



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΥΠΕΡΤΡΟΦΩΝ (SUPERFOODS) ΣΤΟ
ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ»**

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: ΚΟΝΤΡΑΤΙΕΒΑ ΙΦΙΓΕΝΕΙΑ

A.M.: 71616155

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΑΝΤΖΟΥΡΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΑ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2021



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF FOOD SCIENCES

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

DIPLOMA THESIS

**«REVIEW OF THE EFFECT OF BIOACTIVE CONSTITUENTS
OF SUPERFOODS ON GUT MICROBIOTA»**

STUDENT NAME AND SURNAME: KONTRATIEVA IFIGENEIA

REGISTRATION NUMBER: 71616155

SUPERVISOR NAME AND SURNAME: LANTZOURAKI DIMITRA

ATHENS

JULY 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τίτλος Εργασίας

«ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ
ΥΠΕΡΤΡΟΦΩΝ (SUPERFOODS) ΣΤΟ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΛΑΝΤΖΟΥΡΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΑ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
2	ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
3	ΚΡΙΤΣΗ ΕΥΤΥΧΙΑ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΣ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κοντρατιέβα Ιφιγένεια της Ναταλίας, με αριθμό μητρώου 71616155, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα



(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το εντερικό μικροβίωμα αποτελεί ένα σύνθετο και δυναμικό σύστημα μικροοργανισμών, με σημαντικό ρόλο στην φυσιολογική λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Τα τελευταία χρόνια έχει βρεθεί στο επίκεντρο του ερευνητικού ενδιαφέροντος, καθώς οι μεταβολές στη σύσταση του φαίνεται να σχετίζονται άμεσα με τη πρόκληση φλεγμονών και συναφών νοσημάτων. Στο επιστημονικό προσκήνιο παρευρίσκεται, επίσης, η διατροφική αξία των υπερτροφών, οι οποίες φαίνεται να έχουν πολλαπλά οφέλη στην υγεία του ανθρώπου, λόγω της αφθονίας τους σε θρεπτικές και βιοδραστικές ουσίες. Νέα επιστημονικά ευρήματα επιβεβαιώνουν ολοένα την ευεργετική τους δράση στην πρόληψη και αντιμετώπιση μεταβολικών, καρδιακών και νευρολογικών παθήσεων, μέσω της βελτίωσης των μικροβιακών ισορροπιών του εντέρου και συνεπώς των σχετικών συμπτωμάτων.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη διερεύνηση της επίδρασης της διατροφικής πρόσληψης υπερτροφών στην πρόληψη ασθενειών και την προάσπιση της υγείας του ανθρώπου, μέσω μεταβολών στη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν πρόσφατα ευρήματα αναφορικά με τη λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος, ενώ αναδείχθηκαν τα είδη και η δράση των βιοδραστικών συστατικών που περιέχονται σε επιλεγμένες υπερτροφές, και που αλληλεπιδρούν με το μικροβίωμα με πιθανά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία.

Λέξεις Κλειδιά: εντερικό μικροβίωμα/μικροβιόκοσμος, υπερτροφές, βιοδραστικές ενώσεις

ABSTRACT

The gut microbiota is a complex and dynamic system of microorganisms that plays a crucial role in the normal function of the human body. For the past few years it has been at the epicenter of research, due to the fact that changes in its composition appear to be directly responsible for the occurrence of gastrointestinal inflammations and related diseases. The nutritional value of superfoods can also be found at the scientific forefront, as it seems to have multiple benefits for human health, due to their abundance in nutrients and bioactive constituents. New scientific findings confirm their beneficial effect in the prevention and treatment of metabolic, cardiovascular and neurological diseases, through the enhancement of the microbial balances of the intestine and associated conditions.

The present study focuses on the investigation of the influence of dietary consumption of superfoods on disease prevention and health improvement, through the compositional alterations of gut microbiota. For this purpose, recent findings concerning the function of the intestinal microbiota were studied, while the types and effects of bioactive components contained in selected superfoods, which interact with the microbiota and provide potential health benefits, were highlighted.

Keywords: gut microbiome/microbiota, superfoods, bioactive compounds

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ.....	11
1.1 ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΝΤΕΡΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ.....	11
1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΕΝΤΕΡΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ.....	13
1.2.1 Μεταβολισμός, Βιοσύνθεση, και Αξιοποίηση των Διαθέσιμων Θρεπτικών Ουσιών.....	13
1.2.2 Ανάπτυξη, Ενίσχυση και Διατήρηση της Ακεραιότητας του Ανοσοποιητικού Συστήματος.....	14
1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ.....	15
1.3.1 Ενδογενείς Παράγοντες.....	15
1.3.2 Εξωγενείς Παράγοντες.....	16
1.3.3 Άλλοι Επιδραστικοί Παράγοντες.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΥΠΕΡΤΡΟΦΕΣ (SUPERFOODS).....	23
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΕΣ.....	23
2.2 ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΤΡΟΦΩΝ.....	24
2.2.1 Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα.....	24
2.2.2 Πολυσακχαρίτες.....	25
2.2.3 Φαινολικές και πολυφαινολικές ενώσεις.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΠΕΡΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ.....	27
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	27
3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΩΝ ΣΤΟ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ.....	28

3.2.1 Σπιρουλίνα	28
3.2.2 Ιπποφαές.....	29
3.2.3 Αβοκάντο	31
3.2.4 Κινόα.....	33
3.2.5 Λιναρόσπορος	35
3.2.6 Ρόδι	37
3.2.7 Μούρα Goji	39
3.2.8 Κουρκουμάς.....	41
3.2.9 Μπρόκολο	42
3.2.10 Αμύδαλα.....	44
3.2.11 Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ερευνών.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	59
ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ, ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΚΑΙ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΟΙ ΟΡΟΙ.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	63
ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	74

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.3.1.1: Εικονική αναπαράσταση της σπιρουλίνας υπό τις μορφές σκόνης και ταμπλέτας.....	28
Εικόνα 2.3.2.1: Κλωνάρι φρέσκων καρπών υποφαούς.....	30
Εικόνα 2.3.3.1: Φωτογραφία φρέσκου φρούτου αβοκάντο.....	32
Εικόνα 2.3.4.1: Φωτογραφία των σπόρων του ψευδοδημητριακού κινόα.....	33
Εικόνα 2.3.5.1: Φωτογραφία των σπόρων του λιναριού.....	35
Εικόνα 2.3.6.1: Εικονική αναπαράσταση του καρπού της ροδιάς.....	37
Εικόνα 2.3.7.1: Φωτογραφία αποξηραμένων μούρων goji	39
Εικόνα 2.3.8.1: Εικονική αναπαράσταση του κουρκουμά στη φυσική μορφή του ριζώματος και υπό τη μορφή σκόνης	41
Εικόνα 2.3.9.1: Φωτογραφία των ανθισμένων κεφαλών του μπρόκολου.....	43
Εικόνα 2.3.10.1: Εικονική αναπαράσταση των καρπών της αμυγδαλιάς	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μεταβολές στα είδη των πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος που σχετίζονται με τη λήψη βιοδραστικών ενώσεων μέσω της κατανάλωσης υπερτροφών.....	47
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ

1.1 ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΝΤΕΡΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ

Το εντερικό μικροβίωμα του ανθρώπου, είναι ένα πολύπλοκο οικοσύστημα τρισεκατομμυρίων μικροοργανισμών αποτελούμενο από βακτήρια, αρχαία, ευκαρυωτικά μικρόβια, βακτηριοφάγους, και ευκαρυωτικούς ιούς, που ζουν και αναπτύσσονται καθ' όλο το μήκος της γαστρεντερικής οδού του ξενιστή και αλληλεπιδρούν με αυτόν, έχοντας άμεση επίδραση στην υγεία του. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η επιστημονική έρευνα για το εντερικό μικροβίωμα εστιάζει ως επί των πλείστων στον βακτηριακό πληθυσμό, καθώς κυριαρχεί αριθμητικά έναντι των άλλων μικροοργανισμών και συμμετέχει σε ένα εύρος μεταβολικών αντιδράσεων (Biswas & Rahaman, 2020). Σε αυτό το σημείο, είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως η χρήση του όρου “εντερικό μικροβίωμα” στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αποδίδεται στον αγγλικό όρο “gut microbiota”, που αφορά τον μικροβιόκοσμο της γαστρεντερικής οδού, και όχι στον αγγλικό όρο “gut microbiome”, ο οποίος σχετίζεται με το γονιδίωμα των μικροβίων που κατοικούν στο έντερο (Σταμούλου, 2017).

Η διαμόρφωση του ανθρώπινου εντερικού μικροβιώματος ξεκινά ήδη από την εμβρυική περίοδο και αποκτά την κύρια μορφή του περίπου στην ηλικία των 3 ετών (Coscia *et al.*, 2021). Αν και σε γενικές γραμμές η σύσταση του θεωρείται σχετικά σταθερή, αυτή μεταβάλλεται ποιοτικά και ποσοτικά καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου μέσα από μια σειρά επιδραστικών παραγόντων, όπως η διατροφή, η ηλικία, η λήψη φαρμάκων κ.ά. Η σχέση μεταξύ ξενιστή και εντερικού μικροβιώματος μπορεί να χαρακτηριστεί κατά κύριο λόγο ως συμβιωτική, αλλά και αναγκαία, καθώς ο ξενιστής παρέχει τις ιδανικές συνθήκες για την αποίκηση και ανάπτυξη των μικροοργανισμών, ενώ αντίστοιχα το μικροβίωμα επιτελεί μια σειρά από λειτουργίες που συμβάλλουν στην προάσπιση της υγείας. Ορισμένες από τις κυριότερες λειτουργίες που αποδίδονται στη δράση του εντερικού μικροβιώματος είναι η ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, η παραγωγή απαραίτητων για τον οργανισμό βιταμινών και αμινοξέων, ο μεταβολισμός της τροφής που δε μεταβολίζεται στον στόμαχο και η ανταγωνιστική προστασία έναντι των παθογόνων

μικροοργανισμών, όπως είναι τα *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella*, *Salmonella*, *Streptococcus*, *Desulfovibrio* κ.ά. (Cresci & Izzo, 2019). Καθίσταται, λοιπόν, αντιληπτό πως μεταξύ ξενιστή και εντερικού μικροβιώματος υπάρχει μια ευαίσθητη ισορροπία, η αποδιοργάνωση της οποίας ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην συνολική υγεία του ξενιστή (δυσβίωση), αφενός με την αύξηση του πληθυσμού των παθογόνων και αφετέρου με την εμφάνιση ποικίλων ασθενειών, όπως για παράδειγμα είναι η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου, η κοιλιοκάκη, η παχυσαρκία, το σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου και ο διαβήτης (Biswas & Rahaman, 2020; Cresci & Izzo, 2019; Σταμούλου, 2017). Επίσης, παρόλο που το μικροβίωμα του εντέρου είναι μοναδικό για κάθε άνθρωπο, οι λειτουργίες που επιτελεί είναι οι ίδιες για όλους (Σταμούλου, 2017). Για το λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντικό, πέρα από ποσοτική υπεροχή σε ωφέλιμα βακτήρια, να υπάρχει και σημαντική ποικιλομορφία. Συμφώνα με έρευνες, μάλιστα, η ποικιλομορφία του εντερικού μικροβιόκοσμου έχει χαρακτηριστεί ως δείκτης ενός υγιούς εντερικού μικροβιακού προφίλ, και συνεπώς ενός συνολικά υγιούς ατόμου, ενώ η χαμηλή ποικιλομορφία φαίνεται να συσχετίζεται άμεσα με διάφορες χρόνιες ασθένειες (Biswas & Rahaman, 2020).

Όσον αφορά τους βακτηριακούς πληθυσμούς που αποτελούν το εντερικό μικροβίωμα, ποικίλουν ποιοτικά και ποσοτικά καθ' όλο το μήκος του γαστρεντερικού σωλήνα, με το μεγαλύτερο ποσοστό να βρίσκεται στο παχύ έντερο, όπου αποικούν 9 φύλα με περισσότερα από 400 είδη, με μεγαλύτερη αφθονία σε εκείνα των Firmicutes, Bacteroidetes, Actinobacteria και Proteobacteria. Παρακάτω παραθέτονται ονομαστικά τα φύλα και μερικά από τα πιο αντιπροσωπευτικά γένη τους (Σταμούλου, 2017):

- Firmicutes: τουλάχιστον 250 γένη, συμπεριλαμβανομένων των *Mycoplasma*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Dorea*, *Faecalibacterium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Sporobacter*, και *Roseburia*.
- Bacteroidetes: πάνω από 20 γένη συμπεριλαμβανομένων των *Bacteroides*, *Prevotella* και *Corynebacterium*.
- Proteobacteria: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Shigella*, *Salmonella*, *Citrobacter*, *Helicobacter* και *Serratia*

- Actinobacteria: Bifidobacterium, Collinsella, Eggerthella και Propionibacterium
- Cyanobacteria
- Fusobacteria
- Lentisphaerae
- Spirochaetes
- Verrucomicrobia

1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΕΝΤΕΡΙΚΟΥ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑΤΟΣ

1.2.1 Μεταβολισμός, Βιοσύνθεση, και Αξιοποίηση των Διαθέσιμων Θρεπτικών Ουσιών

Μια από τις κύριες λειτουργίες του εντερικού μικροβιώματος αφορά τη συμμετοχή του στις διάφορες μεταβολικές διεργασίες του πεπτικού συστήματος, κατά τις οποίες παράγει απαραίτητα ένζυμα, όπου ο άνθρωπος αδυνατεί από τη φύση του να βιοσυνθέσει (Thursby & Juge, 2017). Συγκεκριμένα, τα ένζυμα αυτά λαμβάνουν μέρος στη σύνθεση ορισμένων βιταμινών (π.χ. βιταμίνες K και B) και στον μεταβολισμό των άπεπτων πολυσακχαριτών, πρωτεϊνών, πολυφαινολών, χολικών οξέων, ενζύμων, βλεννίνης και νεκρών κυττάρων, που εισέρχονται στο κατώτερο τμήμα της γαστρεντερικής οδού, παράγοντας μια σειρά από μεταβολίτες, όπως αλκοόλες, λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (SCFAs), λιπαρά οξέα διακλαδισμένης αλύσου (BCFAs), αμμωνία, αμίνες, θεικές ενώσεις, φαινόλες, ινδόλες, παράγωγα γλυκερόλης και χολίνης, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνο (Cao *et al.*, 2020; Rowland *et al.*, 2018).

Από τους σημαντικότερους μεταβολίτες που προκύπτουν μέσω του εντερικού μικροβιώματος, θεωρούνται τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (SCFAs), και συγκεκριμένα τα προπιονικά, βουτυρικά και οξικά οξέα, τα οποία παράγονται σε γραμμομοριακή αναλογία 1:1:3, κατά τον καταβολισμό των άπεπτων υδατανθράκων (π.χ. διαιτητικές ίνες), ενώ ορισμένα ποσοστά προπιονικού και βουτυρικού οξέος παράγονται επίσης και κατά τη ζύμωση πεπτιδίων και αμινοξέων (Thursby & Juge, 2017; Rowland *et al.*, 2018). Το παραγόμενο οξικό οξύ μεταφέρεται στους περιφερειακούς ιστούς και χρησιμοποιείται στον μεταβολισμό της χοληστερόλης και

στη λιπογένεση, ενώ δρα επίσης ως συμπαράγοντας για την ανάπτυξη ορισμένων βακτηρίων του εντερικού μικροβιώματος. Από την άλλη πλευρά, τόσο το προπιονικό, όσο και το βουτυρικό οξύ αποτελούν πηγή ενέργειας για τα επιθηλιακά κύτταρα του εντέρου και συμβάλλουν στην ενεργειακή ομοιόσταση ρυθμίζοντας την διαδικασία της γλυκονογένεσης. Επίσης, σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες, το βουτυρικό οξύ φαίνεται να εμφανίζει αντικαρκινικές ιδιότητες αναστέλλοντας την αποακετυλάση ιστόνης και διεγείροντας την απόπτωση των καρκινικών κυττάρων του παχέος εντέρου. Ενώ το οξικό οξύ παράγεται από τα περισσότερα είδη βακτηρίων του εντερικού μικροβιώματος, το βουτυρικό και το προπιονικό οξύ παράγονται κατά κύριο λόγο από τα φύλα Firmicutes και Bacteroidetes, αντίστοιχα. Ωστόσο, ορισμένα βακτήρια, όπως τα *Roseburia inulinivorans* και *Ruminococcus obeum*, έχουν την ικανότητα να παράγουν διαφορετικά SCFAs ανάλογα με το υπόστρωμα και τις συνθήκες ανάπτυξης που επικρατούν στο γαστρεντερικό περιβάλλον (Rowland *et al.*, 2018).

Το εντερικό μικροβίωμα έχει, επίσης, την ικανότητα να συνθέσει ορισμένες βιταμίνες, όπως η βιταμίνη Κ και το σύμπλεγμα βιταμινών Β (θειαμίνη, ριβοφλαβίνη, νιασίνη, παντοθενικό οξύ, πυριδοξίνη, βιοτίνη, φυλλικό οξύ και κοβαλαμίνη), οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες τόσο για την διατήρηση της καλής υγείας του ξενιστή, όσο και για την αυτή καθαυτή ανάπτυξη και μεταβολική δραστηριότητα ορισμένων πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος (Thursby & Juge, 2017).

1.2.2 Ανάπτυξη, Ενίσχυση και Διατήρηση της Ακεραιότητας του Ανοσοποιητικού Συστήματος

Ιδιαίτερης σημασίας λειτουργία του εντερικού μικροβιώματος είναι επίσης η παροχή προστασίας έναντι των παθογόνων μικροοργανισμών και των επιβλαβών ουσιών, στα οποία ο ανθρώπινος οργανισμός εκτίθεται διαρκώς. Το ανοσοποιητικό σύστημα του εντέρου αποτελείται δομικά κατά κύριο λόγο από δύο στρώματα: α) ένα εσωτερικό στρώμα επιθηλιακών κυττάρων, το οποίο έχει την ικανότητα να εκκρίνει ανοσοσφαιρίνες Α και αντιμικροβιακά πεπτίδια όταν αυτό είναι απαραίτητο, και β) ένα εξωτερικό στρώμα βλέννας (βλεννογόνος), για την ωρίμαση του οποίου υπεύθυνο είναι το εντερικό μικροβίωμα. Το στρώμα βλέννας έχει προστατευτικό ρόλο, καθώς

αποτρέπει τη διείσδυση μικροοργανισμών εντός του εντερικού επιθηλίου. Ωστόσο, στην επιφάνεια του προσδέεται και δημιουργεί αποικίες το εντερικό μικροβίωμα, δρώντας ως ένας επιπλέον φραγμός έναντι των παθογόνων, τα οποία ανταγωνίζεται ως προς τα θρεπτικά συστατικά και τις θέσεις πρόσδεσης (Biswas & Rahaman, 2020; Nishida *et al.*, 2018). Παράλληλα, κατά τη παρουσία των παθογόνων στο περιβάλλον του εντέρου, το μικροβίωμα εκκρίνει διάφορες ανασταλτικές-αντιμικροβιακές ουσίες (π.χ. βακτηριοσύνες), αλλά και ουσίες που προκαλούν ανοσοαποκρίσεις (Nishida *et al.*, 2018). Επίσης, είναι υπεύθυνο για την ωρίμαση των λεμφικών ιστών και την ρύθμιση της παραγωγής των λεμφοκυττάρων και της διαμόρφωσης τους, ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού (Cao *et al.*, 2020; Σταμούλου, 2017; Nishida *et al.*, 2018). Συνεπώς, η διατάραξη της ισορροπίας του εντερικού μικροβιώματος, έχει άμεση επίπτωση στην ακεραιότητα του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή. Αποτέλεσμα αυτού είναι να εμφανίζει μειωμένη ανοσολογική ανάπτυξη (λιγότερο ώριμοι λεμφικοί ιστοί, μειωμένος αριθμός εντερικών λεμφοκυττάρων, χαμηλά επίπεδα αντιμικροβιακών ουσιών και ανοσοσφαιρίνες A) και να καθιστά τον ανθρώπινο οργανισμό πιο ευάλωτο στην πρόκληση πιθανών λοιμώξεων και παθήσεων (Nishida *et al.*, 2018).

1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ

Η μοναδικότητα του εντερικού μικροβιώματος που φέρει ο κάθε άνθρωπος ξεχωριστά, αποδίδεται σε μια σειρά από ενδογενείς, εξωγενείς και άλλους παράγοντες, οι οποίοι συνδυαστικά και επηρεαζόμενοι ο ένας από τον άλλον διαμορφώνουν τελικώς τη σύσταση του μικροβιόκοσμου του εντέρου. Παρακάτω παρουσιάζεται μια σύντομη επισκόπηση των παραγόντων αυτών.

1.3.1 Ενδογενείς Παράγοντες

1.3.1.1 Ανοσοποιητικό Σύστημα

Όπως προαναφέρθηκε στην Παράγραφο 1.2.2 (Κεφάλαιο 1, σελ. 14), το εντερικό μικροβίωμα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή. Ωστόσο, μεταξύ των δυο υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση,

καθώς η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ανοσοποιητικό σύστημα του ξενιστή την εκάστοτε περίοδο μπορεί, επίσης, να επηρεάσει τις μικροβιακές ισορροπίες του εντέρου, επιτρέποντας ή μη την αποίκηση και την ανάπτυξη ορισμένων μικροβιακών πληθυσμών (Zhang *et al.*, 2015). Έτσι, ένα αποδυναμωμένο ανοσοποιητικό σύστημα, το οποίο ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα άλλων παραγόντων, όπως είναι η κακή διατροφή ή ο ελλιπής ύπνος, είναι πιο ευάλωτο στην πρόκληση φλεγμονών και λοιμώξεων και συνεπώς στην ανάπτυξη δυσβιωτικών σχέσεων ανάμεσα στους μικροβιακούς πληθυσμούς.

1.3.1.2 Γενετικό Υπόβαθρο

Έως σήμερα υπάρχει περιορισμένος αριθμός δημοσιευμένων μελετών για την επίδραση του γενετικού υποβάθρου του ξενιστή στο μικροβιόκοσμο του εντέρου. Εντούτοις υπάρχουν επιστημονικά ευρήματα που υποστηρίζουν ότι τα ξεχωριστά γενετικά χαρακτηριστικά και γονίδια που φέρει στο DNA του και κληρονομεί ο άνθρωπος, μπορούν να επηρεάσουν έμμεσα τη γενική σύσταση του εντερικού μικροβιώματος. Ο ρόλος των γονιδίων που φαίνεται να σχετίζονται με το μικροβιόκοσμο του εντέρου, πιθανόν, να αποδίδεται στην κωδικοποιημένη γενετική πληροφορία για ορισμένα ένζυμα που συμμετέχουν στις μεταβολικές δραστηριότητες και στην ενδεχόμενη προδιάθεση για εμφάνιση μεταβολικών και ανοσολογικών διαταραχών, ωστόσο, ο ακριβής τρόπος με τον οποίο επιδρούν στο εντερικό μικροβίωμα είναι ακόμα υπό διερεύνηση (Dąbrowska & Witkiewicz, 2016).

1.3.2 Εξωγενείς Παράγοντες

1.3.2.1 Είδος τοκετού

Το ανθρώπινο εντερικό μικροβίωμα διαμορφώνεται σε πρώτο στάδιο κατά την προγεννητική περίοδο, ανάλογα με το μικροβιακό φορτίο που επικρατεί στον περιβάλλοντα χώρο του εμβρύου (μήτρα, πλακούντας, αμνιακός σάκος, ομφάλιος λώρος). Το φορτίο αυτό επηρεάζεται τόσο από την υγεία, όσο και από τις διατροφικές και άλλες συνήθειες της μητέρας, πριν και κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης (Kashtanova *et al.*, 2016; Coscia *et al.*, 2021; Al-Judaibi, 2021). Ωστόσο, κατά τη

μεταγεννητική περίοδο παρατηρείται μια ραγδαία αλλαγή στη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη διαδικασία τοκετού που ακολουθήθηκε. Σύμφωνα με έρευνες, τα μικροβιακά προφίλ μεταξύ των βρεφών που γεννήθηκαν με φυσιολογικό τοκετό και με καισαρική τομή εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα βρέφη που γεννήθηκαν με φυσιολογικό τοκετό παρουσιάζουν στο μικροβίωμα τους υψηλή συγκέντρωση πληθυσμών που προέρχονται από τον κόλπο και το περίνεο της μητέρας, όπως τα *Lactobacillus*, *Prevotella* και *Sneathia* spp., ενώ αντίθετα στα βρέφη που γεννήθηκαν με καισαρική τομή επικρατούν βακτήρια όπως τα *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, και *Propionibacterium* spp., τα οποία προέρχονται από το δέρμα της μητέρας και άλλους νοσοκομειακούς περιβαλλοντικούς παράγοντες (Biswas & Rahaman, 2020; Kashtanova *et al.*, 2016; Coscia *et al.*, 2021). Επίσης, στα μωρά που γεννήθηκαν με καισαρική τομή έχει βρεθεί πως η ποικιλομορφία και οι πληθυσμοί των *Bifidobacterium* και *Bacteroides* βρίσκονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με βρέφη που γεννήθηκαν με φυσιολογικό τοκετό (Biswas & Rahaman, 2020; Coscia *et al.*, 2021), ενώ αυξημένοι είναι οι πληθυσμοί σε ορισμένα ευκαιριακά παθογόνα βακτήρια όπως τα *Enterococcus* και *Klebsiella* spp (Marrs *et al.*, 2021).

1.3.2.2 Διατροφή

Η διατροφή είναι ίσως ο σημαντικότερος επιδραστικός παράγοντας, καθώς επηρεάζει, άμεσα και καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου, τους μικροβιακούς πληθυσμούς που αποικούν στο έντερο, ανάλογα με τα είδη των προσλαμβανόμενων τροφίμων, την πιθανή επεξεργασία που έχουν υποστεί και τις ποσότητες που περιέχουν σε θρεπτικά συστατικά, βιοδραστικές ουσίες και πρόσθετα (Cresci & Izzo, 2019). Ήδη κατά τη μεταγεννητική περίοδο, τα νεογνά που τρέφονται με μητρικό γάλα εμφανίζουν πολύ μεγάλες διαφοροποιήσεις στο μικροβίωμα τους, συγκριτικά με εκείνα που τρέφονται με βρεφική φόρμουλα. Συγκεκριμένα, το εντερικό μικροβίωμα των βρεφών που θηλάζουν αποτελείται κατά κύριο λόγο από τους πληθυσμούς των *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, αλλά και αρκετών μυκητιακών ειδών, ενώ στο έντερο των βρεφών που τρέφονται με βρεφική φόρμουλα κατοικούν κυρίως πληθυσμοί των *Bifidobacterium*, *Bacteroides* και *Clostridia* (Biswas & Rahaman, 2020; Marrs *et al.*, 2021). Ωστόσο, κατά το πέρας του χρόνου

και την σταδιακή κατανάλωση των στερεών τροφών, το εντερικό μικροβίωμα ωριμάζει και αποκτά την ενήλικη του διαμόρφωση, η οποία όμως εξακολουθεί να διαμορφώνεται ανάλογα με τις ακολοθούμενες διατροφικές συνήθειες.

Μια υγιεινή και ισορροπημένη διατροφή, πλούσια σε διαιτητικές ίνες, βιταμίνες και άλλες θρεπτικές και βιοδραστικές ουσίες, έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός επίσης πλούσιου, ποιοτικά και ποσοτικά, μικροβιώματος σε ευεργετικά στελέχη, και συνεπώς την ανάπτυξη ενός ενισχυμένου ανοσοποιητικού συστήματος. Συγκεκριμένα, τα τρόφιμα που περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε διαιτητικές ίνες, αυξάνουν τους πληθυσμούς των *Bacteroidetes*, *Bifidobacterium*, *Ruminococcus bromi* και την παραγωγή SFCAs στο έντερο, ενώ μειώνουν τους πληθυσμούς των *Firmicutes*, *Enterobacteriaceae*, *Shigella* και *Escherichia* (Cuevas-Sierra *et al.*, 2019). Θετική επίδραση στην υγεία του ξενιστή έχει, επίσης, η κατανάλωση λειτουργικών τροφίμων, όπως τα ζυμωμένα τρόφιμα και οι υπερτροφές, ή και μεμονωμένων πρεβιοτικών και προβιοτικών, τα οποία αυξάνουν τους ευεργετικούς πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος, οι οποίοι με τη σειρά τους ανταγωνίζονται τους παθογόνους αποτρέποντας τυχόν λοιμώξεις, επαναφέρουν τις μικροβιακές ισορροπίες, ενώ παράλληλα προάγουν την παραγωγή ωφέλιμων μεταβολιτών (Biswas & Rahaman, 2020).

Από την άλλη πλευρά, άτομα που ακολουθούν μια ανθυγιεινή διατροφή, καταναλώνοντας πολλά επεξεργασμένα, τηγανιτά και έτοιμα φαγητά, τα οποία περιέχουν υψηλές ποσότητες σε κορεσμένα λιπαρά, σάκχαρα και πρόσθετα συντηρητικά, εμφανίζουν στο μικροβίωμα τους, χαμηλή ποικιλομορφία, μειωμένους πληθυσμούς ευεργετικών μικροοργανισμών, ενώ επίσης είναι πιο ευάλωτοι στην εμφάνιση παθήσεων όπως είναι η παχυσαρκία και η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Δυτικού τύπου διατροφή, κατά την οποία παρατηρείται αυξημένη κατανάλωση πρωτεϊνών και κορεσμένων λιπαρών και μειωμένη πρόσληψη διαιτητικών ινών (Σταμούλου, 2017). Πιο συγκεκριμένα, η υψηλή πρόσληψη λιπαρών από τις τροφές προκαλεί μεταβολές, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με την πρόκληση της παχυσαρκίας. Τέτοιες μεταβολές είναι η μείωση των *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* και *Bacteroidetes*, και η αύξηση των *Proteobacteria* και *Firmicutes* (Cuevas-Sierra *et al.*, 2019; Σταμούλου, 2017). Επίσης, η κατανάλωση τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, όπως είναι το κρέας, προκαλεί

μείωση στους πληθυσμούς των Firmicutes και κυρίως των Clostridium, Faecalibacterium και Roseburia (Cuevas-Sierra *et al.*, 2019. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η υπερβολική κατανάλωση πρωτεϊνών έχει, επίσης, ως αποτέλεσμα την μετατροπή των περιττών ποσοτήτων σε βλαβερούς για την υγεία μεταβολίτες, οι οποίοι έχουν συσχετιστεί με την πρόκληση δυσβίωσης και την αύξηση κινδύνου για φλεγμονώδη νόσο και καρκίνο του εντέρου (Biswas & Rahaman, 2020).

Τέλος, σημαντικό ρόλο στην συνολική σύσταση του εντερικού μικροβιώματος διαδραματίζει η κατανάλωση αφεψημάτων, αναψυκτικών και αλκοολούχων ποτών. Ο καφές, το τσάι και το κρασί, παραδείγματος χάριν, είναι ροφήματα πλούσια σε πολυφαινόλες, τα οποία σε φυσιολογικές ποσότητες μπορούν να έχουν πολλές ευεργετικές και προστατευτικές ιδιότητες. Ωστόσο, η υπερβολική κατανάλωση τους, και ειδικά του αλκοόλ, μπορούν να επιφέρουν αντίθετα αποτελέσματα, μειώνοντας ποιοτικά και ποσοτικά τους μικροβιακούς πληθυσμούς του εντέρου, και αυξάνοντας τον κίνδυνο για πρόκληση παθήσεων, όπως η αλκοολική ηπατοπάθεια (Biswas & Rahaman, 2020).

1.3.2.3 Φαρμακευτική Αγωγή

Η λήψη αντιβιοτικών και μη φαρμάκων είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος, δεδομένης της ολοένα και αυξανόμενης λήψης τους τις τελευταίες δεκαετίες. Όσον αφορά τα αντιβιοτικά, παρόλο που χαρακτηρίζονται από επιλεκτική τοξικότητα σε συγκεκριμένα παθογόνα, έχει βρεθεί πως επιδρούν και στη γενική σύσταση του εντερικού μικροβιώματος, άλλοτε δυσμενώς, προκαλώντας μικροβιακή ανισορροπία (δυσβίωση) και άλλοτε ευμενώς, αυξάνοντας την αφθονία των ευεργετικών βακτηρίων στο έντερο (Ianiro *et al.*, 2016). Ακόμα και η κατάποση μιας μόνο δόσης ενός αντιβιοτικού φαρμάκου είναι ικανή να διαταράξει το εντερικό μικρόβιομα, η αποκατάσταση του οποίου μπορεί να διαρκέσει έως και αρκετές εβδομάδες (Bhalodi *et al.*, 2019). Ωστόσο εκτός από τα αντιβιοτικά, φάρμακα όπως αναστολείς αντλίας πρωτονίων, αντισυλληπτικά χάπια, αντιψυχωτικά φάρμακα, μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα και κυτταροτοξικά αντικαρκινικά φάρμακα επιδρούν επίσης στη συνολική σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος (Biswas & Rahaman, 2020).

1.3.3 Άλλοι Επιδραστικοί Παράγοντες

Εκτός από τους κύριους ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες στους οποίους έγινε ήδη αναφορά, έρευνες έχουν δείξει και μια σειρά από άλλους παράγοντες που επηρεάζουν επίσης την σύσταση του εντερικού μικροβιώματος σε σημαντικό βαθμό. Πιο συγκεκριμένα, οι παράγοντες αυτοί αφορούν την ηλικία, τη γεωγραφική τοποθεσία, το περιβάλλον και τον τρόπο διαβίωσης (lifestyle) του ξενιστή.

1.3.3.1 Ηλικία

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην Ενότητα 1.1 και στην Παράγραφο 1.3.2.1 (σελ. 11 και 16, αντίστοιχα), το εντερικό μικροβίωμα των ανθρώπων διαμορφώνεται και ωριμάζει καθ' όλη την διάρκεια από τη γέννηση έως την ενηλικίωση, ενώ το μικροβίωμα των ενηλίκων φαίνεται να διατηρεί σε γενικές γραμμές την ομοιόστασή του, υπό την προϋπόθεση ότι υπόκειται μόνο σε βραχυπρόθεσμες μεταβολές και δεν εκτίθεται σε ακραίους παράγοντες (π.χ. αντιβιοτικά) για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, κατά τη προχωρημένη γήρανση έχει παρατηρηθεί πως η σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος υφίσταται ορισμένες τροποποιήσεις, που ενδεχομένως να σχετίζονται με τη κατάσταση της υγείας των ηλικιωμένων και τη πιθανή λήψη φαρμάκων, την μειωμένη σωματική άσκηση και την πιθανή αλλαγή στις διατροφικές συνήθειες (Biswas & Rahaman, 2020). Πιο συγκεκριμένα, τα ηλικιωμένα άτομα εμφανίζουν, συγκριτικά με νεαρούς ενήλικες, σημαντική μείωση της ποικιλομορφίας, του λόγου των πληθυσμών Firmicutes/Bacteroidetes, και αυξημένα επίπεδα Proteobacteria, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση του βλεννογόνου και συνεπώς να αυξήσει τον κίνδυνο λοιμώξεων από παθογόνους (Wu *et al.*, 2021).

1.3.3.2 Γεωγραφική Τοποθεσία και Περιβάλλον Διαβίωσης

Οι διατροφικές συνήθειες των ανθρώπων διαφέρουν σημαντικά, λόγω είτε κουλτούρας, θρησκευτικών πεποιθήσεων ή κλίματος της περιοχής (διαφορετικά τρόφιμα καλλιεργούνται σε διαφορετικά κλίματα), έχοντας ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαντικών διαφοροποιήσεων στη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος μεταξύ ατόμων από διαφορετικές χώρες, γεωγραφικές περιοχές ή διαφορετικές

πολιτισμικές ομάδες (Senghor *et al.*, 2018). Επίσης, ανάλογα με τη φυλή και τη γεωγραφική τοποθεσία από την οποία κατάγονται, οι άνθρωποι φέρουν αντίστοιχα γονίδια που, όπως έχει ήδη αναφερθεί, μπορούν να επηρεάσουν την σύνθεση του μικροβιώματος (Lin *et al.*, 2013; Cresci & Izzo, 2019). Διαφοροποιήσεις εμφανίζονται επίσης και μεταξύ ατόμων που κατοικούν σε αστικές και αγροτικές περιοχές. Για παράδειγμα, οι κάτοικοι των αγροτικών περιοχών που ενασχολούνται με τη γεωργία και την κτηνοτροφία, εκτίθενται καθημερινά σε πλήθος μικροοργανισμών, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός πλούσιου εντερικού μικροβιώματος με μεγάλη ποικιλομορφία (Tasnim *et al.*, 2017). Παρομοίως, το μικροβίωμα των ατόμων που διαβιούν σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπου οι συνθήκες υγιεινής είναι ανεπαρκείς, ποικίλλει συγκριτικά με εκείνων των ανεπτυγμένων χωρών. Τέλος, σύμφωνα με έρευνες, η μόλυνση του περιβάλλοντος, και πιο συγκεκριμένα η ατμοσφαιρική ρύπανση και η μόλυνση των υδάτων, μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τις μικροβιακές ισορροπίες του εντέρου (Biswas & Rahaman, 2020).

1.3.3.3 Τρόπος Διαβίωσης (Lifestyle)

Σύμφωνα με έρευνες, το lifestyle που ακολουθεί ο κάθε άνθρωπος μπορεί να επηρεάσει τη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος. Εν παραδείγματι, έρευνες έχουν δείξει ότι η καθημερινή κοινωνική συναναστροφή ή η επαφή με κατοικίδια ζώα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποικιλομορφίας του μικροβιόκοσμου του εντέρου, ενώ μάλιστα έχει παρατηρηθεί ότι το εντερικό μικροβίωμα μεταξύ συντρόφων ή συζύγων εμφανίζει παρόμοια σύνθεση (Dill-McFarland *et al.*, 2019). Επίσης, η ενασχόληση με την γυμναστική και τον αθλητισμό φαίνεται να έχει θετική επίδραση στο εντερικό μικροβίωμα, αυξάνοντας σημαντικά τις συγκεντρώσεις των παραγόμενων λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου (SCFAs), αλλά και ορισμένων ωφέλιμων βακτηρίων, όπως τα *Akkermansia*, *Prevotella*, *Faecalibacterium* και *Roseburia* (Monda *et al.*, 2017; Allen *et al.*, 2018; Biswas & Rahaman, 2020).

Από την άλλη πλευρά, το κάπνισμα φαίνεται να επιδρά αρνητικά στη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος, μειώνοντας τη ποικιλομορφία και διαταράσσοντας τις πληθυσμιακές μικροβιακές ισορροπίες. Συγκεκριμένα έχει βρεθεί πως το κάπνισμα αυξάνει τον μικροβιακό πληθυσμό των φύλων *Proteobacteria* και *Bacteroidetes* και

του γένους *Clostridium*, ενώ παράλληλα μειώνει τον μικροβιακό πληθυσμό των φύλων *Actinobacteria* και *Firmicutes*, μεταβολές παρόμοιες με εκείνες που παρουσιάζονται σε άτομα που πάσχουν από φλεγμονώδη νόσο του εντέρου ή παχυσαρκία (Biswas & Rahaman, 2020). Επίσης, ο ελλιπής ή και διακεκομμένος ύπνος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των πληθυσμών των *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae*, *Coriobacteriaceae* και *Erysipelotrichaceae*, και μείωση των πληθυσμών των *Lactobacillaceae* και *Tenericutes* (Benedict *et al.*, 2016; Poroyko *et al.*, 2016). Τέλος, άτομα που πάσχουν από κατάθλιψη ή αγχώδη διαταραχή εμφανίζουν, επίσης, διαφοροποιήσεις στο εντερικό τους μικροβίωμα συγκριτικά με άτομα που δεν εμφανίζουν αυτής της μορφής ψυχικές διαταραχές. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της κατάθλιψης παρατηρείται μείωση των *Bacteroidetes*, *Prevotellaceae*, *Faecalibacterium*, *Coprococcus*, *Sutterella* και *Dialister*, και αύξηση των *Actinobacteria*, *Eggerthella* και *Lactobacillus*, ενώ στην περίπτωση της αγχώδους διαταραχής παρατηρείται μείωση των *Firmicutes*, *Ruminococcaceae*, *Subdoligranulum*, *Dialister*, *Prevotellaceae*, *Faecalibacterium* και *Sutterella*, και αύξηση των *Enterobacteriales*, *Enterobacteriaceae*, *Escherichia/Shigella* και *Lactobacillus* (Simpson *et al.*, 2020). Ωστόσο, και στις τρεις τελευταίες περιπτώσεις (ελλιπής χρονικά ύπνος, κατάθλιψη, άγχος), οι αλλαγές στους μικροβιακούς πληθυσμούς του εντέρου οφείλονται, ταυτοχρόνως, και στην πιθανή λήψη φαρμάκων (αντικαταθλιπτικά, ηρεμιστικά) ή/και στις ανθυγιεινές διατροφικές συνήθειες που τείνουν να ακολουθούν οι πάσχοντες (Simpson *et al.*, 2020; Poroyko *et al.*, 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΥΠΕΡΤΡΟΦΕΣ (SUPERFOODS)

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΕΣ

Οι ταχείς ρυθμοί ζωής της σύγχρονης κοινωνίας, όπου προωθείται η ακολουθία θρεπτικά φτωχών διαιτολογίων, η αυξημένη εμφάνιση ποικίλων χρόνιων παθήσεων, και η ολοένα μειωμένη επίδραση φαρμακευτικών ενώσεων μετά από μακροχρόνια λήψη τους, έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση εναλλακτικών φυσικών πηγών, υψηλής θρεπτικής αξίας και με πιθανές θεραπευτικές δράσεις ως αντίβαρο για την προάσπιση της ανθρώπινης υγείας. Οι υπερτροφές, αποτελούν μια ειδική κατηγορία τροφίμων, όπου συνδυάζουν τις δυο αυτές παραμέτρους, και έχουν συγκεντρώσει τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον, τόσο του καταναλωτικού κοινού, όσο και της επιστημονικής κοινότητας.

Αν και μέχρι στιγμής δεν έχει αποδοθεί, βάση νομοθεσίας, κάποιος συγκεκριμένος ορισμός, με τον όρο υπερτροφή (superfood) χαρακτηρίζονται τα τρόφιμα που περιέχουν, μεταξύ άλλων, πολύ υψηλή συγκέντρωση σε ένα ή περισσότερα θρεπτικά συστατικά ή βιοδραστικές ουσίες, με μεγάλη βιοδιαθεσιμότητα, και που η κατανάλωση τους έχει πιθανά οφέλη στην υγεία συγκριτικά με συμβατικά τρόφιμα (Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017; Ζαχαρού & Σταμούλη, 2015). Συγκεκριμένα, οι υπερτροφές θεωρούνται ότι συμβάλλουν στην προάσπιση της υγείας του ανθρώπου, ενισχύοντας το ανοσοποιητικό σύστημα, προωθώντας την ομαλή λειτουργία των διαφόρων οργάνων και ρυθμίζοντας την έκκριση ορμονών. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να καταναλώνονται εντός μιας συνολικά ισορροπημένης διατροφής, χωρίς να γίνεται υπερκατανάλωσή τους, η οποία μπορεί να επιφέρει αντίθετα αποτελέσματα από τα επιθυμητά (Proestos, 2018). Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι λόγω της υψηλής απορρόφησής μέσω της πέψης, που παρουσιάζουν τα περισσότερα βιοδραστικά συστατικά των υπερτροφών από τον οργανισμό, δεν απαιτείται συνήθως να καταναλωθεί μεγάλη ποσότητα αυτών προκειμένου να αποδοθεί η ευεργετική τους δράση, και συνεπώς δεν επιβαρύνεται το ενεργειακό ισοζύγιο (Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017).

Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και περισσότεροι ερευνητές στρέφονται στην μελέτη των επιμέρους υπερτροφών ως προς τις ακριβείς ευεργετικές ιδιότητες που έχουν

στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά και στην εύρεση νέων υπερτροφών προερχόμενων από όλα τα μέρη της γης. Μάλιστα, στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι υπερτροφές, προτού διερευνηθούν ως προς την ευεργετική επίδραση τους στην υγεία και τους αποδοθεί ο χαρακτηρισμός αυτός, χρησιμοποιούνταν ήδη ως τρόφιμα-φάρμακα από τα αρχαία χρόνια, σύμφωνα με τις ιατρικές παραδόσεις των χωρών από όπου προήλθαν (Ζαχαρού & Σταμούλη, 2015). Ενδεικτικά, παρουσιάζονται παρακάτω μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές υπερτροφές (Proestos, 2018; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017):

- Φρούτα: Ρόδι, Ιπποφαές, Αβοκάντο, Μούρα Acai, Μούρα Goji, Μύρτιλο, Γκουαρανά, Acerola, Ελιές
- Λαχανικά: Μπρόκολο, Κουνουπίδι, Σπανάκι
- Ξηροί καρποί: Αμύγδαλα, Καρύδια
- Μελισσοκομικά προϊόντα: Βασιλικός πολτός, Πρόπολη
- Άλγη: Σπιρουλίνα, Χλωρέλλα
- Βότανα και Μπαχαρικά: Κουρκουμάς, Σαφράν, Ιβίσκος, Αμάρανθος, Κανέλα, Εχινάκεια,
- Σπόροι και Ψευδοδημητριακά: Κινόα, Λιναρόσπορος, Σπόροι Chia
- Προϊόντα ζύμωσης: Κεφίρ, Κόκκινο Κρασί
- Άλλα: Μαστίχα, Κακάο

2.2 ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΥΠΕΡΤΡΟΦΩΝ

2.2.1 Ακόρεστα Λιπαρά Οξέα

Τα λιπαρά οξέα αποτελούν αλυσίδες μονοκαρβοξυλικών οξέων, με άρτιο κατά βάση αριθμό ατόμων άνθρακα (4-24), που φέρουν στο άκρο τους μία καρβοξυλομάδα. Στα τρόφιμα, συνήθως βρίσκονται εστεροποιημένα με μόρια γλυκερόλης, και σπάνια σε ελεύθερη μορφή, ενώ διακρίνονται σε κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα, ανάλογα με την παρουσία ή μη διπλών δεσμών στο μόριο τους (Τσάκνης, 2018). Μεταξύ των δύο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, καθώς περιέχονται σε αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις στις ελαιούχες υπερτροφές. Ανάλογα με τον βαθμό της ακορεστότητας τους, αυτά διακρίνονται σε μονοακόρεστα

(Mono-Unsaturated Fatty Acids, MUFAs) και πολυακόρεστα (Poly-Unsaturated Fatty Acids, PUFAs) λιπαρά οξέα. Συγκεκριμένα, οι κύριες μορφές ακόρεστων λιπαρών οξέων που συναντώνται στις υπερτροφές, είναι τα ω-ακόρεστα, όπου χαρακτηρίζονται από μη συζυγείς *cis*-διπλούς δεσμούς. Ο αριθμός που τους αποδίδεται (ω-3, ω-6, ω-9), αναφέρεται στον αριθμό του άνθρακα της αλυσίδας που περιέχει τον πρώτο διπλό δεσμό. Ορισμένα μάλιστα από αυτά χαρακτηρίζονται και ως απαραίτητα λιπαρά οξέα (π.χ. α-λινολενικό), καθώς αδυνατούν να συντεθούν *de novo* από τους ανθρώπους ή ορισμένα είδη ζώων, και μπορούν να προσληφθούν μόνο από την κατανάλωση φυτικών τροφίμων (Σφλώμος, 2017). Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα που συναντώνται πιο συχνά στις υπερτροφές πλούσιες σε φυτικό λίπος, όπως είναι το αβοκάντο, η ελιά, ο λιναρόσπορος, και τα καρύδια, είναι το αραχιδονικό, το παλμιτελαϊκό, το λινολαϊκό, το α-λινολενικό και το ελαϊκό οξύ, και η πρόσληψη τους έχει συσχετιστεί με τη βελτίωση των επιπέδων χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων στο αίμα, και συνεπώς με την πρόληψη και αντιμετώπιση πολλών καρδιαγγειακών νοσημάτων (Τσάκνης, 2018).

2.2.2 Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες αποτελούν σύνθετες μορφές υδατανθράκων, όπου δεκάδες, εκατοντάδες ή χιλιάδες μόρια απλών σακχάρων συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοζιτικούς δεσμούς, σε ευθύγραμμη ή διακλαδισμένη δομή. Διακρίνονται σε ομοπολυσακχαρίτες και ετεροσακχαρίτες ανάλογα με την παρουσία ενός ή περισσοτέρων ειδών μονοσακχαριτών στη συνολική δομή τους. Οι κύριοι πολυσακχαρίτες που απαντώνται στα τρόφιμα είναι το άμυλο, η ινουλίνη, η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες (ξυλάνες, γλυκάνες, κόμμεα, φυτοβλέννες) και η πηκτίνη, εκ των οποίων όλοι εκτός από το άμυλο ανήκουν στην κατηγορία των άπεπτων πολυσακχαριτών και αποτελούν τις φυτικές ή διαιτητικές ίνες. Σε αυτές ανήκουν επίσης και μερικοί ολιγοσακχαρίτες και η λιγνίνη. Οι διαιτητικές ίνες, ανάλογα με την ικανότητα τους να διαλύονται στο νερό, διακρίνονται σε διαλυτές και αδιάλυτες, ενώ αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των φυτικών κυτταρικών τοιχωμάτων (Σφλώμος, 2017). Αυτές εισερχόμενες στον γαστρεντερικό σωλήνα, αδυνατούν να πεπτούν και να απορροφηθούν από τον στόμαχο και το λεπτό έντερο. Ωστόσο, φτάνοντας στο κατώτερο πεπτικό σύστημα του παχέος εντέρου, υφίστανται

μερική ή ολική ζύμωση από το εντερικό μικροβίωμα και παράγονται διάφορα προϊόντα, μεταξύ των οποίων είναι και τα λιπαρά οξέα βραχείας αλύσου (SCFAs), όπως αναφέρεται στην Παράγραφο 1.2.1 (Κεφάλαιο 1, σελ 13). Η κατανάλωση τροφίμων, πλούσιων σε διαιτητικές ίνες, έχει συσχετιστεί με πολλά οφέλη στην υγεία, καθώς συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία του εντέρου και βοηθούν στην πρόληψη και αντιμετώπιση της δυσκοιλιότητας, της παχυσαρκίας, του καρκίνου του παχέος εντέρου, του διαβήτη και ορισμένων καρδιαγγειακών νοσημάτων (Σφλώμος, 2017).

2.2.3 Φαινολικές και πολυφαινολικές ενώσεις

Οι (πολυ)φαινολικές ενώσεις βρίσκονται στα διάφορα φυτικά τρόφιμα προσδίδοντας γεύση, άρωμα και χρώμα σε αυτά. Ανήκουν στη κατηγορία των φυτοχημικών, καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλή αντιοξειδωτική και αντιμικροβιακή δράση, και η πρόσληψή τους από τον ανθρώπινο οργανισμό, μπορεί να επιφέρει πολλά οφέλη στην υγεία. Συναντώνται συνήθως είτε υπό απλές μορφές (φαινόλες), όπως τα φαινολικά οξέα (π.χ. γαλλικό, φερούλικό, *p*-κουμαρικό), είτε σε σύνθετες δομές (πολυφαινόλες), όπως είναι τα φλαβονοειδή (π.χ. ανθοκυανιδίνες, ανθοκυανίνες, φλαβόνες, ισοφλαβόνες, φλαβανόνες) και οι τανίνες (πχ προανθοκυανιδίνες, γαλλοτανίνες) (Σφλώμος, 2017). Ως προς τη δομή τους, αποτελούνται από τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο, συνδεδεμένο με μία ή περισσότερες υδροξυλικές ομάδες. Συγκεκριμένα, τα φαινολικά οξέα αποτελούν παράγωγα του υδροξυβενζοϊκού και υδροξυκινναμικού οξέος, ενώ τα φλαβονοειδή αποτελούνται από δύο βενζοϊκούς δακτυλίους που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός πυρανικού δακτυλίου σε διάταξη C6-C3-C6. Από την άλλη πλευρά, οι τανίνες αποτελούν πολυμερή φαινολικών ενώσεων που ανάλογα με τη χημική δομή τους μπορούν να διακριθούν σε υδρολυομένες και συμπυκνωμένες τανίνες. Οι διαφορά τους είναι ότι οι πρώτες έχουν ως δομική μονάδα τα φαινολικά οξέα γαλλικό ή ελλαγικό οξύ, ενώ οι δεύτερες φλαβονοειδή (Altemimi *et al.*, 2017).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΠΕΡΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το εντερικό μικροβίωμα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου, καθώς η διατάραξη των ευαίσθητων ισορροπιών μεταξύ των βακτηριακών πληθυσμών μπορεί να οδηγήσει στην πρόκληση φλεγμονών και συνεπώς στην εμφάνιση διαφόρων παθήσεων, όπως η παχυσαρκία, ο σακχαρώδης διαβήτης, η αλκοολική ηπατοπάθεια, η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου κ.α.. Τα τρόφιμα, που καταναλώνονται μέσω της διατροφής, έχει αποδειχθεί βάσει επιστημονικών μελετών πως έχουν άμεσο θετικό ή αρνητικό αντίκτυπο στην σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός αυτό, τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην μελέτη των υπερτροφών, οι οποίες ενδείκνυνται για τις πιθανές θεραπευτικές τους ιδιότητες, ως προς την ενδεχόμενη επίδραση τους στην πρόληψη και αντιμετώπιση των ασθενειών αυτών.

Βάσει των προαναφερθέντων, ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης που έχει στη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος, και συνεπώς στην πρόληψη και αντιμετώπιση ποικίλων συσχετιζόμενων παθήσεων, η διατροφική πρόσληψη ορισμένων υπερτροφών, με βάση τις βιοδραστικές ουσίες που εμπεριέχουν. Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα με εκτεταμένη και στοχευμένη ανασκόπηση πρόσφατων επιστημονικών μελετών και ευρημάτων, αναφορικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση της εντερικής μικροχλωρίδας και ενδεχομένως την ομαλή διεξαγωγή των λειτουργιών που επιτελεί, καθώς επίσης αναφορικά με τα είδη των βιοδραστικών συστατικών που εμπεριέχονται σε επιλεγμένες υπερτροφές και τα οφέλη που επιφέρει η κατανάλωση των στην ανθρώπινη υγεία, έπειτα από αλληλεπίδραση τους με τους βακτηριακούς πληθυσμούς του εντέρου.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται δεδομένα από σύγχρονες ερευνητικές μελέτες της επιστημονικής βιβλιογραφίας για επιλεγμένες υπερτροφές, συγκεκριμένα για τη σπιρουλίνα, το ιπποφάες, το αβοκάντο, την κινόα, το λιναρόσπορο, το ρόδι, τα μούρα goji, τον κουρκουμά, το μπρόκολο και τα αμύγδαλα, αναφορικά με την

διατροφική τους αξία και την επίδραση που έχουν στους βακτηριακούς πληθυσμούς του εντέρου.

3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΥΠΕΡΤΡΟΦΩΝ ΣΤΟ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ

3.2.1 Σπιρουλίνα



Εικόνα 2.3.1.1: Εικονική αναπαράσταση της σπιρουλίνας υπό τις μορφές σκόνης και ταμπλέτας

Η σπιρουλίνα είναι ένα γαλαζοπράσινο φωτοσυνθετικό, πολυκύτταρο, νηματοειδές μικροάλγος (κυανοβακτήριο). Ανήκει στο γένος *Arthrospira* με πιο αντιπροσωπευτικά είδη αυτά των *Arthrospira platensis* και *Arthrospira maxima* (Lafarga *et al.*, 2020). Η χρήση της είναι ευρέως διαδεδομένη, τόσο υπό τη μορφή διατροφικού συμπληρώματος, όσο και ως πρόσθετου συστατικού σε διάφορα προϊόντα τροφίμων, όπως ζυμαρικά, αρτοποιήματα, γλυκίσματα, ροφήματα κ.ά. (Vrenna *et al.*, 2021). Ο χαρακτηρισμός της ως υπερτροφή οφείλεται στην υψηλή διατροφική της αξία λόγω της χημικής της σύστασης. Συγκεκριμένα, έχει πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και απαραίτητα αμινοξέα (55-70% επί ξηρού βάρους), σημαντική συγκέντρωση υδατανθράκων (12-25% επί ξηρού βάρους), ενώ αποτελεί, επίσης, πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (κυρίως γ-λινολενικού και λινολεϊκού οξέος), βιταμινών (B1, B2, B3, B6, B9, B12, C, D, E), μετάλλων (K, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, P, Se, Na, Zn) και φωτοσυνθετικών χρωστικών (C-φυκοκυανίνη, αλλοφυκοκυανίνη, α-χλωροφύλλη και καροτενοειδή) (Vrenna *et al.*, 2021; Jung *et al.*, 2019).

Η κατανάλωση σπιρουλίνας έχει ευεργετική επίδραση στην υγεία, λόγω των αντιμικροβιακών, αντιοξειδωτικών, αντιδιαβητικών, αντιφλεγμονωδών, αντικαρκινικών και ανοσορρυθμιστικών ιδιοτήτων της, οι οποίες αποδίδονται κατά κύριο λόγο στην C-φυκοκυανίνη και στο γ-λινολενικό οξύ. Σύμφωνα με έρευνες, η σπιρουλίνα έχει την ικανότητα να μεταβάλλει τη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος, βοηθώντας στην αντιμετώπιση διαφόρων μεταβολικών ασθενειών,

όπως της παχυσαρκίας και της υπερλιπιδαιμίας, ενώ θεραπευτικές ιδιότητες φαίνεται να έχει, επίσης, στην υπέρταση, στον διαβήτη τύπου II και σε ορισμένους τύπους καρκίνου (Lafarga *et al.*, 2020). Μάλιστα, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Yu *et al.* (2020), διερευνήθηκε η ευεργετική επίδραση που έχει στο έντερο η κατανάλωση σπιρουλίνας, ως προς την αντιμετώπιση των χρόνιων φλεγμονωδών παθήσεων που προκύπτουν από την ακολουθία ανθυγιεινών διατροφών πλούσιων σε λιπαρά. Πράγματι, η ενσωμάτωση 3% σπιρουλίνας εντός της καθημερινής διατροφής (υψηλής σε λιπαρά) αρσενικών ποντικών (n=8), για διάστημα 14 εβδομάδων, φάνηκε να έχει ανασταλτική δράση στις δυσβιωτικές σχέσεις μεταξύ των πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος, αυξάνοντας τη σχετική αφθονία των Bacteroidetes, και συγκεκριμένα των Bacteroidaceae, μειώνοντας παράλληλα τον λόγο Firmicutes/Bacteroidetes και τους πληθυσμούς των Actinobacteria, Proteobacteria και Firmicutes, και ειδικά των Bifidobacteriaceae, Corynebacteriaceae, Enterobacteriaceae, Ruminococcaceae, Erysipelotrichaceae και Aerococcaceae. Επίσης, παρατηρήθηκε μείωση του σωματικού βάρους, αύξηση των παραγόμενων προφλεγμονωδών κιτοκινών στο έντερο, μείωση των επιπέδων LDL-χοληστερόλης και τριγλυκεριδίων στο αίμα και αύξηση των επιπέδων ινσουλίνης στον ορό (Yu *et al.*, 2020). Παρόμοια έρευνα πραγματοποιήθηκε επίσης από τους Li *et al.* (2019), όπου μελετήθηκε η επίδραση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων της σπιρουλίνας στην αντιμετώπιση της υπερλιπιδαιμίας. Για τον σκοπό αυτό, για διάστημα 8 εβδομάδων, χορηγούνταν καθημερινά 2 mL αιθανολικού εκχυλίσματος σπιρουλίνας 55% (150mg/kg) σε αρσενικά υπερλιπιδαιμικά ποντίκια (n=8). Ως αποτέλεσμα, ρυθμίστηκε η έκφραση των γονιδίων που σχετίζονται με τον μεταβολισμό των λιπιδίων, μειώθηκαν τα επίπεδα τριγλυκεριδίων, χοληστερόλης και LDL-χοληστερόλης στο αίμα, μειώθηκε σημαντικά η συσσώρευση λίπους στο ήπαρ και αποκαταστάθηκαν οι ανισορροπίες του εντερικού μικροβιώματος. Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των Firmicutes, Allobaculum, Lachnospiraceae, Clostridium XIVa, Clostridium XVIII, Romboutsia και Turicibacter, και μειώθηκαν οι πληθυσμοί των Bacteroidetes, Blautia, Ruminococcus, Prevotella, Paraprevotella, Parasutterella, Porphyromonadaceae, Alloprevotellakαι Barnesiella (Li *et al.*, 2019).

3.2.2 Ιπποφαές



Εικόνα 2.3.2.1: Κλωνάρι φρέσκων καρπών ιπποφαούς

Το ιπποφαές είναι ένα φυλλοβόλο φυτό (θάμνος) της οικογενείας των *Elaeagnaceae*, το οποίο παράγει εδώδιμους οβάλ καρπούς πορτοκαλί χρώματος και καλλιεργείται εκτενώς στις περιοχές της Ασίας, της Ευρώπης και του Καναδά, ενώ συναντάται και στην ελληνική χλωρίδα. Διακρίνεται σε 6 είδη με 12 υποείδη, ωστόσο το πιο κοινό είδος που συναντάται είναι το *Hippophae rhamnoides* L. (Σπινάκης & Σελλή, 2021) Λόγω της έντονα

όξινης και στυπτικής του γεύσης, συχνά απαιτείται επεξεργασία (μηχανική, θερμική ή χημική) των καρπών του προτού καταναλωθούν. Συγκεκριμένα, ο καρπός του χρησιμοποιείται για την παρασκευή μαρμελάδας, χυμού (φρέσκου ή ζυμωμένου), αποξηραμένου φρούτου και ελαίου, ενώ τα φύλλα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη παρασκευή τσαγιού. Στην αγορά διατίθεται, επίσης, υπό τη μορφή λυοφιλοποιημένης σκόνης η οποία μπορεί να προστεθεί ως συστατικό στην παρασκευή άλλων τροφίμων, όπως τυριών, αρτοποιημάτων, γιαουρτιού και σοκολάτας (Wang *et al.*, 2021). Το ιπποφαές είναι πλούσιο σε βιταμίνες (B1, B2, B6, B11, C, E, K) και άλλες βιοδραστικές ουσίες, όπως (πολυ)φαινόλες (*p*-κουμαρικό, γαλλικό και καφεϊκό οξύ, κατεχίνες, επικατεχίνες, καμφερόλες, ισοραμεντίνη, προανθοκυανιδίνες B), πολυόλες (σορβιτόλη, μαννιτόλη, ξυλιτόλη, ινοσιτόλη, μέθυλο-ινοσιτόλη), φυτοστερόλες (σιτοστερόλη, καμπεστερόλη, α-αμυρίνη, στιγμαστενόλη, στιγμασταδιενόλη), διαιτητικές ίνες, οργανικά οξέα (μηλικό, κιτρικό, ισοκιτρικό, οξαλικό, τρυγικό, κινικό και σουκινικό οξύ), τριτερπενικά οξέα (ελεανολικό, ουρσολικό και βετουλινικό οξύ) και δισμουτάση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (superoxide dismutase, SOD) (Wang *et al.*, 2021).

Τα οφέλη του ιπποφαούς στην ανθρώπινη υγεία οφείλονται στις αντικαρκινικές, αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες των συστατικών του, ενώ, μάλιστα, έρευνες έχουν δείξει ότι βοηθά στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας, του διαβήτη τύπου II και της αλκοολικής ηπατοπάθειας. Συγκεκριμένα, μπορεί να μεταβάλλει ευμενώς τη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος, επαναφέροντας, κατά το

δυνατόν, τους βακτηριακούς πληθυσμούς, που διαταράσσονται από την εκάστοτε ασθένεια, σε φυσιολογικά επίπεδα. Σύμφωνα με μελέτη των Guo *et al.* (2020), η καθημερινή χορήγηση 4mg/g λυοφιλοποιημένης σκόνης ιπποφαούς σε παχύσαρκα ποντίκια (n=8), για διάστημα 10 εβδομάδων, είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί ο λόγος των πληθυσμών Firmicutes/Bacteroidetes και η σχετική αφθονία των πληθυσμών των Desulfovibrionaceae, Bacteroidales-S24-7-group, Erysipelatoclostridium και Lachnospiraceae, και οδήγησε στην αύξηση των πληθυσμών των Verrucomicrobiaceae, Akkermansia, Bacteroides και Ruminococcaceae_UGC_014. Επίσης, ρυθμίστηκε η έκφραση των γονιδίων που εμπλέκονται στον μεταβολισμό των λιπιδίων, οδηγώντας στην μειωμένη συσσώρευση λίπους στον λιπώδη ιστό των ποντικών, και συνεπώς στη μείωση της μάζας σώματος. Μάλιστα, οι Guo *et al.* (2020) αναφέρουν στη μελέτη τους πως η ευεργετική δράση του ιπποφαούς έναντι της παχυσαρκίας, ενδεχομένως να οφείλεται στις υψηλές συγκεντρώσεις των πολυφαινολών, φλαβονοειδών και πολυσακχαριτών που περιέχει. Στην περίπτωση της αλκοολικής ηπατοπάθειας, σε μελέτη των Ran *et al.* (2020) παρατηρήθηκε πως η καθημερινή χορήγηση 5,35g/kg ζυμωμένου χυμού ιπποφαούς σε πάσχοντα ποντίκια (n=10) για διάστημα 15 ημερών, είχε ως αποτέλεσμα να μειώσει του πληθυσμούς των Bacteroidetes, Verrucomicrobia, Proteobacteria, Patescibacteria, Akkermansia, Alistipes, Turicibacter και Ruminiclostridium, οι οποίοι αυξάνονται με την κατανάλωση του αλκοόλ, αυξάνοντας παράλληλα τους πληθυσμούς των Faecalibaculum και Lactobacillus και τον λόγο Firmicutes/Bacteroidetes επαναφέροντας τον σε τιμές κοντά στα φυσιολογικά επίπεδα. Μάλιστα, σύμφωνα με τους ίδιους, οι μεταβολές αυτές προκλήθηκαν λόγω των αυξημένων ποσοτήτων φλαβονοειδών και τριτερπενίων που περιέχονται στον ζυμωμένο χυμό (Ran *et al.*, 2020).

3.2.3 Αβοκάντο

Το αβοκάντο είναι ένα πράσινο γηγενές φρούτο της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής με βουτυρώδη υφή. Ανήκει στο γένος *Persea* της οικογενείας Lauraceae, και διακρίνεται σε τρία είδη. Ωστόσο το πιο κοινό είδος είναι το *Persea americana*. Είναι ευρέως γνωστό για την φρέσκια σάρκα του, όμως στην αγορά διατίθεται, επίσης, υπό τη μορφή λυοφιλοποιημένης σκόνης, η οποία προστίθεται σε άλλα τρόφιμα για να



Εικόνα 2.3.3.1: Φωτογραφία φρέσκου φρούτου αβοκάντο

κατεχίνες, φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή),καροτενοειδή (ξανθοφύλλες όπως λουτεΐνη, ζεαξανθίνη, β-κρυπτοξανθίνη) και φυτοστερόλες (καμπεστερόλη, σιγμαστερόλη) (Jimenez *et al.*, 2020).

προσδώσει γεύση, ενώ από τα υποπροϊόντα του (φλούδα, κουκούτσι, φύλλα) παράγονται διάφορα εδάδιμα έλαια και εκχυλίσματα. Ως προς τη διατροφική του αξία, το αβοκάντο είναι πλούσιο σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (9,6% κατά βάρος), μέταλλα (Mg, K),

βιταμίνες (A, B2, B9, K, C, E, συνένζυμο Q10), (πολυ)φαινόλες (προανθοκυανιδίνες,

Σύμφωνα με πρόσφατες επιστημονικές έρευνες, τόσο η σάρκα, όσο και τα υποπροϊόντα του αβοκάντο, μπορούν να προσφέρουν πολλά οφέλη στην υγεία, λόγω της αντιμικροβιακής, αντιφλεγμονώδης, αντικαρκινικής, αντιδιαβητικής και αντιυπερτασικής τους δράσης (Jimenez *et al.*, 2020). Η τακτική κατανάλωση αβοκάντο βοηθάει σημαντικά στη μείωση του βάρους και την αντιμετώπιση της παχυσαρκίας, καθώς επίσης και στην επαναφορά της ισορροπίας των μικροβιακών πληθυσμών του εντέρου έπειτα από κατανάλωση υψηλών ποσοτήτων πρωτεϊνών από τη διατροφή, και μπορούν να οδηγήσουν σε ελκώδη κολίτιδα ή ακόμα και καρκίνο του εντέρου. Σύμφωνα με έρευνα των Henning *et al.* (2019), η καθημερινή πρόσληψη ενός ολόκληρου αβοκάντο σε συνδυασμό με μία θερμιδικά χαμηλή διατροφή, για διάστημα 12 εβδομάδων από παχύσαρκα άτομα (n=24), είχε ως αποτέλεσμα να μειώσει το σωματικό βάρος και τα επίπεδα τριγλυκεριδίων στο αίμα. Επίσης, παρατηρήθηκε μείωση των πληθυσμών *Bacteroides* και *Methanosphaera*, και αύξηση των *Firmicutes*, *Dialister*, *Holdemanela*, *Acetivibrio*, *Sutterella*, *Bilophila*, *Herbaspirillum*, *Prevotella* και *Ruminococcus* (Henning *et al.*, 2019). Σε παρόμοια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Thompson *et al.* (2021), η καθημερινή κατανάλωση ποσοτήτων αβοκάντο (175g για τους άνδρες, 140g για τις γυναίκες) από παχύσαρκα άτομα (n=55), οδήγησε στη μείωση του σωματικού βάρους ως αποτέλεσμα μεταβολής της σύνθεσης του εντερικού μικροβιώματος. Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των *Faecalibacterium*, *Lachnospira* και *Alistipes*, και μειώθηκαν οι πληθυσμοί των *Ruminococcus* και *Roseburia*. Επίσης παρατηρήθηκαν

μειωμένες συγκεντρώσεις χολικού και χηνοδεοξυχολικού οξέος και αυξημένες συγκεντρώσεις οξικού, στεατικού και παλμιτικού οξέος στο έντερο (Thompson *et al.*, 2021). Και στις δύο αυτές έρευνες, οι μεταβολές που προκλήθηκαν από το αβοκάντο ενδεχομένως να οφείλονταν στις υψηλά περιεχόμενες συγκεντρώσεις του σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα και διαιτητικές ίνες. Επίσης, δύο έρευνες που πραγματοποίησαν οι Cires, *et al.* (2019a; 2019b) έδειξαν πως οι προανθοκυανιδίνες της φλούδας αβοκάντο λειτουργούν ευεργετικά έναντι των αλλαγών που προκαλεί στο έντερο μια διατροφή πλούσια σε πρωτεΐνες. Σύμφωνα με τη πρώτη μελέτη (*in vitro*), αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των Actinobacteria, Coriobacteriaceae, Ruminococcaceae, Faecalibacterium και Lachnospira, οδηγώντας στην μείωση των παραγόμενων ποσοτήτων αμμωνίας και υδροθείου (τοξικοί μεταβολίτες), και αύξηση του παραγόμενου βουτυρικού οξέος και ινδόλης (Cires, *et al.*, 2019b).. Τέλος, σύμφωνα με την δεύτερη μελέτη (*in vivo*), η οποία διεξήχθη σε ποντίκια (n=10), η κατανάλωση 300mg/kg πολυφαινολικού εκχυλίσματος φλούδας αβοκάντο σε συνδυασμό με μια υψηλή σε πρωτεΐνη διατροφή (55%), για διάστημα 4 εβδομάδων, οδήγησε επίσης στην μείωση των παραγόμενων τοξικών μεταβολιτών, και στην αύξηση της παραγόμενης ινδόλης, ενώ αποκαταστήθηκαν επίσης οι μικροβιακές ισορροπίες. Συγκεκριμένα, μειώθηκαν οι πληθυσμοί των Firmicutes και Lactobacillus, και αυξήθηκαν των Actinobacteria, Paraprevotellaceae και Prevotella (Cires, *et al.*, 2019a).

3.2.4 Κινόα



Εικόνα 2.3.4.1: Φωτογραφία των σπόρων του ψευδοδημητριακού κινόα

Η κινόα, ή αλλιώς *Chenopodium quinoa*, είναι ένα ανθοφόρο ποώδες φυτό (θάμνος) της οικογενείας Amaranthaceae, προερχόμενο από τις Άνδεις της Νότιας Αμερικής, και είναι ευρέως γνωστή για τους βρώσιμους σπόρους της, οι οποίοι ανήκουν στην κατηγορία των ψευδοδημητριακών (Liu *et al.*, 2018). Συνήθως, καταναλώνεται προστιθέμενη σε διαφορά γεύματα, σαλάτες και αρτοποιήματα, ενώ χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή

ζυμωμένων αλκοολούχων ποτών και προβιοτικών προϊόντων (Ugural & Akyol, 2020). Ως προς τη διατροφική της αξία, είναι πλούσια σε διαιτητικές ίνες, ακόρεστα λιπαρά οξέα (κύριως λινολεϊκό, λινολενικό και ελαϊκό οξύ), μέταλλα (Ca, Mg, Fe, K, Zn), φυτοχημικά (ισοφλαβόνες, φλαβονοειδή, φυτοστερόλες, καροτενοειδή, σαπωνίνες, σκουαλένιο, φαινολικά οξέα), βιταμίνες του συμπλέγματος B (κυρίως B2 και B9) και βιταμίνη E (α-,β-,γ-,δ-τοκοφερόλες), ενώ περιέχει επίσης πολύ υψηλή ποιότητα και ποσότητα πρωτεϊνών (16,5%), περιλαμβάνοντας όλα τα απαραίτητα για τον άνθρωπο αμινοξέα (Cao *et al.*, 2020; Ugural & Akyol, 2020; Subramani *et al.*, 2020).

Έρευνες έχουν δείξει πως η κατανάλωση κινόα έχει ευεργετική επίδραση στην υγεία, καθώς μπορεί να λειτουργήσει ως πρεβιοτικό, αυξάνοντας τους ευεργετικούς πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος και την παράγωγη των SFCAs (Liu *et al.*, 2018), και συνεπώς βοηθώντας στη πρόληψη και αντιμετώπιση της υπέρτασης, του διαβήτη τύπου II και διαφόρων φλεγμονωδών παθήσεων, ενώ επίσης βοηθά στο οξειδωτικό στρες και στη ρύθμιση του σωματικού βάρους και του λιπιδαιμικού προφίλ (Cao *et al.*, 2020; Ugural & Akyol, 2020; Subramani *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2018). Συγκεκριμένα, οι Cao *et al.* (2020) πραγματοποίησαν έρευνα ως προς την επίδραση των διαιτητικών πολυσακχαριτών της κινόα στην υπερλιπιδαιμία, που προκαλείται από την υψηλή κατανάλωση λιπαρών από τη διατροφή. Στην έρευνα αυτή, η καθημερινή χορήγηση 300 mg/kg ή 600 mg/kg για 8 εβδομάδες, σε αρσενικά ποντίκια, είχε ως αποτέλεσμα να μετριάσει την υπερλιπιδαιμία και να μεταβάλει τη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος, αυξάνοντας την ποικιλομορφία και επαναφέροντας τους μικροβιακούς πληθυσμούς κοντά στα φυσιολογικά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μείωση του λόγου Firmicutes/Bacteroidetes και των πληθυσμών των Firmicutes, Proteobacteria (Enterobacteriaceae, Desulfovibrio), Lachnospiraceae και Allobaculum, και αύξηση των πληθυσμών των Bacteroidetes, Bacteroidales-S24-7-group, Ruminiclostridium-9, Ruminococcaceae-NK4A214-group και Erysipelotrichia (Cao *et al.*, 2020). Σε άλλη έρευνα, οι Garcia-Mazcorro *et al.* (2016) μελέτησαν την επίδραση που έχει στο εντερικό μικροβίωμα η ενσωμάτωση κινόας στην διατροφή αρσενικών παχύσαρκων διαβητικών ποντικών (n=9). Η έρευνα διήρκησε 8 εβδομάδες, και από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, παρατηρήθηκε πως ορισμένοι πληθυσμοί του μικροβιώματος έτειναν να επανέλθουν στα φυσιολογικά επίπεδα, ενώ το συνολικό βάρος των ποντικών παρέμεινε σταθερό.

Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των Firmicutes, Verrucomicrobia και Akkermansia, και μειώθηκαν οι πληθυσμοί των Proteobacteria, Bacteroidetes, Enterococcus και Turicibacter (Garcia-Mazcorro *et al.*, 2016). Τέλος, οι Liu *et al.* (2018) ερεύνησαν την επίδραση που έχει η καθημερινή κατανάλωση κινόας στο εντερικό μικροβίωμα αρσενικών ποντικών που έπασχαν από κολίτιδα (φλεγμονώδης νόσος του εντέρου). Έπειτα από το πέρας των 10 ημερών όπου διαρκούσε η έρευνα, παρατηρήθηκε αύξηση της ποικιλομορφίας, καθώς επίσης και των πληθυσμών των Firmicutes, Bacteroidetes, *uncultured-bacterium-f-Lachnospiraceae*, *Lachnospiraceae-NK4A136-group* και *uncultured-bacterium-f-Bacteroidales-S24-7*, ενώ σημαντική ήταν η μείωση στους πληθυσμούς των Proteobacteria, Esherichia/Shigella και Peptoclostridium. Ως αποτέλεσμα των μεταβολών αυτών, ήταν η μετρίαση των κλινικών συμπτωμάτων της κολίτιδας (Liu *et al.*, 2018).

3.2.5 Λιναρόσπορος



Εικόνα 2.3.5.1: Φωτογραφία των σπόρων του λιναριού

Ο λιναρόσπορος είναι ένας ελαιούχος σπόρος που προέρχεται από το λινάρι (*Linum usitatissimum* L.), ένα αγγειόσπερμο ποώδες ανθοφόρο φυτό της οικογενείας Linaceae (Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017). Η χρήση του είναι ευρέως γνωστή, ήδη από την αρχαιότητα, για την υψηλή διατροφική του αξία και για την ευεργετική επίδραση που έχει η κατανάλωση του στην υγεία. Ο λιναρόσπορος καταναλώνεται είτε στη φυσική του μορφή, προστιθέμενος σε άλλα τρόφιμα (π.χ. γιαούρτη), είτε υπό τις μορφές ελαίου (λινέλαιο) και αλεύρου, που προέρχονται από σύνθλιψη των σπόρων και χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τροφίμων, όπως αρτοποιημάτων, ζωοτροφών, κρέατος κλπ. Αποτελεί πηγή α-λινονενικού οξέος, αλλά και άλλων ω-3 ακόρεστων λιπαρών οξέων (λινολεϊκό, ελαϊκό, στεατικό, παλμιτικό), ενώ περιέχει επίσης υψηλες ποσότητες λιγνάνων, τοκοφερολών, φαινολικών οξέων (συριγγικό, φερουλικό, γαλλικό, χλωρογενικό, υδροξυκινναμικό, *p*-κουμαρικό και γλυκοζίτες), υψηλής ποιότητας διαιτητικών ινών, μετάλλων (Mg, P, Ca, Fe, Cu, Zn), και αμινοξέων (ασπαρτικό οξύ, αργινίνη, μεθειονίνη, κυστεΐνη) (Tang *et al.*, 2021). Ωστόσο, ο

λιναρόσπορος περιέχει και μικρές ποσότητες βλαβερών για την υγεία ουσιών, όπως το κάδμιο και οι κυανογόνοι γλυκοζίτες. Για το λόγο αυτό θα πρέπει είτε να καταναλώνεται σε ισορροπημένες ποσότητες, είτε να υποβάλλεται σε θερμική ή μηχανική επεξεργασία, όπου οι ουσίες αυτές αποικοδομούνται και δε θεωρούνται τοξικές για τον ανθρώπινο οργανισμό (Tang *et al.*, 2021; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017).

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει την ικανότητα του λιναρόσπορου να μεταβάλλει τη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος, αποτρέποντας την ανάπτυξη δυσβιωτικών σχέσεων μεταξύ των βακτηριακών πληθυσμών, και βοηθώντας συνεπώς στην πρόληψη και αντιμετώπιση πολλών χρόνιων ασθενειών. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Xu *et al.* (2020) σε αρσενικά ποντίκια (n=8) που έπασχαν από κολίτιδα, η καθημερινή χορήγηση 200mg/kg ολιγοσακχαριτών λιναρόσπορου για 2 εβδομάδες, είχε ως αποτέλεσμα να μετριάσει τα συμπτώματα της κολίτιδας, επιδιορθώνοντας τον εντερικό φραγμό και μεταβάλλοντας την σχετική αφθονία ορισμένων πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος. Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των *Allobaculum* και *unidentified_S24-7*, μειώθηκε ο πληθυσμός του *Akkermansia*, και απαγορεύτηκε η ανάπτυξη του *unidentified_Clostridiales*. Επίσης, παρατηρήθηκε αύξηση στα επίπεδα των παραγόμενων προπιονικών και βουτυρικών οξέων (είδη SCFAs), ενώ τα επίπεδα των προ-φλεγμονωδών κυτοκινών καταστάλθηκαν (Xu *et al.*, 2020). Επίσης, υπάρχουν επιστημονικές ενδείξεις ότι η κατανάλωση λιναρόσπορου μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Luo *et al.* (2018), η ενσωμάτωση ποσοτήτων βλέννας (διαιτητικές ίνες) λιναρόσπορου (10%, 20% ή 30%) στην καθημερινή διατροφή αρσενικών παχύσαρκων ποντικών (n=18) για 5 εβδομάδες, μείωσε τα επίπεδα γλυκόζης και χοληστερόλης στο αίμα και απέτρεψε την αύξηση του σωματικού βάρους, ως αποτέλεσμα της μείωσης ορισμένων πληθυσμών του φύλου Firmicutes και συνεπώς του λόγου Firmicutes/Bacteroidetes. Οι πληθυσμοί που μειώθηκαν ήταν οι *Roseburia*, *Lactobacillus*, *Ruminococcus*, *Oscillospira*, *Turicibacter*, *Unclassified_Clostridiales*, *Unclassified_Peptostreptococcaceae*, *Unclassified_[Mogibacteriaceae]* και *Unclassified_Coriobacteriaceae*. Αντίθετα, παρατηρήθηκε αύξηση των *Clostridium*, *Prevotella*, *Unclassified_Elusimicrobiaceae*, *Sutterella*, *Unclassified_Enterobacteriaceae*, *Unclassified_YS2*, *Unclassified_Burkholderiales*

και Veillonella. Σύμφωνα με τους ίδιους, οι πληθυσμοί αυτοί, και ειδικά ο πληθυσμός των Clostridium, ήταν ενδεχομένως υπεύθυνοι για τον μεταβολισμό της βλέννας και συνεπώς για τη μείωση του βάρους (Luo *et al.*, 2018). Σε άλλη έρευνα, που διεξήγαγαν οι Zhang *et al.* (2017) σε αρσενικά ποντίκια (n=15), έδειξε πως η κατανάλωση λινελαίου μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση της αλκοολικής ηπατοπάθειας, μειώνοντας την ηπατική βλάβη και το συνολικό βάρος, έπειτα από αύξηση του πληθυσμού των Parabacteroides και μείωση των πληθυσμών των Proteobacteria και Porphyromonadaceae. Τέλος, βάση επιστημονικών μελετών, υπάρχουν ενδείξεις ότι το λινέλαιο, λόγω της υψηλής συγκέντρωσης του σε ω-3 λιπαρά οξέα και συγκεκριμένα σε α-λινολενικό οξύ, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του σακχαρώδη διαβήτη. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με έρευνα των Zhu *et al.* (2020), η χορήγηση 10% (w/w) λινελαίου σε αρσενικά διαβητικά ποντίκια, για διάστημα 5 εβδομάδων, είχε ως αποτέλεσμα να μειώσει τη φλεγμονή του εντέρου και να βελτιώσει τις ισορροπίες του εντερικού μικροβιώματος, μειώνοντας τους πληθυσμούς των Firmicutes και Blautia, και αυξάνοντας τους πληθυσμούς των Bacteroidetes και Alistipes και τα παραγόμενα SFCAs (Zhu *et al.*,2020).

3.2.6 Ρόδι



Εικόνα 2.3.6.1: Εικονική αναπαράσταση του καρπού της ροδιάς

κατανάλωση του είναι γνωστή από την αρχαιότητα, ωστόσο τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί σημαντικά, λόγω της ολοένα και αυξανόμενης κατανόησης των πιθανών θεραπευτικών ιδιοτήτων του στην υγεία (Melgarejo-Sánchez *et al.*,2021). Πέρα από τη φυσική νωπή μορφή των καρπών, στην αγορά διατίθεται επίσης μια ευρεία ποικιλία προϊόντων ροδιού, όπως χυμοί, ξύδια, αλκοολούχα ποτά, μαρμελάδες, συμπληρώματα διατροφής, μπάρες δημητριακών και μπισκότα με ρόδι, αποξηραμένοι σπόροι, καθώς επίσης και διάφορα έλαια και εκχυλίσματα υποπροϊόντων. (Melgarejo-

Το ρόδι αποτελεί τον καρπό του δέντρου *Punica granatum* L., της οικογενείας Punicaceae, και καλλιεργείται εκτενώς σε διάφορα μέρη της γης, συμπεριλαμβανομένων των χωρών της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής. Η

Sánchez *et al.*,2021; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017). Το ρόδι είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και βιοδραστικές ουσίες, καθώς αποτελεί πηγή πολυφαινολών, και συγκεκριμένα φλαβονοειδών (κατεχίνη, επικατεχνίκη, κερκετίνη, λουτεολίνη, ρουτίνη, ανθοκυανίνες), υδρολυομένων τανίνων (ελλαγιτανίνες, γαλλοτανίνες) και φαινολικών οξέων (ελλαγικό, γαλλικό, καφεϊκό), ενώ περιέχει επίσης υψηλές ποσότητες λιπαρών οξέων (πουνικικό, λινολενικό, λινολεϊκό και αραχιδονικό), μετάλλων (Na, K, Ca, Fe), διαιτητικών ινών και βιταμινών (C, A, E, B9) (Melgarejo-Sánchez *et al.*,2021; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017).

Λόγω της υψηλής συγκέντρωσης βιοδραστικών ουσιών που έχει σε όλα τα μέρη του (χυμός, σπέρματα, φλούδα, φύλλα), το ρόδι είναι από τις πιο μελετημένες, μεταξύ άλλων, υπερτροφές ως προς την επίδραση που έχει στην υγεία. Ενδεικτικά, έρευνες έχουν δείξει ότι βοηθά στην πρόληψη και αντιμετώπιση του σακχαρώδη διαβήτη και άλλων φλεγμονωδών παθήσεων, μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου, δρα έναντι της παχυσαρκίας και της ανδρικής υπογονιμότητας, ενώ επίσης βοηθά στην πρόληψη και αντιμετώπιση καρδιακών παθήσεων, συμβάλλοντας στη ρύθμιση του λιπιδαιμικού προφίλ, της αρτηριακής πίεσης, και της αθηροσκλήρωσης (Proestos, 2018; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017). Αρκετές μάλιστα από τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί, έχουν συσχετίσει ορισμένες από αυτές τις ευεργετικές ιδιότητες, με μεταβολές στη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος. Παραδείγματος χάριν, βάσει της κλινικής μελέτης των González-Sarrías *et al.* (2018), αναδείχθηκε η ευεργετική επίδραση της κατανάλωσης εκχυλίσματος ροδιού έναντι της μεταβολικής ενδοτοξαιμίας που προκαλείται από την παχυσαρκία, έπειτα από διαμόρφωση του εντερικού μικροβιώματος. Στην έρευνα αυτή, η καθημερινή χορήγηση 1,8g εκχυλίσματος ροδιού, υπό τη μορφή διατροφικού συμπληρώματος, για 3 εβδομάδες σε υπέρβαρα (n=29) και παχύσαρκα (n=20) άτομα, είχε ως αποτέλεσμα αυξηθούν οι μικροοργανισμοί που προάγουν την φυσιολογική λειτουργία φραγμού του εντέρου, να μειωθούν οι πληθυσμοί που σχετίζονται με τη πρόκληση φλεγμονών, και συνεπώς να μειωθούν τα επίπεδα των ενδοτοξινών στο πλάσμα του αίματος. Συγκεκριμένα, οι πληθυσμοί που αυξήθηκαν ήταν των *Bacteroides*, *Faecalibacterium*, *Butyricicoccus*, *Odoribacter*, *Butyricimonas*, *Parabacteroides* και *Coprobacter*, ενώ εκείνοι που μειώθηκαν ήταν των *Parvimonas*, *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera*, *Rombutsia*, *Anaerostipes*, *Dorea*, *Anaerofustis* και *Clostridium sensu strict* (González-Sarrías *et al.*,2018). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία οι

ελλαγιτανίνες του ροδιού έχουν, επίσης, θεραπευτική επίδραση έναντι της εγκεφαλομυελίτιδας (αυτοάνοσο νόσημα). Συγκεκριμένα, έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε θηλυκά ποντίκια, έδειξε ότι η καθημερινή χορήγηση 100mg/kg εκχυλίσματος φλούδας ροδιού, για χρονικό διάστημα 16 ημερών, αύξησε τους πληθυσμούς των *Prevotellaceae*, *Lachnospiraceae*, *Ruminococcaceae* και *Lactobacillaceae*, μειώνοντας παράλληλα τους πληθυσμούς των *Alcaligenaceae* και *Acidaminococcaceae*. Ως αποτέλεσμα των μεταβολών αυτών στη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος, ήταν η μετρίαση των κλινικών συμπτωμάτων της εγκεφαλομυελίτιδας και η ρύθμιση των παραγόμενων προφλεγμονωδών και αντιφλεγμονωδών κυτοκινών (Lu *et al.*, 2020).

3.2.7 Μούρα Goji



Εικόνα 2.3.7.1: Φωτογραφία αποξηραμένων μούρων goji

Το μούρο goji αποτελεί τον καρπό του φυτού *Lycium*, της οικογενείας *Solanaceae*, και καλλιεργείται κατά κύριο λόγο στη Κεντρική Ασία. Υπάρχουν αρκετά είδη φυτών *Lycium*, ωστόσο τα πιο κοινά είναι τα *Lycium barbarum* και *Lycium chinense* (Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017). Λόγω της μικρής συντηρησιμότητας που έχουν τα νωπά μούρα, συνήθως αποξηραίνονται ή μετατρέπονται σε χυμό, ο οποίος μπορεί μετέπειτα να ζυμωθεί για τη παρασκευή κρασιού ή άλλων αλκοολούχων ποτών. Στην αγορά διατίθενται, επίσης, μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων goji, όπως συμπληρώματα διατροφής, τσάι, σκόνες πολτού goji, μπάρες δημητριακών ή γιαούρτια με τεμάχια μούρων κ.ά. Ως προς την σύσταση του, περιέχει υψηλές ποσότητες πολυφαινολών και άλλων φυτοχημικών, όπως φαινολικά οξέα (κουμαρικό, ισοφερουλικό, καφεϊκό), καροτενοειδή (β-καροτένιο, ζεαξανθίνη, λουτεΐνη), βιταμίνες (B1, B2, B6, E, C), ιχνοστοιχεία (Zn, Fe, Ca, P, Ge) και πολυσακχαρίτες (5-8% επί ξηρού) (Chang *et al.*, 2019; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017).

Στην Ασία το μούρο goji έχει την έννοια διατροφικού φαρμάκου, λόγω των πολλών ευεργετικών ιδιοτήτων που έχει στην υγεία (Kang *et al.*, 2018), οι οποίες ολοένα και

επιβεβαιώνονται, τα τελευταία χρόνια, με την αύξηση των επιστημονικών μελετών. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα, αποτρέπει το οξειδωτικό στρες, προστατεύει έναντι της εμφάνισης καρδιακών παθήσεων και καρκίνου, επιβραδύνει τη διαδικασία της γήρανσης, προστατεύει το κεντρικό νευρικό σύστημα, ενώ επίσης προάγει τη φυσιολογική λειτουργία του εντέρου και βοηθά στην ενίσχυση του εντερικού φραγμού (Kang *et al.*, 2018; Κρυωνά & Μυλωνάκη, 2017). Σε έρευνα τους οι Tian *et al.* (2021), μελέτησαν την επίδραση που έχει στο έντερο, η ένταξη μικρών ποσοτήτων μούρων goji (1,5% ή 3%) στην καθημερινή διατροφή υγιών αρσενικών ποντικών. Έπειτα από το πέρας 10 εβδομάδων, παρατηρήθηκαν αλλαγές τόσο στη σύσταση μικροβιώματος, όσο και στις παραγόμενες ποσότητες των λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου, οι οποίες αυξήθηκαν σημαντικά. Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των Verrucomicrobia, Bacteroidetes, Actinobacteria, Bacteroidales_S24-7_group, Anaerotruncus, Coprococcus_1, Ruminococcaceae_UCG-014, Akkermansia και Candidatus_Saccharimonas, και μειώθηκαν οι πληθυσμοί των Proteobacteria, Firmicutes, Helicobacter, Bacteroides, Mucispirillum, Alistipes και Ruminiclostridium_9. Επίσης, αυξήθηκε η έκφραση των γονιδίων που σχετίζονται με την δομική ακεραιότητα του εντερικού φραγμού, όπως οι πρωτεΐνες των στενοσυνδέσμων και βλεννογόνου (Tian *et al.*, 2021). Μια άλλη έρευνα, που πραγματοποιήθηκε από τους Kang *et al.* (2018), έδειξε πως τα μούρα goji έχουν θεραπευτική δράση έναντι της κολίτιδας. Στην έρευνα αυτή, η ένταξη μικρών ποσοτήτων (1%) μούρων goji στην καθημερινή διατροφή πασχόντων αρσενικών ποντικών (n=7) για 10 εβδομάδες, είχε ως αποτέλεσμα να μετριάσει τα συμπτώματα της κολίτιδας, να μειώσει τη σχετική αφθονία των παθογόνων Peptostreptococcaceae, καθώς και να προάγει σημαντικά την ανάπτυξη ευεργετικών βακτηριακών πληθυσμών που σχετίζονται με την παραγωγή βουτυρικού οξέος (SCFA), όπως των Actinobacteria, Lachnospiraceae, Bifidobacterium, Sporobacter, Anaerotruncus, Butyricicoccus, Anaerosporobacter, Roseburia spp., Clostridium leptum, Faecalibacterium prausnitzii, Clostridium XIVa, Clostridium XIVb και Clostridium XVIII. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, υπεύθυνοι για τις μεταβολές αυτές πιθανόν να ήταν οι φρουκτοολιγοσακχαρίτες που περιέχονται στα μούρα goji, και έχουν πρεβιοτική δράση (Kang *et al.*, 2018). Έρευνα των Cui *et al.* (2020) αναφέρει, επίσης, την ευεργετική επίδραση των πολυσακχαριτών των μούρων goji στην αντιμετώπιση του αλλεργικού άσθματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η χορήγηση 100μg/γεκχυλίσματος πολυσακχαριτών μούρων goji για διάστημα 28

ημερών, σε θηλυκά πάσχοντα ποντίκια (n=15), αύξησε τους πληθυσμούς των Actinobacteria, Lactobacillus και Bifidobacterium, και μείωσε τους πληθυσμούς των Firmicutes, Alistipes και Clostridiales, ενώ παράλληλα απέτρεψε τις δυσβιωτικές σχέσεις του εντερικού μικροβιώματος και μετρίασε τα συμπτώματα του άσθματος (Cui *et al.*, 2020).

3.2.8 Κουρκουμάς



Εικόνα 2.3.8.1: Εικονική αναπαράσταση του κουρκουμά στη φυσική μορφή του ριζώματος και υπό τη μορφή σκόνης

Ο κουρκουμάς αποτελεί το ρίζωμα του πολυετούς φυτού *Curcuma longa* syn. *Curcuma domestica*, της οικογενείας Zingiberaceae, που προέρχεται από την Ινδία και καλλιεργείται εκτενώς στις τροπικές περιοχές της Νότιας Ασίας και της Αφρικής (Meng *et al.*, 2018). Η χρήση του είναι αρκετά διαδεδομένη, τόσο στην φαρμακοβιομηχανία, όσο και στη βιομηχανία των τροφίμων, όπου χρησιμοποιείται συνήθως είτε για τον χρωματισμό πολλών προϊόντων τροφίμων, λόγω του έντονου πορτοκαλοκίτρινου χρώματος που έχει, είτε ως βασικό ή πρόσθετο συστατικό στην παρασκευή καρυκευμάτων (κάρυ, κουρκουμάς σε σκόνη), ζωμών, σαλτσών, ροφημάτων, ελαίου (κουρκουμέλαιο), τουρσιών και τυριών (Sasikumar, 2012). Ως προς τη χημική του σύσταση, ο κουρκουμάς είναι πλούσιος σε κουρκουμινοειδή (κουρκουμίνη, διμεθοξυκουρκουμίνη, δισδιμεθοξυκουρκουμίνη), τερπενοειδή, φλαβονοειδή, φαινολικά και οργανικά οξέα, αλκαλοειδή, στεροΐδη, πολυσακχαρίτες, μέταλλα (Ca, P, Na, K, Fe) και βιταμίνες (B1, B2, B3, C) (Sasikumar, 2012; Meng *et al.*, 2018).

Οι θεραπευτικές ιδιότητες του κουρκουμά είναι γνωστές ήδη από τα πολύ παλιά χρόνια, όπου χρησιμοποιούνταν, στην παραδοσιακή ιαπωνική και κινέζικη ιατρική, ως φάρμακο για την αντιμετώπιση πολλών νοσημάτων. Συγκεκριμένα, έρευνες έχουν δείξει ότι βοηθά στην πρόληψη και αντιμετώπιση του σακχαρώδη διαβήτη, της παχυσαρκίας και κάποιων ειδών καρκίνου, καθώς επίσης πολλών καρδιακών, ηπατικών και νευρολογικών παθήσεων. Μάλιστα, έχει βρεθεί ότι οι ευεργετικές αυτές ιδιότητες του κουρκουμά, αποδίδονται κατά κύριο λόγο στην κουρκουμίνη, η οποία

αποτελεί τη κύρια βιοδραστική ουσία του. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Li *et al.* (2021), η διατροφική πρόσληψη 0,2% (κατά βάρος) κουρκουμίνης από πάσχοντα ηπατικής στεάτωσης παχύσαρκα ποντίκια (n=10), για χρονικό διάστημα 10 εβδομάδων, είχε ως αποτέλεσμα να μειώσει το βάρος του ήπατος, να ρυθμίσει την έκφραση γονιδίων που σχετίζονται με τη σύνθεση της χοληστερόλης και την οξείδωση των λιπαρών οξέων, να μειώσει τα επίπεδα τριγλυκεριδίων και χοληστερόλης στο αίμα, καθώς επίσης να μεταβάλει σημαντικά ορισμένους πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος και να αυξήσει τις παραγώμενες ποσότητες SCFAs. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε αύξηση στους πληθυσμούς των *Akkermansia*, *Bacteroides*, *Parabacteroides*, *Alistipes* και *Alloprevotella*, ενώ τόσο ο λόγος Firmicutes/Bacteroidetes, όσο και οι πληθυσμοί των *Ruminococcaceae*_UGC-014, *Desulfovibrio* και *Lactobacillus* μειώθηκαν σημαντικά (Li *et al.*, 2021). Επίσης, πρόσφατη έρευνα των Sun *et al.* (2020) έδωσε σημαντικά στοιχεία ως προς τις νευροπροστατευτικές ιδιότητες της κουρκουμίνης στην αντιμετώπιση της νόσου Αλτσχάιμερ, έπειτα από τον μεταβολισμό της από τους πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος. Σύμφωνα με την έρευνα αυτή, πάσχοντα διαγονιδιακά ποντίκια (n=10), χορηγούνταν καθημερινά ποσότητες κουρκουμίνης (50mg/kg ή 200 mg/kg), για χρονικό διάστημα 3 μηνών. Ως αποτέλεσμα, βελτιώθηκε η μνήμη των ποντικών, λόγω μείωσης των επιπέδων αμυλοειδούς πλάκας στον υπόκαμπο του εγκεφάλου, ενώ ορισμένοι πληθυσμοί του εντερικού μικροβιώματος που σχετίζονται με τη νόσο, έτειναν να επανέλθουν προς τα φυσιολογικά επίπεδα. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε αύξηση των *Rikenellaceae* και *Parabacteroides*, και μείωση των *Bacteroidaceae*, *Prevotellaceae*, *Lactobacillaceae*, *Prevotella*, *Bacteroides* και του πληθυσμιακού λόγου *Escherichia/Shigella* (Sun *et al.*, 2020). Τέλος, οι Shen *et al.* (2017) διερεύνησαν την επίδραση που προκαλεί η κουρκουμίνη στο εντερικό μικροβίωμα υγιών ποντικών (n=6). Συγκεκριμένα, ύστερα από διάστημα 15 ημερών, όπου στα ποντίκια χορηγούνταν καθημερινά 100 mg/kg κουρκουμίνης, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των πληθυσμών της οικογενείας *Prevotellaceae*, και ειδικά του *Prevotella*, ενώ σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε στους πληθυσμούς των οικογενειών *Bacteroidaceae* και *Rikenellaceae*, και ειδικά των *Bacteroides* και *Alistipes*, αντίστοιχα (Shen *et al.*, 2017).

3.2.9 Μπρόκολο



Εικόνα 2.3.9.1: Φωτογραφία των ανθισμένων κεφαλών του μπρόκολου

Το μπρόκολο (*Brassica oleracea var. italica*) είναι ένα σταυρανθές λαχανικό, της οικογενείας των Brassicaceae, που προέρχεται από την Ιταλία και καλλιεργείται σε διάφορα μέρη της γης. Συνήθως καταναλώνεται ωμό ή μαγειρεμένο, προστιθέμενο σε σαλάτες και διάφορα πιάτα, ενώ λόγω της αυξημένης ζήτησης που έχει τα τελευταία χρόνια, στην αγορά διατίθεται, επίσης, υπό τη μορφή τουρσιού, χυμού, λυοφιλοποιημένης σκόνης και συμπληρωμάτων διατροφής. Ως προς τη χημική του σύσταση, το μπρόκολο περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις γλυκοσινολατών (γλυκοραφανίνη) και διαιτητικών ινών, ενώ επίσης είναι πλούσιο σε βιταμίνες (A, B9, C, E, K), φαινολικά οξέα, καροτενοειδή (β-καροτένιο, λουτεΐνη, νεοξανθίνη, βιολαξανθίνη), χλωροφύλλες, αμινοξέα (λευκίνη, φαινυλαλανίνη, προλίνη, ισολευκίνη, βαλίνη, τρυπτοφάνη), οργανικά οξέα (κινικό και μηλικό οξύ), μέταλλα και ιχνοστοιχεία (Fe, Zn, P, Mn, Ca, Na, Cu, Mg, K) (Liu *et al.*, 2018).

Έρευνες έχουν δείξει ότι το μπρόκολο, έχει ευεργετική επίδραση στην υγεία, βοηθώντας στην πρόληψη και αντιμετώπιση διαφόρων ειδών καρκίνου, καθώς και πολλών χρόνιων καρδιακών και φλεγμονωδών παθήσεων, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης, η ηπατική στεάτωση, η υπέρταση και η παχυσαρκία (Xu *et al.*, 2020). Μάλιστα, οι θεραπευτικές του ιδιότητες φαίνεται να αποδίδονται, κατά κύριο λόγο, στην υψηλή συγκέντρωση που έχει σε γλυκοσινολάτες, οι οποίες ενώ από τη φύση τους είναι ανενεργές, όταν εισέρχονται στον γαστρεντερικό σωλήνα, υδρολύονται από τις φυτικές μυροσινάσες και το εντερικό μικροβίωμα σε διάφορες βιοδραστικές ενώσεις, προκαλώντας διάφορες μεταβολές (Kaczmarek *et al.*, 2019). Σε έρευνα τους οι Kaczmarek *et al.* (2019), μελέτησαν την επίδραση που έχει η κατανάλωση μπρόκολου στο εντερικό μικροβίωμα υγιών ενηλίκων (n=18). Καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας (18 ημέρες), οι συμμετέχοντες ακολουθούσαν μια καθορισμένη διατροφή, η οποία συνοδευόταν, επίσης, με 200g μαγειρεμένο μπρόκολο και 20g ωμό ραδίκι. Ως αποτέλεσμα, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στους πληθυσμούς των Bacteroidetes και Bacteroides, ενώ σημαντική μείωση σημείωσε και ο πληθυσμός των Firmicutes. Σύμφωνα με τους ίδιους, οι μεταβολές αυτές στο εντερικό μικροβίωμα ενδεχομένως να οφείλονται στις γλυκοσινολάτες, ως την κύρια βιοδραστική ουσία

που περιέχεται στο μπρόκολο, ωστόσο αφέθηκε ανοιχτό το ενδεχόμενο επιρροής από τις περιεχόμενες διαιτητικές ίνες (Kaczmarek *et al.*, 2019). Σε μία άλλη μελέτη, διάρκειας 8 εβδομάδων, διερευνήθηκε η επίδραση της γλυκοραφανίνης του μπρόκολου στην σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος και στον μεταβολισμό του λίπους παχύσαρκων ποντικών (n=9) (Xu *et al.*, 2020). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, η προσθήκη 18,77g/kg λυοφιλοποιημένου μπρόκολου στο καθημερινό διαιτολόγιο των ποντικών, είχε ευεργετική επίδραση στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας, μειώνοντας το σωματικό βάρος και τα επίπεδα LDL χοληστερόλης στο αίμα, ρυθμίζοντας την έκφραση λιπογενετικών γονιδίων και μεταβάλλοντας ορισμένους, κρίσιμους για την παχυσαρκία, πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος. Συγκεκριμένα, αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των Bacteroidetes, Bacteroidaceae, Akkermansia και Alloprevotella, και μειώθηκαν οι πληθυσμοί των Firmicutes, Lachnospiraceae, Desulfovibrionaceae, Ruminococcaceae και ο πληθυσμιακός λόγος Firmicutes/Bacteroidetes (Xu *et al.*, 2020). Παρόμοια έρευνα, αναφορικά με την επίδραση της κατανάλωσης μπρόκολου στον εντερικό μικροβίωμα και στον μεταβολισμό του λίπους και της γλυκόζης, πραγματοποίησαν επίσης οι Zandani *et al.* (2021), σε υγιή αρσενικά ποντίκια (n=16). Συγκεκριμένα, για διάστημα 17 εβδομάδων, προστίθεντο καθημερινά στη διατροφή των ποντικών, 10% (κατά βάρος) πολτοποιημένο μπρόκολο. Ως αποτέλεσμα, το μπρόκολο οδήγησε στη μείωση της παραγωγής προφλεγμονωδών κυτοκινών στο έντερο, των επιπέδων γλυκόζης, ινσουλίνης και ολικών τριγλυκεριδίων στο αίμα, και της μάζας του λιπώδους ιστού, ενώ, όσον αφορά τους πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος, παρατηρήθηκε αύξηση των Verrucobicrobia και *Akkermansia muciniphila*, και μείωση των *Lactobacillus* και *Mucispirillum schaedleri* (Zandani *et al.*, 2021).

3.2.10 Αμύγδαλα



Εικόνα 2.3.10.1: Εικονική αναπαράσταση των καρπών της αμυγδαλιάς

Τα αμύγδαλα αποτελούν τους καρπούς του δέντρου *Prunus dulcis* syn. *Prunus amygdalus*, της οικογενείας Rosaceae, το οποίο προέρχεται από την Κεντρική Ασία και καλλιεργείται εκτενώς στις ξηρές περιοχές της Μεσογείου (Barreca *et al.*, 2020). Είναι

ένας αρκετά διαδεδομένος ξηρός καρπός, με μια ευρεία ποικιλία προϊόντων στην αγορά, ο οποίος μπορεί να καταναλωθεί ευχάριστα, είτε στη φυσική του μορφή (ωμή ή καβουρδισμένη) ως ένα υγιεινό σνακ, είτε να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή ροφημάτων (γάλα αμυγδάλου), γλυκών (αμυγδαλωτά, παστέλια), ελαίου, προϊόντων πρωινού με τεμάχια κ.ά. Ως προς τη διατροφική τους αξία, τα αμύγδαλα είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και βιοδραστικές ουσίες, καθώς περιέχει υψηλές ποσότητες διαιτητικών ινών, μονοακόρεστων και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, αμινοξέων και πρωτεϊνών, πολυφαινόλων (προανθοκυανιδίνες, υδρολυομένες τανίνες, φαινολικά οξέα, λιγνάνες, φλαβονοειδή), βιταμινών (E, B2, B3) και μετάλλων (Mn, Mg, Cu, P, K, Fe, Ca) (Barreca *et al.*, 2020; Μηλιτσοπούλου, 2021).

Τα τελευταία χρόνια, τα αμύγδαλα έχουν συσχετιστεί με πολλά πιθανά οφέλη στην υγεία, τα οποία αποδίδονται κατά κύριο λόγο στις διαιτητικές ίνες, στις πολυφαινόλες και στα λιπαρά οξέα που περιέχουν και δρουν ως πρεβιοτικά στους πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος (Dhillon *et al.*, 2019; Barreca *et al.*, 2020). Ενδεικτικά, έχει βρεθεί ότι η τακτική κατανάλωση αμυγδάλων, βοηθά στην ενίσχυση της μνήμης και τη ρύθμιση του λιπιδαιμικού προφίλ, καθώς επίσης στη πρόληψη και αντιμετώπιση διαφόρων καρδιακών και μεταβολικών παθήσεων (Barreca *et al.*, 2020; Μηλιτσοπούλου, 2021). Για παράδειγμα, σύμφωνα με έρευνα των Choo *et al.* (2021), η χορήγηση 56g/ημέρα ωμών αμυγδάλων σε υπέρβαρα άτομα (n=39) για διάστημα 8 εβδομάδων, είχε ως αποτέλεσμα να μεταβάλει τη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος, αυξάνοντας τόσο τη συνολική ποικιλομορφία, όσο και συγκεκριμένους ευεργετικούς μικροβιακούς πληθυσμούς που σχετίζονται με τη ρύθμιση των επιπέδων ινσουλίνης στο αίμα. Συγκεκριμένα, οι πληθυσμοί αυτοί είναι οι Ruminococcaceae_NK4A214, Ruminococcaceae_UCG-003 (Oscillospira) και Ruminiclostridium (Butyricoccus) (Choo *et al.*, 2021). Σε μια πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Ren *et al.* (2020), διερευνήθηκε η επίδραση που έχει η κατανάλωση αμυγδάλων στην αντιμετώπιση του σακχαρώδη διαβήτη και της κατάθλιψης. Συγκεκριμένα, για χρονικό διάστημα 3 μηνών, εντάχθηκαν μικρές ποσότητες αμυγδάλων (56g) στο καθημερινό και καθορισμένο διαιτολόγιο πασχόντων, από διαβήτη και κατάθλιψη, ατόμων (n=22). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν, τόσο το σωματικό βάρος, όσο και το σκορ κατάθλιψης των πασχόντων μειώθηκε σημαντικά, ως αποτέλεσμα της μεταβολής ορισμένων πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος. Συγκεκριμένα, μειώθηκε ο πληθυσμός

Bacteroides, και αυξήθηκαν οι πληθυσμοί των *Roseburia*, *Ruminococcus* και *Eubacterium*. Μάλιστα, οι Ren *et al.* (2020) αναφέρουν ότι λόγω της αύξησης των τελευταίων, αυξήθηκαν και τα επίπεδα των παραγόμενων SCFAs, τα οποία συνδεόμενα με τους υποδοχείς GPR43 του εντέρου, παρήγαγαν έναν πολύ σημαντικό αντικαταθλιπτικό και αντιυπεργλυκαιμικό ρυθμιστή του συστήματος έντερου-εγκεφάλου, τον GLP-1, αποδίδοντας καθ' αυτόν τον τρόπο τις αντικαταθλιπτικές και αντιυπεργλυκαιμικές ιδιότητες των αμυγδάλων. Επίσης, σε μία μελέτη των Dhillon *et al.* (2019), συνολικής διάρκειας 8 εβδομάδων, διερευνήθηκαν οι μεταβολές που προκαλεί η κατανάλωση 57g/ημέρα καβουρδισμένων αμυγδάλων, στο εντερικό μικροβίωμα υγιών ατόμων νεαρής ηλικίας (18-19 χρονών, n=38). Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε αύξηση της ποικιλομορφίας και των πληθυσμών των *Lachnospira*, *Coriobacteriaceae*, *Sutterella*, και RF39, ενώ οι πληθυσμοί των *Alistipes*, *Odoribacter*, *Butyricimonas*, *Bacteroidales-S24-7-group* και ειδικά του *Bacteroides fragilis* μειώθηκαν σημαντικά. Δεδομένου ότι, ο *Bacteroides fragilis* είναι ένας παθογόνος μικροοργανισμός, ο οποίος έχει συσχετιστεί στο παρελθόν με τη πρόκληση φλεγμονών στο έντερο, το τελικό συμπέρασμα της έρευνας ήταν ότι τα αμύγδαλα είχαν ευεργετική επίδραση στην συνολική υγεία των συμμετεχόντων (Dhillon *et al.*, 2019).

3.2.11 Συγκεντρωτικά Στοιχεία Ερευνών

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι καταγεγραμμένες μεταβολές που προκλήθηκαν στη σύνθεση του εντερικού μικροβιώματος ανθρώπων ή πειραματόζωων, έπειτα από τη λήψη βιοδραστικών ενώσεων που περιέχονται σε επιλεγμένες υπερτροφές, βάσει των επιστημονικών μελετών που αναφέρθηκαν στις Παραγράφους 3.2.1 έως 3.2.10 (σελ. 28 έως 46). Συνολικά, στον Πίνακα 1 περιλαμβάνονται 29 επιστημονικές μελέτες όπου μελετήθηκε η επίδραση περιεχόμενων βιοδραστικών ενώσεων 10 υπερτροφών στο εντερικό μικροβίωμα. Τα σύμβολα “○”, “□” και “◇” χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποδοθεί το είδος της επίδρασης για τον εκάστοτε μικροβιακό πληθυσμό που μεταβλήθηκε, και συγκεκριμένα δηλώνουν, αντίστοιχα, αν η μεταβολή ήταν ευμενής, δυσμενής ή αμφίβολη για την υγεία. Ως αμφίβολες μεταβολές χαρακτηρίστηκαν εκείνες για τις οποίες είτε τα δεδομένα για τον αντίστοιχο βακτηριακό πληθυσμό είναι ακόμα

ελάχιστα στη διεθνή βιβλιογραφία, είτε επρόκειτο για δυνητικά παθογόνους μικροοργανισμούς. Τέλος, το σύμβολο “◼” που χρησιμοποιείται δηλώνει πως η βιοδραστική ουσία, στην οποία αποδίδονται οι μεταβολές, αποτελεί αντικείμενο υπόθεσης.

Πίνακας 1: Μεταβολές στα είδη των πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος που σχετίζονται με τη λήψη βιοδραστικών ενώσεων μέσω της κατανάλωσης υπερτροφών

ΥΠΕΡΤΡΟΦΗ	ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΟ ΕΝΤΕΡΙΚΟ ΜΙΚΡΟΒΙΩΜΑ		ΥΠΕΥΘΥΝΕΣ ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗ ΑΣΘΕΝΕΙΑ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	
Σπιρουλίνα (<i>Arthrospira platensis</i> , <i>Arthrospira maxima</i>)	Firmicutes/Bacteroidetes	↓	○	◼ C-φυκοκοανίνη	Δυσβίωση λόγω διατροφής υψηλή σε λιπαρά	(Yu <i>et al.</i> , 2020)
	Actinobacteria	↓	◇			
	Proteobacteria	↓	○			
	Firmicutes	↓	○			
	Bifidobacteriaceae	↓	◻			
	Corynebacteriaceae	↓	○			
	Enterobacteriaceae	↓	○			
	Ruminococcaceae	↓	○			
	Erysipelotrichaceae	↓	○			
	Aerococcaceae	↓	○			
	Bacteroidetes	↑	○			
	Bacteroidaceae	↑	○			
	Firmicutes	↓	○			
	Allobaculum	↓	○			
Lachnospiraceae	↓	○				
Clostridium XIVa	↓	○				
Clostridium XVIII	↓	○				
Romboutsia	↓	○				
Turcibacter	↓	○				

	Bacteroidetes Blautia Ruminococcus Prevotella Paraprevotella Parasutterella Porphyromonadaceae Alloprevotella Barnesiella	↑ ○ ↑ □ ↑ ○ ↑ ○ ↑ □ ↑ ◇ ↑ ○ ↑ ○	Πολυακόρεστα Λιπαρά Οξέα	Υπερλιπιδαιμία	(Li <i>et al.</i> , 2019)
Ιπποφάξ (<i>Hipporhæ rhamnoides</i>)	Firmicutes/Bacteroidetes Desulfovibrio Bacteroidales-S24-7-group Erysipelatoclostridium Lachnospiraceae Verrucomicrobiaceae Akkermansia Bacteroides Ruminococcaceae_UGC_014	↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↑ ○ ↑ ○ ↑ ○ ↑ ○	Πολυφαινόλες (φλαβονοειδή) & Τριτερπένια	Παχυσαρκία	(Guo <i>et al.</i> , 2020)
	Bacteroidetes Verrucomicrobia Proteobacteria Patescibacteria Akkermansia Alistipes Turicibacter Ruminiclostridium Firmicutes/Bacteroidetes	↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↓ ○ ↑ ○		Αλκοολική Ηπατοπάθεια	(Ran <i>et al.</i> , 2020)

	Lactobacillus	↑	○			
	Faecalibaculum	↑	◇			
Αβοκάντο (<i>Persea americana</i>)	Bacteroides	↓	○	■ Μονοακόρεστα Λιπαρά Οξέα & Διαιτητικές Ίνες	Παχυσαρκία	(Henning <i>et al.</i> , 2019)
	Methanosphaera	↓	◇			
	Firmicutes	↑	○			
	Dialister	↑	○			
	Holdemanella	↑	◇			
	Acetivibrio	↑	◇			
	Sutterella	↑	○			
	Bilophila	↑	○			
	Herbaspirillum	↑	◇			
	Prevotella	↑	○			
	Ruminococcus	↑	○			
	Ruminococcus	↓	○	■ Μονοακόρεστα Λιπαρά Οξέα & Διαιτητικές Ίνες	Παχυσαρκία	(Thompson <i>et al.</i> , 2021)
	Roseburia	↓	○			
	Faecalibacterium	↑	○			
	Lachnospira	↑	○			
	Alistipes	↑	○			
	Actinobacteria	↑	○	Προανθοκυανιδίνες	Δυσβίωση λόγω διατροφής υψηλή σε πρωτεΐνες	(Cires <i>et al.</i> , 2019b)
	Coriobacteriaceae	↑	○			
	Ruminococcaceae	↑	○			
	Faecalibacterium	↑	○			
Lachnospira	↑	○				
Firmicutes	↓	○	Προανθοκυανιδίνες	Δυσβίωση λόγω διατροφής υψηλή σε πρωτεΐνες	(Cires <i>et al.</i> , 2019a)	
Lactobacillus	↓	○				
Prevotella	↑	○				
Paraprevotella	↑	○				

	Actinobacteria	↑	○			
Κινόα (<i>Chenopodium quinoa</i>)	Firmicutes/Bacteroidetes	↓	○	Διατητικοί Πολυσακχαρίτες	Υπερλιπιδαιμία	(Cao <i>et al.</i> , 2020)
	Firmicutes	↓	○			
	Proteobacteria	↓	○			
	Enterobacteriaceae	↓	○			
	Desulfovibrio	↓	○			
	Lachnospiraceae	↓	○			
	Allobaculum	↓	○			
	Bacteroidetes	↑	○			
	Erysipelotrichia	↑	○			
	Bacteroidales-S24-7-group	↑	○			
	<i>Ruminoclostridium_9</i>	↑	○			
	Ruminococcaceae_NK4A214_group	↑	○			
Κινόα (<i>Chenopodium quinoa</i>)	Bacteroidetes	↓	○	Διατητικοί Πολυσακχαρίτες	Παχυσαρκία	(Garcia-Mazcorro <i>et al.</i> , 2016)
	Enterococcus	↓	○			
	Turcibacter	↓	○			
	Proteobacteria	↓	○			
	Verrucomicrobia	↑	○			
	Firmicutes	↑	○			
	Akkermansia	↑	○			
Κινόα (<i>Chenopodium quinoa</i>)	Proteobacteria	↓	○	☒ Διατητικοί Πολυσακχαρίτες & Πολυφαινόλες	Κολίτιδα (Φλεγμονώδης νόσος του εντέρου)	(Liu <i>et al.</i> , 2018)
	Esherichia/Shigella	↓	○			
	Peptoclostridium	↓	○			
	Firmicutes	↑	○			
	Bacteroidetes	↑	○			
	<i>uncultured-bacterium-f-Lachnospiraceae</i>	↑	○			
	Lachnospiraceae-NK4A136-group	↑	○			

	<i>uncultured-bacterium-f-Bacteroidales S24-7</i>	↑	○			
Λιναρόσπορος (<i>Linum usitatissimum</i>)	unidentified_Clostridiales	↓	○	Ολιγοσακχαρίτες	Κολίτιδα (Φλεγμονώδης νόσος του εντέρου)	(Xu <i>et al.</i> , 2020)
	Akkermansia	↓	○			
	Allobaculum	↑	○			
	unidentified_S24-7	↑	○			
	Firmicutes/Bacteroidetes	↓	○	Βλέννα (Διατητικές ίνες)	Παχυσαρκία	(Luo <i>et al.</i> , 2018)
	Lactobacillus	↓	◇			
	Ruminococcus	↓	○			
	Oscillospira	↓	○			
	Turicibacter	↓	○			
	Unclassified_Clostridiales	↓	○			
	Unclassified_Peptostreptococcaceae	↓	○			
	Unclassified_[Mogibacteriaceae]	↓	○			
	Roseburia	↓	○			
	Unclassified_Coriobacteriaceae	↓	○			
	Firmicutes	↓	○			
	Clostridium	↑	○			
	Prevotella	↑	○			
	Unclassified_Elusimicrobiaceae	↑	○			
	Sutterella	↑	○			
	Unclassified_Enterobacteriaceae	↑	○			
Unclassified_YS2	↑	○				
Unclassified_Burkholderiales	↑	○				
Veillonella	↑	○				
Proteobacteria	↓	○	ω-3 λιπαρά οξέα (α- λινολενικό οξύ)	Αλκοολική Ηπατοπάθεια	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)	
Porphyromonadaceae	↓	○				
Parabacteroides	↑	○				

	Firmicutes	↓	○						
	Blautia	↓	○	ω-3 λιπαρά οξέα (α-λινολενικό οξύ)	Διαβήτης Τύπου II	(Zhu <i>et al.</i> ,2020)			
	Alistipes	↑	○						
	Bacteroidetes	↑	○						
	Parvimonas	↓	○						
Ρόδι (<i>Punica granatum</i>)	Methanobrevibacter	↓	○	☑ Πολυφαινόλες	Μεταβολική Ενδοτοξέμια λόγω Παχυσαρκίας	(González-Sarrias <i>et al.</i> ,2018)			
	Methanosphaera	↓	○						
	Romboutsia	↓	○						
	Anaerostipes	↓	○						
	Dorea	↓	○						
	Anaerofustis	↓	○						
	<i>Clostridium sensu strict</i>	↓	○						
	Bacteroides	↑	○						
	Faecalibacterium	↑	○						
	Butyricoccus	↑	○						
	Odoribacter	↑	○						
	Butyricimonas	↑	○						
	Parabacteroides	↑	○						
	Coprobacter	↑	○						
	Alcaligenaceae	↓	○				Ελλαγτανίνες	Εγκεφαλομελίτιδα	(Lu <i>et al.</i> ,2020)
	Acidaminococcacea	↓	○						
	Prevotellaceae	↑	○						
	Lachnospiraceae	↑	○						
	Ruminococcaceae	↑	○						
Lactobacillaceae	↑	○							
	Proteobacteria	↓	○						
	Firmicutes	↓	○						

Μούρα Goji (<i>Lycium barbarum</i> / <i>Lycium chinense</i>)	Helicobacter	↓	○	■ Πολυσακχαρίτες	-	(Tian <i>et al.</i> , 2021)
	Bacteroides	↓	○			
	Mucispirillum	↓	○			
	Alistipes	↓	○			
	<i>Ruminiclostridium_9</i>	↓	○			
	Verrucomicrobia	↑	○			
	Bacteroidetes	↑	○			
	Actinobacteria	↑	○			
	<i>uncultured-bacterium-f-Bacteroidales S24-7</i>	↑	○			
	Anaerotruncus	↑	○			
	Coprococcus_1	↑	○			
	Ruminococcaceae_UCG_014	↑	○			
	Akkermansia	↑	○			
	Candidatus_Saccharimonas	↑	○			
	Peptostreptococcaceae	↓	○	■ Φρουκτοολιγοσακχαρίτες	Κολίπδα (Φλεγμονώδης νόσος του εντέρου)	(Kang <i>et al.</i> , 2018)
	Actinobacteria	↑	○			
	Lachnospiraceae	↑	○			
	Ruminococcaceae	↑	○			
	Pseudoflavonifractor	↑	○			
Bifidobacterium	↑	○				
Sporobacter	↑	○				
Butyricisoccus	↑	○				
Anaerospobacter	↑	○				
Anaerotruncus	↑	○				
Roseburia spp.	↑	○				

	<i>Clostridium leptum</i>	↑	○			
	<i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	↑	○			
	Clostridium XIVa	↑	○			
	Clostridium XIVb	↑	○			
	Clostridium XVIII	↑	○			
	Firmicutes	↓	○	Πολυσακχαρίτες	Αλλεργικό Ασθμα	(Cui <i>et al.</i> , 2020)
	Alistipes	↓	○			
	Clostridiales	↓	○			
	Actinobacteria	↓	○			
	Lactobacillus	↑	○			
	Bifidobacterium	↑	○			
Κουρκουμάς (<i>Curcuma longa</i> syn. <i>Curcuma domestica</i>)	Firmicutes/Bacteroidetes	↓	○	Κουρκουμίνη	Ηπατική Στεάτωση & Παχυσαρκία	(Li <i>et al.</i> , 2021)
	Ruminococcaceae_UGC-014	↓	○			
	Desulfovibrio	↓	○			
	Lactobacillus	↓	◇			
	Akkermansia	↑	○			
	Bacteroides	↑	○			
	Parabacteroides	↑	○			
	Alistipes	↑	○			
	Alloprevotella	↑	○			
	Prevotellaceae	↓	○	Κουρκουμίνη	-	(Shen <i>et al.</i> , 2017)
	Prevotella	↓	○			
	Bacteroidaceae	↑	○			
	Bacteroides	↑	○			
Rikenellaceae	↑	○				
Alistipes	↑	○				
Bacteroidaceae	↓	○				

	Prevotellaceae	↓	○	Κουρκουμίνη	Νόσος Αλτσχάιμερ	(Sun <i>et al.</i> , 2020)
	Lactobacillaceae	↓	○			
	Prevotella	↓	○			
	Bacteroides	↓	○			
	Esherichia/Shigella	↓	○			
	Rikenellaceae	↑	○			
	Parabacteroides	↑	○			
Μπρόκολο (<i>Brassica oleracea var. italica</i>)	Firmicutes/Bacteroidetes	↓	○	Γλυκοραφάνη	Παχυσαρκία	(Xu <i>et al.</i> , 2020)
	Firmicutes	↓	○			
	Lachnospiraceae	↓	○			
	Desulfovibrionaceae	↓	○			
	Ruminococcaceae	↓	○			
	Bacteroidetes	↑	○			
	Bacteroidaceae	↑	○			
	Akkermansia	↑	○			
	Alloprevotella	↑	○			
	Firmicutes	↓	○	☑ Γλυκοσνολάτες & Διαιτητικές Ίνες	-	(Kaczmarek <i>et al.</i> , 2019)
	Bacteroidetes	↑	○			
	Bacteroides	↑	○			
Lactobacillus	↓	◇	☑ Γλυκοσνολάτες & Διαιτητικές Ίνες	-	(Zandani <i>et al.</i> , 2021)	
<i>Mucispirillum schaedleri</i>	↓	○				
Verrucomicrobia	↑	○				
<i>Akkermansia muciniphila</i>	↑	○				
Ruminococcaceae_NK4A214	↑	○	Παχυσαρκία	(Choo <i>et al.</i> , 2021)		
Ruminococcaceae_UCG-003 (Oscillospira)	↑	○				
Ruminiclostridium (Butyricoccus)	↑	○				
Bacteroides	↓	○				

Αμύγδαλα (<i>Prunus dulcis</i> syn. <i>Prunus amygdalus</i>)	Ruminococcus	↑	○	■ Διατητικές Ίνες, Μονοακόρεστα Λιπαρά Οξέα & Πολυφαινόλες	Διαβήτης Τύπου II & Κατάθληση	(Ren <i>et al.</i> , 2020)
	Roseburia	↑	○			
	Eubacterium	↑	○			
	<i>Bacteroides fragilis</i>	↓	○			
	Alistipes	↓	○			
	Odonibacter	↓	◇			
	Butyrivimonas	↓	◇			
	Bacteroidales-S24-7-group	↓	◇			
	Lachnospira	↑	○			
	Coriobacteriaceae	↑	○			
	Sutterella	↑	○			
	RF39	↑	○			
				-	(Dhillon <i>et al.</i> , 2019)	

(↑: αύξηση, ↓: μείωση μικροβιακού πληθυσμού σε σύγκριση με το εντερικό μικροβίωμα πριν τη λήψη υπερτροφής, ○: ευεργετικό αποτέλεσμα, □: δυσμενές αποτέλεσμα, ◇: αμφιλεγόμενο αποτέλεσμα, ■: υπόθεση)

Βάσει των επιστημονικών μελετών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, παρατηρήθηκε συνοχή μεταξύ των μεταβολών που προκάλεσαν οι υπερτροφές στους πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος για την κάθε μελετούμενη ασθένεια. Παραδείγματος χάριν, η οικογένεια των Desulfonibrionaceae, στην οποία ανήκει και το γένος Desulfonibrio, χαρακτηρίζεται από ισχυρή παθογένεια λόγω της ικανότητας των να παράγουν υδρόθειο και εντεροτοξίνες που προκαλούν βλάβες στον εντερικό φραγμό και προωθούν την εμφάνιση φλεγμονών (Xu *et al.*, 2020). Οι συγκεντρώσεις τους είναι ιδιαίτερα υψηλές σε μεταβολικές παθήσεις, όπως η παχυσαρκία και η υπερλιπιδαιμία, ενώ σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, η κατανάλωση υπερτροφών όπως το μπρόκολο, ο κουρκουμάς, η κινόα, και το ιπποφαές, οδήγησε σε σημαντική μείωση της σχετικής αφθονίας τους.

Από την άλλη πλευρά, η οικογένεια των Lachnospiraceae, του φύλου Firmicutes, αποτελεί από τους σημαντικότερους βακτηριακούς πληθυσμούς του εντερικού μικροβιώματος, καθώς συμμετέχει σε πολλές μεταβολικές διαδικασίες, και ειδικότερα στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλύσου από τον καταβολισμό των υδατανθράκων (Vacca *et al.*, 2020). Ωστόσο, μια ανθυγιεινή διατροφή μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλή αύξηση της σχετικής αφθονίας του, η οποία οδηγεί μετέπειτα στην απορρόφηση περιττής ενέργειας, και συνεπώς στην αύξηση του βάρους και την πρόκληση μεταβολικών συνδρόμων, όπως η παχυσαρκία, η υπερλιπιδαιμία και ο διαβήτης (Xu *et al.*, 2020; Vacca *et al.*, 2020). Αντίθετα, σε παθήσεις όπως η κολίτιδα παρουσιάζεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Πράγματι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μελετών που περιέχονται στην παρούσα ανασκόπηση και στον συγκεντρωτικό πίνακα, επιβεβαιώνονται οι μεταβολές αυτές, ενώ επίσης παρατηρείται ότι η σπιρουλίνα, το ιπποφαές, η κινόα, το μπρόκολο, το ρόδι και τα μούρα goji βοήθησαν στην αναίρεση τους.

Το γένος Akkermansia είναι ένα εγγενές προβιοτικό του εντέρου, που έχει βρεθεί ότι βοηθά στη ρύθμιση των επιπέδων γλυκόζης και λιπιδίων στο αίμα, παράγει SCFAs καταβολίζοντας βλέννα, προάγει την έκφραση γονιδίων που συμμετέχουν στον μεταβολισμό του λίπους και προστατεύει έναντι των φλεγμονών (Guo *et al.*, 2020; Zandani *et al.*, 2021). Ωστόσο, η ακολουθία μιας θρεπτικά φτωχής διατροφής και με

περίσσεια λιπαρών, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της σχετικής αφθονίας του, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από τις μελέτες που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία και αφορούσαν παθήσεις όπως η παχυσαρκία και η ηπατική στεάτωση. Ειδικές περιπτώσεις αποτελούν, η αλκοολική ηπατοπάθεια και η κολίτιδα, όπου οι συγκεντρώσεις τους ήταν πολύ υψηλότερες από το κανονικό. Υπερτροφές όπως το ιπποφάες, ο λιναρόσπορος, τα μούρα goji, ο κουρκουμάς και τα αμύγδαλα, είχαν την ικανότητα να επαναφέρουν τον πληθυσμό του γένους *Akkermansia*, σε επίπεδα κοντά σχετικά στο φυσιολογικό. Αξίζει να αναφερθεί, ότι το γένος *Akkermansia* αποτελεί τον μοναδικό εκπρόσωπο του φύλου *Verrucomicrobia* στο έντερο, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον πίνακα, όπου οι μεταβολές τους είχαν την ίδια κατεύθυνση (Guo *et al.*, 2020).

Περαιτέρω, το γένος *Prevotella*, του φύλου *Bacteroidetes*, λέγεται ότι βοηθά στον μεταβολισμό πολύπλοκων ενώσεων, ρυθμίζει τα επίπεδα λίπους και συμμετέχει στον μεταβολισμό των χολικών οξέων (Li *et al.*, 2019). Οι συγκεντρώσεις του είναι συνήθως πολύ χαμηλές σε άτομα που πάσχουν από μεταβολικές διαταραχές (Henning *et al.*, 2019), όπως η παχυσαρκία, η υπερλιπιδαιμία και η δυσβίωση λόγω κατανάλωσης περίσσειας πρωτεϊνών, ενώ αντίθετα υπάρχουν στοιχεία ότι σχετίζεται με τη νόσο Αλτσχάιμερ, όπου εμφανίζεται σε μεγάλη σχετική αφθονία (Sun *et al.*, 2020). Ωστόσο, σύμφωνα με την παρούσα ανασκόπηση, η κατανάλωση υπετροφών όπως ο κουρκουμάς, η σπιρουλίνα, το αβοκάντο, το ρόδι και ο λιναρόσπορος, μπορεί να επαναφέρει τις ισορροπίες και να βοηθήσει σημαντικά στην αντιμετώπιση των ανωτέρω ασθενειών.

Τέλος, όσον αφορά τις μεταβολές στο γένος *Lactobacillus*, του φύλου *Firmicutes*, αυτές αρκετές φορές μπορεί να είναι αμφίβολες. Αυτό συμβαίνει διότι παρόλο που ορισμένα στελέχη έχουν ισχυρή προστατευτική και προβιοτική δράση, και βοηθούν στην μείωση του λίπους και του σωματικού βάρους, υπάρχουν άλλα που σχετίζονται με την πρόκληση φλεγμονών στο έντερο (Zandani *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ήταν η διερεύνηση πιθανών επιδράσεων από τη διατροφική λήψη υπερτροφών, πλούσιων σε βιοδραστικές ενώσεις, στη σύσταση του εντερικού μικροβιώματος. Το ανθρώπινο εντερικό μικροβίωμα, αν και είναι αρκετά σταθερό ως προς την ομοιοστάσή του, έχει αποδειχθεί ότι οποιαδήποτε σημαντική ανατάραξη στην συνολική του σύνθεση (δυσβίωση), ενδέχεται να οδηγήσει στην πρόκληση φλεγμονών, ή ακόμη στην εμφάνιση διαφόρων μεταβολικών, καρδιακών και νευρολογικών παθήσεων, όταν πρόκειται για μακροπρόθεσμες μεταβολές. Οι βιοδραστικές ενώσεις που περιέχονται σε τρόφιμα χαρακτηρισμένα ως υπερτροφές φαίνεται να έχουν σημαντική επίδραση στην εξισορρόπηση των πληθυσμών του εντερικού μικροβιώματος, και κατά συνέπεια στην αντιμετώπιση χρόνιων νοσημάτων.

Η πρόσληψη μέσω της διατροφής υπερτροφών όπως το μπρόκολο, ο κουρκουμάς, η κινόα, και το ιπποφάες φαίνεται να έχουν ευεργετική δράση σε ασθενείς με παχυσαρκία και υπερλιπιδαιμία μέσω της μείωσης των πληθυσμών μικροοργανισμών που παράγουν εντεροτοξίνες και θεωρούνται υπεύθυνοι για την εμφάνιση φλεγμονών. Επίσης, η σπιρουλίνα, το ιπποφάες, η κινόα, το μπρόκολο, το ρόδι και τα μούρα goji φαίνεται να βοηθούν στη διατήρηση των φυσιολογικών επιπέδων του πληθυσμού σημαντικών μικροοργανισμών του εντερικού μικροβιώματος ως μέσον καταπολέμησης μεταβολικών συνδρόμων και της κολίτιδας. Περαιτέρω, το ιπποφάες, ο λιναρόσπορος, τα μούρα goji, ο κουρκουμάς, η σπιρουλίνα, το αβοκάντο, το ρόδι, ο λιναρόσπορος και τα αμύγδαλα έχουν αποδειχθεί ικανά να επαναφέρουν την ισορροπία στον πληθυσμό μικροοργανισμών που σχετίζονται με την παχυσαρκία, την υπερλιπιδαιμία, την ηπατική στεάτωση, την αλκοολική ηπατοπάθεια και την κολίτιδα.

Ωστόσο, σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη μελέτη της επιστημονικής βιβλιογραφίας που παρατίθεται στην παρούσα εργασία, παρατηρήθηκαν ορισμένοι επιστημονικοί περιορισμοί που είναι σημαντικό να αναφερθούν παρακάτω. Πρώτον, το πλήθος των ερευνών που έχουν διεξαχθεί μέχρι σήμερα αναφορικά με την επίδραση της εκάστοτε υπερτροφής στο εντερικό

μικροβίωμα, φαίνεται να είναι περιορισμένο, ενώ παράλληλα το πλαίσιο διεξαγωγής αρκετών *in vivo* μελετών φαίνεται να χρήζει βελτίωσης ώστε να εξαχθούν περισσότερο ολοκληρωμένα ευρήματα σε μελλοντικές έρευνες. Παραδείγματος χάριν, οι δοσολογίες οι οποίες χορηγούνται στις μελέτες που παρουσιάζονται στην εργασία, είναι συνήθως υψηλότερες από εκείνες που καταναλώνονται στο πλαίσιο μιας ισορροπημένης διατροφής από έναν ενήλικα. Επίσης, το γεγονός ότι οι περισσότερες μελέτες έχουν διεξαχθεί σε πειραματόζωα, κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες, αφήνει ανοιχτό το ενδεχόμενο τα αποτελέσματα που λαμβάνονται να μην είναι αντιπροσωπευτικά ή άμεσα συσχετιζόμενα με τον ανθρώπινο οργανισμό, σε συνθήκες εκτός εργαστηρίου. Παρομοίως, όπως έγινε λόγος και στο πρώτο κεφάλαιο, το εντερικό μικροβίωμα διαμορφώνεται βάσει πολλών παραγόντων (φυλετικοί, γενετικοί, γεωγραφικοί, ιατρικό ιστορικό, lifestyle), οι οποίοι συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τη διεξαγωγή των ερευνών. Τέλος, τόσο το πλήθος των συμμετεχόντων πειραματόζωων ή ανθρώπων, όσο και η χρονική διάρκεια διεξαγωγής των κλινικών μελετών, είναι συνήθως αρκετά μικρό.

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ανωτέρω περιορισμοί, παρατίθενται μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Αρχικά, προκειμένου να εξαχθούν περισσότερο αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα για τη δράση των υπερτροφών στο ανθρώπινο εντερικό μικροβίωμα, κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή περισσότερων κλινικών μελετών, όπου θα διεξάγονται για επαρκή χρονικά διαστήματα (π.χ. τουλάχιστον 3 μήνες) και θα λαμβάνει μέρος μεγάλος αριθμός συμμετεχόντων. Επίσης, δεδομένου ότι αρκετές μελέτες αποδίδουν την δράση των υπερτροφών σε γενικές κατηγορίες βιοδραστικών ενώσεων, θα ήταν σημαντικό να διεξαχθούν περισσότερα *in vitro* και *in vivo* πειράματα, ώστε να προσδιοριστούν τα συγκεκριμένα είδη βιοδραστικών ενώσεων που δρουν ευμενώς στην εκάστοτε ασθένεια. Με τον τρόπο αυτό, θα ήταν δυνατή η παρασκευή πολλών διατροφικών και φαρμακευτικών σκευασμάτων, με σκοπό τη στοχευμένη λήψη των βιοδραστικών ουσιών από τους ασθενείς. Επιπρόσθετα, τόσο οι υπερτροφές που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, όσο και οι υπόλοιπες τροφές που ανήκουν στην ίδια κατηγορία τροφίμων, θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω, ή ακόμη και για πρώτη φορά (π.χ. βασιλικός πολτός, εχινάκεια κ.ά.), αναφορικά με την δράση τους στο εντερικό μικροβίωμα. Τέλος, πέρα

από τα θετικά οφέλη που έχει η κατανάλωση των υπερτροφών, θα ήταν απαραίτητο σε επόμενο βήμα, να μελετηθούν επίσης οι πιθανές τοξικές δράσεις των βιοδραστικών ενώσεων, που εμπεριέχονται σε αυτές, σε ασθενείς που πάσχουν από χρόνια νοσήματα, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για τις συνιστώμενες δοσολογίες.

Συμπερασματικά, οι υπερτροφές φαίνεται να κατέχουν δικαίως τον τίτλο τους, καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ερευνών που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, είχαν πράγματι την ικανότητα να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση πολλών χρόνιων παθήσεων, βελτιώνοντας τις μικροβιακές ανισορροπίες του εντέρου. Ωστόσο, προκειμένου να αποσαφηνιστεί ο ακριβής μηχανισμός δράσης τους, στην εντερική μικροχλωρίδα και συνεπώς στην προάσπιση την ανθρώπινης υγείας, κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω διεξαγωγή κλινικών και προκλινικών μελετών.

ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ, ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΚΑΙ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΟΙ ΟΡΟΙ

BCFAs	Branched Chain Fatty Acids	Λιπαρά Οξέα Διακλαδισμένης Αλύσου
MUFAs	Mono-Unsaturated Fatty Acids	Μόνο-ακόρεστα Λιπαρά Οξέα
PUFAs	Poly-Unsaturated Fatty Acids	Πόλυ-ακόρεστα Λιπαρά Οξέα
SCFAs	Short Chain Fatty Acids	Λιπαρά Οξέα Βραχείας Αλύσου
SOD	Superoxide Dismutase	Δισμουτάση του Υπεροξειδίου του Υδρογόνου
Superfoods		Υπερτροφές

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Al-Judaibi, A. A. (2021). Microbiota and their Influence in the Human Body. *Journal of Pure and Applied Microbiology* , 15(1) , 42-52. Retrieved from <https://doi.org/10.22207/JPAM.15.1.27>

Allen, J. M., Mailing, L. J., Niemi, G. M., Moore, R., Cook, M. D., White, B. A., et al. (2018). Exercise alters gut microbiota composition and function in lean and obese humans. *Med Sci Sports Exerc* , 50(4) , 747-57. Retrieved from <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001495>

Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D. G., & Lightfoot, D. A. (2017). Phytochemicals: Extraction, isolation, and identification of bioactive compounds from plant extracts. *Plants* , 6(4) , 42. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/plants6040042>

Barreca, D., Nabavi, S. M., Sureda, A., Rasekhian, M., Raciti, R., Silva, A. S., et al. (2020). Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA Webb): a source of nutrients and health-promoting compounds. *Nutrients* , 12(3) , 672. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/nu12030672>

Benedict, C., Vogel, H., Jonas, W., Woting, A., Blaut, M., Schürmann, A., et al. (2016). Gut microbiota and glucometabolic alterations in response to recurrent partial sleep deprivation in normal-weight young individuals. *Molecular metabolism* , 5(12) , 1175-1186. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2016.10.003>

Bhalodi, A. A., van Engelen, T. S., Virk, H. S., & Wiersinga, W. J. (2019). Impact of antimicrobial therapy on the gut microbiome. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy* , 74 , i6-i15. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/jac/dky530>

Biswas, D., & Rahaman, S. O. (Eds.). (2020). *Gut Microbiome and Its Impact on Health and Diseases*. Springer International Publishing.

Cao, Y., Liu, H., Qin, N., Ren, X., Zhu, B., & Xia, X. (2020). Impact of food additives on the composition and function of gut microbiota: A review. *Trends in*

Food Science & Technology , 99 , 295-310. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.006>

Cao, Y., Zou, L., Li, W., Song, Y., Zhao, G., & Hu, Y. (2020). Dietary quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) polysaccharides ameliorate high-fat diet-induced hyperlipidemia and modulate gut microbiota. *International Journal of Biological Macromolecules* , 163 , 55-65. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.241>

Chang, S. K., Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2019). Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects—A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 59(10) , 1580-1604. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1422111>

Choo, J. M., Tran, C. D., Luscombe-Marsh, N. D., Stonehouse, W., Bowen, J., Johnson, N., et al. (2021). Almond consumption affects fecal microbiota composition, stool pH, and stool moisture in overweight and obese adults with elevated fasting blood glucose: A randomized controlled trial. *Nutrition Research* , 85 , 47-59. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.11.005>

Cires, M. J., Navarrete, P., Pastene, E., Carrasco-Pozo, C., Valenzuela, R., Medina, D. A., et al. (2019a). Effect of a proanthocyanidin-rich polyphenol extract from avocado on the production of amino acid-derived bacterial metabolites and the microbiota composition in rats fed a high-protein diet. *Food & function* , 10(7) , 4022-4035. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/C9FO00700H>

Cires, M. J., Navarrete, P., Pastene, E., Carrasco-Pozo, C., Valenzuela, R., Medina, D. A., et al. (2019b). Protective effect of an avocado peel polyphenolic extract rich in proanthocyanidins on the alterations of colonic homeostasis induced by a high-protein diet. *Journal of agricultural and food chemistry* , 67(42) , 11616-11626. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03905>

Coscia, A., Bardanzellu, F., Caboni, E., Fanos, V., & Peroni, D. G. (2021). When a Neonate Is Born, So Is a Microbiota. *Life* , 11(2) , 148. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/life11020148>

Cresci, G. A., & Izzo, K. (2019). Gut Microbiome. *Adult Short Bowel Syndrome* , 45-54. Academic Press. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814330-8.00004-4>

Cuevas-Sierra, A., Ramos-Lopez, O., Riezu-Boj, J. I., Milagro, F. I., & Martinez, J. A. (2019). Diet, gut microbiota, and obesity: links with host genetics and epigenetics and potential applications. *Advances in Nutrition* , *10(suppl_1)* , S17-S30. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/advances/nmy078>

Cui, F., Shi, C. L., Zhou, X. J., Wen, W., Gao, X. P., Wang, L. Y., et al. (2020). Lycium barbarum polysaccharide extracted from Lycium barbarum leaves ameliorates asthma in mice by reducing inflammation and modulating gut microbiota. *Journal of medicinal food* , *23(7)* , 699-710. Retrieved from <https://doi.org/10.1089/jmf.2019.4544>

Dąbrowska, K., & Witkiewicz, W. (2016). Correlations of host genetics and gut microbiome composition. *Frontiers in microbiology* , *7* , 1357. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01357>

Dhillon, J., Li, Z., & Ortiz, R. M. (2019). Almond snacking for 8 wk increases Alpha-Diversity of the gastrointestinal microbiome and decreases *Bacteroides fragilis* abundance compared with an isocaloric snack in college Freshmen. *Current developments in nutrition* , *3(8)* , nzz079. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/cdn/nzz079>

Dill-McFarland, K. A., Tang, Z. Z., Kemis, J. H., Kerby, R. L., Chen, G., Palloni, A., et al. (2019). Close social relationships correlate with human gut microbiota composition. *Scientific reports* , *9(1)* , 1-10. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37298-9>

Garcia-Mazcorro, J. F., Mills, D., & Noratto, G. (2016). Molecular exploration of fecal microbiome in quinoa-supplemented obese mice. *FEMS Microbiology Ecology* , *92(7)* , fiw089. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw089>

González-Sarrías, A., Romo-Vaquero, M., García-Villalba, R., Cortés-Martín, A., Selma, M. V., & Espín, J. C. (2018). The endotoxemia marker

lipopolysaccharide-binding protein is reduced in overweight-obese subjects consuming pomegranate extract by modulating the gut microbiota: A randomized clinical trial. *Molecular nutrition & food research* , 62(11) , 1800160. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/mnfr.201800160>

Guo, C., Han, L., Li, M., & Yu, L. (2020). Seabuckthorn (Hippophaë rhamnoides) Freeze-Dried Powder Protects against High-Fat Diet-Induced Obesity, Lipid Metabolism Disorders by Modulating the Gut Microbiota of Mice. *Nutrients* , 12(1) , 265. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/nu12010265>

Henning, S. M., Yang, J., Woo, S. L., Lee, R. P., Huang, J., Rasmusen, A., et al. (2019). Hass avocado inclusion in a weight-loss diet supported weight loss and altered gut microbiota: a 12-week randomized, parallel-controlled trial. *Current developments in nutrition* , 3(8) , nzz068. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/cdn/nzz068>

Ianiro, G., Tilg, H., & Gasbarrini, A. (2016). Antibiotics as deep modulators of gut microbiota: between good and evil. *Gut* , 65 , 1906-1915. Retrieved from <http://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-312297>

Jimenez, P., Garcia, P., Quitral, V., Vasquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farias, M., et al. (2020). Pulp, Leaf, Peel and Seed of Avocado Fruit: A Review of Bioactive Compounds and Healthy Benefits. *Food Reviews International* , 1-37. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717520>

Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P., & Küpper, J. H. (2019). Spirulina platensis, a super food? *Journal of Cellular Biotechnology* , 5(1) , 43-54. Retrieved from <https://doi.org/10.3233/JCB-189012>

Kaczmarek, J. L., Liu, X., Charron, C. S., Novotny, J. A., Jeffery, E. H., Seifried, H. E., et al. (2019). Broccoli consumption affects the human gastrointestinal microbiota. *The Journal of nutritional biochemistry* , 63 , 27-34. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.09.015>

Kang, Y., Yang, G., Zhang, S., Ross, C. F., & Zhu, M. J. (2018). Goji berry modulates gut microbiota and alleviates colitis in IL-10-deficient mice. *Molecular*

nutrition & food research , 62(22) , 1800535. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/mnfr.201800535>

Kashtanova, D. A., Popenko, A. S., Tkacheva, O. N., Tyakht, A. B., Alexeev, D. G., & Boystov, S. A. (2016). Association between the gut microbiota and diet: Fetal life, early childhood, and further life. *Nutrition* , 32(6) , 620-627. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.nut.2015.12.037>

Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Acién-Fernández, F. G. (2020). Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International* , 109356. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356>

Li, S., You, J., Wang, Z., Liu, Y., Wang, B., Du, M., et al. (2021). Curcumin alleviates high-fat diet-induced hepatic steatosis and obesity in association with modulation of gut microbiota in mice. *Food Research International* , 143 , 110270. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110270>

Li, T. T., Tong, A. J., Liu, Y. Y., Huang, Z. R., Wan, Z. X., Pan, Y. Y., et al. (2019). Polyunsaturated fatty acids from microalgae *Spirulina platensis* modulates lipid metabolism disorders and gut microbiota in high-fat diet rats. *Food and chemical toxicology* , 131 , 110558. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.06.005>

Lin, A., Bik, E. M., Costello, E. K., Dethlefsen, L., Haque, R., Relman, D. A., et al. (2013). Distinct distal gut microbiome diversity and composition in healthy children from Bangladesh and the United States. *PloS one* , 8(1) , e53838. Retrieved from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053838>

Liu, M., Zhang, L., Ser, S. L., Cumming, J. R., & Ku, K. M. (2018). Comparative phytonutrient analysis of broccoli by-products: The potentials for broccoli by-product utilization. *Molecules* , 23(4) , 900. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/molecules23040900>

Liu, W., Zhang, Y., Qiu, B., Fan, S., Ding, H., & Liu, Z. (2018). Quinoa whole grain diet compromises the changes of gut microbiota and colonic colitis induced by dextran Sulfate sodium in C57BL/6 mice. *Scientific reports* , 8(1) , 1-9. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33092-9>

Lu, X. Y., Han, B., Deng, X., Deng, S. Y., Zhang, Y. Y., Shen, P. X., et al. (2020). Pomegranate peel extract ameliorates the severity of experimental autoimmune encephalomyelitis via modulation of gut microbiota. *Gut microbes* , *12(1)* , 1-14. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1857515>

Luo, J., Li, Y., Mai, Y., Gao, L., Ou, S., Wang, Y., et al. (2018). Flaxseed gum reduces body weight by regulating gut microbiota. *Journal of Functional Foods* , *47* , 136-142. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.042>

Marrs, T., Jo, J. H., Perkin, M. R., Rivett, D. W., Witney, A. A., Bruce, K. D., et al. (2021). Gut microbiota development during infancy: Impact of introducing allergenic foods. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* , *147(2)* , 613-621. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.09.042>

Melgarejo-Sánchez, P., Núñez-Gómez, D., Martínez-Nicolás, J. J., Hernández, F., Legua, P., & Melgarejo, P. (2021). Pomegranate variety and pomegranate plant part, relevance from bioactive point of view: a review. *Bioresources and Bioprocessing* , *8(1)* , 1-29. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s40643-020-00351-5>

Meng, F. C., Zhou, Y. Q., Ren, D., Wang, R., Wang, C., Lin, L. G., et al. (2018). Turmeric: A review of its chemical composition, quality control, bioactivity, and pharmaceutical application. *Natural and artificial flavoring agents and food dyes* , 299-350. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00010-7>

Monda, V., Villano, I., Messina, A., Valenzano, A., Esposito, T., Moscatelli, F., et al. (2017). Exercise modifies the gut microbiota with positive health effects. *Oxidative medicine and cellular longevity* , *2017* . Retrieved from <https://doi.org/10.1155/2017/3831972>

Nishida, A., Inoue, R., Inatomi, O., Bamba, S., Naito, Y., & Andoh, A. (2018). Gut microbiota in the pathogenesis of inflammatory bowel disease. *Clinical journal of gastroenterology* , *11(1)* , 1-10. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12328-017-0813-5>

Poroyko, V. A., Carreras, A., Khalyfa, A., Khalyfa, A. A., Leone, V., Peris, E., et al. (2016). Chronic sleep disruption alters gut microbiota, induces systemic and adipose

tissue inflammation and insulin resistance in mice. *Scientific reports* , 6(1) , 1-11. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/srep35405>

Proestos, C. (2018). Superfoods: Recent data on their role in the prevention of diseases. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* , 6(3) , 576-593. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.3.02>

Ran, B., Guo, C. E., Li, W., Li, W., Wang, Q., Qian, J., et al. (2020). Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) fermentation liquid protects against alcoholic liver disease linked to regulation of liver metabolome and the abundance of gut microbiota. *Journal of the Science of Food and Agriculture* . Retrieved from <https://doi.org/10.1002/jsfa.10915>

Ren, M., Zhang, H., Qi, J., Hu, A., Jiang, Q., Hou, Y., et al. (2020). An almond-based low carbohydrate diet improves depression and glycometabolism in patients with Type 2 Diabetes through modulating gut microbiota and GLP-1: A randomized controlled trial. *Nutrients* , 12(10) , 3036. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/nu12103036>

Rowland, I., Gibson, G., Heinken, A., Scott, K., Swann, J., Thiele, I., et al. (2018). Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. *European journal of nutrition* , 57(1) , 1-24. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1445-8>

Sasikumar, B. (2012). Turmeric. *Handbook of herbs and spices* , 526-546. Woodhead Publishing. Retrieved from <https://doi.org/10.1533/9780857095671.526>

Senghor, B., Sokhna, C., Ruimy, R., & Lagier, J. C. (2018). Gut microbiota diversity according to dietary habits and geographical provenance. *Human Microbiome Journal* , 7 , 1-9. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.humic.2018.01.001>

Shen, L., Liu, L., & Ji, H. F. (2017). Regulative effects of curcumin spice administration on gut microbiota and its pharmacological implications. *Food & nutrition research* , 61(1) , 1361780. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361780>

Simpson, C. A., Diaz-Arteche, C., Eliby, D., Schwartz, O. S., Simmons, J. G., & Cowan, C. S. (2020). The gut microbiota in anxiety and depression—A systematic review. *Clinical Psychology Review* , 101943. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101943>

Subramani, D., Tamilselvan, S., Murugesan, M., & Shivaswamy, M. S. (2020). Optimization of Sand Puffing Characteristics of Quinoa using Response Surface Methodology. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* , 8(2) , 496-503. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.2.16>

Sun, Z. Z., Li, X. Y., Wang, S., Shen, L., & Ji, H. F. (2020). Bidirectional interactions between curcumin and gut microbiota in transgenic mice with Alzheimer's disease. *Applied microbiology and biotechnology* , 104(8) , 3507-3515. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10461-x>

Tang, Z., Ying, R. F., Lv, B. F., Yang, L. H., Xu, Z., Yan, L. Q., et al. (2021). Flaxseed oil: Extraction, health benefits and products. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods* , 13(1) , 1-19. Retrieved from <https://doi.org/10.15586/qas.v13i1.783>

Tasnim, N., Abulizi, N., Pither, J., Hart, M. M., & Gibson, D. L. (2017). Linking the gut microbial ecosystem with the environment: does gut health depend on where we live? *Frontiers in microbiology* , 8 , 1935. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01935>

Thompson, S. V., Bailey, M. A., Taylor, A. M., Kaczmarek, J. L., Mysonhimer, A. R., Edwards, C. G., et al. (2021). Avocado consumption alters gastrointestinal bacteria abundance and microbial metabolite concentrations among adults with overweight or obesity: a randomized controlled trial. *The Journal of nutrition* , 151(4) , 753-762. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa219>

Thursby, E., & Juge, N. (2017). Introduction to the human gut microbiota. *Biochemical Journal* , 474(11) , 1823-1836. Retrieved from <https://doi.org/10.1042/BCJ20160510>

Tian, B., Zhang, Z., Zhao, J., Ma, Q., Liu, H., Nie, C., et al. (2021). Dietary whole Goji berry (*Lycium barbarum*) intake improves colonic barrier function by altering gut microbiota composition in mice. *International Journal of Food Science & Technology* , 56(1) , 103-114. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/ijfs.14606>

Ugural, A., & Akyol, A. (2020). Can pseudocereals modulate microbiota by functioning as probiotics or prebiotics? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 1-15. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1846493>

Vacca, M., Celano, G., Calabrese, F. M., Portincasa, P., Gobbetti, M., & De Angelis, M. (2020). The controversial role of human gut lachnospiraceae. *Microorganisms* , 8(4) , 573. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040573>

Vrenna, M., Peruccio, P. P., Liu, X., Zhong, F., & Sun, Y. (2021). Microalgae as Future Superfoods: Fostering Adoption through Practice-Based Design Research. *Sustainability* , 13(5) , 2848. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su13052848>

Wang, K., Xu, Z., & Liao, X. (2021). Bioactive compounds, health benefits and functional food products of sea buckthorn: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 1-22. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1905605>

Wu, C. S., Muthyala, S. V., Klemashevich, C., Ufondu, A. U., Menon, R., Chen, Z., et al. (2021). Age-dependent remodeling of gut microbiome and host serum metabolome in mice. *Aging (Albany NY)* , 13(5) , 6330. Retrieved from <https://doi.org/10.18632/aging.202525>

Xu, X., Dai, M., Lao, F., Chen, F., Hu, X., Liu, Y., et al. (2020). Effect of glucoraphanin from broccoli seeds on lipid levels and gut microbiota in high-fat diet-fed mice. *Journal of Functional Foods* , 68 , 103858. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103858>

Xu, Z., Chen, W., Deng, Q., Huang, Q., Wang, X., Yang, C., et al. (2020). Flaxseed oligosaccharides alleviate DSS-induced colitis through modulation of gut microbiota and repair of the intestinal barrier in mice. *Food & Function* , 11(9) , 8077-8088. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/D0FO01105C>

Yu, T., Wang, Y., Chen, X., Xiong, W., Tang, Y., & Lin, L. (2020). Spirulina platensis alleviates chronic inflammation with modulation of gut microbiota and intestinal permeability in rats fed a high-fat diet. *Journal of Cellular and Molecular Medicine* , 24(15) , 8603-8613. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/jcmm.15489>

Zandani, G., Kaftori-Sandler, N., Sela, N., Nyska, A., & Madar, Z. (2021). Dietary broccoli improves markers associated with glucose and lipid metabolism through modulation of gut microbiota in mice. *Nutrition* , 111240. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111240>

Zhang, H., Sparks, J. B., Karyala, S. V., Settlage, R., & Luo, X. M. (2015). Host adaptive immunity alters gut microbiota. *The ISME journal* , 9(3) , 770-781. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.165>

Zhang, X., Wang, H., Yin, P., Fan, H., Sun, L., & Liu, Y. (2017). Flaxseed oil ameliorates alcoholic liver disease via anti-inflammation and modulating gut microbiota in mice. *Lipids in health and disease* , 16(1) , 1-10. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0431-8>

Zhu, L., Sha, L., Li, K., Wang, Z., Wang, T., Li, Y., et al. (2020). Dietary flaxseed oil rich in omega-3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in rats. *Lipids in health and disease* , 19(1) , 1-16. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s12944-019-1167-4>

Ζαχαρού, Β., & Σταμούλη, Δ. (2015). *Υπερτροφές και τα οφέλη τους στην υγεία του ανθρώπου* , (Πτυχιακή Εργασία). Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Ανάκτηση από <http://hdl.handle.net/20.500.12688/161>

Κρυωνά, Π., & Μυλωνάκη, Κ. (2017). *Υπερτροφές (Superfoods) και Πρωτογενής Τομέας Παράγωγης* , (Πτυχιακή Εργασία). Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Ανάκτηση από <http://hdl.handle.net/11713/8061>

Μηλιτσοπούλου, Κ. (2021). *Χημική σύσταση και διατροφική αξία των ξηρών καρπών* , (Πτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Ανάκτηση από <http://dx.doi.org/10.26265/polyno-315>

Σπινάκης, Π., & Σελλή, Δ. (2021). *Εφαρμογή οσμωτικής αφυδάτωσης ως προκατεργασίας ξήρανσης ιπποφαούς*, (Πτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Ανάκτηση από <http://dx.doi.org/10.26265/polynoe-322>

Σταμούλου, Ε. (2017). *Διατροφή – Εντερικό Μικροβίωμα & Σύνδεση με την Παχυσαρκία*, (Πτυχιακή Εργασία). Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Ανάκτηση από <http://hdl.handle.net/11713/8507>

Σφλώμος, Κ. (2017). *Χημεία Τροφίμων. Θεωρία και Ασκήσεις*. Κορωπί Αττικής: Εκδόσεις Νότα.

Τσάκνης, Γ. (2018). *Τεχνολογία-Ποιότητα Λιπών και Λαδιών*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.3.1.1: Harrington, B, 2021. *What is spirulina health benefits and nutrition!*. [online] Available at: <https://pdqwire.com/spirulina/> [Accessed 19 June 2021]

Εικόνα 2.3.2.1: Verishop, n.d. *Sea Buckthorn Seed Oil*. [online] Available at: https://www.verishop.com/loli-beauty/marketplace/sea-buckthorn-seed-oil/p6155681726658?variant_id=37906756698306 [Accessed 16 April 2021]

Εικόνα 2.3.3.1: James, B, 2015. *Recipe: Easy Vegetarian Entrée*. [online] Available at: <https://www.naturmend.com/blog/2015/01/30/recipe-easy-vegetarian/> [Accessed 22 April 2021]

Εικόνα 2.3.4.1: Shah, S, n.d. *Looking for quality superfood? Here's a one-stop destination*. [online] Available at: <https://lbb.in/delhi/order-superfood-online-naturevibe-botanicals> [Accessed 27 April 2021]

Εικόνα 2.3.5.1: Lifetree, n.d. *Λιναρόσπορος -500gr*. [online] Available at: <https://www.lifetree.gr/product/linarosporos-xyma-500gr/> [Accessed 1 May 2021]

Εικόνα 2.3.6.1: Φρουτόραμα, n.d. *Ρόδια*. [online] Available at: <https://froutorama.gr/index.php/rodia-3/> [Accessed 8 May 2021]

Εικόνα 2.3.7.1: Ko Da Herbs, n.d. *Goji Berry*. [online] Available at: <https://www.herbalmedicine.com.tw/el/goji-berry.html> [Accessed 12 May 2021]

Εικόνα 2.3.8.1: Omahia, n.d. *Turmeric Powder/Mudu*. [online] Available at: <https://www.omahia.com/turmeric-powder-mudu/> [Accessed 19 May 2021]

Εικόνα 2.3.9.1: Family Word, n.d. *Μπρόκολο το θαυματουργό λαχανικό για την εγκυμοσύνη*. [online] Available at: <https://familyworld.gr/woman/pregnacy/μπρόκολο-εγκυμοσύνη> [Accessed 26 May 2021]

Εικόνα 2.3.10.1: Stevens, K, 2021. *Fabulously easy recipes for a smooth skin and stunning ways of almond oil*. [online] Available at: <https://beingmad.org/fabulously-easy-recipes-for-a-smooth-skin-and-stunning-ways-of-almond-oil/> [Accessed 2 June 2021]