



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

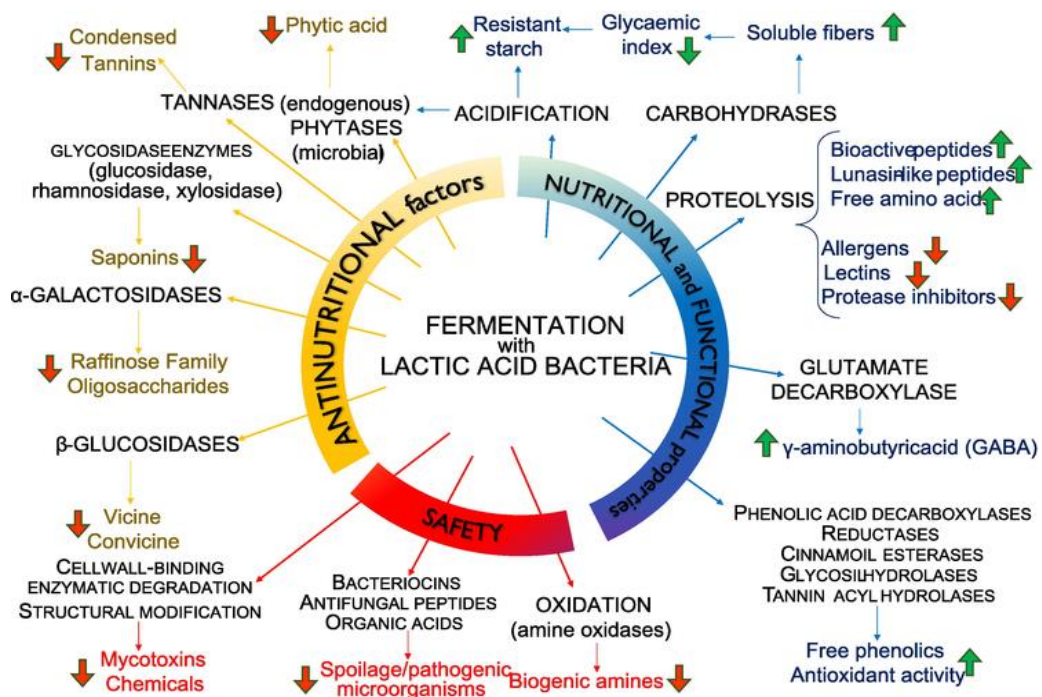
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη επίδρασης μικροβιακών ζυμώσεων
σε φυτικούς σπόρους**

MSc Thesis

Study of the effect of microbial fermentations on plant seeds



Σοφία Δήμοβιτς

Sofia Dimovits

Ανθιμία Μπατρίνου

Anthimia Batrinou



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

MSc THESIS

Study of the effect of microbial fermentations on plant seeds

Sofia Dimovits

21009

SUPERVISOR

Anthimia Batrinou

AIGALEO 2023

Επιτροπή Αξιολόγησης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο 'Μελέτη επίδρασης μικροβιακών ζυμώσεων σε φυτικούς σπόρους που παρουσιάστηκε από τον ή την **Σοφία Δήμοβιτς**, υποψήφιας για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

27/04/23

Μπατρίνου Ανθιμιά

Επίκουρη Καθηγήτρια

Ψηφιακή Υπογραφή

Σπηλιώτης Βασίλης

Καθηγητής

Ψηφιακή Υπογραφή

Κοντελής Σπυρίδων

Επίκουρος Καθηγητής

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.



Σοφία Δήμοβιτς

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κα. Μπατρίνου Ανθιμία για την κατανόηση και την βοήθεια που μου επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής . Στις μέρες μας είναι πολύ σημαντικό να σε σέβονται και να σε καταλαβαίνουν και δεν είναι ποτέ αυτονόητο.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές της επιτροπής κ. Κοντελέ και κ. Σπηλιώτη για το χρόνο που αφιέρωσαν στη διπλωματική αυτή.

Τέλος να ευχαριστήσω τον Τάσο που δύο χρόνια που διήρκησε όλο το μεταπτυχιακό, μου στάθηκε σαν βράχος σ' όλες τις αναμπουμπούλες που μου έφερε η ζωή και δεν με άφησε να τα παρατήσω .

Καλό είναι να λέμε και κάνα μπράβο στον εαυτό μας τελικά και να παρατηρούμε όλη την πορεία που έχουμε διανύσει και να συνειδητοποιήσουμε το μέγεθος του εγχειρήματος που καταφέραμε.

Περίληψη

Η χρήση των ζυμώσεων έχει καθιερωθεί από τα αρχαία χρόνια στον τομέα των τροφίμων . Οι πρωτεΐνες οσπρίων αποτελούν ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον στη βιομηχανία τροφίμων λόγω των διατροφικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων τους. Ωστόσο, η εφαρμογή τους εξακολουθεί να είναι περιορισμένη λόγω της παρουσίας διάφορων ουσιών, των φτωχών τεχνολογικών τους ιδιοτήτων και των δυσάρεστων αισθητηριακών χαρακτηριστικών τους. Η ζύμωση με οξυγαλακτικά βακτήρια εφαρμόζεται παραδοσιακά για να εξουδετερώσει αυτές τις ενοχλήσεις. Στην παρούσα χρονική περίοδο , οι φυτικοί σπόροι γίνονται όλο και πιο περιζήτητοι στον κλάδο των ερευνών αφού με την εφαρμογή ζυμώσεων , μπορούν να μετατραπούν σε πολύ πιο θρεπτικά τρόφιμα. Παρακάτω θα αναλυθεί η επίδραση της ζύμωσης γαλακτικού οξέος στη σύνθεση πρωτεΐνης οσπρίων και στις θρεπτικές, λειτουργικές, τεχνολογικές και αισθητηριακές τους ιδιότητες. Η πολυπλοκότητα της σύνθεσης της πρώτης ύλης , η ποικιλομορφία των βακτηρίων γαλακτικού οξέος και οι πολυάριθμες πιθανές συνθήκες ζύμωσης (θερμοκρασία, χρόνος, οξυγόνο και πρόσθετα θρεπτικά συστατικά) προσφέρουν μια εντυπωσιακή γκάμα δυνατοτήτων όσον αφορά τα προϊόντα οσπρίων που έχουν υποστεί ζύμωση. Απαιτούνται συστηματικές μελέτες προκειμένου να προσδιοριστούν οι συγκεκριμένοι ρόλοι των διαφόρων παραγόντων. Η βέλτιστη επιλογή αυτών των κριτηρίων θα επιτρέψει σε κάποιον να αποκτήσει υψηλής ποιότητας προϊόντα ζύμωσης φυτικών σπόρων. Η ζύμωση είναι μια τεχνολογία αρκετά δελεάζουσα για την ανάπτυξη προϊόντων με βάση σπόρους που είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τις προσδοκίες των καταναλωτών από διατροφική, λειτουργική, τεχνολογική και αισθητηριακή άποψη.

Λέξεις κλειδιά : οξυγαλακτική ζύμωση, φυτικοί σπόροι, λειτουργικές ιδιότητες, πρωτεΐνες , όσπρια .

Abstract

The use of fermentations has been established since ancient times in the food industry . Legume proteins represent a promising future in the food industry due to their nutritional, environmental and economic advantages. However, their application is still limited due to the presence of various substances, their poor technological properties and their unpleasant sensory characteristics. Fermentation with lactic acid bacteria is traditionally applied to counteract these disturbances. In the current period of time, plant seeds are becoming more and more popular in the research industry because by applying fermentations they can be turned into much more nutritious foods. The effect of lactic acid fermentation on the protein composition of legumes and their nutritional, functional, technological and sensory properties will be analyzed below. The complexity of the composition of the raw material, the diversity of lactic acid bacteria and the numerous possible fermentation conditions (temperature, time, oxygen and additional nutrients) offer an impressive range of possibilities when it comes to fermented legume products. Systematic studies are needed to determine the specific roles of the various factors. The optimal selection of these criteria will allow one to obtain high-quality leguminous fermentation products. Fermentation is a tempting technology for the development of seed products that are able to meet consumer expectations from a nutritional, functional, technological and sensory point of view.

Key words: lactic acid fermentation, vegetable seeds, functional properties, proteins, legumes.

Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright	4
Ευχαριστίες	5
Περίληψη	6
Κατάλογος Πινάκων	10
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	11
1.1 Ζυμώσεις	13
1.1.1 Αλκοολική Ζύμωση.....	13
1.1.3 Ζυμώσεις Οξυγαλακτικών Βακτηρίων.....	14
1.1.4 Πρωτόκολλο Ζυμώσεων φυτικών σπόρων.....	16
1.2 Οξυγαλακτικά Βακτήρια.....	17
1.2.1 Ταξινόμηση οξυγαλακτικών βακτηρίων.....	18
1.3 Μύκητες και Ζύμες.....	24
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις ζυμώσεις	26
1.5 Επίδραση των ζυμώσεων στα θρεπτικά συστατικά καρπών	29
1.5.1 Υδατάνθρακες	29
1.5.2 Πρωτεΐνες.....	29
1.5.3 Μέταλλα	31
1.6 Εναλλακτικά του κρέατος.....	33
Κεφάλαιο 2 : Οι πρωτεΐνες και ο ρόλος τους στους φυτικούς σπόρους	34
2.1 Η σημασία των πρωτεϊνών στη διατροφή των ανθρώπων.....	34
2.2 Τύποι φυτικών πρωτεϊνών	36
2.3 Είδη πρωτεϊνών ανάλογα με το είδος.....	37
2.3.1 Πρωτεΐνη Σόγιας.....	37
2.3.2. Πρωτεΐνη Μπιζελιού	37
2.3.4 Πρωτεΐνη κάνναβης.....	37
2.3.5 Πρωτεΐνη ρυζιού	37
2.3.6 Πρωτεΐνη κινόα	38
2.4 Διατροφική αξία φυτικών πρωτεϊνών.....	38
2.5 Η χρήση των ζυμώσεων στην ενίσχυση του πρωτεϊνικού περιεχομένου	40
Κεφάλαιο 3	42

3.1. Η επίδραση των οξυγαλακτικών ζυμώσεων στο θρεπτικό περιεχόμενο φυτικών σπόρων.....	42
3.2. Αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στις πρωτεΐνες κατά τη ζύμωση.....	44
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τους πρωτεϊνικούς μετασχηματισμούς.....	46
3.3.1 Η δραστηριότητα των ενζύμων.....	46
3.3.2 Μικροβιακή δραστηριότητα.....	47
3.3.3 Οι συνθήκες επεξεργασίας.....	49
3.3.4 Μορφή του Υποστρώματος.....	49
Κεφάλαιο 4.....	51
4.1 Η επίδραση των οξυγαλακτικών ζυμώσεων στην ποιότητα και πεπτικότητα σε πρωτεΐνες φυτικών σπόρων.....	51
4.2 Σύγκριση της αλλαγής του πρωτεϊνικού περιεχομένου σε διαφορετικών ειδών σπόρους.....	53
Κεφάλαιο 5.....	57
5.1 Μηχανισμοί που μεταβάλλουν τη δομή των πρωτεϊνών κατά τη ζύμωση.....	57
5.1.1 Ρόλος των ενζύμων.....	57
5.1.2 Η επίδραση της ζύμωσης στη δομή των πρωτεϊνών.....	58
5.2 Η επίδραση των ζυμώσεων στη σύνθεση των πρωτεϊνών.....	60
Κεφάλαιο 6 :.....	62
6.1 Εφαρμογές των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών.....	62
6.1.1 Διατροφικά οφέλη των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση.....	62
6.2 Λειτουργικές ιδιότητες φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση.....	63
6.2.1 Διαλυτότητα πρωτεϊνών.....	64
6.2.2 Αλλαγές στην υδροφοβικότητα των πρωτεϊνών.....	65
6.2.3 Ικανότητα συγκράτησης νερού και ικανότητα συγκράτησης ελαίων.....	66
6.2.5 Γαλακτωματοποιητικές Ιδιότητες.....	66
6.2.6 Αφριστικές Ιδιότητες.....	67
6.3 Χρήση των ζυμωμένων πρωτεϊνών στα τρόφιμα.....	72
6.4 Χρήση των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών στα σιτηρέσια ζώων.....	73
6.6 Προκλήσεις και περιορισμοί στη χρήση των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών.....	77
6.7 Επίδραση των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση στη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των τροφίμων.....	79
Κεφάλαιο 7.....	81
7.1 Πεδία μελλοντικής έρευνας.....	81

7.2 Επίλογος	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά ορισμένων οξυγαλακτικών βακτηρίων.....	19
Πίνακας 2 : Χρήση μυκήτων στη βιομηχανία των τροφίμων.....	26
Πίνακας 3 : Ένζυμα που χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση.....	46
Πίνακας 4 : Η επίδραση της γαλακτοζύμωσης στη γαλακτωματοποιητική δραστηριότητα και την ικανότητα αφρισμού των εναιωρημάτων πρωτεΐνης λούπινου σε διαφορετικό pH.	69
Πίνακας 5 : Επίδραση των οξυγαλακτικών ζυμώσεων στις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών.....	70
Πίνακας 6 : Δράσεις των ζυμώσεων στις φυτικές πρωτεΐνες.....	83

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Οι ζυμώσεις λαμβάνουν χώρα πάρα πολλά χρόνια. Οι ρίζες τους χρονολογούνται από την αρχαιότητα. Εφαρμόζονται σε προϊόντα διατροφής (τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση, χημικά πρόσθετα, λειτουργικά τρόφιμα και ζωντανά προβιοτικά), βοηθούν την πέψη και βελτιώνουν την απορρόφηση, αναστέλλουν τα παθογόνα, το μεταβολικό σύνδρομο, την καρδιοπάθεια και ορισμένες αλλεργίες. Ακόμα και στις σύγχρονες επιχειρήσεις χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, μετασχηματισμό του εδάφους και επεξεργασία λυμάτων. Στον τομέα αυτό, υπάρχουν πολλές εξελίξεις.

Οι πρώτες γραπτές μαρτυρίες για τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση είναι από το 13.000 π.Χ. και είναι ως επί το πλείστον αποτέλεσμα τυχαίας ζύμωσης που προκλήθηκε από εγγενή βακτήρια σε φυσικό υπόστρωμα. Οποιοδήποτε οργανικό υλικό μπορεί να μεταβληθεί χημικά κατά τη διάρκεια της ζύμωσης χάρη στον μικροβιακό μεταβολισμό και μια ποικιλία ενζύμων. Τα απόβλητα τροφίμων μπορούν να μετατραπούν σε χρήσιμες ενώσεις όπως το γαλακτικό οξύ, το βουτυρικό οξύ και η αιθανόλη με αναερόβια ζύμωση. Η επιλογή των βάσεων ζύμωσης, καθώς και οι διαδικασίες ζύμωσης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τροφίμων, συμβάλλουν επίσης στην ποικιλομορφία του τελικού προϊόντος (Sun *et al.*, 2022).

Σύμφωνα με την έκθεση Fermentation State of the Industry Report από το GFI, η διαδικασία της ζύμωσης αποτέλεσε τον «τρίτο τεχνικό πυλώνα της επανάστασης εναλλακτικών πρωτεϊνών» το 2020. Η αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμες και υγιεινές επιλογές τροφίμων έχει οδηγήσει σε αύξηση του ενδιαφέροντος για πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης ως εναλλακτική λύση σε πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης. Οι φυτικές πρωτεΐνες που έχουν υποστεί ζύμωση έχουν αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη επιλογή λόγω των πολυάριθμων θρεπτικών και λειτουργικών πλεονεκτημάτων τους. Η ζύμωση όχι μόνο ενισχύει την πεπτικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των φυτικών πρωτεϊνών, αλλά έχει επίσης ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό βιοδραστικών πεπτιδίων, τα οποία μπορεί να έχουν

ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία. Επιπλέον, η χρήση φυτικών πρωτεϊνών, που έχουν υποστεί ζύμωση, έχουν τη δυνατότητα να μετριάσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής τροφίμων, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ελαχιστοποιώντας τη χρήση γης και νερού.

Ωστόσο, η χρήση φυτικών πρωτεϊνών, που έχουν υποστεί ζύμωση, σε σκευάσματα τροφίμων και ζωοτροφών παρουσιάζει επίσης ορισμένες προκλήσεις και περιορισμούς. Αυτά περιλαμβάνουν την ανάγκη για βελτιστοποιημένες συνθήκες ζύμωσης για την εξασφάλιση σταθερής ποιότητας και ασφάλειας, καθώς και ζητήματα που σχετίζονται με τη γεύση, την υφή και την αισθητηριακή αποδοχή. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω έρευνα για τη διερεύνηση της επίδρασης των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών στη μικροχλωρίδα του εντέρου και στη λειτουργία του ανοσοποιητικού, καθώς και στον πιθανό ρόλο τους στην πρόληψη χρόνιων ασθενειών.

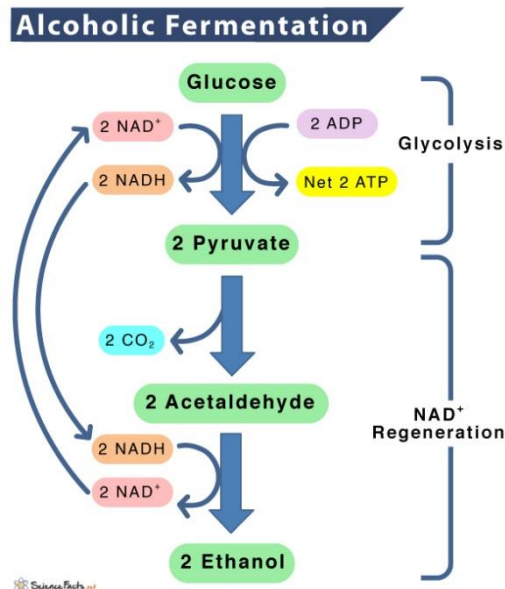
Ως εκ τούτου, αυτή η διατριβή στοχεύει να παρέχει μία εις βάθος ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης γνώσης σχετικά με τις ιδιότητες και τις εφαρμογές των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση σε σπόρους. Συγκεκριμένα, αυτή η διατριβή θα διερευνήσει τα θρεπτικά και λειτουργικά οφέλη των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση, τον πιθανό αντίκτυπό τους στη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των τροφίμων, καθώς και τις προκλήσεις και τους περιορισμούς που σχετίζονται με τη χρήση τους. Επιπλέον, αυτή η διατριβή θα εντοπίσει τομείς για περαιτέρω έρευνα για την προώθηση της κατανόησης και της εφαρμογής των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών στη βιομηχανία τροφίμων.

1.1 Ζυμώσεις

Η διαδικασία της ζύμωσης εφαρμόζεται από τους ανθρώπους χιλιάδες χρόνια με κύριο σκοπό τη συντήρηση των παραγόμενων τροφίμων και ποτών. Η πλειοψηφία των ζυμώσεων πραγματοποιούνται υπό αναερόβιες συνθήκες (π.χ. αλκοολική, γαλακτική) αλλά υπάρχουν και εκείνες που χρειάζονται την παρουσία οξυγόνου προκειμένου να πραγματοποιηθούν (π.χ. οξική ζύμωση). Κατά τη ζύμωση, μεγάλα οργανικά μόρια διασπώνται σε μικρότερα υπό τη δράση μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, οι πρωτεΐνες ενός τροφίμου μπορούν να διασπαστούν σε αμινοξέα. Λόγω αυτής της διαδικασίας, τα τρόφιμα αποκτούν ιδιότητες όπως διαφορετική όψη, άρωμα, γεύση κ.α. (Sharma *et al.*,2020).

1.1.1 Αλκοολική Ζύμωση

Η αλκοολική ζύμωση δεν αποτελεί μία απλή διαδικασία. Διάφοροι μικροοργανισμοί όπως βακτήρια, μύκητες και ζύμες μετατρέπουν τα ζάχαρα σε ενέργεια, αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και άλλα μεταβολικά προϊόντα (Buratti *et al.*,2016).



Εικόνα 1: Στάδια αλκοολικής ζύμωσης για την παραγωγή αιθανόλης.
Πηγή: <https://www.sciencefacts.net/alcoholic-fermentation.html>

Σε πρώτο στάδιο (γλυκόλυση), η γλυκόζη σχηματίζει δύο μόρια πυροσταφυλικού και ο δέκτης ηλεκτρονίων NAD⁺ ανάγεται για να σχηματιστεί NADH, δημιουργώντας έτσι 2 μόρια ATP ανά κύκλο. Στη συνέχεια τα μόρια πυροσταφυλικού, υπό την παρουσία του ενζύμου πυροσταφυλική αποκαρβοξυλάση μετατρέπονται σε αλκεταδεΰδη και τέλος σε αιθανόλη (Ciani *et al.*, 2008).

Η αλκοολική ζύμωση αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, μία σύνθετη χημική διαδικασία. Οι ζύμες μετατρέπουν τους υδατάνθρακες σε διοξείδιο του άνθρακα, αιθανόλη και άλλα μεταβολικά υποπροϊόντα, που ενισχύουν τη χημική σύνθεση και τις οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων που ζυμώνουν. Έχει μελετηθεί εκτενώς ο τρόπος λειτουργίας της και χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις για μετασχηματισμό υποστρώματος πλούσιου σε ζάχαρη, συμπεριλαμβανομένων των χυμών φρούτων αλλά και λαχανικών (Schorn-Garcia *et al.*, 2021) . Κατά τη ζύμωση αυτή, οι ζύμες χρησιμοποιούνται ως καλλιέργεια για την παραγωγή ποτών (Sun *et al.*, 2022).

Η αλκοολική ζύμωση με στέλεχος ζύμης είναι ένα παράδειγμα παραγωγής μικροβιακών μεταβολιτών. Ομοίως, ένας αριθμός σημαντικών βιοπροϊόντων, όπως η παραγωγή ενζύμων, τα προϊόντα μετάφρασης και άλλες χημικές ουσίες, δημιουργούνται με μικροβιακή ζύμωση χρησιμοποιώντας μια τεράστια ποικιλία υποστρωμάτων. Με βάση τη φυσική κατάσταση του θρεπτικού μέσου, οι διεργασίες ζύμωσης ταξινομούνται αναλόγως (Gurta *et al.*, 2022).

1.1.3 Ζυμώσεις Οξυγαλακτικών Βακτηρίων

Κατά τη διάρκεια της γαλακτικής ζύμωσης, πραγματοποιείται μετατροπή των μορίων πυροσταφυλικού της γλυκόλυσης σε γαλακτικό οξύ (Garrigues *et al.*, 2013). Η ζύμωση αυτή συμβαίνει αξιοποιώντας τη μικροχλωρίδα του προϊόντος ή από καλλιέργειες οξυγαλακτικών βακτηρίων με ταυτόχρονη χρήση άλατος ή κάποιου οξέος (Thokchom *et al.*, 2012). Προκειμένου να διατηρηθούν ή και να βελτιωθούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, η ασφάλεια, η θρεπτική αξία και η διάρκεια ζωής των φρούτων και των λαχανικών, η οξυγαλακτική ζύμωση θεωρείται ότι είναι μια

διαδικασία κατάλληλη για να επιτευχθούν τα παραπάνω (Litchfield, 1996). Οι ζυμώσεις από οξυγαλακτικά βακτήρια μπορούν να πραγματοποιηθούν με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται ομοζυμωτικός και κατά αυτόν, τα βακτήρια θα αξιοποιήσουν περισσότερο από το 90 % των σακχάρων του υποστρώματος και θα το μετατρέψουν τελικά σε γαλακτικό οξύ. Ο δεύτερος καλείται ετεροζυμωτικός και κατά αυτόν, που αντιστοιχεί στο 50%. Τα βακτήρια αυτά χρησιμοποιούν έναν από τους δύο τρόπους ή και τους δύο, προκειμένου να παράξουν γαλακτικό οξύ (Hutkins,2008).

Τα οφέλη της ζύμωσης γαλακτικού οξέος εμφανίζονται παρακάτω:

- Η αλλοίωση των τροφίμων και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί αποτρέπονται με έναν συνδυασμό μείωσης του pH, μείωσης του δυναμικού οξείδωσης.
- Ανταγωνισμός για σημαντικές βιταμίνες και σχηματισμός ανασταλτικών ουσιών όπως υπεροξειδίου του υδρογόνου και αντιβιοτικά συστατικά.
- Βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις, αύξηση του θρεπτικού περιεχομένου ή της πεπτικότητας της πρώτης ύλης (Cooke *et al.*,1989).

Κατά τους Ren *et al.*,(2022) σε πείραμά τους παρατήρησαν ότι οι αλλαγές στο μόριο της πρωτεΐνης, που έγιναν με την υδρόλυση πρωτεάσης των βακτηρίων γαλακτικού οξέος κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, ενθάρρυναν την ανάπτυξη γέλης σε σπόρους σόγιας και αύξησαν την ποσότητα υδρόφοβων πεπτιδίων και υδρόφοβων αμινοξέων. Από την άλλη μεριά, οι Shi *et al.*,(2021) σε πείραμα που διεξήγαγαν, για να μειώσουν τη δυσάρεστη γεύση που υπάρχει στη πρωτεΐνη αρακά, παρατήρησαν ότι η ζύμωση με γαλακτικό οξύ αυτή μειώθηκε. Η ζύμωση προκάλεσε τη διάσπαση μεγαλύτερων πεπτιδίων, με αποτέλεσμα τη μειωμένη διαλυτότητα των πρωτεϊνών και λόγω αυτής αυξήθηκε η γεύση των πρωτεϊνών μπιζελιού, αφού εξουδετερώθηκαν οι ανεπιθύμητες χημικές ενώσεις. Η τεκμηρίωση διεξήχθη μέσω αισθητηριακής ανάλυσης. Οι Sun *et al.*,(2022) σε έρευνά τους, διαπίστωσαν ότι το πίτουρο, η γλουτένη και το άμυλο υφίσταντο δομικές αλλαγές ως αποτέλεσμα της συνεργατικής δράσης των βακτηρίων μαγιάς και γαλακτικού

οξέος για να ζυμώσουν το αλεύρι σίτου, από το οποίο παράχθηκαν ένζυμα, εξωπολυσακχαρίτες και οργανικά οξέα.

Επιπροσθέτως οι *Klupsaite et al.*(2017) έδειξαν ότι τα λειτουργικά συστατικά της πρωτεΐνης που ανευρίσκεται στο λούπινο, αυξήθηκαν σημαντικά με τη γαλακτική ζύμωση και η προσθήκη στο ψωμί αλεύρου από λούπινο, που έχει υποστεί ζύμωση, βελτίωσε την υφή. Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι, η οξυγαλακτική ζύμωση βελτίωσε τη ποιότητα στον σπόρο της φάβας ως προς τα θρεπτικά συστατικά και ταυτόχρονα βελτιώθηκε η βιοδιαθεσιμότητα των πρωτεϊνών και αμινοξέων (*Verni et al.*,2017).

Έχει παρατηρηθεί ότι σε ροφήματα από τον καρπό του ρυζιού, τα οξυγαλακτικά βακτήρια χρησιμοποιούν τη γλυκόζη και τη φρουκτόζη ως πηγή ενέργειας για την ανάπτυξη και το μεταβολισμό τους. Με τον τρόπο αυτό, προκαλείται η ζύμωση για να οδηγήσει σε μείωση των συγκεντρώσεών τους (*Magala et al.*,2015).

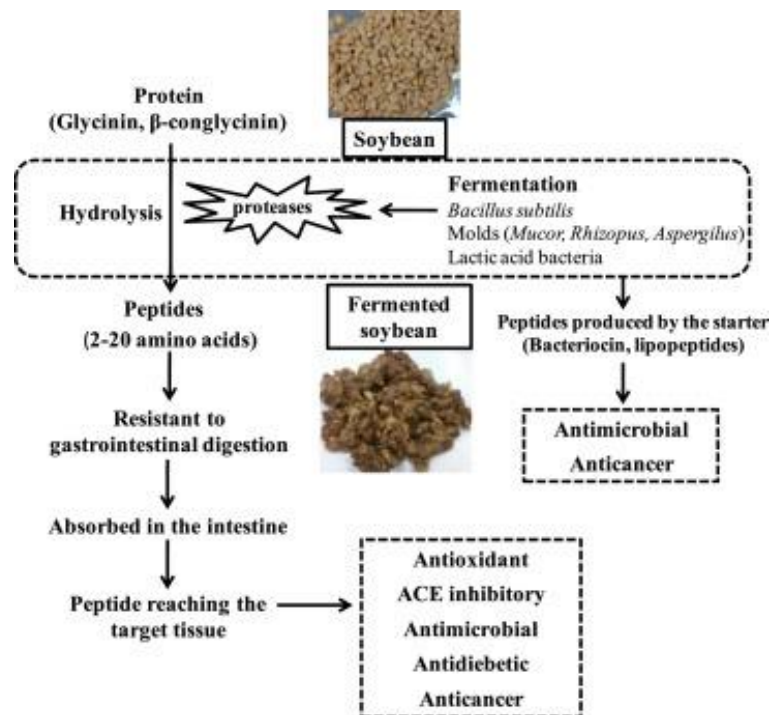
Η οξυγαλακτική ζύμωση δύναται να επηρεάσει τα παρακάτω: τεχνολογικές ιδιότητες όπως, για παράδειγμα, να υπάρξει μεταβολή στη διαλυτότητα των πρωτεϊνών. Διαφορά στη γεύση, κάτι που παρατηρείται στα φασολάκια, αφού ελαττώνεται η πικράδα. Ταυτόχρονα λύνονται οι αρωματικές ενώσεις που είναι υπεύθυνες για τη πρωτεόλυση. Η πρωτεϊνική σύνθεση και ο σχηματισμός γέλης στα όσπρια επηρεάζονται από αυτή (*Sun et al.*,2022).

1.1.4 Πρωτόκολλο Ζυμώσεων φυτικών σπόρων

Η ζύμωση σόγιας απελευθερώνει πολλά μικρά πεπτίδια με την υδρόλυση πρωτεϊνών σόγιας από μικροβιακές πρωτεάσες, οι οποίες εμφανίζουν θεραπευτικές ιδιότητες όπως αντιυπερτασικές, αντιοξειδωτικές, υποχοληστερολαιμικές, αντιδιαβητικές κ.λπ. (Εικ. 2). Τα βιοενεργά πεπτίδια στη ζυμωμένη σόγια είτε σχηματίζονται με υδρόλυση πρωτεΐνης σόγιας είτε δημιουργούνται λόγω της καλλιέργειας εκκίνησης.

Ένα πρωτόκολλο που γενικά ακολουθείται στις ζυμώσεις είναι το παρακάτω:

1. Λαμβάνουμε τους καρπούς που θέλουμε να ζυμώσουμε πχ. ρεβίθια
2. Αυτά καθαρίζονται , πλένονται και μουλιάζουν σε νερό για 8-12 ώρες.
3. Στραγγίζουμε το νερό και εν συνεχεία βράζουμε τους καρπούς για περίπου 2 ώρες (η ώρα ποικίλει ανάλογα το είδος του σπόρου).
4. Ύστερα , αυτοί σουρώνονται και σκουπίζονται ώστε να αφαιρεθεί η περίσσεια υγρασία .
5. Εμβολιασμός των σπόρων με τα μικρόβια που έχει επιλέξει ο ερευνητής π.χ. *Rhizopus oligosporus* .
6. Επώαση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία για συγκεκριμένη ώρα , πχ. 35 °C για 24-108 ώρες.(Sánchez *et al.*, 2014)



Εικόνα 2 : Ζύμωση πρωτεΐνης σόγιας σε στάδια. Πηγή : <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0924224415300571-gr2.jpg>

1.2 Οξυγαλακτικά Βακτήρια

Τα οξυγαλακτικά βακτήρια (LAB) είναι Gram θετικά βακτήρια. Στο γένος αυτών ανήκουν και οι ακόλουθοι μικροοργανισμοί: *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* και *Lactobacillus* (Kandler *et al.*, 1986). Δεν σχηματίζουν σπόρια, είναι αναερόβια ή δυνητικά αναερόβια και

παρουσιάζουν αντοχή σε όξινο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό δεν αποσυνθέτουν το τρόφιμο στα βασικά του συστατικά όπως διοξείδιο του άνθρακα, νερό, θειώδη και νιτρικά. Τουναντίον, δύνανται να παράγουν γαλακτικό οξύ ως τελικό προϊόν της ζύμωσης αξιοποιώντας τους υδατάνθρακες του τροφίμου (Αγίγι *et al.*, 2020). Η ικανότητα αυτή των συγκεκριμένων βακτηρίων, τα καθιστά ιδιαίτερα σημαντικά για τη συντήρηση των τροφίμων. Κατά τη μετατροπή αυτή, υπάρχει μικρή θερμιδική διαφορά ανάμεσα στους υδατάνθρακες και το παραγόμενο γαλακτικό οξύ με μικρές απώλειες θρεπτικών συστατικών (Pederson, 1979).

Τα βακτήρια αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν εκλεκτικά με την έννοια ότι έχουν ιδιόζουσες διατροφικές απαιτήσεις και υπάρχουν είδη οξυγαλακτικών που θα αναπτυχθούν μόνο σε πλούσια θρεπτικά συστατικά σε ευνοϊκά για αυτά περιβάλλοντα. Εν τούτοις, υπάρχουν και είδη που εξαρτώνται περισσότερο από το περιβάλλον ανάπτυξης και για το λόγο αυτό αναπτύσσονται σε αυτά αρκετά καλά ακόμα και όταν τα θρεπτικά συστατικά του υποστρώματος είναι λιγότερα από το ενδεδειγμένο. Επιπροσθέτως, μερικά βακτήρια γαλακτικού οξέος είναι στην πραγματικότητα γνωστά για την ικανότητα ανάπτυξης σε αφιλόξενα για αυτά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που υπάρχουν συχνά σε ζυμούμενα τρόφιμα. Το φαινόμενο αυτό δικαιολογεί το γεγονός ότι τα βακτήρια αυτά μπορούν να ανιχνευθούν σε διάφορα τρόφιμα όπως γάλα, κρέας, τρόφιμα με χαμηλό pH και περιβάλλοντα υπό την παρουσία αιθανόλης (Axelsson, 2004).

Ορισμένα είδη οξυγαλακτικών βακτηρίων λειτουργούν και σαν καλλιέργειες εκκίνησης προκειμένου να ξεκινήσει κάποιου είδους ζύμωση και σαν τελικό προϊόν να προκύψει ένα τρόφιμο με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα, μερικά από αυτά λειτουργούν και ως σαν προβιοτικά και με τον τρόπο αυτό, ενδεχομένως να έχουν θετική επίδραση στο εντερικό σύστημα (Hammes *et al.*, 1990).

1.2.1 Ταξινόμηση οξυγαλακτικών βακτηρίων

Η ταξινόμηση των οξυγαλακτικών βακτηρίων στηρίζεται στα μορφολογικά και φυσιολογικά τους χαρακτηριστικά. Παρ'όλα ταύτα, οι διαρκείς προσθήκες με

αλληλουχίες 16S rRNA στις βάσεις δεδομένων και η εξέλιξη στις μοριακές μεθόδους οδήγησαν σε αλλαγές στην ταξινόμησή τους (Garrity & Holt, 2001). Παρακάτω αναγράφονται επτά από τα δώδεκα γένη οξυγαλακτικών βακτηρίων που συμμετέχουν στις ζυμώσεις των τροφίμων. Αυτά είναι : *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* και *Tetragenococcus* (Hutkins, 2008).

Είδη	Κύρια Χαρακτηριστικά
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Ένα από τα μεγαλύτερα γονιδιώματα (3,5 Mb κατά μέσο όρο), Το «καθολικό» γονιδίωμα επιτρέπει την προσαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων.
	Κάθε στέλεχος έχει ένα ξεχωριστό προφίλ μεταβολισμού σακχάρου
	Παρουσία γονιδίων που κωδικοποιούν την αποικοδόμηση αμυλόζης και αμύλου
<i>Latilactobacillus sakei</i>	Ικανότητα διεξαγωγής ομο- και ετερογαλακτικής ζύμωσης Γονίδια για την επιβίωση σε υπολειμματικές πηγές σακχάρου στα τελικά στάδια της ζύμωσης kimchi
<i>Latilactobacillus curvatus</i>	Τα στελέχη φυτικής προέλευσης έχουν περισσότερα γονίδια που κωδικοποιούν τον μεταβολισμό και τους μεταφορείς του σακχάρου από τα στελέχη που απομονώνονται από άλλα περιβάλλοντα.
<i>Lactococcus</i> spp.	Τα στελέχη που σχετίζονται με μια θέση φυτού χρησιμοποιούν ένα ευρύτερο φάσμα μεταβολικών οδών από τα γαλακτοκομικά στελέχη, καθώς η λακτόζη είναι η κύρια πηγή άνθρακα στο γάλα, ενώ κάθε θέση φυτού έχει μια ξεχωριστή σύνθεση υδατανθράκων.
	Γονίδια υπεύθυνα για το σχηματισμό βιοφίλμ.
<i>Lactococcus lactis</i>	Οδός που σχετίζεται με το μεταβολισμό των φυτικών σακχάρων ραφινόζης και αραβινόζης.
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Δυνατότητα ανάπτυξης σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες
	Μια μετάλλαξη μετατόπισης πλαισίου εντός του γονιδίου atpC και η υπερέκφραση της FOF1 ATPase μπορεί να συμβάλει στην ακύρωση των θανατηφόρων επιπτώσεων της οξίνισης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.
	Η φρουκτόζη που μετατρέπει την αφυδρογονάση της μαννιτόλης υπάρχει στην πρώτη ζύμωση kimchi ή ξινολάχανου. Η μαννιτόλη θεωρείται ένα σημαντικό συστατικό υπεύθυνο για τη συγκεκριμένη γεύση των λαχανικών που έχουν υποστεί ζύμωση.
	Εντατική ζύμωση της γλυκόζης στα αρχικά στάδια της ζύμωσης ακολουθούμενη από φρουκτόζη, μαννόζη, τρεαλόζη και σακχαρόζη.
<i>Weissella koreensis</i>	Αναγωγική εξέλιξη γονιδιωμάτων.
	Κυριαρχία στα τελευταία στάδια της ζύμωσης kimchi λόγω της ικανότητας χρήσης ριβόζης, μαννόζης, αραβινόζης και γλυκονικού.

Πίνακας 1 : Χαρακτηριστικά ορισμένων οξυγαλακτικών βακτηρίων.

Πηγή: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8304663/>

1.2.2 *Lactobacillus*

Οι λακτοβάκιλλοι (ή γαλακτοβάκιλλοι), μικροσκοπικά έχουν ραβδόμορφο σχήμα και ποικίλουν σε μέγεθος, είναι μη σπορογόνα Gram+ βακτήρια. Παραπάνω από 100 είδη και υποείδη συμπληρώνουν το γένος των γαλακτοβάκιλλων, που αποτελούν τα πολυπληθέστερα τη μεγαλύτερη ομάδα γενών της οικογένειας *Lactobacillaceae*. Μπορούν επίσης να υπάρχουν και ως κορυνοβακτήρια με λυγισμένο σχήμα ή τείνουν να αναπτύσσονται σε αλυσίδες. Η πλειοψηφία αυτών είναι προαιρετικά αναερόβια και αναπτύσσονται είτε παρουσία ή απουσία αναερόβιου περιβάλλοντος (Slover, 2008). Είναι αυστηρά ζυμωτικά, όξινα ή οξεόφιλα και οι απαιτήσεις τους σε θρεπτικά συστατικά είναι πολύπλοκες αφού χρειάζονται υδατάνθρακες, αμινοξέα, πεπτίδια, εστέρες λιπαρών οξέων, άλατα, παράγωγα νουκλεϊκών οξέων και βιταμίνες. Έχουν τη δυνατότητα να αναπτυχθούν σε περιβάλλοντα όπου υπάρχει γλυκόζη, διότι την χρησιμοποιούν ως πηγή άνθρακα (Bernardeau *et al.*, 2006).

Τον Μάρτιο του 2020, το γένος *Lactobacillus* περιελάμβανε 261 είδη με διαφορετικά φαινοτυπικά, οικολογικά και γονοτυπικά χαρακτηριστικά. Διεξήχθη μια μελέτη για την αξιολόγηση της ταξινόμησης των *Lactobacillaceae* και *Leuconostocaceae* χρησιμοποιώντας αλληλουχίες ολόκληρου του γονιδιώματος. Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν περιλάμβαναν τη φυλογένεση του πυρήνα του γονιδιώματος, τη μέση ταυτότητα αμινοξέων κατά ζεύγη, τα φυσιολογικά κριτήρια και την οικολογία του οργανισμού. Με βάση αυτή τη μελέτη, το γένος *Lactobacillus* προτάθηκε να επαναταξινομηθεί σε 25 γένη, συμπεριλαμβανομένου του τροποποιημένου γένους *Lactobacillus*. . Με τα νέα αυτά δεδομένα η οικογένεια *Lactobacillaceae* μετονομάστηκε σε *Lactobacilli* και θα συμπεριλαμβάνει όλα τα γένη που προηγουμένως ανήκαν στις οικογένειες *Lactobacillaceae* και *Leuconostocaceae*. Η επαναταξινόμηση ομαδοποιεί τους γαλακτοβάκιλλους σε ισχυρές κλάσεις με κοινές οικολογικές και μεταβολικές ιδιότητες . (Zheng *et al.*,2020)

Εκτός από τα φυτά, τα ζώα και το νωπό γάλα, τα βακτήρια *Lactobacillus* κατοικούν σε διάφορα περιβάλλοντα. Είναι πολύ πιθανό να ανευρεθούν και σε

έντομα. Είναι σαφές από αυτό το παράδειγμα ότι η ικανότητα αυτή των γαλακτοβάκιλλων, να αποικίζει μια τόσο μεγάλη ποικιλία οικοτόπων, έχει άμεση σχέση με την ικανότητά τους να προσαρμόζονται σε διαφορετικές μεταβολικές συνθήκες. Τούτο δεν αποτελεί έκπληξη καθώς τα συγκεκριμένα βακτήρια χρησιμοποιούνται ευρέως στη συντήρηση των τροφίμων για πάρα πολλά χρόνια. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται ως καλλιέργειες εκκίνησης για τα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα και λαχανικά αλλά και στα ψάρια και λουκάνικα. Ακόμη χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών (ενσίρωμα). Οι λακτοβάκιλλοι έχουν προταθεί και ως προβιοτικά λόγω των πιθανών προληπτικών και θεραπευτικών ιδιοτήτων τους (Hammes *et al.*, 1995).

1.2.3 Εφαρμογή των γαλακτοβάκιλλων στην βιομηχανία των τροφίμων

Λόγω της επίδρασης που έχουν, οι γαλακτοβάκιλλοι χρησιμοποιούνται στη διατήρηση των τροφίμων, η οποία επιτυγχάνεται από την όξυνση, λόγω μείωσης pH. Προσφέρει αλλαγή στη γεύση, την υφή και της θρεπτικής αξίας του τροφίμου. Για την παρασκευή ενσιρώματος, κρασιού, μπύρας, ψωμιού με προζύμι, διαφόρων τύπων τυριών, ζυμωμένα λαχανικά και κρέατα, οι γαλακτοβάκιλλοι χρησιμοποιούνται σαν καλλιέργειες εκκίνησης ή σαν συμπληρωματικές καλλιέργειες (Giorgio Giraffa *et al.*, 2010). Μέσω του γαλακτικού οξέος που παράγουν, μειώνεται το pH όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Λόγω της πρωτεολυτικής τους δραστηριότητας έχουν ένα ευρύ φάσμα βιοτεχνολογικών χρήσεων. Επίσης παράγουν αρωματικές ενώσεις, βακτηριοσίνες και εξωπολυσακχαρίτες που είναι ζωτικής σημασίας για την ποιότητα και τη θρεπτική αξία του τελικού προϊόντος (Leroy *et al.*, 2004). Ορισμένοι γαλακτοβάκιλλοι του γαστρεντερικού σωλήνα (GIT) έχουν επίσης συνδεθεί με πλεονεκτήματα για την υγεία, γεγονός που οδηγεί στην ταξινόμησή τους ως προβιοτικά. Οι καταναλωτές δίνουν επί του παρόντος μεγάλη προσοχή στο πώς συνδέονται τα τρόφιμα με την υγεία. Η ζήτηση για λειτουργικά τρόφιμα ή τρόφιμα με υποτιθέμενες ιδιότητες προαγωγής της υγείας, πέρα από εκείνες της βασικής διατροφής, έχει εκτοξευθεί τα τελευταία χρόνια (Keoghane *et al.*, 2009).

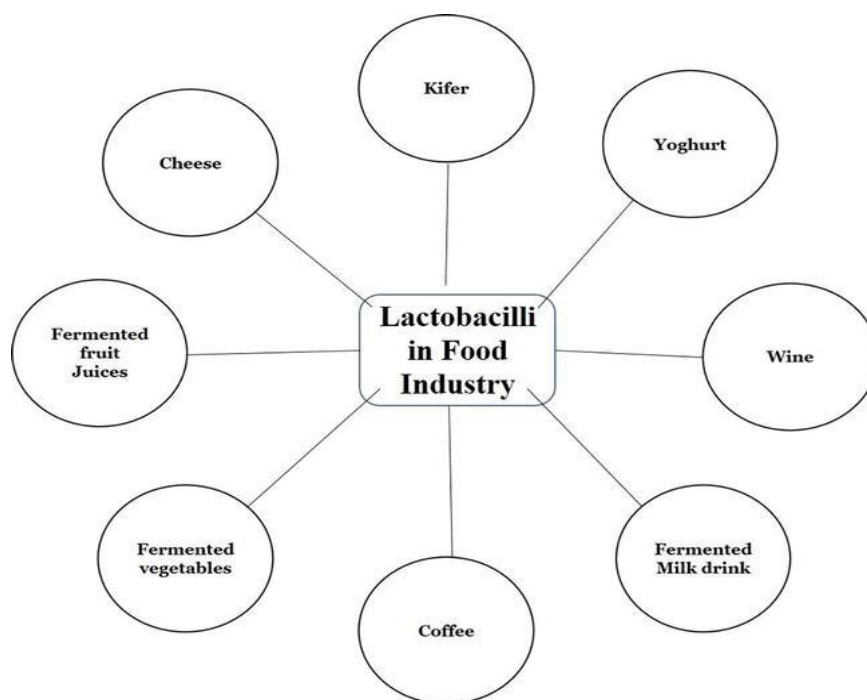
Δύο σημαντικά παραδείγματα λειτουργικών χρήσεων των γαλακτοβάκιλλων στη βιομηχανία των τροφίμων είναι η σύνθεση βακτηριοσίνης κι εξωπολυσακχαριτών. Πολυάριθμες έρευνες που έγιναν τα τελευταία 20 χρόνια έχουν δείξει ότι οι βακτηριοσίνες έχουν την ικανότητα να αναστέλλουν την ανάπτυξη επιβλαβών βακτηρίων στα τρόφιμα. Έχει προταθεί, πως οι γαλακτοβάκιλλοι που παράγουν τις παραπάνω ουσίες, να χρησιμοποιούνται ως προστατευτικοί μικροοργανισμοί στα ζυμωμένα κρέατα, τις ζυμωμένες ελιές και τα γαλακτοκομικά προϊόντα (Hammes *et al.*, 1995). Πολυσακχαρίτες, που παράγονται από φυτά ή μικροοργανισμούς, χρησιμοποιούνται συχνά στη βιομηχανία των τροφίμων. Είναι γνωστά για της αύξηση του ιξώδους, ενισχύουν την υφή και τη γεύση των προϊόντων με χαμηλά λιπαρά (Leroy

et al., 2004). Τα παραπάνω παραδείγματα υποδηλώνουν ότι οι γαλακτοβάκιλλοι έχουν πολλές εφαρμογές στην βιομηχανία των τροφίμων.

1.2.4 Οι γαλακτοβάκιλλοι σαν καλλιέργειες εκκίνησης

Στη σημερινή εποχή στην επεξεργασία τροφίμων χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον γαλακτοβάκιλλοι ως καλλιέργεια εκκίνησης. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει ένα μόνο στέλεχος ή ένα μείγμα στελεχών από διάφορα μικροβιακά είδη (*Ross et al.*,2005). Οι καλλιέργειες εκκίνησης μπορούν να περιγραφούν ως μία τεράστια ποικιλία κυτταρικών παρασκευασμάτων, που μπορεί να αποτελούνται από ενός τύπου στέλεχος ή να είναι ένας συνδυασμός δύο ή περισσότερων μικροβιακών στελεχών, που προστίθενται στα τρόφιμα και αυτά να επωφεληθούν από τα παραγόμενα προϊόντα ή ενώσεις που προέρχονται από τη μεταβολική ή ενζυμική τους δραστηριότητα. Δεδομένου ότι οι καλλιέργειες εκκίνησης χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα παραγωγής τροφίμων για την ολοκλήρωση των διαδικασιών ζύμωσης, η χρήση τους είναι μια ευρέως αποδεκτή τεχνική στις βιομηχανίες τροφίμων (*Rafique et al.*, 2022).

Τα παραπάνω ώθησαν στην παραγωγή ενός ευρέος φάσματος προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων προβιοτικών, βιοπροστατευτικών καλλιεργειών και τροφίμων που είναι εγγυημένα ασφαλή για κατανάλωση και έχουν θρεπτικές και οσφρητικές ιδιότητες (*Hammani et al.*,2019). Οποιαδήποτε μορφή μικροοργανισμού, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ζυμομυκήτων, μούχλας ή οποιουδήποτε τύπου καλλιέργειας μυκήτων, μπορεί να υπάρχει σε καλλιέργειες εκκίνησης. Όμως, λόγω των αντιβακτηριακών τους δράσεων, οι οποίες τελικά αποδεικνύονται σε υπεροχή για την ασφάλεια των τροφίμων, τα είδη των γαλακτοβάκιλλων, που υποδεικνύονται στη βιβλιογραφία, έχουν ευρύ φάσμα χρήσης ως καλλιέργεια εκκίνησης. Μερικοί γαλακτοβάκιλλοι μπορεί να έχουν αντιμικροβιακές ιδιότητες. Για παράδειγμα, το *Latilactobacillus sakei*, ένα στέλεχος που απομονώθηκε από χοιρινά λουκάνικα, έχει αποδειχθεί αποτελεσματικό έναντι των *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* και *E. coli* όταν συνδυάζεται με σκόνη σκόρδου και κρασί (*Linares et al.*, 2013) .



Εικόνα 3 : Εφαρμογή των γαλακτοβάκιλλων στη βιομηχανία των τροφίμων Πηγή:
<https://www.intechopen.com/online-first/83655>

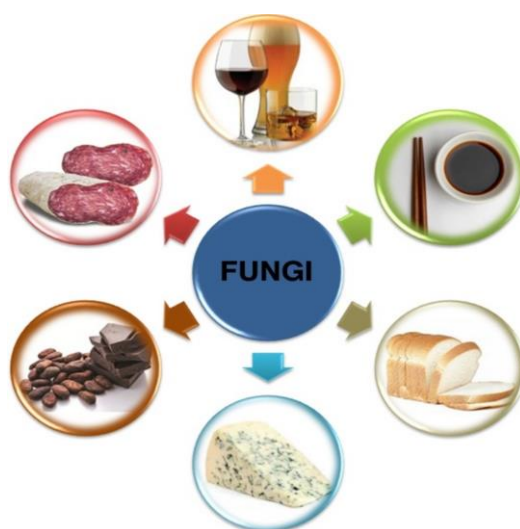
1.3 Μύκητες και Ζύμες

Οι μύκητες είναι ευκαριωτικοί, πολυκύτταροι οργανισμοί μεγέθους 20-100μm. Δεν δύναται να κινηθούν και είναι οργανωμένοι σε μυκηλιακές υφές. Αναπαράγονται είτε αγενώς με σπόρια που αναπτύσσονται στα άκρα ή στο εσωτερικό των μυκηλιακών υφών, είτε εγγενώς με τη συνένωση διαφορετικών αναπαραγωγικών κυττάρων-γαμετών.

Λόγω της μεταβολικής ευελιξίας, οι μύκητες, τόσο οι ζυμομύκητες όσο και οι νηματώδεις, συμβάλλουν έμπρακτα στη ζύμωση των τροφίμων. Είναι ευρέως γνωστό πως οι ζύμες συμβάλλουν στην ζύμωση και άρα στη δημιουργία τροφών. Σύμφωνα με μια μελέτη, οι βιομηχανικές ζύμες διαφέρουν γενετικά και φαινοτυπικά από τα στελέχη που ανευρίσκονται στη φύση .

Τα τελευταία χρόνια, στον χώρο των τροφίμων έχει παρατηρηθεί μεγάλη χρήση των νηματωδών μυκήτων για την ανάπτυξη νέων προϊόντων. Λόγω της

σύνθεσής τους, η οποία είναι πλούσια σε χρήσιμες χημικές ουσίες και ισορροπημένα σε αμινοξέα, οι μύκητες μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στην ανάπτυξη φυσικών προσθέτων και υγιεινών τροφίμων. Επιπλέον, σε επιστημονικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί για τη χρήση ανακτημένων αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων ως υπόστρωμα για ζύμωση μυκήτων, έχουν αποκαλύψει νέες κατηγορίες τροφίμων. Καινοτόμες τεχνικές αναπτύσσονται ή χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για την παραγωγή καινοτόμων τροφίμων από μαργαρίτικο ψωμί και κατακάθια ζυθοποιίας (Ferrara *et al.*,2022).



Εικόνα 4 : Εφαρμογή των μυκήτων σε ζυμωμένα προϊόντα

Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214799318301012>

Η διαδικασία της αλκοολικής ζύμωσης, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στην μπίρα, το κρασί και τον μηλίτη, καθώς και οι μη αλκοολούχες, σαν εκείνες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή καφέ, ψωμιού και σοκολάτας, είναι όλες παραδείγματα διαδικασιών ζύμωσης ενός είδους μυκήτων, που αποκαλούνται ζύμες. Οι ζυμομύκητες είναι ευρέως διαδεδομένοι στο φυσικό περιβάλλον και είναι ευκαριωτικοί, μονοκύτταροι μικρομύκητες (Chanprasartsuk *et al.*,2022). Χρησιμοποιούνται επίσης για την παραγωγή ουσιών όπως λιπαρών οξέων, οργανικών οξέων, ενζύμων, βιταμινών και χρωστικών (Corpetti, 2019).

Οι ζύμες χρησιμοποιούνται ως καλλιέργειες εκκίνησης σε τρόφιμα όπως το ψωμί, τα τυριά, καθώς και σε μπύρα, κρασί και άλλα προϊόντα αλκοολικής ζύμωσης. Μπορεί επίσης να υποδηλώνει αλλοίωση των τροφίμων σε προϊόντα όπως το γιαούρτι, οι σαλάτες, ο χυμός φρούτων και η μαγιονέζα, αφού μεταβάλλονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους (Sun *et al.*, 2022).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται βασικά είδη μυκήτων που χρησιμοποιούνται στις ζυμώσεις των τροφίμων.

Μύκητες - Ζύμες	Χρήση σε τρόφιμα
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Ψωμί, Μπύρα , Κρασί
<i>Aspergillus spp.</i>	Σάλτσα Σόγιας, Miso, Sake, Tempeh, Τουρσί
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Tempeh
<i>Penicillium roqueforti</i>	Ροκφόρ
<i>Candida spp.</i>	Κεφίρ
<i>Geotrichum candidum</i>	Τυρί, Κεφίρ
<i>Brettanomyces spp.</i>	Μπύρα , Κρασί
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	Σάλτσα σόγιας, Μίσο
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Τυρί , Γιαούρτι ,Κεφίρ
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Ως προβιοτικό σε ορισμένα γαλακτοκομικά προϊόντα και συμπληρώματα διατροφής.

Πίνακας 2 : Χρήση μυκήτων στη βιομηχανία των τροφίμων.

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τις ζυμώσεις

Η ζύμωση είναι μια διαδικασία που μπορεί να συμβεί φυσικά, αλλά συχνά δύναται ένας εξωτερικός παράγοντας να επέμβει και να την τροποποιήσει , ώστε να επιτευχθούν ορισμένοι στόχοι, όπως η βελτίωση της γεύσης, της υφής ή του θρεπτικού περιεχομένου ενός τροφίμου. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ζύμωσης εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων, καθεμία από τις οποίες έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών που εμπλέκονται. Παρακάτω, θα αναλυθούν μερικοί από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη ζύμωση, καθώς και

τους τρόπους με τους οποίους αυτοί, μπορούν να ρυθμιστούν ή να προσαρμοστούν για να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Αρχικά, το είδος του μικροβίου που χρησιμοποιείται στη διαδικασία ζύμωσης αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα που μπορεί να έχει αντίκτυπο στις ιδιότητες και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οι μικροοργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών προϊόντων, επειδή οι μεταβολικές τους διαδρομές είναι μοναδικές για κάθε οργανισμό. Για παράδειγμα, οι ζυμομύκητες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μύρας, κρασιού και ψωμιού, ενώ τα βακτήρια γαλακτικού οξέος (LAB) χρησιμοποιούνται συχνά στη διαδικασία ζύμωσης γαλακτοκομικών προϊόντων για την παραγωγή γιαουρτιού, τυριού και άλλων γαλακτικών προϊόντων (Bourdichon *et al.*, 2012). Το τελικό προϊόν της διαδικασίας ζύμωσης λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή του μικροβίου που θα χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία. Τόσο η σύνθεση του υποστρώματος που χρησιμοποιείται για τη ζύμωση όσο και η ποιότητα του υποστρώματος μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στη διαδικασία ζυμώσεως. Το υπόστρωμα είναι η πηγή τροφής για τους μικροοργανισμούς και η φύση του μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα των βακτηρίων να αναπτύσσονται και να εκτελούν τις λειτουργίες τους (Adebiyi *et al.*, 2021). Κατά τη ζύμωση του κρασιού και της μύρας, για παράδειγμα, η ποσότητα της ζάχαρης που υπάρχει στο υπόστρωμα μπορεί να έχει επίδραση στην παραγωγή αιθανόλης. Επιπλέον, η παρουσία αναστολέων στο υπόστρωμα, όπως οι φαινολικές ενώσεις σε υποστρώματα φυτικής προέλευσης, μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και να επηρεάσει τη διαδικασία ζύμωσης. Αυτοί οι αναστολείς μπορούν να βρεθούν σε φυτικά υποστρώματα (Bourdichon *et al.*, 2012).

Το pH και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στο οποίο λαμβάνει χώρα η ζύμωση, είναι απαραίτητα στοιχεία που μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, τα LAB είναι πιο επιτυχημένα σε όξινα περιβάλλοντα, ενώ ορισμένοι ζυμομύκητες είναι σε θέση να επιβιώσουν σε υψηλότερες τιμές pH. Ομοίως, ορισμένα βακτήρια μπορούν να επιτύχουν τη βέλτιστη ανάπτυξη και δραστηριότητα μόνο σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις άλλες, ενώ άλλοι προτιμούν θερμοκρασία χαμηλότερη από τον εαυτό τους. Είναι πολύ απαραίτητο να ρυθμίζονται, τόσο το pH όσο και η θερμο-

κρασία του περιβάλλοντος ζύμωσης, για να επιτευχθεί ο στόχος που επιθυμείται (Steinkraus, 1996).

Η παρουσία οξυγόνου στον αέρα έχει ουσιαστική επίδραση στη διαδικασία ζύμωσης. Η αναερόβια ζύμωση, από την άλλη πλευρά, λαμβάνει χώρα όταν δεν υπάρχει οξυγόνο. Η αερόβια ζύμωση συμβαίνει όταν υπάρχει οξυγόνο. Όταν πρόκειται για την εκτέλεση των μεταβολικών λειτουργιών τους, ορισμένοι τύποι μικροβίων χρειάζονται οξυγόνο, ενώ άλλοι δεν το κάνουν. Για παράδειγμα, η ζύμωση με την παρουσία οξυγόνου είναι απαραίτητη για το σχηματισμό ξυδιού. Κατά τη ζύμωση μιας ουσίας, η διατήρηση μιας κατάλληλης ποσότητας οξυγόνου στο περιβάλλον είναι συχνά απαραίτητη προϋπόθεση για την παραγωγή του επιθυμητού προϊόντος (Bourdichon *et al.*, 2012).

Στη συνέχεια η διαθεσιμότητα νερού σε ένα υπόστρωμα φαίνεται να επηρεάζει τις ζυμώσεις. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και τη δραστηριότητά της. Χαμηλή διαθεσιμότητα νερού μπορεί να καταστέλλει την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των μικροβίων, ενώ μία υψηλή υγρασία, μπορεί να ενθαρρύνει την ανάπτυξη μικροβίων που δεν είναι ευεργετικά. Ως εκ τούτου, η διατήρηση του ποσοστού νερού στα επιτρεπτά όρια κατά τη διάρκεια της ζύμωσης είναι πολύ απαραίτητη για να εξασφαλιστεί ότι η διαδικασία θα είναι επιτυχής (Steinkraus, 1996).

Η παρουσία αντιμικροβιακών ενώσεων στο περιβάλλον ζύμωσης μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Παραδείγματα αντιμικροβιακών παραγόντων περιλαμβάνουν συντηρητικά και αντιβιοτικά. Ενώ ορισμένα αντιμικροβιακά φάρμακα έχουν την ικανότητα να διεγείρουν την ανάπτυξη των ανεπιθύμητων μικροβίων, άλλα έχουν τη δυνατότητα να εμποδίζουν την ανάπτυξη χρήσιμων μικροοργανισμών. Για να εξασφαλιστεί ότι η διαδικασία ζύμωσης θα είναι επιτυχής, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην παρουσία αντιμικροβιακών παραγόντων στο περιβάλλον στο οποίο λαμβάνει χώρα η ζύμωση (Bradford, 1980).

1.5 Επίδραση των ζυμώσεων στα θρεπτικά συστατικά καρπών

1.5.1 Υδατάνθρακες

Το άμυλο είναι ο πρωταρχικός υδατάνθρακας που βρίσκεται στα δημητριακά και τα όσπρια και παρέχει ένα σημαντικό ποσό των θερμίδων που καταναλώνονται στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η ζύμωση αυτών των τροφών έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των ενζύμων που υδρολύουν το άμυλο όπως η α-αμυλάση και η μαλτάση, τα οποία διασπούν το άμυλο σε απλά σάκχαρα και μαλτοδεξτρίνες αντίστοιχα. Έρευνες δείχνουν ότι τα πρώιμα στάδια της ζύμωσης οδηγούν σε αύξηση των επιπέδων γλυκόζης λόγω των ενζύμων ενεργοποιημένης μαλτάσης και α-αμυλάσης. Η γλυκόζη που απελευθερώνεται κατά τη ζύμωση χρησιμοποιείται από μικροοργανισμούς που ζυμώνουν τα τρόφιμα και θα μπορούσε εν μέρει να εξηγήσει τη μείωση της συνολικής περιεκτικότητας σε υδατάνθρακες μετά από 24 ώρες ζύμωσης. Στην περίπτωση της ζύμωσης κεχριού, οι μικροοργανισμοί προτιμούσαν τη γλυκόζη έναντι της φρουκτόζης ως πηγή ενέργειας, όταν υπήρχαν και οι δύο, οδηγώντας σε μείωση της περιεκτικότητας σε άμυλο και επακόλουθη αύξηση της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και αιθανόλης σε όλη την περίοδο ζύμωσης. Επιπλέον, η μείωση του pH κατά τη διάρκεια της ζύμωσης ενεργοποίησε το ένζυμο φυτάση (Nkhata *et al.*, 2018).

1.5.2 Πρωτεΐνες

Η επίδραση της ζύμωσης στις πρωτεΐνες είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και έχει δώσει ακατάστατα αποτελέσματα σε διάφορες μελέτες. Η διακύμανση των αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικούς πειραματικούς σχεδιασμούς, διάρκεια μελέτης και διακύμανση στο αρχικό προφίλ πρωτεΐνης ή αμινοξέων των τροφίμων. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι οι παρατηρούμενες αλλαγές στην περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν πραγματικές αλλαγές, αλλά μάλλον σχετικές αλλαγές λόγω απώλειας ξηρής ύλης ως αποτέλεσμα μικροοργανισμών που υδρολύουν και μεταβολίζουν υδατάνθρακες και λίπη ως πηγή ενέργειας κατά τη ζύμωση.

Ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη μετά τη ζύμωση, ενώ άλλες έχουν παρατηρήσει μείωση. Για παράδειγμα, η ζύμωση του κεχριού για 24 ώρες βρέθηκε ότι αυξάνει την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη λόγω της απώλειας υδατανθράκων. Ωστόσο, η λυσίνη, η γλυκίνη κι η αργινίνη μειώθηκαν, ενώ η μεθειονίνη αυξήθηκε μετά τη ζύμωση.

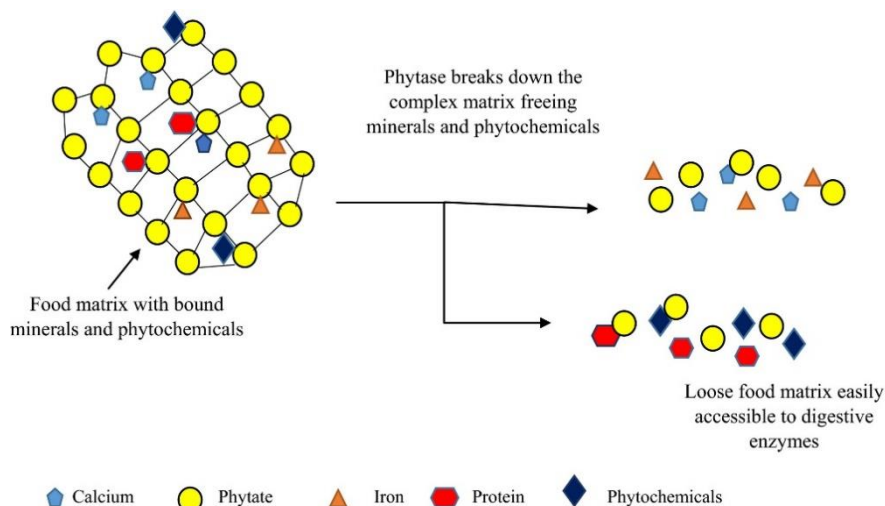
Η αύξηση της περιεκτικότητας σε λυσίνη μπορεί να οφείλεται εν μέρει στην αποικοδόμηση συμπλόκου πρωτεΐνης από μικροοργανισμούς, απελευθερώνοντας έτσι πεπτίδια και αμινοξέα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μικροοργανισμοί που ζυμώνουν χρησιμοποιούν επίσης αμινοξέα, τα οποία θα μπορούσαν να μειώσουν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και την ποιότητα ορισμένων τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση. Επομένως, ο αντίκτυπος της ζύμωσης στην περιεκτικότητα και την ποιότητα πρωτεΐνης μπορεί να εξαρτάται από το συγκεκριμένο τρόφιμο που ζυμώνεται, τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται και τη διάρκεια και τις συνθήκες της ζύμωσης (Nkhata *et al.*, 2018).

Η ζύμωση μπορεί να αυξήσει την πεπτικότητα των φυτικών πρωτεϊνών, οι οποίες συνήθως έχουν χαμηλότερη πεπτικότητα σε σύγκριση με τις ζωικές πρωτεΐνες. Αυτό συμβαίνει επειδή η ζύμωση μπορεί να διασπάσει εν μέρει τις σύνθετες πρωτεΐνες σε πιο διαλυτές μορφές, καθιστώντας τις πιο προσιτές στα πεπτικά ένζυμα. Επιπλέον, ο συνδυασμός της ζύμωσης με άλλες μεθόδους επεξεργασίας, όπως το μαγείρεμα, μπορεί να αυξήσει περαιτέρω την πεπτικότητα των πρωτεϊνών καταστρέφοντας τους αναστολείς πρωτεάσης (Nkhata *et al.*, 2018).

Επιπλέον, η ζύμωση μπορεί να μειώσει τα επίπεδα αντιθρεπτικών παραγόντων όπως οι τανίνες, τα οξαλικά, το φυτικό οξύ και οι υδατάνθρακες. Αυτές οι ενώσεις μπορούν να σχηματίσουν σύμπλοκα με πρωτεΐνες, περιορίζοντας την προσβασιμότητά τους στα πεπτικά ένζυμα και έτσι μειώνοντας την πεπτικότητα των πρωτεϊνών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα της ζύμωσης στη μείωση του φυτικού οξέος εξαρτάται από την αρχική ποσότητα φυτάσης στον κόκκο και οι σπόροι με χαμηλή περιεκτικότητα σε φυτάση μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερους χρόνους ζύμωσης (Nkhata *et al.*, 2018).

1.5.3 Μέταλλα

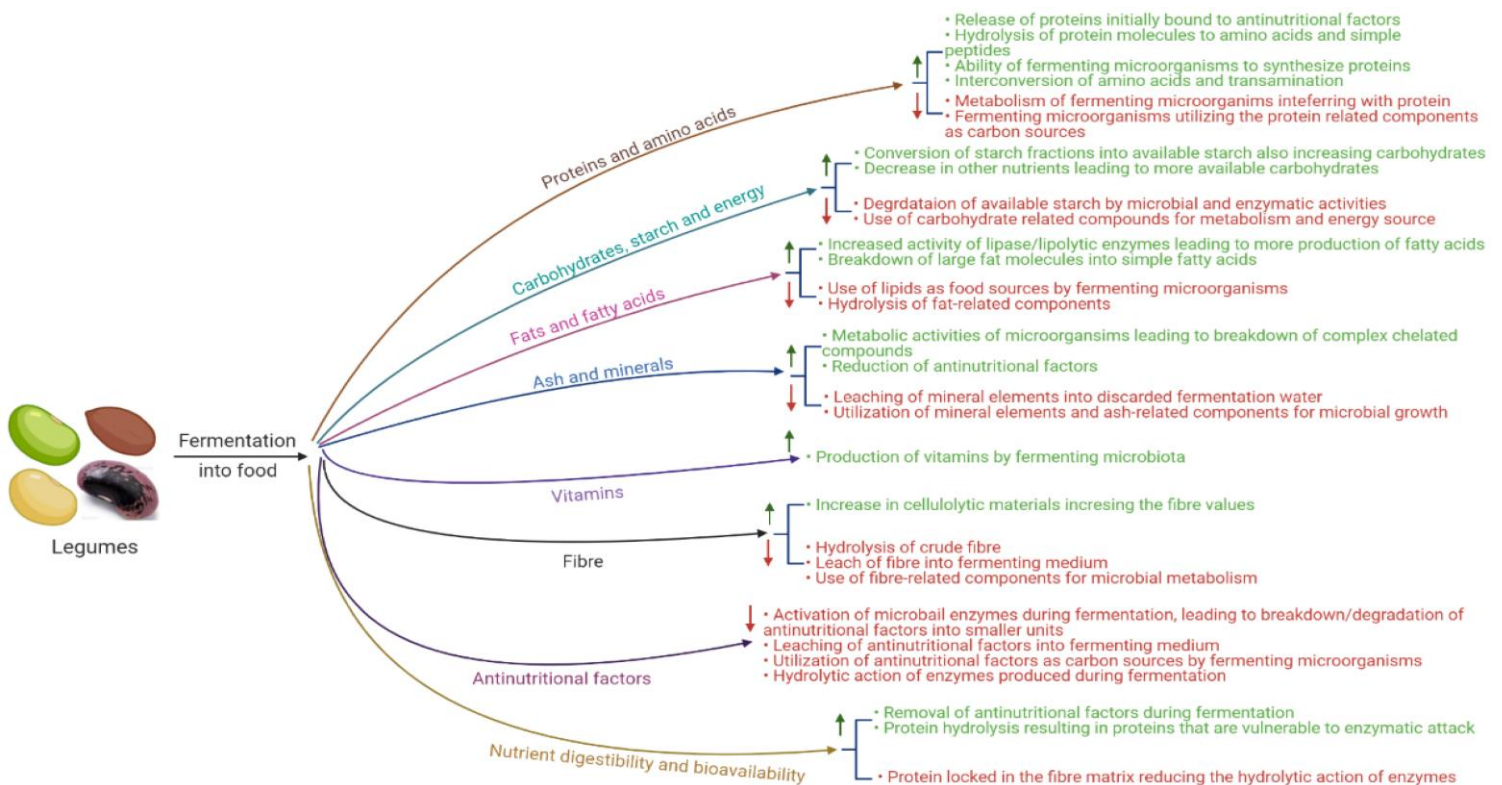
Τα δημητριακά και τα όσπρια είναι σημαντικές πηγές μετάλλων στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου καταναλώνονται ευρέως. Ωστόσο, τα μέταλλα από φυτικές πηγές έχουν χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα επειδή είναι σύμπλοκα με μη αφομοιώσιμες ουσίες όπως οι πολυσακχαρίτες του κυτταρικού τοιχώματος και τα φυτικά. Συγκεκριμένα, το κάλιο είναι βασικό συστατικό των μορίων φυτικών αλάτων και συνδέεται ομοιοπολικά, καθιστώντας το απρόσιτο στα πεπτικά ένζυμα. Αυτές οι πολύπλοκες μήτρες είναι κυρίως υπεύθυνες για την κακή βιοδιαθεσιμότητα αυτών. Η ζύμωση είναι μια μέθοδος επεξεργασίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απελευθέρωση αυτών των συμπλοκοποιημένων μετάλλων και να τα καταστήσει πιο εύκολα διαθέσιμα για απορρόφηση.



Εικόνα 5 : Πιθανός μηχανισμός με τον οποίο η ζύμωση οδηγεί σε αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα μετάλλων, φυτοχημικών και πρωτεϊνών Πηγή : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.846>

Στην Ινδία η κατανάλωση τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση, έχει συσχετιστεί με αύξηση της περιεκτικότητας σε μαγνήσιο, σίδηρο, ασβέστιο και ψευδάργυρο και μείωση των φυτικών αλάτων. Ωστόσο, είναι πιθανό η αύξηση της περιεκτικότητας σε μεταλλικά στοιχεία να οφείλεται στην απώλεια ξηρής ουσίας κατά τη ζύμωση, καθώς τα μικρόβια αποδομούν τους υδατάνθρακες και τις πρωτεΐνες. Η ζύμωση ενισχύει επίσης τη βιοδιαθεσιμότητα του ασβεστίου, του φωσφόρου και του σιδήρου, πιθανώς λόγω της αποικοδόμησης των οξαλικών και φυτικών αλάτων που συμπλέκονται με μέταλλα. Οι μηχανισμοί, με τους οποίους η ζύμωση αυξάνει τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων, περιλαμβάνουν τη μείωση του φυτικού οξέος

που δεσμεύει τα μέταλλα, καθώς και τη χαλάρωση της σύνθετης δομής που ενσωματώνει τα ανόργανα άλατα, που διευκολύνεται από την αποικοδόμηση του φυτικού και του αμύλου από φυτάση και α-αμυλάση, αντίστοιχα. Ορισμένοι μικροοργανισμοί που ζυμώνουν έχουν επίσης την ικανότητα να αποικοδομούν τις ίνες, γεγονός που χαλαρώνει περαιτέρω τη μήτρα της τροφής. Ωστόσο, η επίδραση της ζύμωσης στη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων εξαρτάται από τη σύνθεση του τροφίμου και την παρουσία άλλων συστατικών τροφίμων, όπως οι διαιτητικές ίνες, που μπορεί να επιβραδύνουν την προσβασιμότητα ορισμένων μετάλλων. Το χαμηλό pH που επιτυγχάνεται κατά τη ζύμωση αυξάνει την απορρόφηση του σιδήρου λόγω της μετατροπής από δισθενή σίδηρο σε τρισθενή, ο οποίος απορροφάται εύκολα και η άλεση πριν από τη ζύμωση βελτιώνει περαιτέρω τη βιοδιαθεσιμότητα των μετάλλων αυξάνοντας την επιφάνεια των κόκκων και διασπώντας την κυτταρική δομή, απελευθερώνοντας φυτάση (Nkhata *et al.*, 2018).



Εικόνα 6 : Επίδραση των ζυμώσεων στα συστατικά των οσπρίων

1.6 Εναλλακτικά του κρέατος

Στη σημερινή εποχή, η όλο αυξανόμενη κατανάλωση κρέατος αποτελεί ένα μείζον ζήτημα για την παγκόσμια πανίδα. Από την ποσότητα της γεωργικής έκτασης που απαιτείται για τη ζωική παραγωγή, στα λιπάσματα, τα εντομοκτόνα και τις ορμόνες που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές, μέχρι τις εκπομπές άνθρακα από τα ζώα, χρησιμοποιούνται πολλοί περιβαλλοντικοί πόροι. Το κρέας, τα γαλακτοκομικά προϊόντα και τα αυγά, που προέρχονται από σταβλισμένα ζώα, παράγονται στο 83% της συνολικής γεωργικής γης παγκοσμίως. Η παραδοσιακή ζωική πρωτεΐνη αποτελεί τα δύο τρίτα της παγκόσμιας πηγής πρωτεΐνης.

Οι αναλογίες θερμιδικής μετατροπής ή η ποσότητα των θερμίδων που απαιτούνται για την εκτροφή ενός ζώου, σε σύγκριση με την ποσότητα των θερμίδων που προσφέρει το ζώο όταν καταναλώνεται, είναι εντελώς ανισόρροπες. Ένα κοτόπουλο χρειάζεται 8 θερμίδες για να παράξει 1 θερμίδα, ένα γουρούνι χρειάζεται 11 θερμίδες και μια αγελάδα χρειάζεται 34 θερμίδες για να παράγει 1 θερμίδα. Από την άλλη πλευρά, οι εναλλακτικές πηγές πρωτεΐνης συχνά μετατρέπουν τις θερμίδες σε αναλογία 1:1. Τα μικρόβια μπορούν να αναπτυχθούν μέσα σε λίγες ώρες, ενώ τα θηλαστικά χρειάζονται χρόνια για να αναπτυχθούν (Nielson-Stowell,2021).

Κεφάλαιο 2 : Οι πρωτεΐνες και ο ρόλος τους στους φυτικούς σπόρους

2.1 Η σημασία των πρωτεϊνών στη διατροφή των ανθρώπων

Οι πρωτεΐνες αποτελούν ουσιαστικό μέρος κάθε διαίτας που έχει δημιουργηθεί για να διατηρεί την υγεία των ανθρώπων. Είναι απαραίτητα μακροθρεπτικά συστατικά που παίζουν βασικό ρόλο στην οικοδόμηση και επούλωση των ιστών, στη διατήρηση της μυϊκής μάζας και στη ρύθμιση πολλών κρίσιμων βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σώμα. Προκειμένου το ανθρώπινο σώμα να λειτουργεί αποτελεσματικά, χρειάζεται μια σταθερή πηγή πρωτεΐνης και η έλλειψη πρωτεΐνης μπορεί να είναι ο βασικός λόγος για διάφορα προβλήματα υγείας.

Τα αμινοξέα, τα οποία είναι θεμελιώδη συστατικά όλων των έμβιων όντων, δένονται μαζί σε μια αλυσίδα για να σχηματίσουν πρωτεΐνες. Υπάρχουν είκοσι διαφορετικά είδη αμινοξέων και για να μπορέσει το σώμα να δημιουργήσει όλες τις διαφορετικές πρωτεΐνες που χρειάζεται για να διατηρηθεί υγιές, τις χρειάζεται όλες. Εννέα από αυτά τα αμινοξέα είναι γνωστά ως απαραίτητα αμινοξέα επειδή το σώμα δεν είναι σε θέση να τα παράγει μόνο του και αντ' αυτού χρειάζεται να ληφθούν από τη διατροφή. Τα προϊόντα που προέρχονται από ζώα, όπως το κρέας, το κοτόπουλο, τα ψάρια, τα αυγά και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν παραδείγματα, που αναφέρονται ως «πλήρεις πρωτεΐνες», καθώς περιλαμβάνουν και τα εννέα απαραίτητα αμινοξέα στη σύνθεσή τους. Είναι πιθανό οι φυτικές πηγές πρωτεΐνης, όπως τα όσπρια, οι ξηροί καρποί και τα δημητριακά, να μην περιέχουν και τα εννέα απαραίτητα αμινοξέα.

Η ανάπτυξη και η συντήρηση όλων των ιστών του σώματος εξαρτάται από τη συμβολή των πρωτεϊνών. Όταν το σώμα είναι υπό πίεση ή έχει τραυματιστεί, χρειάζεται περισσότερη πρωτεΐνη για να αναδομήσει και να επισκευάσει τους κατεστραμμένους ιστούς. Η πρωτεΐνη μπορεί να ληφθεί από διάφορες πηγές. Εξαιτίας αυτού, τα άτομα που αναρρώνουν από τραυματισμούς ή χειρουργικές επεμβάσεις, καθώς και από αθλήματα, χρειάζονται πολύ μεγαλύτερες δόσεις

πρωτεΐνης από ό,τι ο μέσος άνθρωπος. Επιπλέον, η πρωτεΐνη είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της μυϊκής μάζας, η οποία καθίσταται πιο σημαντική καθώς τα άτομα μεγαλώνουν. Η κατανάλωση κατάλληλης ποσότητας πρωτεΐνης μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη της σαρκοπενίας, η οποία είναι η σταδιακή αποδυνάμωση των μυών που σχετίζεται με τη γήρανση.

Οι πρωτεΐνες εμπλέκονται σε μια ποικιλία βιολογικών δραστηριοτήτων σε όλο το σώμα, οι οποίες είναι όλες πολύ σημαντικές για τον οργανισμό. Τα ένζυμα, για παράδειγμα, είναι εξειδικευμένες πρωτεΐνες που λειτουργούν ως καταλύτες σε πολλά μεταβολικά συμβάντα που λαμβάνουν χώρα μέσα στο σώμα. Οι πρωτεΐνες, συμπεριλαμβανομένων των ορμονών όπως η ινσουλίνη και η αυξητική ορμόνη, είναι επίσης υπεύθυνες για τη ρύθμιση μιας μεγάλης ποικιλίας φυσιολογικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, οι πρωτεΐνες είναι βασικά συστατικά του ανοσοποιητικού συστήματος, πράγμα που σημαίνει ότι παίζουν ρόλο στους αμυντικούς μηχανισμούς του οργανισμού έναντι των μολυσματικών παραγόντων.

Η έλλειψη πρωτεΐνης μπορεί να οδηγήσει σε μια ευρεία ποικιλία δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, συμπεριλαμβανομένης της καθυστερημένης ανάπτυξης στα παιδιά, της απώλειας μυϊκής μάζας, της εξασθενημένης ανοσολογικής λειτουργίας, της αναιμίας και της ανεπάρκειας των εσωτερικών οργάνων. Μια δίαιτα χαμηλή σε πρωτεΐνες μπορεί επίσης να ωθήσει τα άτομα να τρώνε υπερβολικά σε μια προσπάθεια να αισθάνονται χορτάτοι, κάτι που μπορεί να συμβάλει στην αύξηση βάρους καθώς και σε άλλα προβλήματα υγείας. Η υπερκατανάλωση τροφής συνδέεται με υψηλότερο κίνδυνο παχυσαρκίας και άλλων προβλημάτων υγείας (Millward *et al.*,2000) (Phillips *et al.*,2017).

Συμπερασματικά, η πρωτεΐνη είναι ένα βασικό μακροθρεπτικό συστατικό που αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην οικοδόμηση και επιδιόρθωση των ιστών, στη διατήρηση της μυϊκής μάζας και στη ρύθμιση πολλών θεμελιωδών βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε όλο το σώμα. Είναι ζωτικής σημασίας, ένας άνθρωπος να καταναλώνει, μια κατάλληλη ποσότητα πρωτεΐνης ως μέρος μιας υγιεινής και καλά ισορροπημένης διατροφής προκειμένου να διατηρήσει την υγεία του και να αποτρέψει διάφορες ασθένειες.

2.2 Τύποι φυτικών πρωτεϊνών

Οι φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε δύο κύριες κατηγορίες: πρωτεΐνες αποθήκευσης και δομικές πρωτεΐνες. Οι πρωτεΐνες αποθήκευσης συντίθενται στο φυτό και στη συνέχεια αποθηκεύονται σε σπόρους ή σε κόνδυλος για μελλοντική χρήση για να αξιοποιηθούν σαν πηγές ενέργειας και αζώτου κατά τη βλάστηση. Από την άλλη μεριά, οι δομικές πρωτεΐνες, είναι συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος των φυτών και παίζουν ρόλο στην δομή του φυτού.

	Albumin	Globulin	Prolamin	Glutelin
Solubility	water	salty solution	ethanol 70%	pH > 11
Function in plant	physiologic	storage	storage	storage
Soybean	10%	90%		
Pea	20%	65%		15%
Fababeans	25%	55%		20%
Sunflower	20%	60%	5%	15%
Rapeseed	50%	25%	5%	10%
Mil	8%	4%	46%	42%
Wheat	5%	10%	45%	40%

Εικόνα 7 : Βασικές κατηγορίες αποθηκευτικών πρωτεϊνών που συναντούμε στους φυτικούς σπόρους . Πηγή : https://www.researchgate.net/publication/303594523_Combination_of_existing_and_alternative_technologies_to_promote_oilseeds_and_pulses_proteins_in_food_applications

Εκτός από αυτές τις κατηγορίες, οι φυτικές πρωτεΐνες μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τη σύστασή τους στα αμινοξέα. Για παράδειγμα, τα όσπρια όπως η σόγια, οι φακές και τα ρεβίθια είναι πλούσια σε λυσίνη και τρυπτοφάνη, ενώ τα δημητριακά όπως το σιτάρι και το ρύζι είναι ανεπαρκή σε αυτά τα αμινοξέα αλλά πλούσια σε μεθειονίνη και κυστεΐνη. Άλλες φυτικές πρωτεΐνες περιλαμβάνουν αυτές που βρίσκονται σε ξηρούς καρπούς, σπόρους και φρούτα. Για παράδειγμα, τα αμύγδαλα, οι σπόροι chia και οι σπόροι κάνναβης είναι όλες καλές πηγές φυτικής πρωτεΐνης. Πρωτεΐνη μπορεί να ανευρεθεί και σε ορισμένα φρούτα, όπως το αβοκάντο. Συνολικά, οι φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να παρέχουν μια πολύτιμη πηγή πρωτεΐνης για άτομα που ακολουθούν χορτοφαγική ή vegan διατροφή, καθώς και για όσους θέλουν να μειώσουν την κατανάλωση ζωικών προϊόντων για λόγους υγείας ή περιβάλλοντος.

2.3 Είδη πρωτεϊνών ανάλογα με το είδος

2.3.1 Πρωτεΐνη Σόγιας

Η πρωτεΐνη σόγιας είναι μια πλήρης πρωτεΐνη που περιέχει και τα εννέα απαραίτητα αμινοξέα που το σώμα μας δεν μπορεί να συνθέσει από μόνο του. Είναι μια αρκετά δημοφιλής φυτική πηγή πρωτεΐνης και βρίσκεται σε διάφορα προϊόντα όπως το τόφου και το γάλα σόγιας. Η πρωτεΐνη σόγιας έχει συνδεθεί με πολλά οφέλη για την υγεία, όπως η μείωση των επιπέδων χοληστερόλης, η βελτίωση της υγείας των οστών και η μείωση του κινδύνου καρδιακών παθήσεων (Messina,2019).

2.3.2. Πρωτεΐνη Μπιζελιού

Η πρωτεΐνη μπιζελιού είναι μια πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας που εξάγεται από τα κίτρινα μπιζέλια. Είναι επίσης μια πρωτεΐνη, που θεωρείται πλήρης αφού περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα. Η πρωτεΐνη μπιζελιού είναι εύκολα εύπεπτη και είναι επίσης υποαλλεργική, καθιστώντας την εξαιρετική επιλογή για όσους έχουν αλλεργίες ή δυσανεξίες σε άλλες πηγές πρωτεΐνης. Η πρωτεΐνη μπιζελιού βρίσκεται συνήθως σε σκόνες πρωτεΐνης, σνακ μπάρες και εναλλακτικές επιλογές κρέατος για vegan (Gorissen *et al.*,2018).

2.3.4 Πρωτεΐνη Κάνναβης

Η πρωτεΐνη κάνναβης προέρχεται από τους σπόρους του φυτού κάνναβης και είναι μια εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης, φυτικών ινών και υγιεινών λιπών. Είναι μια πλήρης πρωτεΐνη που περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα, και είναι επίσης πλούσια σε ωμέγα-3 και ωμέγα-6 λιπαρά οξέα. Η πρωτεΐνη κάνναβης χρησιμοποιείται συχνά σε σκόνες πρωτεΐνης, ενεργειακές μπάρες και smoothies (House *et al.*, 2010).

2.3.5 Πρωτεΐνη Ρυζιού

Η πρωτεΐνη ρυζιού προέρχεται από καστανό ρύζι και είναι μια εξαιρετική επιλογή για όσους έχουν αλλεργίες ή δυσανεξία στη σόγια ή τη γλουτένη. Είναι

επίσης μια πλήρης πρωτεΐνη και περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα. Η πρωτεΐνη ρυζιού είναι εύκολα εύπεπτη και χρησιμοποιείται συχνά σε σκόνες πρωτεΐνης και μπάρες.

2.3.6 Πρωτεΐνη κινόα

Η κινόα είναι ένας σπόρος που μοιάζει με κόκκους και είναι καλή πηγή πρωτεΐνης, φυτικών ινών και άλλων θρεπτικών συστατικών. Είναι μια πλήρης πρωτεΐνη και περιέχει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα. Η πρωτεΐνη κινόα βρίσκεται συχνά σε σκόνες πρωτεΐνης, σνακ μπάρες και άλλες εναλλακτικές επιλογές για vegan κρέας (Joy *et al.*, 2013).

2.4 Διατροφική αξία φυτικών πρωτεϊνών

Οι φυτικές πρωτεΐνες είναι μια εξαιρετική πηγή απαραίτητων αμινοξέων, βιταμινών, μετάλλων και φυτικών ινών. Η θρεπτική αξία των φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον συγκεκριμένο τύπο πρωτεΐνης και τη φυτική πηγή.

Τα απαραίτητα αμινοξέα, είναι τα δομικά στοιχεία της πρωτεΐνης που το σώμα μας δεν μπορεί να παράγει από μόνο του και πρέπει να λαμβάνονται από τη διατροφή. Οι φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να ταξινομηθούν ως πλήρεις ή ατελείς με βάση την περιεκτικότητά τους σε βασικά αμινοξέα. Οι πλήρεις πρωτεΐνες περιέχουν και τα εννέα απαραίτητα αμινοξέα, ενώ οι ατελείς πρωτεΐνες όχι. Παραδείγματα πλήρων φυτικών πρωτεϊνών περιλαμβάνουν πρωτεΐνη σόγιας, κινόα και πρωτεΐνη κάνναβης (Sarwar, 1997).

Οι φυτικές πρωτεΐνες είναι μια καλή πηγή διάφορων βιταμινών όπως η βιταμίνη B1, B2, B6, φυλλικό οξύ και βιταμίνη E. Ορισμένες φυτικές πρωτεΐνες, όπως η πρωτεΐνη σόγιας, είναι επίσης εμπλουτισμένες με πρόσθετες βιταμίνες και μέταλλα που ενισχύουν τη θρεπτική τους αξία.

Ταυτόχρονα, οι φυτικές πρωτεΐνες είναι επίσης μια καλή πηγή μετάλλων όπως ο σίδηρος, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος. Ορισμένες, όπως η πρωτεΐνη σόγιας και η κινόα, έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε μεταλλικά

στοιχεία σε σύγκριση με άλλες (Rizzo *et al.*,2018). Πολλές είναι επίσης πλούσιες σε φυτικές ίνες, οι οποίες είναι σημαντικές για τη διατήρηση της υγείας του πεπτικού συστήματος και την πρόληψη χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιακές παθήσεις και ο διαβήτης. Οι φυτικές ίνες βοηθούν στην πλήρωση του στομάχου.

Παρόλο που οι φυτικές πρωτεΐνες είναι μια εξαιρετική πηγή απαραίτητων θρεπτικών συστατικών, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το προφίλ αμινοξέων των φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να είναι λιγότερο εύπεπτο σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης. Αυτό σημαίνει ότι η βιοδιαθεσιμότητα των φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να είναι χαμηλότερη, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη θρεπτική τους αξία. Ωστόσο, ο συνδυασμός διαφορετικών τύπων φυτικών πρωτεϊνών και η κατανάλωση μιας ποικιλίας φυτικών τροφών μπορεί να βοηθήσει στη διασφάλιση της επαρκούς πρόσληψης όλων των απαραίτητων αμινοξέων και άλλων σημαντικών θρεπτικών συστατικών (Slavin,2013).

Η φυτική πρωτεΐνη έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται σε προϊόντα απομίμησης κρέατος (π.χ. μπιφτέκια χωρίς κρέας, απομίμηση κοτόπουλου κ.λπ.). Η πρωτεΐνη σε αυτά τα προϊόντα προέρχεται από φυτά, επομένως δεν υπάρχει πρόβλημα να την αναφέρουμε ως πρωτεΐνη φυτικής προέλευσης (Nicole, 2020). Εκτιμάται ότι 795 εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο πλήττονται από την πείνα, ενώ άλλα 2 δισεκατομμύρια υποσιτίζονται λόγω έλλειψης ορισμένων μικροθρεπτικών συστατικών. Σχεδόν 1,9 δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο είναι υπέρβαροι, εκ των οποίων τα 600 εκατομμύρια είναι παχύσαρκοι. Αν θέλουμε να δημιουργήσουμε μια δίαιτα που να είναι βιώσιμη, είναι προφανές ότι οι διατροφικές συνήθειες σε όλο τον κόσμο θα πρέπει να αλλάξουν. Η «Διπλή Διαιτητική-Περιβαλλοντική Πυραμίδα» καταδεικνύει ότι τόσο η διατήρηση της ανθρώπινης υγείας όσο και η διατήρηση του περιβάλλοντος μπορούν να συμπεριληφθούν σε ένα ενιαίο μοντέλο διατροφής. Στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει προταθεί ότι θα μπορούσε κανείς να επιτύχει τόσο μια υγιεινή ισορροπημένη διατροφή όσο και μια δίαιτα φιλική προς το περιβάλλον κάνοντας τις ακόλουθες αλλαγές στις διατροφικές του συνήθειες: μείωση της κατανάλωσης κρέατος και επεξεργασμένου κρέατος ενώ αυξάνει την κατανάλωση τροφών που προέρχονται από φυτά. Μακροπρόθεσμα, η κατανάλωση μιας διατροφής πλούσιας σε ζωικές

πρωτεΐνες και κόκκινο κρέας μπορεί να είναι επιβλαβής για την υγεία του πεπτικού συστήματος καθώς μπορεί και να σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο θανάτου από καρδιαγγειακές παθήσεις και καρκίνο. Τα φυτά με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες είναι μια εξαιρετική επιλογή για τη αντικατάσταση ειδών με βάση το κρέας στην ανθρώπινη διατροφή και θα δικαιολογήσουν τη μετάβαση σε τρόφιμα με πρωτεΐνη φυτικής προέλευσης (Neacsu *et al.*, 2016).

2.5 Η χρήση των ζυμώσεων στην ενίσχυση του πρωτεϊνικού περιεχομένου

Η ζυμώσεις αποτελούν πάρα πολύ σημαντικές διεργασίες αφού έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη διατροφική ποιότητα ενός σπόρου, αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα απαραίτητων αμινοξέων και μικροθρεπτικών συστατικών, καθώς και μειώνοντας τα επίπεδα μη θρεπτικών συστατικών που μπορεί να επηρεάσουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών (Gibson *et al.*, 2010).

Η ζύμωση μπορεί επίσης να αυξήσει την πεπτικότητα των φυτικών πρωτεϊνών διασπώντας σύνθετες πρωτεΐνες και άλλα συστατικά που μπορεί να είναι δύσκολο για το σώμα να διασπάσει από μόνο του (Oyewole *et al.*, 2017). Ταυτόχρονα, μπορεί να βελτιώσει τη γεύση, την υφή και τη συνολική γευστικότητα των φυτικών τροφίμων, καθιστώντας τα πιο ελκυστικά για τους καταναλωτές. (KorczaK *et al.*, 2016). Η χρήση της ζύμωσης για την ενίσχυση των φυτικών πρωτεϊνών, μπορεί επίσης να συμβάλει στη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων μειώνοντας τα απόβλητα, εξοικονομώντας νερό και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργίας (Russo *et al.*, 2018).

Οι άνθρωποι με ιδιαίτερες ευαισθησίες σε ορισμένους φυτικούς σπόρους, δεν ενδείκνυται να καταναλώνουν τους σπόρους αυτούς αυτούσιους ή να καταναλώνουν τρόφιμα με ίχνη αυτών. Η διαδικασία της ζύμωσης μπορεί να μειώσει τα αλλεργιογόνα ορισμένων φυτικών τροφών διασπώντας αλλεργιογόνες

πρωτεΐνες και άλλα συστατικά. Αυτό μπορεί να κάνει αυτά τα τρόφιμα ασφαλέστερα και πιο προσιτά για άτομα με τροφικές αλλεργίες (Tang *et al.*, 2017). Χρειάζεται να αναφερθεί ότι η παραπάνω διαδικασία, προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των φυτικών τροφίμων αναστέλλοντας την ανάπτυξη αλλοιώσεων και παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτό μπορεί να μειώσει τη σπατάλη τροφίμων και να αυξήσει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών, προσιτών φυτικών τροφίμων (Adebo *et al.*, 2018).

Κεφάλαιο 3

3.1. Η επίδραση των οξυγαλακτικών ζυμώσεων στο θρεπτικό περιεχόμενο φυτικών σπόρων

Οι θρεπτικές ιδιότητες των οσπρίων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης με γαλακτικό οξύ έχουν ερευνηθεί εκτενώς, με ιδιαίτερη προσοχή σε πτυχές όπως η πεπτικότητα των πρωτεϊνών, η παρουσία αντιθρεπτικών παραγόντων, η αντιοξειδωτική ικανότητα και η πιθανότητα αλλεργιογόνου δράσης.

Η ζύμωση γαλακτικού οξέος μπορεί να διασπάσει τους α-γαλακτοζίτες όπως η οικογένεια ολιγοσακχαριτών Raffinose (RFOs) που βρίσκονται συνήθως στα όσπρια, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν πεπτική δυσφορία και αέρια. Ορισμένοι μικροοργανισμοί, όπως οι *Streptococcus sp.*, *Leuconostoc sp.* και *Lactobacillus sp.*, έχουν δράση α-γαλακτοσιδάσης και μπορούν να μετατρέψουν τις α-γαλακτοζίτες σε εύκολα απορροφήσιμους μονο- και δισακχαρίτες. Η ζύμωση οσπρίων με αυτούς τους μικροοργανισμούς σε προζύμι μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση της ραφινόζης, αν και η αποτελεσματικότητα ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο των οσπρίων.

Οι φαινολικές ενώσεις μπορούν να περιπλέξουν τις πρωτεΐνες, μειώνοντας την ευαισθησία τους στη δράση των ενζύμων κατά τη διάρκεια της πέψης και συνεπώς μειώνοντας την πεπτικότητα των πρωτεϊνών. Ωστόσο, οι φαινολικές ενώσεις έχουν επιδείξει ευεργετικές ιδιότητες όπως αντιφλεγμονώδη, αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιθρομβωτική, αντιαλλεργική, καρδιοπροστατευτική και αγγειοδιασταλτική δράση. Τα όσπρια περιέχουν τρεις κύριες ομάδες φαινολικών ενώσεων: φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή και συμπυκνωμένες τανίνες. Γενικά, η ζύμωση με γαλακτικό οξύ αυξάνει τις συνολικές φαινολικές ενώσεις (TPC) των οσπρίων, αν και αυτό το αποτέλεσμα ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο των οσπρίων, τη διαδικασία ζύμωσης και τον τύπο των βακτηρίων LAB που χρησιμοποιούνται. Η αύξηση της TPC μπορεί να συμβεί λόγω της απελευθέρωσης αυτών των συστατικών από το κυτταρικό τοίχωμα του φυτικού

ιστού, η οποία θα μπορούσε να συμβεί είτε μέσω δομικής αποικοδόμησης είτε ενζυματικής μετατροπής κατά τη ζύμωση .

Το φυτικό οξύ μειώνει την πεπτικότητα των πρωτεϊνών δεσμεύοντας σε ένζυμα όπως οι πρωτεάσες και οι αμυλάσες . Επιπλέον, το φυτικό οξύ σχηματίζει σύμπλοκα με συγκεκριμένα μέταλλα όπως χαλκό, ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, μαγγάνιο, ψευδάργυρο και παράγωγα αμινομάδων σε πρωτεϊνικά τμήματα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη απορρόφηση αυτών των μετάλλων στην πεπτική οδό. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αναιμία λόγω έλλειψης σιδήρου σε άτομα που καταναλώνουν υψηλές ποσότητες οσπρίων καθημερινά . Ορισμένα LAB παράγουν ένζυμα φυτάσης που μπορούν να αποικοδομήσουν το φυτικό οξύ . Για παράδειγμα, ζύμωση γάλακτος σόγιας με *S. thermophilus* , *Lb. fermentum* , *Lb. plantarum* , *L. casei* , *Lb. bulgaricus* , και *Lb. acidophilus* , καθώς και αλεύρια από ρεβίθια, φακές και αρακά με *Lb. Plantarum* και ένα μείγμα *Lb. fermentum* και *Lactobacillus pontis* και το αλεύρι λούπινου με βακτήρια γαλακτικού οξέος οδήγησαν όλα σε μείωση της περιεκτικότητας σε φυτικό οξύ λόγω βακτηριακών φυτασών. Επιπλέον, μικροοργανισμοί με εγγενείς φυτάσες μπορούν να διασπάσουν μη διαλυτά οργανικά σύμπλοκα που περιέχουν μέταλλα . Μελέτες έχουν δείξει ότι η επίδραση στα φυτικά σχετίζεται στενά με το μικροβιακό στέλεχος και η αποικοδόμηση του φυτικού οξέος εξαρτάται από το pH , με το βέλτιστο για τις περισσότερες φυτάσες να κυμαίνεται μεταξύ 4,0 και 6,0.

Οι σαπωνίνες είναι γλυκοζίτες με πικρή γεύση που βρίσκονται στα φυτά και μπορούν να επηρεάσουν την ακεραιότητα της μεμβράνης. Η επίδρασή τους στην ανθρώπινη υγεία μπορεί να είναι επιβλαβής και ωφέλιμη, ανάλογα με τη συγκέντρωσή τους. Οι σαπωνίνες μπορούν να μειώσουν την απορρόφηση θρεπτικών συστατικών και να αναστέλλουν τα πεπτικά ένζυμα, αλλά οι σαπωνίνες σόγιας έχουν βρεθεί ότι προσφέρουν οφέλη για την υγεία, όπως η πρόληψη της υπερχοληστερολαιμίας και η καταστολή του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων του παχέος εντέρου. Η ζύμωση με γαλακτικό οξύ των οσπρίων φαίνεται να μειώνει την περιεκτικότητα σε σαπωνίνες, όπως φαίνεται σε μελέτες για γάλα σόγιας και αλεύρι σόγιας που έχουν υποστεί ζύμωση με ορισμένα βακτήρια LAB. Οι ισοφλαβόνες, θεωρούνται ιδανικά αντιοξειδωτικά λόγω των αναγωγικών τους

ιδιοτήτων. Η ζύμωση ορισμένων ασιατικών τροφών σόγιας και των φύτρων των σπόρων οσπρίων αυξάνει τη βιοδιαθεσιμότητα των ισοφλαβονών.

Οι αλλεργίες στα όσπρια είναι από τις πιο διαδεδομένες τροφικές αλλεργίες, οι οποίες εμφανίζονται όταν το ανοσοποιητικό σύστημα ανταποκρίνεται αρνητικά σε ένα συστατικό ενός τροφίμου που είναι συνήθως ασφαλές για κατανάλωση για το γενικό πληθυσμό. Στα όσπρια, οι πρωτεΐνες είναι τα κύρια αλλεργιογόνα, είτε επειδή ορισμένες πρωτεΐνες προκαλούν αρνητικές αντιδράσεις είτε επειδή το έντερο τις απορροφά ελάχιστα. Ωστόσο, η αλλαγή της σύνθεσης και της δομής των πρωτεϊνών θα μπορούσε να μειώσει την αλλεργιογένεση στα όσπρια. Η ζύμωση, όπως συζητήθηκε προηγουμένως, διασπά τις πρωτεΐνες και ενισχύει την πεπτικότητα, μειώνοντας έτσι την αλλεργιογόνα των οσπρίων. Για παράδειγμα, η ζύμωση σογιάλευρου με μείγμα *Lb. casei*, ζυμομύκητες και *B. subtilis* αποδόμησαν τα κύρια αλλεργιογόνα πρωτεΐνης μέσω της υδρόλυσης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Ως εκ τούτου, η ζύμωση είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική για την παραγωγή υποαλλεργικών προϊόντων διατροφής με βάση τα όσπρια (Emkani *et al.*, 2022).

3.2. Αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στις πρωτεΐνες κατά τη ζύμωση

Οι μεταβολές στην περιεκτικότητα και την ποιότητα πρωτεΐνης στους σπόρους των φυτών μπορεί να επηρεαστούν σημαντικά από διάφορους παράγοντες όπως η ενζυμική δραστηριότητα, η μικροβιακή δραστηριότητα, οι συνθήκες επεξεργασίας και ο τύπος του υποστρώματος. Όταν πρόκειται για τη σύνθεση πρωτεϊνών υψηλής ποιότητας σε προϊόντα φυτικής προέλευσης, η κατανόηση της επίδρασης αυτών των στοιχείων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία αποτελεσματικών τεχνικών ζύμωσης που μπορούν να ενισχύσουν την παραγωγή πρωτεΐνης. Το ποσοστό της πρωτεΐνης που υπάρχει στα υποστρώματα, κάτι που είναι ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη της διαδικασίας.

Κατά τη ζύμωση μεταβάλλονται οι ιδιότητες των φυτικών πρωτεϊνών, συμπεριλαμβανομένης της φυσικοχημικής τους σύνθεσης. Κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, τα μόρια πρωτεΐνης διασπώνται, με αποτέλεσμα αλλαγές στη

διαλυτότητα, την πεπτικότητα και τη λειτουργία της πρωτεΐνης. Γενικά, η διαλυτότητα των φυτικών πρωτεϊνών στο νερό είναι μάλλον φτωχή. Ωστόσο, η διαλυτότητα των πρωτεϊνών βελτιώνεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης ως αποτέλεσμα της διάσπασης των μορίων πρωτεΐνης σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα. Λόγω της αύξησης της διαλυτότητας, υπήρξε αντίστοιχη αύξηση στη βιοδιαθεσιμότητα της πρωτεΐνης (Di Cagno *et al.*, 2013).

Η πεπτικότητα των φυτικών πρωτεϊνών μπορεί επίσης να μεταβληθεί από τη διαδικασία της ζύμωσης. Οι πρωτεΐνες που είναι δύσκολο να αφομοιωθούν λόγω της πολυπλοκότητας της δομής τους και μπορεί να διασπαστούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης, γεγονός που οδηγεί σε βελτίωση της πεπτικότητας τους. Η δημιουργία βιοδραστικών πεπτιδίων, τα οποία έχει βρεθεί ότι έχουν ποικίλες θετικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, όπως αντιοξειδωτικές, αντιυπερτασικές και αντιθρομβωτικές δράσεις, αυξάνεται επίσης καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης (Filannino *et al.*, 2018).

Η ζύμωση αλλάζει όχι μόνο τη δομή αλλά και τη λειτουργία των πρωτεϊνών που βρίσκονται στα φυτά. Προκαλεί δομικές αλλαγές και αλλαγές διαλυτότητας στις πρωτεΐνες, οι οποίες και οι δύο έχουν επίδραση στις λειτουργικές τους ιδιότητες. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να παρατηρηθούν στις γαλακτωματοποιητικές και αφριστικές ικανότητες. Στη βιομηχανία τροφίμων, οι ικανότητες αυτές των φυτικών πρωτεϊνών είναι πολύ σημαντικές καθώς καθορίζουν τα χαρακτηριστικά υψής πολλών ειδών διατροφής (Champagne and Gardner, 2020).

Συνοψίζοντας, η διαδικασία της ζύμωσης προκαλεί τη διάσπαση των πρωτεϊνικών μορίων, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε αύξηση της πεπτικότητας και της βιοδιαθεσιμότητας της πρωτεΐνης. Επιπλέον, η διαδικασία της ζύμωσης έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη βιοδραστικών πεπτιδίων, τα οποία συνδέονται με αρκετές θετικές επιπτώσεις στην υγεία κάποιου. Η παραπάνω διαδικασία μεταβάλλει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των φυτικών πρωτεϊνών, γεγονός που με τη σειρά του έχει επίδραση στις λειτουργικές τους ιδιότητες. Ως αποτέλεσμα, αυτές οι πρωτεΐνες είναι καλύτερα κατάλληλες για ποικίλες χρήσεις στη βιομηχανία τροφίμων.

3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τους πρωτεϊνικούς μετασχηματισμούς

Η ποσότητα των φυτικών πρωτεϊνών και η ποιότητα αυτών μπορεί να μεταβληθούν από διάφορες συνθήκες. Αυτές οι μεταβολές μπορεί να έχουν επίδραση στην ενζυμική δραστηριότητα, τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών και τις συνθήκες επεξεργασίας που υπάρχουν κατά τη ζύμωση. Όλα αυτά μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στο διατροφικό προφίλ του τελικού προϊόντος.

3.3.1 Η δραστηριότητα των ενζύμων

Κατά τη ζύμωση, ένα από τα κρίσιμα στοιχεία που επηρεάζει τις αλλαγές στα επίπεδα πρωτεΐνης που συμβαίνουν στους σπόρους των φυτών, είναι η ενζυμική δραστηριότητα. Οι σύνθετες πρωτεΐνες μπορούν να διασπαστούν σε απλούστερα πεπτίδια και αμινοξέα όταν υπάρχουν και λειτουργούν πρωτεολυτικά ένζυμα. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως πρωτεόλυση. Η σύνθεση του μικροβιακού πληθυσμού που εμπλέκεται στη διαδικασία ζύμωσης, καθώς και η φύση του υποστρώματος και οι συνθήκες επεξεργασίας, μπορεί όλα να έχουν αντίκτυπο στο είδος και την ποσότητα των πρωτεασών που παράγονται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η πρωτεολυτική δραστηριότητα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ποσότητας πρωτεΐνης που υπάρχει. Τα μικροβιακά ένζυμα όπως οι πρωτεάσες διασπούν την πρωτεΐνη σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένη βιοδιαθεσιμότητά της πρωτεΐνης. Οι ένδο- και οι έξω-πρωτεάσες είναι τα κύρια ένζυμα που είναι υπεύθυνα για την υδρόλυση των πρωτεϊνών. Αυτά τα ένζυμα διασπούν τους πεπτιδικούς δεσμούς που περιέχονται στις πρωτεϊνικές αλυσίδες. Λόγω του μειωμένου μεγέθους τους, τα πεπτίδια και τα αμινοξέα που παράγονται, έχουν ως συνέπεια αυξημένη διαλυτότητα, γεγονός που συμβάλλει στη βελτίωση της βιοδιαθεσιμότητάς τους στον οργανισμό.

Για παράδειγμα, κατά τη ζύμωση της σόγιας, η δραστηριότητα των πρωτεασών που παράγονται από μικροοργανισμούς μπορεί να οδηγήσει σε υδρόλυση πρωτεϊνών, η οποία με τη σειρά της έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ελεύθερων αμινοξέων και πεπτιδίων, που με τη σειρά της οδηγεί σε μείωση της ποσότητας πρωτεΐνης που υπάρχει (Ghavidel and Prakash, 2007).

3.3.2 Μικροβιακή δραστηριότητα

Το μικροβιακό φορτίο είναι ένα ουσιαστικό συστατικό στον μετασχηματισμό των πρωτεϊνών των σπόρων των φυτών. Το είδος και η ποσότητα των μικροοργανισμών που υπάρχουν καθ' όλη τη διαδικασία της ζύμωσης έχουν τη δυνατότητα να επιδρούν στην ενζυμική δραστηριότητα καθώς και στους μεταβολίτες που παράγονται. Για παράδειγμα, τα βακτήρια γαλακτικού οξέος και οι μύκητες είναι οι κύριοι μικροοργανισμοί που εμπλέκονται στη διαδικασία ζύμωσης όταν τα όσπρια χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα. Τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος έχουν την ικανότητα να παράγουν πρωτεολυτικά ένζυμα, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν στη διάσπαση των πρωτεϊνών. Οι μύκητες, από την άλλη πλευρά, έχουν την ικανότητα να παράγουν μια ευρεία ποικιλία ενζύμων που εμπλέκονται στην αποικοδόμηση των πρωτεϊνών. Η ποικιλομορφία της μικροβιακής κοινότητας μπορεί επίσης να έχει επίδραση στις αλλαγές που συμβαίνουν στην πρωτεΐνη κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διαφορετικοί μικροοργανισμοί έχουν διακριτές πρωτεολυτικές δραστηριότητες και μεταβολικές οδούς, που και οι δύο έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν την ποιότητα και την ποσότητα των πρωτεϊνών (Di Cagno *et al.*, 2013).

Υπόστρωμα	Ένζυμο	Μικροβιακές καλλιέργειες	Δράση των ενζύμων
Γαλακτοκομικά	Πρωτεάση	<i>A. niger</i> , <i>A. oryzae</i> and <i>B. subtilis</i>	Παραγωγή τυριού
	Καταλάση	<i>S. boydii</i> and <i>Bacillus</i> sp.	Αφαίρεση H ₂ O ₂ γάλακτος χωρίς λακτόζη
	Λακτάση	<i>B. subtilis</i>	
Δημητριακά	Αμυλάση	<i>B. licheniformis</i> and <i>B. subtilis</i>	Βυνοποίηση, πολτοποιήση, υγροποίηση και παραγωγή εστέρων γεύσης
	Πρωτεάση	<i>A. niger</i>	
	Πεντοζανάση	<i>Trichoderma</i> sp.	
	Οξειδάση γλυκόζης	<i>P. notatum</i>	
	Φυτάση	<i>A. niger</i>	
	Πουλλουλανάση	<i>B. acidopullulyticus</i>	
	Ξυλανάση	<i>A. oryzae</i> and <i>B. subtilis</i>	
	Λιπάσες	<i>Aspergillus niger</i>	
	Β-γλυκανάση	<i>B. subtilis</i> , <i>A. niger</i> and <i>P. funiculosum</i>	
	Α-ακετολακτικό-αποκαρβοξυλάση	<i>B. subtilis</i>	
	Αμυλογλυκοσιδάση	<i>A. niger</i> and <i>A. flavus</i>	
	Κυτταρίνη	<i>T. longibrachiatum</i>	
	Πηκτινάση	<i>A. niger</i>	
Κρέας	Παπαΐνη	<i>S. aureus</i>	Τρυφεροποίηση κρέατος
	Πρωτεάση	<i>T. longibrachiatum</i> , <i>A. niger</i> , <i>A. oryzae</i> and <i>B. subtilis</i>	

Πίνακας 3 : Ένζυμα που χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση.
(Sharma *et al.*,2020)

3.3.3 Οι συνθήκες επεξεργασίας

Οι συνθήκες υπό τις οποίες υποβάλλονται σε επεξεργασία οι σπόροι των φυτών κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις πρωτεΐνες που παράγονται. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, ο ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης και η ενζυμική δραστηριότητα μπορούν να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το pH και η παρουσία αναστολέων. Για παράδειγμα, η παρουσία αναστολέων θρυψίνης κατά τη ζύμωση της σόγιας μπορεί να εμποδίσει τη δράση των πρωτεασών, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε μείωση της πρωτεΐνης που αποικοδομείται (Ghavidel and Prakash, 2007). Από την άλλη πλευρά, οι συνθήκες επεξεργασίας που οδηγούν σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλό pH μπορεί να διεγείρουν τη δραστηριότητα των πρωτεολυτικών ενζύμων, η οποία τελικά έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση συμπλόκων πρωτεϊνών σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα (Di Cagno *et al.*, 2013).

3.3.4 Μορφή του Υποστρώματος

Οι αλλαγές στη σύνθεση πρωτεϊνών των σπόρων των φυτών είναι επίσης επιρρεπείς στο να επηρεαστούν από το είδος του υποστρώματος που χρησιμοποιείται στη ζύμωση. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, η πρωτεΐνη που υπάρχει, καθώς και η δομή και η σύνθεση του υποστρώματος, μπορεί να έχουν επίδραση στην ενζυμική δραστηριότητα και τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων. Για παράδειγμα, η ζύμωση διαφόρων τύπων σόγιας μπορεί να οδηγήσει σε ποικίλους βαθμούς διάσπασης πρωτεΐνης λόγω του γεγονότος ότι το είδος και η ποσότητα της πρωτεΐνης, που παράγεται από τα μικρόβια, ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της σόγιας (Xu *et al.*, 2019). Με παρόμοιο τρόπο, το είδος του οσπρίου που ζυμώνεται μπορεί να έχει επίδραση στον μικροβιακό πληθυσμό καθώς και στην πρωτεολυτική δραστηριότητα, η οποία με τη σειρά της μπορεί να προκαλέσει διαφορές στην ποσότητα και την ποιότητα της πρωτεΐνης (Choi *et al.*, 2018).

Εκτός από τους παράγοντες που συζητήθηκαν παραπάνω, άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τις πρωτεϊνικές αλλαγές στους σπόρους των φυτών περιλαμβάνουν τη διάρκεια της ζύμωσης, την παρουσία αντιθρεπτικών παραγόντων και το μικροβιακό στέλεχος που χρησιμοποιείται στη ζύμωση. Η αρχική περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του υποστρώματος μπορεί να επηρεάσει την έκταση της

πρωτεϊνικής αποικοδόμησης κατά τη ζύμωση, με υψηλότερη αρχική περιεκτικότητα πρωτεΐνης που οδηγεί σε μεγαλύτερη αποικοδόμηση πρωτεΐνης. Η διάρκεια της ζύμωσης μπορεί επίσης να επηρεάσει τις πρωτεϊνικές αλλαγές, με μεγαλύτερους χρόνους ζύμωσης γενικά να οδηγούν σε μεγαλύτερη αποικοδόμηση πρωτεΐνης (Juszkiewicz *et al.*, 2019; Lestari *et al.*, 2020; Tamang *et al.*, 2016).

Η παρουσία αντιθρεπτικών παραγόντων, όπως το φυτικό οξύ και οι τανίνες, μπορεί επίσης να επηρεάσει τις πρωτεϊνικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Οι αντιθρεπτικοί παράγοντες μπορούν να συνδεθούν με τις πρωτεΐνες, μειώνοντας τη βιοδιαθεσιμότητά τους και δυνητικά επηρεάζοντας την πεπτικότητα τους. Ωστόσο, η δραστηριότητα των μικροβιακών στελεχών κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μπορεί να οδηγήσει στη διάσπαση των αντιθρεπτικών παραγόντων, οι οποίοι μπορούν να βελτιώσουν τη βιοδιαθεσιμότητα και την πεπτικότητα των πρωτεϊνών στο τελικό προϊόν (Moses and Achi, 2015).

Συνολικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τις πρωτεϊνικές αλλαγές στους σπόρους των φυτών κατά τη ζύμωση είναι περίπλοκοι και αλληλένδετοι, με τις ειδικές επιδράσεις να εξαρτώνται τους προαναφερθείς παραμέτρους. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι σημαντική για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ζύμωσης για την παραγωγή προϊόντων πρωτεΐνης φυτικής προέλευσης υψηλής ποιότητας.

Κεφάλαιο 4

4.1 Η επίδραση των οξυγαλακτικών ζυμώσεων στην ποιότητα και πεπτικότητα σε πρωτεΐνες φυτικών σπόρων

Κατά τη ζύμωση γαλακτικού οξέος, μικροοργανισμοί, πιο συχνά οξυγαλακτικά βακτήρια (LAB), μεταβολίζουν υδατάνθρακες απουσία οξυγόνου, με αποτέλεσμα την παραγωγή γαλακτικού οξέος ως κύριο μεταβολίτη της διαδικασίας. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συχνά στη βιομηχανία τροφίμων για τη διατήρηση της φρεσκάδας των γευμάτων φυτικής προέλευσης, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την πεπτικότητα και το θρεπτικό τους περιεχόμενο. Η επίδραση που έχει η ζύμωση γαλακτικού οξέος στην ποιότητα και στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών των φυτικών σπόρων είναι ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας.

Η παραγωγή πρωτεολυτικών ενζύμων από τα LAB κατά τη ζύμωση γαλακτικού οξέος, όπως η πεπστατίνη, μπορεί να υδρολύσει πρωτεϊνικά μόρια σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα, συμβάλλοντας τελικά σε αύξηση της πέψης πρωτεΐνης του τελικού προϊόντος (Ebrahimi et al., 2019). Αυτή η βελτίωση στον ρυθμό με τον οποίο οι πρωτεΐνες μπορούν να αφομοιωθούν είναι επωφελής για τη διατροφή του ανθρώπου αφού αυξάνει τον ρυθμό με τον οποίο το σώμα μπορεί να απορροφήσει τα αμινοξέα, τα οποία είναι τα συστατικά των πρωτεϊνών. Επιπλέον, η διάσπαση των μορίων πρωτεΐνης σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση ή απομάκρυνση μη θρεπτικών ουσιών όπως το φυτικό οξύ και τους αναστολείς θρυψίνης. Αυτό μπορεί να είναι ένα όφελος για τον ανθρώπινο οργανισμό (Ravindran and Kornegay, 2014). Είναι γνωστό ότι η παρουσία αυτών των ουσιών μειώνει τη βιοδιαθεσιμότητα μεταλλικών στοιχείων, όπως ο σίδηρος, το ασβέστιο και ο ψευδάργυρος, προκαλώντας το σχηματισμό αδιάλυτων σύμπλοκων με αυτά τα στοιχεία, τα οποία το σώμα δεν μπορεί να απορροφήσει. Εξαιτίας αυτού, η εξάλειψη των μη θρεπτικών συστατικών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης γαλακτικού οξέος μπορεί να ενισχύσει τη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων

θρεπτικών συστατικών, η οποία τελικά οδηγεί σε βελτιωμένη θρεπτική αξία (Gurta *et al.*, 2015).

Επιπλέον, η ζύμωση με γαλακτικό οξύ μπορεί να ενισχύσει τη θρεπτική αξία των τροφίμων φυτικής προέλευσης αυξάνοντας την αναλογία κάποιων βασικών αμινοξέων, όπως η λυσίνη και η τρυπτοφάνη (Gyedu-Akoto *et al.*, 2015). Αυτά τα αμινοξέα μπορούν να συντεθούν από το LAB χάρη στη δράση ενζύμων όπως η αποκαρβοξυλάση της λυσίνης και η τρυπτοφανάση, η οποία τελικά οδηγεί σε αύξηση της περιεκτικότητας αυτών των αμινοξέων στο τελικό προϊόν. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η διατροφή των ανθρώπων βασίζεται σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης και κατά κανόνα, η κατανάλωση ζωικής πρωτεΐνης είναι περιορισμένη, η αύξηση των απαραίτητων αμινοξέων είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Ο αντίκτυπος της ζύμωσης του γαλακτικού οξέος στην ποιότητα των πρωτεϊνών των φυτικών σπόρων καθώς και στην πεπτικότητα τους έχει αποτελέσει αντικείμενο σειράς ερευνών. Για παράδειγμα, μια έρευνα που διεξήχθη από τους Ijarotimi και Oyewole (2015) εξέτασε τον αντίκτυπο που έχει η ζύμωση γαλακτικού οξέος στην ποιότητα της πρωτεΐνης που βρίσκεται στο μπιζέλι. Παρατήρησαν ότι η ζύμωση με γαλακτικό οξύ αύξησε την ποιότητα της πρωτεΐνης του μπιζελιού αυξάνοντας το επίπεδο των απαραίτητων αμινοξέων και μειώνοντας την ποσότητα των μη θρεπτικών συστατικών, συμπεριλαμβανομένων του φυτικού οξέος και των τανινών. Αυτό οδήγησε σε βελτίωση της συνολικής ποιότητας πρωτεΐνης του μπιζελιού. Σε μια ξεχωριστή αλλά σχετική έρευνα, ανακαλύφθηκε από τους You *et al.* (2019) ότι η ζύμωση της κινόα με γαλακτικό οξύ ενίσχυσε την ποσότητα πρωτεΐνης που μπορούσε να αφομοιωθεί και μείωσε την ποσότητα των ανεπιθύμητων συστατικών, όπως οι σαπωνίνες, που υπήρχαν.

Συνεπώς, η ζύμωση με γαλακτικό οξύ έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποιότητα των πρωτεϊνών των φυτικών τροφίμων καθώς και την πεπτικότητα τους μέσω ενός αριθμού διαφορετικών μηχανισμών. Αυτοί οι μηχανισμοί περιλαμβάνουν την αφαίρεση αντιθρεπτικών παραγόντων, τη διάσπαση των μορίων πρωτεΐνης σε μικρότερα πεπτίδια και αμινοξέα και τη σύνθεση βασικών αμινοξέων. Η θρεπτική αξία των τροφίμων φυτικής προέλευσης βελτιώνεται ως αποτέλεσμα

αυτών των διαδικασιών, οι οποίες οδηγούν σε αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας μετάλλων όπως ο σίδηρος, το ασβέστιο και ο ψευδάργυρος και αυξάνουν την αξία αυτών των θρεπτικών συστατικών. Έχει αποδειχθεί σε μια σειρά από επιστημονικές μελέτες, ότι είναι μια επιτυχημένη μέθοδος για τη βελτίωση της ποιότητας των πρωτεϊνών καθώς και της πεπτικότητας μιας ποικιλίας φυτικών σπόρων, συμπεριλαμβανομένου του μπιζελιού και της κινόα. Γενικά, η χρήση ζύμωσης γαλακτικού οξέος στον τομέα των τροφίμων μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία φυτικών προϊόντων που είναι τόσο πιο πυκνά σε θρεπτικά συστατικά όσο και πιο εύκολα αφομοιώσιμα.

4.2 Σύγκριση της αλλαγής του πρωτεϊνικού περιεχομένου σε διαφορετικών ειδών σπόρους

Παραπάνω αναλύθηκε και διαπιστώθηκε πως, το είδος του σπόρου που ζυμώνεται, οι μικροοργανισμοί που εμπλέκονται στη διαδικασία της ζύμωσης και οι συνθήκες υπό τις οποίες λαμβάνει χώρα η ζύμωση μπορεί όλα να έχουν αντίκτυπο στους μετασχηματισμούς που λαμβάνουν χώρα σε όλη τη διαδικασία της ζύμωσης. Παρακάτω θα αναπτυχθούν οι μετασχηματισμοί που συμβαίνουν στο μόριο της πρωτεΐνης σε διάφορους σπόρους φυτών κατά τη ζύμωση.

Οι σπόροι σόγιας είναι ένας από τους σπόρους φυτών που ζυμώνονται συχνότερα και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τροφίμων όπως το τόφου και η σάλτσα σόγιας. Έχει αποδειχθεί ότι η ζύμωση της σόγιας βελτιώνει την πεπτικότητα της πρωτεΐνης που βρίσκεται στη σόγια και μειώνει τις ποσότητες μη επιθυμητών συστατικών. Η δράση μικροοργανισμών όπως τα βακτήρια, οι ζυμομύκητες και οι μύκητες είναι υπεύθυνοι για αυτούς τους μετασχηματισμούς. Αυτοί οι οργανισμοί διασπούν τις πολύπλοκες χημικές ουσίες που βρίσκονται στη σόγια σε απλούστερες και πιο βρώσιμες μορφές (Kumar et al., 2016). Ο μύκητας *Rhizopus oligosporus*, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία του τέμπε, είναι το είδος μικροβίου που χρησιμοποιείται συχνότερα στη ζύμωση της σόγιας (Manikantan et al., 2015). Οι Okoye και Okeke (2018) ανακάλυψαν ότι η ζύμωση του μπιζελιού με *Lactobacillus plantarum* αύξησε ενίσχυσε σημαντικά την πεπτικότητα της πρωτεΐνης καθώς και τη σύστασή της στα αμινοξέα. Σύμφωνα με τα ευρήματα

μιας δεύτερης έρευνας που πραγματοποιήθηκε από τους Oguntoyinbo *et al.* (2016), η ζύμωση του αφρικανικού γιαμ χρησιμοποιώντας *Lactobacillus plantarum* οδήγησε σε βελτίωση της πεπτικότητας της πρωτεΐνης.

Το είδος του μικροβίου που χρησιμοποιείται στη διαδικασία ζύμωσης μπορεί επίσης να προκαλέσει αλλοιώσεις στις πρωτεΐνες που βρίσκονται στους σπόρους των φυτών. Σε μια μελέτη που διεξήχθη από τους Shi *et al.* (2020), ανακαλύφθηκε ότι η ζύμωση σε σπόρους ροβίτσας είχε ως αποτέλεσμα διαφορετικούς βαθμούς διάσπασης πρωτεϊνών και απελευθέρωση αμινοξέων ανάλογα με το ποια στελέχη βακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν. Σε μια έρευνα που κατέληξε σε παρόμοια συμπεράσματα, οι Ayele *et al.* (2017) ανακάλυψε ότι η ζύμωση κόκκων σόγιας, χρησιμοποιώντας διάφορα στελέχη βακτηρίων, οδήγησε σε ποικίλες ποσότητες αντιθρεπτικών συστατικών καθώς και σε διακυμάνσεις στην ποσότητα της πρωτεΐνης που παρήχθη.

Σε ένα άλλο είδος καρπού, τα ρεβίθια, η ποιότητα της πρωτεΐνης και η πεπτικότητα φάνηκαν να μπορούσαν να βελτιωθούν μετά από ζύμωση. Σύμφωνα με τα ευρήματα μιας έρευνας, η ζύμωση με *Lactobacillus plantarum* αύξησε τις ποσότητες σημαντικών αμινοξέων ενώ ταυτόχρονα μείωσε τα επίπεδα αντιθρεπτικών συστατικών όπως το φυτικό οξύ και οι τανίνες, γεγονός που οδήγησε σε βελτίωση της πεπτικότητας της πρωτεΐνης (Ojha *et al.* , 2019).

Στη συνέχεια σύμφωνα με τα ευρήματα μιας έρευνας, η ζύμωση με *Lactobacillus plantarum* σε φακές αύξησε τις ποσότητες σημαντικών αμινοξέων ενώ ταυτόχρονα μείωσε τα επίπεδα αντιθρεπτικών συστατικών όπως το φυτικό οξύ και οι τανίνες, γεγονός που οδήγησε σε βελτίωση της πεπτικότητας της πρωτεΐνης (Yadav και Tarar, 2019). Σύμφωνα με τα ευρήματα άλλης έρευνας, η περιεκτικότητα των φακών σε πρωτεΐνες αυξήθηκε έως και 26% μετά τη ζύμωση με *Rhizopus oligosporus*, ενώ ταυτόχρονα μειώθηκαν τα επίπεδα των αντιθρεπτικών συστατικών (Chavan and Kadam, 1989).

Η διαδικασία ζύμωσης των μπιζελιών μπορεί να αυξήσει τόσο την ποιότητα της πρωτεΐνης τους όσο και το πόσο εύκολα μπορεί να αφομοιωθεί. Σύμφωνα με τα ευρήματα μιας έρευνας, η ζύμωση με *Lactobacillus plantarum* αύξησε τις ποσότητες

σημαντικών αμινοξέων ενώ ταυτόχρονα μείωσε τα επίπεδα αντιθρεπτικών συστατικών όπως το φυτικό οξύ και οι τανίνες, γεγονός που οδήγησε σε βελτίωση της πεπτικότητας της πρωτεΐνης (Mubarak *et al.* , 2016). Σύμφωνα με τα ευρήματα μιας άλλης έρευνας, η ζύμωση με *Bacillus subtilis* αύξησε την ποσότητα πρωτεΐνης που ανακαλύφθηκε στα μπιζέλια έως και 44%. Αυτή η διαδικασία βελτίωσε επίσης το προφίλ αμινοξέων και μείωσε την ποσότητα των αντιδιατροφικών στοιχείων που υπήρχαν (Nadeem *et al.*, 2017).

Εν συνεχεία, η ζύμωση αραβοσίτου με βακτήρια γαλακτικού οξέος μπορεί να αυξήσει την ποσότητα πρωτεΐνης στον αραβόσιτο έως και σαράντα τοις εκατό και να βελτιώσει την ποιότητα της πρωτεΐνης, αυξάνοντας την ποσότητα βασικών αμινοξέων όπως η λυσίνη και η μεθειονίνη (Owusu-Kwarteng *et al.*, 2014). Σε άλλη έρευνα, ανακαλύφθηκε ότι η ζύμωση του ρυζιού με τον μύκητα *Rhizopus oryzae* μπορεί να ενισχύσει την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του ρυζιού έως και εξήντα τοις εκατό και να ενισχύσει την πεπτικότητα της πρωτεΐνης (Manaois *et al.*, 2018). Οι Ezeama *et al.* (2019), διαπίστωσαν ότι η ζύμωση σόργου με βακτήρια γαλακτικού οξέος μπορεί να αυξήσει την ποσότητα πρωτεΐνης στο σόργο έως και εξήντα τοις εκατό και να βελτιώσει την ποιότητα της πρωτεΐνης αυξάνοντας την ποσότητα βασικών αμινοξέων όπως η λυσίνη και η τρυπτοφάνη.

Έχει αποδειχθεί ότι η ζύμωση βελτιώνει τόσο την ποιότητα των πρωτεϊνών στους ελαιοειδείς σπόρους όσο και την πεπτικότητά τους. Για παράδειγμα, αποδείχθηκε ότι η ζύμωση σπόρων σουσαμιού με βακτήρια γαλακτικού οξέος μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα πρωτεΐνης στους σπόρους έως και 30 τοις εκατό και επίσης να βελτιώσει την πέψη της πρωτεΐνης (El-Adawy and Taha, 2001). Ζύμωση μύκητα *Rhizopus oligosporus* με ηλιόσπορο μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα πρωτεΐνης στους σπόρους έως και 20% και να βελτιώσει την ποιότητα της πρωτεΐνης ενισχύοντας τα επίπεδα βασικών αμινοξέων όπως η λυσίνη και η μεθειονίνη (El-Adawy και Taha, 2001).

Το είδος του φυτικού σπόρου καθώς και οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία ζύμωσης μπορεί να έχουν επίδραση στις ιδιαίτερες αλλαγές που λαμβάνουν χώρα τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητα των

πρωτεϊνών που παράγονται κατά τη ζύμωση. Ωστόσο, συνολικά, η ζύμωση έχει βρεθεί ότι είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για την ενίσχυση της θρεπτικής αξίας των σπόρων φυτών με την αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, τη βελτίωση της ποιότητας πρωτεΐνης και την προώθηση της πέψης των πρωτεϊνών.

Συμπερασματικά, οι αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στη βιοδιαθεσιμότητα της πρωτεΐνης, που περιέχουν οι σπόροι των φυτών κατά τη ζύμωση, μπορεί να είναι αρκετά μεταβλητές ανάλογα με διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου του σπόρου, των μικροοργανισμών που εμπλέκονται, του χρόνου που χρειάζεται η ζύμωση και το μικροβιακό στέλεχος που χρησιμοποιείται. Γενικά, η ζύμωση έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την πεπτικότητα των πρωτεϊνών των φυτικών σπόρων και χαμηλότερα επίπεδα αντιθρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, ο βαθμός στον οποίο λαμβάνουν χώρα αυτές οι αλλαγές μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που υπάρχουν σε όλη τη διαδικασία ζύμωσης.

Κεφάλαιο 5

5.1 Μηχανισμοί που μεταβάλλουν τη δομή των πρωτεϊνών κατά τη ζύμωση

5.1.1 Ρόλος των ενζύμων

Είναι πιθανό η δράση των πρωτεολυτικών ενζύμων που παράγονται από μικρόβια να συμβάλλει στην μετουσίωση των πρωτεϊνών στους σπόρους των φυτών κατά τη ζύμωση. Η διάσπασή του μορίου της πρωτεΐνης μπορεί να οδηγήσει στη σύνθεση πεπτιδίων και αμινοξέων, τα οποία και τα δύο μπορούν να είναι ευεργετικά για την υγεία κάποιου χάρη στις αντιοξειδωτικές και αντιβακτηριδιακές τους ιδιότητες. Οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί, που εμπλέκονται στη διαδικασία ζύμωσης, είναι απαραίτητοι για τη δημιουργία των πεπτιδίων και των αμινοξέων. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι η ζύμωση των κόκκων σόγιας έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πεπτιδίων που περιλαμβάνουν αντιοξειδωτικά και αντιυπερτασικά χαρακτηριστικά. Πιο αναλυτικά οι Jiang *et al.* (2019) διερεύνησαν την επίδραση της ζύμωσης στις αντιοξειδωτικές και αντιυπερτασικές δραστηριότητες του σογιάλευρου. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τον *Bacillus subtilis* για τη ζύμωση του σογιάλευρου και έλαβαν πεπτιδικά κλάσματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πεπτιδικά κλάσματα που ελήφθησαν από το ζυμωμένο άλευρο σόγιας είχαν υψηλότερες αντιοξειδωτικές και αντιυπερτασικές δράσεις σε σύγκριση με το άλευρο σόγιας που δεν είχε υποστεί ζύμωση. Οι συγγραφείς απέδωσαν αυτό στην υδρόλυση πρωτεϊνών κατά τη ζύμωση, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση βιοδραστικών πεπτιδίων με αντιοξειδωτικές και αντιυπερτασικές ιδιότητες. Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη δυνατότητα της ζύμωσης να βελτιώσει τη θρεπτική αξία και τα οφέλη για την υγεία των πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης.

Εκτός από την πρωτεόλυση, η ζύμωση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αλλαγές στη διαλυτότητα και την πεπτικότητα των πρωτεϊνών των φυτικών σπόρων. Για παράδειγμα, η ζύμωση σε πείραμα που έχει διεξαχθεί, με ζύμωση σε μαυρομάτικα φασόλια με τον μύκητα *Rhizopus Oligosporus*, έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει τη διαλυτότητα της πρωτεΐνης στους σπόρους (Adebo *et al.*, 2015). Αυτή η αύξηση της διαλυτότητας έχει αποδοθεί στη μερική υδρόλυση των πρωτεϊνών από

τα μυκητιακά ένζυμα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Πιο αναλυτικά, τα μυκητιακά ένζυμα, όπως οι πρωτεάσες, διασπούν σύνθετα πρωτεϊνικά μόρια σε μικρότερα πεπτιδία και αμινοξέα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Στην παραπάνω περίπτωση, παρατηρήθηκε ότι τα επίπεδα αντιθρεπτικών παραγόντων, όπως το φυτικό οξύ, μειώθηκαν σημαντικά κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη δράση των μυκητιακών ενζύμων, τα οποία μπορούν να διασπάσουν το μόριο του φυτικού οξέος και να απελευθερώσουν φώσφορο και ινοσιτόλη. Η μείωση των αντιθρεπτικών παραγόντων και η αύξηση της πέψης των πρωτεϊνών είναι μερικά από τα οφέλη της χρήσης μυκητιακών ενζύμων κατά τη ζύμωση.

Συμπερασματικά, έχει εξεταστεί ευρέως πώς τα μικροβιακά ένζυμα παίζουν σημαντικό ρόλο στις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Τα πρωτεολυτικά ένζυμα που παράγονται από μικρόβια είναι υπεύθυνα για την μετουσίωση των πρωτεϊνών των φυτικών σπόρων καθώς και για τη σύνθεση πεπτιδίων και αμινοξέων που μπορεί να έχουν θετικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Επιπλέον, η δημιουργία αυτών των πεπτιδίων και αμινοξέων εξαρτάται από τους συγκεκριμένους μικροοργανισμούς που συμμετέχουν στην παραπάνω διαδικασία. Η ζύμωση μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στη διαλυτότητα και την πεπτικότητα των πρωτεϊνών που βρίσκονται στους σπόρους των φυτών. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να συνδεθούν με τη δραστηριότητα των μικροβιακών ενζύμων.

5.1.2 Η επίδραση της ζύμωσης στη δομή των πρωτεϊνών

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, λαμβάνουν χώρα διάφορες αλλαγές στη δομή της πρωτεΐνης των φυτικών σπόρων που επηρεάζουν την πεπτικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα και τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Σε μια μελέτη, που διεξήχθη από τους Xie *et al.* (2019), μελετήθηκε η επίδραση της ζύμωσης στη δομή της πρωτεΐνης της σόγιας χρησιμοποιώντας φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (FTIR) και φασματοσκοπία φθορισμού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ζύμωση άλλαξε σημαντικά τη δευτεροταγή δομή της πρωτεΐνης της σόγιας. Επιπλέον, η ζύμωση προκάλεσε αλλαγές και στην τριτοταγή δομή της πρωτεΐνης σόγιας, όπως αποδεικνύεται από μια μετατόπιση στα φάσματα φθορισμού. Αυτές οι αλλαγές στη δομή της πρωτεΐνης αποδίδονταν στη δράση των μικροβιακών

ενζύμων που παράγονται κατά τη ζύμωση, τα οποία υδρόλυσαν πεπτιδικούς δεσμούς και δημιούργησαν νέους χημικούς δεσμούς. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ζύμωση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τις θρεπτικές και λειτουργικές ιδιότητες πρωτεΐνης σόγιας τροποποιώντας τη δομή της.

Σε μια άλλη μελέτη (Vega-Galvez *et al.*, 2010), η επίδραση της ζύμωσης στη δομή της πρωτεΐνης της κινόα αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας ηλεκτροφόρηση γέλης και διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (DSC). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ζύμωση προκάλεσε μείωση στο μέγεθος των συσσωματωμάτων πρωτεΐνης κινόα και αύξηση της διαλυτότητας των πρωτεϊνικών κλασμάτων. Η ανάλυση DSC αποκάλυψε ότι η ζύμωση αύξησε τη θερμική σταθερότητα της πρωτεΐνης κινόα προκαλώντας μετουσίωση και συσσώρευση πρωτεΐνης. Αυτές οι αλλαγές στη δομή των πρωτεϊνών αποδόθηκαν στη δράση των μικροβιακών ενζύμων, τα οποία υδρόλυσαν τους πεπτιδικούς δεσμούς, διέσπασαν τους δισουλφιδικούς δεσμούς και εξέθεσαν τα θαμμένα αμινοξέα. Οι συγγραφείς πρότειναν ότι η ζύμωση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της πεπτικότητας και των λειτουργικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης κινόα αλλάζοντας τη δομή της.

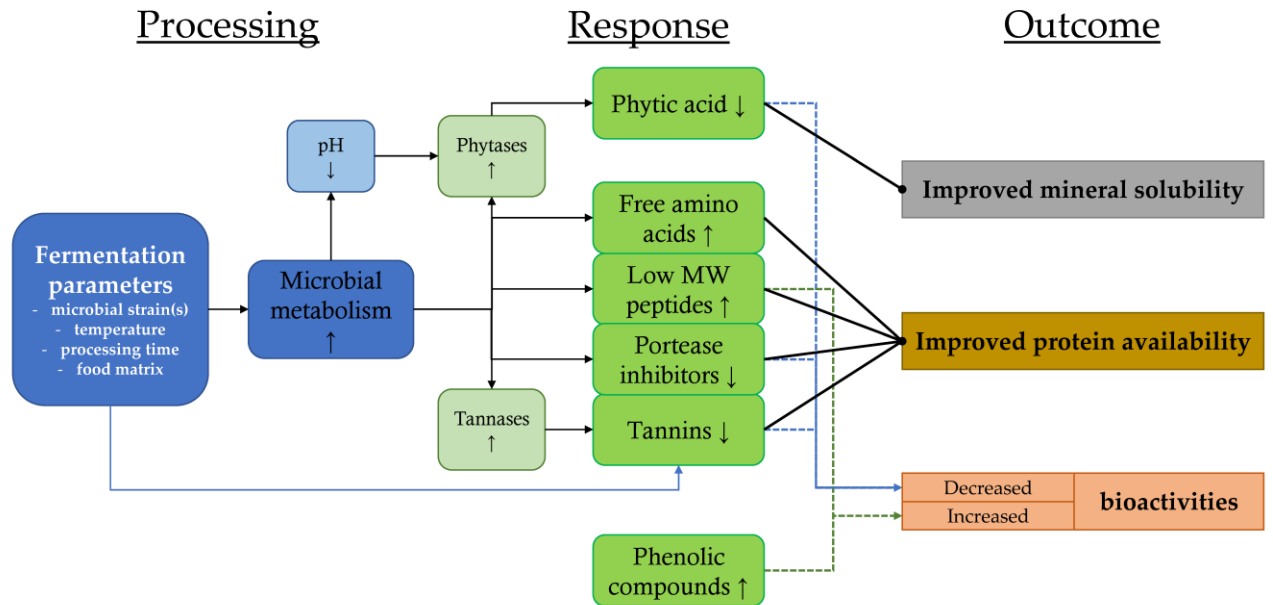
Συμπερασματικά, η ζύμωση έχει σημαντική επίδραση στην πρωτεϊνική δομή των φυτικών σπόρων, με αλλαγές στη δευτεροταγή και τριτοταγή δομή, καθώς και με αλλαγές στη συσσωμάτωση και τη διαλυτότητα των πρωτεϊνών. Αυτές οι αλλαγές αποδίδονται στη δράση των μικροβιακών ενζύμων, τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην τροποποίηση της πρωτεΐνης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Προκειμένου να μπορέσει κανείς να ενισχύσει θρεπτικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των σπόρων, χρειάζεται να κατανοήσει το ρόλο των μικροβιακών ενζύμων.

5.2 Η επίδραση των ζυμώσεων στη σύνθεση των πρωτεϊνών

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, η μικροβιακή δραστηριότητα μπορεί να αποικοδομήσει τις πρωτεΐνες, να αλλάξει τη διαλυτότητά τους και να τροποποιήσει τη σύνθεση αμινοξέων τους. Αυτές οι τροποποιήσεις μπορούν να έχουν θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στη διατροφική ποιότητα των πρωτεϊνών.

Σε έρευνά τους οι Kim *et al.* (2016) ερεύνησαν τις αλλαγές στη σύσταση αμινοξέων και τις αντιοξειδωτικές δραστηριότητες των σπόρων ροβίτσας (*Vigna Radiata*) κατά τη βλάστηση και τη ζύμωση. Η μελέτη είχε ως στόχο τον προσδιορισμό των βέλτιστων συνθηκών για τη βλάστηση και τη ζύμωση με LAB, για την ενίσχυση της θρεπτικής αξίας και των αντιοξειδωτικών δράσεων των σπόρων. Διαπιστώθηκε ότι η βλάστηση των σπόρων οδήγησε σε αύξηση της συνολικής περιεκτικότητας σε αμινοξέα, όπως η λυσίνη και η θρεονίνη, και μείωση άλλων αμινοξέων όπως το ασπαρτικό οξύ και το γλουταμινικό οξύ. Η ζύμωση των βλαστημένων σπόρων οδήγησε σε περαιτέρω αύξηση της συνολικής περιεκτικότητας σε αμινοξέα, με τα υψηλότερα επίπεδα να παρατηρούνται σε δείγματα που εζυμώθηκαν για 48 ώρες.

Επιπλέον, η μελέτη αποκάλυψε ότι οι αντιοξειδωτικές δραστηριότητες των σπόρων ενισχύθηκαν τόσο από τη βλάστηση όσο και από τη ζύμωση. Η βλάστηση αύξησε τη συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλη και τις αντιοξειδωτικές δράσεις των σπόρων, ενώ η ζύμωση αύξησε περαιτέρω τις αντιοξειδωτικές δραστηριότητες, με τα υψηλότερα επίπεδα να παρατηρούνται σε δείγματα που εζυμώθηκαν για 24 και 48 ώρες.



Εικόνα 9 : Μια επισκόπηση της διαδικασίας ζύμωσης και των μικροβιακών μεταβολικών γεγονότων στους παράγοντες θρεπτικής ποιότητας των φυτικών τροφίμων. Αν και η συνολική επίδραση της ζύμωσης των τροφίμων στη διαλυτότητα των μετάλλων και στη διαθεσιμότητα πρωτεϊνών είναι συχνά θετική, και ειδικά τα υπολείμματα που προέρχονται από πρωτεΐνες και οι φαινολικές ενώσεις μπορεί να συμβάλλουν σε επιθυμητές βιοδραστηριότητες (πράσινες διακεκομμένες γραμμές), η μείωση του φυτικού οξέος, των αναστολέων πρωτεάσης και των ενώσεων τανίνης μπορεί οδηγούν σε μείωση των δραστηριοτήτων που είναι δυνητικά ευεργετικές για την ανθρώπινη υγεία (μπλε διακεκομμένες γραμμές). MW : μοριακό βάρος.

Κεφάλαιο 6 :

6.1 Εφαρμογές των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών

6.1.1 Διατροφικά οφέλη των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση

Η ζύμωση φυτικών πρωτεϊνών έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει τα θρεπτικά τους οφέλη βελτιώνοντας την πεπτικότητα, το προφίλ αμινοξέων και τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Για παράδειγμα σε άρθρο των Agyei *et al.* (2014) αναφέρεται στη δυνατότητα της μικροβιακής ζύμωσης να αυξήσει την απόδοση και την ποιότητα πρωτεΐνης των φυτικών πηγών πρωτεΐνης σε σπόρους σόγιας. Οι συγγραφείς συζητούν τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων εκχύλισης πρωτεΐνης από τα φυτά, όπως οι χαμηλές αποδόσεις και η κακή ποιότητα πρωτεΐνης, και προτείνουν τη μικροβιακή ζύμωση ως λύση. Εστιάζουν στη δυνατότητα της μικροβιακής ζύμωσης να αυξήσει τη βιοδιαθεσιμότητα και την πεπτικότητα των φυτικών πρωτεϊνών, η οποία μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη διατροφή.

Σε άλλη έρευνα οι Chukwuma *et al.* (2019) εξέτασαν τις εφαρμογές της ζύμωσης φυτικών πρωτεϊνών, υπογραμμίζοντας τις δυνατότητές της στην παραγωγή λειτουργικών τροφίμων. Οι φυτικές πρωτεΐνες που έχουν υποστεί ζύμωση έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν βελτιωμένες λειτουργικές ιδιότητες όπως η γαλακτωματοποίηση, ο αφρισμός και η ικανότητα συγκράτησης νερού, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για χρήση σε διάφορα προϊόντα διατροφής. Επιπλέον, η μικροβιακή ζύμωση μπορεί να βελτιώσει την πεπτικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των φυτικών πρωτεϊνών, καθιστώντας τις πολύτιμη πηγή πρωτεΐνης στη διαίτα ανθρώπων και ζώων. Οι συγγραφείς σημείωσαν επίσης τη δυνατότητα χρήσης φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση ως συστατικά στις ζωοτροφές, ιδιαίτερα για την υδατοκαλλιέργεια και την εκτροφή πουλερικών, λόγω της βελτιωμένης πεπτικότητας και της περιεκτικότητάς τους σε θρεπτικά συστατικά. Επιπλέον, τόνισαν τη δυνατότητα χρήσης φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση ως πηγές βιοδραστικών πεπτιδίων. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, οι πρωτεΐνες διασπώνται σε μικρότερα πεπτίδια, μερικά από τα οποία μπορεί να

έχουν επιδράσεις που προάγουν την υγεία, όπως αντιοξειδωτικές, αντιυπερτασικές και αντιμικροβιακές δραστηριότητες. Αυτά τα βιοενεργά πεπτίδια μπορεί να έχουν πιθανές εφαρμογές στην ανάπτυξη λειτουργικών τροφίμων.

Σε μελέτη που διεξήχθη από τους Placheta *et al.* (2022) είχε ως στόχο να διερευνήσει την επίδραση της ενσωμάτωσης της ζυμωμένης φυτικής βιομάζας στη διατροφή των χοίρων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενσωμάτωση αυτή βελτίωσε την πεπτικότητα των θρεπτικών συστατικών και την απόδοση ανάπτυξης των ζώων. Οι σπόροι φυτών που έχουν υποστεί ζύμωση, όπως η σόγια, η ελαιοκράμβη και τα δημητριακά, προσφέρουν πολλά οφέλη στην παραγωγή τροφής χοίρων. Η ζύμωση έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή προβιοτικών και λειτουργικών μεταβολιτών που διευκολύνουν την πέψη, την απορρόφηση και τη χρήση πρωτεΐνης στους χοίρους. Το άλευρο σόγιας που έχει υποστεί ζύμωση, για παράδειγμα, αναστέλλει την ανάπτυξη παθογόνων όπως ο *Staphylococcus Aureus* και το *Escherichia Coli*. Η ζύμωση των συστατικών των δημητριακών συμβάλλει επίσης στην παραγωγή περισσότερου βουτυρικού, το οποίο βελτιώνει την υγεία του εντέρου και προσδίδει προβιοτικές ιδιότητες. Συνολικά, οι σπόροι φυτών που έχουν υποστεί ζύμωση στη τροφή των χοίρων μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της ευαισθησίας στη διάρροια και στο να βοηθήσουν στην ανάπτυξη των ζώων.

6.2 Λειτουργικές ιδιότητες φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση

Τα όσπρια που έχουν υποστεί ζύμωση θα μπορούσαν να θεωρηθούν λειτουργικά τρόφιμα επειδή έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν του αντιθρεπτικούς παράγοντες, αυξάνουν την αντιοξειδωτική δράση και βελτιώνουν την πεπτικότητα των πρωτεϊνών. Ορισμένοι μικροοργανισμοί ζύμωσης θεωρούνται επίσης προβιοτικά, τα οποία είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί που, όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες, προσδίδουν τα δικά τους οφέλη για την υγεία στον ξενιστή. Η κατανάλωση οσπρίων που έχουν υποστεί ζύμωση έχει συσχετιστεί με ποικίλα οφέλη για την υγεία, όπως κατά της παχυσαρκίας, αντιυπερτασικής, αντιαλλεργικής, αντιμικροβιακής και αντιοξειδωτικής δράσης, καθώς και με την πρόληψη καρδιακών παθήσεων, καρκίνου, γαστρεντερικών διαταραχών, διαβήτη και οστεο-

πόρωσης. Τα βιοενεργά πεπτίδια είτε παράγονται με υδρόλυση πρωτεϊνών κατά τη ζύμωση είτε απελευθερώνονται από μικροοργανισμούς ζύμωσης. Μια μελέτη της ζύμωσης γάλακτος σόγιας με *S. thermophilus* και *B. infantis* έδειξε ότι προέκυψε ενισχυμένη αντινεοπλασματική δράση λόγω της συνδυασμένης δράσης των αρχικών αντικαρκινικών κυτταρικών συστατικών των οσπρίων, των οργανισμών εκκίνησης και των αντικαρκινικών βιοδραστικών ιδιοτήτων των κυττάρων που σχηματίστηκαν κατά τη ζύμωση.

Για να ενσωματωθούν τα όσπρια ή τα συστατικά τους σε προϊόντα διατροφής, είναι απαραίτητο να βελτιστοποιηθούν τα τεχνολογικά τους χαρακτηριστικά. Οι πρωτεΐνες των οσπρίων έχουν σημαντικά τεχνολογικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της διαλυτότητας, της ικανότητας συγκράτησης νερού και λαδιού, τις γαλακτωματοποιητικές, αφριστικές και ζελατινοποιητικές ιδιότητες, οι οποίες είναι πολύτιμες για τη βιομηχανία τροφίμων. Η χρήση ζύμωσης γαλακτικού οξέος μπορεί να αλλάξει αυτά τα χαρακτηριστικά, παρέχοντας ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων που εξαρτώνται από το συγκεκριμένο συστατικό οσπρίων που χρησιμοποιείται, τις συνθήκες ζύμωσης και τις απαιτήσεις τελικού προϊόντος, όπως π.χ. στην παρασκευή ψωμιού ή στη γαλακτοκομική παραγωγή.

6.2.1 Διαλυτότητα πρωτεϊνών

Η διαλυτότητα των πρωτεϊνών είναι ένας ουσιαστικός παράγοντας που καθορίζει τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των πρωτεϊνών, καθώς επηρεάζει άλλες ιδιότητες όπως ο αφρισμός, η γαλακτωματοποίηση και η πήξη. Η βιβλιογραφία παρέχει αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση της ζύμωσης στη διαλυτότητα της πρωτεΐνης των οσπρίων. Ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει μείωση της διαλυτότητας των πρωτεϊνών μετά από ζύμωση με ορισμένα βακτήρια όπως το *Lb. helveticus* και *Lb. plantarum* για απομονωμένη πρωτεΐνη σόγιας και σογιάλευρο, και με *Lb. reuteri*, *Lb. amylolyticus*, *Lactobacillus parabucchneri*, *Lactobacillus carnosus*, *Lb. helveticus*, *Lb. brevis*, και *Lactobacillus delbruekii* για απομόνωση πρωτεΐνης λούπινου. Το οξύ που παράγεται από ορισμένους

ζυμωτικούς μικροοργανισμούς μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη πήξη πρωτεϊνών και μειωμένη διαλυτότητα, ακόμη και όταν το pH υπερβαίνει το pI μετά τη ζύμωση. Αντίθετα, ορισμένες μελέτες έχουν αποδείξει ότι η ζύμωση μπορεί να αυξήσει τη διαλυτότητα των πρωτεϊνών. Για παράδειγμα, μια νέα μέθοδος εκχύλισης πρωτεϊνών μπιζελιού υποβοηθούμενη από ζύμωση γαλακτικού οξέος έδειξε αύξηση στη διαλυτότητα των σφαιρινών σε χαμηλό pH λόγω της πρωτεόλυσης. Σε άλλη μελέτη, η ζύμωση αλεύρου λούπινου με ορισμένα βακτηριακά στελέχη, όπως το *P. pentosaceus*, ένα μείγμα *Lc. mesenteroides*, *Lb. plantarum*, και *Lb. brevis*. Τα στελέχη *P. acidilactici* και *P. pentosaceus*, αύξησαν επίσης τη διαλυτότητα της πρωτεΐνης, πιθανώς λόγω της μείωσης του μεγέθους της πρωτεΐνης και των αλλαγών στη διαμόρφωση που προκαλούνται από μικροβιακή υδρόλυση και υδρόλυση που προκαλείται από οξύ. Επιπλέον, η αποικοδόμηση του φυτικού οξέος και του αμύλου κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μπορεί επίσης να διευκολύνει τη διαλυτότητα των πρωτεϊνών, καθώς το φυτικό οξύ μπορεί να δεσμεύσει πρωτεΐνες και οι αλληλεπιδράσεις αμύλου μπορούν να μειώσουν τη διαλυτότητα των πρωτεϊνών. Τέλος, η διαλυτότητα των πρωτεϊνών μπορεί να εξαρτάται από το pH και τον μικροοργανισμό που χρησιμοποιείται για τη ζύμωση της απομόνωσης πρωτεΐνης μπιζελιού (Emkani,2022).

6.2.2 Αλλαγές στην υδροφοβικότητα των πρωτεϊνών

Σύμφωνα με μελέτη (Bureau *et al.*,2009), η συμπεριφορά των ζυμωμένων πρωτεϊνών εξαρτάται από το pH. Μετά από μία ώρα ζύμωσης σε pH 4, η υδροφοβικότητα της πρωτεΐνης αυξήθηκε, υποδεικνύοντας το προοδευτικό ξεδίπλωμα της πρωτεΐνης και την απελευθέρωση πεπτιδίων που εξέθεσαν υδρόφοβες θέσεις. Ωστόσο, σε pH 7, η υδροφοβικότητα της ζυμωμένης πρωτεΐνης μπιζελιού μειώθηκε σε σύγκριση με το μη ζυμωμένο υπόστρωμα, γεγονός που αποδόθηκε στις διαμορφωτικές αλλαγές που έκρυσαν τις προηγουμένως εκτεθειμένες υδρόφοβες θέσεις. Η μελέτη των Lampart-Szczara *et al.*(2006) έδειξε ότι οι πρωτεΐνες λούπινου που ζυμώθηκαν με ένα μείγμα *Lc. mesenteroides*, *Lb. plantarum*, και *Lb. brevis* έδειξαν μείωση της υδροφοβικότητας που μετρήθηκε σε pH 7, αλλά οι αλλαγές

εξαρτήθηκαν από άλλους παράγοντες όπως ο τρόπος καλλιέργειας ή όπως η παρουσία φλοιών.

6.2.3 Ικανότητα συγκράτησης νερού και ικανότητα συγκράτησης ελαίων

Η ικανότητα συγκράτησης νερού των πρωτεϊνών οσπρίων φαίνεται να αυξάνεται μετά τη ζύμωση, όπως παρατηρήθηκε σε αρκετές μελέτες. Αυτή η αύξηση αποδίδεται στην πρωτεολυτική δραστηριότητα των βακτηρίων, η οποία προκαλεί αλλαγές στη δομή και τη διαμόρφωση των πρωτεϊνών, οδηγώντας στην έκθεση πιο υδρόφιλων θέσεων. Η αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού αποδίδεται στο ξεδίπλωμα και την υδρόλυση πρωτεϊνών κατά τη ζύμωση, η οποία εκθέτει προηγουμένως θαμμένες υδρόφιλες ομάδες που θα μπορούσαν να αλληλοεπιδράσουν με περισσότερο νερό. Υπάρχουν επίσης αναφορές που υποδεικνύουν αυξήσεις στην ικανότητα συγκράτησης ελαίων μετά τη ζύμωση ορισμένων αλεύρων οσπρίων, όπως σπόρους φάβας και ρεβιθιών, πιθανόν λόγω αυξημένης αδιάλυτης υδρόφοβης πρωτεΐνης (Emkani *et al.*, 2022).

6.2.5 Γαλακτωματοποιητικές Ιδιότητες

Οι γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες των πρωτεϊνών οσπρίων σχετίζονται στενά με τα χαρακτηριστικά τους και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η ζύμωση μπορεί να τροποποιήσει τις πρωτεϊνικές ιδιότητες και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, και επομένως μπορεί να αναμένεται να αλλάξει τις γαλακτωματοποιητικές ιδιότητες των πρωτεϊνών οσπρίων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Ωστόσο, η ικανότητα γαλακτωματοποίησης των ζυμωμένων πρωτεϊνών οσπρίων φαίνεται να μειώνεται σε σύγκριση με τις μη ζυμωμένες πρωτεΐνες. Αυτή η μείωση θα μπορούσε να αποδοθεί στη συσσώρευση πρωτεϊνών και στην αλληλεπίδραση με παραπροϊόντα, τα οποία μπορούν να εμποδίσουν τις υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων πρωτεΐνης και ελαίου και να μειώσουν την αμφιφιλικότητα των πρωτεϊνών. Η σταθερότητα γαλακτωματοποίησης των ζυμωμένων πρωτεϊνών οσπρίων επηρεάζεται επίσης από το pH, τη συγκέντρωση διαλυτών πρωτεϊνών, την

υδροφοβικότητα και τη δομική ευκαμψία των πρωτεϊνών. Οι επιδράσεις της ζύμωσης στην ικανότητα γαλακτωματοποίησης της πρωτεΐνης λούπινου ποικίλλουν και εξαρτώνται από τους ζυμωτικούς μικροοργανισμούς και τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται. Σε έρευνα των Lampart-Szczapa *et al.*(2006) σε ζύμωση πρωτεΐνης λούπινου χρησιμοποιώντας μίγμα *Lc. mesenteroides*, *Lb. plantarum*, και *Lb. brevis* μειώθηκε η ικανότητα γαλακτωματοποίησης, ενώ η ζύμωση με *P. pentosaceus* προκάλεσε σημαντική αύξηση. Στη μελέτη των Emkani *et al.*, (2022) αναφέρεται ότι δεν παρατηρήθηκε σταθερή συμπεριφορά στην ικανότητα γαλακτωματοποίησης μετά από ζύμωση με *Lb. reuteri*, *Lb. amylolyticus*, *Lb. helveticus*, *Lb. brevis*, και *Lb. delbrueckii* (βλ. Πίνακα 3). Αυτά τα ποικίλα αποτελέσματα μπορούν να αποδοθούν στους διαφορετικούς ζυμωτικούς μικροοργανισμούς και συνθήκες που χρησιμοποιούνται.

6.2.6 Αφριστικές Ιδιότητες

Οι ιδιότητες αφρισμού είναι παρόμοιες με τις ιδιότητες σχηματισμού γαλακτώματος, καθώς εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της πρωτεΐνης (η ικανότητα μετανάστευσης στη διεπιφάνεια αέρα-νερού, μείωση της επιφανειακής τάσης και επανευθυγράμμιση των υδρόφοβων ομάδων), στις περιβαλλοντικές συνθήκες (συγκέντρωση της πρωτεΐνης, pH, θερμοκρασία και παρουσία άλλων συστατικών) και στις συνθήκες της διαδικασίας με την οποία σχηματίζεται ο αφρός.

Η αλληλεπίδραση που έχει η ζύμωση γαλακτικού οξέος στις ικανότητες αφρισμού της πρωτεΐνης οσπρίων, έχουν παρατηρηθεί αντιφατικά ευρήματα. Μετά τη ζύμωση ενός προϊόντος απομόνωσης πρωτεΐνης σόγιας με *Lb. helveticus*, από αλεύρι εμπλουτισμένο με πρωτεΐνες μπιζελιού με *Lb. plantarum*, και του λούπινου με *Lb. reuteri*, *Lactobacillus amylolyticus*, *Lb. brevis*, και *Lb. delbrueckii* και με το *P. pentosaceus*, η ικανότητα αφρισμού βελτιώθηκε αλλά η σταθερότητα του αφρού μειώθηκε. Από την άλλη πλευρά, σε άλλη έρευνα αναφέρεται ότι η ικανότητα αφρισμού του συμπυκνώματος πρωτεΐνης ρεβιθιού μειώθηκε μετά τη ζύμωση με γαλακτικό οξύ με *P. pentosaceus* και *P. acidilactici* σε σύγκριση με τα δείγματα που δεν έχουν υποστεί ζύμωση. Αυτό αποδόθηκε στο γεγονός ότι συμβαίνει κατά τη

σύγκριση της ικανότητας αφρισμού των δειγμάτων που έχουν υποστεί ζύμωση με τα μη ζυμωμένα δείγματα.

Είναι σημαντικό να έχουμε κατά νου ότι η ικανότητα αφρισμού συνδέεται στενά με το pH καθώς και με τη διάρκεια της ζύμωσης. Όταν χρησιμοποιήθηκε *Lb. plantarum* στη ζύμωση αλευριού εμπλουτισμένου με πρωτεΐνες μπιζελιού, παρατηρήθηκαν ποικίλες αλλαγές ανάλογα με το pH του μείγματος. Οι επιστήμονες παρατήρησαν ότι η πρωτεΐνη ξεδίπλωσε και αποκάλυψε τις υδρόφοβες ομάδες της κατά τις πρώτες πέντε ώρες της ζύμωσης, όταν το pH ήταν 4. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας αφρισμού. Μετά από 5 ώρες ζύμωσης, υπήρξε αισθητή μείωση της ικανότητας αφρισμού. Αυτό πιθανότατα προκλήθηκε από μια περίσσεια υδρόφοβων ομάδων, η οποία ανέστειλε την ικανότητα της πρωτεΐνης να μετακινηθεί στη διεπιφάνεια. Σε pH 7, η ικανότητα αφρισμού και η σταθερότητα του αφρού ήταν γενικά συνεπείς σε όλες τις διαδικασίες ζύμωσης. Αυτό ήταν πιθανότατα επειδή οι επιφανειακές ιδιότητες ήταν αρκετά σταθερές σε αυτό το pH. Σε άλλη έρευνα στη ζύμωση της απομόνωσης πρωτεΐνης λούπινου, το είδος του μικροβίου που χρησιμοποιήθηκε αποδείχθηκε ότι έχει επίδραση στις ιδιότητες του αφρού (βλ. πίνακα 4). Μετά τη ζύμωση, οι συγγραφείς είδαν μια αύξηση στη δραστηριότητα του αφρού, αν και ήταν πιο έντονη με το *Lb. reuteri*, *Lb. amylolyticus*, και *Lb. helveticus* από ότι ήταν με το *Lb. brevis* και *Lb. delbrueckii* (Emkani *et al.*,2022).

Σε μελέτη των (Klupsaite *et al.*,2017) παρατηρήθηκε μεταξύ άλλων η επίδραση της οξυγαλακτικής ζύμωσης στις λειτουργικές ιδιότητες της πρωτεΐνης λούπινου. Οι λειτουργικές ιδιότητες των απομονωμένων πρωτεϊνών μπορούν να επηρεαστούν από το pH. Η αρχική μελέτη αποκάλυψε ότι η βελτίωση της γαλακτωματοποιητικής δραστηριότητας (ΓΔ) πρωτεΐνης λούπινου και της ικανότητας αφρού που επιτεύχθηκε σε pH 6 και pH 8. Η επίδραση της γαλακτοζύμωσης στη γαλακτωματοποιητική δραστηριότητα της πρωτεΐνης λούπινου φαίνεται στον πίνακα 4. Μετά από 24 και 48 ώρες ζύμωσης, η αύξηση της (ΓΔ) κατά μέσο όρο κατά 14% παρατηρήθηκε σε pH 8 και κατά 10% και 9% σε pH 6, αντίστοιχα, σε σύγκριση με το δείγμα που δεν έχει υποστεί ζύμωση.

Η ικανότητα αφρισμού (ΙΑ) αυξήθηκε με την αύξηση του pH του εναιωρήματος από pH 6 σε pH 8 σε δείγματα πρωτεΐνης λούπινου που έχουν υποστεί ζύμωση (Πίνακας 4). Η ζύμωση με *Pediococcus pentosaceus* είχε σημαντική επίδραση στη βελτίωση της ΙΑ. Μετά τη ζύμωση, η ΙΑ της πρωτεΐνης ήταν σημαντικά υψηλότερο σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα σε κάθε επίπεδο pH (pH 6 και pH 8). Η υψηλότερη (ΙΑ) επιτεύχθηκε σε pH 8 μετά από 48 ώρες ζύμωσης (55%).

Χρόνος Ζύμωσης (H)	pH	Γαλακτωματοποίηση %	Ικανότητα Αφρισμού %
0	pH 6	46.1 ± 1.2a	25 ± 3.2a
24		50.8 ± 1.8b	38 ± 2.0b
48		50.3 ± 1.3b	37 ± 3.2b
72		47.0 ± 1.9a	42 ± 1.2c
0	pH 8	48.3 ± 1.3a	37 ± 3.2a
24		55.0 ± 1.2b	50 ± 2.0c
48		55.0 ± 2.1b	55 ± 2.3d
72		50.9 ± 1.7a	44 ± 2.1b

Πίνακας 4 : Η επίδραση της γαλακτοζύμωσης στη γαλακτωματοποιητική δραστηριότητα και την ικανότητα αφρισμού των εναιωρημάτων πρωτεΐνης λούπινου σε διαφορετικό pH. (Klupsaitte et al.,2017).

Όσπριο	Συστατικά	Καλλιέργειες LAB	Διαλυτότητα Πρωτεϊνών	Γαλακτωματοποιητικές Ιδιότητες	Αφριστικές Ιδιότητες	
Ρεβύθι	Άλευρο	<i>W. paramesenteroides</i>	-	ΙΓ αυξήθηκε	-	
		<i>Lb. plantarum</i>				
	Συμπύκνωμα Πρωτεΐνης	<i>P. pentosaceus</i>	-	-	ΙΑ μειώθηκε	
		<i>P. acidilactici</i>				
Σόγια	Άλευρο	<i>Lb. plantarum</i>	-	ΙΓ αυξήθηκε	-	
		<i>Lb. rhamnosus</i>				
		<i>Lactobacillus nantensis</i>				
		<i>Lb. fermentum</i>				
		<i>Lb. reuteri</i>				
		<i>P. acidilactici</i>				
		<i>Lb. brevis</i>				
	Σκόνη πρωτεΐνης	<i>Lb. helveticus</i>	Μειώθηκε σε pH 7	ΓΔ μειώθηκε	ΑΔ αυξήθηκε	
			Αυξήθηκε σε pH 4		ΑΠ μειώθηκε	
					ΑΣ αυξήθηκε	
Σκόνη πρωτεΐνης	<i>Lb. plantarum</i>	Μειώθηκε σε pH 7	-	-		
Αρακάς	Πρωτεΐνη μπιζελιού	<i>Lb. plantarum</i>	-	ΓΔ αυξήθηκε	ΙΑ αυξήθηκε σε pH 4	
				Χαμηλή ΓΔ σε pH 7	ΙΑ δεν άλλαξε σε pH 7	
				ΣΓ μειώθηκε σε pH 4		
	Σκόνη πρωτεΐνης	<i>Lb. plantarum</i>	Αυξήθηκε σε pH 5 αλλά μειώθηκε σε pH 3, 7, and 8		ΙΓ μειώθηκε	Δεν μπόρεσε να σχηματιστεί αφρός
					Μεγάλη ΙΓ για <i>Lb. plantarum</i>	
					Μικρή ΙΓ <i>Lb. perolens</i>	
					ΙΓ αυξήθηκε για <i>Lb. casei</i> και <i>Lc. cremoris</i> έπειτα από 48 h	
	<i>P. pentosaceus</i>					

		<i>Lb. perolens</i>			
	Σκόνη πρωτεΐνης	<i>Lb. plantarum</i>	Μειώθηκε	Καμία διαφορά	ΣΑ μειώθηκε Δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στην ΙΑ
Λούπινο	Συμπύκνωμα πρωτεΐνης	Καλλιέργεια με	-	Μικρή επίδραση στη ΓΔ	-
		<i>Lc. Mesenteroides</i>			
		<i>Lb. plantarum</i>			
		<i>Lb. brevis</i>			
	Σκόνη πρωτεΐνης	<i>P. pentosaceus</i>	-	ΓΔ αυξήθηκε με την πάροδο του χρόνου και σε pH 8	ΙΑ αυξήθηκε σε pH 8 έπειτα από 48 ώρες
				ΣΓ αυξήθηκε με το pH αλλά δεν επηρεάστηκε από το χρόνο	ΑΣ αυξήθηκε σε pH 8
	Σκόνη πρωτεΐνης	<i>Lb. brevis</i>	Καμία Διαφορά σε pH 4	Μεγάλη ΙΓ για <i>Lb. parabuchneri</i> και η μικρότερη για <i>Lb. Parabuchneri</i> .	ΑΣ αυξήθηκε σε όλες τις καλλιέργειες εκτός από <i>Lb. parabuchneri</i> και <i>Lb. helveticus</i>
		<i>Lb. amylolyticus</i>			
		<i>Lb. parabuchneri</i>			
		<i>Lb. sakei</i>			
<i>Lb. helveticus</i>					
<i>Lb. delbrueckii</i>		Μειώθηκε σε pH 7			

Πίνακας 5 : Επίδραση των οξυγαλακτικών ζυμώσεων στις λειτουργικές ιδιότητες των φυτικών πρωτεϊνών. ΙΑ: Ικανότητα αφρισμού, ΑΣ : Αφριστική Σταθερότητα, ΑΔ : Αφριστική Δραστηριότητα , ΑΠ:Αφριστική πυκνότητα , ΙΓ: Ικανότητα γαλακτωματοποίησης , ΓΔ Γαλακτωματοποιητική δραστηριότητα, ΣΓ : Σταθερότητα γαλακτώματος,

Πηγή : Emkani M, Oliete B, Saurel R. Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation*. 2022; 8(6):244.

6.3 Χρήση των ζυμωμένων πρωτεϊνών στα τρόφιμα

Η ζύμωση είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται εδώ και πολύ καιρό για την αύξηση της γεύσης του φαγητού καθώς και της θρεπτικής του αξίας. Αυτή η τεχνική έχει περάσει από γενιά σε γενιά. Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση περιλαμβάνουν υψηλή συγκέντρωση υγιών βακτηρίων, ενζύμων, βιταμινών και άλλων βιοενεργών συστατικών που είναι ωφέλιμα τόσο για το πεπτικό σύστημα όσο και για τη συνολική υγεία. Λόγω των πιθανών πλεονεκτημάτων για την υγεία και των μοναδικών λειτουργικών ιδιοτήτων που παρέχουν οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες, υπήρξε πρόσφατη αύξηση του ενδιαφέροντος για τη χρήση αυτών των πρωτεϊνών σε τρόφιμα.

Οι φυτικές πρωτεΐνες που μπορούν να ανευρεθούν στη σόγια, στο μπιζέλι και στο λούπινο, χρησιμοποιούνται συχνά ως υποκατάστατα πρωτεϊνών ζωικής προέλευσης ως αποτέλεσμα της υψηλότερης θρεπτικής αξίας, της μεγαλύτερης βιωσιμότητας και των πιο ηθικών ανησυχιών που σχετίζονται με τη χρήση του τελευταίου. Δυστυχώς, αυτές οι πρωτεΐνες έχουν τυπικά λειτουργικούς περιορισμούς, όπως η κακή διαλυτότητα, περιορισμένα χαρακτηριστικά γαλακτωματοποίησης και αφρισμού και δυσάρεστη γεύση και οσμή. Τα φυσικοχημικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να αλλοιωθούν από τη διαδικασία της ζύμωσης, καθιστώντας τις πιο κατάλληλες για ποικίλες χρήσεις στη βιομηχανία τροφίμων.

Η αυξημένη πεπτικότητα και βιοδιαθεσιμότητα των φυτικών πρωτεϊνών είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα που μπορεί να αποκτηθούν μέσω της ζύμωσης των φυτικών πρωτεϊνών. Με τη διαδικασία της ζύμωσης, οι περίπλοκες δομές των πρωτεϊνών μπορούν να διασπαστούν σε πεπτίδια και αμινοξέα που είναι μικρότερα και απλούστερα, καθιστώντας τα πιο απλά για την πέψη και την απορρόφησή τους από το σώμα. Όσοι αντιμετωπίζουν πεπτικές δυσκολίες, τροφικές αλλεργίες ή τροφικές δυσανεξίες ενδεχομένως να δείξουν μεγαλύτερη προτίμηση σε φυτικά προϊόντα.

Η γεύση και το άρωμα των φυτικών πρωτεϊνών μπορούν να βελτιωθούν με τη διαδικασία της ζύμωσης, καθιστώντας αυτές τις πρωτεΐνες πιο ευχάριστες και δελεαστικές για τους πελάτες. Τα βακτήρια γαλακτικού οξέος που χρησιμοποιούνται στη ζύμωση έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν μια μεγάλη ποικιλία χημικών ουσιών, συμπεριλαμβανομένων οργανικών οξέων, αλκοολών και εστέρων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προσθέσουν στα αισθητήρια χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Οι φυτικές πρωτεΐνες που έχουν υποστεί ζύμωση μπορούν να προσφέρουν λειτουργικά πλεονεκτήματα στις συνθέσεις τροφίμων, εκτός από τα θρεπτικά και αισθητηριακά οφέλη που ήδη παρέχουν. Η χρήση φυτικών πρωτεϊνών, που έχουν υποστεί ζύμωση σε τρόφιμα, βρίσκεται ακόμη στα νηπιακά της στάδια και απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την πλήρη κατανόηση τόσο των πιθανών πλεονεκτημάτων όσο και των πιθανών μειονεκτημάτων της χρήσης αυτών των πρωτεϊνών. Οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες, από την άλλη πλευρά, θα γίνουν σίγουρα μια σημαντική κατηγορία συστατικών στην επιχείρηση τροφίμων στο μέλλον λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για γεύματα με βάση τα φυτά καθώς και του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για φυσικά και βιώσιμα συστατικά.

6.4 Χρήση των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών στα σιτηρέσια ζώων.

Έρευνες έχει επίσης διεξαχθεί σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση ως συστατικό στις ζωοτροφές. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι η ζύμωση με γαλακτικό οξύ είναι ευεργετική για το σογιάλευρο, το οποίο χρησιμοποιείται συχνά στην παραγωγή ζωοτροφών. Η ζύμωση του σογιάλεου με βακτήρια γαλακτικού οξέος μπορεί να ενισχύσει τη διαθεσιμότητα αμινοξέων για ζώα όπως οι χοίροι και τα πουλερικά. Αυτό βελτιώνει την πεπτικότητα της πρωτεΐνης που παράγεται από τη ζύμωση του σογιάλεου.

Εκτός από το σογιάλευρο, η θρεπτική αξία πολλών άλλων φυτικών πρωτεϊνών έχει επίσης διερευνηθεί για την πιθανή χρήση τους σε ζωοτροφές. Η συμβατική μέθοδος στερεάς ζύμωσης είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για

τη βελτίωση του θρεπτικού περιεχομένου των ζωοτροφών ενώ παράλληλα αυξάνει το επίπεδο ασφάλειάς τους. Κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενζύμων που διασπούν τα συστατικά της τροφής. Αυτό κάνει τα συστατικά της τροφής πιο εύκολα «προσβάσιμα» και εύπεπτα για τα ζώα. Η ζύμωση, επιπλέον, μπορεί να αυξήσει την ασφάλεια των ζωοτροφών μειώνοντας τις ποσότητες επικίνδυνων ενώσεων όπως οι μυκοτοξίνες, που παράγονται κατά τη διαδικασία της ζύμωσης.

Μία πολύ ενδιαφέρουσα μελέτη που έχει διεξαχθεί από τους Yang *et al.*, (2018) αφορούσε τη χρήση ζυμώσεων σε σιτηρέσια χοίρων, που ήταν μολυσμένα με μυκοτοξίνη *Fusarium*. Οι ουσίες αυτές είναι γνωστό ότι προκαλούν διάφορα προβλήματα υγείας στους χοίρους, όπως απώλεια ανάπτυξης, ανοσολογική καταστολή και φλεγμονή του εντέρου.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας, η παραδοσιακή στερεά ζύμωση είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη μείωση των ποσοτήτων μυκοτοξινών *Fusarium* που υπάρχουν σε μολυσμένα τρόφιμα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης, οι ερευνητές είδαν μια σημαντική πτώση στις ποσότητες τόσο της ζεαραλενόνης (ZEA). Έχει αποδειχθεί ότι οι μεταβολικές δραστηριότητες των μικροοργανισμών που ζυμώνουν είναι υπεύθυνες για τη μείωση των επιπέδων μυκοτοξίνης. Αυτά τα βακτήρια είναι σε θέση να διασπούν και να αποτοξινώνουν τις μυκοτοξίνες μέσω μιας ποικιλίας διαφορετικών διαδικασιών. Ωστόσο, επιβλαβείς επιδράσεις παρατηρήθηκαν επίσης σε σχέση με το περιεχόμενο της δεοξυνιβαλενόλης (DON) και της φουμονισίνης B1 (FUMB1).

Η διαδικασία της ζύμωσης είχε ουσιαστική επίδραση, εκτός από τη μείωση των επιπέδων μυκοτοξίνης στην τροφή, στην ποικιλία των μικροοργανισμών που υπήρχαν στη ζωοτροφή. Οι ερευνητές εξέτασαν τις μικροβιακές κοινότητες πριν και μετά τη ζύμωση, χρησιμοποιώντας αλληλουχία υψηλής απόδοσης και ανακάλυψαν ότι η διαδικασία ζύμωσης προκάλεσε μια σημαντική αλλαγή στη δομή της μικροβιακής κοινότητας. Αυτό παρατηρήθηκε αφού οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι η διαδικασία ζύμωσης είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή αιθανόλης. Η έρευνα έδειξε ότι η διαδικασία της ζύμωσης ανέστειλε την ανάπτυξη επικίνδυνων βακτη-

ρίων όπως το *Fusarium* και το *Aspergillus*, ενώ ενθάρρυνε την ανάπτυξη χρήσιμων βακτηρίων όπως τα βακτήρια γαλακτικού οξέος .

Treatment	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d	SEM	Treatment	Linear
Zearalenone ($\mu\text{g kg}^{-1}$)										
Control	143.92c	135.39c	126.86c	105.61c	0.00c	0.00c	0.00c	0.91	<0.001	<0.001
25 Toxin	292.98b	279.62b	266.27b	239.57b	231.58b	223.58b	207.60b	0.26	<0.001	<0.001
50 Toxin	568.12a	527.70a	487.27a	406.43a	384.72a	363.01a	319.59a	0.86	<0.001	<0.001
SEM	1.251	1.055	1.104	1.404	0.838	0.510	0.830	—	—	—
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	—
Deoxynivalenol (mg kg^{-1})										
Control	0.28c	0.30c	0.31c	0.34c	0.37c	0.41c	0.48c	0.001	<0.001	<0.001
25 Toxin	0.39b	0.43b	0.48b	0.58b	0.64b	0.70b	0.83b	0.005	<0.001	<0.001
50 Toxin	0.60a	0.60a	0.60a	0.61a	0.68a	0.75a	0.88a	0.012	<0.001	<0.001
SEM	0.011	0.007	0.004	0.009	0.006	0.005	0.008	—	—	—
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	—
Fumonisin B₁ (mg kg^{-1})										
Control	0.00c	0.69c	1.33c	1.98c	2.05c	2.13c	2.21c	0.013	<0.001	<0.001
25 Toxin	1.00b	1.38b	1.78b	2.16b	2.55b	2.94b	3.33b	0.021	<0.001	<0.001
50 Toxin	1.99a	2.14a	2.34a	2.51a	3.07a	3.64a	4.20a	0.007	<0.001	<0.001
SEM	0.010	0.007	0.007	0.015	0.010	0.017	0.029	—	—	—
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	—	—	—

Note: Control was the basal diet. 25 Toxin and 50 Toxin were the basal diet in which 25% and 50% corn and corn gluten meal were replaced by mycotoxin-contaminated corn and corn gluten meal, respectively. Means within a column with different lowercase letters differ significantly ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean.

Εικόνα 10: Επίδραση της ζύμωσης στο περιεχόμενο της μυκοτοξίνης σε σιτηρέσιο μολυσμένο με μυκοτοξίνη. Πηγή : <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cjas-2017-0093#sec-3>

Treatment	<i>Lactobacillus</i>	<i>Acetobacter</i>	<i>Bacteroides</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Zea</i>
Control	59.43a	29.81a	2.66a	2.11b	1.70
25 Toxin	49.17b	10.36b	2.37b	2.27b	2.28
50 Toxin	43.78b	1.39c	1.26c	2.94a	2.80
SEM	7.591	0.985	0.537	0.493	0.788
<i>P</i>					
Treatment	0.047	0.017	0.032	0.026	0.198
Linear	0.038	0.013	0.026	0.041	0.022

Note: Select the content of more than 2% of the microorganism as the core microbiome to carry out statistics. Control was the basal diet. 25 Toxin and 50 Toxin were the basal diet in which 25% and 50% corn and corn gluten meal were replaced by mycotoxin-contaminated corn and corn gluten meal, respectively. Means within a column with different lowercase letters differ significantly ($P < 0.05$). SEM, standard error of the mean.

Εικόνα 11: Παρουσία Γαλακτοβάκιλλων σε μολυσμένα με μυκοτοξίνη σιτηρέσια. Πηγή : <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cjas-2017-0093#sec-3>

Σύμφωνα λοιπόν με τα ευρήματα της έρευνας στο σύνολό της, η κλασική στερεά ζύμωση έχει τη δυνατότητα να είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την ενίσχυση της υγιεινής και της ποιότητας των ζωοτροφών. Με την αύξηση της πεπτικότητας της τροφής και την ενθάρρυνση της ανάπτυξης ωφέλιμων μικροβίων, η διαδικασία έχει τη δυνατότητα να μειώσει τα επίπεδα μυκοτοξίνης ενώ ταυτόχρονα αυξάνει τη θρεπτική αξία της τροφής. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έχουν σημαντικές επιπτώσεις στον τομέα των ζωοτροφών, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την ποιότητα και την ασφάλεια των ζωοτροφών με τη χρήση ζύμωσης, η οποία είναι μια διαδικασία φυσική και ακίνδυνη.

6.6 Προκλήσεις και περιορισμοί στη χρήση των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών

Αν και οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, η χρήση τους εξακολουθεί να είναι περιορισμένη λόγω διαφόρων προκλήσεων και περιορισμών. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις είναι η μεταβλητότητα στη σύνθεση και την ποιότητα των πηγών φυτικής πρωτεΐνης που χρησιμοποιούνται για τη ζύμωση. Η σύνθεση των φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως ο γονότυπος, το περιβάλλον και οι μέθοδοι επεξεργασίας, που μπορούν να επηρεάσουν τις λειτουργικές τους ιδιότητες και την καταλληλότητά τους για ζύμωση. Επομένως, είναι απαραίτητο να επιλέξει κανείς προσεκτικά την πηγή φυτικής πρωτεΐνης και να βελτιστοποιήσει τις συνθήκες ζύμωσης για να επιτύχει τις επιθυμητές λειτουργικές ιδιότητες.

Μια άλλη πρόκληση είναι η πιθανότητα μόλυνσης από επιβλαβείς μικροοργανισμούς και μυκοτοξίνες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης. Ενώ η ζύμωση σε στερεά κατάσταση έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τα επίπεδα μυκοτοξινών σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ακατάλληλος χειρισμός και αποθήκευση των προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο μόλυνσης. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι τηρούνται τα κατάλληλα πρωτόκολλα υγιεινής και ασφάλειας σε όλη τη διαδικασία ζύμωσης και παραγωγής. Παρόμοια, η πιθανότητα ανεπιθύμητης μικροβιακής ανάπτυξης και μόλυνσης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Ενώ η ζύμωση μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη ωφέλιμων μικροοργανισμών, μπορεί επίσης να δημιουργήσει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη επιβλαβών βακτηρίων και μούχλας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή τοξινών και άλλων ανεπιθύμητων ενώσεων που μπορεί να θέτουν σε κίνδυνο την υγεία των καταναλωτών και των ζώων. Για τον λόγο αυτό, απαιτούνται αυστηρά μέτρα ποιοτικού ελέγχου για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της καθαρότητας των προϊόντων φυτικής πρωτεΐνης που έχουν υποστεί ζύμωση.

Επιπλέον, το κόστος παραγωγής φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση μπορεί να είναι περιοριστικός παράγοντας, ιδιαίτερα σε σύγκριση με τις

παραδοσιακές πηγές πρωτεϊνών που προέρχονται από ζώα. Ενώ η χρήση πρωτεϊνών φυτικής προέλευσης θεωρείται γενικά πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον, το κόστος παραγωγής και επεξεργασίας αυτών των πρωτεϊνών μπορεί να είναι υψηλότερο λόγω παραγόντων όπως οι χαμηλότερες αποδόσεις και οι υψηλότερες απαιτήσεις επεξεργασίας. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας και την αυξημένη ζήτηση για πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης, το κόστος αναμένεται να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου.

Ένας άλλος περιορισμός στη χρήση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση είναι τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά τους. Μερικοί καταναλωτές μπορεί να βρουν τη γεύση και την υφή των προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση φυτικής προέλευσης λιγότερο ελκυστική από τα αντίστοιχα ζωικής προέλευσης. Ωστόσο, οι εξελίξεις στη σύνθεση του προϊόντος και στις μεθόδους αισθητηριακής ανάλυσης μπορούν να βοηθήσουν στην υπέρβαση αυτού του περιορισμού.

Τέλος, η χρήση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση σε προϊόντα τροφίμων και ζωοτροφών μπορεί να αντιμετωπίσει προκλήσεις που σχετίζονται με την έγκριση από τους κανονισμούς και την αποδοχή από τους καταναλωτές. Επιπλέον, η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών και η αποδοχή των πηγών πρωτεΐνης φυτικής προέλευσης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με πολιτιστικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες.

Παρά αυτές τις προκλήσεις και τους περιορισμούς, η αυξανόμενη ζήτηση για βιώσιμα και φυτικής προέλευσης προϊόντα τροφίμων και ζωοτροφών αναμένεται να οδηγήσει στη συνεχή καινοτομία στην ανάπτυξη και χρήση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση. Με τη συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη, η πρόοδος στην τεχνολογία και τις μεθόδους επεξεργασίας μπορεί να βοηθήσει στην υπέρβαση ορισμένων από αυτές τις προκλήσεις και στην επέκταση της χρήσης φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση σε ποικίλες εφαρμογές.

6.7 Επίδραση των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση στη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των τροφίμων

Οι φυτικές πρωτεΐνες που έχουν υποστεί ζύμωση έχουν τη δυνατότητα να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των τροφίμων. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για πηγές τροφών πλούσιες σε πρωτεΐνες. Ωστόσο, οι παραδοσιακές πηγές πρωτεϊνών με βάση τα ζώα αρχικά δεν είναι επαρκείς και συμβάλλουν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της χρήσης γης και της χρήσης νερού.

Οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες προσφέρουν μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές πρωτεϊνών με βάση τα ζώα. Οι δίαιτες με βάση τα φυτά έχουν αποδειχθεί ότι έχουν χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τις δίαιτες με βάση τα ζώα. Η ζύμωση φυτικών πρωτεϊνών μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω τη βιωσιμότητα της διατροφής με βάση τα φυτά, καθώς μπορεί να αυξήσει την πεπτικότητα των πρωτεϊνών και τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών, οδηγώντας σε χαμηλότερες απαιτήσεις για πρόσληψη πρωτεΐνης. Εκτός από τον πιθανό αντίκτυπό τους στη βιωσιμότητα, οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες μπορούν επίσης να συμβάλουν στην ασφάλεια των τροφίμων. Η παραγωγή ζωικών πηγών πρωτεΐνης απαιτεί συχνά μεγάλες ποσότητες ζωοτροφών, γης και νερού, οι οποίες μπορούν να εκτραπούν από την παραγωγή τροφίμων για τον άνθρωπο. Αντίθετα, οι φυτικές πηγές πρωτεϊνών απαιτούν λιγότερους πόρους και οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας υποπροϊόντα από την παραγωγή τροφίμων, μειώνοντας τα απόβλητα και αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα στο σύστημα τροφίμων.

Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις και περιορισμοί στη χρήση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση για την επίτευξη βιώσιμων συστημάτων τροφίμων και ασφάλειας τροφίμων. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την ανάγκη για βελτιωμένες τεχνολογίες επεξεργασίας, την ανάπτυξη νέων και ποικίλων πηγών φυτικών πρωτεϊνών και την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τη

θρεπτική ποιότητα και την ασφάλεια των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση. Παρά αυτές τις προκλήσεις, τα πιθανά οφέλη των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση στη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των τροφίμων, την καθιστούν πολλά υποσχόμενη περιοχή για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη. Με περαιτέρω πρόοδο στην τεχνολογία και αυξημένη ευαισθητοποίηση και ζήτηση των καταναλωτών για βιώσιμες και φυτικές επιλογές τροφίμων, οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου και ασφαλούς για τα τρόφιμα μέλλοντος.

Κεφάλαιο 7

7.1 Πεδία μελλοντικής έρευνας

Εν κατακλείδι, θα ήταν καλό να διεξαχθεί παραπάνω έρευνα για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα της παραγωγής ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών σε κλίμακα, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης του αποτυπώματος άνθρακα, της χρήσης νερού και της χρήσης γης που σχετίζεται με διαφορετικές μεθόδους παραγωγής. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ζύμωσης μπορούν να βελτιώσουν το θρεπτικό περιεχόμενο, τη γεύση και την υφή των ζυμωμένων φυτικών πρωτεϊνών, καθώς και να αυξήσουν την απόδοσή τους και να μειώσουν το κόστος παραγωγής.

Θα μπορούσε επίσης να γίνει διερεύνηση των πιθανών οφελών για την υγεία από την κατανάλωση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεών τους στη μικροχλωρίδα του εντέρου, στη λειτουργία του ανοσοποιητικού και στην πρόληψη ασθενειών. Ανάπτυξη νέων προϊόντων διατροφής και σκευασμάτων που ενσωματώνουν ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες με καινοτόμους τρόπους, αξιοποιώντας τις λειτουργικές τους ιδιότητες και τα θρεπτικά τους οφέλη στο έπακρο.

Μελέτη των πιθανών οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων από την ενσωμάτωση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση σε συστήματα τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεών τους στην επισιτιστική ασφάλεια, τα μέσα διαβίωσης της υπαίθρου και τη γεωργία μικρής κλίμακας.

Παράλληλα θα μπορούσαν να αναπτυχθούν νέες τεχνικές ζύμωσης. Οι παραδοσιακές τεχνικές ζύμωσης χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες, υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη νέων και πιο αποτελεσματικών τεχνικών ζύμωσης για την παραγωγή φυτικής πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας. Οι ερευνητές μπορούν να διερευνήσουν τη χρήση εναλλακτικών μεθόδων ζύμωσης όπως η ζύμωση σε στερεά κατάσταση, η βυθισμένη ζύμωση ή η μικτή ζύμωση.

Εν συνεχεία, ενώ υπάρχουν ορισμένα στοιχεία που υποδηλώνουν ότι οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες μπορούν να έχουν βελτιωμένα διατροφικά προφίλ σε σύγκριση με τις μη ζυμωμένες αντίστοιχές τους, χρειάζεται περισσότερη έρευνα για τον προσδιορισμό των ακριβών διατροφικών οφελών αυτών των προϊόντων. Χρειάζεται λοιπόν να γίνει αξιολόγηση της διατροφικής ποιότητας των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση. Οι ερευνητές μπορούν να διερευνήσουν τις επιπτώσεις της ζύμωσης στην πεπτικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα και τη σύνθεση των φυτικών πρωτεϊνών εκτενέστερα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα οφέλη της ζύμωσης στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με το συγκεκριμένο τρόφιμο που ζυμώνεται, τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται και τη διάρκεια και τις συνθήκες ζύμωσης. Ως εκ τούτου, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της ζύμωσης στην πεπτικότητα των πρωτεϊνών και πώς μπορεί να βελτιστοποιηθεί για διαφορετικά τρόφιμα και διατροφικές ανάγκες.

Ορισμένες φυτικές πηγές όπως η σόγια, το μπιζέλι και το λούπινο χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση, υπάρχουν πολλές άλλες φυτικές πηγές που έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν. Οι ερευνητές μπορούν να συγκρίνουν τις θρεπτικές, αισθητηριακές και λειτουργικές ιδιότητες διαφορετικών φυτικών πηγών για να προσδιορίσουν ποιες είναι πιο κατάλληλες για ζύμωση.

Οι φυτικές πρωτεΐνες που έχουν υποστεί ζύμωση έχει αποδειχθεί ότι έχουν λειτουργικά οφέλη στις συνθέσεις τροφίμων, υπάρχει ανάγκη να βελτιστοποιηθούν οι συνθέσεις για να διασφαλιστεί ότι τα προϊόντα ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των καταναλωτών όσον αφορά τη γεύση, την υφή και την εμφάνιση. Οι ερευνητές μπορούν να διερευνήσουν διάφορες συνθέσεις τροφίμων, που ενσωματώνουν ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες, και να αξιολογήσουν τις αισθητηριακές ιδιότητες αυτών των προϊόντων.

Η χρήση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση, έχει τη δυνατότητα να είναι πιο περιβαλλοντικά βιώσιμη από πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης, υπάρχει ανάγκη διεξαγωγής συνολικής αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων

αυτών των προϊόντων. Οι ερευνητές μπορούν να αξιολογήσουν το αποτύπωμα άνθρακα, τη χρήση νερού και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των διαφορετικών διεργασιών ζύμωσης και να τις συγκρίνουν με άλλες πηγές πρωτεΐνης.

Η ενσωμάτωση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση στις ζωοτροφές έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την πεπτικότητα και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών για τα ζώα, γεγονός που με τη σειρά του μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη απόδοση, ανάπτυξη και γενική υγεία. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την ανακάλυψη των συνθηκών ζύμωσης και των συνθέσεων τροφής που ταιριάζουν περισσότερο στα πολλά είδη ζώων και τις φάσεις ανάπτυξης στις οποίες βρίσκονται.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι δράσεις των ζυμώσεων στις φυτικές πρωτεΐνες.

Χαρακτηριστικά Πρωτεΐνης	Επίδραση των ζυμώσεων
Διαλυτότητα	Αυξήθηκε
Πεπτικότητα	Αυξήθηκε
Βιοδιαθεσιμότητα	Αυξήθηκε
Περιεκτικότητα σε αμινοξέα	Κατά κύριο λόγο αυξήθηκαν
Αντιθρεπτικοί παράγοντες	Μειώθηκε
Αλλεργιογέννηση	Μειώθηκε
Υφή	Άλλαξε
Γεύση και άρωμα	Άλλαξαν
Διάρκεια ζωής	Αυξήθηκε
Γαλακτωματοποιητικές Ιδιότητες	Άλλαξαν
Ικανότητα Αφρισμού	Άλλαξαν

Πίνακας 6 : Δράσεις των ζυμώσεων στις φυτικές πρωτεΐνες.

7.2 Επίλογος

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση, που έχει αναπτυχθεί παραπάνω, υπογραμμίζει τη δυνατότητα των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση ως εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης με μοναδικές λειτουργικές και θρεπτικές ιδιότητες. Η διαδικασία ζύμωσης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την πεπτικότητα, τη βιοδιαθεσιμότητα και το προφίλ αμινοξέων των φυτικών πρωτεϊνών, καθιστώντας τις πιο συγκρίσιμες με τις πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης όσον αφορά τη διατροφική ποιότητα. Οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς απαιτούν λιγότερη γη, νερό και άλλους πόρους για την παραγωγή τους σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης.

Επιπλέον, οι ζυμωμένες φυτικές πρωτεΐνες διαθέτουν μοναδικές λειτουργικές ιδιότητες που μπορούν να αξιοποιηθούν σε σκευάσματα τροφίμων. Για παράδειγμα, η χρήση πρωτεΐνης σόγιας, που έχει υποστεί ζύμωση, ως φυσικός γαλακτωματοποιητής σε σάλτσες σαλάτας, μαγιονέζα και σάλτσες μπορεί να μειώσει την ανάγκη για συνθετικούς γαλακτωματοποιητές και να βελτιώσει τις αισθητηριακές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Η πρωτεΐνη μπιζελιού, που έχει υποστεί ζύμωση, μπορεί επίσης να βελτιώσει την υφή και τη διάρκεια ζωής των αρτοσκευασμάτων και των υποκατάστατων κρέατος, ενώ η ζυμωμένη πρωτεΐνη λούπινου έχει αποδειχθεί ότι έχει εξαιρετικές ιδιότητες αφρισμού χρήσιμες στην παραγωγή σαντιγί και μαρέγκες φυτικής προέλευσης.

Παρά αυτά τα πολλά υποσχόμενα ευρήματα, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις και περιορισμοί στη χρήση των φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση. Για παράδειγμα, η μεταβλητότητα της διαδικασίας ζύμωσης μπορεί να οδηγήσει σε ασυνέπειες στο τελικό προϊόν, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά και τη θρεπτική ποιότητα της πρωτεΐνης. Η διαθεσιμότητα πρώτων υλών για ζύμωση μπορεί επίσης να είναι περιοριστικός παράγοντας, καθώς ορισμένες φυτικές πηγές μπορεί να μην είναι άμεσα διαθέσιμες σε ορισμένες περιοχές. Επιπλέον, το υψηλό κόστος παραγωγής

και η περιορισμένη αποδοχή από τους καταναλωτές φυτικών πηγών πρωτεΐνης είναι επίσης σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας θα πρέπει να επικεντρωθούν στη διερεύνηση τρόπων βελτιστοποίησης της διαδικασίας ζύμωσης για να διασφαλιστεί η συνέπεια και η ποιότητα του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να διερευνηθούν τα πιθανά οφέλη για την υγεία από την κατανάλωση φυτικών πρωτεϊνών που έχουν υποστεί ζύμωση και να κατανοηθούν οι υποκείμενοι μηχανισμοί που εμπλέκονται. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη εντοπισμού και ανάπτυξης νέων φυτικών πηγών που είναι κατάλληλες για ζύμωση και έχουν υψηλές θρεπτικές και λειτουργικές ιδιότητες. Τέλος, είναι σημαντικό να αντιμετωπιστούν τα κοινωνικά και πολιτιστικά εμπόδια στην υιοθέτηση πηγών πρωτεΐνης φυτικής προέλευσης και να αναπτυχθούν στρατηγικές για την προώθηση της ευρείας αποδοχής και κατανάλωσής τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdullah, N., & Sulaiman, R. (2018). Review on the development of fermented food products from plant-based materials and its potential to promote health benefits. *Food Research*, 2(3), 163-172.
- Adebisi, J. A., Adebisi, O. A., & Adebisi, A. P. (2021). A review of microbial fermentation of food substrates. *Food Reviews International*, 1-26. doi: 10.1080/87559129.2021.1890287
- Adebisi, O. A., Falade, K. O., Olajide, R., & Adebisi, J. A. (2020). Fermented foods: types and benefits. In *Handbook of Food Bioengineering* (pp. 185-206). Academic Press.
- Adebisi, O. A., Falade, K. O., Oyewole, O. B., & Adebisi, J. A. (2015). Effects of fermentation on the protein content and antinutritional factors of cowpeas. *Food Science & Nutrition*, 3(3), 221-226.
- Adebisi, O. A., Njobeh, P. B., & Adebisi, J. A. (2018). Fermented plant-based foods: processing and quality control. *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology* (pp. 255-276). CRC Press.
- Adebisi, A. A., Sanni, L. O., Awonorin, S. O., & Oyewole, O. B. (2005). Chemical composition and pasting properties of flour produced from African breadfruit (*Treculia africana* decne) seeds. *African Journal of Biotechnology*, 4(9), 938-942. <https://academicjournals.org/journal/AJB/article-abstract/8B1DCD931420>
- Adeyemo, S. M., Afolabi, T. A., Awonorin, S. O., & Adebisi, J. A. (2007). Nutrient and anti-nutrient composition of acha (*Digitaria exilis*) and oka (*Amaranthus cruentus*) seeds. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6(3), 219-222. <http://dx.doi.org/10.3923/pjn.2007.219.222>
- Agyei, D., Danquah, M. K., & Oppong-Danquah, E. (2014). Plant protein-based biopolymer/fiber blends: Effects of extrusion and fermentation on physicochemical properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(2), 885-896.
- Amagliani, L., O'Regan, J., & Kelly, A. L. (2019). Microbial growth and survival during food processing. *Reference Module in Food Science*.
- Axelsson, L. 2004. Lactic acid bacteria: classification and physiology, pp. 1–66. In Salminen, S., A. von Wite, and A. Ouwehand. *Lactic Acid Bacteria Microbiological and Functional Aspects Third Edition* Marcel Dekker, Inc. New York.
- Ayele, Y., Alemu, A., Asfaw, A., & Hussen, B. (2017). Nutritional composition and sensory quality of meat analogue produced from soybean and peanut. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12902. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12902>
- Ayivi RD, Gyawali R, Krastanov A, Aljaloud SO, Worku M, Tahergorabi R, Silva RCd, Ibrahim SA. *Lactic Acid Bacteria: Food Safety and Human Health Applications*. Dairy. 2020; 1(3):202-232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
- Bourdichon, F., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J. C., Gerds, M. L., Hammes, W. P., & Vissler, M. (2012). Food fermentations: microorganisms with technological beneficial use. *International Journal of Food Microbiology*, 154(3), 87-97.
- Bradford, J.M., 1980. Microbial inhibition by preservatives in foods. *Journal of Food Protection*, 43(7), pp.552-555.
- Champagne, C. P., & Gardner, N. J. (2020). *Handbook of food and beverage fermentation technology*. CRC Press.
- Chanprasartsuk, O.-O.; Prakitchaiwattana, C. Growth kinetics and fermentation properties of autochthonous yeasts in pineapple juice fermentation for starter culture development. *Int. J. Food Microbiol.* 2022, 371, 109636.
- Chavan, J.K., & Kadam, S.S. (1989). Nutritional improvement of cereals by fermentation. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 28(5), 349-400. doi: 10.1080/10408398909527523
- Christine M. Slover, Larry Danziger, *Lactobacillus: a Review*, *Clinical Microbiology Newsletter*, Volume 30, Issue 4, 2008, Pages 23-27, ISSN 0196-4399, <https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2008.01.006>.

- Coda, R., Rizzello, C. G., & Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and legumes flours for the production of a functional bread enriched of gamma-aminobutyric acid (GABA). *International Journal of Food Microbiology*, 137(2-3), 236-245.
- Cooke, R.D.; Twiddy, D.R.; Reilly, P.J.A. Lactic-acid fermentation as a low-cost means of food preservation in tropical countries. *FEMS Microbiol. Rev.* 1987, 46, 369–379
- Copetti, M.V., 2019. Fungi as industrial producers of food ingredients. *Current Opinion in Food Science* 25, 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.02.006>
- Di Cagno, R., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation. *Food microbiology*, 33(1), 1-10. doi: 10.1016/j.fm.2012.09.002
- Ebrahimi, M., Hosseini, S. M., Soltani, M., Alishahi, A., & Salehifar, E. (2019). Nutritional quality of fermented soybean meal and its effects on growth performance and intestinal morphology of broiler chickens. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 103(2), 498-508. doi: 10.1111/jpn.13005
- Ebrahimi, M., Shahbazi, M., Yarmand, M.S. et al. (2019). The effect of lactic acid fermentation on protein digestibility of camelina seed meal. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103, 503-510.
- El-Adawy, T. A., & Taha, K. M. (2001). Characteristics and composition of different seed oils and flours. *Food Chemistry*, 74(1), 47-54.
- Emkani M, Oliete B, Saurel R. Effect of Lactic Acid Fermentation on Legume Protein Properties, a Review. *Fermentation*. 2022; 8(6):244. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060244>.
- Ezeama, C. F., Nwagu, T. N., & Ukwuoma, N. N. (2019). Effect of lactic acid fermentation on nutrient composition, protein quality and anti-nutritional factors of sorghum (*Sorghum bicolor*) grains. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3545-3552.
- Fahmi, A., Makky, M., & Arief, I. I. (2018). Antioxidant and digestibility enhancement of sesame seed (*Sesamum indicum* L.) by *Aspergillus oryzae* fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), 1359-1366.
- Ferrara, A., Velotto, S., Ferranti, P., 2022. Perspective and Emerging Sources Novel Foods and Ingredients From Fungi [WWW Document]. Perspective and Emerging Sources Novel Foods and Ingredients From Fungi - ScienceDirect.
- Filannino, P., Cardinali, G., Rizzello, C. G., & Di Cagno, R. (2018). Fermented foods: from microbes to molecules. *Microorganisms*, 6(4), 86. doi: 10.3390/microorganisms6040086
- Fulgoni, V. L., Drewnowski, A., & Newmark, H. (2021). *Plant-Based Diets for Optimal Health and Well-Being*. CRC Press.
- 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>
- Garrity, G.M. and J.G. Holt (2001). The Road Map to the Manual. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd edn, vol. 1, The Archaea and the Deeply Branching and Phototrophic Bacteria (edited by Boone, Castenholz and Garrity). Springer, New York, pp. 119-166.
- Gibson, R. S., Bailey, K. B., Gibbs, M., & Ferguson, E. L. (2010). A Review of Phytate, Iron, Zinc, and Calcium Concentrations in Plant-Based Complementary Foods Used in Low-Income Countries and Implications for Bioavailability. *Food and Nutrition Bulletin*, 31(2_suppl1), S134-S146. <https://doi.org/10.1177/15648265100312S206>
- Giorgio Giraffa, Nina Chanishvili, Yantiyati Widyastuti, Importance of lactobacilli in food and feed biotechnology, *Research in Microbiology*, Volume 161, Issue 6, 2010, Pages 480-487, ISSN 0923-2508, <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.03.001>.
- Gorissen, S. H. M., Crombag, J. J. R., Senden, J. M. G., & Gosby, A. K. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino acids*, 50(12), 1685-1695.
- Gupta, K., Bardhan, P., Saikia, D., Rather, M.A., Loying, S., Mandal, M., Kataki, R., 2022. Microbial Fermentation: Basic Fundamentals and Its Dynamic Prospect in Various Industrial Applications [WWW Document]. *Microbial Fermentation: Basic Fundamentals and Its Dynamic*

Prospect in Various Industrial Applications | SpringerLink. URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-5214-1_4 (accessed 1.16.23).

- Gupta, R., Dubey, A., Maheshwari, D. K., & Jain, R. K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 676-684. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1169-z>
- Gupta, R.K., Gangoliya, S.S. & Singh, N.K. (2015). Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains. *J Food Sci Technol* 52, 676–684 <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0978-y>
- Gyedu-Akoto, E., Apea-Bah, F.B., Amoa-Awua, W.K. et al. (2015). Effect of lactic acid fermentation on the protein quality and amino acid composition of bambara groundnut (*Vigna subterranea*). *Journal of Food Science and Technology*, 52, 2302-2312.
- Gyedu-Akoto, E., Plahar, W. A., & Serfor-Armah, Y. (2015). Effect of soaking and fermentation on nutritional and anti-nutritional properties of soybean (*Glycine max* Merr.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7171-7179. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1828-7>
- Hammami R, Fliss I, Corsetti A. Application of protective cultures and bacteriocins for food biopreservation. *Frontiers in Microbiology*. 2019;1561:594. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01561
- Hammes W.P., 1990. Bacterial starter cultures in food production. *Food Biotechnol.* 4, pp. 383-397.
- Hammes, Walter P., and Rudi F. Vogel. "The genus lactobacillus." *The genera of lactic acid bacteria*. Springer, Boston, MA, 1995. 19-54.
- House, J. D., Neufeld, J., & Leson, G. (2010). Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(22), 11801-11807. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03757-8>
<https://doi.org/10.3390/su142114595>.
- Huang, H. W., Bai, Y. M., & Chen, Z. X. (2015). Effect of different fermentative microorganisms on degradation of proteins in soybean meal. *Animal Nutrition*, 1(4), 270-274.
- Ijarotimi, O. S., & Oyewole, O. B. (2015). Effect of processing methods on the physicochemical and sensory properties of bambara nut (*Vigna subterranean* L. Verdc) flour and sensory properties of its food products. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2815-2823. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1366-1>
- Jiang, B., Guo, X., Liu, X., Zhang, Y., & Zhao, M. (2019). In vitro antioxidant and antihypertensive activities of peptide fractions from *Bacillus subtilis*-fermented soybean meal. *Journal of Functional Foods*, 59, 270-278.
- John Wiley & Sons, Ltd, *Microorganisms and Metabolism :Microbiology and Technology of Fermented Foods*, chapter:2,2006,pages:15-66,doi:<https://doi.org/10.1002/9780470277515.ch2>
- Joy, J. M., Lowery, R. P., Wilson, J. M., Purpura, M., & De Souza, E. O. (2013). The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. *Nutrition journal*, 12(1), 86.
- Juskiewicz, A., Muzolf-Panek, M., Kowalczewski, P., Zadernowski, R., & Niewinski, M. (2019). Effect of fermentation on protein and amino acid profiles and antioxidant activity of amaranth and quinoa flour. *LWT*, 116, 108538.
- Kandler and Weiss, 1986, O. Kandler, N. Weiss, *Genus Lactobacillus* Beijerinck 1901,212A.L.P.H.A. Sneath, N.S. Mair, N.E. Sharpe, J.H. Holt (Eds.), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol. 2, Williams and Wilkins, Baltimore (1986), pp. 1209-1234
- Keohane, John, Kieran Ryan, and Fergus Shanahan. "Lactobacillus in the gastrointestinal tract." *Lactobacillus Molecular Biology: From Genomics to Probiotics*. Caister Academic Press, Norfolk (2009): 169-181.
- Kim, M. J., Kwak, H. S., Hwang, I. G., & Lee, J. S. (2016). Changes in the amino acid composition and antioxidant activities of mung bean (*Vigna radiata*) seeds during germination and fermentation. *Food Science and Biotechnology*, 25(2), 511-517
- Klupsaite, D., Juodeikiene, G., Zadeike, D., Bartkiene, E., Maknickiene, Z., & Liutkute, G. (2017). The influence of lactic acid fermentation on functional properties of narrow-leaved

- lupine protein as functional additive for higher value wheat bread. *LWT*, 75, 180-186. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.058>
- Klupsaite, D.; Juodeikiene, G.; Zadeike, D.; Bartkiene, E.; Maknickiene, Z.; Liutkute, G. The influence of lactic acid fermentation on functional properties of narrow-leaved lupine protein as functional additive for higher value wheat bread. *LWT* 2017, 75, 180–186
 - Korczak, J., & Sanders, J. (2016). Fermentation: Effects on Food Palatability, Flavor, and Aroma. In *Flavor Precursors* (pp. 185-202). Springer.
 - Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., & Singh, P. (2016). Meat analogues: health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(4), 600-607. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.700526>
 - L. J. Yang, Z.B. Yang, W.R. Yang, H.R. Li, C.Y. Zhang, S.Z. Jiang, and X.M. Li (2018) Conventional solid fermentation alters mycotoxin contents and microbial diversity analyzed by high-throughput sequencing of a *Fusarium* mycotoxin-contaminated diet. *Canadian Journal of Animal Science*, 98(2): 354-361. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0093>.
 - Lampart-Szczapa, E.; Konieczny, P.; Nogala-Kałużka, M.; Walczak, S.; Kossowska, I.; Malinowska, M. Some functional properties of lupin proteins modified by lactic fermentation and extrusion. *Food Chem.* **2006**, 96, 290–296.
 - Lee, J., Durst, R.W., & Wrolstad, R.E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269-1278.
 - Leroy, Frédéric, and Luc De Vuyst. "Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry." *Trends in Food Science & Technology* 15.2 (2004): 67-78.
 - Lestari, R., Nurwantoro, Nugroho, R. W., & Rohman, A. (2020). Effect of fermentation on protein and amino acid profiles of three Indonesian legume seeds. *Heliyon*, 6(3), e03518.
 - Linares MB, Garrido MD, Martins C, Patarata L. Efficacies of garlic and *L. sakei* in wine-based marinades for controlling *listeria monocytogenes* and *salmonella* spp. in chouriço de vinho, a dry sausage made from wine marinated pork. *Journal of Food Science*. 2013;78:M719-M724. DOI: 10.1111/1750-3841.12094
 - Litchfield, J.H. Microbiological production of lactic acid. *Adv. Appl. Microbiol.* 1996, 42, 45–95.
 - M. Ciani, F. Comitini, I. Mannazzu, *Fermentation*, Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath, *Encyclopedia of Ecology*, Academic Press, 2008, Pages 1548-1557, ISBN 9780080454054, <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00272-X>.
 - M. Bernardeau, M. Guguen, J.P. Vernoux, Beneficial lactobacilli in food and feed: long-term use, biodiversity and proposals for specific and realistic safety assessments, *FEMS Microbial. Rev.*, 30 (2006), pp. 487-513
 - Magala, M.; Kohajdova, Z.; Karovicova, J.; Greifova, M.; Hojerova, J. Application of lactic acid bacteria for production of fermented beverages based on rice flour. *Czech. J. Food Sci.* 2015, 33, 458–463.
 - Manaois, R. N., Nishimura, M., Ida, M., & Takahashi, H. (2018). Protein content and digestibility of rice fermented with *Rhizopus oryzae*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 125(4), 495-501.
 - Mangels, R., Messina, V., & Messina, M. (2011). *The Dietitian's Guide to Vegetarian Diets: Issues and Applications*. Jones and Bartlett Publishers.
 - Manikantan, M. R., Sharma, R. K., Singh, M., & Mendiratta, S. K. (2015). Meat analogues: Plant-based alternatives to meat products—A review. *International Journal of Food Properties*, 18(11), 2413-2424. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1013456>
 - Messina, M. (2019). Soy and Health Update: Evaluation of the Clinical and Epidemiologic Literature. *Nutrients*, 11(4), 751.
 - Millward, D.J., 2000. Nutrition and metabolism of proteins in humans. In: Garrow, J.S., James, W.P.T. and Ralph, A., eds. *Human Nutrition and Dietetics*. Edinburgh: Churchill Livingstone, pp. 81-98.
 - Moses, I. B., & Achi, O. K. (2015). Fermented foods of African origin: a tool to the development of Africa. *Food Reviews International*, 31(1), 51-69.

- Mubarak, A. E. (2016). Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. *Food Science & Nutrition*, 4(4), 554-561. doi: 10.1002/fsn3.320
- Nadeem, M., Abdullah, H., Muhammad, S., & Hussain, J. (2017). Optimization of fermentation conditions for improvement of nutrient digestibility of lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Food Processing & Preservation*, 41(2), e12870. doi: 10.1111/jfpp.12870
- Ndife, J., Nwokocha, L., & Nwokocha, K. (2019). Evaluation of the proximate composition and sensory quality of meat analogue from blends of breadfruit (*Treculia africana*) and soybean (*Glycine max*) flours. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(3), e13822. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13822>
- Neacsu, M., McBey, D., Johnstone, A.M., 2016. Meat Reduction and Plant-Based Food: Replacement of Meat: Nutritional, Health, and Social Aspects [WWW Document]. Meat Reduction and Plant-Based Food: Replacement of Meat: Nutritional, Health, and Social Aspects - ScienceDirect. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128027783000226> (accessed 1.29.23).
- Nicole, 2020. Benefits of Plant-based Protein vs Animal Protein [WWW Document]. Lettuce Veg Out. URL <https://lettucevegout.com/nutrition/benefits-plant-based-protein/> (accessed 1.29.23).
- Nkhata, SG, Ayua, E, Kamau, EH, Shingiro, J-B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Sci Nutr*. 6: 2446– 2458. <https://doi.org/10.1002/fsn3.846>
- Oguntoyinbo, F. A., Sanni, A. I., & Franz, C. M. (2016). Comprehensive review on application of probiotics in meat and meat products. *Food Control*, 67, 91-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.026>
- Ojha, P., Mishra, B., Pradhan, R. C., & Thakur, N. (2019). Changes in nutritional and antinutritional composition of moth bean (*Vigna aconitifolia* L.) during spontaneous fermentation. *Journal of Food Quality*, 2019, 1-10. doi: 10.1155/2019/2053426
- Okoye, J. I., & Okeke, C. C. (2018). Assessment of quality attributes of a meat analogue produced from African breadfruit (*Treculia africana*) seed flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6), e13668. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13668>
- Owusu-Kwarteng, J., Tano-Debrah, K., Akabanda, F., & Jespersen, L. (2014). Lactic acid fermentation of maize, cowpea and sorghum: effects on phytate and mineral content. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 155-163.
- Oyewole, O. B., & Akintoye, H. A. (2017). Microbial Fermentation of Plant-Based Protein Sources: Effects on Nutrient Availability, Physical/Chemical Properties, and Palatability. In *Sustainable Protein Sources* (pp. 357-377). Springer.
- Phillips, S.M., 2017. Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), pp.S158-S167.
- Płacheta, B., Motyl, I., Berłowska, J., & Mroczńska-Florczak, M. (2022). The Use of Fermented Plant Biomass in Pigs Feeding. *Sustainability*, 14(21), 14595.
- Rafique, N. et al., 2022, 'Lactobacilli: Application in Food Industry', in M. Laranjo (ed.), *Lactobacillus - A Multifunctional Genus* [Working Title], IntechOpen, London. 10.5772/intechopen.106856.
- Ravindran, V. and Kornegay, E.T. (2014). Feed enzymes: the science, practice, and metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 628-636.
- Ravindran, V., & Kornegay, E. T. (2014). Acidification of diets for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-1>
- Reddy, N. R., & Sathe, S. K. (2001). *Food Phytates*. CRC Press.
- Ren, Y.; Lin, H.; Gong, J.; Li, Z.; Li, Q.; Liu, X.; Zhang, J. A new method for bio-degumming in less-water environment: Solid-state-fermentation progressive bio-degumming. *Indust. Crop. Prod.* 2022, 183, 114986.
- Rizzo, G., Baroni, L., & Veggiotti, P. (2018). Soy, Soy Foods and Their Role in Vegetarian Diets. *Nutrients*, 10(1), 43. <https://doi.org/10.3390/nu10010043>

- Ross, R.P., Desmond, C., Fitzgerald, G.F. and Stanton, C., 2005. Overcoming the technological hurdles in the development of probiotic foods. *Journal of Applied Microbiology*, 98(6), pp.1410-1417.
- Russo, P., López, P., Capozzi, V., & de Palencia, P. F. (2018). The Microbiota of Plant-Based Fermented Foods: Current Knowledge and Future Directions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2540-2552. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1322234>
- S. Thokchom and S.R. Joshi. Antibiotic resistance and probiotic properties of dominant lactic microflora, *J Microbiology*. 2012 Jun;50(3):535-9. doi: 10.1007/s12275-012-1409-x
- Sarwar, G. (1997). The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score Method Overestimates Quality of Proteins Containing Antinutritional Factors and of Poorly Digestible Proteins Supplemented with Limiting Amino Acids in Rats. *The Journal of Nutrition*, 127(5), 758-764. <https://doi.org/10.1093/jn/127.5.758>
- Schieber, A., & Carle, R. (2005). Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: technological and analytical considerations. *Trends in Food Science & Technology*, 16(8), 416-422.
- Schorn-Garcia, D.; Cavaglia, J.; Giussani, B.; Busto, O.; Acena, L.; Mestres, M.; Boque, R. ART-MIR spectroscopy as a process analytical technology in wine alcoholic fermentation- A tutorial. *Microchem. J.* 2021, 166, 106215
- Shi, L. H., Balasubramanian, S., Xia, W. S., & Ho, C. T. (2020). Emerging trends in meat alternatives derived from plant protein. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.008>
- Shi, Y.; Singh, A.; Kitts, D.D.; Pratap-Singh, A. Lactic acid fermentation: A novel approach to eliminate unpleasant aroma in pea protein isolates. *LWT* 2021, 150, 111927.
- Sicherer, S.H. (2002). Clinical Implications of Cross-Reactive Food Allergens. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 110(2), 277-280. <https://doi.org/10.1067/mai.2002.126740>
- Slavin, J. (2013). Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Steinkraus, K.H. (1996). *Handbook of indigenous fermented foods* (2nd ed.). Marcel Dekker, Inc.
- Su, Y., Yao, W., Perez, L. A., Wang, D., Zhang, M., & Li, X. (2020). Microbial fermentation changes nutritional and functional properties of sesame seed proteins. *Food Chemistry*, 331, 127279. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127279
- Sun, W., Shahrajabian, M.H., Lin, M., 2022. Research Progress of Fermented Functional Foods and Protein Factory-Microbial Fermentation Technology. *Fermentation* 8, 688. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120688>
- Sun, X.; Wu, S.; Li, W.; Koksel, F.; Du, Y.; Sun, L.; Fang, Y.; Hu, Q.; Pei, F. The effects of cooperative fermentation by yeast and lactic acid bacteria on the dough rheology, retention and stabilization of gas cells in a whole wheat flour dough system- A review. *Food Hydrocoll.* 2022, 135, 108212.
- Susanna Buratti, Simona Benedetti, Chapter 28 - Alcoholic Fermentation Using Electronic Nose and Electronic Tongue ,Editor(s): María Luz Rodríguez Méndez, *Electronic Noses and Tongues in Food Science*, Academic Press,2016, Pages 291-299, ISBN 9780128002438, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00028-7>,(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128002438000287>).
- Tamang, J. P., Shin, D. H., Jung, S. J., & Chae, S. W. (2016). Functional properties of microorganisms in fermented foods. *Frontiers in microbiology*, 7, 578. doi: 10.3389/fmicb.2016.00578
- Tamang, J. P., Watanabe, K., Holzappel, W. H. (2016). Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in microbiology*, 7, 377.
- Tang, X., Gao, J., Chen, H., Zhang, H., & Chen, W. (2017). The application of microbial fermentation to reduce the allergenicity of food proteins: A review. *Food Research International*, 99, 1027-1034.
- Tian, L.; Xiong, D.; Jia, J.; Liu, X.; Zhang, Y.; Duan, X. Mechanism study on enhanced emulsifying properties of phosvitin and calcium-binding capacity of its phosphopeptides by lactic acid bacteria fermentation. *LWT* 2022, 155, 113002.

- Udachan, S., Pinto, M. A., & Sharma, A. (2020). Fermentation of plant-based protein sources for food application-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2295-2307. doi: 10.1007/s13197-020-04311-4
- URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128239605000469> (accessed 10.01.23).
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Influence of quinoa (*Chenopodium quinoa*) fermentation on the nutritional quality of protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2543-2549.
- Verni, M.; Mastro, G.D.; Cillis, F.D.; Gobetti, M.; Rizzello, C.G. Lactic acid bacteria fermentation to exploit the nutritional potential of Mediterranean faba bean local biotypes. *Food Res. Int.* 2019, 125, 108571.
- Wang, L., Li, C., & Yang, W. (2019). Plant protein resources and their nutritional values. *Journal of Food Quality*, 2019, 1561718.
- Wang, T., Liang, L., Wu, X., Su, C., Li, Y., Zhang, M., & Li, X. (2021). Fermentation enhances the protein quality of beans: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(5), 776-789. doi: 10.1080/10408398.2020.1792627
- Wu, J., Du, G., Zhou, J., & Chen, J. (2012). Effects of microbial fermentation on antioxidant properties and phytochemical composition of soybean meal. *Food Chemistry*, 133(3), 943-949.
- Xie, H., Chen, J., Gao, Q., Yang, Y., & Shang, X. (2019). Effect of fermentation on the protein structure of soybean. *Journal of food biochemistry*, 43(1), e12611.
- Yadav, A., & Tarar, J.L. (2019). Effect of Fermentation on Protein Content and Bioavailability in Legumes: A Review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 536-545. doi: 10.1007/s13197-018-3548-9
- You, L. J., Zhao, M. M., Yi, S. Y., Zhang, W. K., & Liu, R. H. (2019). Recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity of peanut after solid-state fermentation with *Cordyceps militaris*. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 2736-2744.
- You, Y., Guo, Y., Mu, H. et al. (2019). Fermentation enhances the protein digestibility of quinoa. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99, 1203-1211.
- Zheng, J.; Wittouck, S.; Salvetti, E.; Franz, C.M.; Harris, H.M.; Mattarelli, P.; Watanabe, K. A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2020, 70, 2782–2858.
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S.K., & Kulshrestha, S. (2020). Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*, 6(4), 106. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040106>
- Sánchez Magaña, L., Cuevas-Rodríguez, E.-O., Gutiérrez Dorado, R., Ayala, A., Valdez, A., Milán-Carrillo, J., & Reyes Moreno, C. (2014). Solid-state bioconversion of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by *Rhizopus oligosporus* to improve total phenolic content, antioxidant activity and hypoglycemic functionality. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.893284>

