



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

### Πτυχιακή Εργασία

«ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΡΕΒΙΟΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ  
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΖΥΜΩΣΗ. »



**ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΝΙΚΟΛΑΪΔΟΥ**

**ΑΜ: 71616071**

**Επιβλέπουσα καθηγήτρια:**

**ΘΑΛΕΙΑ ΤΣΙΑΚΑ**

**Αθήνα, Ιούλιος 2021**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF FOOD SCIENCES**

**DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND  
TECHNOLOGY**

**Diploma Thesis**

**«REVIEW ON THE PROBIOTIC AND PREBIOTIC ACTIVITY OF  
FERMENTED FOOD PRODUCTS»**

**AIKATERINI NIKOLAIDOU**

**RN: 71616071**

**Supervisor:**

**THALIA TSIAKA**

**Athens, July 2021**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ  
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**«ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΡΕΒΙΟΤΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ  
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΥΠΟΣΤΕΙ ΖΥΜΩΣΗ»**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

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

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΤΣΙΑΚΑ ΘΑΛΕΙΑ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
2	ΛΑΝΤΖΟΥΡΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΑ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	
3	ΚΡΙΤΣΗ ΕΥΤΥΧΙΑ	ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗ ΥΠΟΤΡΟΦΟΣ	

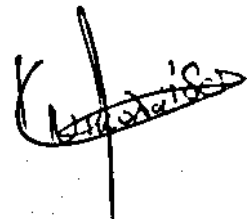
## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΝΙΚΟΛΑΪΔΟΥ του ΗΛΙΑ, με αριθμό μητρώου 71616071 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο/Η Δηλών/ούσα



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας εστιάζει στη βιβλιογραφική ανασκόπηση (α) της προβιοτικής και πρεβιοτικής δράσης προϊόντων τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση και (β) της επίδρασης των προβιοτικών και πρεβιοτικών συστατικών τους στο εντερικό μικροβίωμα. Ειδικότερα, έγινε αναφορά στα είδη και στις νέες και παραδοσιακές τεχνικές ζύμωσης, τις καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας, όπως και στις κατηγορίες των ζυμούμενων τροφίμων. Στη συνέχεια, μελετήθηκε η μεμονωμένη και η συνεργιστική δράση των προβιοτικών μικροοργανισμών και διάφορων φυσικών συστατικών με πιθανή πρεβιοτική δράση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζυμούμενων τροφίμων και κατ'επέκταση στις πιθανές ευεργετικές δράσεις που εμφανίζουν στην υγεία του ανθρώπου. Συλλέχτηκαν δεδομένα για τη δημιουργία συγκεντρωτικού πίνακα με ζυμούμενα τρόφιμα, τα οποία έχουν βρεθεί να περιέχουν προβιοτικά αλλά και άλλα λειτουργικά βιοδραστικά συστατικά και αναλύθηκαν οι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη βιωσιμότητα των ευεργετικών μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Τέλος, διερευνήθηκε η συσχέτιση του εντερικού μικροβιώματος και των ζυμούμενων τροφίμων, που περιέχουν προβιοτικά αλλά και πρεβιοτικά συστατικά, καθώς και η επίδρασή τους στα φαινόμενα συμβίωσης ή δυσβίωσης των μικροβιακών πληθυσμών της εντερικής χλωρίδας, ύστερα από τη πρόσληψη ζυμούμενων τροφίμων μέσω διατροφικών παρεμβάσεων.

**Λεξείς κλειδιά:** Ζυμούμενα τρόφιμα, Προβιοτικά, Πρεβιοτικά, Εντερικό μικροβίωμα

## **ABSTRACT**

The probiotic and prebiotic activity of fermented food products and their possible effects on the regulation and modification of intestinal microbiota is the subject of the present thesis. In particular, (a) the types and the modern and traditional fermentation techniques, (b) the innovative processing technologies, as well as (c) the categories of fermented foods were reviewed. Then, both the individual and synergistic action of probiotic microorganisms and of various phytochemicals, with possible prebiotic action, on (a) the quality characteristics of fermented foods and (b) on human health, were studied. Data were collected to create a table of fermented foods, which contains probiotics and other bioactive compounds with proven beneficial effects in host's health status. Moreover, the factors that may affect the viability of beneficial microorganisms in foods were analyzed. Finally, the interrelationship between the probiotic/prebiotic fermented foods and the gut microbiota was investigated, along with their effect on commensal or pathogenic microbial populations of the intestinal flora, after certain dietary interventions.

**Key words:** Fermented foods, Probiotics, Prebiotics, Gut microbiota

## Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1. Βασικά είδη ζύμωσης.....	8
<b>1.1. Αλκοολική ζύμωση</b> .....	8
<b>1.2. Γαλακτική ζύμωση</b> .....	9
<b>1.3. Οξική ζύμωση/ οξειδωτική ζύμωση</b> .....	12
<b>1.4. Άλλα είδη ζύμωσης</b> .....	12
2. Τεχνικές ζυμώσεων .....	13
<b>2.1. Παραδοσιακές ζυμώσεις</b> .....	13
<b>2.2. Βιομηχανικές ζυμώσεις</b> .....	14
2.2.1. Καλλιέργειες εκκίνησης ζύμωσης .....	15
2.2.1.1. Παραδοσιακές καλλιέργειες εκκίνησης .....	16
(α) Φυσικοί εκκινητές .....	16
(β) Μικτές καλλιέργειες εκκίνησης (Mixed-strain starters-MSS).....	17
2.2.1.2. Καθορισμένες καλλιέργειες εκκίνησης (Defined-strain starters-DSS)	17
<b>2.3. Αυτόχθονες καλλιέργειες</b> .....	17
<b>2.4. Νέες τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων για βελτιωμένες ζυμώσεις</b> .....	18
3. Ζυμούμενα τρόφιμα .....	19
<b>3.1. Δράσεις της ζύμωσης στα τρόφιμα</b> .....	19
4. Προβιοτικά, πρεβιοτικά και συμβιωτικά .....	21
<b>4.1. Προβιοτικά</b> .....	21
4.1.1. Κριτήρια επιλογής προβιοτικών .....	22
4.1.2. Προβιοτικοί μικροοργανισμοί .....	23
4.1.3. Λειτουργικές ιδιότητες προβιοτικών/ Μηχανισμοί δράσης .....	25
4.1.4. Ρόλος των προβιοτικών βακτηρίων στην υγεία του ανθρώπου .....	26
4.1.5. Προβιοτικά στα ζυμούμενα τρόφιμα.....	27
<b>4.2. Πρεβιοτικά</b> .....	27
4.2.1. Κριτήρια επιλογής πρεβιοτικών .....	28

4.2.2.	Συστατικά που έχουν χαρακτηριστεί ως πρεβιοτικά.....	28
4.2.3.	Δράση πρεβιοτικών στα τρόφιμα .....	32
4.2.4.	Αλληλεπίδραση προβιοτικών και πρεβιοτικών .....	33
<b>4.3.</b>	<b>Συμβιωτικά (Synbiotics) .....</b>	<b>33</b>
4.3.1.	Πιθανά οφέλη των συμβιωτικών στην ανθρώπινη υγεία .....	34
4.3.2.	Παραδείγματα ερευνών για συμβιωτικά σε ζυμούμενα τρόφιμα.....	34
<b>4.4.</b>	<b>Μεταβιοτικά (Postbiotics).....</b>	<b>35</b>
<b>5.</b>	<b>Η χρήση προβιοτικών και πρεβιοτικών για την παρασκευή λειτουργικών τροφίμων .....</b>	<b>36</b>
5.1.	Ζυμούμενα τρόφιμα με λειτουργικά συστατικά.....	38
5.1.1.	Στρατηγικές παραγωγής λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων .....	38
<b>6.</b>	<b>Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων στα τρόφιμα και στο γαστρεντερικό σύστημα .....</b>	<b>42</b>
6.1.	Παραδείγματα τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση αλλά δεν περιέχουν προβιοτικά .....	44
6.2.	Παραδείγματα τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση και περιέχουν προβιοτικά .....	46
<b>7.</b>	<b>Εντερικό μικροβίωμα.....</b>	<b>49</b>
7.1.	Ταξινόμηση μικροοργανισμών .....	51
7.2.	Δυσβίωση .....	52
7.3.	Ζυμούμενα τρόφιμα και εντερικό μικροβίωμα .....	53
7.3.1.	Κλινικές μελέτες για τη δράση των ζυμούμενων τροφίμων στο εντερικό μικροβίωμα.....	54
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>58</b>	
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>59</b>	
<b>Ελληνική βιβλιογραφία/ πτυχιακές/ μεταπτυχιακές εργασίες.....</b>	<b>59</b>	
<b>Ξένη βιβλιογραφία.....</b>	<b>60</b>	

## Εικόνες

<b>Εικόνα 1.</b> Αλκοολική ζύμωση και ενζυματικά βήματα στο <i>S. cerevisiae</i> (Faria-Oliveira et al., 2013).....	9
<b>Εικόνα 2.</b> Ομογαλακτική ζύμωση (Castillo Martinez et al., 2013) .....	10



<b>Εικόνα 3.</b> Ετερογαλακτική ζύμωση (Castillo Martinez et al., 2013).....	11
<b>Εικόνα 4.</b> Βιοαντιδραστήρας βυθισμένης ζύμωσης (Ανάκτηση από: <a href="https://www.gibobsrl.com/biotech-plants/bioreactors-smf/">https://www.gibobsrl.com/biotech-plants/bioreactors-smf/</a> Τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021).....	15
<b>Εικόνα 5.</b> Βιοαντιδραστήρας στερεάς κατάστασης (Ανάκτηση από <a href="https://blbioussa.com/solid-fermenter-system/">https://blbioussa.com/solid-fermenter-system/</a> Τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021).....	15
<b>Εικόνα 6.</b> Στρατηγικές για την παραγωγή λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων (Leroy & De Vuyst, 2014).....	39
<b>Εικόνα 7.</b> Παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των προβιοτικών βακτηρίων στα τρόφιμα (κατά την επεξεργασία και αποθήκευση) αλλά και στο γαστρεντερικό σύστημα (Terrou et al., 2019). ....	43
<b>Εικόνα 8.</b> Γαστρεντερικό σύστημα του ανθρώπου. (Ανακτήθηκε από <a href="https://www.proionta-tis-fisis.com/gastrenteriko-epanaferoume-tin-fysiologiki-leitourgia-oste-na-aporrofa-threptikes-ousies/">https://www.proionta-tis-fisis.com/gastrenteriko-epanaferoume-tin-fysiologiki-leitourgia-oste-na-aporrofa-threptikes-ousies/</a> Τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021).....	51
<b>Εικόνα 9.</b> Μεταβολές στον αριθμό και τη σύνθεση της μικροχλωρίδας κατά μήκος της γαστρεντερικής οδού. Ανακτήθηκε από: <a href="http://mail.mednet.gr/archives/2013-3/pdf/272.pdf">http://mail.mednet.gr/archives/2013-3/pdf/272.pdf</a> τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021).....	52

## Πίνακες

<b>Πίνακας 1.</b> Κατηγοριοποίηση ζυμούμενων τροφίμων και παραδείγματα προϊόντων ζύμωσης.....	21
<b>Πίνακας 2</b> Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών στα ζυμούμενα τρόφιμα και προτάσεις για τη βελτίωσή της. ....	43
<b>Πίνακας 3.</b> Ζυμούμενα προϊόντα τροφίμων τα οποία περιέχουν ζωντανούς ευεργετικούς μικροοργανισμούς και άλλα θρεπτικά συστατικά.....	46

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ζυμούμενα τρόφιμα και τα αλκοολούχα ποτά υπάρχουν εδώ και χιλιάδες χρόνια ως ένα σημαντικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής, σχεδόν σε κάθε ήπειρο και πολιτισμό. Καθώς οι πρώτοι πολιτισμοί εμφανίστηκαν πριν 5.000 χρόνια, υπήρχε μεγάλη ζήτηση για τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των ζυμούμενων τροφίμων, που είχαν υψηλή διατηρησιμότητα. Έτσι, το ψωμί και η μπίρα ήταν από τα πρώτα προϊόντα μαζικής παραγωγής, κατασκευασμένα από αιγυπτιακά αρτοποιεία και ζυθοποιείες της Βαβυλωνίας γύρω στο 3000 π.Χ. (Jyoti Prakash Tamang et al., 2020).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, έγινε ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, για τη συλλογή δεδομένων που εξετάζουν τη δράση των προβιοτικών μικροοργανισμών και των πιθανών πρεβιοτικών συστατικών στην ποιότητα των τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση, αλλά και την επίδρασή τους στην εντερική μικροχλωρίδα του ανθρώπου. Αρχικά, έγινε αναφορά στα είδη ζύμωσης με έμφαση στα τρία βασικά και πιο συχνά απαντώμενα είδη (αλκοολική, γαλακτική και οξική), όπως και στις τεχνικές ζύμωσης (παραδοσιακές, βιομηχανικές ζυμώσεις, χρήση καλλιεργειών εκκίνησης κ.α). Πολλά ζυμούμενα τρόφιμα παράγονται ακόμα σε μικρή κλίμακα, είτε σε νοικοκυριά μέσω αυθόρμητων ζυμώσεων. Ωστόσο, στις μέρες μας, με τη μετάβαση της παραγωγής ζυμούμενων τροφίμων από μικρή κλίμακα σε βιομηχανική κλίμακα, λαμβάνουν μέρος ζυμώσεις με τη χρήση καλλιεργειών εκκίνησης σε πιο ελεγχόμενες συνθήκες, που μπορούν να εξασφαλίσουν πιο ασφαλή προϊόντα.

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι μετατροπές που μπορεί να προκαλέσει η ζύμωση στα υποστρώματα/τρόφιμα. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν προστεθεί ή ανιχνευθεί στα ζυμούμενα τρόφιμα ευεργετικοί μικροοργανισμοί, που ονομάζονται προβιοτικά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα προβιοτικών αποτελούν κυρίως μικροοργανισμοί από τα γένη *Lactobacillus* spp. (*ghamnosus*, *plantarum* κ.α) και *Bifidobacterium* spp. (*bifidum*, *longum*). Τα προβιοτικά έχουν συσχετιστεί με σημαντικές βελτιώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επομένως, θεωρήθηκε σημαντική η ανάλυση του ρόλου και της δράσης των προβιοτικών στην ανθρώπινη υγεία, η αναφορά των βασικών ομάδων προβιοτικών μικροοργανισμών, όπως και των κριτηρίων για τη χρήση ενός μικροοργανισμού ως προβιοτικό.

Ακολούθως, αναλύθηκαν οι δράσεις των πρεβιοτικών συστατικών, στην ποιότητα και την υφή των ζυμούμενων τροφίμων και μελετήθηκε η πιθανή συνεργιστική δράση αυτών με τα προβιοτικά στα ζυμούμενα τρόφιμα (συμβιωτικά). Τα πρεβιοτικά είναι άπεπτα συστατικά, κυρίως υδατάνθρακες φυτικής προέλευσης, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να βελτιώνουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών που αποικίζουν το παχύ έντερο αλλά και αυτών που βρίσκονται σε τρόφιμα. Έτσι, θεωρούνται σημαντικά καθώς μπορούν να επιφέρουν οφέλη για την ανθρώπινη υγεία.

Η αύξηση του ενδιαφέροντος των καταναλωτών και η πληρέστερη ενημέρωσή τους, συνδιαστικά με νέα επιστημονικά δεδομένα, έχουν οδηγήσει στην αυξημένη ζήτηση για πιο θρεπτικά και ασφαλή τρόφιμα, χωρίς παθογόνα βακτήρια και επιβλαβή συστατικά. Γι' αυτό η επιστήμη και η βιομηχανία έχουν στραφεί στην ανάπτυξη τροφίμων με λειτουργικές ιδιότητες. Έτσι, σε επόμενο κεφάλαιο αναλύθηκαν κάποιες στρατηγικές για τη δημιουργία λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων. Επιπροσθέτως, αναλύθηκαν οι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών, μαζί με παραδείγματα τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση αλλά δεν περιέχουν προβιοτικά βακτήρια και δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας με ζυμούμενα τρόφιμα, στα οποία έχουν ανιχνευθεί ζωντανοί μικροοργανισμοί με προβιοτική δράση. Τέλος, συγκεντρώθηκαν ορισμένες κλινικές μελέτες, που περιλάμβανουν διατροφικές παρεμβάσεις και δείχνουν τη συσχέτιση των προβιοτικών ζυμούμενων τροφίμων με πιθανές αλλαγές στη μικροβιακή κοινότητα του ανθρώπινου εντερικού μικροβιώματος, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των ευεργετικών και τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ήταν η συλλογή πρόσφατων δεδομένων για την ανάδειξη των δράσεων των προβιοτικών και των πρεβιοτικών συστατικών που καταναλώνονται μέσω ζυμούμενων τροφίμων. Όσο το ενδιαφέρον των καταναλωτών για τα ζυμούμενα τρόφιμα αυξάνεται, οι βιομηχανίες πρέπει να εντοπίσουν τους μηχανισμούς που μπορεί να είναι δυσμενείς για τη βιωσιμότητα των προβιοτικών. Επίσης, έχουν αναδυθεί νέα πρεβιοτικά συστατικά τα οποία μπορεί να έχουν οφέλη στην υγεία αλλά και να βοηθήσουν στην παραγωγή πιο ελκυστικών προϊόντων τροφίμων. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την ανάγκη για περισσότερες κλινικές μελέτες, μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία ζυμούμενων τροφίμων με προστιθέμενη λειτουργική αξία και ευεργετικές βιολογικές δράσεις.

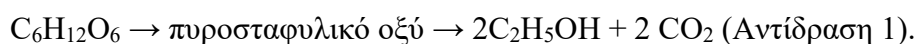
Η ανασκόπηση και συλλογή πληροφοριών έγινε με τη βοήθεια της μηχανής αναζήτησης επιστημονικής βιβλιογραφίας «Google Scholar» με επικέντρωση σε επιστημονικές δημοσιεύσεις της τελευταίας δεκαετίας και κυρίως χρησιμοποιώντας λέξεις κλειδιά όπως «Probiotics» «Prebiotics» «Synbiotics» «Fermented foods» «Gut microbiota».

## **1. Βασικά είδη ζύμωσης**

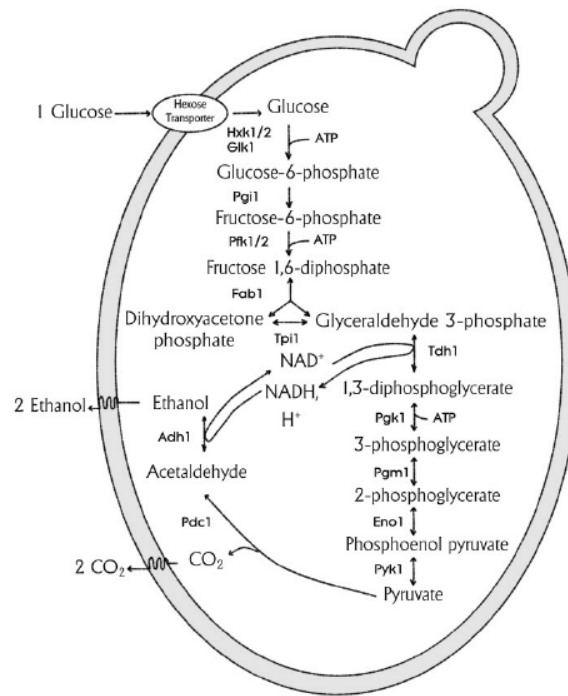
Η ζύμωση είναι μία διαδικασία που εφαρμόζουν εδώ και πολλές χιλιάδες χρόνια οι άνθρωποι, με πρωταρχικό σκοπό τη συντήρηση των τροφίμων και των αλκοολούχων προϊόντων. Είναι μία κυρίως αναερόβια διαδικασία, που μετατρέπει σάκχαρα σε άλλα συστατικά όπως είναι το αλκοόλ ή διάφορα οργανικά οξέα (Garrigues et al., 2013). Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση, έχουν αποτελέσει μεγάλο μέρος της διατροφής των ανθρώπων, κυρίως διότι το κρέας, το γάλα και τα φυτικά τρόφιμα, ύστερα από τη ζύμωση μπορούσαν να συντηρηθούν καλύτερα από τις φρέσκες πρώτες ύλες από τις οποίες δημιουργούνται. Χωρίς τις διεργασίες του αλατίσματος, της ξήρανσης και άλλων παραδοσιακών διεργασιών συντήρησης, τα ευπαθή τρόφιμα θα αλλοιώνονταν ή θα κρίνονταν μη ασφαλή για κατανάλωση (Kok & Hutkins, 2018).

### **1.1. Αλκοολική ζύμωση**

Η αλκοολική ζύμωση, είναι μία αναερόβια διαδικασία που μετατρέπει σάκχαρα (όπως γλυκόζη, φρουκτόζη και σακχαρόζη) σε ενέργεια (τριφωσφορική αδενοσίνη), αιθανόλη ( $C_2H_5OH$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) ως υποπροϊόντα. Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η εξής:



Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή αιθανόλης από τα σάκχαρα ενός τροφίμου, χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια, που φαίνονται στην Εικόνα 1.



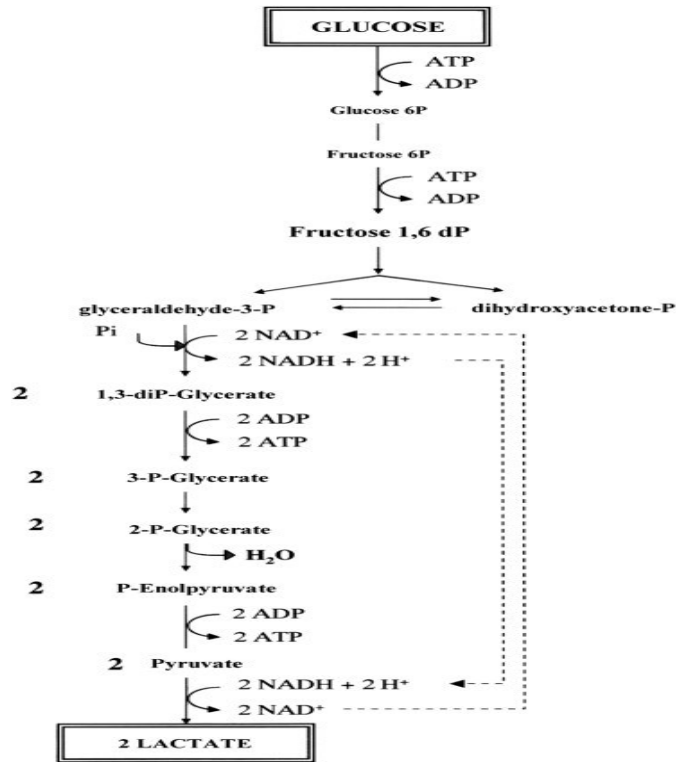
**Εικόνα 1.** Αλκοολική ζύμωση και ενζυματικά βήματα στο *S. cerevisiae* (Faria-Oliveira et al., 2013)

Αρχικά, το ένζυμο ιμβερτάση διασπά τον γλυκοσидικό δεσμό μεταξύ των μορίων γλυκόζης και φρουκτόζης του δισακχαρίτη σακχαρόζη (Στάδιο 1). Στη συνέχεια, το μόριο της γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού (γλυκόλυση) (Στάδιο 2). Τέλος, ακολουθεί η μετατροπή πυροσταφυλικού σε αιθανόλη και CO<sub>2</sub> μέσω μιας αντίδρασης δύο σταδίων, παρουσία πυροσταφυλικής αποκαρβοξυλάσης και αφυδρογονάσης αλκοόλης. Η αλκοολική ζύμωση πραγματοποιείται από ζύμες (*Saccharomyces cerevisiae*) και διαθέτει ένα ευρύ φάσμα πρακτικών εφαρμογών στην παραγωγή αλκοολούχων ποτών (όπως μπίρα και κρασί), αιθανόλης και ψωμιού (Mani, 2018).

## 1.2. Γαλακτική ζύμωση

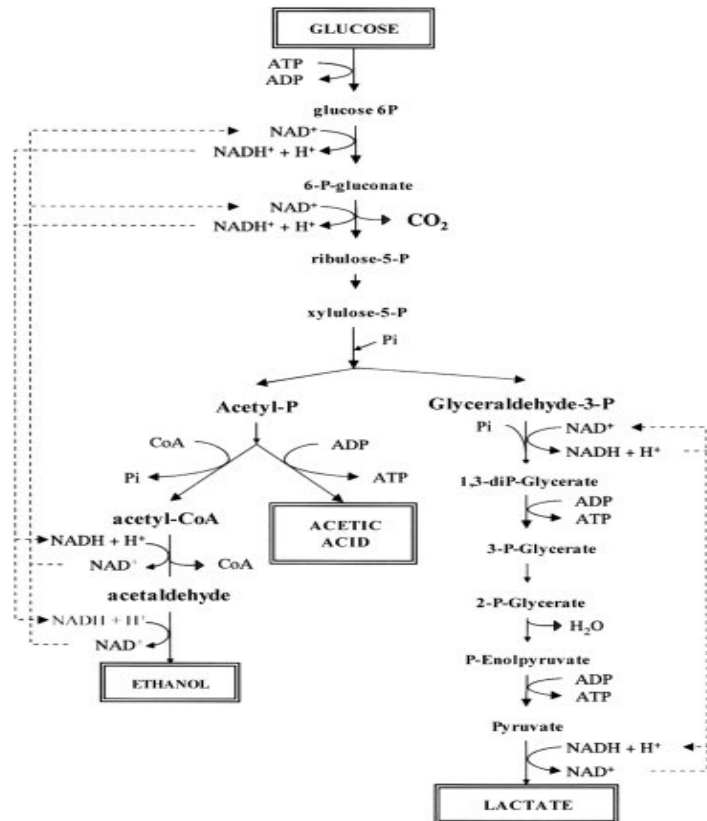
Κατά τη γαλακτική ζύμωση, γίνεται μετατροπή των μορίων πυροσταφυλικού της γλυκόλυσης σε γαλακτικό οξύ (Garrigues et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, τα οξυγαλακτικά βακτήρια, που χωρίζονται σε ετεροζυμωτικά (όπως *Leuconostoc* και *Wiessella*) και ομοζυμωτικά (όπως *Lactococcus* και *Streptococcus*), ανάλογα με τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν, μπορούν και παράγουν γαλακτικό οξύ ως αναερόβιο προϊόν γλυκόλυσης (Abdel-Rahman et al., 2013; Ayivi et al., 2020).

Τα οξυγαλακτικά βακτήρια (Lactic Acid Bacteria-LAB) ακολουθούν δύο κύριες οδούς για την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Η πρώτη ονομάζεται ομογαλακτική ζύμωση και αποτελείται από δύο στάδια (Εικόνα 2).



**Εικόνα 2.** Ομογαλακτική ζύμωση (Castillo Martinez et al., 2013)

Στην αρχή, η γλυκόζη μετατρέπεται σε πυροσταφυλικό οξύ (γλυκόλυση). Στη συνέχεια, ακολουθεί η μετατροπή του πυροσταφυλικού οξέος σε γαλακτικό οξύ, το οποίο είναι και το μοναδικό προϊόν της ομογαλακτικής ζύμωσης (Castillo Martinez et al., 2013).



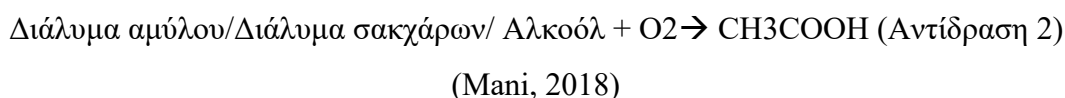
**Εικόνα 3.** Ετερογαλακτική ζύμωση (Castillo Martinez et al., 2013)

Η δεύτερη πορεία για την παραγωγή γαλακτικού οξέος, ονομάζεται ετερογαλακτική ζύμωση (Εικόνα 3). Διαφέρει από την ομογαλακτική στα προϊόντα που προκύπτουν, καθώς δεν παράγεται μόνο γαλακτικό οξύ αλλά και οξικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα ή/και αιθανόλη (Castillo Martinez et al., 2013).

Από τα δύο αυτά είδη ζύμωσης, η γαλακτική ελέγχεται αυστηρά από τη συγκέντρωση αλάτος. Η γαλακτική ζύμωση γίνεται χρησιμοποιώντας καλλιέργειες φυσικής μικροχλωρίδας ή LAB που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, συνδυαστικά με χημική συντήρηση, χρησιμοποιώντας αλάτι και οξύ για τη διατήρηση διαφόρων τροφίμων, όπως γάλα, δημητριακά, κρέας, φρούτα και λαχανικά. Η ζύμωση λαχανικών και φρούτων με γαλακτικό οξύ είναι μια συνήθης πρακτική για τη διατήρηση και βελτίωση των θρεπτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους (Mani, 2018). Ειδικότερα, κάποια τρόφιμα που έχουν υποστεί κυρίως γαλακτική ζύμωση είναι το γιαούρτι, το τυρί, το sauerkraut (ζυμούμενο λάχανο της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης) και το κίμτσι (kimchi). Άλλα προϊόντα γαλακτικής ζύμωσης είναι το κεφίρ και η κομπούχα (kombucha) στη ζύμωση των οποίων, εκτός από βακτήρια, συμμετέχουν και κάποια είδη ζυμών (Terefe, 2016).

### 1.3. Οξική ζύμωση/ οξειδωτική ζύμωση

Αυτό το είδος αερόβιας ζύμωσης χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή οξικού οξέος (ξίδι) με τη βοήθεια του μικροοργανισμού *Acetobacter aceti*. Το οξικό οξύ παράγεται μέσω της ζύμωσης διαφόρων υποστρωμάτων, όπως κάποιο αμυλούχο διάλυμα ή σακχαρούχο διάλυμα και αλκοολούχα τρόφιμα, όπως κρασί ή μηλίτης, μετά την προσθήκη βακτηρίων οξικού οξέος. Τότε λαμβάνει χώρα μια οξειδωτική ζύμωση, όπου παράγεται οξικό οξύ ως υποπροϊόν (Mani, 2018).



Τα βακτήρια οξικού οξέος (*Acetic Acid Bacteria-AAB*) είναι αρνητικά κατά Gram, υποχρεωτικά αερόβια βακτήρια, τα οποία παράγουν οξικό οξύ μέσω της οξείδωσης σακχάρων ή αιθανόλης κατά τη ζύμωση. Είναι μεσόφιλοι μικροοργανισμοί, με ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης τους 25-30°C και ιδανικό pH 5.0 - 6.5. Πρόσφατα έχουν ταξινομηθεί σε 19 γένη της οικογένειας *Acetobacteraceae*, περιλαμβάνοντας τα γένη *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Ameyamaea*, *Asaia*, *Bombella*, *Gluconobacter*, *Granulibacter*, *Komagataeibacter*, *Kozakia* και άλλα (Gomes et al., 2018; Mani, 2018). Τα βακτήρια οξικού οξέος είναι πιο γνωστά για τη χρήση τους στην παραγωγή ξιδιού, βιταμίνης C και κυτταρίνης. Βρίσκονται συνήθως σε φυτά, λουλούδια και φρούτα. Αυτά τα αερόβια περιβάλλοντα είναι πλούσια σε υδατάνθρακες, αλκοόλες σακχάρου και/ή αιθανόλη. Αυτό επιτρέπει στα AAB να οξειδώσουν γρήγορα και ατελώς αυτά τα υποστρώματα σε οργανικά οξέα, παράγοντας ταυτόχρονα και ενέργεια (De Roos & De Vuyst, 2018).

### 1.4. Άλλα είδη ζύμωσης

Εκτός από τα τρία κύρια είδη ζύμωσης, έχουν μελετηθεί και άλλα είδη όπως (Annunziata et al., 2020; Show et al., 2015) :

1. κιτρική ζύμωση (παραγωγή κιτρικού οξέος κυρίως από το είδος *Aspergillus niger*)
2. προπιονική ζύμωση (παραγωγή προπιονικού οξέος από *Propionibacterium freudenreichii*)
3. βουτυρική ζύμωση (παραγωγή βουτυρικού οξέος) (Annunziata et al., 2020; Marco et al., 2017; Show et al., 2015).



## 2. Τεχνικές ζυμώσεων

Στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση δεν παράγονται τόσο συχνά σε βιομηχανική κλίμακα. Η ζύμωση με αυτόχθονα μικρόβια που υπάρχουν στην πρώτη ύλη έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά για τις ζυμώσεις προϊόντων, ωστόσο η εισαγωγή της τεχνολογίας των καλλιέργειών εκκίνησης, οδήγησε στην αναβάθμιση της ασφάλειας και ποιότητας των τροφίμων. Για παράδειγμα, τα ζυμούμενα τρόφιμα που παράγονται στην Ασία και την Αφρική συχνά βασίζονται σε αυθόρμητες ζυμώσεις, όπου μπορούν να λάβουν μέρος και μικρόβια από τον περιβάλλοντα χώρο. Από την άλλη μεριά, αυτά που παράγονται στην Ευρώπη, τη Βόρεια Αμερική, την Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία βασίζονται σε καθορισμένες καλλιέργειες εκκίνησης και πιο ελεγχόμενες συνθήκες ζύμωσης (Jyoti Prakash Tamang et al., 2020).

### 2.1. Παραδοσιακές ζυμώσεις

Οι παραδοσιακές ζυμώσεις εκτελούνται μέσω της παράλληλης δράσης βακτηρίων, ζυμών ή/και μυκήτων και είναι αυθόρμητες χωρίς απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες. Συνήθως, πραγματοποιούνται σε θερμοκρασία δωματίου και το αρχικό pH εξαρτάται από το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται, δηλαδή το είδος του τροφίμου. Οι μικροοργανισμοί που δρουν συνδυαστικά είναι πιο ισχυροί και ανεκτικοί ενάντια στους βακτηριοφάγους συγκριτικά με τις αμιγείς καλλιέργειες. Οι βακτηριοφάγοι είναι ιοί που μπορούν να προσβάλουν βακτηριακά κύτταρα. Είναι ακίνδυνοι για τους ανθρώπους, τα φυτά και τα ζώα. Έχουν περιγραφεί 17 διαφορετικές οικογένειες, οι περισσότερες από τις οποίες ανήκουν στην τάξη Caudovirales (Rodríguez et al., 2017). Κατά τη συνύπαρξή τους, οι μικροοργανισμοί είναι πιθανόν να αναπτύξουν ανταγωνιστικές τάσεις, έχοντας ως συνέπεια τη μείωση της ανάπτυξης και της προσαρμοστικότητάς τους, καθώς και τη μείωση της ικανότητας σύνθεσης πρωτεϊνών και δευτερογενών μεταβολιτών (Cunvas-Limon et al., 2020).

Στη μη εμπορική παραγωγή πολλών ζυμούμενων τροφίμων χρησιμοποιείται ακόμα η τεχνική της χρήσης μικρής ποσότητας ζυμούμενου τροφίμου προηγούμενης παρτίδας, για τον εμβολιασμό της επόμενης (backslopping). Η μόλυνση από άγνωστους μικροοργανισμούς συχνά συμβάλλει θετικά σε ζυμώσεις που γίνονται σε μη βιομηχανικά περιβάλλοντα. Τα προϊόντα που παράγονται από χειροποίητες, μικρής κλίμακας ζυμώσεις έχουν συχνά μοναδικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, που σε αρκετές περιπτώσεις έχει αποδειχθεί δύσκολο να αναπαραχθούν και να τυποποιηθούν σε

βιομηχανική κλίμακα, ώστε να παραχθούν προϊόντα με τις ίδιες ποιοτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες (Farnworth, 2005).

Ενώ ορισμένα ζυμωμένα τρόφιμα και ποτά παράγονται βιομηχανικά, πολλά παράγονται ακόμη σε νοικοκυριά για καθημερινή κατανάλωση. Σήμερα, ορισμένες φυλές παράγουν ποτά που έχουν υποστεί ζύμωση (για παράδειγμα το κεφίρ) για ιατρικούς σκοπούς μέσω πρακτικών και γνώσεων που προκύπτουν από την παράδοσή τους και την προφορική διάδοση γνώσεων, από γενιά σε γενιά (Perricone et al., 2017). Επίσης σε αρκετές κοινότητες, συμπεριλαμβανομένων των ιθαγενών της Αμερικής, τα παραδοσιακά ζυμωμένα τρόφιμα και ποτά εξακολουθούν να είναι μέρος της παραδοσιακής γνώσης και παράγονται σε μικρή κλίμακα ως σπιτικά ή μέσω βιοτεχνικής δραστηριότητας, όπου ή όταν υπάρχει διαθέσιμο γεωργικό πλεόνασμα. Για τη δημιουργία αυτών των ζυμούμενων τροφίμων και ποτών χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα ο αραβόσιτος πλούσιος σε άμυλο, το ρύζι, το κασάβα (αμυλούχα κονδυλώδης ρίζα) και άλλα (Sankaranarayanan et al., 2019).

Στις αυθόρμητες ζυμώσεις, εξαιτίας της ετερογένειας των μικροβιακών πληθυσμών είναι δυνατόν να λάβουν μέρος παθογόνα μικρόβια (*Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas* κ.α) που ενδέχεται να συνθέσουν τοξικά παραπροϊόντα (όπως μυκοτοξίνες, καρβαμικό αιθυλεστέρα και βιογενείς αμίνες). Για παράδειγμα, σε μηλόξυδο που παράχθηκε σε μικρή κλίμακα χωρίς το πλύσιμο των μήλων, την παστερίωση του ξιδιού και την προσθήκη συντηρητικών, βρέθηκαν ζωντανοί οργανισμοί του *E. coli* O157:H7 που επιβίωσαν για 20 μέρες. Τα παθογόνα μικρόβια, αποτελούν παράγοντα υποβάθμισης της ασφάλειας του ζυμωμένου τροφίμου και πιθανό κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Από την άλλη μεριά, οι κοινωνικές, οικονομικές και εμπορικές τάσεις έχουν οδηγήσει στην επανεξέταση των πιθανών οφελών των αυθόρμητων ζυμώσεων στη υψηλή ποιότητα των ζυμωμένων τροφίμων (Capozzi et al., 2017).

## **2.2. Βιομηχανικές ζυμώσεις**

Σήμερα, η τεχνολογία ζύμωσης έχει μετατοπιστεί από τις βιοτεχνικές πρακτικές και την εμπειρική επιστήμη σε μεγάλης βιομηχανικής κλίμακας εφαρμογές (van Hylckama Vlieg et al., 2011). Στις βιομηχανικές ζυμώσεις, χρησιμοποιούνται βιοαντιδραστήρες, με κυριότερους τους βιοαντιδραστήρες βυθισμένης ζύμωσης (Εικόνα 4) και τους βιοαντιδραστήρες ζύμωσης στερεάς κατάστασης (Εικόνα 5), οι οποίοι μπορούν να

βρίσκονται σε συνέχη, ημισυνεχή και ασυνεχή λειτουργία. Στις περισσότερες ζυμώσεις τροφίμων, εφαρμόζονται διεργασίες ζύμωσης στερεάς κατάστασης σε αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας, όπου οι μικροοργανισμοί καλλιεργούνται στην επιφάνεια ενός υποστρώματος, το οποίο δε διαλύεται στο νερό. Παραδείγματα τροφίμων που παράγονται με ζύμωση στερεάς κατάστασης είναι το λάχανο τουρσί (sauerkraut), το μίσο (miso), το τέμπε (tempeh ή tempe) και το κίμτσι (kimchi). Σε αντίθεση, οι βιοαντιδραστήρες βυθισμένης ζύμωσης βρίσκουν εφαρμογή στην παραγωγή γιαουρτιού, γαλακτοκομικών, αλκοολούχων ποτών και καρυκευμάτων τροφίμων, όπως το ξύδι (Terefe, 2016).



**Εικόνα 4.** Βιοαντιδραστήρας βυθισμένης ζύμωσης (Ανάκτηση από: <https://www.gibobsrl.com/biotech-plants/bioreactors-smf/> Τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021)



**Εικόνα 5.** Βιοαντιδραστήρας στερεάς κατάστασης (Ανάκτηση από <https://blbioussa.com/solid-fermenter-system/> Τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021)

### 2.2.1. Καλλιέργειες εκκίνησης ζύμωσης

Με τη βιομηχανοποίηση της παραγωγής των ζυμούμενων τροφίμων, αναδύθηκαν νέες τεχνικές ζυμώσεων. Σημαντική εξέλιξη αποτελεί η χρήση της τεχνολογίας των καλλιιεργειών εκκίνησης. Οι καλλιιεργειες εκκίνησης είναι παρασκευάσματα ζωντανών μικροοργανισμών, που προσδίδουν επιθυμητά χαρακτηριστικά στο ζυμούμενο υπόστρωμα/τρόφιμο στο οποίο προστίθενται. Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες όσον

αφορά τη συμβολή των καλλιιεργειών εκκίνησης στη διασφάλιση της ασφάλειας των ζυμούμενων τροφίμων παγκοσμίως και σε όλα τα επίπεδα παραγωγής τους (σπιτική, παραδοσιακή και βιομηχανική). Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται έναντι των αυθόρμητων ζυμώσεων για τη δημιουργία πιο ελεγχόμενων συνθηκών ζύμωσης, την αποφυγή μόλυνσης του τροφίμου από παθογόνα βακτήρια κ.α. (Carozzi et al., 2017). Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις κατηγορίες καλλιιεργειών εκκίνησης.

### **2.2.1.1. Παραδοσιακές καλλιέργειες εκκίνησης**

Οι παραδοσιακές καλλιέργειες περιέχουν πολλά μικροβιακά είδη, όπως ζύμες, μύκητες και βακτήρια. Οι παραδοσιακές μέθοδοι/καλλιέργειες εκκίνησης εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένα ή παραδοσιακά προϊόντα, αλλά βρίσκουν μικρή εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα, η οποία απαιτεί εκκινητές που μπορούν (α) να παρέχουν αναπαραγωγίμη απόδοση προϊόντων ζύμωσης και (β) οι καλλιέργειές τους να είναι απαλλαγμένες από ανεπιθύμητους μικροοργανισμούς. Η επίτευξη αυτών των στόχων καθίσταται δύσκολη χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους. Επομένως, με τη βελτιστοποιημένη, εξαιρετικά αναπαραγωγίμη απόδοση και την υψηλή αντίστασή τους σε φάγους, οι καθορισμένες καλλιέργειες εκκίνησης (Defined Strain Starters-DSS) προτιμούνται έναντι των παραδοσιακών εκκινητών στην βιομηχανική παραγωγή.

Στους παραδοσιακούς εκκινητές συγκαταλέγονται (α) οι φυσικοί εκκινητές και (β) οι μικτές καλλιέργειες εκκινητών που παράγονται από εξιδεικευμένα ιστιτούτα και εταιρίες εμπορικών εκκινητών και στη συνέχεια διανέμονται στις βιομηχανίες (Altieri et al., 2017).

#### **(α) Φυσικοί εκκινητές**

Η παραγωγή φυσικών εκκινητών γίνεται με τη μέθοδο του backslopping ή/και την εφαρμογή επιλεκτικών πιέσεων (χαμηλό pH, θερμική επεξεργασία κ.α). Στην παραγωγή τους δεν χρησιμοποιούνται ειδικές προφυλάξεις για την αποφυγή μόλυνσης των καλλιιεργειών από το περιβάλλον και τα μέσα ελέγχου και οι συνθήκες καλλιιεργειας κατά την αναπαραγωγή των εκκινητών, είναι περιορισμένες. Ωστόσο οι φυσικοί εκκινητές περιέχουν στελέχη με επιθυμητές τεχνολογικές ιδιότητες, όπως η αντιμικροβιακή δράση και η παραγωγή αρώματος, και θεωρούνται ιδιαίτερα ανθεκτικοί στη μόλυνση από φάγους, καθώς αναπαραγονται παρουσία αυτών, οδηγώντας στην επικράτηση ανθεκτικών στελεχών εκκινητών (Altieri et al., 2017).

## **(β) Μικτές καλλιέργειες εκκίνησης (Mixed-strain starters-MSS)**

Οι μικτές καλλιέργειες εκκίνησης (Mixed-strain starters-MSS) λαμβάνονται με προσεκτική επιλογή φυσικών εκκινήτων. Οι MSS περιέχουν ένα μη χαρακτηρισμένο μίγμα στελεχών με διαφορετικές φυσιολογικές και τεχνολογικές ιδιότητες (π.χ pH και θερμοκρασία ανάπτυξης). Παρ'όλα αυτά, όταν αυτές οι καλλιέργειες πολύ-εκκινήτων πολλαπλασιάζονται σε ελεγχόμενες συνθήκες με ελάχιστες υποκαλλιέργειες, παρατηρείται βελτίωση στη σταθερότητα της απόδοσης και της μικροβιακής σύνθεσης, συγκριτικά με τα φυσικά στελέχη (Altieri et al., 2017).

### **2.2.1.2. Καθορισμένες καλλιέργειες εκκίνησης (Defined-strain starters-DSS)**

Οι καθορισμένες καλλιέργειες εκκίνησης (Defined-strain starters-DSS) αποτελούνται από ένα ή περισσότερα στελέχη, που είναι συνήθως και τα κυρίαρχα είδη μικροοργανισμών του εκάστοτε παραδοσιακού προϊόντος. Τα στελέχη ή είδη μικροοργανισμών που θα χρησιμοποιηθούν είναι καθορισμένα, γεγονός που καθιστά την τεχνολογική απόδοση με αυτή την πρακτική, εξαιρετικά αναπαραγωγίμη και σταθερή. Επίσης δημιουργείται πιο ελεγχόμενη μικροβιακή σύνθεση (Altieri et al., 2017).

### **2.3. Αυτόχθονες καλλιέργειες**

Οι αυτόχθονες καλλιέργειες εκκίνησης είναι καλλιέργειες που περιλαμβάνουν επιλεγμένα μικροβιακά στελέχη τα οποία απομονώνονται από παραδοσιακά προϊόντα φυσικής ωρίμανσης. Τα προϊόντα αυτά, δημιουργούνται με ζύμωση που βασίζεται αποκλειστικά στην ενδογενή μικροχλωρίδα, άρα δεν προστίθεται καλλιέργεια εκκίνησης. Οι αυτόχθονες καλλιέργειες που απομονώνονται από τέτοια προϊόντα ζύμωσης, μπορούν να προστεθούν σε ζυμούμενα τρόφιμα της ίδιας κατηγορίας. Τότε παρουσιάζουν ποικιλία μεταβολικών δραστηριοτήτων, που διαφέρουν σημαντικά από εκείνες που προκαλούν οι συμβατικές εμπορικές εκκινήτριες καλλιέργειες. Πιο συγκεκριμένα, έχουν ήδη μεγάλη προσαρμοστικότητα στο υπόστρωμα από το οποίο προέρχονται, αναπτύσσονται με πιο ταχύ ρυθμό και ορισμένες μπορούν να παράγουν αντιμικροβιακά συστατικά (π.χ βακτηριοσίνες). Με τη χρήση αυτόχθονων καλλιεργειών, παράγονται υψηλής ποιότητας παραδοσιακά ζυμούμενα προϊόντα που διατηρούν τις τυπικές οργανοληπτικές τους ιδιότητες. Τέτοια τρόφιμα είναι για παράδειγμα διάφορα είδη τυριών και γιαούρτι, στα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως οξυγαλακτικά βακτήρια (*Lactobacillus plantarum*, *Lb. helveticus* κ.α.) (Μπάκα ΑΜ., 2010).

## 2.4. Νέες τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων για βελτιωμένες ζυμώσεις

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναδυθεί καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας των ζυμούμενων τροφίμων. Αυτές χωρίζονται σε θερμικές και μη-θερμικές τεχνικές. Οι θερμικές τεχνικές αποτελούνται από την ωμική θέρμανση (ohmic heating), τη ραδιοσυχνότητα (Radio Frequency) και τη θέρμανση με μικροκύματα (Microwave heating). Αυτές είναι τεχνολογίες που έχουν μελετηθεί και περιγραφεί επαρκώς. Χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της διάρκειας ζωής των τροφίμων, την απενεργοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών, την επιτάχυνση της ζύμωσης, τη βελτίωση των μεταβολικών δραστηριοτήτων και την παραγωγή ενζύμων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης (Adebo et al., 2018).

Οι μη-θερμικές τεχνικές αποτελούνται από την επεξεργασία υψηλής πίεσης (High-Pressure Processing), τους υπερήχους (Ultrasound), τις ακτίνες γ (γ-irradiation), την ακτινοβολία μικροκυμάτων (microwave irradiation) και το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο (pulsed electric field) (Adebo et al., 2018). Αποτελούν εναλλακτικές των θερμικών διεργασιών, για την αποστείρωση προϊόντων τροφίμων σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, βοηθούν στην παραγωγή προβιοτικών τροφίμων, καθώς μπορούν να διατηρήσουν ζωντανά τα ωφέλιμα βακτήρια στο τρόφιμο, να θανατώσουν τα παθογόνα χωρίς να υποβαθμίσουν τα θρεπτικά συστατικά τους (Asaithambi et al., 2021).

Κάποιες επίσης χρήσιμες μέθοδοι για την παραγωγή αλλά και την ανάλυση καινοτόμων ζυμούμενων τροφίμων είναι η χρήση ακραιόφιλων μικροοργανισμών (extremophiles), η ενθυλάκωση και η μεταβολομική (metabolomics) (Adebo et al., 2018).

**Ακραιόφιλοι μικροοργανισμοί (extremophiles):** Είναι μικροοργανισμοί γνωστοί για την ικανότητα επιβίωσής τους σε ακραίες συνθήκες pH, ραδιενέργειας, πίεσης, θερμοκρασίας κ.α. Παράγουν ένζυμα όπως καταλάση, λιπάση και ξυλανάση που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία καινοτόμων ζυμούμενων τροφίμων χάρη στη μεγάλη αντοχή τους στις διάφορες επεξεργασίες (Adebo et al., 2018).

**Ενθυλάκωση:** Η ενθυλάκωση είναι μία τεχνική με την οποία είναι δυνατός ο εγκλεισμός ενεργών συστατικών σε έναν φορέα εγκλεισμού. Με την ενθυλάκωση, μπορούν να μεταφερθούν σε τρόφιμα, βιοδραστικά συστατικά, τα οποία προστατεύονται από τον φορέα εγκλεισμού κατά τη διάρκεια των θερμικών επεξεργασιών. Επίσης, με την ενθυλάκωση καλλιεργειών μικροβίων επιτυγχάνεται η σταδιακή απελευθέρωση αυτών

στο υπόστρωμα, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του τροφίμου. Η ενθυλάκωση προστατεύει αυτές τις καλλιέργειες και βελτιώνει τη βιωσιμότητά τους (Adebo et al., 2018). Ακόμη, η τεχνική αυτή έχει εφαρμοστεί σε ωφέλιμα βακτήρια, τα οποία συσκευάζονται σε μεμβράνες από λίπη, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες κ.α., ώστε να ελαττωθεί η πιθανότητα καταστροφής τους ή απενεργοποίησής τους στο τρόφιμο (Terrou et al., 2019).

**Μεταβολομική:** Η μεταβολομική είναι ένα σύνολο σύγχρονων αναλυτικών τεχνικών, όπως η υγρή χρωματογραφία-φασματομετρία μάζας (liquid chromatography-mass spectrometry) και η φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (nuclear magnetic resonance, NMR) και εξειδικευμένων λογισμικών, που χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση και ανάλυση των μεταβολιτών που παράγονται από τους μικροοργανισμούς, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης των τροφίμων (Adebo et al., 2018).

### **3. Ζυμούμενα τρόφιμα**

Στη βιοχημεία, η ζύμωση εκλαμβάνεται ως μία διαδικασία παραγωγής τριφωσφορικής αδενοσίνης (Adenosine Triphosphate(ATP)) κατά την οποία οι οργανικές ενώσεις λειτουργούν τόσο ως δότες αλλά και ως δέκτες ηλεκτρονίων (Kim et al., 2019). Αυτός ο ορισμός μπορεί να καλύπτει τρόφιμα που έχουν υποστεί γαλακτική ή αλκοολική ζύμωση σε αναερόβιες συνθήκες (π.χ κίμιτσι, γιαούρτι, κρασί), όμως φαίνεται να μην αντιπροσωπεύει πολλά άλλα ζυμωμένα τρόφιμα, η ζύμωση των οποίων ακολουθεί μονοπάτια και αντιδράσεις που δεν περιλαμβάνονται στον ορισμό αυτό. Για παράδειγμα, αερόβιος μεταβολισμός χρησιμοποιείται από τα οξικά βακτήρια για την παραγωγή της κομπούχας και του ξιδιού. Έχοντας αυτό ως δεδομένο, το Σεπτέμβριο του 2019, η Διεθνής Επιστημονική Ένωση Προβιοτικών και Πρεβιοτικών (International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics-ISAPP) πρότεινε έναν ευρύτερο και πιο αντιπροσωπευτικό ορισμό για τα ζυμούμενα τρόφιμα. Με το νέο ορισμό, ως ζυμούμενα τρόφιμα ορίζονται τα «τρόφιμα τα οποία παράγονται μέσω της επιθυμητής μικροβιακής ανάπτυξης και των ενζυματικών μετατροπών των συστατικών τροφίμων» (Marco et al., 2021).

#### **3.1. Δράσεις της ζύμωσης στα τρόφιμα**

Η ζύμωση παλαιότερα εφαρμοζόταν για τη συντήρηση των ευπαθών τροφίμων. Παρ'όλα αυτά, πλέον υπάρχουν αναδυόμενα στοιχεία που υποδεικνύουν ότι μπορεί να θεωρηθεί

σημαντικό εργαλείο για την αύξηση της θρεπτικής αξίας των τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση, όσον αφορά τον εμπλουτισμό τους με βιοδραστικές ενώσεις (Annunziata et al., 2020). Κατά τη ζύμωση των τροφίμων μέσω της δράσης των ενζύμων τους, αλλά και του μεταβολισμού των μικροοργανισμών, παρατηρούνται αλλαγές στη θρεπτική αξία και στις βιοδραστικές ιδιότητες του τροφίμου. Τέτοιες δράσεις μπορεί να είναι η απομάκρυνση τοξικών ή ανεπιθύμητων ουσιών (όπως φυτικό οξύ) ή η παραγωγή συγκεκριμένων πρωτεϊνών και εξωπολυσακχαριτών, οι οποίοι ενδέχεται να παρουσιάζουν αντιοξειδωτική δράση και να εμποδίζουν την προσκόλληση παθογόνων βακτηρίων στον εντερικό βλεννογόνο. Επιπλέον, η ζύμωση φαίνεται να ενισχύει τα τρόφιμα με αντιμικροβιακά συστατικά (βακτηριοσίνες, οργανικά οξέα, αιθανόλη), αμινοξέα, βιταμίνες, ανόργανα στοιχεία και φυτοχημικά που συμβάλλουν στην διέγερση του ανοσοποιητικού συστήματος, την καλή ισορροπία του εντερικού μικροβιώματος και την καλύτερη απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών (Bocchi et al., 2020; Marco et al., 2017). Η ζύμωση των τροφίμων ακόμη, συμβάλλει στην καλύτερη συντήρηση και διατήρησή τους, τροποποιώντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους, προσδίδοντας νέα αρώματα, γεύσεις και υφές (Nuraida, 2015).

Κατά τη ζύμωση παράγονται ένζυμα από τους μικροοργανισμούς, όπως η πρωτεϊνάση, η καταλάση, η σελουλάση και η αμυλάση, τα οποία αποικοδομούν σύνθετες ενώσεις σε απλούστερα βιομόρια. Αποτέλεσμα αυτού είναι η σύνθεση νέων ενώσεων/ μεταβολιτών που ενδέχεται να επηρεάσουν θετικά την υγεία. Για παράδειγμα, άνθρωποι με δυσανεξία στη λακτόζη καταφέρνουν να καταναλώσουν τα περισσότερα τυριά, καθώς ένα μέρος της λακτόζης του γάλακτος ζυμώνεται, ενώ η υπόλοιπη διαχωρίζεται μαζί με τον ορό γάλακτος κατά την παραγωγή τυριών (Cuvas-Limon et al., 2020; Marco et al., 2017). Όπως προκύπτει, η ζύμωση κάποιων τροφίμων είναι καθοριστική για την κατανάλωσή τους. Για παράδειγμα βοηθάει τις επιτραπέζιες ελιές να μετατραπούν σε εδώδιμες, καθώς τα μικρόβια απομακρύνουν τα φαινολικά συστατικά που δίνουν πικρή γεύση σε αυτές (Marco et al., 2017).

Μία ενδεικτική κατηγοριοποίηση των ζυμωμένων τροφίμων, με βάση τη φύση του υποστρώματος που χρησιμοποιείται για τη ζύμωση, φαίνεται στον Πίνακα 1 (Xiang et al., 2019).



**Πίνακας 1.** Κατηγοριοποίηση ζυμούμενων τροφίμων και παραδείγματα προϊόντων ζύμωσης

<b>Κατηγορία</b>	<b>Παραδείγματα τροφίμων</b>
<b>Ζυμούμενα γαλακτοκομικά προϊόντα</b>	Γιαούρτι , τυρόπηγμα (dahi), γάλα acidophilus, κεφίρ, κουμίζ (kumiss), τυρί
<b>Ζυμούμενα προϊόντα σόγιας</b>	Μίσο, τέμπε (temppeh ή tempe, νάττο (natto), σος σόγιας
<b>Ζυμούμενα φρούτα</b>	Κρασί, ξύδι, μηλίτης, τουρσί
<b>Ζυμούμενα δημητριακά</b>	Μπίρα, ξύδι, κβας (kvass), ogi
<b>Ζυμούμενα προϊόντα ιχθυηρών</b>	Σως ψαριού, Narezushi (Ιαπωνία)
<b>Ζυμούμενα προϊόντα κρεάτων</b>	ξηρά λουκάνικα, Ιταλικό σαλάμι, πεπερόνι
<b>Ζυμούμενο Τσάι</b>	Κομπούχα
<b>Ζυμούμενα λαχανικά</b>	Λάχανο τουρσί, μπίρα πατάτας, κίμτσι (kimchi)

#### **4. Προβιοτικά, πρεβιοτικά και συμβιωτικά**

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα οφέλη για την υγεία, που προσδίδουν τα προβιοτικά, τα πρεβιοτικά και τα συμβιωτικά έχουν γίνει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας. Τα συστατικά αυτά έχουν χαρακτηριστεί ως λειτουργικά, καθώς φαίνεται να μπορούν να επηρεάσουν την ήδη υπάρχουσα εντερική μικροχλωρίδα, εκτελώντας ταυτόχρονα διάφορες λειτουργίες στο εντερικό περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν πρεβιοτικές ουσίες χρησιμοποιούνται μαζί με προβιοτικούς μικροοργανισμούς, ονομάζονται «συμβιωτικά» και έχουν την ικανότητα να βελτιώσουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών (Pandey et al., 2015).

##### **4.1. Προβιοτικά**

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Food and Agriculture Organization of United Nations, FAO) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization, WHO) (2006) τα προβιοτικά ορίζονται ως «ζωντανοί μικροοργανισμοί οι οποίοι όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες παρέχουν οφέλη για την υγεία του ξενιστή».

Τα προβιοτικά βακτήρια είναι διαθέσιμα σε παγκόσμια κλίμακα και μπορούν να βρεθούν στις εξής κατηγορίες προϊόντων/τροφίμων:

1. Συμπληρώματα διατροφής με λυοφιλωμένα βακτήρια
2. Μικροοργανισμοί σε ζυμωμένα τρόφιμα
3. Προϊόντα που έχουν συγκεκριμένους ισχυρισμούς υγείας
4. Θεραπευτικές συνταγές για συγκεκριμένες παθήσεις, όπως η διάρροια (Georgieva et al., 2014).

#### **4.1.1. Κριτήρια επιλογής προβιοτικών**

Τα τελευταία χρόνια, έχουν παραχθεί πολλά προβιοτικά προϊόντα που εμφανίζουν αποδεδειγμένα οφέλη στην υγεία του ανθρώπου. Παρόλα αυτά, πρέπει κάθε φορά να γίνεται επιλογή του κατάλληλου προβιοτικού στελέχους καθώς η λειτουργικότητά τους εξαρτάται από το είδος, τη δόση και τις συνθήκες (επεξεργασίας, αποθήκευσης κ.λπ). Τα προβιοτικά πρέπει να έχουν μέσα στο τρόφιμο, βιωσιμότητα της τάξης των  $10^6$ - $10^7$  CFU/g, ενώ η καθημερινή θεραπευτική δόση που συνιστάται είναι  $10^8$ - $10^9$  CFU/g. Ο λόγος που έχουν προταθεί τόσο υψηλές ποσότητες είναι διότι μπορεί να υπάρξει απώλεια μικροοργανισμών κατά το πέρασμα από το γαστρεντερικό σύστημα. Επιπλέον, για να επιλεγεί και να χρησιμοποιηθεί ένας μικροοργανισμός ως προβιοτικός, θα πρέπει να ικανοποιεί κάποια κριτήρια όπως (Guimarães et al., 2020; Latha et al., 2019; Peng et al., 2020) :

- Να έχει τυποποιηθεί και χαρακτηριστεί πλήρως
- Επιβίωση κατά το πέρασμα από τον γαστρεντερικό σωλήνα
- Καλή προσκόλληση στα τοιχώματα του ανθρώπινου εντερικού σωλήνα
- Αντίσταση σε ασθένειες μέσω παραγωγής αντιμικροβιακών ουσιών (π.χ βακτηριοσίνες) ή με βελτίωση της άμυνας του οργανισμού
- Να είναι μη παθογόνος, μη αλλεργιογόνος, μη τοξικός
- Αποδεδειγμένη ασφάλεια για τον σκοπό που θα χρησιμοποιηθεί

- Δράση εναντίον των καρκινογόνων/ παθογόνων οργανισμών
- Αποδεδειγμένο όφελος στην υγεία, από τουλάχιστον μία κλινική δοκιμή
- Επιβίωση κατά την αποθήκευση και για μεγάλες χρονικές περιόδους σε πραγματικές συνθήκες χρήσης .

Από τα παραπάνω κριτήρια συνάγεται πως τα προβιοτικά απαιτείται να είναι ζωντανοί οργανισμοί που εμφανίζουν συγκεκριμένες επιθυμητές δράσεις (Latha et al., 2019; Peng et al., 2020).

#### 4.1.2. Προβιοτικοί μικροοργανισμοί

Τα πιο μελετημένα προβιοτικά ανήκουν στα γένη *Lactobacillus* και *Bifidobacterium* τα οποία είναι «γενικά αναγνωρισμένα ως ασφαλή» και είναι τα κύρια βακτήρια που συνιστούν το εντερικό μικροβίωμα . Άλλα είδη βακτηρίων που έχουν συμπεριληφθεί στη λίστα των προβιοτικών ανήκουν στα γένη *Lactococcus*, *Propionibacteria*, *Enterococcus*, *Saccharomyces* (Τερπου et al., 2019). Ειδικότερα, μερικά σημαντικά προβιοτικά στελέχη που έχουν ανιχνευθεί είναι τα:

- *Lactobacillus spp.* (*Lb.plantarum*, *Lb.acidophilus*, *Lb. rhamnosus*, *Lb.oris*, *Lb. casei*, *Lb. crispatus*, *Lb. gasseri*, *Lb. reuteri*, *Lb. johnsonii*, *Lb. paracasei*)
- *Bifidobacterium spp.* (*B.bifidum*, *B.longum*, *B.animalis*, *B. adolescentis*, *B. breve*, *B. infantis*)
- *Pediococcus acidilactici*
- *Enterococcus spp.* (*E.faecalis*, *E.faecium*)
- *Saccharomyces spp.* (*S.boulardii*, *S.cerevisiae*)
- *Streptococcus salivarius subsp. thermophiles*
- *Candida albicans*
- *Leuconostoc mesenteroides*
- *Lactococcus lactis*

- *Bacillus spp. (B.subtilis, B.megaterium)* και άλλα. (Kechagia et al., 2013; Latha et al., 2019; Mani, 2018)

Τα γένη *Lactobacillus* και *Bifidobacterium* αποτελούνται από θετικά κατά gram, καταλάση-αρνητικά βακτήρια που ανήκουν στην κατηγορία των βακτηρίων γαλακτικού οξέος (LAB) μαζί με άλλα γένη όπως *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* και *Leuconostoc* (Kechagia et al., 2013; Latha et al., 2019; Mani, 2018).

Η πιο χαρακτηριστική ομάδα προβιοτικών βακτηρίων είναι τα οξυγαλακτικά βακτήρια (*Lactic acid bacteria-LAB*). Τα οξυγαλακτικά βακτήρια είναι μία μεγάλη ομάδα θετικών κατά Gram, μη σπορογόνων μικροοργανισμών, που κατατάσσονται φυλογενετικά στο φύλο *Firmicutes*, κυρίως στην τάξη *Lactobacillales*. Υπάρχουν φυσιολογικά σε φυτά, κρέατα και γαλακτοκομικά προϊόντα και μπορούν να παράξουν γαλακτικό οξύ σε αναερόβιες συνθήκες με τη ζύμωση των υδατανθράκων. Τα βακτήρια αυτά αναπτύσσονται σε ένα εύρος pH 3.5-10.0 και σε θερμοκρασίες από 5-45°C (Abdel-Rahman et al., 2013; Marco et al., 2021). Η ομάδα των οξυγαλακτικών βακτηρίων περιλαμβάνει τα γένη *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Weissella*, *Pediococcus*, *Carnobacterium* και *Vagococcus*. Ωστόσο, υποστηρίζεται ότι στην κατηγορία αυτή ανήκουν και γένη όπως *Erisipclothrix*, *Aerococcus* και *Mycobacterium* (Διαμαντοπούλου Δ., 2015). Τα οξυγαλακτικά βακτήρια διαχωρίζονται περαιτέρω σε ετεροζυμωτικά (όπως *Leuconostoc* και *Wiessella*) και ομοζυμωτικά (όπως *Lactococcus* και *Streptococcus*), ανάλογα με τα τελικά προϊόντα που παράγουν κατά τη ζύμωση (Ayivi et al., 2020).

Έχουν παραχθεί πολλά ζυμούμενα τρόφιμα με τη χρήση οξυγαλακτικών βακτηρίων, τα οποία βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά των τροφίμων αλλά και την υγεία του γαστρεντερικού συστήματος των καταναλωτών. Κάποια τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση από οξυγαλακτικά βακτήρια είναι το κεφίρ, το τυρί, το βούτυρο, το sauerkraut, τα λαχανικά σε άλμη, το προζύμι, τα ζυμούμενα προϊόντα κρέατος κ.α (Ayivi et al., 2020).

Επιπρόσθετα, αρκετές ζύμες εμφανίζουν προβιοτική δράση. Οι ζύμες αποτελούν μονοκύτταρους, ευκαρυωτικούς μικροοργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες 25-30°C και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως εδώ και πολλά χρόνια για τη

παραγωγή προϊόντων αλκοολικής ζύμωσης (π.χ ψωμί, μπίρα, κρασί). Από τις ζύμες, ως προβιοτικοί έχουν χαρακτηριστεί οι μικροοργανισμοί *Saccharomyces* spp. (*cerevisiae*, *bouardii*). Ο μικροοργανισμός *S. bouardii* απομονώθηκε από τα φυτά lychee και mangosteen για πρώτη φορά το 1920 από τον Γάλλο επιστήμονα Henry Bouard, ο οποίος είχε παρατηρήσει ότι κάποιοι Γάλλοι δεν επηρεάστηκαν από το ξέσπασμα της χολέρας. Αυτοί οι άνθρωποι έπιναν ένα τσάι με εκχύλισμα από αυτά τα δύο φυτά. Σε διάφορες έρευνες που έχουν γίνει για την κατανάλωση του *S. bouardii* έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματικός στη θεραπεία μολύνσεων από διάφορα παθογόνα όπως *Helicobacter pylori*, *Clostridium difficile* και *Salmonella* (Διαμαντοπούλου Δ., 2015; Sen & Mansell, 2020). Οι ερευνητές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στη μελέτη ειδών ζυμών, διαφορετικών από το *S. bouardii* ώστε να ανακαλύψουν αν έχουν προβιοτικές ιδιότητες. Έτσι πολλές ζύμες από τα γένη *Debaryomyces*, *Kluyveromyces*, *Yarrowia*, *Torulasporea*, *Candida*, *Pichia*, *Hanseniaspora* και *Metschnikowia* αλλά και άλλα γένη έχουν προταθεί λόγω των πιθανών οφελών στην υγεία. Παρ'όλα αυτά μέχρι σήμερα, από τις ζύμες μόνο το στέλεχος *S. bouardii* έχει επιβεβαιωμένη προβιοτική δράση (Vilela et al., 2020).

#### **4.1.3. Λειτουργικές ιδιότητες προβιοτικών/ Μηχανισμοί δράσης**

Τα τελευταία χρόνια, έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για τον εντοπισμό των μηχανισμών δράσης των προβιοτικών βακτηρίων. Ωστόσο, οι μηχανισμοί οι οποίοι έχουν παρατηρηθεί, δεν μπορούν να γενικευτούν και να αποδοθούν σε όλα τα προβιοτικά βακτήρια. Αυτό συμβαίνει διότι είναι σημαντικό να συνδεθεί ο μηχανισμός δράσης των πολλών διαφορετικών προβιοτικών, με το είδος του προβιοτικού μικροοργανισμού, τη δόση που καταναλώνεται αλλά και τον τρόπο χορήγησής του (Ayivi et al., 2020). Υπάρχουν μόνο ορισμένοι μηχανισμοί που μπορούν να γενικευτούν για τα προβιοτικά. Όπως ο ISAPP έχει προτείνει, αυτοί οι μηχανισμοί είναι οι εξής (Hill et al., 2014):

1. Αντίσταση στον μικροβιακό αποικισμό
2. Παραγωγή οργανικών οξέων (π.χ γαλακτικό οξύ) και λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (Short Chain Fatty Acids-SCFAs), όπως βουτυρικό οξύ
3. Ρύθμιση της εντερικής διέλευσης
4. Ομαλοποίηση της διαταραγμένης μικροχλωρίδας
5. Αυξημένος ρυθμός αναγέννησης των εντεροκυττάρων

6. Ανταγωνιστικός αποκλεισμός παθογόνων (Hill et al., 2014).

Ωστόσο έχουν καταγραφεί κι άλλες ευεργετικές λειτουργίες για τα προβιοτικά, όπως ότι:

1. Ανταγωνίζονται τα παθογόνα βακτήρια για την προσκόλληση σε επιθηλιακά κύτταρα.
2. Αυξάνουν την παραγωγή βλεννίνης, εμποδίζουν τα παθογόνα μικρόβια να τραυματίσουν το επιθήλιο και μειώνουν τη διαπερατότητα των κυττάρων. Με αυτό τον τρόπο ενισχύουν τη λειτουργία του εντερικού επιθηλιακού φραγμού.
3. Εκκρίνουν αντιμικροβιακά πεπτίδια (π.χ βακτηριοσίνες) για να εμποδίσουν την ανάπτυξη των παθογόνων μικροβίων. Για παράδειγμα, η παραγωγή γαλακτικού οξέος από τα οξυγαλακτικά βακτήρια μειώνει το pH και μειώνει την ανάπτυξη των παθογόνων.
4. Αυξάνουν την παραγωγή Ανοσοσφαιρίνης Α που παίζει σημαντικό ρόλο στην εντερική χυμική ανοσία.
5. Ενισχύουν τη φαγοκυτταρική δραστηριότητα των λευκών αιμοσφαιρίων.
6. Αποτρέπουν διάφορες φλεγμονές, ρυθμίζοντας τη παραγωγή κυτοκίνης.
7. Παράγουν υπεροξειδίο του υδρογόνου που καταστέλλει τα παθογόνα που σχετίζονται με τη βακτηριακή κολπίτιδα (Ayivi et al., 2020).

#### **4.1.4. Ρόλος των προβιοτικών βακτηρίων στην υγεία του ανθρώπου**

Υπάρχουν αρκετές αποδείξεις για τα οφέλη που έχουν τα προβιοτικά βακτήρια στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της υγείας του εντέρου και του ανοσοποιητικού συστήματος, όπως και της πρόληψης του καρκίνου. Σε μία μετα-αναλυτική έρευνα, βρέθηκε ότι τα προβιοτικά (κυρίως τα *Lb. rhamnosus*, *Lb. casei* και η ζύμη *S. boulardii*) βοηθούν στη μείωση του κινδύνου της διάρροιας που προκαλείται από τη λήψη αντιβιοτικών. Επίσης, μπορούν να μειώσουν την ένταση των συμπτωμάτων των αλλεργιών, του AIDS και των λοιμώξεων του αναπνευστικού και του ουροποιητικού συστήματος. Τέλος, υπάρχουν κάποιες αναφορές για τα οφέλη τους στη γήρανση, την κόπωση, την οστεοπόρωση, την παχυσαρκία, το σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου και το διαβήτη τύπου 2 (Kechagia et al., 2013; Pandey et al., 2015).

#### 4.1.5. Προβιοτικά στα ζυμούμενα τρόφιμα

Τα προβιοτικά έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην παραγωγή προβιοτικών τροφίμων. Τα βασικά προβιοτικά προϊόντα που υπάρχουν στην αγορά είναι γαλακτοκομικά (όπως ζυμωμένα γάλατα, τυριά, παγωτά, γιαούρτια). Παρ'όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχουν αναδυθεί νέα ζυμούμενα τρόφιμα με προβιοτικά βακτήρια όπως σοκολάτες, λουκάνικα, λαχανικά, προϊόντα δημητριακών, προϊόντα σόγιας, χυμοί κ.α. (Kechagia et al., 2013; Mollakhalili & AM, 2017). Μερικά από τα πιο γνωστά τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση, όπως το sauerkraut, το κίμτσι, το κεφίρ, τα ξηρά ζυμωμένα λουκάνικα, το γιαούρτι, η κομπόχα, και το miso, περιέχουν συνήθως προβιοτικά βακτήρια σε ικανοποιητικές ποσότητες μεταξύ  $10^6$  και  $10^9$  CFU/g (Marco et al., 2017; Terrou et al., 2019).

Για να προστεθούν προβιοτικοί οργανισμοί σε ένα προϊόν τροφίμου, πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάσουν την βιωσιμότητά τους και την ενεργοποίησή τους στον εντερικό σωλήνα. Σημαντικοί παράγοντες είναι :

1. Η φάση ανάπτυξης των προβιοτικών
2. Οι συνθήκες αποθήκευσης, για παράδειγμα η θερμοκρασία
3. Η χημική σύσταση του τροφίμου που χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα (βιταμίνες, πρεβιοτικά, τιτλοδοτούμενη οξύτητα κ.α)
4. Πιθανή συνεργιστική ή ανταγωνιστική αλληλεπίδραση της καλλιέργειας εκκίνησης της ζύμωσης του τροφίμου, με τα προβιοτικά (Divya et al., 2012).

Τα προβιοτικά που υπάρχουν ή προστίθενται σε ένα τρόφιμο δε μεταβάλλουν την υφή, ωστόσο κάποια είδη μπορούν να παράξουν μεταβολίτες οι οποίοι θα βελτιώσουν την υφή του τροφίμου. Οι αλλαγές στην υφή με τη προσθήκη προβιοτικών έχει να κάνει με την παραγωγή εξωπολυσακχαριτών (exopolysaccharides-EPS) από τα LAB και εξαρτώνται από το είδος των LAB και τον τύπο των EPS που παράγονται (Guimarães et al., 2020).

#### 4.2. Πρεβιοτικά

Σύμφωνα με τον πιο πρόσφατο ορισμό, που δόθηκε το 2016 από την επιτροπή του ISAPP, τα πρεβιοτικά αποτελούν «υπόστρωμα που χρησιμοποιείται επιλεκτικά από τους μικροοργανισμούς του οργανισμού/ξενιστή, προάγοντας την υγεία του». Σύμφωνα με τον

επικαιροποιημένο επιστημονικό ορισμό, κάθε υποψήφια πρεβιοτική ουσία πρέπει να λειτουργεί ως υπόστρωμα για τους μικροοργανισμούς που προάγουν την υγεία του εντέρου ή κάποιας άλλης περιοχής (στοματική κοιλότητα κα.). Τα πρεβιοτικά απαιτούν επιλεκτική χρήση από ζωντανούς μικροοργανισμούς ξενιστών, με τρόπο που διατηρεί, βελτιώνει ή αποκαθιστά την υγεία του ξενιστή (Gibson et al., 2017).

Σε παλαιότερες έρευνες, η επιλεκτικότητα των πρεβιοτικών περιοριζόταν στη ενεργοποίηση των μικροοργανισμών του γένους *Lactobacillus* και *Bifidobacterium* spp. Σήμερα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο μοριακές μέθοδοι ανάλυσης για τη μελέτη του εντερικού μικροβιώματος και αυτό έχει οδηγήσει (α) στη βελτίωση της γνώσης της σύστασης του μικροβιώματος και (β) στην ανίχνευση νέων συστατικών με πρεβιοτική δράση που μπορεί να επηρεάζουν τον αποικισμό (Gibson et al., 2017).

#### **4.2.1. Κριτήρια επιλογής πρεβιοτικών**

Για να θεωρηθεί μία φυτική ίνα ως πρεβιοτική πρέπει να πληροί τουλάχιστον τρία κριτήρια (Petrova & Petrov, 2020):

1. Να μην υδρολύεται ή απορροφάται στο ανώτερο γαστρεντερικό σύστημα
2. Να αφομοιώνεται από τα ευεργετικά βακτήρια του παχέος εντέρου βοηθώντας στην ανάπτυξή τους.
3. Να προκαλεί κάποιο όφελος στην υγεία του καταναλωτή (Petrova & Petrov, 2020)

#### **4.2.2. Συστατικά που έχουν χαρακτηριστεί ως πρεβιοτικά**

Οι πιο γνωστές πρεβιοτικές ουσίες ανήκουν στους άπεπτους ολιγοσακχαρίτες, γαλακτοολιγοσακχαρίτες (galactooligosaccharides, GOS) και φρουκτοολιγοσακχαρίτες (fructooligosaccharides, FOS). Έχει αποδειχθεί ότι οι ολιγοσακχαρίτες του μητρικού γάλακτος, όπως και κάποιες διαιτητικές ίνες (κυτταρίνη, πηκτίνες κ.α), παρουσιάζουν πρεβιοτική δράση (Gibson et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα, ορισμένες χαρακτηριστικές ενώσεις με πρεβιοτική δράση είναι η λακτουλόζη, η λακτιτόλη, η ινουλίνη και η β-γλυκάνη (Xiang et al., 2019). Επίσης, έχουν μελετηθεί κι άλλοι άπεπτοι ολιγοσακχαρίτες ως υποψήφια πρεβιοτικά, όπως η ινουλίνη, οι ισομαλτο-ολιγοσακχαρίτες (isomaltooligosaccharides, IMO), ξυλο-ολιγοσακχαρίτες (xylooligosaccharides, XOS), η



λακτουλόζη, οι β-γλυκάνες, το ανθεκτικό άμυλο και οι ολιγοσακχαρίτες σόγιας. Τα πρεβιοτικά απαντώνται σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης, όπως τα σπαράγγια, το σκόρδο, τα πράσα, τα κρεμμύδια, τις μπανάνες, την αγκινάρα της Ιερουσαλήμ, το κιχώριο, το πίτουρο και αλεύρι σίτου και το κριθάρι (Florowska et al., 2016).

**Γαλακτοολιγοσακχαρίτες (galactooligosaccharides-GOS):** Οι GOS είναι μη- εύπεπτοι υδατάνθρακες που εμφανίζουν ανθεκτικότητα στα πεπτικά ένζυμα του γαστρεντερικού συστήματος. Ζυμώνονται στο κόλον και μετατρέπονται κυρίως σε βραχείας αλυσίδας λιπαρά οξέα, επομένως έχουν τη δυνατότητα βελτίωσης της απορρόφησης του ασβεστίου και του μαγνησίου (Glibowski & Skrzypczak, 2017).

**Φρουκτοολιγοσακχαρίτες (fructooligosaccharides-FOS):** Οι FOS είναι βραχείες και μεσαίου μήκους αλυσίδες από β-D-D-φρουκτάνες (υδατάνθρακες), που βρίσκονται σε τρόφιμα όπως κρεμμύδια, σκόρδα, σιτάρι, μπανάνες, τομάτες κ.λπ. Αυτοί οι ολιγοσακχαρίτες δεν πέπτονται από το γαστρεντερικό σύστημα και όταν φτάνουν στο κόλον, βοηθούν στην ενεργοποίηση των ωφέλιμων βακτηρίων του εντέρου (Vilela et al., 2020).

**Ινουλίνη:** Η ινουλίνη είναι ένας υδατάνθρακας που αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης και 2-60 πολυμερή φρουκτόζης συνδεδεμένα μέσω β- (2,1) γλυκοσιδικών δεσμών. Βρίσκεται σε τρόφιμα όπως κρεμμύδια, σκόρδα, ρίζες κιχωρίου κ.λπ. Η ινουλίνη εφαρμόζεται σε ευρύ φάσμα, χάρη στις λειτουργικές και θρεπτικές της ιδιότητες. Η πιο σημαντική ιδιότητά της είναι η ικανότητα δημιουργίας πηκτών που μιμούνται τα λίπη. Τέλος, όταν καταναλώνεται δεν πέπτεται από το γαστρεντερικό σύστημα (Glibowski & Skrzypczak, 2017; Vilela et al., 2020).

**Ξυλοολιγοσακχαρίτες (xylooligosaccharides-XOS):** Οι XOS είναι ολιγομερή υδατανθράκων αποτελούμενα από 2 έως 6 πολυμερή ξυλόζης, συνδεδεμένα μέσω β- (1,4)-ξυλοσιδικών δεσμών. Σε σύγκριση με άλλους ολιγοσακχαρίτες, οι XOS έχουν γλυκιά γεύση (προσεγγίζει το 92% της σακχαρόζης). Ως πρεβιοτικό συστατικό, βοηθά στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του παχέος εντέρου και του μεταβολισμού των προβιοτικών. Έχουν την ικανότητα να αλλάζουν ή να αυξάνουν τη σύνθεση λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας, μειώνοντας έτσι το pH του παχέος εντέρου (Glibowski & Skrzypczak, 2017).

**Λακτουλόζη:** Η λακτουλόζη είναι ένας ημισυνθετικός δισακχαρίτης που αποτελείται από d-φρουκτόζη και β-d-γαλακτόζη, ενωμένες με β-(1,4) γλυκοσιδικούς δεσμούς. Συνήθως η εμπορική λακτουλόζη είναι συνθετική αλλά μπορεί να δημιουργηθεί και με τη δράση ενζύμων (π.χ χρήση β-γαλακτοσιδασών). Δε χωνεύεται από τον ανθρώπινο γαστρεντερικό σωλήνα, αλλά φτάνει ανέπαφη στο παχύ έντερο και χρησιμοποιείται από βακτήρια των γενών Lactobacillus και Bifidobacterium (Glibowski & Skrzypczak, 2017).

**β-Γλυκάνες:** Οι β-γλυκάνες είναι γραμμικοί πολυσακχαρίτες και διαλυτές φυτικές ίνες που βρίσκονται στα κυτταρικά τοιχώματα των ενδοσπέρμιων κόκκων δημητριακών, όπως η βρώμη και το κριθάρι (έως 7%) ή σε μανιτάρια, φύκια και άλλα θαλάσσια φυτά. Μπορούν επίσης να εμφανιστούν στο ρύζι και τη σίκαλη.

Στον επικαιροποιημένο ορισμό των πρεβιοτικών, η δράση αυτών δεν περιορίζεται πλέον μόνο στη δράση τους στο παχύ έντερο. Τα περισσότερα πρεβιοτικά συστατικά που έχουν μελετηθεί, ανήκουν στην κατηγορία των υδατανθράκων. Παρ'όλα αυτά, φυτοχημικά όπως οι πολυφαινόλες αποτελούν επίσης μία κατηγορία συστατικών που μπορούν να ικανοποιήσουν τα κριτήρια των πρεβιοτικών. Περίπου ένα 90-95% των διαιτητικών πολυφαινολών δεν απορροφώνται στο λεπτό έντερο, επομένως φτάνουν στο κόλον, όπου και δέχονται βιομετασχηματισμό από τα βακτήρια του παχέος εντέρου. Ωστόσο, χρειάζονται πολύ περισσότερες μελέτες για την εξακρίβωση της δράσης τους και για τα οφέλη τους στην υγεία (Gibson et al., 2017). Αρκετά φυτοχημικά, όπως για παράδειγμα τα φλαβονοειδή, οι ανθοκυανίνες, οι υδρολύσιμες ταννίνες και τα καροτενοειδή, έχουν μελετηθεί και παρουσιάζει ευεργετικές ιδιότητες για την υγεία του παχέος εντέρου (Yin et al., 2019).

**Φλαβονοειδή:** Τα φλαβονοειδή αποτελούν υποκατηγορία φαινολικών, που αποτελούνται από δύο φαινυλο-δακτύλιους και έναν ετεροκυκλικό δακτύλιο. Απαντώνται σε πολλά φυτά και φρούτα όπως τα κράνμπερι και τα μύρτιλα. Υπάρχουν στοιχεία που προτείνουν ότι τα φλαβονοειδή και τα παράγωγά τους μπορούν να επηρεάσουν τις βακτηριακές αποικίες του εντέρου, για τη βελτίωση της λειτουργίας του ανοσοποιητικού του ξενιστή και τους έχουν αποδοθεί αντιβακτηριακές (ενάντια σε παθογόνα όπως του γένους Clostridium) και πρεβιοτικές ιδιότητες (Yin et al., 2019).

**Ανθοκυανίνες:** Οι ανθοκυανίνες είναι μία μεγάλη υποκατηγορία των φλαβονοειδών, που υπάρχουν σε φρούτα και λαχανικά (π.χ μύρτιλα, σμέουρα, μωβ λάχανο, μαρούλι). Οι

ανθοκυανίνες από πατάτες, μαύρο ρύζι κι άλλα τρόφιμα, σε *in vitro* ζύμωση είχαν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη, κυρίως ευεργετικών βακτηριακών αποικιών του εντέρου, όπως των *Bifidobacterium spp*, *Lactobacillus spp.*, *Staphylococcus aureus* και άλλα (Yin et al., 2019).

**Καροτενοειδή:** Τα καροτενοειδή είναι τετρατερπενοειδή μόρια και αποτελούν φυσικές χρωστικές που εντοπίζονται σε φρούτα και λαχανικά. Χωρίζονται σε υποκατηγορίες όπως ξανθοφύλλες (λουτεΐνη, ζεαξανθίνη) και καροτένια (β-καροτένιο, α-καροτένιο, ασταξανθίνη) και δρουν ως αντιοξειδωτικά για τη διατήρηση της καλής υγείας του ανθρώπου (Yin et al., 2019).

Οι διαιτητικές πολυφαινόλες έχουν συσχετιστεί με την πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και της γήρανσης αλλά και με μειωμένο κίνδυνο παχυσαρκίας και διαβήτη. Επίσης έχουν δείξει αντιμικροβιακές, αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες. Μία μετα-αναλυτική έρευνα, μελέτησε τις επιδράσεις τροφίμων, πλούσιων σε πολυφαινόλες (κρασί, μήλο, τσάι, μούρα και άλλα λαχανικά και φρούτα), στους μικροβιακούς πληθυσμούς του εντέρου του ανθρώπου. Με την κατανάλωση αυτών των τροφών, παρατηρήθηκε κυρίως άυξηση των ευεργετικών μικροοργανισμών του εντέρου *Lactobacillus* και *Bifidobacterium*, ενώ μείωσε τους πληθυσμούς του είδους *Clostridium* που είναι πιθανά παθογόνα (Ma & Chen, 2020).

Όσον αφορά την αντιοξειδωτική δράση των πολυφαινολών, οι Sun et al. (2015), δημιούργησαν ένα ζυμωμένο αφέψημα με διάφορες αναλογίες σε χυμό σιτόχορτου και μαύρο τσάι. Οι αντιοξειδωτικές δράσεις του αφεψήματος αυτού συγκρίθηκαν με αυτές της παραδοσιακής κομπούχας (*kombu*), ενός ζυμωμένου τσαγιού που δημιουργείται από τη ζύμωση κυρίως μαύρου τσαγιού με τη βοήθεια μίας συμβιωτικής καλλιέργειας που περιέχει διάφορους μικροοργανισμούς. Το ζυμωμένο αφέψημα (νέα κομπούχα με χυμό σιτόχορτου και μαύρο τσάι) ζυμώθηκε από καλλιέργεια που περιείχε ζύμες και οξικά βακτήρια. Το τελικό προϊόν παρουσίασε αντιοξειδωτική δράση χάρη στα φλαβονοειδή, της ανθοκυανίνες αλλά και τις φαινολικές ενώσεις του ζωμού της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, οι ενώσεις που προσέδωσαν αντιοξειδωτική δράση στην νέα κομπούχα ήταν το γαλλικό οξύ, οι κατεχίνες και το καφεϊκό οξύ της παραδοσιακής κομπούχας αλλά και κάποιες ενώσεις του σιτόχορτου που αύξησαν την αντιοξειδωτική δράση όπως το φερουλικό οξύ, η ρουτίνη και το χλωρογενικό οξύ (Sun et al., 2015).

Οι πολυφαινόλες του τριαντάφυλλου έχουν επίσης εμφανίσει αντιοξειδωτικές και αντιβακτηριακές ιδιότητες. Γι' αυτό οι Zhang et al. (2017) δημιούργησαν ξηρά ζυμωμένα λουκάνικα (η ζύμωση πραγματοποιήθηκε από τη φυσική τους μικροχλωρίδα) με προσθήκη πολυφαινολών τριαντάφυλλου. Στα ξηρά ζυμωμένα λουκάνικα που προστέθηκαν 3mg/g πολυφαινολών τριαντάφυλλου εμποδίστηκε η δράση των βιογενών αμινών (βασικές αζωτούχες ενώσεις, συνήθως ανεπιθύμητες στα τρόφιμα) και η οξείδωση των λιπιδίων και μειώθηκε το συνολικό μικροβιακό φορτίο αλλά αυξήθηκαν επιλεκτικά τα LAB. Συμπερασματικά, οι πολυφαινόλες τριαντάφυλλου μπορούν να βοηθήσουν στην παραγωγή προϊόντων με αυξημένη λειτουργική αξία, αλλά και να ευνοήσουν τη βιωσιμότητα ευεργετικών μικροοργανισμών στο τρόφιμο (Zhang et al., 2017).

#### **4.2.3. Δράση πρεβιοτικών στα τρόφιμα**

Τα πρεβιοτικά όταν προστίθενται σε τρόφιμα, μπορούν να αλλάξουν τη δομή των τροφίμων και τη ρεολογική συμπεριφορά τους. Η ικανότητα των ινών να αλλάζουν την υφή των τροφίμων συνδέεται με το βαθμό πολυμερισμού και το μήκος αλυσίδας, καθώς μεταβάλλει τη διαλυτότητα των ινών στο νερό και την αλληλεπίδραση αυτών με άλλες ενώσεις των τροφίμων (π.χ πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες), που είναι υπεύθυνες για τη δομή και την υφή τους. (Guimarães et al., 2020).

Για παράδειγμα, στη μελέτη τους οι Costa et al. (2019) πρόσθεσαν διάφορα πρεβιοτικά σε ελληνική γιαούρτη και αξιολόγησαν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά και τις πτητικές ουσίες στο τελικό προϊόν. Με προσθήκη GOS, πολύ-δεξτρόζης, και ινουλίνης παράχθηκε προϊόν πιο συνεκτικό, ελαστικό, παχύρρευστο, σταθερό και με επιθυμητές πτητικές ουσίες. Αντιθέτως, η προσθήκη FOS στην ελληνική γιαούρτη είχε αρνητικό αντίκτυπο στα ρεολογικά χαρακτηριστικά της. Επομένως, η προσθήκη GOS, πολυδεξτρόζης και ινουλίνης φαίνεται αποτελεσματική τεχνολογική εναλλακτική για την παραγωγή γιαούρτης (Costa et al., 2019; Guimarães et al., 2020).

Οι Heydari et al. (2018) μελέτησαν την προσθήκη έξι διαφορετικών πρεβιοτικών (ινουλίνη, λακτουλόζη, λακτιτόλη, άμυλο αραβοσίτου, μαλτοδεξτρίνη και β-γλυκάνη) σε προβιοτικό γιαούρτι. Εξετάστηκαν η συναίρεση, τα οργανοληπτικά και ρεολογικά χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η β-γλυκάνη (συγκέντρωση 1.5%) και το

άμυλο αραβοσίτου(1.5%) έδωσαν προϊόν με βελτιωμένη συναίρεση, όπως και ρεολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Heydari et al., 2018).

#### **4.2.4. Αλληλεπίδραση προβιοτικών και πρεβιοτικών**

Μέσω της διατροφής, ο άνθρωπος λαμβάνει ορισμένα πρεβιοτικά, όπως τα φυτοχημικά, τα οποία δεν είναι άμεσα βιοδιαθέσιμα. Επομένως, η αρχική τους μορφή δεν είναι εύκολα απορροφήσιμη από τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα προβιοτικά των lactobacilli και bifidobacteria που προέρχονται από το μικροβιακό οικοσύστημα του παχέος εντέρου, όπου οι oligo- και πολυσακχαρίτες είναι η μόνη πηγή άνθρακα, μπορούν να διασπάσουν αυτά τα φυτοχημικά (π.χ ισοφλαβόνες) μέσω της παραγωγής ενζύμων (π.χ β-γλυκοσιδάση) ή να τα μεταβολίσουν ώστε να τα μετατρέψουν σε βιοδραστικά συστατικά (Rossi et al., 2013).

Τα πρεβιοτικά είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση των προβιοτικών βακτηρίων. Οι προβιοτικοί μικροοργανισμοί υδρολύουν τα πρεβιοτικά στο έντερο και παράγουν μεταβολίτες, όπως είναι τα λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας (Short-Chain Fatty Acids-SCFAs), με χαρακτηριστικότερα το προπιονικό και βουτυρικό οξύ, που έχουν ευεργετικές ιδιότητες στην υγεία (Guimarães et al., 2020). Επομένως τα πρεβιοτικά αλληλεπιδρούν με τους προβιοτικούς μικροοργανισμούς και μπορούν να μεταβάλουν κάποιους πληθυσμούς τους, προωθώντας τη συμβίωση και όχι τη διαταραχή της ισορροπίας μεταξύ ωφέλιμων και παθογόνων βακτηρίων υπέρ των παθογόνων (δυσβίωση).

#### **4.3. Συμβιωτικά (Synbiotics)**

Πέρα από τα οφέλη που έχουν στην υγεία τα προβιοτικά και τα πρεβιοτικά ξεχωριστά, μία ακόμα πολύ σημαντική έννοια που έχει αναδυθεί τα τελευταία χρόνια είναι τα συμβιωτικά. Ο όρος συμβιωτικά (synbiotics) αναφέρεται στη συνεργιστική δράση των προβιοτικών και των πρεβιοτικών, ο συνδυασμός των οποίων έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων και την ικανότητα προσκόλλησής τους στο γαστρεντερικό σωλήνα. Τα πρεβιοτικά προκαλούν επιλεκτικά την ανάπτυξη ενός ή περισσότερων ωφέλιμων βακτηρίων και ενεργοποιούν το μεταβολισμό τους. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα προβιοτικά για συμβίωση, είναι οι γαλακτοβάκιλλοι (lactobacilli), τα bifidobacteria, το *S. boulardii* και το *Bacillus coagulans*, ενώ τα πιο συχνά πρεβιοτικά είναι οι FOS, οι GOS, οι XOS και η ινουλίνη. Τα συμβιωτικά έχουν

χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια στην παραγωγή ζυμούμενων τροφίμων (Guimarães et al., 2020; Pandey et al., 2015; Terpou et al., 2019; Xiang et al., 2019).

#### **4.3.1. Πιθανά οφέλη των συμβιωτικών στην ανθρώπινη υγεία**

Τα συμβιωτικά αναπτύχθηκαν κυρίως για να ξεπεράσουν τις πιθανές δυσκολίες επιβίωσης των προβιοτικών. Η λογική της ανάπτυξης και χρήσης συμβιωτικών, φαίνεται να έχει βασιστεί σε παρατηρήσεις που δείχνουν τη βελτίωση της βιωσιμότητας των προβιοτικών κατά τη διέλευσή τους μέσω του άνω εντερικού σωλήνα. Κάποιοι ισχυρισμοί υγείας που έχουν αποδοθεί στη συνεργιστική δράση προβιοτικών και πρεβιοτικών είναι (Pandey et al., 2015):

1. Αύξηση των lactobacilli και bifidobacteria στο εντερικό μικροβίωμα
2. Βελτίωση της λειτουργίας του συκωτιού σε ανθρώπους που πάσχουν από κίρρωση ήπατος
3. Ικανότητα βελτίωσης της ανοσορύθμισης
4. Μείωση περιστατικών νοσοκομειακών λοιμώξεων σε χειρουργημένους ασθενείς κ.α (Pandey et al., 2015).

#### **4.3.2. Παραδείγματα ερευνών για συμβιωτικά σε ζυμούμενα τρόφιμα**

Οι Kınık et al. (2017) διεξήγαγαν πείραμα για την αξιολόγηση προβιοτικών ως συμπληρωματικής καλλιέργειας και της χρήσης ινουλίνης και ολιγοφρουκτόζης ως πρεβιοτικά, σε συμβιωτικά κατσικίσια τυριά κατά την ωρίμαση. Τα προβιοτικά που προστέθηκαν αύξησαν τις αρωματικές ενώσεις στο τρόφιμο και η συνεργιστική δράση των προ- και πρεβιοτικών άλλαξαν σημαντικά το προφίλ της υφής. Τα πιο επιθυμητά τυριά βρέθηκαν να περιέχουν *E. faecium* μαζί με ολιγοφρουκτόζη (Kınık et al., 2017).

Σε άλλη πρόσφατη έρευνα που διεξάχθηκε από τους Speranza et al. (2018) δοκιμάστηκε η δημιουργία λειτουργικής φρέσκιας κρέμας τυριού με *B.animalis* subsp. *lactis* DSM 10140 ή *Lb.reuteri* DSM 20016 και πρεβιοτικά (ινουλίνη, FOS, λακτουλόζη). Η λακτουλόζη είχε θετική επιρροή στην απόδοση/ικανότητα καλλιέργειας του *B.animalis* subsp. *lactis* DSM 10140 και οι FOS παρέτειναν την ικανότητα καλλιέργειας του *Lb. reuteri* DSM 20016. Στους 30°C παρατηρήθηκε παράταση του χρόνου θανάτου σε πάνω

από 300 μέρες, σε σχέση με το δείγμα-μάρτυρα όπου ο χρόνος θανάτου ήταν περίπου 100 μέρες. Στους 45°C παρατηρήθηκε παράταση του χρόνου θανάτου σε 33 μέρες με FOS, 35 με ινουλίνη και 38 με λακτουλόζη (μάρτυρας 32,2 μέρες). Το τελικό προϊόν είχε επιθυμητά χαρακτηριστικά στην ικανότητα καλλιέργειας και των δύο μικροοργανισμών, οι οποίοι διατήρησαν καλλιεργήσιμα κύτταρα σε υψηλότερα επίπεδα από το προτεινόμενο, για 28 μέρες αποθήκευσης στους 4°C. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, τα πρεβιοτικά είχαν θετικές συνέπειες στην ανάπτυξη των δύο στελεχών (Speranza et al., 2018).

Οι Shafi et al. (2019) αξιολόγησαν τις αντιμικροβιακές και αντιδιαβητικές ιδιότητες συμβιωτικού ζυμωμένου γάλακτος, αξιοποιώντας διάφορα επίπεδα πρεβιοτικών συστατικών (FOS και ισομαλτοολιγοσακχαρίτη). Το μέγιστο επίπεδο ανάπτυξης του *Lactobacillus acidophilus* ATCC® 4357™ παρατηρήθηκε με προσθήκη 2.345–2.445% FOS και 2.53–2.62% ισομαλτοολιγοσακχαρίτη. Το ζυμωμένο γάλα, χάρη στη προσθήκη των πρεβιοτικών, παρουσίασε αντιμικροβιακές ιδιότητες ενάντια στο *Escherichia coli* και το *Staphylococcus aureus* και μείωση στα επίπεδα γλυκόζης, ουρίας και κρεατινίνης στο αίμα διαβητικών κουνελιών (Shafi et al., 2019).

Ψευδοδημητριακά όπως ο αμάρανθος, η κινόα και το φαγόπυρο έχουν μελετηθεί για τις προβιοτικές και πρεβιοτικές ιδιότητές τους όταν ζυμωθούν. Υπάρχουν θετικές ενδείξεις, ότι τα υποστρώματα αυτά είναι ικανά να φιλοξενήσουν προβιοτικά βακτήρια τα οποία διατηρούνται σε ικανοποιητικές ποσότητες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Έρευνες έχουν δείξει ότι μειώνουν τη δράση των παθογόνων και παράγουν SCFAs χάρη στις πρεβιοτικές τους ιδιότητες. Χάρη σε αυτές τις ιδιότητες, θεωρούνται καλές πηγές για δημιουργία συμβιωτικών προϊόντων που θα βοηθήσουν στη ρύθμιση της ισορροπίας συμβίωσης/δυσβίωσης, της παχυσαρκίας, της χρόνιας εντερικής νόσου κ.α. Θα χρειαστούν όμως περαιτέρω κλινικές δοκιμές για τη μελέτη της δράσης τους στο εντερικό μικροβίωμα, καθώς και για δημιουργία νέων ζυμωμένων προϊόντων με βάση τα ψευδοδημητριακά (Ugural & Akyol, 2020).

#### **4.4. Μεταβιοτικά (Postbiotics)**

Σύμφωνα με τον ISAPP τα μεταβιοτικά προκύπτουν από την «παρασκευή μη ενεργών μικροοργανισμών και/ή των συστατικών τους που παρέχουν οφέλη για την υγεία του ξενιστή». Τα μεταβιοτικά είναι σκοπίμως απενεργοποιημένα μικρόβια με ή χωρίς μεταβολίτες ή κυτταρικά συστατικά που ωφελούν την ανθρώπινη υγεία. Ένα μικρόβιο δε

χρειάζεται να προέρχεται από προβιοτικό μικροοργανισμό για να χαρακτηριστεί μεταβιοτικό. Επίσης η δράση τους, δεν είναι περιορισμένη στο έντερο, αντιθέτως θα πρέπει να χορηγούνται σε κάποια επιφάνεια του ξενιστή, όπως η στοματική κοιλότητα, το έντερο, ο ρινοφάρυγγας, το δέρμα κ.α. Επομένως, η χορήγηση σε ενέσιμη μορφή είναι εκτός του πεδίου των μεταβιοτικών. Πολλά μεταβιοτικά περιλαμβάνουν θανατωμένα στελέχη από την οικογένεια Lactobacillaceae, το γένος Bifidobacterium, συγκεκριμένα στελέχη των Akkermancia muciniphila, Faecalibacterium prausnitzii, Bacteroides uniformis κ.α (Salminen et al., 2021). Εκτός από βακτήρια, μπορούν να περιλαμβάνουν βακτηριακά ένζυμα και πεπτίδια, μεταβολίτες όπως τειοϊκά οξέα παραγόμενα από βακτήρια, πολυσακχαρίτες και κατώτερα οργανικά οξέα (πχ. γαλακτικό οξύ) (Tomasik & Tomasik, 2020).

Τα μεταβιοτικά μπορούν να ενεργοποιήσουν το ανοσολογικό σύστημα, βοηθώντας πιθανώς το έντερο να αποκτήσει αντιφλεγμονώδη, ανοσορυθμιστική, αντι-υπερτασική, αντιοξειδωτική κι άλλες οφέλιμες δράσεις (Tomasik & Tomasik, 2020). Επίσης, ενδέχεται να μπορούν να επηρεάσουν το εντερικό μικροβίωμα έμμεσα, εφόσον φέρουν ουσίες όπως το γαλακτικό οξύ, το οποίο μπορεί να καταναλωθεί από κάποια μικρόβια και να παραχθούν SCFAs που έχουν ωφέλιμες λειτουργίες (Salminen et al., 2021).

Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση ενδέχεται να περιέχουν θανατωμένα μικροβιακά κύτταρα, ειδικά μετά από παρατεταμένο χρόνο αποθήκευσης ή μετά από την επεξεργασία (πχ. παστερίωση) ή το ψήσιμο (πχ. ψωμί με προζύμι) (Salminen et al., 2021). Η ζύμωση είναι η πιο κοινή πηγή μεταβιοτικών. Για παράδειγμα, οι σπόροι δημητριακών έχουν σημαντική περιεκτικότητα σε βιταμίνες του συμπλέγματος Β. Όμως λόγω των επεξεργασιών που δέχονται (πχ. άλεσμα, θερμική επεξεργασία), το περιεχόμενο των βιταμινών μειώνεται. Για το λόγο αυτό, οι σπόροι μπορούν να ζυμωθούν έτσι ώστε να λάβει μέρος η βακτηριακή σύνθεση βιταμινών του συμπλέγματος Β που θα αυξήσουν και πάλι τη θρεπτική αξία των δημητριακών (Tomasik & Tomasik, 2020).

## **5. Η χρήση προβιοτικών και πρεβιοτικών για την παρασκευή λειτουργικών τροφίμων**

Ο όρος «λειτουργικά τρόφιμα» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά κατά τη δεκαετία του '80 στην Ιαπωνία. Αναφέρεται σε τρόφιμα τα οποία έχουν αποκτήσει προστιθέμενες λειτουργίες μέσω του εμπλουτισμού τους με νέα ή ήδη υπάρχοντα συστατικά. Αυτά τα συστατικά συνήθως είναι βιταμίνες, ιχνοστοιχεία και άλλες εξειδικευμένες ουσίες με



συγκεκριμένες δράσεις (πχ. προβιοτικά, ω3 λιπαρά οξέα) (Διαμαντοπούλου Δ., 2015). Για τα λειτουργικά τρόφιμα δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος ορισμός. Ανάλογα με τη χώρα, τις εταιρίες και τις επιστημονικές και καταναλωτικές προσεγγίσεις, έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί (Tomasik & Tomasik, 2020). Γενικά μπορούν να χαρακτηρισθούν ως τα τρόφιμα ή τα συστατικά των τροφίμων που πέρα από τη θρεπτική αξία που ήδη έχουν, παρέχουν οφέλη στην υγεία και μπορούν να αποτελέσουν μέρος της καθημερινής διατροφής (Διαμαντοπούλου Δ., 2015). Τα λειτουργικά τρόφιμα έχουν ως στόχο τη βελτίωση της ανθρώπινης υγείας, της πρόληψης ή μείωσης του κινδύνου συγκεκριμένων ασθενειών (π.χ καρκίνος, στεφανιαία νόσος) και τη συμβολή στην διαμόρφωση σωματικής και πνευματικής ευεξίας (Διαμαντοπούλου Δ., 2015).

Η λίστα των λειτουργικών τροφίμων, περιλαμβάνει κυρίως τα εξής:

- Παραδοσιακά τρόφιμα με βιοδραστικά συστατικά (π.χ διαιτητικές ίνες), ή τρόφιμα που έχουν εμπλουτισθεί με κάποια συστατικά, όπως προβιοτικά και αντιοξειδωτικά
- Τρόφιμα στα οποία έχει μειωθεί κάποιο επιβλαβές συστατικό (π.χ αλάτι, κορεσμένα λιπαρά οξέα)
- Τρόφιμα των οποίων κάποια φυσικά συστατικά έχουν δεχθεί τροποποίηση με χημικές μεθόδους, ώστε να προσφέρουν οφέλη στην ανθρώπινη υγεία (π.χ υδρόλυση των πρωτεϊνών για να μειωθεί η πιθανότητα εμφάνισης αλλεργιογόνου επίδρασης)
- Τρόφιμα με αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα ενός ή περισσότερων συστατικών, με σκοπό να παρέχουν αυξημένη απορρόφηση κάποιου συστατικού (π.χ ιχνοστοιχεία)
- Κοινά λειτουργικά συστατικά ή καινοτόμα λειτουργικά συστατικά που προστίθενται σε παραδοσιακά τρόφιμα (π.χ πρεβιοτικά, ινουλίνη, φυτοχημικά) (Leroy & De Vuyst, 2014; Διαμαντοπούλου Δ., 2015).

Τα τελευταία χρόνια, τα επικρατέστερα λειτουργικά συστατικά που χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων είναι οι προβιοτικοί μικροοργανισμοί και οι πρεβιοτικές ουσίες. Παρά τη μεγάλη ζήτηση για πιο θρεπτικά και λειτουργικά τρόφιμα, αυτά δεν έχουν

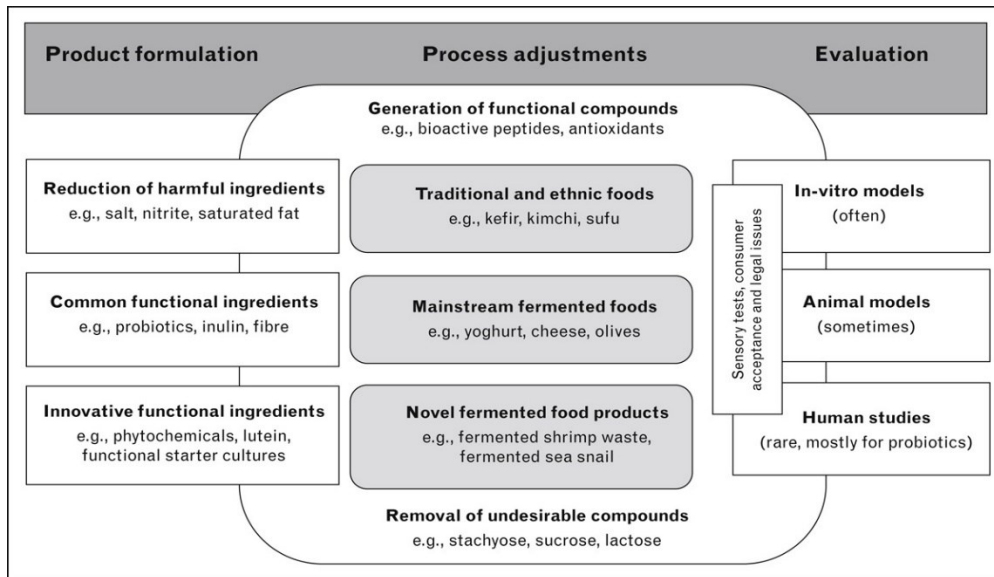
ακόμα μεγάλο μερίδιο στην αγορά, κυρίως λόγω της χαμηλής οργανοληπτικής αποδοχής από τους καταναλωτές. Για αυτό το λόγο, οι πρόσφατες έρευνες επικεντρώνονται στη μελέτη της δράσης των λειτουργικών συστατικών (όπως προβιοτικά, πρεβιοτικά) στην υφή και ποιότητα των τροφίμων για να δημιουργήσουν πιο εμπορικώς αποδεκτά προϊόντα (Guimarães et al., 2020).

### **5.1. Ζυμούμενα τρόφιμα με λειτουργικά συστατικά**

Η ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων είναι από τις κύριες τάσεις της σύγχρονης αγοράς τροφίμων, συχνά με επίκεντρο τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση. Για παράδειγμα, στην Ιταλία τα «υγιεινά γιαούρτια» αποτελούν το κύριο τμήμα της αγοράς των λειτουργικών τροφίμων. Πέρα από τα ζυμούμενα γαλακτοκομικά προϊόντα, ως φορείς λειτουργικών συστατικών έχουν επιλεγεί και προϊόντα σόγιας, λαχανικών, δημητριακών και χυμών φρούτων. Ωστόσο, είναι σημαντικό να αξιολογηθούν και να συνεκτιμηθούν οι προτιμήσεις και απαιτήσεις των καταναλωτών για την αποδοχή αυτών των προϊόντων (π.χ αποδοχή οργανοληπτικών χαρακτηριστικών) (Leroy & De Vuyst, 2014). Τα παραδοσιακά ή καινοτόμα ζυμούμενα τρόφιμα παράγονται για την πρόσδοση θρεπτικών και ποιοτικών πλεονεκτημάτων, βελτιώνοντας τη διατροφή στο γενικό πληθυσμό, αλλά και σε πιο συγκεκριμένες ομάδες καταναλωτών, όπως οι βίγκαν, τα άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη και τα άτομα που ακολουθούν διατροφές με περιορισμένη χοληστερόλη (Xiang et al., 2019). Γενικά τα οφέλη των ζυμούμενων τροφίμων για την υγεία, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: (α) τη θρεπτική λειτουργία, δηλαδή τη λειτουργία των τροφίμων για την παροχή επαρκών θρεπτικών συστατικών και (β) την επίδραση στη φυσιολογία, και τις θεραπευτικές ιδιότητες (π.χ η κατανάλωση του κίμτσι βοηθά στη μείωση της αντίστασης στην ινσουλίνη άρα και στη μείωση της εμφάνισης διαβήτη). Γνωρίζοντας το ενδιαφέρον των καταναλωτών για αυτά τα οφέλη, οι βιομηχανίες τροφίμων εκμεταλλεύονται αυτή τη ζήτηση, παράγοντας ζυμούμενα τρόφιμα με πρόσθετες λειτουργικές ιδιότητες (Fazilah et al., 2018).

#### **5.1.1. Στρατηγικές παραγωγής λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων**

Οι κυριότερες στρατηγικές παραγωγής λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.



**Εικόνα 6.** Στρατηγικές για την παραγωγή λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων (Leroy & De Vuyst, 2014).

**Πρώτη στρατηγική:** Μια στρατηγική για τη δημιουργία λειτουργικών ζυμωμένων τροφίμων είναι η προσθήκη προβιοτικών μικροοργανισμών. Οι τελευταίοι, συχνά παρουσιάζουν αργή ανάπτυξη μέσα στο τρόφιμο, οπότε συχνά δεν είναι ικανοί να καθοδηγήσουν τη ζύμωση. Έτσι συνήθως προστίθενται στην κλασική εκκινητήρια καλλιέργεια σαν συμπληρωματική καλλιέργεια. Τα προβιοτικά θα πρέπει να προστίθενται σε επαρκείς ποσότητες στο τρόφιμο, διότι πολλοί επίσημοι οργανισμοί τροφίμων απαιτούν τα κατώτερα επίπεδα των μικροοργανισμών αυτών στο τελικό προϊόν να είναι 6-7log cfu/g ώστε αυτό να θεωρηθεί αποτελεσματικό. Επομένως, είναι υψίστης σημασίας η επιβίωση των προβιοτικών στο τελικό προϊόν, κατά την επεξεργασία και αποθήκευση, καθώς ορισμένοι χειρισμοί ή προστιθέμενα συστατικά (πχ. χυμοί φρούτων) μπορεί να θανατώσουν τις αποικίες (Leroy & De Vuyst, 2014).

Οι Mantzourani et al. (2019) μελέτησαν τη ζύμωση χυμού ροδιού για 24 ώρες με το προβιοτικό στέλεχος *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917 και αποθήκευση για 4 εβδομάδες σε θερμοκρασία ψύξης. Στο τέλος, ο ζυμωμένος χυμός είχε υψηλά επίπεδα μικροοργανισμών (>8.8 log cfu/ml), το στέλεχος ήταν αποτελεσματικό όσον αφορά τη ζύμωση γαλακτικού οξέος, οι επιθυμητές πτητικές ουσίες όπως αλκοόλες, κετόνες, εστέρες ήταν σε υψηλότερη περιεκτικότητα από ότι στο μη ζυμωμένο χυμό, ο οποίος είχε και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φαινολικά συστατικά και αυξημένες αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, δεν υπήρξε αξιοσημείωτη διαφορά παρά μόνο την τέταρτη εβδομάδα που οι καταναλωτές προτίμησαν το ζυμωμένο

χυμό ροδιού. Άρα η προσθήκη του προβιοτικού στελέχους οδήγησε στη δημιουργία λειτουργικού φρουτοχυμού με χαμηλούς αλκοολικούς βαθμούς (Mantzourani et al., 2019).

**Δεύτερη στρατηγική:** Μία εναλλακτική λύση για την προαναφερθείσα στρατηγική, είναι ο έλεγχος των μικροοργανισμών που υπάρχουν φυσικά μέσα στα ζυμούμενα τρόφιμα, για τον εντοπισμό πιθανών προβιοτικών ιδιοτήτων. Αυτή η στρατηγική, έχει το πλεονέκτημα ότι τα στελέχη αυτά είναι ήδη προσαρμοσμένα στο περιβάλλον του τροφίμου, οπότε έχουν ενισχυμένη βιωσιμότητα κατά τη ζύμωση. Συνήθως για τον εντοπισμό προβιοτικών λειτουργιών, γίνεται *in vitro* έλεγχος που εστιάζει στην αντίσταση στην οξύτητα και τα χολικά άλατα, την προσκόλληση σε επιθηλιακά κύτταρα του κόλον, την παραγωγή αντιμικροβιακών συστατικών κ.α. Ακόμα και να γίνουν αυτοί οι έλεγχοι, δεν αρκούν για να προσδώσουν προβιοτικές ιδιότητες σε ένα στέλεχος. Χρειάζονται περαιτέρω έλεγχοι για τα οφέλη τους στην ανθρώπινη υγεία, με παρέμβαση μέσω εξέτασης της δράσης τους σε υγιή άτομα (Leroy & De Vuyst, 2014).

Για παράδειγμα, το κεφίρ που είναι ένα όξινο, ελαφρώς αλκοολούχο γαλακτοκομικό προϊόν ζύμωσης με καταγωγή από τις χώρες του Καυκάσου και της Μέσης Ανατολής, ζυμώνεται από τους λεγόμενους κόκκους κεφίρ οι οποίοι περιέχουν προβιοτικά βακτήρια (Sharifi et al., 2017). Οι Golowczyc et al. (2008), αξιολόγησαν κάποιους αποδεδειγμένους δείκτες προβιοτικής δράσης 11 στελεχών ομογαλακτικών βακτηρίων, απομονωμένων από κόκκους κεφίρ. Όλα τα στελέχη έδειξαν αντοχή στα χολικά άλατα και μεγάλη ικανότητα αναστολής της ανάπτυξης των παθογόνων *Salmonella typhimurium* και *E. coli* (Golowczyc et al., 2008). Επίσης, το κεφίρ περιέχει τον πολυσακχαρίτη kefiran, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντιοξειδωτικός, αντικαρκινικός και αντιμικροβιακός παράγοντας (Sharifi et al., 2017).

**Τρίτη στρατηγική:** Μία τρίτη στρατηγική για τη δημιουργία λειτουργικών ζυμούμενων τροφίμων, είναι η επιλογή μικροοργανισμών οι οποίοι κατά τη διάρκεια της ζύμωσης παράγουν λειτουργικά συστατικά. Η προσέγγιση αυτή συνήθως επικεντρώνεται στην παραγωγή βιοδραστικών πεπτιδίων, συστατικά τα οποία μπορούν να εμφανίσουν αντιοξειδωτικές, ανοσορρυθμιστικές, αντιδιαβητικές, αντικαρκινικές και άλλες ιδιότητες, ωφέλιμες για την ανθρώπινη υγεία (Leroy & De Vuyst, 2014).

Οι Wang et al. (2013) διεξήγαγαν πείραμα, στο οποίο ένα προϊόν σόγιας υπέστη ζύμωση στερεάς κατάστασης με *Bacillus subtilis natto* και εξετάστηκε η παραγωγή πεπτιδίων. Στο προϊόν εντοπίστηκε ένα νέο πεπτίδιο που δρα ως αναστολέας του μετατρεπτικού ενζύμου της αγγειοτενσίνης (ACE-inhibitory peptide). Συνεπώς, το πεπτίδιο αυτό φαίνεται να εμφανίζει πιθανή αντι-υπερτασική δράση (Wang et al., 2013).

**Τέταρτη στρατηγική:** Στα ζυμούμενα τρόφιμα, μπορούν επίσης να προστεθούν μη μικροβιακά συστατικά, όπως βιταμίνες, μέταλλα, αντιοξειδωτικά, απαραίτητα λιπαρά οξέα, διαιτητικές ίνες, φυτικές στερόλες, πρεβιοτικά (πχ. ινουλίνη) και άλλα. Για την παραγωγή και διάθεση τέτοιων προϊόντων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν (α) η συμβατότητα των προστιθέμενων συστατικών με το τρόφιμο/υπόστρωμα και τη μικροχλωρίδα του και (β) η αποδοχή τους από τους καταναλωτές (Leroy & De Vuyst, 2014).

Για παράδειγμα, καθώς η ζήτηση για μη γαλακτοκομικά προβιοτικά αφεψήματα έχει συναντήσει μεγάλη αύξηση στην αγορά των λειτουργικών τροφίμων, οι Freire et al. (2017), δημιούργησαν νέα ζυμωμένα αφεψήματα από ρύζι και αραβόσιτο. Για τη ζύμωση χρησιμοποίησαν τα στελέχη *Lb.plantarum* CCMA 0743, *Torulasporea delbrueckii* CCMA 0235 και το εμπορικό στέλεχος *Lb. acidophilus* LACA 4 ως μικτή καλλιέργεια. Επίσης έγινε προσθήκη FOS σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν αρκετά μεγάλη αποδοχή των τελικών προϊόντων και οι FOS βοήθησαν στην επιβίωση πάνω από  $10^7$  cfu/mL των προβιοτικών κατά τη ζύμωση και ψύξη για 28 ημέρες. Αυτά τα συμβιωτικά ζυμωμένα αφεψήματα φαίνεται να έχουν προοπτικές για μια θέση στην αγορά των λειτουργικών τροφίμων (Freire et al., 2017).

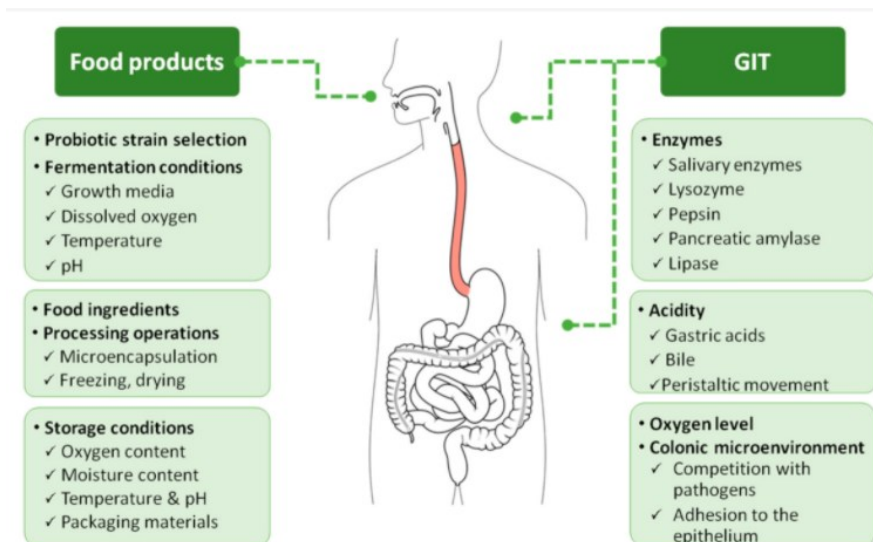
**Πέμπτη στρατηγική:** Τέλος, μία ακόμα πολύ χρήσιμη στρατηγική για την παραγωγή ζυμούμενων τροφίμων με λειτουργικές ιδιότητες, είναι η μείωση ή αφαίρεση συστατικών που είναι ανεπιθύμητα από τους καταναλωτές (πχ αλάτι, κορεσμένα λιπαρά, γλουτένη, σουκρόζη, λακτόζη) (Leroy & De Vuyst, 2014). Για παράδειγμα, στις Δυτικές χώρες, τα ξηρά ζυμούμενα λουκάνικα είναι μέρος των διατροφικών συνηθειών των ανθρώπων. Όμως οι διατροφικές οδηγίες παγκοσμίως, προτείνουν τη μειωμένη κατανάλωση κρεατικών. Άρα μία τάση αυτής της εποχής είναι να δημιουργηθούν πιο υγιεινά προϊόντα κρέατος με μειωμένα λιπαρά και περιεχόμενο χοληστερόλης και με πρόσθετα λειτουργικά συστατικά (Melini et al., 2019). Ένας τρόπος παραγωγής πιο υγιεινών ζυμωμένων προϊόντων κρέατος είναι η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων (πχ *Lb.*

plantarum, Lb. sakei, Lb. paracasei, Lb. rhamnosus). Τα λιπίδια του κρέατος δρουν ως προστάτες των προβιοτικών κατά το πέρασμά τους από το γαστρεντερικό σύστημα, άρα τα ζυμωμένα κρέατα είναι επιθυμητά υποστρώματα για τη βελτίωση της επιβίωσης των προβιοτικών. Ένας δεύτερος τρόπος, είναι η προσθήκη διαιτητικών ινών, οι οποίες μπορούν να δράσουν ως υποκατάστατα του ζωικού λίπους. Κάποιες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διαιτητικές ίνες στα ζυμούμενα προϊόντα κρέατος είναι η ινουλίνη, οι FOS, η β-γλυκάνη, η αδιάλυτη βρώμη, το πίτουρο βρώμης, οι ίνες μπιζελιού και οι ίνες καρύδας. Κάποιες διαιτητικές ίνες έχουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν έως και 20 φορές το βάρος τους σε νερό. Αυτό τους δίνει την ιδιότητα να μπορούν να απορροφούν το λίπος. Επίσης μπορούν να βελτιώσουν την υφή του τροφίμου. Για τους λόγους αυτούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα του λίπους, βοηθώντας στη δημιουργία πιο υγιεινών προϊόντων τροφίμων (Bis-Souza et al., 2019).

## **6. Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων στα τρόφιμα και στο γαστρεντερικό σύστημα**

Για να επιβιώσουν κατά τη ζύμωση και επεξεργασία οι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται στο τελικό προϊόν, θα πρέπει να έχουν αντοχή ενάντια σε κάποιους παράγοντες, όπως είναι η περιεκτικότητα σε αλάτι, τα οργανικά οξέα, η αιθανόλη, η αναερόβωση και οι χαμηλές τιμές pH. Από την άλλη μεριά, ακόμα και αν επιβιώσουν κατά την επεξεργασία, όταν καταναλωθούν, ενδέχεται να γίνουν αλλόχθονοι στον γαστρεντερικό σωλήνα και να μην καταφέρουν να τον αποικίσουν μόνιμα (Rezac et al., 2018).

Η βιωσιμότητα των βακτηρίων αναφέρεται στην ικανότητα ενός κυττάρου να αναπτύσσεται και να δημιουργεί αποικία κυττάρων υπό καθορισμένες συνθήκες. Η βιωσιμότητα θεωρείται ως προϋπόθεση για τη λειτουργικότητα των προβιοτικών, διότι σχετίζεται με ιδιότητες που ωφελούν την ανθρώπινη υγεία. Επίσης, οι βιώσιμες αποικίες ενδεικτικά παράγουν SCFAs και αντιμικροβιακές ενώσεις. Άρα, η βιωσιμότητα των βακτηρίων αποτελεί μια επιστημονική αλλά και βιομηχανική πρόκληση (Terrou et al., 2019). Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.



**Εικόνα 7.** Παράγοντες που επηρεάζουν την επιβίωση των προβιοτικών βακτηρίων στα τρόφιμα (κατά την επεξεργασία και αποθήκευση) αλλά και στο γαστρεντερικό σύστημα (Terrou et al., 2019).

Στον Πίνακα 2, δίνονται συνοπτικά ορισμένοι παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών στα τρόφιμα. Από τους παράγοντες αυτούς, φαίνεται ότι τα ζυμωμένα τρόφιμα που δε διατηρούνται υπό ψύξη ίσως να μην περιέχουν ζωντανά προβιοτικά την ώρα της κατανάλωσης. Επίσης με την προσθήκη συστατικών ή πρώτων υλών, όπως τα φρούτα στα γαλακτοκομικά προϊόντα, ενδέχεται να μειωθεί το pH σε τιμές που δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες για την επιβίωση των προβιοτικών. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι χειρισμοί κατά την επεξεργασία, αλλά και η επιλογή της κατάλληλης συσκευασίας (Tripathi & Giri, 2014; Terrou et al., 2019).

**Πίνακας 2** Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών στα ζυμούμενα τρόφιμα και προτάσεις για τη βελτίωσή της.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα	Αρνητικές δράσεις	Προτάσεις για βελτίωση βιωσιμότητας
Θερμοκρασία ζύμωσης	Συνήθως $\Theta > 45^{\circ}\text{C}$ επηρεάζει αρνητικά την επιβίωση προβιοτικών	ιδανική $\Theta$ $37-43^{\circ}\text{C}$ για $>37-43^{\circ}\text{C}$ προτείνεται λιγότερος χρόνος
Διαθεσιμότητα οξυγόνου κατά την αποθήκευση	Θανάτωση ευαίσθητων στο $\text{O}_2$ προβιοτικών (π.χ Bifidobacteria)	Συσκευασία υπό κενό, προσθήκη παραγόντων δέσμευσης $\text{O}_2$ , συσκευασίες με μικρή διαπερατότητα $\text{O}_2$
Θερμοκρασία αποθήκευσης		Ιδανική $\Theta$ αποθήκευσης $4-5^{\circ}\text{C}$
pH και τιτλοδοτούμενη οξύτητα	Πολύ χαμηλές τιμές pH αυξάνουν αδιάσπαστα οργανικά οξέα που είναι βακτηριοκτόνα	

Μέθοδος ξήρανσης	Ξήρανση με ψεκασμό	Ξήρανση με κατάψυξη
Ουσίες σκλήρυνσης	Νιτρώδες νάτριο στα ζυμωμένα κρέατα	
Συστατικά τροφίμου	Αντιμικροβιακά συστατικά, βακτηριοσίνες	Προσθήκη γλυκόζης, βιταμινών, μετάλλων, καζεΐνης, αντιοξειδωτικών, εκχυλίσματος ζυμών, πρεβιοτικών
Θερμικές επεξεργασίες	Παστερίωση, θερμικό στρες	Μη θανατηφόρο θερμικό σοκ προβιοτικών πριν τη χρήση για αύξηση της αντοχής τους, ενθυλάκωση μικροοργανισμών

Ακόμα και όταν ένα ζυμούμενο τρόφιμο δεν έχει υποστεί κάποια επεξεργασία θανάτωσης των μικροβίων, η προβιοτική δράση των μικροοργανισμών μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά από άλλους παράγοντες, ύστερα από την κατανάλωση του τροφίμου. Το σάλιο στο στόμα, περιέχει ένζυμα και άλλα αντιμικροβιακά συστατικά που παρουσιάζουν αντίσταση στο μικροβιακό αποικισμό. Στη συνέχεια στο στομάχι, τα γαστρικά υγρά παρουσιάζουν pH συνήθως χαμηλότερο του 3.0 και τα πεπτικά ένζυμα( π.χ πεψίνη) διασπούν τις πρωτεΐνες των κυττάρων. Τα χολικά άλατα που εκκρίνονται στο λεπτό έντερο μπορούν να διαρρήξουν τις κυτταρικές μεμβράνες και να θανατώσουν τα βακτήρια. Τέλος, στο παχύ έντερο υπάρχει ο μηχανισμός αντίστασης στον μικροβιακό αποικισμό, με τον οποίο το εντερικό μικροβίωμα προστατεύεται από τα παθογόνα βακτήρια (έκκριση βακτηριοσινών, μείωση pH κ.λπ). Ο μηχανισμός αυτός, δεν διαχωρίζει τα παθογόνα από τα ευεργετικά βακτήρια που προέρχονται από τα τρόφιμα. Άρα τα τελευταία θα πρέπει να ανταγωνιστούν τα ιθαγενή βακτήρια για να προσκολληθούν σε υποδοχείς, αλλά και για τη πρόσληψη βιταμινών για την επιβίωσή τους (Kok & Hutkins, 2018).

### **6.1. Παραδείγματα τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση αλλά δεν περιέχουν προβιοτικά**

Στη ζύμωση της μαγιάς του ψωμιού χρησιμοποιούνται ζύμες και LAB τα οποία λόγω του ψησίματος, θανατώνονται (Kok & Hutkins, 2018) . Οι θερμοκρασίες κατά το ψήσιμο του σταρένιου ψωμιού μπορούν να φτάσουν τους 200-250°C για περίπου 50 λεπτά. (Bamforth & Cook, 2019).



Το κρασί υφίσταται φιλτράρισμα το οποίο διαχωρίζει τους μικροοργανισμούς που μπορεί να αποτελέσουν απειλή για το προϊόν (Bamforth & Cook, 2019). Εδώ και πολλές δεκαετίες, κατά την οινοποιία προστίθενται στο γλεύκος του κρασιού θειώδη άλατα στη μορφή SO<sub>2</sub> (αέριο) ή μεταθειώδη άλατα (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), τα οποία έχουν αντιμικροβιακό και αντιοξειδωτικό ρόλο. Έτσι, εμποδίζουν τις άγριες ζύμες και τα αλλοιογόνα βακτήρια, κυρίως τα LAB. Άρα η μικροβιακή κοινότητα του κρασιού επηρεάζεται από τα θειώδη άλατα αλλά και από το φιλτράρισμα πριν την εμφιάλωση, τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και τις συνθήκες της αποθήκευσης (Takahashi et al., 2014).

Άλλο παράδειγμα αποτελεί η μπίρα. Οι περισσότερες μπίρες δέχονται επεξεργασία για την εξόντωση των εναπομεινάντων ζυμών της ζυθοποιίας ή μολυσματικών ζυμών και βακτηρίων, πριν ή μετά τη συσκευασία. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: με παστερίωση ή με αποστειρωτική διήθηση. (Bamforth & Cook, 2019). Δεν λείπουν όμως οι έρευνες στις οποίες έχουν γίνει προσπάθειες για την παραγωγή προβιοτικής μπίρας. Οι Carece et al. (2018) για παράδειγμα, διεξήγαγαν το πρώτο πείραμα όπου προστέθηκε το προβιοτικό στέλεχος *S. cerevisiae* var. *boulevardii* σε μικτή καλλιέργεια που περιείχε επιλεγμένα είδη του *S. cerevisiae*, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη ζύμωση του ζυθογλεύκους. Εξέτασαν την ικανότητα επιβίωσης του προβιοτικού μέχρι το τέλος της ζύμωσης για τη δημιουργία αφιλτράριστης και απαστερίωτης μπίρας με προβιοτικές ιδιότητες. Σε σχεδόν όλες τις μικτές ζυμώσεις, το στέλεχος S.B ήταν το επικρατέστερο στέλεχος από το είδος *S. cerevisiae* και οι μπίρες περιείχαν ικανοποιητικά ποσοστά σε S.B (με τιμές ανάμεσα σε  $8 \times 10^6$  και  $7.0 \times 10^7$ /mL). Επίσης, με την συμπερίληψη του S.B σε μικτές καλλιέργειες (έναντι της χρήσης καλλιέργειας ενός μόνο στελέχους) παρουσιάστηκε αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης και της περιεκτικότητας σε πολυφαινόλες των μπιρών (Vilela et al., 2020; Carece et al., 2018).

Η μπίρα μπορεί να μη περιέχει προβιοτικά αλλά έχει βρεθεί ότι περιέχει β-συζευγμένους ολιγοσακχαρίτες προερχόμενους από τη διάσπαση της β-γλυκάνης του κυτταρικού τοιχώματος του κριθαριού. Αυτοί οι ολιγοσακχαρίτες ενδέχεται να είναι πρεβιοτικοί, καθώς παρουσίασαν θετικές ενδείξεις σε πειράματα *in vitro* σε προσομοιωτή του ανθρώπινου πεπτικού συστήματος (Kanyer et al., 2017).

## 6.2. Παραδείγματα τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση και περιέχουν προβιοτικά

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται κάποια αντιπροσωπευτικά τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση και στα οποία έχουν εντοπιστεί ζωντανοί ευεργετικοί μικροοργανισμοί. Ειδικότερα, δίνεται ο τρόπος ζύμωσης του κάθε υποστρώματος, οι μικροοργανισμοί που παίρνουν μέρος στη ζύμωση των υποστρωμάτων ή έχουν εντοπιστεί στο ζυμούμενο τρόφιμο, μικροοργανισμοί που είτε έχουν προστεθεί είτε υπάρχουν φυσιολογικά στο ζυμούμενο τρόφιμο και παρουσιάζουν πιθανές προβιοτικές ιδιότητες και καλή βιωσιμότητα και τέλος διάφορα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται σε αυτά τα προϊόντα ζύμωσης.

**Πίνακας 3.** Ζυμούμενα προϊόντα τροφίμων τα οποία περιέχουν ζωντανούς ευεργετικούς μικροοργανισμούς και άλλα θρεπτικά συστατικά.

Τρόφιμο	Κεφίρ	Κομπούχα	Natto	Ζυωμένες επιτραπέζιες ελιές	Kimchi
<b>Καταγωγή</b>	Καύκασος	Κίνα	Ιαπωνία	Ελλάδα	Κορέα
<b>Υπόστρωμα</b>	Γάλα αγελάδων, αιγών, προβάτων, βουβαλιών, σόγιας	Μαύρο, πράσινο ή μπλέ (Oolong) τσάι με σουκρόζη	Μαγειρεμένη σόγια	Μη επεξεργασμένες μαύρες ελιές	Κυρίως λάχανο <i>Baechu</i> και ραπανάκια. Αγγούρι, κρεμμύδι, πράσο κ.α για διάφορους τύπους κίμτσι Σε άλμη
<b>Τρόπος ζύμωσης</b>	Γαλακτική και αλκοολική ζύμωση Παραδοσιακά: Συμβιωτική ζύμωση από κόκκους κεφίρ Βιομηχανία: Καλλιέργειες εκκίνησης απομονωμένες από κεφίρ ή κόκκους κεφίρ	Συνδιασμός αλκοολικής, γαλακτικής και οξικής ζύμωσης Φυσική ζύμωση Μικρή κλίμακα παραγωγής και σπιτική ζύμωση	Αλκαλική ζύμωση <i>backslopping</i> ή καλλιέργεια εκκίνησης	Σπιτική/εμπορική αυθόρμητη ζύμωση σε άλμη	Παραδοσιακή σπιτική ζύμωση Γαλακτική ζύμωση
<b>Μικροοργανισμοί</b>	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus</i> spp. ( <i>delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>helveticus</i> , <i>casei</i> subsp. <i>pseudoplantarum</i> , <i>kefiri</i> , <i>kefir</i> , <i>brevis</i> , <i>kefiranofaciens</i> , <i>kefirgranum</i> , <i>parakefiri</i> , <i>acidophilus</i> , <i>paracasei</i> , <i>fermentum</i> , <i>plantarum</i> , <i>gasseri</i> ), 21 στελέχη από <i>Saccharomyces</i> , <i>Kluyveromyces</i> , <i>Issatchenkia</i>	SCOBY(συνβιωτική καλλιέργεια βακτηρίων, ζυμομυκήτων) AAB: γένη <i>Acetobacter</i> , <i>Gluconobacter</i> , <i>Gluconacetobacter</i> , <i>Komagataeibacter</i> ( <i>xylinus</i> ) Ζύμες : <i>Saccharomyces</i> , <i>Zygosaccharomyces</i> , <i>Dekkera/Brettanomyces</i> , <i>Pichia</i> κ.α LAB: <i>Oenococcus oeni</i> , <i>Lactobacillus nagelii</i>	Σπόρια του <i>B. subtilis</i> ( <i>natto</i> )	Αυτόχθονα LAB ζύμες μύκητες	Κλασική μέθοδος ταυτοποίησης M.O: <i>Leu. mesenteroides</i> και <i>Lb. plantarum</i> τα επικρατέστερα είδη. <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Lactobacillus</i> spp. ( <i>sakei</i> , <i>brevis</i> , <i>curvatus</i> , <i>plantarum</i> ), <i>Weissella</i> spp. ( <i>confusa</i> , <i>korensis</i> ), <i>Leuconostoc</i> spp. ( <i>mesenteroides</i> , <i>gasicomitatum</i> , <i>gelidum</i> , <i>citreum</i> ) μέθοδος πυροαλληλούχισης: <i>Wei. korensis</i> (27.2%), <i>Lb. sakei</i> (14.7%), <i>Wei. cibaria</i> (8.7%), <i>Lb. graminis</i>

					(13.8%), Lb. gelidum (6.3%), Leu. mesenteroides (7.8%), Leu. inhae (1.2%), Leu. gasicomitatum (1.2%), Wei. confusa (0.3%), Leu. kimchii (0.3%), άλλοι διάφοροι Lactobacilli (3.3%), Leuconostoc (4.9%) και Weissella (8.1%)
<b>Προβιοτικά</b>	P. pentosaceus SP2 L. paracasei SP5 Lb.plantarum 8327 (μεγαλύτερη δράση ανάμεσα σε 11 ομοζυμωτικούς γαλακτοβάκιλλους)	Περιορισμένη προβιοτική δράση πιθανώς από LAB	B. subtilis (natto)	4 είδη Lb. pentosus, 3 είδη/στελέχη Lb. Plantarum, 2 είδη Lb. paracasei subsp. Paracasei	Leuconostoc spp. (mesenteroides, citreum, gasicomitatum), Weissella spp. (korensis, cibaria), Lactobacillus spp. (sakei, curvatus, sakei proBio65)
<b>Λειτουργικά Συστατικά</b>	Βιταμίνες (προβιταμίνη A, βιταμίνες K,B1,B2,B5,C,B12, φυλλικό οξύ), αμινοξέα(λυσίνη, αμμωνία κ.α), μέταλλα (Mg,Ca,P,ZN κ.α), εξωπολυσακχαρίτες του κεφίρ (kefiran), βακτηριοσίνες	Βιταμίνες C, B1, B2, B3, B6, B12, φολικό οξύ, οργανικά οξέα, πολυφαινόλες(κυρίως φλαβανόλες όπως κατεχίνες) Μικροκυτταρίνη (παραπροϊόν των AAB με πρεβιοτική δράση).	Ισοφλαβόνες σόγιας, αναστολέας του μετατρεπτικού ενζύμου της αγγειοτενσίνης (ACEI), νατοκινάση, γ-πολυγλουταμικό οξύ	Φαινολικές ενώσεις, ακόρεστα λιπαρά οξέα, τοκοφερόλες	Υψηλά ποσοστά βιταμινών (C, β-καροτίνη, σύμπλεγμα B κ.α), μεταλλικά στοιχεία (Na, Ca, K, Fe, and P), διαιτητικές ίνες, φυτοχημικά όπως βενζυλ ισοθειοκυανικό, ινδόλες, θειοκυανικά, και β-σιτοστερόλη
<b>Αναφορά βιβλιογραφίας</b>	(Bourrie et al., 2016; Xiang et al., 2019; Mantzourani, Chondrou, et al., 2019; Golowczyc et al., 2008; Sharifi et al., 2017; Perricone et al., 2017; Dimidi et al., 2019)	(Laureys et al., 2020; Jayabalan & Waisundara, 2019; Dimidi et al.,2019)	(Liu et al., 2021; Marco et al., 2017; Nagai, 2015; Terefe, 2016; Dimidi et al., 2019)	(Argyri et al., 2016; Sankaranarayanan et al., 2019)	(Han et al., 2015; Jo et al., 2016; Park et al., 2014; Dimidi et al., 2019)

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, τα τρόφιμα είναι πιθανόν να εμπλουτιστούν με λειτουργικά συστατικά (βιοδραστικές ουσίες). Αυτές οι ουσίες μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των τροφίμων, να βελτιώσουν τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, τη θρεπτική αξία αλλά και τις βιολογικές δράσεις των τροφίμων ενάντια σε χρόνιες παθήσεις (π.χ αντικαρκινική και αντιδιαβητική δράση). Διάφορες βιοδραστικές ουσίες έχουν εντοπιστεί σε ζυμούμενα τρόφιμα και έχει μελετηθεί η δράση τους (Xiang et al., 2019).

Kefiran: Είναι ένας εξωπολυσακχαρίτης που παράγεται στο κεφίρ από το μικροοργανισμό L. kefiranofaciens. Ο πολυσακχαρίτης αυτός, συμβάλλει στη

διαμόρφωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών του ζυμωμένου γάλακτος, αυξάνοντας το ιξώδες του, αλλά και έχει παρουσιάσει αντιοξειδωτική και αντιμικροβιακή δράση όπως και προστασία κατά της ανάπτυξης όγκων (Bourrie et al., 2016; Sharifi et al., 2017).

Αμινοξέα: Τα αμινοξέα έχουν κεντρικό ρόλο στο μεταβολισμό του ανθρώπου και στην υγεία του. Ωστόσο, ορισμένα αμινοξέα που είναι απαραίτητα για την επιβίωσή του δεν μπορεί να τα συνθέσει (π.χ βαλίνη, λευκίνη, μεθειονίνη) οπότε είναι σημαντικό να τα λάβει μέσω της διατροφής (Xiang et al., 2019).

Μεταλλικά στοιχεία: Τα μεταλλικά στοιχεία υπάρχουν στο σώμα του ανθρώπου σε θρεπτικά συστατικά, απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία και τις μεταβολικές διεργασίες. Κάποια είναι απαραίτητα όπως το Μαγνήσιο (Mg), το Ασβέστιο (Ca), ο Φώσφορος (P) και ο Ψευδάργυρος (Zn) τα οποία ο άνθρωπος λαμβάνει μέσω της διατροφής του (Xiang et al., 2019).

Κυτταρίνη: Η κυτταρίνη είναι μία αδιάλυτη διαιτητική ίνα που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων ως πηκτική ουσία, διαιτητική ίνα, σταθεροποιητής και η οποία μέσα στο ζυμωμένο τσάι κομπούχα, παράγεται από το μικροοργανισμό *Gluconobacter xylinum*. Η μικροκυτταρίνη που εντοπίζεται στην κομπούχα έχει πρεβιοτική δράση καθώς μπορεί να εμποδίσει τη δυσκοιλιότητα (Jayabalan & Waisundara, 2019).

Πολυφαινόλες στην κομπούχα: Η κομπούχα περιέχει πολυφαινόλες, με κυριότερες τις κατεχίνες που έχουν εμφανίσει αντιφλεγμονώδη και αντιοξειδωτική δράση (Jayabalan & Waisundara, 2019).

Ισοφλαβόνες σόγιας: Οι ισοφλαβόνες σόγιας αποτελούν ένα είδος μη στεροειδών ετεροκυκλικών φαινολικών συστατικών που υπάρχουν σε αφθονία στη σόγια. Δομικά είναι παρόμοια με τα οιστρογόνα των θηλαστικών, γι' αυτό ονομάζεται και φυσικό φυτικό οιστρογόνο. Αρκετές έρευνες έχουν δείξει ότι οι ισοφλαβόνες σόγιας μπορούν να απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες και να αποτρέψουν το καρκίνο που μπορεί να δημιουργηθεί από βλάβες που προκαλούν οι ελεύθερες ρίζες στο DNA. Επίσης, μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη των συμπτωμάτων της εμμηνόπαυσης, του καρκίνου του μαστού και του προστάτη, των καρδιαγγειακών παθήσεων, της οστεοπόρωσης, της παχυσαρκίας, του διαβήτη και του Αλτςχάιμερ (Liu et al., 2021; Nagai et al., 2015).

γ-Πολυγλουταμικό οξύ: Το γ-Πολυγλουταμικό οξύ είναι ένα πολυμερές του αμινοξέος γλουταμικό οξύ και αποτελεί το κύριο συστατικό της βλέννας που δημιουργείται από τη ζύμωση της σόγιας για την παραγωγή του ζυμωμένου προϊόντος natto. Είναι ένας ενυδατικός παράγοντας δύο με τρεις φορές πιο ενυδατικό από το υαλουρονικό οξύ. Είναι ένα συστατικό φιλικό προς το περιβάλλον, μη τοξικό και μπορεί να προάγει την υγεία του δέρματος (Liu et al., 2021; Nagai et al., 2015).

Νατοκινάση: Η νατοκινάση είναι ένα ένζυμο που παράγεται κατά τη ζύμωση της σόγιας για την παραγωγή του natto. Έρευνες *in vivo* και *in vitro* έχουν αποδείξει τη θετική δράση της νατοκινάσης ενάντια στις αρτηριακές θρομβώσεις και κατά της υπέρτασης. Σε σύγκριση με άλλους θρομβωλυτικούς παράγοντες, η νατοκινάση έχει πιο λίγες παρενέργειες στο γαστρεντερικό σύστημα και αποκλείει τον κίνδυνο πρόκλησης αιμορραγίας όπως μπορεί να κάνει για παράδειγμα η ουροκινάση. Στη βλέννα του natto, έχει επίσης εντοπιστεί ο αναστολέας του μετατρεπτικού ενζύμου της αγγειοτενσίνης (Angiotensin-converting enzyme- ACE) ο οποίος έχει τη δυνατότητα να χαμηλώνει την αρτηριακή πίεση (Liu et al., 2021; Nagai et al., 2015).

Το ζυμωμένο προϊόν kimchi περιέχει φυτοχημικά όπως βενζυλ ισοθειοκυανικό, ινδόλες, θειοκυανικά, και β-σιτοστερόλη τα οποία έχουν εμφανίσει δράσεις κατά των καρκίνων, της αθηροσκλήρωσης και της παχυσαρκίας.

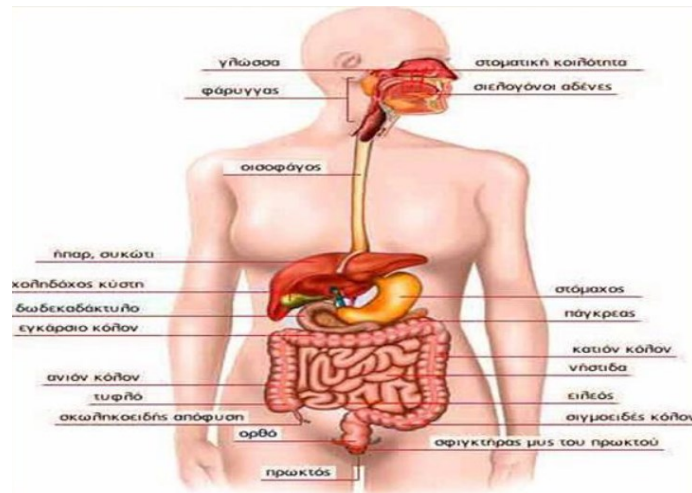
Τα ζυμωμένα τρόφιμα, περιέχουν επίσης ποικιλία βιταμινών, όπως βιταμίνη Α (Ρετινόλη), βιταμίνη C (Ασκορβικό οξύ), βιταμίνη E (Τοκοφερόλη), βιταμίνη D (βιταμίνη Κ (Φυλλοκινόνη) και βιταμίνες του συμπλέγματος Β όπως Β9 (φυλλικό οξύ), Β12 (Κοβαλαμίνη), Β2 (Θειαμίνη). Οι βιταμίνες αυτές, εκτελούν ορισμένες λειτουργίες και είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού. Εμφανίζουν αντιοξειδωτικές και αντικαρκινικές δράσεις (π.χ βιταμίνη D), και δράσεις ενάντια στην αθηροσκλήρωση, την οστεοπόρωση, την αναιμία, την καρδιοπάθεια κ.α. Για παράδειγμα, οι μαύρες επιτραπέζιες ελιές, περιέχουν τοκοφερόλες (Βιταμίνη E) οι οποίες μπορούν να δράσουν ως αντιοξειδωτικά της LDL-χοληστερόλης («κακή» χοληστερόλη) και κατ'επέκταση μπορούν να εμποδίσουν την εμφάνιση αθηροσκλήρωσης (Jr & McClung, 2016).

## **7. Εντερικό μικροβίωμα**

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται οι όροι «gut microbiota» και «gut microbiome», οι οποίοι έχουν μία βασική διαφορά. Ο όρος «gut microbiota» αναφέρεται στο σύνολο

των μικροοργανισμών που διαβιούν στο ανθρώπινο γαστρεντερικό σύστημα περιλαμβάνοντας τα μέλη των βακτηρίων, μυκήτων, ιών (φάγοι), αρχαίων και ευκαρυωτικών μικροοργανισμών. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ως εντερική μικροχλωρίδα. Από την άλλη ο όρος «gut microbiome» αναφέρεται στο σύνολο του γονιδιώματος αυτής της μικροχλωρίδας. Παρά τις λεπτές διαφορές των δύο όρων, αυτοί συνήθως εναλλάσσονται στη βιβλιογραφία (Peng et al., 2020; Γύπας κ.α., 2013). Τις τελευταίες δεκαετίες, η μελέτη του ανθρώπινου εντερικού μικροβιώματος έχει γίνει ένα από τα βασικά αντικείμενα μελέτης των βιο-ιατρικών επιστημών. Μέσω του γονιδιώματος των μικροβίων, έχει επιτευχθεί η ανάλυση του μικροβιώματος του ανθρώπου και των λειτουργιών του (Peng et al., 2020).

Η γαστρεντερική οδός είναι ένας σωλήνας που ξεκινάει από τη στοματική κοιλότητα και καταλήγει στον πρωκτό, διερχόμενος από την κοιλιακή κοιλότητα του σώματος. Περιλαμβάνει τη στοματική κοιλότητα, τον οισοφάγο, το στομάχι, το λεπτό έντερο (μαζί με το δωδεκαδάκτυλο, τη νηστίδα και τον ειλεό), και το παχύ έντερο (ανιόν, κατιόν και εγκάρσιο κόλον, ορθό και πρωκτός). Μαζί με όργανα όπως το πάγκρεας, το συκώτι και τη χοληδόχο αποτελούν ολόκληρο το ανθρώπινο πεπτικό σύστημα (Singh & Gallier, 2014; Peng et al., 2020). Το στομάχι είναι ένα μυϊκό όργανο σε σχήμα J στο οποίο εισέρχονται τα τρόφιμα και αναμειγνύονται με χωνευτικούς χυμούς και στην συνέχεια προωθεί την τροφή στο λεπτό έντερο. Το λεπτό έντερο είναι ο κύριος τόπος πέψης της τροφής, όπου απελευθερώνονται θρεπτικά συστατικά και μετατρέπονται σε απορροφήσιμη, από τον οργανισμό, μορφή. Από εκεί η τροφή αναμειγνύεται με παγκρεατικές και χολικές εκκρίσεις και μεταφέρεται στο παχύ έντερο. Οι ουσίες που δεν διασπώνται στο λεπτό έντερο, προχωράνε στο παχύ έντερο όπου και ζυμώνονται από τους μικροβιακούς πληθυσμούς του, παράγοντας λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας, που απορροφώνται στο κόλον (Singh & Gallier 2014; Peng et al., 2020). Τα τμήματα του ανθρώπινου γαστρεντερικού συστήματος απεικονίζονται στην Εικόνα 8.



**Εικόνα 8.** Γαστρεντερικό σύστημα του ανθρώπου. (Ανακτήθηκε από <https://www.proionta-tis-fisis.com/gastrenteriko-epanafferoume-tin-fysiologiki-leitourgia-oste-na-aporrofa-threptikes-ousies/> Τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021)

### 7.1. Ταξινόμηση μικροοργανισμών

Το εντερικό μικροβίωμα αποτελείται από μία μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ζύμες και ιούς. Το κόλον περιέχει περίπου 1.5 kg από βακτήρια με πυκνότητα περίπου  $10^{12}$  βακτήρια/g εντερικού περιεχομένου. Οι μικροοργανισμοί ταξινομούνται ανάλογα με τα φύλα, τις κλάσεις, τις τάξεις, τις οικογένειες, τα γένη και τα είδη. Τα επικρατέστερα φύλα του εντερικού μικροβιώματος είναι τα Actinobacteria, Proteobacteria, Verrucomicrobia, Fusobacteria, Euryarchaeota, Basidiomycota, Ascomycota, Firmicutes, Bacteroidetes με τα δύο τελευταία να αποτελούν το 90%. Το φύλο Firmicutes περιλαμβάνει περισσότερα από 200 γένη όπως Lactobacillus, Bacillus, Enterococcus, Ruminococcus, Clostridium, με το τελευταίο να αποτελεί το 95% του φύλου αυτού. Τα Bacteroides και Prevotella είναι τα κυρίαρχα γένη του φύλου Bacteroidetes και το γένος Bifidobacterium είναι το κυρίαρχο του φύλου Actinobacteria (Milani et al., 2018; Rinninella et al., 2019; van Hylckama Vlieg et al., 2011).

Το εντερικό μικροβίωμα του ανθρώπου διαμορφώνεται από πολύ νωρίς χρονικά στη ζωή του και στην πορεία παραμένει σχεδόν αμετάβλητο στον «πυρήνα» του. Διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο ανάλογα με τη συχνότητα εκγύμνασης, την ποιότητα ζωής, τις διατροφικές συνήθειες, την ηλικία, το φύλο, τη χρήση αντιβιοτικών, φαρμακευτικών αγωγών κ.α. Άλλος ένας παράγοντας που φαίνεται να διαφοροποιεί το εντερικό μικροβίωμα των ανθρώπων είναι ο Δείκτης Μάζας Σώματος. Για παράδειγμα, έρευνες έχουν δείξει ότι παιδιά που είναι υπέρβαρα ή με φυσιολογικό βάρος, βρέθηκαν να έχουν

μεγαλύτερη ποικιλία μικροοργανισμών στο έντερο από ότι όσα ήταν λιποβαρή (Milani et al., 2018; Rinninella et al., 2019; van Hylckama Vlieg et al., 2011).

Στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται ποσοτικά η σύσταση της εντερικής μικροχλωρίδας κατά μήκος της γαστρεντερικής οδού. Στο στομάχι έχει μετρηθεί μία ποσότητα 10 βακτηρίων/g κοπράνων, ύστερα προς το λεπτό έντερο και συγκεκριμένα στο δωδεκαδάκτυλο περίπου  $10^3$  βακτήρια/g κοπράνων, στη νήστιδα περίπου  $10^5$  βακτήρια/g κοπράνων και στον ειλέο  $10^7$  βακτήρια/g κοπράνων. Ο μεγαλύτερος πληθυσμός, με διαφορά, από τα υπόλοιπα σημεία, υπάρχει στο κόλον δηλαδή στο παχύ έντερο, όπου έχουν μετρηθεί περίπου  $10^{12}$  βακτήρια/g κοπράνων (Γύπας κ.α, 2013).



**Εικόνα 9.** Μεταβολές στον αριθμό και τη σύνθεση της μικροχλωρίδας κατά μήκος της γαστρεντερικής οδού. Ανακτήθηκε από: <http://mail.mednet.gr/archives/2013-3/pdf/272.pdf> (τελευταία επίσκεψη: 24/06/2021)

## 7.2. Δυσβίωση

Ο τρόπος που δρα το εντερικό μικροβίωμα και η σύστασή του εξαρτώνται από τη διατροφή και από τη διαμόρφωση του ανοσοποιητικού συστήματος, μέσω του βλεννογόνου. Αν η σύσταση και η ισορροπία αυτής της μικροχλωρίδας διαταραχθεί είτε από τη λήψη αντιβιοτικών, τη δράση παθογόνων μικροβίων ή τη διατροφή σε συνδυασμό με προδιαθέσεις του ξενιστή, μπορεί να προκληθεί το φαινόμενο της «δυσβίωσης», δηλαδή η διατάραξη της ισορροπίας υπέρ των παθογόνων και όχι των ευεργετικών μικροοργανισμών, το οποίο έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου (van Hylckama Vlieg et al., 2011). Πιο συγκεκριμένα μπορεί να προκληθούν παθολογικές καταστάσεις, όπως φλεγμονή στο έντερο σε μικρό βαθμό ή κάποιες μεταβολικές



διαταραχές (Γύπας κ.α, 2013). Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες υπάρχουν ενδείξεις πως η δυσβίωση στο εντερικό μικροβίωμα είναι πιθανόν να επηρεάσει μακροπρόθεσμα την υγεία των παιδιών στα ενήλικά τους χρόνια (Milani et al., 2018). Ένας τρόπος για τη ρύθμιση της δυσβίωσης είναι η κατανάλωση ζυμωμένων τροφίμων, προβιοτικών και άλλων πηγών που περιλαμβάνουν ωφέλιμα βακτήρια (Kok & Hutkins, 2018).

Οι αλλαγές στο εντερικό μικροβίωμα έχουν συσχετιστεί με αρκετές παθήσεις και μεταβολικά σύνδρομα, όπως (Rinninella et al., 2019) :

- Σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου, Φλεγμονώδης Νόσος του Εντέρου, κοιλιοκάκη (έχουν βρεθεί πιθανά παθογόνα τα *Bacteroides* και *Escherichia coli*), ορθοκολικός καρκίνος, διάρροια.
- Εξωεντερικές παθήσεις: Παχυσαρκία, Διαβήτης τύπου 2.
- Νόσους σχετιζόμενες με το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα: νόσος του Αλτσχάιμερ και Πάρκινσον, ηπατική εγκεφαλοπάθεια, διαταραχές του φάσματος του αυτισμού, στρες, κατάθλιψη (Rinninella et al., 2019).

### **7.3. Ζυμούμενα τρόφιμα και εντερικό μικροβίωμα**

Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει τη συσχέτιση της κατανάλωσης ζυμωμένων τροφίμων με τη μείωση του κινδύνου του διαβήτη τύπου 2, διαφόρων μεταβολικών συνδρόμων, των καρδιακών παθήσεων, την καλύτερη διαχείριση του βάρους κ.α. Αρκετές έρευνες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση γιαουρτιού και άλλων τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση όπως το miso, το κίμτσι και το sauerkraut, μπορούν να βελτιώσουν την εντερική και εξωεντερική υγεία (μείωση συμπτωμάτων γαστρεντερίτιδας, βελτίωση των αναπνευστικών λοιμώξεων, ενίσχυση του ανοσοποιητικού και της αντιφλεγμονώδους δράσης) (Kok & Hutkins, 2018).

Οι καταναλωτές έχουν δηλώσει ενδιαφέρον για τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση, κυρίως χάρη στα προτεινόμενα θρεπτικά οφέλη τους. Αυτό έχει οδηγήσει στην αύξηση της δημοτικότητάς τους σε σχεδόν κάθε ήπειρο. Ωστόσο, εκτός από κάποια γαλακτοκομικά προϊόντα, υπάρχουν λίγες κλινικές μελέτες σε ανθρώπους, για να επαληθευτούν τα οφέλη τους. Έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες από 20 τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (Randomized Controlled Trials- RCTs) σε γιαούρτια και άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα με καλλιέργειες μικροβίων, τόσο σε υγιή

άτομα όσο και σε ασθενείς πληθυσμιακές ομάδες. Για ζυμωμένα τρόφιμα όπως το κίμτσι, το sauerkraut, το natto, το κεφίρ και το ψωμί με προζύμι, έχει πραγματοποιηθεί τουλάχιστον μία αντίστοιχη κλινική δοκιμή. Για άλλα ζυμωμένα τρόφιμα, όπως είναι η κομπούχα, οι μελέτες για τα οφέλη στην υγεία περιορίζονται κυρίως σε χημικές αναλύσεις, καθώς και σε ζωικά μοντέλα και μοντέλα κυτταρικών καλλιιεργειών (Marco et al., 2021)

### **7.3.1. Κλινικές μελέτες για τη δράση των ζυμούμενων τροφίμων στο εντερικό μικροβίωμα**

Το εντερικό μικροβίωμα επηρεάζει πολλές πτυχές της υγείας του ξενιστή όπως την ανοσολογική (immune) και μεταβολική υγεία του εντέρου. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν αρκετές κλινικές μελέτες που να συσχετίζουν τη κατανάλωση ζυμωμένων τροφίμων με αλλαγές στο εντερικό μικροβίωμα, έτσι ώστε να δημιουργηθούν ισχυρισμοί υγείας. Οι περισσότερες από αυτές τις κλινικές μελέτες παρουσιάζουν κάποιες ελλείψεις ή περιορισμούς (π.χ μικρός αριθμός εθελοντών, απουσία δείγματος placebo) και δεν χαρακτηρίζονται από επαναλήψιμα αποτελέσματα, δεδομένων των διαφορών που υπάρχουν στις μικροβιακές καλλιέργειες και στα συστατικά που προστίθενται κατά τη ζύμωση, ακόμα και τροφίμων που ανήκουν στην ίδια κατηγορία (Dimidi et al., 2019; Smith et al., 2020).

Αναλυτικότερα, δεν υπάρχουν τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (Randomized Control Trials-RCTs) για τη δράση του κεφίρ σε ασθένειες του εντέρου. Έχουν γίνει όμως μελέτες που έχουν αποδείξει ότι το κεφίρ μπορεί να έχει οφέλη ως προς τη δυσασπορρόφηση της λακτόζης και την εξολόθρευση του *H.pylori*. Κάποια ευρήματα όμως είναι ετερογενή, καθώς τα δείγματα κεφίρ που χρησιμοποιούνται κάθε φορά μπορεί να περιέχουν διαφορετικούς μικροοργανισμούς. Για αυτό το λόγο, απαιτούνται περισσότερες δοκιμές για τη μελέτη της δράσης του κεφίρ στο εντερικό μικροβίωμα (Dimidi et al., 2019).

Επίσης, το χαμηλό pH της κομπούχας έχει αποδειχθεί ότι εμποδίζει την ανάπτυξη παθογόνων μικροβίων όπως *Helicobacter pylori*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* και *Campylobacter jejuni*. Παρόλο που περιέχει ποικιλία γαλακτικών βακτηρίων και βακτηρίων οξικού οξέος, δεν υπάρχουν δοκιμές για τη δράση της

κομπούχας στο γαστρεντερικό σύστημα ζώων αλλά ούτε και ανθρώπων (Dimidi et al., 2019).

Για το ζυμούμενο sauerkraut (προϊόν που παράγεται από τη γαλακτική ζύμωση λάχανου εμβλαπτισμένου σε άλμη), έχει πραγματοποιηθεί μία τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή δοκιμή όπου 58 ασθενείς με σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου, κατανάλωσαν παστεριωμένο και μη παστεριωμένο sauerkraut που περιείχε LAB, για 6 εβδομάδες. Και τα δύο δείγματα προκάλεσαν μείωση των συμπτωμάτων του συνδρόμου στους ανθρώπους, συμπεραίνοντας ότι δεν έπαιξαν ρόλο οι μικροοργανισμοί του μη παστεριωμένου τροφίμου στην αντιμετώπιση του συνδρόμου. Παρόλα αυτά, η έρευνα είχε κάποιους περιορισμούς, όπως ότι δεν συμπεριλήφθηκε κατανάλωση ωμού λάχανου, ώστε να υπάρχει μια πιο αξιόπιστη και ορθή σύγκριση (Dimidi et al., 2019).

Για το ζυμωμένο προϊόν σόγιας tempeh, έλαβε χώρα μία κλινική μελέτη μη ελεγχόμενης ανοιχτής δοκιμής, όπου 10 υγιείς εθελοντές κατανάλωσαν tempeh και εμφάνισαν μεγαλύτερη αφθονία *Akkermansia muciniphila* στα κόπρανά τους. Όμως για να εξαχθούν πιο ικανοποιητικά συμπεράσματα για την επίδραση στο εντερικό μικροβίωμα, είναι απαραίτητη η εξέταση σε ελεγχόμενη δοκιμή με περισσότερους εθελοντές. Γενικά τα ζυμωμένα προϊόντα σόγιας έχουν συνδεθεί με αντικαρκινικές, αντιδιαβητικές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, όμως υπάρχουν περιορισμένες *in vitro* δοκιμές ακόμα και σε ζώα (Dimidi et al., 2019).

Οι Bekar et al. (2011) εξέτασαν την επίδραση της χορήγησης τριπλής θεραπείας μαζί με κεφίρ σε 82 ασθενείς με συμπτώματα δυσπεψίας και μόλυνση από το *Helicobacter pylori*. Οι εθελοντές υποβλήθηκαν σε τυχαιοποιημένη διπλά τυφλή δοκιμή, όπου για 14 μέρες τους χορηγήθηκε, 2 φορές τη μέρα, τριπλή θεραπεία μαζί με 250 mL κεφίρ ή τριπλή θεραπεία με 250 mL placebo γάλα. Σαρανταπέντε μέρες μετά την έναρξη της θεραπείας βρέθηκε ότι η τριπλή θεραπεία μαζί με κεφίρ ήταν πιο αποτελεσματική θεραπεία (78,2%) από αυτή με το placebo γάλα για την εξάλειψη της μόλυνσης από *H.pylori* και η σοβαρότητα και συχνότητα των παρενεργειών της τριπλής θεραπείας (ναυτία, κοιλιακός πόνος, διάρροια) βρέθηκε μειωμένη. Στη δοκιμή αυτή υπήρξαν κάποιοι περιορισμοί, όπως (α) ο αριθμός των συμμετεχόντων ήταν μικρός, (β) η κατανομή και η ποσότητα προβιοτικών στο κεφίρ που καταναλώθηκε δεν ήταν γνωστή και (γ) δεν έγινε γνωστός ο μηχανισμός της παρατηρούμενης επίδρασης του κεφίρ στη δημιουργία ανεκτικότητας κατά την τριπλή θεραπεία (Bekar et al., 2011; Dimidi et al., 2019).

Πληθώρα δεδομένων υπογραμμίζει τη σχέση μεταξύ της αλλαγής της σύνθεσης του εντερικού μικροβιώματος και της έναρξης μεταβολικών διαταραχών και παχυσαρκίας. Το κίμτσι είναι γνωστό για τα οφέλη στις μεταβολικές παραμέτρους και τη δράση του κατά της παχυσαρκίας. Έτσι, οι Han et al. (2015) διεξήγαγαν έρευνα για να βρουν τη συσχέτιση μεταξύ του εντερικού μικροβιώματος και του ανθρώπινου γονιδιώματος, μετά από κατανάλωση κίμτσι, ώστε να ερμηνεύσουν το μηχανισμό δράσης του κατά της παχυσαρκίας. Εικοσιτέσσερις παχύσαρκες γυναίκες κατανάλωσαν τυχαία 180 g είτε φρέσκου είτε ζυμωμένου κίμτσι για 8 βδομάδες. Αποδείχθηκε ότι το ζυμωμένο κίμτσι, σε σύγκριση με το φρέσκο, άλλαξε το βαθμό της έκφρασης ορισμένων γονιδίων στο αίμα, τα οποία σχετίζονται με μεταβολικά μονοπάτια και ανοσία. Παρά τις διάφορες αντιφάσεις στα αποτελέσματα μελετών, υπάρχουν αποδείξεις που συσχετίζουν την παχυσαρκία με μείωση των Bacteroidetes και αύξηση των Firmicutes στο έντερο. Αντιθέτως, η μείωση του λόγου των Firmicutes/Bacteroidetes έχει συσχετιστεί με μείωση του βάρους. Το φαινόμενο αυτό, παρατηρήθηκε και στο συγκεκριμένο πείραμα, καθώς η κατανάλωση ζυμωμένου κίμτσι, αύξησε τους πληθυσμούς των ειδών *Prevotella* και *Bacteroides* (φύλο Bacteroidetes) και μείωσε αυτούς του είδους *Blautia* (φύλο Firmicutes). Από αυτή τη μελέτη, συμπεραίνεται ότι το ζυμωμένο κίμτσι μπορεί να επηρεάσει άμεσα την έκφραση ορισμένων γονιδίων του ανθρώπου που σχετίζονται με μεταβολικά και ανοσολογικά μονοπάτια, ή έμμεσα να επηρεάσει τον ανθρώπινο μεταβολισμό, ρυθμίζοντας τη σύσταση της εντερικής μικροχλωρίδας. Παρ'όλα αυτά, η μελέτη παρουσίασε κάποια μειονεκτήματα, όπως (α) ο μικρό αριθμό δειγμάτων, (β) η μικρή διάρκεια της διατροφικής παρέμβασης και (γ) η ύπαρξη τρίτου γκρουπ το οποίο δε θα κατανάλωνε κίμτσι πληροφορίες (Dimidi et al., 2019; Han et al., 2015).

Οι Kim & Park (2018) χορήγησαν σε 28 νεαρούς ενήλικες 210 g/μέρα τυποποιημένο κίμτσι και λειτουργικό κίμτσι (με δράση ενάντια στον ορθοκολικό καρκίνο προσθέτοντας υποπροϊόντα με φυτοχημικά) για 28 μέρες. Σε ανάλυση κοπράνων βρέθηκε ότι η κατανάλωση κίμτσι, ειδικά του λειτουργικού, μείωσε την αφθονία των Firmicutes αλλά αύξησε τα Bacteroidetes. Και τα δύο κίμτσι αύξησαν τα γένη που παράγουν SCFAs και μείωσαν τις μετρήσεις σε *Clostridium* sp. και *Escherichia coli*. Επίσης σε όλους τους συμμετέχοντες παρατηρήθηκε αυξημένη κατανάλωση διαιτητικών ινών και μείωση της LDL χοληστερόλης. Επομένως, το κίμτσι έδωσε σημαντικές ενδείξεις ως προς την ικανότητα ρύθμισης της υγείας του παχέος εντέρου (Dimidi et al., 2019; Kim & Park, 2018).

Οι Fox et al. (2015) διεξήγαγαν μία πολυκεντρική τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη διπλά τυφλή κλινική δοκιμή (multisite, randomized, double-blind, placebo-controlled trial) για την επίδραση προβιοτικού γιαουρτιού σε παιδιά που ακολούθησαν αντιβιοτική θεραπεία. Εβδομήντα παιδιά κατανάλωσαν 200g/μέρα τυχαία είτε προβιοτικό γιαούρτι με *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG), *B. lactis* Bb-12, *Lb. acidophilus* είτε παστεριωμένο γιαούρτι (placebo). Η κατανάλωση διήρκησε όσο και η αντιβιοτική θεραπεία. Η ομάδα που κατανάλωσε προβιοτικό γιαούρτι δεν είχε κανένα σοβαρό περιστατικό διάρροιας. Από την άλλη, στην ομάδα που κατανάλωσε το placebo βρέθηκαν 6 περιστατικά σοβαρής διάρροιας και 21 ελαφρύς. Επίσης, οι ανεπιθύμητες παρενέργειες ήταν λιγότερες στην ομάδα του προβιοτικού γιαουρτιού (Fox et al., 2015).

Οι Veiga et al. (2014) εξέτασαν την επίδραση ζυμωμένου γάλακτος στο εντερικό μικροβίωμα. Είκοσιοκτώ γυναίκες με σύνδρομο ευερέθιστου εντέρου χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, όπου οι 14 κατανάλωσαν ζυμωμένο γάλα με *B. animalis* και οι 14 placebo, για 4 εβδομάδες και σε ποσότητα 125 g, δύο φορές τη μέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση στα *Bilophila wadsworthia* (παθογόνο) και αύξηση της παραγωγής SCFAs από το εντερικό μικροβίωμα, κυρίως του βουτυρικού οξέος (Veiga et al., 2014).

Οι Chiu et al. (2017) διεξήγαγαν δοκιμή, όπου 44 ασθενείς με υπερχολεστερολαιμία κατανάλωσαν είτε ζυμωμένο φυτικό εκχύλισμα είτε δείγμα placebo για 8 εβδομάδες σε ποσότητα 30 mL, δύο φορές τη μέρα. Με ανάλυση των κοπράνων, παρατηρήθηκε αύξηση των *Bifidobacteria* και *Lactobacillus* spp. και μείωση των παθογόνων *E.coli* και *Clostridium perfringens* του εντέρου (Chiu et al., 2017).

Οι Volokh et al. (2019) διερεύνησαν τις αλλαγές που επιφέρει στο εντερικό μικροβίωμα, η κατανάλωση ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων που ήταν ενισχυμένα με το προβιοτικό *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12. Στη δοκιμή συμμετείχαν 150 υγιείς ενήλικες και έγινε μικροβιακή ανάλυση πριν και μετά την κατανάλωση με τη βοήθεια της τεχνικής αλληλούχισης 16s rRNA. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των ωφέλιμων βακτηρίων όπως του γένους *Bifidobacterium*, *Adlercreutzia equolifaciens*, *Slackia isoflavoniconvertens*. Στο τέλος, οι εθελοντές χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Η έρευνα αυτή δείχνει ότι ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα με *B. animalis* subsp. *lactis* BB-12 έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν το μικροβίωμα του εντέρου. Όμως δεν είναι ξεκάθαρο αν τα οφέλη προκλήθηκαν από το ζυμωμένο τρόφιμο ή από το προβιοτικό στέλεχος, καθώς δεν υπήρξε χορήγηση δείγματος placebo (Volokh et al., 2019).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα προβιοτικά και τα πρεβιοτικά, φαίνεται να έχουν αρκετές ευεργετικές ιδιότητες όταν βρίσκονται σε τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση. Κάποιοι προβιοτικοί μικροοργανισμοί (κυρίως από την κατηγορία των οξυγαλακτικών βακτηρίων) προάγουν την υγεία του ανθρώπου παρουσιάζοντας οφέλη, ιδιαίτερα στο ανοσοποιητικό και το γαστρεντερικό σύστημα. Η ζύμωση των τροφίμων μπορεί να δημιουργήσει πιο ποιοτικά και με μεγαλύτερη θρεπτική αξία, προϊόντα διατροφής. Μέσω της ζύμωσης αυξάνονται στο υπόστρωμα κάποια θρεπτικά συστατικά (π.χ βιταμίνες του συμπλέγματος Β, οργανικά οξέα, βακτηριοσίνες) και ενδέχεται να μειωθούν ανεπιθύμητες ουσίες (π.χ φυτικό οξύ).

Ορισμένες φυτικές ενώσεις (π.χ ινουλίνη) είναι ικανές να βελτιώσουν την υφή των ζυμούμενων τροφίμων, ύστερα από επιλογή, κάθε φορά, της κατάλληλης ένωσης κατά την παραγωγή. Κάποιες από αυτές τις ενώσεις (κυρίως οι γαλακτοολιγοσακχαρίτες και φρουκτοολιγοσακχαρίτες) και έχοντας ως κριτήριο να μην πέπτονται από το γαστρεντερικό σύστημα, μπορούν να βελτιώσουν τη βιωσιμότητα των προβιοτικών βακτηρίων τόσο μέσα στα τρόφιμα, όσο και στον ανθρώπινο εντερικό σωλήνα, εμφανίζοντας πρεβιοτική δράση. Ο επικαιροποιημένος ορισμός των πρεβιοτικών, διευρύνει το φάσμα δράσης τους όχι μόνο στο έντερο αλλά και σε άλλες περιοχές του οργανισμού (π.χ στοματική κοιλότητα). Τα κυριότερα πρεβιοτικά είναι άπεπτοι υδατάνθρακες (π.χ ινουλίνη), όμως νέα συστατικά έχουν αρχίσει να μελετώνται για πιθανή πρεβιοτική δράση, όπως τα φλαβονοειδή και τα καροτενοειδή.

Σήμερα, τα προβιοτικά και τα πρεβιοτικά είναι από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστατικά στην παραγωγή λειτουργικών τροφίμων. Εξαιτίας της ολοένα και αυξανόμενης ενημέρωσης των καταναλωτών για τα οφέλη που έχουν τα ζυμούμενα τρόφιμα στην υγεία, διάφοροι ερευνητές έχουν προσπαθήσει να δημιουργήσουν λειτουργικά ζυμούμενα τρόφιμα, προσθέτοντας προβιοτικά και πρεβιοτικά. Ωστόσο για την διάθεση τέτοιων προϊόντων χρειάζεται μεγαλύτερος αριθμός κλινικών δοκιμών σε εθελοντές ώστε να ελεγχθούν τα οφέλη, αλλά και η αποδοχή που συναντά το προϊόν και να εξαχθούν ασφαλή και αξιόπιστα συμπεράσματα.

Επιπρόσθετα, τα προβιοτικά που βρίσκονται σε τρόφιμα, αντιμετωπίζουν αρκετές παραμέτρους που μπορεί να επηρεάσουν τη βιωσιμότητά τους, τόσο μέσα στο προϊόν

(θερμοκρασία επεξεργασίας, διαθεσιμότητα O<sub>2</sub>, pH υποστρώματος κ.α) όσο και κατά την κατανάλωσή του (γαστρικά υγρά, μηχανισμός αντίστασης στο μικροβιακό αποικισμό του εντέρου). Έτσι οι ζωντανοί μικροοργανισμοί που υπάρχουν σε κάποια ζυμούμενα τρόφιμα, μπορεί να μην καταφέρουν να φτάσουν στο εντερικό σύστημα ζωντανοί, ή να μη μπορέσουν να το αποικίσουν. Ωστόσο υπάρχουν και κάποια ζυμούμενα προϊόντα όπως το κίμτσι, το natto, οι επιτραπέζιες μαύρες ελιές, η κομπούχα και το κεφίρ, για τα οποία έχουν διεξαχθεί μελέτες που έδειξαν ότι περιέχουν ή μπορούν να φιλοξενήσουν προβιοτικά βακτήρια. Τέλος, υπάρχουν ορισμένες *in vivo* κλινικές δοκιμές οι οποίες απέδειξαν ότι τα προβιοτικά κάποιων ζυμωμένων τροφίμων (π.χ κεφίρ) επέφεραν αλλαγές στο εντερικό μικροβίωμα του ανθρώπου αυξάνοντας τα ευεργετικά και μειώνοντας τα παθογόνα βακτήρια.

Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα, δεν υπάρχουν επαρκείς κλινικές μελέτες για τα περισσότερα ζυμούμενα τρόφιμα και όσες υπάρχουν παρουσιάζουν αντιφατικά αποτελέσματα, δεδομένου του μικρού αριθμού δοκιμών και της ποικιλίας των ζυμωμένων προϊόντων. Για αυτό το λόγο, εκτός από *in vitro* μελέτες, απαιτείται η διεξαγωγή περισσότερων *in vivo* δοκιμών, σε υγιείς ανθρώπους αλλά και σε ασθενείς πληθυσμιακές ομάδες, ώστε να σχηματιστούν ισχυρισμοί υγείας και επίσημες κατευθυντήριες οδηγίες για τα ζυμούμενα τρόφιμα που περιέχουν προβιοτικά και πρεβιοτικά συστατικά.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική βιβλιογραφία/ πτυχιακές/ μεταπτυχιακές εργασίες**

Γύπας, Φ., και Μεντής, Φ. Α. (2013, Μάρτιος). Ανθρώπινο μικροβίωμα του εντέρου: Ο ρόλος του στην υγεία και στη νόσο. Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής, Τόμος 30, σελ. 272-288.

Διαμαντοπούλου Δ., Παρασκευή και μελέτη βιωσιμότητας σκευασμάτων προβιοτικών μικροοργανισμών και φυτικών εκχυλισμάτων, 2015, Πανεπιστήμιο Πατρών, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Μπάκα Α. Μ., Επίδραση αυτόχθονων καλλιεργειών εκκίνησης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αλλαντικών αέρος, 2010, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μεταπτυχιακή διατριβή.

## Ξένη βιβλιογραφία

Abdel-Rahman, M. A., Tashiro, Y., & Sonomoto, K. (2013). Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. *Biotechnology Advances*, 31(6), 877–902. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.04.002>

Adebo, O. A., Njobeh, P. B., Adeboye, A. S., Adebisi, J. A., Sobowale, S. S., Ogundele, O. M., & Kayitesi, E. (2018). Advances in Fermentation Technology for Novel Food Products. *Innovations in Technologies for Fermented Food and Beverage Industries*, 71–87. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74820-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74820-7_4)

Altieri, C., Ciuffreda, E., Di Maggio, B., & Sinigaglia, M. (2017). Lactic acid bacteria as starter cultures. In B. Speranza, A. Bevilacqua, M. R. Corbo, & M. Sinigaglia (Eds.), *Starter Cultures in Food Production* (pp. 1–15). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118933794.ch1>

Annunziata, G., Arnone, A., Ciampaglia, R., Tenore, G. C., & Novellino, E. (2020). Fermentation of Foods and Beverages as a Tool for Increasing Availability of Bioactive Compounds. Focus on Short-Chain Fatty Acids. *Foods*, 9(8), 999. <https://doi.org/10.3390/foods9080999>

Argyri, A. A., Panagou, E. Z., & Tassou, C. C. (2016). Chapter 25—Probiotics from the Olive Microbiota. In R. R. Watson & V. R. Preedy (Eds.), *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics* (pp. 371–389). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802189-7.00025-3>

Asaithambi, N., Singh, S. K., & Singha, P. (2021). Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 303, 110567. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110567>

Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Silva, R. C. da, & Ibrahim, S. A. (2020). Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications. *Dairy*, 1(3), 202–232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>

Bamforth, C. W., & Cook, D. J. (2019). *Food, fermentation, and micro-organisms*. John Wiley & Sons.



- Bekar, O., Yilmaz, Y., & Gulden, M. (2011). Kefir improves the efficacy and tolerability of triple therapy in eradicating *Helicobacter pylori*. *Journal of Medicinal Food*, *14*(4), 344–347. <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.0099>
- Bis-Souza, C. V., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Penna, A. L. B., & Barretto, A. C. S. (2019). New strategies for the development of innovative fermented meat products: A review regarding the incorporation of probiotics and dietary fibers. *Food Reviews International*, *35*(5), 467–484. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1584816>
- Bocchi, S., Sagheddu, V., Elli, M., Lim, C.-Y., & Morelli, L. (2020). The Synergistic Interaction between Probiotics and Food Affects Their Beneficial Features. *Advances in Nutrition and Food Science*, *2020*, 01–12. <https://doi.org/10.37722/ANAFS.20202>
- Bourrie, B. C. T., Willing, B. P., & Cotter, P. D. (2016). The Microbiota and Health Promoting Characteristics of the Fermented Beverage Kefir. *Frontiers in Microbiology*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00647>
- Capece, A., Romaniello, R., Pietrafesa, A., Siesto, G., Pietrafesa, R., Zambuto, M., & Romano, P. (2018). Use of *Saccharomyces cerevisiae* var. *Boulardii* in co-fermentations with *S. cerevisiae* for the production of craft beers with potential healthy value-added. *International Journal of Food Microbiology*, *284*, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.028>
- Capozzi, V., Fragasso, M., Romaniello, R., Berbegal, C., Russo, P., & Spano, G. (2017). Spontaneous Food Fermentations and Potential Risks for Human Health. *Fermentation*, *3*(4), 49. <https://doi.org/10.3390/fermentation3040049>
- Castillo Martinez, F. A., Balciunas, E. M., Salgado, J. M., Domínguez González, J. M., Converti, A., & Oliveira, R. P. de S. (2013). Lactic acid properties, applications and production: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *30*(1), 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.11.007>
- Chiu, H.-F., Chen, Y.-J., Lu, Y.-Y., Han, Y.-C., Shen, Y.-C., Venkatakrisnan, K., & Wang, C.-K. (2017). Regulatory efficacy of fermented plant extract on the intestinal microflora and lipid profile in mildly hypercholesterolemic individuals. *Journal of Food and Drug Analysis*, *25*(4), 819–827. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.10.008>

Costa, M. F., Pimentel, T. C., Guimaraes, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. *LWT*, *105*, 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.007>

Cuvas-Limon, R. B., Nobre, C., Cruz, M., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruíz, H. A., Loredot-Treviño, A., Texeira, J. A., & Belmares, R. (2020). Spontaneously fermented traditional beverages as a source of bioactive compounds: An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *0(0)*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1791050>

De Roos, J., & De Vuyst, L. (2018). Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages. *Current Opinion in Biotechnology*, *49*, 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.007>

Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M., & Whelan, K. (2019). Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease. *Nutrients*, *11(8)*, 1806. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>

Divya, J. B., Varsha, K. K., Nampoothiri, K. M., Ismail, B., & Pandey, A. (2012). Probiotic fermented foods for health benefits. *Engineering in Life Sciences*, *12(4)*, 377–390. <https://doi.org/10.1002/elsc.201100179>

Farnworth, E. R. (2005). The Beneficial Health Effects of Fermented Foods-Potential Probiotics Around the World. *Journal of Nutraceuticals, Functional & Medical Foods*, *4(3–4)*, 93–117. [https://doi.org/10.1300/J133v04n03\\_07](https://doi.org/10.1300/J133v04n03_07)

Fazilah, N. F., Ariff, A. B., Khayat, M. E., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2018). Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of Functional Foods*, *48*, 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.039>

Florowska, A., Krygier, K., Florowski, T., & Dłużewska, E. (2016). Prebiotics as functional food ingredients preventing diet-related diseases. *Food & Function*, *7(5)*, 2147–2155. <https://doi.org/10.1039/c5fo01459j>

Fox, M. J., Ahuja, K. D. K., Robertson, I. K., Ball, M. J., & Eri, R. D. (2015). Can probiotic yogurt prevent diarrhoea in children on antibiotics? A double-blind,

randomised, placebo-controlled study. *BMJ Open*, 5(1), e006474. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-006474>

Freire, A. L., Ramos, C. L., & Schwan, R. F. (2017). Effect of symbiotic interaction between a fructooligosaccharide and probiotic on the kinetic fermentation and chemical profile of maize blended rice beverages. *Food Research International*, 100, 698–707. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.070>

Garrigues, C., Johansen, E., & Crittenden, R. (2013). Pangenomics – an avenue to improved industrial starter cultures and probiotics. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(2), 187–191. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.08.009>

Georgieva, M., Andonova, L., Peikova, L., & Zlatkov, A. (2014). Probiotics—Health benefits, classification, quality assurance and quality control—Review. *Pharmacia*, 61, 22–31.

Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491–502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>

Glibowski, P., & Skrzypczak, K. (2017). Chapter 6—Prebiotic and Synbiotic Foods. In A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Microbial Production of Food Ingredients and Additives* (pp. 155–188). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811520-6.00006-4>

Golowczyc, M. A., Gugliada, M. J., Hollmann, A., Delfederico, L., Garrote, G. L., Abraham, A. G., Semorile, L., & Antoni, G. D. (2008). Characterization of homofermentative lactobacilli isolated from kefir grains: Potential use as probiotic. *Journal of Dairy Research*, 75(2), 211–217. <https://doi.org/10.1017/S0022029908003117>

Gomes, R. J., Borges, M. de F., Rosa, M. de F., Castro-Gómez, R. J. H., & Spinosa, W. A. (2018). Acetic Acid Bacteria in the Food Industry: Systematics, Characteristics and

Applications. *Food Technology and Biotechnology*, 56(2), 139–151.  
<https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5593>

Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Silva, R., Rocha, R. S., Graça, J. S., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2020). Impact of probiotics and prebiotics on food texture. *Current Opinion in Food Science*, 33, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.002>

Han, K., Bose, S., Wang, J., Kim, B.-S., Kim, M. J., Kim, E.-J., & Kim, H. (2015). Contrasting effects of fresh and fermented kimchi consumption on gut microbiota composition and gene expression related to metabolic syndrome in obese Korean women. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(5), 1004–1008. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201400780>

Heydari, S., Amiri-Rigi, A., Ehsani, M. R., Mohammadifar, M. A., Khorshidian, N., Koushki, M. R., & Mortazavian, A. M. (2018). Rheological behaviour, sensory properties and syneresis of probiotic yoghurt supplemented with various prebiotics. *International Journal of Dairy Technology*, 71(S1), 175–184. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12491>

Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506–514. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>

Jayabalan, R., & Waisundara, V. Y. (2019). 12—Kombucha as a Functional Beverage. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Functional and Medicinal Beverages* (pp. 413–446). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00012-1>

Jo, S.-G., Noh, E.-J., Lee, J.-Y., Kim, G., Choi, J.-H., Lee, M.-E., Song, J.-H., Chang, J.-Y., & Park, J.-H. (2016). *Lactobacillus curvatus* WiKim38 isolated from kimchi induces IL-10 production in dendritic cells and alleviates DSS-induced colitis in mice. *Journal of Microbiology (Seoul, Korea)*, 54(7), 503–509. <https://doi.org/10.1007/s12275-016-6160-2>

Jr, G. F. C., & McClung, J. P. (2016). *The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. Academic Press.

Kanyer, A. J., Bornhorst, G. M., Marco, M. L., & Bamforth, C. W. (2017). Is beer a source of prebiotics? *Journal of the Institute of Brewing*, 123(3), 361–365. <https://doi.org/10.1002/jib.439>

Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou, N., & Fakiri, E. M. (2013). Health Benefits of Probiotics: A Review. *ISRN Nutrition*, 2013. <https://doi.org/10.5402/2013/481651>

Kim, H.-Y., & Park, K.-Y. (2018). Clinical trials of kimchi intakes on the regulation of metabolic parameters and colon health in healthy Korean young adults. *Journal of Functional Foods*, 47, 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.052>

Kınık, Ö., Kesenkaş, H., Günç Ergönül, P., & Akan, E. (2017). The effect of using pro and prebiotics on the aromatic compounds, textural and sensorial properties of symbiotic goat cheese. *Mljekarstvo / Dairy*, 67, 71–85. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0108>

Kok, C. R., & Hutkins, R. (2018). Yogurt and other fermented foods as sources of health-promoting bacteria. *Nutrition Reviews*, 76(Suppl 1), 4–15. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy056>

Latha, S., Hemamalini, A., Dr. S. Dinesh Kumar, Arulmozhi, M., & Dharumadurai, D. (2019). *Ethnic Probiotic Foods of South India and Their Health Benefits* (pp. 77–92). <https://doi.org/10.1201/9780429274787-6>

Laureys, D., Britton, S. J., & Clippeleer, J. D. (2020). Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 78(3), 165–174. <https://doi.org/10.1080/03610470.2020.1734150>

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2014). Fermented food in the context of a healthy diet: How to produce novel functional foods? *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 17(6), 574–581. <https://doi.org/10.1097/MCO.000000000000108>

- Liu, Y., Han, Y., Cao, L., Wang, X., & Dou, S. (2021). Analysis of Main Components and Prospects of Natto. *Advances in Enzyme Research*, 09, 1–9. <https://doi.org/10.4236/aer.2021.91001>
- Ma, G., & Chen, Y. (2020). Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *Journal of Functional Foods*, 66, 103829. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103829>
- Mani, A. (2018). Food Preservation by Fermentation and Fermented food products. *International Journal of Academic Research*, 2395, 8.
- Mantzourani, I., Kazakos, S., Terpou, A., Alexopoulos, A., Bezirtzoglou, E., Bekatorou, A., & Plessas, S. (2019). Potential of the Probiotic *Lactobacillus Plantarum* ATCC 14917 Strain to Produce Functional Fermented Pomegranate Juice. *Foods*, 8(1), 4. <https://doi.org/10.3390/foods8010004>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., Hill, C., Holzapfel, W., Lebeer, S., Merenstein, D., Reid, G., Wolfe, B. E., & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 18(3), 196–208. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5>
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Ficca, A. G., & Ruzzi, M. (2019). Health-Promoting Components in Fermented Foods: An Up-to-Date Systematic Review. *Nutrients*, 11(5), 1189. <https://doi.org/10.3390/nu11051189>
- Milani, P., Parker, M. E., Kort, R., & Sybesma, W. (2018). Probiotic Fermented Foods: A scalable approach to promote gut health and improve nutrition. *Sight and Life*, 32(1), 53–61.

- Mollakhalili, N., & AM, M. (2017). Probiotic Supplements and Food Products: A Comparative Approach. *Biochemistry & Pharmacology: Open Access*, 06. <https://doi.org/10.4172/2167-0501.1000227>
- Nagai, T. (2015). *Health Benefits of Natto* (pp. 433–454). <https://doi.org/10.1201/b18279-14>
- Norouzi, S., Pourjafar, H., Ansari, F., & Homayouni, A. (2019). A Survey on the survival of *Lactobacillus paracasei* in fermented and non-fermented frozen soy dessert. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101297. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101297>
- Nuraida, L. (2015). A review: Health promoting lactic acid bacteria in traditional Indonesian fermented foods. *Food Science and Human Wellness*, 4(2), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.06.001>
- Pandey, Kavita. R., Naik, Suresh. R., & Vakil, Babu. V. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7577–7587. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1>
- Park, K.-Y., Jeong, J.-K., Lee, Y.-E., & Daily, J. W. (2014). Health benefits of kimchi (Korean fermented vegetables) as a probiotic food. *Journal of Medicinal Food*, 17(1), 6–20. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.3083>
- Peng, M., Kennedy, N. F., Truong, A., Arriola, B., & Akmel, A. (2020). Probiotics and Prebiotics on Intestinal Flora and Gut Health. In D. Biswas & S. O. Rahaman (Eds.), *Gut Microbiome and Its Impact on Health and Diseases* (pp. 85–103). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47384-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47384-6_4)
- Perricone, M., Arace, E., Calò, G., & Sinigaglia, M. (2017). Ethnic fermented foods. In B. Speranza, A. Bevilacqua, M. R. Corbo, & M. Sinigaglia (Eds.), *Starter Cultures in Food Production* (pp. 384–406). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118933794.ch19>
- Petrova, P., & Petrov, K. (2020). Lactic Acid Fermentation of Cereals and Pseudocereals: Ancient Nutritional Biotechnologies with Modern Applications. *Nutrients*, 12(4), 1118. <https://doi.org/10.3390/nu12041118>

Rezac, S., Kok, C. R., Heermann, M., & Hutkins, R. (2018). Fermented Foods as a Dietary Source of Live Organisms. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01785>

Rinninella, E., Raoul, P., Cintoni, M., Franceschi, F., Miggiano, G. A. D., Gasbarrini, A., & Mele, M. C. (2019). What is the Healthy Gut Microbiota Composition? A Changing Ecosystem across Age, Environment, Diet, and Diseases. *Microorganisms*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/microorganisms7010014>

Rodríguez, A., Martínez, B., García, P., Ruas-Madiedo, P., & Sánchez, B. (2017). New trends in dairy microbiology: Towards safe and healthy products. In B. Speranza, A. Bevilacqua, M. R. Corbo, & M. Sinigaglia (Eds.), *Starter Cultures in Food Production* (pp. 299–323). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118933794.ch15>

Rossi, M., Amaretti, A., Leonardi, A., Raimondi, S., Simone, M., & Quartieri, A. (2013). Potential Impact of Probiotic Consumption on the Bioactivity of Dietary Phytochemicals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(40), 9551–9558. <https://doi.org/10.1021/jf402722m>

Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 1–19. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>

Sankaranarayanan, A., Amaresan, N., & Dhanasekaran, D. (2019). *Fermented Food Products*. CRC Press.

Sen, S., & Mansell, T. J. (2020). Yeasts as probiotics: Mechanisms, outcomes, and future potential. *Fungal Genetics and Biology*, 137, 103333. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2020.103333>

Shafi, A., Raja, H. N., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Naz, A., & Nadeem, H. R. (2019). Antimicrobial and antidiabetic potential of synbiotic fermented milk: A functional dairy product. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 15–22. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12555>



- Sharifi, M., Moridnia, A., Mortazavi, D., Salehi, M., Bagheri, M., & Sheikhi, A. (2017). Kefir: A powerful probiotics with anticancer properties. *Medical Oncology (Northwood, London, England)*, 34(11), 183. <https://doi.org/10.1007/s12032-017-1044-9>
- Show, P. L., Oladele, K. O., Siew, Q. Y., Zakry, F. A. A., Lan, J. C.-W., & Ling, T. C. (2015). Overview of citric acid production from *Aspergillus niger*. *Frontiers in Life Science*, 8(3), 271–283. <https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1033653>
- Singh, H., & Gallier, S. (2014). Chapter 2—Processing of Food Structures in the Gastrointestinal Tract and Physiological Responses. In M. Boland, M. Golding, & H. Singh (Eds.), *Food Structures, Digestion and Health* (pp. 51–81). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404610-8.00002-5>
- Smith, N. M., Maloney, N. G., Shaw, S., Horgan, G. W., Fyfe, C., Martin, J. C., Suter, A., Scott, K. P., & Johnstone, A. M. (2020). Daily Fermented Whey Consumption Alters the Fecal Short-Chain Fatty Acid Profile in Healthy Adults. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00165>
- Speranza, B., Campaniello, D., Monacis, N., Bevilacqua, A., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2018). Functional cream cheese supplemented with *Bifidobacterium animalis* subsp. *Lactis* DSM 10140 and *Lactobacillus reuteri* DSM 20016 and prebiotics. *Food Microbiology*, 72, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.11.001>
- Takahashi, M., Ohta, T., Masaki, K., Mizuno, A., & Goto-Yamamoto, N. (2014). Evaluation of microbial diversity in sulfite-added and sulfite-free wine by culture-dependent and -independent methods. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 117(5), 569–575. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.10.012>
- Tamang, Jyoti P., Shin, D.-H., Jung, S.-J., & Chae, S.-W. (2016). Functional Properties of Microorganisms in Fermented Foods. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00578>
- Tamang, Jyoti Prakash, Cotter, P. D., Endo, A., Han, N. S., Kort, R., Liu, S. Q., Mayo, B., Westerik, N., & Hutkins, R. (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 184–217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12520>

Terefe, N. (2016). Food Fermentation. In *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03420-X>

Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in Food Systems: Significance and Emerging Strategies Towards Improved Viability and Delivery of Enhanced Beneficial Value. *Nutrients*, *11*(7). <https://doi.org/10.3390/nu11071591>

Tomasik, P., & Tomasik, P. (2020). Probiotics, Non-Dairy Prebiotics and Postbiotics in Nutrition. *Applied Sciences*, *10*(4), 1470. <https://doi.org/10.3390/app10041470>

Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, *9*, 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>

Ugural, A., & Akyol, A. (2020). Can pseudocereals modulate microbiota by functioning as probiotics or prebiotics? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *0*(0), 1–15. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1846493>

van Hylckama Vlieg, J. E. T., Veiga, P., Zhang, C., Derrien, M., & Zhao, L. (2011). Impact of microbial transformation of food on health—From fermented foods to fermentation in the gastro-intestinal tract. *Current Opinion in Biotechnology*, *22*(2), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.12.004>

Veiga, P., Pons, N., Agrawal, A., Oozeer, R., Guyonnet, D., Brazeilles, R., Faurie, J.-M., van Hylckama Vlieg, J. E. T., Houghton, L. A., Whorwell, P. J., Ehrlich, S. D., & Kennedy, S. P. (2014). Changes of the human gut microbiome induced by a fermented milk product. *Scientific Reports*, *4*, 6328. <https://doi.org/10.1038/srep06328>

Vilela, A., Cosme, F., & Inês, A. (2020). Wine and Non-Dairy Fermented Beverages: A Novel Source of Pro- and Prebiotics. *Fermentation*, *6*(4), 113. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040113>

Volokh, O., Klimenko, N., Berezhnaya, Y., Tyakht, A., Nesterova, P., Popenko, A., & Alexeev, D. (2019). Human Gut Microbiome Response Induced by Fermented Dairy Product Intake in Healthy Volunteers. *Nutrients*, *11*(3), 547. <https://doi.org/10.3390/nu11030547>

Wang, H., Zhang, S., Sun, Y., & Dai, Y. (2013). ACE-Inhibitory Peptide Isolated from Fermented Soybean Meal as Functional Food. *International Journal of Food Engineering*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0207>

Xiang, H., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I. N., Cui, C., & Ruan, Z. (2019). Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 203–243. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.003>

Yin, R., Kuo, H.-C., Hudlikar, R., Sargsyan, D., Li, S., Wang, L., Wu, R., & Kong, A.-N. (2019). Gut Microbiota, Dietary Phytochemicals, and Benefits to Human Health. *Current Pharmacology Reports*, 5(5), 332–344. <https://doi.org/10.1007/s40495-019-00196-3>

Zhang, Q. Q., Jiang, M., Rui, X., Li, W., Chen, X. H., & Dong, M. S. (2017). Effect of rose polyphenols on oxidation, biogenic amines and microbial diversity in naturally dry fermented sausages. *Food Control*, 78, 324–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.054>