστών. Ακόμη, το 30% της φαιάς ουσίας αποτελείται από DHA33 ενώ η πρόσληψη ω-3 λιπαρών έχει θετικές επιδράσεις σε νευροεκφυλιστικές διαταραχές όπως το αλτσχάιμερ και το πάρκινσον. Η ανεπάρκεια των λιπαρών μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ψυχικών διαταραχών όπως κατάθλιψη,

άνοια, σχιζοφρένεια, διπολική διαταραχή και διαταραχή ελλειμματικής προσοχής/υπερκινητικότητας (Lange 2019).

Επιπρόσθετα, τα *PUFA* μπορούν να ρυθμίσουν διάφορες εγκεφαλικές διεργασίες και μπορούν να συμβάλουν στην διάθεση αλλά και στις γνωστικές λειτουργίες. Έχει φανεί πως η ανεπάρκεια των ω -3 *PUFA* είναι σχετιζόμενη με την κατάθλιψη λόγω μειωμένου νευροτροφικού παράγοντα του εγκεφάλου (*brain derived neurotrophic factor*), μειωμένα επίπεδα σεροτονίνης και αυξημένη συγκέντρωση του βήτα αμυλοειδούς (Αβ) ενώ με την πρόσληψή της ω -3 μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση του ασθενούς (Morgesea et. al., 2017).

Παρόλη την θετική επίδραση που έχουν τα ω -3 και ω -6 λιπαρά οξέα στην ψυχική υγεία του ατόμου, τα αποτελέσματα είναι αμφίβολα. Για παράδειγμα, έγινε χορήγηση *DHA* σε άτομα ηλικίας >55 ετών για 24 εβδομάδες. Παρατηρήθηκε επίσης κάποια αλλαγή στις γνωστικές τους ικανότητες ενώ στην ανασκόπηση *Cochrane* δεν φάνηκε η κατανάλωση ω -3 λιπαρών οξέων να έχει ευεργετικές ιδιότητες στις γνωστικές λειτουργίες των ηλικιωμένων. Αντίθετα, στη μελέτη των Chiu et. al., (2008) με θεραπεία ω -3 λιπαρών (για 24 εβδομάδες) έδειξε θετικά αποτελέσματα σε ηλικιωμένους με εξασθενημένη γνωστική ικανότητα. Αργότερα, παρατηρήθηκε πως η χρήση *DHA* και *EPA* για 6 μήνες βελτίωσε τα συμπτώματα κατάθλιψης σε ασθενείς (Lange 2019).

6.3 Αντιοξειδωτικά

Τα αντιοξειδωτικά μπορούν να προσφέρουν μια βελτιωμένη ποιότητα ζωής, όταν καταναλωθούν, έχοντας παράλληλα ευεργετικές ιδιότητες έναντι διαφόρων ασθενειών όπως, τον καρκίνο, τα καρδιαγγειακά και νευρολογικές διαταραχές (Gil et. al., 2022). Τα φαινολικά οξέα υπάρχουν σε διάφορες φυτικές πηγές όπως φρούτα, λαχανικά, μπαχαρικά και δημητριακά. Τα φαινολικά οξέα βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα στα λουλούδια, τις ρίζες, τα φυλλώδη και τα βλαστικά λαχανικά από ότι στα φρούτα. Έχουν αντιοξειδωτική δράση εμποδίζοντας την κατάλυση μετάλλων και τον σχηματισμό ελεύθερων ριζών. Συμβάλλουν στη συνολική βελτίωση της υγείας, βοηθούν στην πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και διαφόρων μορφών καρκίνου, προστατεύουν από ασθένειες οξειδωτικής βλάβης και παρουσιάζουν αντιμικροβιακές,

αντιμεταλλαξιογόνες, υπογλυκαιμικές και αντιαιμοπεταλιακές συσσωρευτικές δραστηριότητες (Rashmi et. al., 2020).

Τα φύλλα τσαγιού είναι πλούσια σε πολυφαινόλες με τα κύρια να είναι τα φαινολικά οξέα, οι υδρολυόμενες ταννίνες, οι φλαβαν-3-όλες και οι θεαφλαβίνες. Έχει παρατηρηθεί πως οι πολυφαινόλες τσαγιού έχουν αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις δράσεις. Οι πολυφαινόλες με την κατανάλωσή τους μπορεί να απορροφηθούν από τον οργανισμό και να έχουν ευεργετικές δράσεις, όμως υπάρχει και ένα ποσοστό το οποίο δεν δύναται να απορροφηθεί από τον οργανισμό αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την μικροχλωρίδα του εντέρου ως πρεβιοτικά. Παρατηρήθηκε πως η χορήγηση πολυφαινολικών ουσιών τσαγιού σε ποντίκια με φλεγμονώδη νόσο του εντέρου (*Inflammatory Bowel Disease-IBD*) μπορεί να μειώσει την θνησιμότητα, την φλεγμονή του εντέρου και τις αρνητικές επιπτώσεις της ασθένειας όπως η διάρροια και η απώλεια βάρους. Με την χρήση/κατανάλωση διαφόρων τσαγιών για 14 ημέρες παρατηρήθηκαν λιγότερες εντερικές επιπλοκές, φλεγμονές και οξειδωτικές δραστηριότητες ενζύμων. Συγκεκριμένα οι πολυφαινόλες του πράσινου τσαγιού βελτίωσαν την οξείδωση στο έντερο των ζώων και μείωσαν της φλεγμονές *IL-6*, *TNF-a* και του αμυλοειδούς A (Truong et. al., 2022).

Από την άλλη τα μούρα έχουν και αυτά υψηλές ποσότητες αντιοξειδωτικών κυρίως φαινολικά οξέα και φλαβονοειδή (ιδιαίτερα ανθοκυανίνες). Τα φαινολικά των μούρων μπορούν να ρυθμίσουν την έκφραση διαφόρων γονιδίων και πρωτεϊνών σχετιζόμενων με την απόπτωση, τη φλεγμονή, την άμυνα έναντι της οξείδωσης, το μεταβολισμό των λιπιδίων και τη μιτοχονδριακή βιογένεση. Σε μελέτη των Park et al. (2015) σε άνδρες καπνιστές, παρατηρήθηκε πως η κατανάλωση λυοφιλοποιημένου μαύρου βατόμουρου (30γρ) για 4 εβδομάδες αύξησε τις δραστηριότητες των ενζύμων *CAT* και *GPx*, το οποίο μπόρεσε να μειώσει το οξειδωτικό στρες προκαλούμενο από το τσιγάρο. Σε άλλη μελέτη φάνηκε πως η κατανάλωση φράουλας από αρουραίους είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση κατά 16,9-55,9% στις αντιοξειδωτικές ενζυμικές δραστηριότητες (*GPx*, *GR*, *SOD* και *CAT*), ενώ παρατηρήθηκε μείωση κατά 17,8% των επιπέδων *ROS* και μείωση έως και 47,4% των βιοδεικτών πλάσματος για βλάβες πρωτεϊνών, λιπιδίων και DNA (Pap et. al., 2021).

Στην περίπτωση του μελιού όταν καταναλωθεί μπορεί να έχει διάφορες θετικές επιδράσεις στον οργανισμό όπως αντιφλεγμονώδεις, αντιβακτηριδιακές,

αντιμυκητιακές και αντιοξειδωτικές επιδράσεις. Το μέλι περιέχει και πολυφαινόλες με τις κύριες να είναι τα φλαβονοειδή, τα φαινολικά οξέα και τα παράγωγά τους, υδροξυλοκινναμικά οξέα ή άλατα και υδροξυ-βενζοϊκά οξέα. Οι πολυφαινόλες αυτές περιέχονται σε συγκέντρωση των 30%. Στη μελέτη των Maleki et al. (2012, 2016), φάνηκε πως το μέλι είχε επιδράσεις στο ανοσοποιητικό σύστημα των αθλητών (ποδηλάτες). Μετά από την κατανάλωση του μελιού παρατηρήθηκε αύξηση στην οξειδωτική βλάβη του *DNA* των λεμφοκυττάρων, των επιπέδων κυτοκινών στο αίμα, των βιοδεικτών υπεροξειδωσης και του αριθμού των λεμφοκυττάρων, έπειτα από μέτρια και εντατική άθληση για 16 εβδομάδες. Ακόμη, φάνηκε πως τα φαινολικά οξέα και τα φλαβονοειδή έχουν προστατευτικές ιδιότητες των ενδοθηλιακών κυτταρικών γραμμών από την οξειδωτική βλάβη, ενώ οι υδατάνθρακες του μελιού διεγείρουν το ανοσοποιητικό σύστημα μετά από μια εντατική προπόνηση (Ilia et. al., 2020).

Ακόμη, πέρα από τα φυσικά αντιοξειδωτικά υπάρχουν και τα συνθετικά φαινολικά αντιοξειδωτικά (*SPA*) τα οποία χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα και στις συσκευασίες τροφίμων. Τα συστατικά αυτά έχουν ισχυρή αντιοξειδωτική ικανότητα με μερικά από αυτά να περιλαμβάνουν τη βουτυλική υδροξυανισόλη (*BHA*), τη διβουτυλική υδροξυτολουόλιο (*BHT*), τη τριτοταγής βουτυλική υδροκινόνη (*TBHQ*) και τα άλατα του γαλλικού οξέος. Τα συστατικά αυτά μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό ή και να βρεθούν στο περιβάλλον προκαλώντας διάφορες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, συγκεντρώσεις *BHT* έχουν παρατηρηθεί σε αναλογίες της τάξης *ppm* και *ppb* σε διάφορους χώρους όπως σκόνες εσωτερικών χώρων, επιφανειακά ύδατα, υπόγεια ύδατα, οικιακά λύματα και έδαφος. Για παράδειγμα οι Liu και Mabury (2018) σύλλεξαν δείγματα ορού από κατοίκους των ΗΠΑ και παρατήρησαν πως οι συγκεντρώσεις των *SPA* κυμαίνονταν από 0,460–34,7 $\mu\text{g/L}$. Παρατηρήθηκε πως η κύρια προσβολή από τα συνθετικά αυτά αντιοξειδωτικά στον ανθρώπινο οργανισμό προέρχεται από την κατανάλωση ενθυλακωμένων τροφίμων που τα περιέχουν. Επειδή η τοξικότητα του *BHT* είναι χαμηλή, χρησιμοποιείται συχνά. Παρόλα αυτά υπάρχουν μελέτες που υποδεικνύουν που οι συγκεντρώσεις των *BHT-Q* και *BHT-CHO* της τάξεως των 200 $\mu\text{g/L}$ μπορούν να προκαλέσουν βλάβη στο *DNA* και απόπτωση στην κυτταρική σειρά λεμφώματος *Burkitt's BJAB* και στην ανθρώπινη μυελογενή λευχαιμική κυτταρική σειρά *HL 60*. Ακόμη οι Du et al. (2019) παρατήρησαν πως η έκθεση εγκύων γυναικών στα *SPA* στην

νότια Κίνα είχε αρνητικά αποτελέσματα στον βιομετασχηματισμό προκαλώντας έτσι μεταστατικό καρκίνο (Wang et. al., 2021).

6.4 Πρωτεΐνες

Η επίδραση που θα έχει η πρωτεΐνη στην υγεία του ατόμου εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του περιοριστικού αμινοξέος, μιας και ο οργανισμός δεν έχει την ικανότητα να τα συνθέσει. Για να παρέχει λειτουργικότητα θα πρέπει να έχει καλή πεπτικότητα από τον οργανισμό για να μπορέσει να τα χρησιμοποιήσει καταλλήλως για τις λειτουργίες του. Οι πρωτεΐνες προερχόμενες από τα ζώα (και τα έντομα) έχουν υψηλότερη θρεπτική αξία σε σχέση με τις πρωτεΐνες φυτικής προελεύσεως, επειδή η σύνθεση των ζωικών αμινοξέων μοιάζει περισσότερο με την ανθρώπινη σύνθεση πρωτεϊνών (Weindl et. al., 2020).

Παρόλο που η κατανάλωση πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης (κυρίως κόκκινου και επεξεργασμένου κρέατος) έχει υψηλότερη θρεπτική αξία, η συχνή τους κατανάλωση έχει παρατηρηθεί να σχετίζεται με παθήσεις όπως ο καρκίνος, καρδιαγγειακή και χρόνια νεφρική νόσο (Kitada et. al., 2019). Επίσης, η κατανάλωσή τους φάνηκε να σχετίζεται με αύξηση κινδύνου εμφάνισης σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2. Ωστόσο, υπάρχουν μελέτες που υποδεικνύουν κάποιους εξειδικευμένους μηχανισμούς των πρωτεϊνών πως μπορούν να προσφέρουν θεραπείες έναντι μεταβολικών ασθενειών (Weindl et. al., 2020).

Ως προς την θετική επίδρασή τους στον οργανισμό έχει παρατηρηθεί πως η κατανάλωση τροφής πλούσια σε πρωτεΐνες βοήθησε στην μείωση αλλά και τη διατήρηση του βάρους, της αρτηριακής πίεσης και των λιπιδίων στο αίμα. Παράλληλα η κατανάλωση γαλακτοκομικών πρωτεϊνών μείωσε τον κίνδυνο του διαβήτη τύπου 2, της παχυσαρκίας και της υπέρτασης, σε σχέση με την κατανάλωση κρεάτων (Riseberg et. al., 2021). Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε πως με τη κατανάλωση A1, A2 και β-καζεΐνης, μειώθηκε η συγκέντρωση ινσουλίνης στο πλάσμα μετά από 6 και 12 εβδομάδες χορήγησης (Daniloski et. al., 2021).

Η πρωτεΐνη του μπακαλιάρου σε σχέση με άλλες πηγές πρωτεΐνης φάνηκε να αποτρέπει την παχυσαρκία και να προάγει την ανοχή στη γλυκόζη προερχόμενα από την διατροφή. Σε μελέτη με αρουραίους οι οποίοι εκτέθηκαν σε διατροφή υψηλής ποσότητας λιπαρών οξέων σε συνδυασμό με πρωτεΐνη μπακαλιάρου, σόγιας και

καζεΐνηη. Διαπιστώθηκε, έπειτα από 4 εβδομάδες, πως οι πρωτεΐνες κυρίως του μπακαλιάρου και της σόγιας είχαν καλύτερα αποτελέσματα ως προς την αντοχή των αρουραίων στη γλυκόζη αλλά και μείωσε τις συγκεντρώσεις της ινσουλίνης. Σε παρόμοια μελέτη με κατανάλωση πρωτεϊνών από μπακαλιάρο, χτένι και καζεΐνη φάνηκε μείωση στη λιπώδη μάζα και είχε ίδια αποτελέσματα ως προς τη γλυκόζη (Fjeldheim Dale et. al., 2019).

Ακόμη, οι πρωτεΐνες μπορεί να έχουν και δράσεις έναντι βακτηρίων, όπως για παράδειγμα η 2s αλβουμίνη. Η πρωτεΐνη αυτή φάνηκε να έχει θετικά αποτελέσματα έναντι *Gram* θετικών βακτηρίων όπως *Pseudomonas aeruginosa*, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη λοίμωξη του αναπνευστικού, *Bacillus subtilis* και του *Bacillus cereus*, υπεύθυνους για περιπτώσεις τροφικής δηλητηρίασης αλλά και έναντι *gram* αρνητικών όπως η *Klebsiella* που προκαλεί πνευμονία, ουρολοίμωξη και άλλες λοιμώξεις. Συγκεκριμένα, στη μελέτη των Souza et. al., (2016) φάνηκε πως η χρήση της 2s αλβουμίνης σε ποσότητες $0,26 \mu\text{g/mL}^{-1}$ είχε ανασταλτική δράση σε βακτήρια. Παράλληλα έχουν αναφερθεί και δράσεις του έναντι παθογόνων μυκήτων όπως αυτών που προκαλούν λοιμώξεις σε στοματικές και κολπικές κοιλότητες (Souza 2020).

Ενδιαφέρον έχει και ο παράγοντας της ηλικίας για την θετική επίδραση των πρωτεϊνών. Στην ηλικιακή ομάδα των 50 έως 65 ετών παρατηρήθηκε πως η διατροφή με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είχε σημαντική αύξηση κινδύνου θνησιμότητας από όλες τις αιτίες (περίπου 74% αύξηση) ενώ η κατανάλωση χαμηλών ποσοστών πρωτεΐνης είχε θετικά αποτελέσματα. Αντιθέτως, σε ηλικίες 65 ετών και άνω, η υψηλή κατανάλωση πρωτεΐνης φάνηκε να μειώνει τη θνησιμότητα από κάθε αιτία (21 με 28%) ενώ είχε θετικά αποτελέσματα και στον καρκίνο όπου η θνησιμότητα μειώθηκε κατά 60% (Weindl et. al., 2020; Kitada et. al., 2019). Τέλος, διαπιστώθηκε πως με τη χορήγηση πρωτεϊνών από κακάο (150 mg/kg/ημέρα) σε παχύσαρκους αρουραίους με υψηλή λιπαρή δίαιτα, το βάρος και ο λευκός λιπώδης ιστός ήταν σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με αρουραίους που δεν κατανάλωσαν πρωτεΐνες (Domínguez-Pérez et. al., 2020).

6.5 Βιταμίνες

Η βιταμίνη D είναι μία σημαντική βιταμίνη της οποίας η συγκέντρωση επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου. Μία επίπτωση της έλλειψής της, όταν τα επίπεδα 25(OH)D

είναι χαμηλότερα των 20 nmol/L, είναι η μειωμένη απορρόφηση του ασβεστίου από το έντερο ενώ σε περιπτώσεις που η 1,25(OH)2D πέσει ακόμα χαμηλότερα τότε μειώνεται και η απορρόφηση των φωσφορικών αλάτων (Ribbans et. al., 2020). Ακόμη, υπάρχουν αρκετές ενδείξεις που αναφέρουν πως η ανεπάρκειά της έχει σχέση με την υψηλή αρτηριακή πίεση (Guía-Galipienso et. al., 2021).

Έχει παρατηρηθεί πως η βιταμίνη D παίζει ρόλο στην ρύθμιση των T κυττάρων, ειδικά σε περιπτώσεις των αυτοάνοσων. Αναστέλει την ανάπτυξη των T βοηθητικών (T.B.) 1 και 17 ενώ προάγει την ανάπτυξη των TB2. Παράλληλα, ελέγχει τη διαφοροποίηση των πρόδρομων κυττάρων B (Ahmad et. al., 2021; Akimbekov et. al., 2020). Ο διαβήτης τύπου 1 πιστεύεται πως σχετίζεται με την ανάπτυξη των TB1 διαταράσσοντας την παραγωγή ινσουλίνης από τα β παγκρεατικά κύτταρα. Η καθημερινή χορήγηση βιταμίνης D3 σε ποσότητες 2000 IU τον πρώτο χρόνο ζωής των παιδιών έδειξε μείωση εμφάνισης διαβήτη τύπου 1 κατά 88% (Charoenngam et. al., 2020).

Στην περίπτωση της σκλήρυνσης κατά πλάκας, που θεωρείται ως μία αυτοάνοση ασθένεια έναντι του προστατευτικού περιβλήματος μυελίνης, η αύξηση της συγκέντρωσης του 25OHD σχετίστηκε με μειωμένες πιθανότητες εμφάνισης παιδιατρικής σκλήρυνσης κατά πλάκας (Mailhot et. al., 2020). Επιπλέον, παρατηρήθηκε πως η κατανάλωση βιταμίνης D από τις γυναίκες, άνω των 400 IU/ημέρα, μείωσε τον κίνδυνο ανάπτυξης της κατά 41% (Charoenngam et. al., 2020). Ενδιαφέρον δείχνει η χορήγηση της βιταμίνης D στην περίπτωση της ψωρίασης, η οποία είναι μία δερματική πάθηση. Σε εξάμηνη μελέτη φάνηκε πως η χορήγηση βιταμίνης D2 των 60000 IU μια φορά ανά 2 εβδομάδες είχε σημαντική βελτίωση της ασθένειας. Παρόμοια αποτελέσματα είχε και η χορήγηση της D3 των 35000 IU σε ασθενείς με ψωρίαση, ενώ στην περίπτωση ασθενών με λεύκη παρατηρήθηκε επαναμελάγχρωση κατά 25% με 75% στους 14 από τους 16 ασθενείς (Charoenngam et. al., 2020).

Άλλη μία σημαντική βιταμίνη είναι η C της οποίας η συγκέντρωση βρίσκεται μεταξύ των περιοχών του εγκεφάλου, του ιππόκαμπου, του ινιακού λοβού και του μετωπιαίου φλοιού. Η ανεπάρκειά της σχετίζεται με ανωμαλίες στην ανάπτυξη του εγκεφάλου ενώ παράλληλα μειώνεται και ο όγκος του ιππόκαμπου κατά 10-15% με τη συνέπεια τη διαταραχή της μάθησης και μνήμης (Moritz et. al., 2020). Φαίνεται πως

επιδρά και στα T λεμφοκύτταρα διεγείροντας την διαφοροποίηση και τον πολλαπλασιασμό τους ενώ σχετίζεται και με την διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ των TB1 και TB2. Σε μελέτη με στρατιώτες, η κατανάλωση της βιταμίνης C ήταν στα 6γρ/ημέρα για 30 ημέρες και το αποτέλεσμα έδειξε χαμηλότερη συχνότητα κρυολογήματος κατά 0,8 φορές (Cerullo et. al., 2020). Επιπλέον, η χορήγηση συνδυασμού της βιταμίνης C (1000mg κάθε 8 ώρες) και E για 28 ημέρες σε χειρουργικά βαρείς ασθενείς έδειξε μείωση της πιθανότητας εμφάνισης οξείας πνευμονικής βλάβης και πολυοργανικής ανεπάρκειας (Kashiouris et. al., 2020).

Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε πως η έκφραση των SVCT2 γίνεται σε μεγάλο βαθμό στα καρκινικά βλαστοκύτταρα, έτσι έχει ενδιαφέρον η χρήση τους για την επιλεκτική θανάτωση των κυττάρων αυτών. Φάνηκε ακόμη πως η χορήγηση της βιταμίνης C είναι ικανή να μειώσει την μετάσταση του μελανώματος *B16FO* και των καρκινικών κυττάρων του μαστού 4T1 σε ποντίκια (Fu et. al., 2020). Τέλος, η σημαντικότητά του φαίνεται και στις εγκεφαλικές δραστηριότητες μιας και έχει αποδειχθεί πως βελτιώνει την διάθεση και το άγχος, ενώ παρατηρήθηκε και η αντικαταθλιπτική δράση λόγω της συσχέτισης με την ενεργοποίηση των α1, α2 και β αδρενεργικών υποδοχέων (Moritz et. al., 2020).

Οι βιταμίνες συμπλέγματος B, είναι αρκετά σημαντικές για την υγεία και η ανεπάρκειά τους προκαλεί αρκετές παθήσεις. Για παράδειγμα η ανεπάρκεια της βιταμίνης B12 οδηγεί σε μεγαλοβλαστική αναιμία, υπερομοκυστεϊναιμία, μεθυλμαλονική οξυαιμία, κακοήθης αναιμία που είναι μια χρόνια γαστρίτιδα τύπου A και άλλες παθήσεις (Li et. al., 2020; Lurz et. al., 2020). Από την άλλη η ανεπάρκεια της βιταμίνης B2 προκαλεί νευροεκφυλισμό, νευροπάθεια και μειωμένο σχηματισμό μυελίνης. Είναι μια βιταμίνη που βοηθά κατά της ημικρανίας, της νόσου πάρκινσον και την κατάθλιψη. Ενώ η ανεπάρκεια βιταμίνης B3 προκαλεί πελλάγρα, η οποία εκδηλώνεται με διάρροια, δερματίτιδα, συμπτώματα παρόμοια με την άνοια και ψύχωση που παρομοιάζεται με τη σχιζοφρένεια (Rudzki et. al., 2021).

Η εμπλούτιση του γιαουρτιού με βιταμίνη D μπορεί να έχει πολλές ευεργετικές ιδιότητες στον άνθρωπο όπως την βελτίωση του μεταβολισμού της γλυκόζης, μείωση των επιπέδων της παραθυρεοειδούς ορμόνης, βελτίωση της 25OHD του ορού και το προφίλ λιπιδίων. Έτσι σε μελέτη, όπου έγινε ενίσχυση γιαουρτιού με βιταμίνη D είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της 25OHD ορού κατά 31,00 nmol/L. Παράλληλα,

παρατηρήθηκε μείωση της παραθυρεοειδικής ορμόνης κατά 15,47 ng/L, μειώθηκε το σωματικό βάρος κατά 0,92 κιλά, η ολική χοληστερόλη κατά 38.38. mg/dL και τα τριγλυκερίδια κατά 30,12 mg/dL. Σε άλλη μελέτη φάνηκε πως μειώθηκαν τα επίπεδα τριγλυκεριδίων (από 29,7 έως 63,2 mg/dL) ενώ ακόμη παρατηρήθηκε αύξηση της HDL περίπου κατά 3 mg/dL (Gasparri et. al., 2019).

Ακόμη, η βιταμίνη D και ο Fe χορηγήθηκαν σε νεαρές γυναίκες με χαμηλά επίπεδα Fe μέσω κατανάλωσης εμπλουτισμένου αποβουτυρωμένου γάλακτος για 16 εβδομάδες. Παρατηρήθηκε πως, μειώθηκε η αρτηριακή πίεση χωρίς όμως να επηρεαστούν τα επίπεδα της HDL χοληστερόλης, της γλυκόζης και των τριγλυκεριδίων. Σε άλλη μελέτη με κατανάλωση γιαουρτιού ενισχυμένου με την βιταμίνη D σε γυναίκες με σακχαρώδη διαβήτη κύησης, φάνηκαν μειωμένα επίπεδα τριγλυκεριδίων, LDL χοληστερόλης, ολικής χοληστερόλης και αναλογία TC/HDL χοληστερόλης (Soto-Méndez et. al., 2019). Παράλληλα, σε χυμό μήλου πραγματοποιήθηκε προσθήκη βιταμίνης C (για την αποφυγή ενζυματικής μελάνωσης), ενώ έπειτα προστέθηκε στον χυμό βιταμίνη B2 σε ποσότητες 1,3 mg/240 mL. Αποτέλεσμα της κατανάλωσης του ενισχυμένου χυμού για 28 ημέρες ήταν η αύξηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού, μειώθηκαν οι βαθμολογίες κόπωσης (Fatigue Severity Scale-FSS), βελτιώθηκαν τα επίπεδα της μηλονοδιαδεύδης, το μέσο σωματικό λίπος μειώθηκε και η μυϊκή μάζα του σώματος αυξήθηκε ελάχιστα (Fouad et. al., 2021).

Σε μελέτη με παιδιά ηλικίας 6 έως 9,5 μηνών τα οποία κατανάλωναν καθημερινά τρόφιμα ενισχυμένα με βιταμίνη A, φάνηκε πως τα επίπεδα της ρετινόλης ήταν αυξημένα σε σχέση με τα παιδιά που κατανάλωσαν μη ενισχυμένα τρόφιμα (Rao Mendu et. al., 2019). Ακόμη, πραγματοποιήθηκε μελέτη σε παιδιά από 2 έως 19 έτη τα οποία είχαν ανεπάρκεια βιταμίνης A. Στα παιδιά αυτά χορηγήθηκαν βασικές τροφές εμπλουτισμένες με την βιταμίνη A τα οποία παρουσίασαν αύξηση επιπέδων ρετινόλης. Αντιθέτως, σε άλλες μελέτες που χορηγήθηκαν τρόφιμα εμπλουτισμένα με την βιταμίνη A δεν παρατήρησαν αύξηση αλλά ούτε και άλλες θετικές επιδράσεις (Hombali et. al., 2019). Στον πίνακα 5 φαίνονται περαιτέρω επιδράσεις βιταμινών στον οργανισμό.

Πίνακας 4: Παραδείγματα επίδρασης βιταμινών στην υγεία

ΒΙΤΑΜΙΝΗ	ΔΟΣΟΛΟΓΙΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΠΗΓΗ
----------	-----------	--------------	------

Βιταμίνη E	600 IU/ημέρα	Βελτίωση στεάτωσης, φλεγμονής των λοβίων και διοχέτευση των ηπατοκυττάρων	(Ghosh et. al., 2020)
Βιταμίνη E	8000 U/ημέρα για 12 εβδομάδες	Βελτίωση συμπτωμάτων ελκώδους κολίτιδας	(Barbalho et. al., 2019)
Βιταμίνη K	100mcg/ημέρα) σε συνδυασμό με Ca (800mg/ημέρα) και βιταμίνη D3 (10 mcg/ημέρα)	Βελτίωση της οσφυϊκής οστικής. Ίδια μελέτη με απουσία βιταμίνης K δεν είχε τα ίδια αποτελέσματα	(Capozzi et. al., 2020)
Βιταμίνη A	50.000 U/δύο φορές την ημέρα	Οφέλη έναντι ασθένειας Crohn	Barbalho et. al., 2019)
Βιταμίνη B2	100 mg/ημέρα για 2 εβδομάδες	Αύξηση αριθμού <i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	(Pham et. al., 2021)

6.6 Προβιοτικά

Η διαταραχή του εντερικού μικροβιώματος έχει υποτεθεί πως σχετίζεται με διάφορες ασθένειες στον ανθρώπινο οργανισμό. Το μικροβίωμα μπορεί να επιδράσει σε νευρολογικές ασθένειες όπως η διαταραχή ελλειμματικής προσοχής και υπερκινητικότητας (ADHD), η σκλήρυνση κατά πλάκας, η μείζων καταθλιπτική διαταραχή, η νόσος του Alzheimer και η νόσος του Parkinson στους ηλικιωμένους. Παράλληλα, η χρήση τους μπορεί να φανεί χρήσιμη για την βελτίωση της διάθεσης των ασθενών και αντιμετώπιση του άγχους επηρεάζοντας το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) (Snigdha et. al., 2021). Ακόμη, η χρήση τους μπορεί να επηρεάσει θετικά την μνήμη, το οποίο παρατηρήθηκε σε μελέτες με τρωκτικά. Αντίθετα, σε παρόμοια μελέτη σε ενήλικες με ινομυαλγία έδειξε θετικά αποτελέσματα στη γνωστική κατάστασή τους, έπειτα από χορήγηση προβιοτικών για 8 εβδομάδες (Eastwood et. al., 2021).

Συγκεκριμένα, το γένος *Bifidobacterium* επηρεάζει τον εγκέφαλο και το ΚΝΣ, παράγοντας το γάμμα αμινοβουτυρικό οξύ (GABA), όπου έχει σημαντικό ρόλο ως ανασταλτικός νευροδιαβιβαστής βοηθώντας τις διαταραχές άγχους και της κατάθλιψης (Muskan Sharma et. al., 2021). Πέρα από το GABA παράγεται η σεροτονίνη

(*Lactobacillus* και *Bifidobacterium*) και η ντοπαμίνη (*Bacillus* και *Hafnia*) τα οποία συμβάλουν σημαντικά στην διάθεση του ασθενούς (Snigdha et. al., 2021).

Η κατανάλωση γαλακτοκομικών, προϊόντων όπως το γάλα και το κεφίρ που έχουν υποστεί ζύμωση, τα οποία περιέχουν *Lactobacillus plantarum* και *L. fermentum* βοηθούν στην θεραπεία έναντι της φλεγμονώδους νόσου του εντέρου. Τα δύο γένη έδειξαν θετικά αποτελέσματα έναντι της νόσου, όμως όταν χρησιμοποιήθηκε το στελέχος *Bifidobacterium breve* η θετική επίδραση ήταν αμελητέα. Επίσης, η χρήση *S. boulardii*, *L. reuteri*, *L. casei* και *L. rhamnosus* GG έχει παρατηρηθεί πως βοηθούν ασθενείς με διάρροια (Sakandar et. al., 2021).

Άλλο ένα σημαντικό κομμάτι στο οποίο είναι ευεργετικά τα προβιοτικά είναι έναντι του πεπτικού έλκους, όπου γίνεται η εμφάνιση μικρών τρυπών στο έντερο. Η πιο συχνή αιτία είναι η λοίμωξη από το ελικοβακτηρίδιο του πυλωρού (*Helicobacter pylori*) το οποίο μπορεί να προκαλέσει γαστρικό έλκος, έλκος δωδεκαδακτύλου και καρκίνο του στομάχου. Σε *in vivo* δοκιμές φάνηκε πως τα στελέχη *Lactobacillus* και *Pediococcus* έχουν θετικά αποτελέσματα (Sakandar et. al., 2021).

Η χρήση των προβιοτικών μπορεί να ωφελήσει και το αμυντικό σύστημα μέσω της αλληλεπίδρασης με τα εντερικά επιθηλιακά κύτταρα με αποτέλεσμα να παράγονται διάφορες κυτταροκίνες και χημειοκίνες. Έχουν επίσης φανεί οφέλη και στις στοματικές λοιμώξεις όπως η τερηδόνα, οι περιοδοντικές παθήσεις και η δυσοσμία. Μείωση του αριθμού των *S. mutans* που προκαλούν την τερηδόνα φάνηκε από την κατανάλωση προβιοτικών σε παιδιά 1 έως 6 ετών. Παράλληλα, για την θεραπεία της ουλίτιδας και περιδοντίτιδας φάνηκε να δρά ευεργετικά ο *L. reuteri* μειώνοντας τα παθογόνα (Rossoni et. al., 2020).

Σε μελέτη με υπερχοληστερολαιμικά άτομα, τα οποία κατανάλωσαν γιαούρτι ενισχυμένο με προβιοτικά στελέχους *B. longum*, έδειξε να μειώνεται η ολική χοληστερόλη, η χοληστερόλη *LDL* και τα τριγλυκερίδια στο πλάσμα. Παρόμοια αποτελέσματα είχε και η χρήση *L. acidophilus* CHO-220 σε συνδυασμό με ινουλίνη όπου τα επίπεδα ολικής χοληστερόλης στο πλάσμα μειώθηκαν κατά 7,84% και 9,27% έπειτα από 12 εβδομάδες χρήσης προβιοτικών. Ενδιαφέρον δείχνει και η χρήση τους ως θεραπεία όγκων του παχέος εντέρου όπου τα στελέχη *L. fermentum* φαίνεται να καταστρέφουν τα καρκινικά κύτταρα του παχέος εντέρου ενώ ο *L. acidophilus* μειώνει την διάδοση του όγκου κατά 16%-41% (Kumari et. al., 2020).

Τέλος, μια σημαντική λοίμωξη είναι η βακτηριακή κολπίτιδα όπου οφείλεται στην μείωση πληθυσμού του *Lactobacillus spp*, με κατά συνέπεια την ανάπτυξη αναερόβιων παθογόνων βακτηρίων. Η χρήση προβιοτικού γιαουρτιού για την ανάκτηση των ωφέλιμων γαλακτοβάκιλλων έδειξε πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Ακόμη, η χρήση γάλακτος με προβιοτικά (*L. plantarum nF1*) πρόσφερε ανοσία στον οργανισμό και προστασία μόλυνσης από την γρίπη λόγω έκφρασης κυτοκίνης που σχετίζονται με τα φυσικά φονικά κύτταρα. Αντιθέτως, η χρήση γάλακτος με *L. plantarum B7* για 7 ημέρες, σε μελέτη με ποντίκια, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της έκφρασης της *IL-6* και της *IFN-γ* μαζί με τη μείωση του πληθυσμού της σαλμονέλας (Sakandar et. al., 2021).

6.7 Πρεβιοτικά

Η κατανάλωση των πρεβιοτικών μπορεί να προσφέρει ευεργετικές ιδιότητες στον οργανισμό σε διάφορους τομείς όπως η ενίσχυση του εντερικού μικροβιώματος, βοηθούν στον μεταβολισμό, έχουν άμεση δράση με το αμυντικό ανοσοποιητικό σύστημα, βοηθούν στην καλύτερη απορρόφηση μετάλλων κ.α. (Kumari et. al., 2020). Η παραγωγή των *SCFA* από την μικροχλωρίδα του εντέρου βοηθά την πρόσληψη του ασβεστίου λόγω της μείωσης του *pH* του αυλού, το οποίο αυξάνει την διαλυτότητα του. Ακόμη, βοηθούν τη ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων για την παραγωγή αντιφλεγμονωδών κυτοκινών στον επιθηλιακό ιστό, ενώ έχει παρατηρηθεί πως η παραγωγή τους επηρεάζει το ανοσοποιητικό σύστημα των πνευμόνων που σχετίζεται με την ανάπτυξη άσθματος (Peredo-Lovillo, et. al., 2020).

Σε μελέτες σε ζώα έχει παρατηρηθεί πως τα *SCFA* αυξάνουν τα *T* κύτταρα, τα μακροφάγα, τα ουδετερόφιλα αλλά και την κυτταροτοξική δραστηριότητα των φυσικών φονικών κυττάρων (Gyawali et. al., 2019). Η χρήση των πρεβιοτικών έχει σχέση με τις εντερικές ανορεκτικές ορμόνες όπως το πεπτίδιο της τυροσίνης, γλυκαγόνης-1 και η λεπτίνη, ενώ παράλληλα μειώνουν τα επίπεδα ορογενών ορμονών, όπως η γκρελίνη. Η συμβολή τους κατά αυτόν τον τρόπο επηρεάζει τον μεταβολισμό αλλά και την παχυσαρκία (de Paulo Farias et. al., 2019). Διαπιστώθηκε ακόμη, πως με την παχυσαρκία μειώνονται τα μικρόβια *Bifidobacterium*, τα οποία έχει παρατηρηθεί πως επιδρούν στην κάψουλα του γόνατος και στην επιτάχυνση του εκφυλισμού της άρθρωσης, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας χόνδρου. Η κατανάλωση της

ολιγοφρουκτόζης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τα προβλήματα αυτά, που είναι συνέπεια της παχυσαρκίας (Klancic et. al., 2019).

Η οστεοπόρωση είναι ένα ζήτημα άξιο αναφοράς μιας και επηρεάζει αρκετά άτομα σε όλο τον κόσμο. Η χρήση των πρεβιοτικών μπορεί να βοηθήσει στη διαμόρφωση της κατάλληλης δομής των οστών με την αύξηση της απορρόφησης του ασβεστίου. Έχει παρατηρηθεί πως η χρήση ολιγοφρουκτόζης, ινουλίνης, των FOS βραχείας αλυσίδας και γαλακτοολιγοσακχαριτών (GOS) δεν βοηθά τον ρυθμό απορρόφησης. Αντιθέτως η χρήση λακτουλόζης σε μείγμα πρεβιοτικών σε ποσότητα 8–40 g/ημέρα παρουσίασε σημαντική αύξηση του ρυθμού απορρόφησης ασβεστίου (Kumari et. al., 2020).

Ο διαβήτης τύπου 2 είναι ένα σημαντικό πρόβλημα για τα ενήλικα άτομα μιας και προκαλεί προβλήματα όπως η πολυουρία, πολυδιψία, πολυφαγία, θολή όραση, ναυτία, εμετό, βραδεία επούλωση πληγών κ.α. Η κατανάλωση του αραβικού κόμμεος (*Gum arabic*) σε ποσότητες 10 g/ημέρα για 16 εβδομάδες από ασθενή άτομα έδειξε μείωση επιπέδων γλυκόζης και του ουρικού οξέως στο αίμα. Παράλληλα, το αραβικό κόμμι έχει προστατευτική δράση στους διαβητικούς αρουραίους έναντι του οξειδωτικού στρες (Khalil et. al., 2021). Επιπλέον, οι διαιτητικές ίνες, όπως οι β-γλυκάνες μπορούν να προσφέρουν διάφορα οφέλη έναντι του διαβήτη μέσω του περιορισμού των επιπέδων της ολικής χοληστερόλης και της λιποπρωτεΐνης αλλά και στη μείωση της συγκέντρωσης της LDL χοληστερόλης (Shah et. al., 2020).

Σε μελέτη με διαβητικά κουνέλια, με την χρήση FOS, IMO σε ποσότητες 2-6% και με την προσθήκη του *Lactobacillus acidophilus* για 28 ημέρες είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της γλυκόζης στο αίματος, κρεατινίνης ορού και ουρικού οξέος. Ενώ σε μελέτη με φυσιολογικούς, υπερχοληστερολαιμικούς και υπεργλυκαιμικούς αρουραίους η κατανάλωση ορού γάλακτος ενυσχημένο με FOS κατά 1,5%, για 8 εβδομάδες μείωσε σημαντικά την ολική χοληστερόλη ορού, τη συγκέντρωση LDL χοληστερόλης και των τριγλυκεριδίων, ενώ αύξησε τη HDL χοληστερόλη (Rosa et. al., 2021).

Η αύξηση των βακτηρίων *Faecali* και της *Lachnospira* αλλά και η παραγωγή βουτυρικού οξέως έχει δείξει βελτίωση της κατάστασης υγείας σε άτομα προσβεβλημένα από τον ιό HIV, με την κατανάλωση των GOS, FOS και γλουταμίνης (Neri-Numa et. al., 2020). Τέλος, με τη χρήση μείγματος GOS και φρουκτανών παρατηρήθηκε μείωση λοιμώξεων της αναπνευστικής οδού στα βρέφη χωρίς ωστόσο να υπάρχουν αντίστοιχα αποτελέσματα και στους ενήλικες (Sanders et. al., 2019). Η χρήση μείγματος

γαλακτοολιγοσακχαρίτη και πολυδεξτρόζης με τη χρήση του *Lactobacillus rhamnosus* GG σε βρέφη μείωσε την προσβολή τους από τον αναπνευστικό ιό RTIs (Shah et. al., 2020).

Μια ακόμη σημαντική λειτουργία των πρεβιοτικών είναι η αύξηση των προβιοτικών βακτηρίων στην μικροχλωρίδα του εντέρου. Έχει παρατηρηθεί πως η χρήση λακτουλόζης σε ποσότητες 5g/L θα μπορούσε να αυξήσει το *B. animalis*. Η λακτουλόζη, σε συγκεντρώσεις 2 και 4%, θα μπορούσε να αυξήσει τον πληθυσμό των *L. acidophilus* και *B. animalis* ssp. Τέλος, η ολιγοφρουκτόζη και η πολυδεξτρόζη (6%) θα μπορούσαν να αυξήσουν τον αριθμό του *L. casei* σε γιαούρτια (Rosa et. al., 2021). Στον πίνακα 6 φαίνονται περαιτέρω επιδράσεις των πρεβιοτικών στην υγεία του ανθρώπου.

Πίνακας 5: Ευεργετικές επιδράσεις των πρεβιοτικών στην υγεία του ανθρώπου.

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΡΕΒΙΟΤΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΠΗΓΗ
Παγωτό	Ινουλίνη	20 γρ για 3 εβδομάδες	Μείωση τριγλυκεριδίων στο αίμα	Rosa et. al., 2021
Μιλκσέικ	FOS σε συνδυασμό με προβιοτικά	2 γρ για 30 ημέρες	Αύξηση HDL χοληστερόλης και μείωση της γλυκαιμίας	Rosa et. al., 2021
Ροφήματα smoothie	GOS	2,5-5 gr δυο φορές την ημέρα για 3 εβδομάδες	Αύξηση απορρόφησης ασβεστίου, αύξηση πληθυσμού των bifidobacteria	Peredo-Lovillo et. al., 2020
-	Μείγματος φρουκτανών τύπου ινουλίνης	8 gr/ ημέρα	Αύξηση απορρόφησης ασβεστίου	Peredo-Lovillo et. al., 2020
Φαρμακό	Ινουλίνη	10gr για 3 εβδομάδες	Μείωση του TAG και της ηπατικής λιπογένεσης	Gyawali et.al., 2019
-	Διαιτητικές ίνες	>17gr/ημέρα, >8gr/ημέρα	Μείωση κινδύνου ανάπτυξης διαβήτη τύπου 2	Gyawali et.al., 2019
-	Ολιγοφρουκτόζη	-	Μείωση σωματικού βάρους κατά 3,1%, μείωση σωματικού λίπους κατά 2,4%	Sanders et. al., 2019
Αγελαδινό γάλα	GOS, FOS	8gr/L	Αντιαλλεργικές ιδιότητες σε περίπτωση ρινοεπιπεφυκτίτιδας και εκζέματος	Kumaria et. al., 2020

Κεφάλαιο 7 Συμπεράσματα

Η ευαισθητοποίηση του καταναλωτικού κοινού προς ποιοτικά τρόφιμα, τα οποία παρουσιάζουν οφέλη στον ανθρώπινο οργανισμό, έχει στρέψει το ενδιαφέρον των ερευνητών στην μελέτη και στην ενσωμάτωση λειτουργικών συστατικών. Η ζήτηση «λειτουργικών τροφίμων» είναι πλέον σταθερά αυξανόμενη. Τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας τροφίμων είναι πλούσια σε λειτουργικά συστατικά, τα οποία μπορούν να ανακτηθούν με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών και να ενσωματωθούν σε νέα, καινοτόμα τρόφιμα. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν ήδη αρκετές μελέτες που παρουσιάζουν την ανάκτηση λειτουργικών συστατικών (όπως φαινολικών συστατικών, λιπαρών οξέων και ολιγοσακχαριτών) από διάφορα παραπροϊόντα με υψηλές αποδόσεις και καθαρότητα. Η αναζήτηση νέων λειτουργικών συστατικών από ανανεώσιμες πρώτες ύλες αποτελεί ένα αναδυόμενο επιστημονικό αντικείμενο, αλλά και μια νέα πρόκληση για την επιστήμη και την τεχνολογία των τροφίμων. Η αποτελεσματική αξιοποίηση των παραπροϊόντων ειδικά της βιομηχανίας τροφίμων μπορεί να συμβάλλει στην ελάττωση του κόστους ανάκτησης αλλά και στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Οι τεχνικές ενσωμάτωσης των λειτουργικών συστατικών συνεισφέρουν στον εμπλουτισμό των τροφίμων, προστατεύοντας τις ευαίσθητες ενώσεις και επιτρέποντας την αύξηση του χρόνου ζωής του τελικού προϊόντος. Παρόλο που οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα, υπάρχει ακόμα ένα μεγάλο κενό που αφορά την επίδραση στα συνολικά οργανοληπτικά συστατικά του τροφίμου, αλλά και –εντέλει- στον ανθρώπινο οργανισμό. Ενώ παράλληλα θα πρέπει να γίνει και σωστή ενημέρωση προς τους καταναλωτές ώστε να αποφευχθεί η υπερκατανάλωση τέτοιων τροφών, με αποτέλεσμα να γίνει συσσώρευση επιπρόσθετων συστατικών στον ανθρώπινο οργανισμό. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να συμπεριλάβουν την πολυπλοκότητα της φύσης του εκάστοτε τροφίμου αλλά και του ανθρώπινου οργανισμού, ώστε να αποδειχτεί η άρρηκτη συνεισφορά των λειτουργικών τροφίμων στην υγεία.

Βιβλιογραφία

- Adetunji, C. O., Akram, M., Michael, O. S., Shahzad, K., Ayeni, A. E., Hasan, S., Adetunji, J. B., Hasan, S. M., Inamuddin, Olaniyan, M., & Muhibi, M. A. (2021). Polysaccharides Derived From Natural Sources: A Panacea to Health and Nutritional Challenges. In Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula, & T. Altalhi (Eds.), *Polysaccharides* (1st ed., pp. 701–738). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119711414.ch32>
- Ahmad, S., Arora, S., Khan, S., Mohsin, M., Mohan, A., Manda, K., & Syed, M. A. (2021). Vitamin D and its therapeutic relevance in pulmonary diseases. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 90, 108571.
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108571>
- Akimbekov, N. S., Ortoski, R. A., & Razzaque, M. S. (2020). Effects of sunlight exposure and vitamin D supplementation on HIV patients. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 200, 105664.
<https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2020.105664>
- Albizzati, P. F., Tonini, D., & Astrup, T. F. (2021). High-value products from food waste: An environmental and socio-economic assessment. *Science of The Total Environment*, 755, 142466. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142466>
- Alhusseiny, S. M., & El-Beshbishi, S. N. (2020). Omega polyunsaturated fatty acids and parasitic infections: An overview. *Acta Tropica*, 207, 105466.
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105466>
- Alvarez-Rivera, G., Bueno, M., Ballesteros-Vivas, D., Mendiola, J. A., & Ibañez, E. (2020). Pressurized Liquid Extraction. In *Liquid-Phase Extraction* (pp. 375–398). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00013-X>
- Andreou, V., Dimopoulos, G., Dermesonlouoglou, E., & Taoukis, P. (2020). Application of pulsed electric fields to improve product yield and waste valorization in industrial tomato processing. *Journal of Food Engineering*, 270, 109778.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109778>
- Arshad, R. N., Abdul-Malek, Z., Roobab, U., Qureshi, M. I., Khan, N., Ahmad, M. H., Liu, Z., & Aadil, R. M. (2021). Effective valorization of food wastes and by-products through pulsed electric field: A systematic review. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13629>
- Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Advances in Spray-Drying Encapsulation of Food Bioactive Ingredients: From Microcapsules to Nanocapsules. *Annual Review*

of Food Science and Technology, 10(1), 103–131. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121641>

Azhar, M. D., Hashib, S. A., Ibrahim, U. K., & Rahman, N. A. (2021). Development of carrier material for food applications in spray drying technology: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 47, 1371–1375. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.140>

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>

Barba, F. J., Zhu, Z., Koubaa, M., Sant'Ana, A. S., & Orlie, V. (2016). Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 49, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.006>

Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., Rubira, C. J., Araújo, A. C., & de Alvares Goulart, R. (2021). The Role of the Vitamins in the Inflammatory Bowel Diseases. In *Comprehensive Foodomics* (pp. 610–624). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22889-8>

Bazana, M. T., Codevilla, C. F., & de Menezes, C. R. (2019). Nanoencapsulation of bioactive compounds: Challenges and perspectives. *Current Opinion in Food Science*, 26, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.03.005>

Bu, T., Xu, L., Zhu, X., Cheng, J., Li, Y., Liu, L., Bao, L., & Chu, W. (2021). Influence of short-term fasting on oxidative stress, antioxidant-related signaling molecules and autophagy in the intestine of adult *Siniperca chuatsi*. *Aquaculture Reports*, 21, 100933. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100933>

Bujna, E., Styevko, G., Laskawy, P., Rezessy-Szabo, J., Nguyen, V. D., Tran, A. M. T., Ta Phuong, L., Farkas, C., Gupta, V. K., & Nguyen, Q. D. (2022). Synthesis of oligosaccharides with prebiotic potential by crude enzyme preparation from *Bifidobacterium*. *Food Chemistry*, 367, 130696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130696>

Calder, P. C. (2017). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: From molecules to man. *Biochemical Society Transactions*, 45(5), 1105–1115. <https://doi.org/10.1042/BST20160474>

- Castro Coelho, S., Nogueiro Estevinho, B., & Rocha, F. (2021). Encapsulation in food industry with emerging electrohydrodynamic techniques: Electrospinning and electrospraying – A review. *Food Chemistry*, 339, 127850. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127850>
- Catalkaya, G., & Kahveci, D. (2019). Optimization of enzyme assisted extraction of lycopene from industrial tomato waste. *Separation and Purification Technology*, 219, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.03.006>
- Catenza, K. F., & Donkor, K. K. (2021). Recent approaches for the quantitative analysis of functional oligosaccharides used in the food industry: A review. *Food Chemistry*, 355, 129416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129416>
- Cerullo, G., Negro, M., Parimbelli, M., Pecoraro, M., Perna, S., Liguori, G., Rondanelli, M., Cena, H., & D'Antona, G. (2020). The Long History of Vitamin C: From Prevention of the Common Cold to Potential Aid in the Treatment of COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 574029. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.574029>
- Chang, C., Li, J., Su, Y., Gu, L., Yang, Y., & Zhai, J. (2022). Protein particle-based vehicles for encapsulation and delivery of nutrients: Fabrication, digestion, and release properties. *Food Hydrocolloids*, 123, 106963. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106963>
- Charoenngam, N., & Holick, M. F. (2020). Immunologic Effects of Vitamin D on Human Health and Disease. *Nutrients*, 12(7), 2097. <https://doi.org/10.3390/nu12072097>
- Chen, B., & Xu, M. (2019). Natural Antioxidants in Foods. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp.180–188). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21599-0>
- Chen, J., & Liu, H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5695. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>
- Chew, S.-C., Tan, C.-H., Pui, L.-P., Chong, P.-N., Gunasekaran, B., & Lin, N. K. (2019). Encapsulation Technologies: A Tool for Functional Foods Development. 8(5), 8. <https://www.researchgate.net/publication/336304235>
- Cholewski, M., Tomczykowa, M., & Tomczyk, M. (2018). A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. In *Nutrients* (Vol. 10, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>

Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2018). Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International*, 105, 76–93.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>

Cömert, E. D., & Gökmen, V. (2020). Physiological relevance of food antioxidants. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 93, pp. 205–250). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.03.002>

Comunian, T. A., Silva, M. P., & Souza, C. J. F. (2021). The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 269–280.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.003>

da Silva, R. P. F. F., Rocha-Santos, T. A. P., & Duarte, A. C. (2016). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 76, 40–51. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.11.013>

Dal Bosco, C., & Gentili, A. (2018). Vitamins: Clinical, Pharmaceutical, and Biological Analysis. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* (p. B9780124095472140000). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14028-4>

Dale, H. F., Madsen, L., & Lied, G. A. (2019). Fish-derived proteins and their potential to improve human health. *Nutrition Reviews*, 77(8), 572–583.

<https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz016>

Daniloski, D., Cunha, N. M. D., McCarthy, N. A., O’Callaghan, T. F., McParland, S., & Vasiljevic, T. (2021). Health-related outcomes of genetic polymorphism of bovine β -casein variants: A systematic review of randomised controlled trials. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 233–248.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.073>

de Carvalho, C., & Caramujo, M. (2018). The Various Roles of Fatty Acids.

Molecules, 23(10), 2583. <https://doi.org/10.3390/molecules23102583>

de la Guía-Galipienso, F., Martínez-Ferran, M., Vallecillo, N., Lavie, C. J., Sanchis-Gomar, F., & Pareja- Galeano, H. (2021). Vitamin D and cardiovascular health.

Clinical Nutrition, 40(5), 2946–2957. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.12.025>

Deka, B., Dash, B., Saud, B., Bhattacharjee, B., & Iqbal, A. (2021). Critical Overview of Probiotics Efficacy on Health and its Safety. Vol. 9(2), 01-15, DOI:

[10.20510/pbj/9/i2/1275](https://doi.org/10.20510/pbj/9/i2/1275)

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. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.004>
- Deng, L., & Zhang, H. (2020). Recent Advances in Probiotics Encapsulation by Electrospinning. *ES Food & Agroforestry*. <https://doi.org/10.30919/esfaf1120>
- Depoorter, L., & Vandenplas, Y. (2021). Probiotics in Pediatrics. A Review and Practical Guide. *Nutrients*, 13(7), 2176. <https://doi.org/10.3390/nu13072176>
- Dhakal, S. P., & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. *Food Research International*, 137, 109326. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109326>
- Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling. *Journal of Functional Foods*, 68, 103896. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103896>
- Domínguez-Pérez, L. A., Beltrán-Barrientos, L. M., González-Córdova, A. F., Hernández-Mendoza, A., & Vallejo-Cordoba, B. (2020). Artisanal cocoa bean fermentation: From cocoa bean proteins to bioactive peptides with potential health benefits. *Journal of Functional Foods*, 73, 104134. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104134>
- Eastwood, J., Walton, G., Van Hemert, S., Williams, C., & Lamport, D. (2021). The effect of probiotics on cognitive function across the human lifespan: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 128, 311–327. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.06.032>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2021). General scientific guidance for stakeholders on health claim applications (Revision 1)1. *EFSA Journal*, 19(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6553>
- Egbuna, C., & Dable Tupas, G. (Eds.). (2020). *Functional Foods and Nutraceuticals: Bioactive Components, Formulations and Innovations*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42319-3>
- Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., & Qoronfleh, M. W. (2021). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3>
- European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies, Stein, A. J., & Rodríguez-Cerezo, E. (2008). *Functional food in the European Union*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2791/21607>

- Fan, R., Kim, J., You, M., Giraud, D., Toney, A. M., Shin, S.-H., Kim, S.-Y., Borkowski, K., Newman, J. W., & Chung, S. (2020). α -Linolenic acid-enriched butter attenuated high fat diet-induced insulin resistance and inflammation by promoting bioconversion of n-3 PUFA and subsequent oxylipin formation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 76, 108285. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2019.108285>
- Farias, D. de P., de Araújo, F. F., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2019). Prebiotics: Trends in food, health and technological applications. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.004>
- Filimonau, V., Todorova, E., Mzembe, A., Sauer, L., & Yankholmes, A. (2020). A comparative study of food waste management in full service restaurants of the United Kingdom and the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120775. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120775>
- Fouad, S., Ibrahim, G. E., Hussein, A. M. S., Ibrahim, F. A., & El Gendy, A. (2021). Physicochemical properties of and volatile compounds in riboflavin fortified cloudy apple juice; study of its effect on job fatigue among Egyptian construction workers. *Heliyon*, 7(10), e08246. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08246>
- Fu, J., Wu, Z., Liu, J., & Wu, T. (2020). Vitamin C: A stem cell promoter in cancer metastasis and immunotherapy. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 131, 110588. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110588>
- Garcia-Jares, C., Vazquez, A., Lamas, J., Pajaro, M., Alvarez-Casas, M., & Lores, M. (2015). Antioxidant White Grape Seed Phenolics: Pressurized Liquid Extracts from Different Varieties. *Antioxidants*, 4(4), 737–749. <https://doi.org/10.3390/antiox4040737>
- Gasmi Benahmed, A., Gasmi, A., Dadar, M., Arshad, M., & Bjørklund, G. (2021). The role of sugar-rich diet and salivary proteins in dental plaque formation and oral health. *Journal of Oral Biosciences*, 63(2), 134–141. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.01.007>
- Gasparri, C., Perna, S., Spadaccini, D., Alalwan, T., Girometta, C., Infantino, V., & Rondanelli, M. (2019). Is vitamin D-fortified yogurt a value-added strategy for improving human health? A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Journal of Dairy Science*, 102(10), 8587–8603. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16046>
- Gbashi, S., Adebo, O. A., Piater, L., Madala, N. E., & Njobeh, P. B. (2017). Subcritical Water Extraction of Biological Materials. *Separation & Purification Reviews*, 46(1), 21–34. <https://doi.org/10.1080/15422119.2016.1170035>

- Ghosh, N., Das, A., & Khanna, S. (2020). Vitamin E: Tocopherols and tocotrienol and their role in health and disease. In *Essential and Toxic Trace Elements and Vitamins in Human Health* (pp. 283–293). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805378-2.00020-6>
- Gil, K. A., Jerković, I., Marijanović, Z., Manca, M. L., Caddeo, C., & Tuberoso, C. I. G. (2022). Evaluation of an innovative sheep cheese with antioxidant activity enriched with different thyme essential oil lecithin liposomes. *LWT*, 154, 112808. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112808>
- Gil-Chavez, G. J., Villa, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Heredia, J. B., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2013). Technologies for Extraction and Production of Bioactive Compounds to be Used as Nutraceuticals and Food Ingredients: An overview.... *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 5–23. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12005>
- Gill, B. S., Naveet, & Qiu, F. (2020). Technologies for extraction and production of bioactive compounds. In *Biotechnological Production of Bioactive Compounds* (pp. 1–36). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64323-0.00001-1>
- Global food waste. (2020). In *Food and Society*, Edited by: Mark Gibson (pp. 223–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811808-5.00010-6>
- González-Bosch, C., Boorman, E., Zunszain, P. A., & Mann, G. E. (2021). Short-chain fatty acids as modulators of redox signaling in health and disease. *Redox Biology*, 47, 102165. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2021.102165>
- Görgüç, A., Gençdağ, E., & Yılmaz, F. M. (2020). Bioactive peptides derived from plant origin by- products: Biological activities and techno-functional utilizations in food developments – A review. *Food Research International*, 136, 109504. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109504>
- Gul, K., Singh, A. K., & Jabeen, R. (2016). Nutraceuticals and Functional Foods: The Foods for the Future World. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(16), 2617–2627. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.903384>
- Gyawali, R., Nwamaioha, N., Fiagbor, R., Zimmerman, T., Newman, R. H., & Ibrahim, S. A. (2019). The Role of Prebiotics in Disease Prevention and Health Promotion. In *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases* (pp. 151–167). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814468-8.00012-0>
- Henry, C. J. (2010). Functional foods. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(7), 657–659. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.101>

- Hombali, A. S., Solon, J. A., Venkatesh, B. T., Nair, N. S., & Peña-Rosas, J. P. (2019). Fortification of staple foods with vitamin A for vitamin A deficiency. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(5).
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD010068.pub2>
- Ilia, G., Simulescu, V., Merghes, P., & Varan, N. (2021). The health benefits of honey as an energy source with antioxidant, antibacterial and antiseptic effects. *Science & Sports*, 36(4), 272.e1-272.e10.
<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2020.10.005>
- Issac, P. K., Guru, A., Velayutham, M., Pachaiappan, R., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A., Choi, K. C., Harikrishnan, R., & Arockiaraj, J. (2021). Oxidative stress induced antioxidant and neurotoxicity demonstrated in vivo zebrafish embryo or larval model and their normalization due to morin showing therapeutic implications. *Life Sciences*, 283, 119864. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119864>
- Jafari, S. M. (2017). An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. In *Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries* (pp. 1–34). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809436-5.00001-X>
- Jafari, S. M., Arpagaus, C., Cerqueira, M. A., & Samborska, K. (2021). Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 632–646. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.061>
- Jahandideh, F., Bourque, S. L., & Wu, J. (2022). A comprehensive review on the glucoregulatory properties of food-derived bioactive peptides. *Food Chemistry: X*, 13, 100222. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100222>
- Joumard-Cubizolles, L., Lee, J. C.-Y., Vigor, C., Leung, H. H., Bertrand-Michel, J., Galano, J.-M., Mazur, A., Durand, T., & Gladine, C. (2017). Insight into the contribution of isoprostanooids to the health effects of omega 3 PUFAs. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 133, 111–122.
<https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2017.05.005>
- Jurková, M., Olšovská, J., & Čejka, P. (2018). Determination of Sugars and Saccharides in Beer. *Kvasny Prumysl*, 64(2), 58–64.
<https://doi.org/10.18832/kp201812>
- Karami, Z., & Akbari-adergani, B. (2019). Bioactive food derived peptides: A review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 535–547.
<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3549-4>

- Kashiouris, M. G., L'Heureux, M., Cable, C. A., Fisher, B. J., Leichtle, S. W., & Fowler, A. A. (2020). The Emerging Role of Vitamin C as a Treatment for Sepsis. *Nutrients*, 12(2), 292. <https://doi.org/10.3390/nu12020292>
- Kaur, S., & Das, M. (2011). Functional foods: An overview. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 861–875. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0121-7>
- Kenar, J. A., Moser, B. R., & List, G. R. (2017). Naturally Occurring Fatty Acids. In *Fatty Acids* (pp.23–82). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809521-8.00002-7>
- Khalil, N. A., Eltahan, N. R., Elaktash, H. M., Aly, S., & Sarbini, S. R. (2021). Prospective evaluation of probiotic and prebiotic supplementation on diabetic health associated with gut microbiota. *Food Bioscience*, 42, 101149. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101149>
- Khaw, K.-Y., Parat, M.-O., Shaw, P. N., & Falconer, J. R. (2017). Solvent Supercritical Fluid Technologies to Extract Bioactive Compounds from Natural Sources: A Review. *Molecules*, 22(7), 1186. <https://doi.org/10.3390/molecules22071186>
- Khorasani, S., Ghandehari Yazdi, A. P., Taghavi, E., Alipoor Amro Abadi, M., Ghobadi, H., Zihayat, B., Rasti, B., & Mozafari, M. R. (2021). Recent Trends in the Nanoencapsulation Processes for Food and Nutraceutical Applications. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 532–545). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22940-5>
- Kim, J.-H., Baek, J., Sa, S., Park, J., Kih, M., & Kim, W. (2021). Kestose-enriched fructo-oligosaccharide alleviates atopic dermatitis by modulating the gut microbiome and immune response. *Journal of Functional Foods*, 85, 104650. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104650>
- Kitada, M., Ogura, Y., Monno, I., & Koya, D. (2019). The impact of dietary protein intake on longevity and metabolic health. *EBioMedicine*, 43, 632–640. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.04.005>
- Kitrytė, V., Kavaliauskaitė, A., Tamkutė, L., Pukalskienė, M., Syrpas, M., & Rimantas Venskutonis, P. (2020). Zero waste biorefining of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) pomace into functional ingredients by consecutive high pressure and enzyme assisted extractions with green solvents. *Food Chemistry*, 322, 126767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126767>

- Klancic, T., & Reimer, R. A. (2020). Gut microbiota and obesity: Impact of antibiotics and prebiotics and potential for musculoskeletal health. *Journal of Sport and Health Science*, 9(2), 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.04.004>
- Kouamé, K. J. E.-P., Bora, A. F. M., Li, X., Sun, Y., & Liu, L. (2021). Novel trends and opportunities for microencapsulation of flaxseed oil in foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 87, 104812. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104812>
- Kumar, K., Yadav, A. N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: A potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>
- Kumari, R., Singh, A., Yadav, A. N., Mishra, S., Sachan, A., & Sachan, S. G. (2020). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Current status and future uses for human health. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 173–190). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820528-0.00012-0>
- Lange, K. W. (2020). Omega-3 fatty acids and mental health. *Global Health Journal*, 4(1), 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2020.01.004>
- Levine, M., Ebeunuwa, I., & Violet, P.-C. (2020). Vitamin C. In *Essential and Toxic Trace Elements and Vitamins in Human Health* (pp. 241–262). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805378-2.00018-8>
- Li, F., Bahnson, E. M., Wilder, J., Siletzky, R., Hagaman, J., Nickeleit, V., Hiller, S., Ayesha, A., Feng, L., Levine, J. S., Takahashi, N., & Maeda-Smithies, N. (2020). Oral high dose vitamin B12 decreases renal superoxide and post-ischemia/reperfusion injury in mice. *Redox Biology*, 32, 101504. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101504>
- Li, X., Tan, S., Luo, J., & Pinelo, M. (2021). Nanofiltration for separation and purification of saccharides from biomass. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 15(4), 837–853. <https://doi.org/10.1007/s11705-020-2020-z>
- Liu, H., Wei, X., Zu, S., Lin, X., Zhang, J., Shi, A., Wang, Q., & He, N. (2021). Separation and identification of neutral oligosaccharides with prebiotic activities from apple pectin. *Food Hydrocolloids*, 121, 107062. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107062>
- Lurz, E. (2020). Vitamin B12; Absorption, Metabolism, and Deficiency. In *Encyclopedia of Gastroenterology* (pp. 727–733). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.11357-1>

- Mailhot, G., & White, J. H. (2020). Vitamin D and Immunity in Infants and Children. *Nutrients*, 12(5), 1233. <https://doi.org/10.3390/nu12051233>
- Marcillo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D. S., González, Z., & Ruales, J. (2021). Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.009>
- Martinelli, E., Granato, D., Azevedo, L., Gonçalves, J. E., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., Simal- Gandara, J., Barba, F. J., Carrillo, C., Riaz Rajoka, M. S., & Lucini, L. (2021). Current perspectives in cell-based approaches towards the definition of the antioxidant activity in food. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.024>
- Martirosyan, D. M., & Singharaj, B. (2016). Health Claims and Functional Food: The Future of Functional Foods under FDA and EFSA Regulation. In book: *Functional Foods for Chronic Diseases.*, 1st Edition, (pp.410-424), <https://www.researchgate.net/publication/318102868>
- Mendu, V. V. R., Nair, K. P. M., & Athe, R. (2019). Systematic review and meta-analysis approach on vitamin A fortified foods and its effect on retinol concentration in under 10 year children. *Clinical Nutrition ESPEN*, 30, 126–130. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.01.005>
- Morgese, M. G., Schiavone, S., Mhillaj, E., Bove, M., Tucci, P., & Trabace, L. (2018). N-3 PUFA diet enrichment prevents amyloid beta-induced depressive-like phenotype. *Pharmacological Research*, 129, 526–534. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.11.034>
- Moritz, B., Schmitz, A. E., Rodrigues, A. L. S., Dafre, A. L., & Cunha, M. P. (2020). The role of vitamin C in stress-related disorders. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 85, 108459. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108459>
- Morone, P., Koutinas, A., Gathergood, N., Arshadi, M., & Matharu, A. (2019). Food waste: Challenges and opportunities for enhancing the emerging bio-economy. *Journal of Cleaner Production*, 221, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.258>
- Muñoz-Shugulí, C., Vidal, C. P., Cantero-López, P., & Lopez-Polo, J. (2021). Encapsulation of plant extract compounds using cyclodextrin inclusion complexes, liposomes, electrospinning and their combinations for food purposes. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 177–186. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.020>

Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2020). Novel insights into prebiotic properties on human health: A review. *Food Research International*, 131, 108973.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108973>

Nooshkam, M., Varidi, M., & Bashash, M. (2019). The Maillard reaction products as food-born antioxidant and antibrowning agents in model and real food systems. *Food Chemistry*, 275, 644–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.083>

O. Ibrahim, O. (2018). Functional Oligosaccharide: Chemicals Structure, Manufacturing, Health Benefits, Applications and Regulations. *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*, 04(04). <https://doi.org/10.17756/jfcn.2018-060>

Ozogul, F., Elabed, N., Ceylan, Z., Ocak, E., & Ozogul, Y. (2021). Nano-technological approaches for plant and marine-based polysaccharides for nano-encapsulations and their applications in food industry. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 97, pp. 187–236). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.017>

Pap, N., Fidelis, M., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V., Wang, D., Mocan, A., Pereira, E. P. R., Xavier- Santos, D., Sant’Ana, A. S., Yang, B., & Granato, D. (2021). Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*, 42, 167–186. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>

Pattnaik, M., Pandey, P., Martin, G. J. O., Mishra, H. N., & Ashokkumar, M. (2021). Innovative Technologies for Extraction and Microencapsulation of Bioactives from Plant-Based Food Waste and Their Applications in Functional Food Development. *Foods*, 10(2), 279. <https://doi.org/10.3390/foods10020279>

Peredo-Lovillo, A., Romero-Luna, H. E., & Jiménez-Fernández, M. (2020). Health promoting microbial metabolites produced by gut microbiota after prebiotics metabolism. *Food Research International*, 136, 109473.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109473>

Pham, V. T., Dold, S., Rehman, A., Bird, J. K., & Steinert, R. E. (2021). Vitamins, the gut microbiome and gastrointestinal health in humans. *Nutrition Research*, 95, 35–53. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.09.001>

Pisoschi, A. M., Pop, A., Iordache, F., Stanca, L., Predoi, G., & Serban, A. I. (2021). Oxidative stress mitigation by antioxidants—An overview on their chemistry and influences on health status. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 209, 112891.

<https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112891>

- Puri, M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in Biotechnology*, 30(1), 37–44.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136, 109298.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>
- Reque, P. M., & Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.022>
- Ribbans, W. J., Aujla, R., Dalton, S., & Nunley, J. A. (2021). Vitamin D and the athlete–patient: State of the art. *Journal of ISAKOS*, 6(1), 46–60.
<https://doi.org/10.1136/jisakos-2020-000435>
- Ribeiro, J. S., & Veloso, C. M. (2021). Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids*, 112, 106374.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106374>
- Riseberg, E., Lopez-Cepero, A., Mangano, K. M., Tucker, K. L., & Mattei, J. (2022). Specific Dietary Protein Sources Are Associated with Cardiometabolic Risk Factors in the Boston Puerto Rican Health Study. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 122(2), 298-308.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2021.05.020>
- Rosa, M. C., Carmo, M. R. S., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Pimentel, T. C., & Cruz, A. G. (2021). Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. *International Dairy Journal*, 117, 105009.
<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105009>
- Rossoni, R. D., Ribeiro, F. de C., de Barros, P. P., Mylonakis, E., & Junqueira, J. C. (2020). A Prerequisite for Health: Probiotics. In *Microbiomics* (pp. 225–244). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816664-2.00011-6>
- Rostamabadi, H., Assadpour, E., Tabarestani, H. S., Falsafi, S. R., & Jafari, S. M. (2020). Electrospinning approach for nanoencapsulation of bioactive compounds; recent advances and innovations. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 190–209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.012>
- Roth, W., & Mohamadzadeh, M. (2021). Vitamin B12 and gut-brain homeostasis in the pathophysiology of ischemic stroke. *EBioMedicine*, 73, 103676.
<https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2021.103676>

- Rudzki, L., Stone, T. W., Maes, M., Misiak, B., Samochowiec, J., & Szulc, A. (2021). Gut microbiota- derived vitamins – underrated powers of a multipotent ally in psychiatric health and disease. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 107, 110240. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2020.110240>
- Ruiz-Valdepeñas Montiel, V., Sempionatto, J. R., Vargas, E., Bailey, E., May, J., Bulbarelo, A., Düsterloh, A., Matusheski, N., & Wang, J. (2021). Decentralized vitamin C & D dual biosensor chip: Toward personalized immune system support. *Biosensors and Bioelectronics*, 194, 113590. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113590>
- Saini, A., Panwar, D., Panesar, P. S., & Bera, M. B. (2021). Encapsulation of functional ingredients in lipidic nanocarriers and antimicrobial applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1107–1134. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01109-3>
- Sakandar, H. A., & Zhang, H. (2021). Trends in Probiotic(s)-Fermented milks and their in vivo functionality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.054>
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., & Rastall, R. A. (2019). Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: From biology to the clinic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 16(10), 605–616. <https://doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3>
- Santana, Á. L., Queirós, L. D., Martínez, J., & Macedo, G. A. (2019). Pressurized liquid- and supercritical fluid extraction of crude and waste seeds of guarana (*Paullinia cupana*): Obtaining of bioactive compounds and mathematical modeling. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.07.007>
- Santos, P. D. de F., Rubio, F. T. V., da Silva, M. P., Pinho, L. S., & Favaro-Trindade, C. S. (2021). Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. *Food Research International*, 147, 110571. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110571>
- Schanes, K., Dobernig, K., & Gözet, B. (2018). Food waste matters—A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of Cleaner Production*, 182, 978–991. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030>
- Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P., Bader-Mittermaier, S., & Osen, R. (2020). Food proteins from plants and fungi. *Current Opinion in Food Science*, 32, 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.08.003>

- Seidi, F., Jenjob, R., Phakkeeree, T., & Crespy, D. (2018). Saccharides, oligosaccharides, and polysaccharides nanoparticles for biomedical applications. *Journal of Controlled Release*, 284, 188–212. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2018.06.026>
- Shah, B. R., Li, B., Al Sabbah, H., Xu, W., & Mráz, J. (2020). Effects of prebiotic dietary fibers and probiotics on human health: With special focus on recent advancement in their encapsulated formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.010>
- Sharif, M. K., & Khalid, R. (2018). Nutraceuticals: Myths Versus Realities. In *Therapeutic Foods* (pp. 3–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811517-6.00001-5>
- Sharma, M., Wasan, A., & Sharma, R. K. (2021). Recent developments in probiotics: An emphasis on Bifidobacterium. *Food Bioscience*, 41, 100993. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100993>
- Shimizu, M. (2014). History and Current Status of Functional Food Regulations in Japan. In *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and Around the World* (pp. 257–263). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405870-5.00015-3>
- Smaoui, S., Ben Hlima, H., Ben Braïek, O., Ennouri, K., Mellouli, L., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. *Meat Science*, 181, 108585. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108585>
- Snigdha, S., Ha, K., Tsai, P., Dinan, T. G., Bartos, J. D., & Shahid, M. (2022). Probiotics: Potential novel therapeutics for microbiota-gut-brain axis dysfunction across gender and lifespan. *Pharmacology & Therapeutics*, 231, 107978. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2021.107978>
- Song, Q., Wang, Y., Huang, L., Shen, M., Yu, Y., Yu, Q., Chen, Y., & Xie, J. (2021). Review of the relationships among polysaccharides, gut microbiota, and human health. *Food Research International*, 140, 109858. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109858>
- Soquetta, M. B., Terra, L. de M., & Bastos, C. P. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 400–412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>

- Sosalagere, C., Adesegun Kehinde, B., & Sharma, P. (2022). Isolation and functionalities of bioactive peptides from fruits and vegetables: A reviews. *Food Chemistry*, 366, 130494. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130494>
- Soto-Méndez, M. J., Rangel-Huerta, O. D., Ruiz-López, M. D., Martínez de Victoria, E., Anguita-Ruiz, A., & Gil, A. (2019). Role of Functional Fortified Dairy Products in Cardiometabolic Health: A Systematic Review and Meta-analyses of Randomized Clinical Trials. *Advances in Nutrition*, 10(suppl_2), S251–S271. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz001>
- Souza, P. F. N. (2020). The forgotten 2S albumin proteins: Importance, structure, and biotechnological application in agriculture and human health. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4638–4649. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.049>
- Stabler, S. P. (2020). Vitamin B12. In *Present Knowledge in Nutrition* (pp. 257–271). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66162-1.00015-9>
- Strati, I. F., Gogou, E., & Oreopoulou, V. (2015). Enzyme and high pressure assisted extraction of carotenoids from tomato waste. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 668–674. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.09.012>
- Tarabella, A., Varese, E., & Buffagni, S. (2019). Functional Foods. In A. Tarabella, *Food Products Evolution: Innovation Drivers and Market Trends* (pp. 117–142). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23811-1_9
- Timilsena, Y. P., Haque, Md. A., & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments. *Food and Nutrition Sciences*, 11(06), 481–508. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.116035>
- Trojanowska, A., Giamberini, M., Tsibranska, I., Nowak, M., Marciniak, Ł., Jatrزاب, R., & Tylkowski, B. (2017). Microencapsulation in food chemistry. In *Journal of Membrane Science and Research* (Vol. 3, Issue 4, pp. 265–271). Amirkabir University of Technology - Membrane Processes Research Laboratory. <https://doi.org/10.22079/jmsr.2017.23652>
- Trukhachev, V. I., Chmykhalo, V. K., Belanova, A. A., Beseda, D. K., Chikindas, M. L., Bren, A. B., Ermakov, A. M., Donnik, I. M., Belousova, M. M., & Zolotukhin, P. V. (2021). Probiotic biomarkers and models upside down: From humans to animals. *Veterinary Microbiology*, 261, 109156. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2021.109156>

- Truong, V.-L., & Jeong, W.-S. (2022). Antioxidant and anti-inflammatory roles of tea polyphenols in inflammatory bowel diseases. *Food Science and Human Wellness*, 11(3), 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.12.008>
- Vasileska, A., & Rechkoska, G. (2012). Global and Regional Food Consumption Patterns and Trends. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 44, 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.05.040>
- Verardo, V., Crisá, A., Ochando-Pulido, J. M., & Martínez-Férez, A. (2018). Oligosaccharides From Colostrum and Dairy By-Products: Determination, Enrichment, and Healthy Effects. In *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 57, pp. 157–178). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64057-4.00005-3>
- Vidović, S., Vladić, J., Nastić, N., & Jokić, S. (2021). Subcritical and Supercritical Extraction in Food By- product and Food Waste Valorization. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 705–721). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23014-X>
- Viganó, J., Machado, A. P. da F., & Martínez, J. (2015). Sub- and supercritical fluid technology applied to food waste processing. *The Journal of Supercritical Fluids*, 96, 272–286. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.09.026>
- Vimala Bharathi, S. K., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2018). Nano and Microencapsulation Using Food Grade Polymers. In T. J. Gutiérrez (Ed.), *Polymers for Food Applications* (pp. 357–400). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2_14
- Vitheejongjaroen, P., Kanthawang, P., Loison, F., Jaisin, Y., Pachekrepapol, U., & Taweechotipatr, M. (2021). Antioxidant activity of *Bifidobacterium animalis* MSMC83 and its application in set-style probiotic yoghurt. *Food Bioscience*, 43, 101259. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101259>
- Voběrková, S., Maxianová, A., Schlosserová, N., Adamcová, D., Vršanská, M., Richtera, L., Gagić, M., Zloch, J., & Vaverková, M. D. (2020). Food waste composting - Is it really so simple as stated in scientific literature? – A case study. *Science of The Total Environment*, 723, 138202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138202>
- Wang, W., Xiong, P., Zhang, H., Zhu, Q., Liao, C., & Jiang, G. (2021). Analysis, occurrence, toxicity and environmental health risks of synthetic phenolic antioxidants: A review. *Environmental Research*, 201, 111531. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111531>

Waterhouse, G. I. N., & Sun-Waterhouse, D. (2019). Encapsulation Systems Containing Multi- Nutrients/Bioactives: From Molecular Scale to Industrial Scale. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 687–694). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21511-4>

Weindl, I., Ost, M., Wiedmer, P., Schreiner, M., Neugart, S., Klopsch, R., Kühnhold, H., Kloas, W., Henkel, I. M., Schlüter, O., Bußler, S., Bellingrath-Kimura, S. D., Ma, H., Grune, T., Rolinski, S., & Klaus, S. (2020). Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: A Leibniz Position. *Global Food Security*, 25, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100367>

Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., Ma, H., & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 538–549.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>

Wen, J., Cao, P., Yang, G., Lan, H., Guo, Y., Zheng, J., Pan, D., & Wu, Z. (2021). Changes of the mice intestinal microbes by the oligosaccharides-enriched fermented milk in a gender-dependent pattern. *Food Research International*, 140, 110047.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110047>

Wen, L., Zhang, Z., Sun, D.-W., Sivagnanam, S. P., & Tiwari, B. K. (2020). Combination of emerging technologies for the extraction of bioactive compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(11), 1826–1841.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1602823>

Wen, P., Wen, Y., Zong, M.-H., Linhardt, R. J., & Wu, H. (2017a). Encapsulation of Bioactive Compound in Electrospun Fibers and Its Potential Application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(42), 9161–9179.

<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02956>

Wen, P., Zong, M.-H., Linhardt, R. J., Feng, K., & Wu, H. (2017b). Electrospinning: A novel nano- encapsulation approach for bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 70, 56–68.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.009>

Wong, A. Y.-T., Lai, J. M. C., & Chan, A. W.-K. (2015). Regulations and protection for functional food products in the United States. *Journal of Functional Foods*, 17, 540–551. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.038>

Xu, D.-P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., Zhang, J.-J., & Li, H.-B. (2017). Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 96.

<https://doi.org/10.3390/ijms18010096>

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.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>

Zhang, T., Yang, Y., Liang, Y., Jiao, X., & Zhao, C. (2018). Beneficial Effect of Intestinal Fermentation of Natural Polysaccharides. *Nutrients*, 10(8), 1055.

<https://doi.org/10.3390/nu10081055>

Zik, C. (2019). Late Life Vitamin B12 Deficiency. *Clinics in Geriatric Medicine*, 35(3), 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2019.03.004>

Καρβέλα Ε. (2020). Η στάση των καταναλωτών έναντι των ‘Λειτουργικών Τροφίμων. School of Business Administration. Master Thesis.

[https://repo.euc.ac.cy/bitstream/handle/123456789/2212/Evangelia%20Karvela%20\(20175463\)%20DL.pdf?sequence=1](https://repo.euc.ac.cy/bitstream/handle/123456789/2212/Evangelia%20Karvela%20(20175463)%20DL.pdf?sequence=1)

Σαζάμη, Γ. (2016), Μελέτη της δράσης προβιοτικών μικροοργανισμών σε λειτουργικά τρόφιμα, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης (ΔΠΘ).

<https://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/40060?lang=el#page/70/mode/2up>

Σπηλιόπουλος, Ι. (2015). Κεφ. Υδατάνθρακες. Στο Σπηλιόπουλος, Ι., Βάκρος, Ι., Ξαπλαντέρη, Μ. 2015. Χημεία. Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. κεφ 20. <http://hdl.handle.net/11419/932>

Gammon E. (2014), Κεφ. Πολυμερή υλικά: συνθετικά και βιολογικά, στο Σύγχρονη Γενική Χημεία Αρχές και Εφαρμογές

McMurry J. (2017), Κεφ. Βιομόρια: υδατάνθρακες, Βιομόρια: αμινοξέα, πεπτίδια και Πρωτεΐνες, στο Οργανική χημεία , Πανεπιστημιακές εκδόσεις κρήτης.