



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Σχολή Επιστημών Τροφίμων  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών  
**ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της επίδρασης θερμικών και μη θερμικών  
μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων στη βιοδιαθεσιμότητα  
βιοδραστικών συστατικών φυτικής προέλευσης**

MSc Thesis

**The effect of thermal and non-thermal food processing methods  
on the bioavailability of plant origin bioactive compounds**

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Φιλιπποπούλου Ουρανία

Filipporoulou Ourania

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Γώγου Ελένη

Gogou Eleni

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2024

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



Κωδικός εγγράφου: a\_MGgcθiSERZqIm3vKsc-A

: 1/137



Faculty of Food Sciences  
Department of Food Science and Technology

Master of Science  
**FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY**

MSc THESIS

**The effect of thermal and non-thermal food processing methods  
on the bioavailability of plant origin bioactive compounds**

Filippopoulou Ourania

fiqs22027

filip.rania@gmail.com

SUPERVISOR

Gogou Eleni

AIGALEO 2024

i

**Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου**

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



Κωδικός εγγράφου: a\_MGgcθiSERZqIm3vKsc-A

: 2/137

## Επιτροπή Αξιολόγησης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο **‘Μελέτη της επίδρασης θερμικών και μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων στη βιοδιαθεσιμότητα βιοδραστικών συστατικών φυτικής προέλευσης’** που παρουσιάστηκε από την **Φιλιππούλου Ουρανία**, υποψήφιας για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

Ψηφιακή Υπογραφή

Όνομα επιβλέποντος      Γώγου Ελένη  
Βαθμίδα/Ιδιότητα      Επίκουρη Καθηγήτρια ΠΑΔΑ

Ψηφιακή Υπογραφή

Όνομα μέλους επιτροπής      Γιαννακούρου Μαρία  
Βαθμίδα/Ιδιότητα      Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Ψηφιακή Υπογραφή

Όνομα μέλους επιτροπής      Λάζου Ανδριάννα  
Βαθμίδα/Ιδιότητα      Επίκουρη Καθηγήτρια ΠΑΔΑ



**Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου**

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



## Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

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

**Η δηλούσα**

**Φιλιππούλου Ουρανία**



## Ευχαριστίες

Με την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Ελένη Γώγου, Επίκουρη Καθηγήτρια ΠΑΔΑ και επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών “Καινοτομία, Ποιότητα και Ασφάλεια Τροφίμων” για όλα όσα μοιραστήκαμε αυτά τα σχεδόν δύο χρόνια, καθώς και την οικογένειά μου για την στήριξη που μου προσέφερε σε αυτή την προσπάθεια.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την γραμματέα του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, κα Παπαπαύλου Ευανθία, για την στήριξη της καθ’ όλη τη διάρκεια την διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής, κα Μαρία Γιαννακούρου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ και κα Ανδριάννα Λάζου, Επίκουρη Καθηγήτρια ΠΑΔΑ, οι οποίες ευγενικά δέχθηκαν να αξιολογήσουν την παρούσα διπλωματική εργασία.



## Περίληψη

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση μελέτης της επίδρασης των κυριότερων θερμικών και μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας/συντήρησης τροφίμων στη βιοδιαθεσιμότητα βιοδραστικών συστατικών φυτικής προέλευσης. Ο όρος βιοδραστικά συστατικά αναφέρεται σε συστατικά τα οποία έχουν σημαντικές βιολογικές δράσεις όπως αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη, αντιμικροβιακή δράση, μεταξύ άλλων. Για την καλύτερη κατανόηση της ευεργετικής δράσης της κατανάλωσης τροφίμων πλούσιων σε βιοδραστικά συστατικά, ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην ιδιότητα της βιοδιαθεσιμότητας αυτών. Η βιοδιαθεσιμότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αξιολόγηση της διατροφικής αξίας τροφίμων και πολύ περισσότερο των συμπληρωμάτων διατροφής.

Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον έχει η κατανόηση της επίδρασης των διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων στη βιοδιαθεσιμότητα σημαντικών διατροφικών συστατικών τροφίμων όπως οι βιταμίνες, φαινολικά συστατικά και άλλα βιοδραστικά συστατικά. Για παράδειγμα, θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας όπως η παστερίωση και το ζεμάτισμα, μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της βιοδιαθεσιμότητας σε ορισμένα θρεπτικά συστατικά όπως το λυκοπένιο στις ντομάτες, αντίθετα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της περιεκτικότητας βιταμινών, όπως η βιταμίνη C. Τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικό επιστημονικό πεδίο της τεχνολογίας τροφίμων είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων για τη διατήρηση διατροφικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, τη διασφάλιση της ασφάλειας και την επέκταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων χωρίς τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών που μπορεί να υποβαθμίσουν θερμοευαίσθητα θρεπτικά συστατικά. Υπάρχουν πλέον αρκετές δημοσιεύσεις οι οποίες μελετούν συγκριτικά την επίδραση θερμικών και μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα συστατικών τροφίμων. Σύμφωνα με τα έως σήμερα δημοσιευμένα αποτελέσματα, φαίνεται ότι υπάρχει μια θετική συσχέτιση μεταξύ της βιοδιαθεσιμότητας και αρκετών μη θερμικών τεχνολογιών. Η διατήρηση ή ακόμα και η ενίσχυση της βιοδιαθεσιμότητας από τεχνολογίες όπως η υπερυψηλή πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και οι υπέρηχοι έχει αποδοθεί στη διάσπαση των κυτταρικών μεμβρανών η οποία οδηγεί στη διευκόλυνση της



αποδέσμευσης των βιοδραστικών συστατικών από τις κυτταρικές δομές και στην αύξηση της επιφάνειας επαφής με τα πεπτικά ένζυμα, καθιστώντας τα βιοδραστικά συστατικά περισσότερο διαθέσιμα για απορρόφηση από τον ανθρώπινο οργανισμό.

Η παρούσα εργασία, επικεντρώνεται στην περιγραφή και την κατανόηση της επίδρασης των υπό μελέτη μεθόδων επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα επιλεγμένων σημαντικών βιοδραστικών συστατικών, όπως η βιταμίνη C, τα καροτενοειδή και οι πολυφαινόλες. Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη οι μη θερμικές μέθοδοι, όπως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η υπερυψηλή πίεση, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη βιοδιαθεσιμότητα των πολυφαινολών, ενώ η θερμική επεξεργασία μπορεί να μειώσει τη συγκέντρωση και βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων θερμοευαίσθητων βιοδραστικών συστατικών. Η μελέτη καταλήγει στη σημασία επιλεγμένων μεθόδων επεξεργασίας και συνδυασμούς αυτών, για τη διατήρηση και βελτίωση της βιοδιαθεσιμότητας των βιοδραστικών συστατικών. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη περαιτέρω έρευνας και ανάπτυξης νέων τεχνικών, που θα επιτρέψουν τη βέλτιστη αξιοποίηση αυτών των συστατικών στα τρόφιμα, συμβάλλοντας στη βελτίωση της διατροφικής αξίας των επεξεργασμένων προϊόντων.

Συνοψίζοντας, η κατανόηση της επίδρασης των μεθόδων επεξεργασίας/συντήρησης τροφίμων στη βιοδιαθεσιμότητα μπορεί να είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για το σχεδιασμό και την παραγωγή τροφίμων με βελτιωμένη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών και την ανάπτυξη εμπλουτισμένων, λειτουργικών τροφίμων ή συμπληρωμάτων διατροφής που περιέχουν θρεπτικά συστατικά σε μορφές που είναι πιο εύκολα απορροφήσιμες και αξιοποιήσιμες από τον ανθρώπινο οργανισμό.

**Λέξεις κλειδιά:** βιοδραστικά συστατικά, βιοδιαθεσιμότητα, θερμική επεξεργασία, μη θερμική επεξεργασία, τρόφιμα φυτικής προέλευσης, διατροφική αξία





## THE EFFECT OF THERMAL AND NON-THERMAL FOOD PROCESSING METHODS ON THE BIOAVAILABILITY OF PLANT ORIGIN BIOACTIVE COMPOUNDS

### Abstract

The present work is a literature review study on the effect of thermal and non-thermal food processing methods on the bioavailability of plant origin bioactive compounds. The term bioactive compounds refer to compounds which possess significant biological activities such as antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activity, among others. In order to better understand the beneficial effects of consuming foods rich in bioactive compounds, particular attention is paid to the property of bioavailability. Bioavailability is of great importance for the assessment of the nutritional value of foods and especially of food supplements.

In recent years, much research has been focused on understanding the effect of different food processing methods on the bioavailability of important food nutrients such as vitamins, phenolic components and other bioactive compounds. For example, thermal processing methods such as pasteurization and blanching can lead to an increase in the bioavailability of certain nutrients such as lycopene in tomatoes; on the other hand, it can lead to a decrease in the bioavailability of vitamins such as vitamin C. In the last few years, an important scientific field of food technology has been the design and development of non-thermal food processing methods to preserve nutritional and organoleptic characteristics, ensure safety and extend the shelf life of food without the use of high temperatures that can be detrimental to heat-sensitive nutrients and food ingredients. Lately, several publications compare the effect of thermal and non-thermal processing methods on the bioavailability of food ingredients. According to the results published so far, there seems to be a positive correlation between bioavailability and several non-thermal technologies. The maintenance or even enhancement of bioavailability by technologies such as high pressure, pulsed electric fields and ultrasounds has been attributed to the disruption of cell membranes which leads to the facilitation of the release of bioactive ingredients from cellular structures and an increase in the contact surface with digestive enzymes, making bioactive ingredients more available for absorption by the human body.



The present work, focuses on describing and understanding the effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioavailability of selected important bioactive constituents such as vitamin C, carotenoids and polyphenols. According to the present study, non-thermal methods, such as pulsed electric fields and high pressure, can significantly improve the bioavailability of polyphenols, while thermal treatment can reduce the concentration and bioavailability of some heat-sensitive bioactive compounds. The study highlights the importance of selected treatment methods and their combination for maintaining and improving the bioavailability of bioactive components. The findings underline the need for further research and development of new techniques that will allow optimal utilization of these components in foods, contributing to the improvement of the nutritional value of processed products.

In conclusion, understanding the effect of food processing methods on bioavailability of bioactive compounds can serve as a very important tool for the design and development of foods with improved nutrient bioavailability and the development of bioactives enriched products or food supplements containing nutrients in forms that are more easily absorbed by the human body.

**Key words:** bioactive compounds, bioavailability, thermal processing, non-thermal processing, plant origin foods, nutritional value



## Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright.....	iv
Ευχαριστίες .....	v
Περίληψη .....	vi
Abstract .....	viii
Κατάλογος πινάκων .....	12
Κατάλογος εικόνων .....	12
Συνομογραφίες.....	13
Εισαγωγή.....	15
1 Βιοδραστικά συστατικά - βιοδιαθεσιμότητα.....	17
1.1 Βιοδραστικά συστατικά - πηγές και δράσεις.....	17
1.2 Βιοδραστικά συστατικά φυτικής προέλευσης.....	24
1.2.1 Φαινολικές Ενώσεις (Πολυφαινόλες) .....	27
1.2.2 Καροτενοειδή.....	47
1.2.3 Βιταμίνες .....	50
1.2.4 Λιπαρά οξέα.....	56
1.3 Βιοδιαθεσιμότητα βιοδραστικών συστατικών .....	62
1.4 Μέθοδοι προσδιορισμού βιοδιαθεσιμότητας .....	63
2 Θερμικές και μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας .....	70
2.1 Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας .....	71
2.1.1 Ζεμάτισμα - Λεύκανση .....	71
2.1.2 Παστερίωση .....	73
2.1.3 Αποστείρωση.....	74
2.2 Μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας .....	76
2.2.1 Υπερυψηλή πίεση .....	77
2.2.2 Ομογενοποίηση υψηλής πίεσης .....	79
2.2.3 Παλμικά ηλεκτρικά πεδία .....	80
2.2.4 Υπέρηχοι.....	82
2.2.5 Υπερώδης ακτινοβολία .....	83
2.2.6 Ψυχρό πλάσμα .....	84
2.2.7 Όζον.....	86
2.3 Συνδυαστικές μέθοδοι επεξεργασίας.....	88
3 Επίδραση μεθόδων επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών.....	91



3.1	Καροτενοειδή .....	92
3.1.1	Θερμική επεξεργασία .....	95
3.1.2	Μη θερμική επεξεργασία.....	95
3.2	Πολυφαινόλες .....	98
3.2.1	Θερμική επεξεργασία .....	98
3.2.2	Μη θερμική επεξεργασία.....	101
3.3	Βιταμίνη C .....	102
3.3.1	Θερμική επεξεργασία .....	103
3.3.2	Μη θερμική επεξεργασία.....	104
4	Συμπεράσματα.....	110
5	Βιβλιογραφία .....	113



## Κατάλογος πινάκων

<b>Πίνακας 1.1:</b> Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες φλαβονοειδών. ....	37
<b>Πίνακας 1.2:</b> Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες φαινολικών οξέων .....	43
<b>Πίνακας 1.3:</b> Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες φαινολικών διτερπενίων .....	45
<b>Πίνακας 1.4:</b> Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες καροτενοειδών .....	50
<b>Πίνακας 1.5:</b> Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες βιταμινών.....	54
<b>Πίνακας 1.6:</b> Κατηγορίες και βιολογικές τους λειτουργίες λιπαρών οξέων .....	58

## Κατάλογος εικόνων

<b>Εικόνα 1.1:</b> Κατηγορίες πρωτογενών και δευτερογενών μεταβολιτών των φυτών. ....	26
<b>Εικόνα 1.2:</b> Βασική δομή των φλαβονοειδών .....	36
<b>Εικόνα 1.3:</b> Η χημική δομή του καρνοσικού οξέος.....	45
<b>Εικόνα 1.4:</b> Η βασική χημική δομή των καροτενοειδών .....	48
<b>Εικόνα 1.5:</b> Κατηγοριοποίηση βιταμινών με βάση τη διαλυτότητα .....	51
<b>Εικόνα 1.6 :</b> Amita motion, χυμός 9 φρούτων εμπλουτισμένος με 7 βιταμίνες .....	59
<b>Εικόνα 1.7 :</b> Kellogg's® Special K® Red Berries Cereal, δημητριακά με κόκκινα μούρα, εμπλουτισμένα με βιταμίνες και β-καροτένιο .....	59
<b>Εικόνα 1.8 :</b> Becel ProActiv, μαργαρίνη εμπλουτισμένη με φυτοστερόλες και βιταμίνες της ....	60
<b>Εικόνα 1.9:</b> Δυναμικό <i>in vitro</i> μοντέλο ανθρώπινου στομάχου .....	65
<b>Εικόνα 1.10:</b> Διάγραμμα ροής και χρονοδιάγραμμα για την <i>in vitro</i> μέθοδο πέψης τροφίμων INFOGEST 2.0. ....	67



## Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Ορισμός Αγγλικά	Ορισμός Ελληνικά
AA	Arachidonic Acid	Αραχιδονικό Οξύ
BACs	Bioactive Compounds	Βιοδραστικά Συστατικά
CLA	Conjugated Linoleic Acid	Συζευγμένο Λινολεϊκό Οξύ
CP	Cold Plasma	Ψυχρό Πλάσμα
DC	Direct Current	Άμεσο Ρεύμα
DIVHS	Near Real Dynamic <i>in vitro</i> Human Stomach	Σχεδόν πραγματικό δυναμικό <i>in vitro</i> ανθρώπινο στομάχι
DNA	Deoxyribonucleic Acid	Δεοξυριβονουκλεϊκό Οξύ
EFSA	European Food Safety Authority	Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων
EU	European Union	Ευρωπαϊκή Ένωση
FDA	Food and Drug Administration	Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (ΗΠΑ)
FIM	Foundation for Innovation in Medicine	Ίδρυμα για την Καινοτομία στην Ιατρική
GAE	Gallic Acid Equivalents	Ισοδύναμα Γαλλικού Οξέος
GRAS	Generally Recognized As Safe	Γενικά Αναγνωρισμένο ως Ασφαλές
HHAIB	High-humidity hot air impingement blanching	Ζεμάτισμα με Υψηλούς Ρυθμούς Μεταφοράς Θερμότητας, με Υψηλή Ταχύτητα Θερμού Αέρα Υψηλής Υγρασίας
HP	High Pressure	Υπερψηλή Πίεση
HPH	High-Pressure Homogenization	Ομογενοποίηση Υψηλής Πίεσης
HTST	High-Temperature Short- Time	Υψηλή Θερμοκρασία Βραχυπρόθεσμος Χρόνος



IDF	International Dairy Federation	Διεθνής Ομοσπονδία Γάλακτος
LA	Linoleic Acid	Λινολεϊκό Οξύ
LDL	Low-Density Lipoprotein	Χαμηλής Πυκνότητας Λιποπρωτεΐνη
MUFA	Mono-unsaturated fatty acids	Μονοακόρεστα λιπαρά οξέα
PEF	Pulse Electric Fields	Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία
pH	Potential of Hydrogen	Ενεργός Οξύτητα
PUFA	Polyunsaturated Fatty Acids	Πολυακόρεστα Λιπαρά Οξέα
SAFA	Saturated Fatty Acids	Κορεσμένα Λιπαρά Οξέα
UHT	Ultra-High Temperature	Υπερ-Υψηλή Θερμοκρασία
US	Ultrasound	Υπέρηχοι
UV	Ultraviolet	Υπεριώδης Ακτινοβολία
WHO	World Health Organization	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας



## Εισαγωγή

Σε μια εποχή όπου ο σύγχρονος τρόπος ζωής χαρακτηρίζεται από γρήγορους ρυθμούς, υψηλά επίπεδα στρες, καθιστική εργασία και ανθυγιεινές διατροφικές συνήθειες, παρατηρείται αύξηση των χρόνιων ασθενειών όπως η παχυσαρκία, ο διαβήτης τύπου 2, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και ορισμένες μορφές καρκίνου. Πρόκειται για μια ανησυχητική τάση που όμως φαίνεται να οδηγεί σε μια ολοένα και αυξανόμενη αναγνώριση της ανάγκης για υιοθέτηση ενός πιο υγιεινού τρόπου ζωής και βελτίωσης της ανθρώπινης διατροφής.

Η στροφή προς έναν υγιεινότερο τρόπο ζωής περιλαμβάνει την κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε βιοδραστικά συστατικά, όπως πολυφαινόλες, φλαβονοειδή, καροτενοειδή και ωμέγα-3 λιπαρά οξέα. Αυτά τα συστατικά χάρη στις πολύπλευρες βιολειτουργικές ιδιότητές τους, μπορούν δυνητικά να συμβάλλουν στην πρόληψη χρόνιων ασθενειών. Τα λειτουργικά τρόφιμα, τα τροφοφάρμακα και τα διατροφικά συμπληρώματα που περιέχουν αυτά τα συστατικά έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή, την ώρα που οι καταναλωτές αναζητούν τρόπους να ενισχύσουν την υγεία τους μέσω της διατροφής τους.

Παράλληλα, παρατηρείται μεγάλο ενδιαφέρον από τη βιομηχανία τροφίμων αλλά και από τους καταναλωτές, προς νέες και καινοτόμες μεθόδους επεξεργασίας τροφίμων. Οι παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας και συντήρησης που περιλαμβάνουν θερμική επεξεργασία, όπως η παστερίωση και η αποστείρωση, χρησιμοποιούνται ευρέως για την εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών και την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια θρεπτικών συστατικών και μείωση της σταθερότητάς τους. Αντίθετα, οι μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας, όπως η υπερυψηλή πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, οι υπέρηχοι και το ψυχρό πλάσμα, αναδεικνύονται ως καινοτόμες μη θερμικές τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων οι οποίες διαφυλάσσουν την θρεπτική αξία των τροφίμων, διατηρώντας ταυτόχρονα την ασφάλεια και την ποιότητά τους.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι κανονισμοί και οι πρωτοβουλίες προωθούν την υιοθέτηση αυτών των καινοτόμων μεθόδων επεξεργασίας για τη διασφάλιση της διατροφικής ασφάλειας και της δημόσιας υγείας. Η στρατηγική «Farm to Fork» της ΕΕ, για παράδειγμα, στοχεύει στη δημιουργία ενός βιώσιμου και ανθεκτικού διατροφικού συστήματος, ενθαρρύνοντας την





κατανάλωση τροφίμων πλούσιων σε βιοδραστικά συστατικά (Bioactive Compounds, BACs) (λειτουργικών τροφίμων και τροφοφαρμάκων), αλλά και τη χρήση νέων τεχνολογιών που μειώνουν την ενεργειακή κατανάλωση και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενώ παράλληλα διατηρούν την ποιότητα και τη θρεπτική αξία των τροφίμων.

Για να μπορέσει να γίνει κατανοητό το πώς τα BACs μπορούν να ενσωματωθούν στην ανθρώπινη διατροφή μας και να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά, είναι σημαντικό να εξετάσουμε τη βιοδιαθεσιμότητά τους, δηλαδή την ικανότητά τους να απορροφώνται και να αξιοποιούνται από τον ανθρώπινο οργανισμό. Η βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων επεξεργασίας των τροφίμων

Η μελέτη της επίδρασης αυτών των μεθόδων στη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών και βιώσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας τροφίμων. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην ανάλυση των επιπτώσεων των θερμικών και μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών φυτικής προέλευσης. Στόχος είναι να προταθούν βέλτιστες πρακτικές επεξεργασίας που θα διατηρούν την θρεπτική αξία και θα προωθούν την υγεία των καταναλωτών, υποστηρίζοντας παράλληλα τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διατροφική ασφάλεια και την αειφορία.



# 1 Βιοδραστικά συστατικά - βιοδιαθεσιμότητα

## 1.1 Βιοδραστικά συστατικά - πηγές και δράσεις

Τα βιοδραστικά συστατικά (BACs από τον αγγλικό όρο Bioactive compounds) είναι χημικές ενώσεις που συναντώνται στη φύση και έχουν βιολογικές δράσεις όπως αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη, αντιμικροβιακή δράση, μεταξύ άλλων. Τα BACs, είναι ουσίες, ποικίλου μοριακού βάρους, που βρίσκονται συνήθως σε μικροποσότητες σε μέρη φυτών ή και ζωικών οργανισμών και κατ' επέκταση σε διάφορα τρόφιμα (Kitts DD. 1994). Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να επιδρούν θετικά στην υγεία του οργανισμού παρέχοντας, επιπρόσθετα από τη βασική διατροφική λειτουργία της κατανάλωσης τροφίμων και θεωρείται ότι μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη ή τη διαχείριση διαφόρων ασθενειών (Hamzalioglu and Gökmen, 2016).

Το 1989, εισήχθη ο όρος «Nutraceuticals», από τον Dr. Stephen DeFelice, ιδρυτή και πρόεδρο του Ιδρύματος για την Καινοτομία στην Ιατρική (FIM) και ορίζεται ως «κάθε ουσία που αποτελεί τρόφιμο ή μέρος τροφίμου και παρέχει ιατρικά οφέλη ή οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένης της πρόληψης και της θεραπείας ασθενειών» (Sosnowska et al. 2017). Τα προϊόντα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν συμπληρώματα διατροφής, λειτουργικά τρόφιμα, εμπλουτισμένα ποτά και άλλα σκευάσματα που περιέχουν BACs όπως βιταμίνες, μέταλλα, συστατικά βοτάνων, αμινοξέα ή άλλες ουσίες (Sarkar & Pati, 2024).

Ο όρος «Nutraceuticals» μπορεί να επινοήθηκε μόλις το 1989 ώστε να δοθεί μια ονομασία για αυτόν τον ταχέως αναπτυσσόμενο τομέα της βιοϊατρικής έρευνας, ωστόσο η έννοια της χρήσης των τροφίμων ως φαρμάκων έχει τις ρίζες τις από την αρχαιότητα και συναντάται σε πολιτισμούς από όλο τον κόσμο (Andlauer and Furst 2001). Καθ' όλη τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, η αξιοποίηση των τροφίμων ως φαρμάκων αποτέλεσε ακρογωνιαίο λίθο διαφόρων παραδοσιακών θεραπευτικών συστημάτων και πολιτιστικών πρακτικών. Από τους αρχαίους πολιτισμούς της Ινδίας, της Κίνας, της Ελλάδας και της Ρώμης μέχρι τους αυτόχθονες πολιτισμούς σε όλο τον κόσμο, υπήρξε μια αναγνώριση εκ βάθους των φαρμακευτικών ιδιοτήτων που υπάρχουν σε ορισμένα τρόφιμα, ιδιαίτερα σε βότανα και φυτά. Στην Αγιουρβέδα, το ολιστικό σύστημα ιατρικής που αναπτύχθηκε στην Ινδία, βότανα και μπαχαρικά όπως ο κουρκουμάς, το τζίντζερ και ο ιερός βασιλικός έχουν τιμηθεί για τις



θεραπευτικές τους ιδιότητες και έχουν ενσωματωθεί σε διατροφικές πρακτικές και φαρμακευτικά παρασκευάσματα εδώ και χιλιάδες χρόνια (Ghosh et al., 2021, Aggarwal & Sung, 2009). Ομοίως, η Παραδοσιακή Κινέζικη Ιατρική διαθέτει μια πλούσια φαρμακοποιία βοτάνων και φυσικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση της ισορροπίας και τη θεραπεία ενός ευρέος φάσματος καταστάσεων υγείας (Chan et al., 2016). Η σοφία αυτών των αρχαίων θεραπευτικών παραδόσεων επεκτείνεται στις πρακτικές των φυλών των ιθαγενών της Αμερικής, οι οποίες βασίζονται εδώ και χιλιάδες χρόνια στις φαρμακευτικές ιδιότητες φυτών όπως η εχινάκεια, το goldenseal και το φασκόμηλο, καθώς και στους ιθαγενείς του τροπικού δάσους του Αμαζονίου, των οποίων η εκτεταμένη γνώση των φαρμακευτικών φυτών του περιβάλλοντός τους έχει μεταδοθεί από γενιά σε γενιά. Στην αρχαία Ελλάδα και τη Ρώμη, προσωπικότητες όπως ο Ιπποκράτης τόνιζαν τη σημασία της διατροφής και του τρόπου ζωής για τη διατήρηση της υγείας και τη θεραπεία των ασθενειών, υποστηρίζοντας την κατανάλωση τροφίμων όπως το σκόρδο για τα θεραπευτικά του οφέλη.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για τα BACs, τόσο ως προς την κατανόησή τους από τους ερευνητές και την αξιολόγηση της επίδρασής τους στον οργανισμό, αλλά και ως προς την αξιοποίησή τους από τις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων (Sarkar & Pati, 2024). Η βιομηχανία τροφίμων αξιοποιεί τα BACs με διάφορους τρόπους για την ανάπτυξη προϊόντων που προσφέρουν οφέλη για την υγεία πέρα από τη βασική διατροφή. Ορισμένες στρατηγικές αξιοποίησης των BACs είναι η ενσωμάτωσή τους σε καινοτόμα ή νέα τρόφιμα (novel foods), η διαμόρφωση λειτουργικών τροφίμων (functional foods), η ανάπτυξη συμπληρωμάτων διατροφής, η ενίσχυση της διατροφικής αξίας συμβατικών τροφίμων και η αξιοποίησή τους ως φυσικά συντηρητικά τροφίμων.

Το καινοτόμο τρόφιμο ή «νέο τρόφιμο», για να χαρακτηριστεί ως τέτοιο και να διατεθεί στην αγορά, απαιτείται να προηγηθεί πλήρης αξιολόγηση και έγκρισή του, με σκοπό την διασφάλιση της ασφάλειας των καταναλωτών. Έτσι έχει θεσπιστεί Ευρωπαϊκή νομοθεσία η οποία ρυθμίζεται από τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 σύμφωνα με τον οποίο «νέο τρόφιμο» είναι «κάθε τρόφιμο που δεν χρησιμοποιούνταν ευρέως για ανθρώπινη κατανάλωση εντός της Ένωσης πριν από τις 15 Μαΐου 1997» και εμπίπτει τουλάχιστον σε μια από τις πολλές κατηγορίες που αναφέρει η νομοθεσία, μεταξύ των οποίων:



- Τρόφιμα με νέα ή σκόπιμα τροποποιημένη μοριακή δομή.
- Τρόφιμα που αποτελούνται από, απομονώνονται από, ή παράγονται από μικροοργανισμούς, μύκητες ή άλγη.
- Τρόφιμα που αποτελούνται από, απομονώνονται από, ή παράγονται από φυτά ή ζώα, εκτός από τα τρόφιμα που έχουν παραχθεί με παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας ή αναπαραγωγής και έχουν ιστορικό ασφαλούς κατανάλωσης.
- Τρόφιμα που παράγονται από νέες παραγωγικές διαδικασίες οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή τροφίμων και που προκαλούν σημαντική αλλαγή στη σύνθεση ή στη δομή των τροφίμων, επηρεάζοντας την θρεπτική αξία, τον μεταβολισμό ή το επίπεδο των ανεπιθύμητων ουσιών.
- Τρόφιμα που αποτελούνται από, απομονώνονται από, ή παράγονται από υλικό ανόργανης προέλευσης.
- Τρόφιμα που αποτελούνται από, απομονώνονται από, ή παράγονται από υλικό που προέρχεται από διαδικασίες παραγωγής, εκτός των συμβατικών, που χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες.
- Τρόφιμα με νέα προοριζόμενη χρήση ή λειτουργία, σε σύγκριση με τις υπάρχουσες χρήσεις και λειτουργίες.
- τρόφιμα που αποτελούνται από τεχνολογικά επεξεργασμένα νανοϋλικά.

Έτσι τα καινοτόμα τρόφιμα μπορεί να περιέχουν νέα συστατικά, ακόμα και από μη συμβατικές πηγές, να χρησιμοποιούν νέες τεχνικές επεξεργασίας ή να προσφέρουν μοναδικό διατροφικό προφίλ. Παραδείγματα καινοτόμων τροφίμων που χρησιμοποιούν BACs, περιλαμβάνουν εναλλακτικές λύσεις κρέατος με βάση τα φυτά, εμπλουτισμένες με βιταμίνες και μέταλλα, λειτουργικά ποτά εμπλουτισμένα με εκχυλίσματα βοτάνων ή σνακ που περιέχουν συστατικά πλούσια σε αντιοξειδωτικά, όπως ξηροί καρποί ή σπόροι, τρόφιμα με βάση τα έντομα, ή τρόφιμα που περιέχουν καινοτόμα συστατικά όπως μικροφύκη ή βρώσιμα άνθη.

Όσον αφορά στα λειτουργικά τρόφιμα, επικρατεί μια σύγχυση ως προς τον προσδιορισμό τους και μια ασάφεια ως προς τον ορισμό τους. Ένας συχνά αναφερόμενος ορισμός υποδηλώνει ότι τα λειτουργικά τρόφιμα περιέχουν ουσίες που παρέχουν οφέλη για την υγεία "πέρα από τη βασική διατροφή". Ωστόσο, ο ορισμός αυτός είναι προβληματικός και ένας



Βασικός λόγος για αυτό είναι ότι τοποθετεί στην κατηγορία των λειτουργικών τροφίμων, γενικά τα υγιεινά τρόφιμα. Το 2022 ο Temple, υπογραμμίζοντας τους λόγους που ο παραπάνω συνήθης ορισμός είναι προβληματικός, προσπάθησε να ορίσει τα λειτουργικά τρόφιμα προτείνοντας το παρακάτω:

*«Τα λειτουργικά τρόφιμα είναι καινοτόμα τρόφιμα που έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε να περιέχουν ουσίες ή ζωντανούς μικροοργανισμούς που δυνητικά ενισχύουν την υγεία ή προλαμβάνουν ασθένειες, σε συγκεντρώσεις που είναι τόσο ασφαλείς όσο και αποτελεσματικές. Τα προστιθέμενα συστατικά μπορεί να περιλαμβάνουν θρεπτικά συστατικά, διαιτητικές ίνες, φυτοχημικά, διάφορες άλλες ουσίες ή προβιοτικά.»*

Για παράδειγμα, τα προβιοτικά που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα σε γιαούρτια, μπορούν να βελτιώσουν την υγεία του εντέρου και να ενισχύσουν το ανοσοποιητικό σύστημα, ενώ τα εμπλουτισμένα με ωμέγα-3 τρόφιμα μπορούν να υποστηρίξουν την καρδιαγγειακή υγεία (Dixit et al., 2023). Επιπλέον, τα εμπλουτισμένα δημητριακά και ποτά, όπως ο εμπλουτισμένος με ασβέστιο χυμός πορτοκαλιού, μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση των διατροφικών ελλείψεων παρέχοντας βασικές βιταμίνες και μέταλλα. Ωστόσο λαμβάνοντας υπόψιν τον ορισμό που τοποθετεί τα λειτουργικά τρόφιμα στην κατηγορία των καινοτόμων τροφίμων, τότε τρόφιμα όπως το γιαούρτι με προβιοτικά και τα δημητριακά με προσθήκη βιταμίνης Β, δεν θεωρούνται λειτουργικά αφού καταναλώνονταν και πριν τις 15 Μαΐου 1997 (Temple, 2022).

Με βάση τον παραπάνω ορισμό, τα λειτουργικά τρόφιμα καλύπτονται από τον Ευρωπαϊκό κανονισμό για τα καινοτόμα τρόφιμα που αναφέρθηκε προηγουμένως. Έτσι διασφαλίζεται ότι τα προϊόντα αυτά είναι ασφαλή για κατανάλωση και ότι οι ισχυρισμοί τους για την υγεία υποστηρίζονται από ισχυρά επιστημονικά στοιχεία. Αυτό το κανονιστικό πλαίσιο είναι απαραίτητο για την προστασία των καταναλωτών από παραπλανητικούς ισχυρισμούς και για τη διασφάλιση ότι τα λειτουργικά τρόφιμα προσφέρουν πραγματικά τα υποσχόμενα οφέλη για την υγεία.

Τα λειτουργικά τρόφιμα σηματοδοτούν μια σημαντική πρόοδο στη βιομηχανία τροφίμων και η έννοιά τους είναι στενά συνδεδεμένη με τις σύγχρονες διατροφικές τάσεις και την αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για τρόφιμα που δρουν ως προληπτικό μέσο για τη διατήρηση της υγείας και την πρόληψη των ασθενειών.



Εκτός από την ανάπτυξη λειτουργικών και εν γένει καινοτόμων τροφίμων, τα BACs αξιοποιούνται και με πιο απλό τρόπο, για την ενίσχυση της διατροφικής αξίας συμβατικών προϊόντων διατροφής. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση ουσιών πλούσιων σε αντιοξειδωτικά, όπως φρούτα, λαχανικά ή δημητριακά ολικής αλέσεως, σε επεξεργασμένα τρόφιμα μπορεί να αυξήσει το θρεπτικό τους περιεχόμενο και να προσφέρει πρόσθετα οφέλη για την υγεία.

Παράλληλα, για την ανάπτυξη συμπληρωμάτων χρησιμοποιούνται συμπυκνωμένες μορφές BACs όπως βιταμίνες, μέταλλα, αντιοξειδωτικά και φυτικά εκχυλίσματα, προσφέροντας ένα βολικό μέσο για να αξιοποιήσει της δύναμής τους. Παρέχουν στοχευμένη υποστήριξη για διάφορες πτυχές της υγείας και της ευεξίας. Από τη βιταμίνη D για τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος έως τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα για την υγεία της καρδιάς, και από τον κourkouμά για τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές του έως το εκχύλισμα πράσινου τσαγιού για τα αντιοξειδωτικά του οφέλη, τα συμπληρώματα διατροφής προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα BACs.

Όσον αφορά τη φυσική συντήρηση τροφίμων, ορισμένα BACs όπως φυτικά εκχυλίσματα ή αιθέρια έλαια, παρουσιάζουν έντονες αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικά συντηρητικά για την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων. Με την ενσωμάτωση αυτών των φυσικών συντηρητικών στα σκευάσματα τροφίμων, προφέρονται στους καταναλωτές προϊόντα «καθαρής ετικέτας» και πρόσθετα οφέλη για την υγεία.

Μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί πολυάριθμα BACs με ευεργετικές επιδράσεις που ποικίλουν, ενώ ομαδοποιούνται ανάλογα με την προέλευση, τη χημική δομή και τη λειτουργία τους (Hamzaioğlu and Gökmen, 2016). Η εξερεύνηση των ποικίλων πηγών BACs αποκαλύπτει ένα πλούσιο δίκτυο φυσικών αποθεμάτων, που προσφέρει μοναδικές ενώσεις με πιθανά οφέλη για την υγεία. Αρωματικά και φαρμακευτικά φυτά, γνωστά για τον φυτοχημικό τους πλούτο, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, παρέχουν πληθώρα BACs, όπως φαινολικές ουσίες με ισχυρές αντιοξειδωτικές ιδιότητες όπως το καρνοσικό οξύ που βρίσκεται σε εκχυλίσματα δενδρολίβανου ή η κourkouμίνη από κourkouμά, γνωστή για τις αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές της ιδιότητες. Άλλες πηγές BACs περιλαμβάνουν οι ζωικοί οργανισμοί και έντομα, οργανισμοί από το θαλάσσιο περιβάλλον, μικροοργανισμοί όπως μύκητες και βακτήρια καθώς και μικροφύκη.



Τα BACs που προέρχονται από ζώα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ουσιών που προάγουν την υγεία. Τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, άφθονα στα λιπαρά ψάρια, καταπολεμούν τη φλεγμονή και προάγουν την καρδιαγγειακή, γνωσιακή και οφθαλμική υγεία (Ghosh et al., 2022). Το κολλαγόνο, που προέρχεται από συνδετικούς ιστούς, υποστηρίζει την υγεία του δέρματος, την ακεραιότητα των αρθρώσεων και την επούλωση των πληγών. Η ζελατίνη, που προέρχεται από ζωικό κολλαγόνο, βρίσκει ευέλικτη εφαρμογή σε τρόφιμα, φαρμακευτικά προϊόντα και συμπληρώματα. Η θειική χονδροϊτίνη και η γλυκοζαμίνη, που προέρχονται από χόνδρους, συμβάλλουν στην υγεία των αρθρώσεων. Η ταυρίνη, υποστηρίζει την καρδιά, την όραση και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Το συζευγμένο λινολεϊκό οξύ (CLA), αποτελεί απαραίτητο λιπαρό οξύ και βρίσκεται στα γαλακτοκομικά και στο κρέας, ενώ σύμφωνα με αρκετές μελέτες συμβάλλει, στη μείωση του λιπώδους ιστού και στην ενίσχυση του μυϊκού. Η κρεατίνη, άφθονη στους ζωικούς μυϊκούς ιστούς, ενισχύει την αθλητική απόδοση και τη μυϊκή ανάπτυξη. Το υαλουρονικό οξύ, που προέρχεται από ζωικούς συνδετικούς ιστούς, ενυδατώνει και αναζωογονεί το δέρμα και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία καλλυντικών αλλά και στη φαρμακοβιομηχανία. Μελέτες έχουν δείξει ότι ως ενέσιμο ενδοαρθρικά, μπορεί να λειτουργήσει θεραπευτικά σε παθήσεις όπως στην οστεοαρθρίτιδα του γονάτου (Migliore, 2015). Η καρνοσίνη, που υπάρχει στους ζωικούς μύες, δρα ως αντιοξειδωτικό και υποστηρίζει την υγεία των μυών και του εγκεφάλου. Επιπλέον, οι ζωικές πηγές παρέχουν βασικές βιταμίνες, όπως η βιταμίνη A, που βρίσκεται στο συκώτι και τα γαλακτοκομικά, η βιταμίνη D από λιπαρά ψάρια και κρόκους αυγών και η βιταμίνη B12 από κρέας, ψάρια και γαλακτοκομικά, οι οποίες παίζουν κρίσιμο ρόλο σε διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες (Ashoori & Saedisomeolia, 2014, Brownlee, 2011).

Όσον αφορά στα BACs που προέρχονται από έντομα, σημαντικά συστατικά που αξιοποιούνται κυρίως από τη φαρμακοβιομηχανία και τη βιομηχανία των καλλυντικών είναι η πρόπολη και η χιτοζάνη. Η χιτοζάνη είναι πολυσακχαρίτης που προέρχεται από τον εξωσκελετό των καρκινοειδών, χρησιμοποιείται για την επούλωση πληγών αλλά και ως συμπλήρωμα διατροφής. Η πρόπολη παράγεται από τις μέλισσες και είναι γνωστή για τις αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές της ιδιότητες ενώ αναδεικνύεται και ως φυσικό συντηρητικό στα τρόφιμα. Γεμάτη αντιμικροβιακές ενώσεις όπως φλαβονοειδή και τερπένια, αναστέλλει αποτελεσματικά



την ανάπτυξη βακτηρίων και μυκήτων και χάρη στις αντιοξειδωτικές της ιδιότητες αποτρέπεται περαιτέρω η αλλοίωση των τροφίμων. Καθώς η προτίμηση των καταναλωτών στρέφεται προς τα φυσικά συστατικά, η πρόπολη προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση στα συνθετικά συντηρητικά (Pant et al., 2024).

Ιδιαίτερα αναδυόμενη είναι η έρευνα σχετικά με νέα BACs που προέρχονται από το θαλάσσιο περιβάλλον, εκτός από αυτά που προέρχονται από τα ψάρια. Παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες για τη βιομηχανία τροφίμων να ενισχύσει τη διατροφική αξία και τα οφέλη για την υγεία σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων διατροφής (Ghosh et al., 2022). Οι θαλάσσιες πηγές, όπως τα άλγη, τα φύκη, οι μικροοργανισμοί και τα ασπόνδυλα, προσφέρουν μια πλούσια ποικιλία BACs με σημαντικές επιδράσεις στην υγεία (Lafarga et al., 2020). Για παράδειγμα, τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα που προέρχονται από μικροάλγη συμβάλλουν στην καρδιαγγειακή υγεία και τη γνωσιακή λειτουργία, ενώ το θαλάσσιο κολλαγόνο που εξάγεται από φύκια υποστηρίζει την υγεία του δέρματος και την επούλωση πληγών (Ghosh et al., 2022; Moi et al., 2018). Επιπλέον, ενώσεις όπως η φυκοκυανίνη από τη σπιρουλίνα, η ασταξανθίνη από θαλάσσιους μικροοργανισμούς και το φουκοϊδάνιο από καφέ φύκη παρουσιάζουν αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές ιδιότητες, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση του ανοσοποιητικού συστήματος και μειώνοντας τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών (Gurpilhares et al., 2019). Αυτά τα BACs βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων, από ποτά και γαλακτοκομικά προϊόντα έως σνακ και συμπληρώματα διατροφής, ενώ η ενσωμάτωσή τους στα σκευάσματα τροφίμων όχι μόνο ενισχύει το διατροφικό τους προφίλ αλλά και ανταποκρίνεται στις προτιμήσεις των καταναλωτών για φυσικά, βιώσιμα συστατικά. Επιπλέον, με τη χρήση BACs θαλάσσιας προέλευσης προάγεται η καινοτομία στη βιομηχανία τροφίμων, για ανάπτυξη πιο υγιεινών επιλογών διατροφής, οδηγώντας στην ανάπτυξη και τη διαφοροποίηση στον τομέα.

Οι μύκητες, συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων ειδών μανιταριών, αποτελούν αξιοσημείωτες πηγές BACs, με γνωστές φαρμακευτικές και διατροφικές ιδιότητες. Πλούσια σε πολυσακχαρίτες όπως οι β-γλυκάνες, τα μανιτάρια παρουσιάζουν ανοσοτροποποιητικές επιδράσεις, ενισχύοντας τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος, ενώ βοηθούν στην πρόληψη και θεραπεία του καρκίνου (Kumar et al., 2021; Sliva, 2010). Επιπλέον, η ποικίλη σειρά





τερπενοειδών που βρίσκονται στους μύκητες, όπως τα γανωδερικό οξύ στα μανιτάρια Reishi, διαθέτει αντιμικροβιακές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, ενισχύοντας τη συνολική υγεία και ευεξία (Walton, 2014; Xu et al., 2010). Σε ορισμένες ποικιλίες μανιταριών απαντώνται άφθονες πολυφαινολικές ενώσεις, ισχυρά αντιοξειδωτικά που συμβάλλουν στην πρόληψη ασθενειών εξουδετερώνοντας τις επιβλαβείς ελεύθερες ρίζες (Walton, 2014). Πέρα από τις θεραπευτικές τους δυνατότητες, τα μανιτάρια προσφέρουν μια πληθώρα θρεπτικών συστατικών, συμπεριλαμβανομένων βιταμινών, μετάλλων και φυτικών ινών, ενώ είναι χαμηλά σε θερμίδες και λίπος (Kumar et al., 2021; Roncero-Ramos et al., 2017). Αυτός ο θρεπτικός πλούτος, σε συνδυασμό με την ιστορική χρήση τους στην παραδοσιακή ιατρική, υπογραμμίζει την ιδιότητα των μανιταριών ως λειτουργικών τροφίμων με γαστρονομική και φαρμακευτική αξία (Bilal et al., 2010). Καθώς το ενδιαφέρον για τα φυσικά συστατικά που προάγουν την υγεία αυξάνεται, τα μανιτάρια συνεχίζουν να προσελκύουν την προσοχή των βιομηχανιών τροφίμων και φαρμάκων, αναδεικνύοντας την ευελιξία και τις δυνατότητές τους για την ενίσχυση της ανθρώπινης υγείας και τον εμπλουτισμό των διατροφικών εμπειριών.

## 1.2 Βιοδραστικά συστατικά φυτικής προέλευσης

Το μεγαλύτερο μέρος των BACs καταλαμβάνουν τα φυτοχημικά. Τα φυτοχημικά συστατικά είναι βιολογικά ενεργές, φυσικοχημικές ενώσεις με θεραπευτικά οφέλη πέρα από αυτά που αποδίδονται στα μακροθρεπτικά και τα μικροθρεπτικά συστατικά των φυτών. Πρόκειται για τα προϊόντα μεταβολισμού των φυτών και χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, στους πρωτογενείς και στους δευτερογενείς μεταβολίτες. Οι πρωτογενείς μεταβολίτες, κυρίως μικρού μοριακού βάρους μόρια, συνδέονται άμεσα με τη φυσιολογική λειτουργία του φυτικού κυττάρου (αναπνοή, φωτοσύνθεση, αφομοίωση και μετακίνηση θρεπτικών ουσιών, σύνθεση σακχάρων, πρωτεϊνών, λιπιδίων). Σε αυτούς περιλαμβάνονται σάκχαρα, αμινοξέα, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, λιπίδια, κουκκεία οξέα (Mondal et al., 2021).

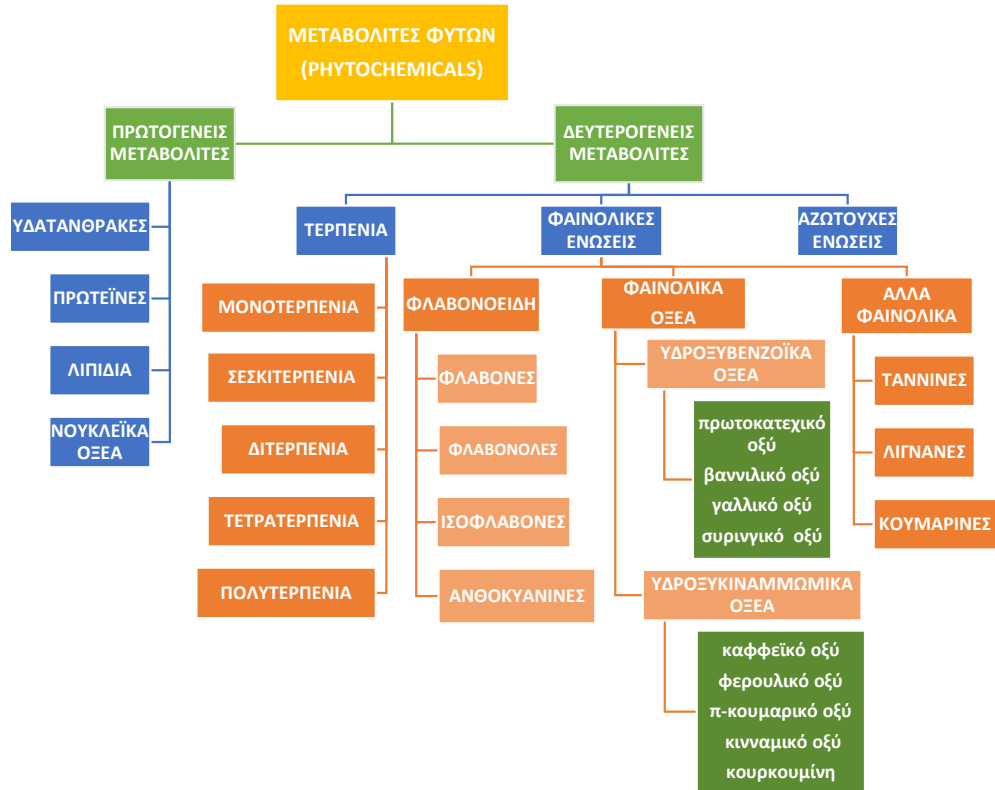
Οι δευτερογενείς μεταβολίτες, που αντιπρόσωποι τους αποτελούν και τις σημαντικότερες κατηγορίες BACs, περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων με ετερογενή χημική δομή και βιολογική δράση. Είναι χημικές ουσίες που παράγονται από το φυτικό κύτταρο, όμως, αντίθετα από τους πρωτογενείς, η δράση τους δεν σχετίζεται άμεσα με τις ζωτικής σημασίας λειτουργίες του φυτού όπως την ανάπτυξη ή την αναπαραγωγή. Συνολικά,



βοηθούν το φυτό να επιβιώσει και να αναπαραχθεί στο περιβάλλον το οποίο ζει, αφού έχει βρεθεί ότι δρουν ως αμυντικές ενώσεις ενάντια σε ασθένειες, αρπακτικά, υπεριώδη ακτινοβολία, παράσιτα και οξειδωτικά (Zhao et al., 2014).

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες, σε αντίθεση με τους πρωτογενείς, παρουσιάζουν μικρή εξάπλωση στα διάφορα είδη φυτών., ενώ θεωρείται ότι υπάρχουν δεκάδες χιλιάδες BACs στα φυτά, με μόνο έναν μικρό αριθμό αυτών να έχει απομονωθεί και αναγνωριστεί (Χiao and Bai, 2019; Singh and Chaudhuri 2018; Cao et al. 2017). Συγκεκριμένες ουσίες, ενδέχεται να εντοπίζονται σε ένα μόνο είδος φυτού ή/και σε συγγενικά τους, κάνοντάς τες μοναδικές ή σπάνιες, ενώ είναι ασυνήθιστο να βρεθεί μια μόνο κατηγορία BACs σε ένα φυτό μεμονωμένα. Τα συστατικά αυτά βρίσκονται σε μείγματα και φαίνεται πως δρουν συνεργιστικά όχι μόνο μεταξύ τους αλλά και με άλλα συστατικά του φυτού (Mondal et al., 2021; Zhao et al., 2014). Στην Εικόνα 1.1 απεικονίζεται η ταξινόμηση στις διαφορετικές κατηγορίες πρωτογενών και δευτερογενών μεταβολιτών των φυτών.





Εικόνα 1.1: Κατηγορίες πρωτογενών και δευτερογενών μεταβολιτών των φυτών.



### 1.2.1 Φαινολικές Ενώσεις (Πολυφαινόλες)

Η μεγαλύτερη και πιο ευρέως διαδεδομένη κατηγορία BACs, είναι οι πολυφαινόλες. Πρόκειται για μια κατηγορία χημικών ενώσεων που αποτελείται από μία ή περισσότερες ομάδες υδροξυλίου (OH) συνδεδεμένες απευθείας σε έναν αρωματικό δακτύλιο. Είναι η μεγαλύτερη πηγή αντιοξειδωτικών στην ανθρώπινη διατροφή και μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί πάνω από 8000 διαφορετικές δομές (Arfaoui, 2021). Αποτελούν προϊόντα απόκρισης των φυτών στην υπεριώδη ακτινοβολία ή σε επιθέσεις παθογόνων. Έχουν είτε απλή δομή (φαινολικά οξέα) είτε πολύπλοκη δομή (φλαβονοειδή). Με βάση τη χημική τους δομή μπορούν να χωριστούν σε πέντε κύριες ομάδες, τα Φαινολικά οξέα, τα φλαβονοειδή, τα στυλβένια, τις κουμαρίνες και τις τανίνες, με τα φλαβονοειδή να είναι ο κύριος αντιπρόσωπός τους (Arfaoui, 2021; Mondal et al., 2021).

Οι πολυφαινόλες είναι σημαντικές φυσικές φυτοχημικές ενώσεις που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη γεύση, το χρώμα και τις θρεπτικές ιδιότητες των φυτικών τροφίμων, όπως τα λαχανικά, τα φρούτα, τα δημητριακά, ο καφές, το τσάι, τα όσπρια, το κακάο, το κρασί και άλλα ποτά που παρασκευάζονται από μούρα (Zhao et al., 2014). Η περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των πηγών τροφίμων και στα τρόφιμα του ίδιου είδους (Mondal et al., 2021).

Λόγω της αφθονίας τους στην ανθρώπινη διατροφή, τα τελευταία χρόνια διεξάγονται πολυάριθμες μελέτες με σκοπό τη διερεύνηση των επιδράσεων των διαιτητικών πολυφαινολών, συμπεριλαμβανομένων των απλών φαινολικών, των κουμαρινών, των λιγνάνων, των φλαβονοειδών, των ισοφλαβονοειδών, των ανθοκυανών, των τανινών, των στυλβενών, στην υγεία. Αυξάνονται έτσι τα στοιχεία που αποδεικνύουν ότι οι πολυφαινόλες εκτός από ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, έχουν και διάφορα άλλα οφέλη για τον άνθρωπο, όπως πρόληψη ασθενειών που προκαλούνται από οξειδωτικό στρες και πρόληψη ιδίως καρδιαγγειακών ασθενειών, νευροεκφυλιστικών παθήσεων όπως και καρκίνων (Zhao et al., 2014, Bravo, 2009).

#### Φλαβονοειδή

Τα φλαβονοειδή (Πίνακας 1.1) αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες κατηγορίες φαινολικών ενώσεων, και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον χάρη στις βιολογικές τους δραστηριότητες, αφού εμφανίζουν αντιοξειδωτικές, αντιμικροβιακές, αντιμεταλλαξιογόνες, κутταροτοξικές και αντικαρκινικές ιδιότητες (Karasawa and Mohan 2018; Orhan et al., 2010).



Συνήθως απαντώνται στα φρούτα και τα λαχανικά με τη μορφή γλυκοζιτών ή ακυλογλυκοζιτών. Η βασική δομή των флаβονοειδών αποτελείται από δύο δακτυλίους βενζολίου (σκελετός διφαινυλοπροπανίου) που συνδέονται με μια αλυσίδα τριών ατόμων άνθρακα που σχηματίζει έναν κλειστό ετεροκυκλικό δακτύλιο πυρανίου με βενζολικό δακτύλιο (C6-C3-C6) (Εικόνα 1.2). Ανάλογα με την κατάσταση οξείδωσης του κεντρικού πυρανικού δακτυλίου μπορούν να υποδιαιρεθούν στις флаβονόλες (μήλα, βατόμουρα), флаβόνες, флаβανόνες (εσπεριδοειδή) και флаβανόλες (σταφύλια) ή κατεχίνες, ενώ οι ισοφλαβονες και οι ανθοκυανιδίνες (μούρα και σταφύλια), ανήκουν επίσης στα флаβονοειδή (Karasawa and Mohan, 2018; Zhao et al., 2014).

Στα φρούτα και τα λαχανικά απαντώνται με τη μορφή γλυκοζιτών ή ακυλογλυκοζιτών, ενώ τα ακυλιωμένα, μεθυλιωμένα και θειικά μόρια είναι λιγότερο συχνά και σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Οι флаβόνες είναι από τα πιο διαδεδομένα флаβονοειδή που συναντώνται στα φυτικά τρόφιμα. Διαδραματίζουν ποικίλους ρόλους στα φυτά και είναι μαζί με τις флаβονόλες οι κύριες χρωστικές πηγές των λευκών και κρεμ λουλουδιών (Hostetler et al., 2017). Όσον αφορά στη δομή τους, η διαφορά τους από τα υπόλοιπα флаβονοειδή έγκειται στο ότι διαθέτουν διπλό δεσμό μεταξύ C2 και C3 του βασικού σκελετού των флаβονοειδών, δεν έχουν υποκαταστάτη στη θέση C3, ενώ οξειδώνονται στη θέση C4 (Εικόνα 1.2) (Hostetler et al., 2017). Έχει βρεθεί ότι, όπως και άλλα флаβονοειδή, δρουν προστατευτικά ενάντια στη UVB ακτινοβολία στα φυτά (Hostetler et al., 2017)

Οι флаβόνες έχουν συνήθως τη μορφή γλυκοζιτών της απιγενίνης και της λουτεολίνης στα φυτά. Βρίσκονται μεταξύ άλλων σε μεγάλες ποσότητες στο σέλινο, στα κύτταρα του οποίου η σύνθεση των флаβονών, ρυθμίζεται από το υπεριώδες φως (Hostetler et al., 2017; Zhao et al., 2014). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις απιγενίνης και λουτεολίνης στα φύλλα του σέλινου να είναι κατά πολύ υψηλότερες (>20 φορές) από εκείνες των στελεχών, ενώ η ίδια διαφορά παρατηρείται και σε σύγκριση με τα φυτά που καλλιεργούνται σε θερμοκήπιο και δεν υπάρχει άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία (Hostetler et al., 2017, Justesen et al., 1998) Από τα στελέχη και τους σπόρους του σέλινου γίνεται παραλαβή και αιθέριων ελαίων, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως ως αρωματικά και για την παρασκευή χυμών, τσαγιού και φαρμακευτικών προϊόντων (Zhao et al., 2014).



Υψηλές συγκεντρώσεις флаβονών απαντώνται σε διάφορα βότανα και φύλλα τσαγιού, με τις υψηλότερες από αυτές να βρίσκονται στο χαμομήλι και τον μαϊντανό, με έως και 5320 mg Ο-γλυκοζίτες απιγενίνης/100 g αποξηραμένων ανθέων χαμομηλιού και 1350 mg/100 g αποξηραμένων φύλλων μαϊντανού (28, 29)(Hostetler et al., 2017). Στα εσπεριδοειδή επίσης βρίσκονται μικρές συγκεντρώσεις μεθυλιωμένων флаβονών, όπως ακακετίνη, διοσμετίνη και γλυκοζίτες χρυσοεριόλης. Μεταξύ των φρέσκων τροφίμων, ο φρέσκος μαϊντανός παρουσίασε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις флаβονών (Hostetler et al., 2017, Mattila et al., 2000) Διακυμάνσεις παρουσιάζονται στη συγκέντρωση флаβονών σε πολλά άλλα νωπά τρόφιμα, ενώ τα λαχανικά με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις ανήκουν στις οικογένειες του καρότου (Ariaceae) και του ηλιάνθου (Asteraceae). Όσον αφορά στα δημητριακά και τα όσπρια, υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν το κεχρί και το σόργο (Hostetler et al., 2017).

Η απιγενίνη και η λουτεολίνη που βρίσκονται σε αρκετά υψηλή συγκέντρωση στο σέλινο, σε συνδυασμό και με άλλα BACs, συμβάλλουν στα διάφορα οφέλη που παρέχει στην υγεία, το εκχύλισμα σέλινου. Τέτοια οφέλη είναι η μείωση της αρτηριακής πίεσης, μείωση των επιπέδων ολικής χοληστερόλης και LDL χοληστερόλης, ενώ παρουσιάζει αντιφλεγμονώδεις και αντικαρκινικές δραστηριότητες (Zhao et al., 2014, Shahidi and Nacz 2003). Έχει βρεθεί επίσης ότι εκτός από αντικαρκινική και αντιφλεγμονώδη δράση, η απιγενίνη παρουσιάζει υποτασική, αντιβακτηριδιακή, διουρητική δράση και νευροπροστατευτική δράση και προάγει τη χαλάρωση των λείων μυών, ενώ έχει μελετηθεί με επιτυχία και η δράση της ενάντια στην αμνησία, το Alzheimer και την κατάθλιψη (Salehi et al., 2019, Zhao et al., 2014). Η λουτεολίνη παρουσιάζει επίσης αντικαρκινικές, αντιοξειδωτικές, αντιμεταλλαξιγόνες, αντιφλεγμονώδεις και αντιβακτηριδιακές ιδιότητες, ενώ φαίνεται να έχει και νευροπροστατευτικές δράσεις (Nabavi et al., 2015, Zhao et al., 2014).

Οι флаβονόλες αποτελούν μια από τις πιο αντιπροσωπευτικές κατηγορίες флаβονοειδών, που είναι ευρέως διαδεδομένες στα φυτά και έχουν ρόλους – κλειδιά στον μεταβολισμό τους, τις αναπαραγωγικές διαδικασίες, αλλά και στην προστασία από υπεριώδεις ακτινοβολίες και μικροβιακές επιθέσεις (Barreca et al., 2021). Χαρακτηρίζονται παρόμοια με τις флаβόνες, ενώ η διαφορά τους έγκειται στην παρουσία μιας υδροξυλομάδας (η μόνη μη φαινολική) στη θέση 3 (Barreca et al., 2021). Ωστόσο, παρά την ομοιότητά τους, στα φυτά δεν



έχει παρατηρηθεί ούτε η οξείδωση των φλαβονών σε φλαβονόλες ούτε η αναγωγή των των φλαβονολών σε φλαβόνες (Barreca et al., 2021). Μελέτες δομής-δραστηριότητας έχουν καθορίσει ότι ο αριθμός και η θέση των υδροξυλομάδων είναι κρίσιμες για τη χημική δομή τους και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις βιολογικές τους δραστηριότητες (Karasawa and Mohan, 2018, Xiao, 2015).

Οι φλαβονόλες συνήθως παρουσιάζονται σε συζευγμένη μορφή ως γλυκοζίτες, μπορούν ωστόσο να βρεθούν και στις πολυμεθοξυλιωμένες μορφές τους (Barreca et al., 2021; Zhao et al., 2014). Μέχρι σήμερα έχουν ταυτοποιηθεί πάνω από 900 μεμονωμένες φλαβονόλες από διάφορα είδη φυτών με τις κερκετίνη, μυρικετίνη και καμφερόλη να είναι οι τρεις πιο κοινές.(Barreca et al., 2021; Zhao et al., 2014).

Από τις φλαβονόλες, η πιο διαδεδομένη και πιο ενδιαφέρουσα για το ερευνητικό κοινό, είναι η κερκετίνη, που αποτελεί και το φλαβονοειδές που βρίσκεται στη μεγαλύτερη αφθονία στην ανθρώπινη διατροφή. Έχει βρεθεί ότι πάρα πολλά φρούτα και λαχανικά περιέχουν αξιοσημείωτες ποσότητες κερκετίνης, τόσο ως αγλυκόνη, όσο και στη γλυκοζυλιωμένη μορφή της (Barreca et al., 2021). Η κάπαρη περιέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα κερκετίνης από τα φυτικά τρόφιμα (~234 mg/100 g) (Giuffrida, Salvo, Ziino, Toscano, & Dugo, 2002), ενώ βρίσκεται επίσης σε σημαντικές ποσότητες στα μούρα (μαύρο βατόμουρο κουφοξυλιά, αρώνια κ.ά.) αλλά και στα φύλλα διαφόρων φυτών όπως το υποφαές, και η αγκινάρα και σε βότανα όπως ο άνθος, η ρίγανη, το σκληρόχορτο και ο κόλιανδρος (Barreca et al., 2021). Η κερκετίνη βρίσκεται συχνά, σε πολλά εσπεριδοειδή και χυμούς, όπως επίσης και στο φαγόπυρο, ως ένα από τα γλυκοζυλιωμένα παράγωγά της, τη ρουτίνη (Barreca et al., 2021). (Gattuso, Barreca, Gargiulli, Caristi, & Leuzzi, 2007) (Kreft, Fabjan, & Yasumoto, 2006). Το κρεμμύδι είναι μια από τις πλουσιότερες πηγές φλαβονοειδών και τα φύλλα του περιέχουν 1.497,5 mg/kg κερκετίνης, 832,0 mg/kg καμφερόλης και 391,0 mg/kg λουτεολίνης, ενώ και το τζίντζερ αποτελεί ικανοποιητική πηγή φλαβονολών. Βασικές πηγές φλαβονολών αποτελούν επίσης, το κόκκινο κρασί και το μαύρο τσάι, με περιεκτικότητα έως και 4,17 mg κερκετίνης/g. Άλλα φρούτα και λαχανικά που αποτελούν καλές πηγές φλαβονολών είναι εκτός από τα μούρα, τα μήλα, το μπρόκολο, τα πράσα και τα κατσαρά λάχανα (Zhao et al., 2014). Η βιοσύνθεση των φλαβονολών φαίνεται ότι διεγείρεται από το φως



και έτσι η συγκέντρωση των φλαβονολών είναι γενικά υψηλότερη στα εξωτερικά μέρη (φλούδες, φύλλα) των φυτικών τροφίμων (Zhao et al., 2014).

Η μυρικετίνη παρουσιάζει ένα δομικό χαρακτηριστικό (παρουσία ενός δακτυλίου τύπου πυρογαλλόλης B), που την καθιστά ιδιαίτερα αποτελεσματική όσον αφορά την αντιοξειδωτική της δράση (Gurta et al, 2020). Τα φύλλα μάραθου περιέχουν την υψηλότερη αναφερόμενη ποσότητα μυρικετίνης, ενώ ακολουθεί ο μαϊντανός (14,8 mg/100 g) (Lugasi & Honari, 2000). Συμπληρώματα διατροφής που παράγονται από ίνες χαρουπιού φαίνεται επίσης ότι είναι πλούσια πηγή μυρικετίνης.

Θεωρούμενη ως η πιο άφθονη διατροφική φλαβονόλη, οι πιθανές επιδράσεις και τα οφέλη της κερκετίνης στην υγεία παρουσιάζουν εδώ και δεκαετίες ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον. Εκτός από ισχυρό αντιοξειδωτικό, είναι δραστική ενάντια σε διάφορες μορφές καρκίνου, καρδιαγγειακές και νευροεκφυλιστικές ασθένειες, ενώ πραγματοποιείται χημική τροποποίησή της που οδηγεί σε νέα παράγωγα με βελτιωμένες βιολογικές επιδράσεις, καλύτερη βιοδιαθεσιμότητα και αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Karasawa and Mohan, 2018). Επίσης, η κερκετίνη παρουσιάζει ιδιότητες κατά της αθηροσκλήρωσης, αντιφλεγμονώδεις και ιδιότητες μείωσης της χοληστερόλης και προστατεύει την υγεία των ματιών (Zhao et al., 2014, Erlund 2004). Αντικαρκινικές ιδιότητες μέσω διαφόρων πολλαπλών μηχανισμών δράσης παρουσιάζει και η καμφερόλη (Karasawa and Mohan, 2018). Η μυρικετίνη, που αφθονεί σε φρούτα όπως τα μούρα και τα σταφύλια, δρα θεραπευτικά ενάντια στον σακχαρώδη διαβήτη, ενώ υπάρχουν ενδείξεις ότι βελτιώνει τη μνήμη, δρώντας αποτελεσματικά ως φαρμακευτικό στόχος ενάντια στη νόσο του Alzheimer, ενώ φαίνεται ότι έχει και αντικαρκινική δράση (Karasawa and Mohan, 2018).

Οι φλαβανόνες είναι άχρωμες ενώσεις με δομικό χαρακτηριστικό τους την απουσία διπλού δεσμού στη θέση 2, 3 του πυρονικού δακτυλίου (Εικόνα 1.2). Βρίσκονται σε αφθονία στα εσπεριδοειδή και έχουν ένα χαρακτηριστικό τμήμα αγλυκόνης που συνδυάζεται με γλυκοζίτες και σχηματίζεται μια σειρά από φλαβανόνες (Karasawa and Mohan, 2018; Khan et al., 2014). Υψηλές συγκεντρώσεις φλαβανόνων εμφανίζονται μόνο στα εσπεριδοειδή, ενώ άλλα φυτά, όπως η ντομάτα και η μέντα, περιέχουν χαμηλές συγκεντρώσεις φλαβανόνων (Zhao et al., 2014). Οι επικρατέστερες φλαβανόνες στο πορτοκάλι είναι η εσπεριδίνη και η ναριρουτίνη, στο λεμόνι





η εριοικτρίνη και στο γκρέιπφρουτ είναι η ναριουτίνη και η ναρινγίνη, ενώ η ναριουτίνη και η ναρινγκίνη έχουν την ίδια αγλυκόνη, τη ναρινγκενίνη, και η εσπεριδίνη είναι ο γλυκοζίτης της εσπερετίνης, ενώ η εριοικτρίνη περιέχει την αγλυκόνη εριοδικτυόλη (Karasawa and Mohan, 2018). Οι φλαβανόνες είναι υπεύθυνες και για την πικρή γεύση στα εσπεριδοειδή, ενώ η έντασή της εξαρτάται από τους υποκαταστάτες. Ενώσεις με υποκαταστάτες R1= H, R2= OH, OCH<sub>3</sub> όπως η ναριντζίνη και η πορσίνη είναι 10 φορές πιο πικρές από αυτές με R1= OH, R2= OH, OCH<sub>3</sub> όπως η νεοεσπεριδίνη και η νεοεριοικτρίνη. Έτσι, η ναριντζίνη είναι το πικρό συστατικό του γκρέιπφρουτ, η νεοεσπεριδίνη είναι το πικρό συστατικό των πικρών πορτοκαλιών, ενώ η εσπεριδίνη είναι το άπικρο ισομερές που βρίσκεται στα πορτοκάλια (Belitz et al., 2014).

Από ένα ποτήρι χυμό πορτοκαλιού, μπορούν να ληφθούν 40 – 140 mg γλυκοζιτών φλαβανόνης, ωστόσο ολόκληρος ο καρπός του πορτοκαλιού μπορεί να περιέχει πέντε φορές αυτή τη ποσότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί η υψηλότερη περιεκτικότητα σε φλαβανόνες υπάρχει στους στερεούς ιστούς και κυρίως στο λευκό σπογγώδες τμήμα και στις μεμβράνες που χωρίζουν τα τμήματα των καρπών πορτοκαλιού (Kaur & Kaur, 2014).

Έπειτα από μελέτες κυρίως σε ζώα, έχει επιβεβαιωθεί η αντικαρκινική δράση της εσπεριδίνης, της ναρινγενίνης, καθώς και του χυμού των εσπεριδοειδών. Ο χυμός μανταρινιού Satsuma (πλούσιος σε εσπεριδίνη), έχει πιθανή χημειοπροστατευτική δράση κατά της καρκινογένεσης του παχέος εντέρου και των πνευμόνων σε αρουραίους. Παράλληλα άλλες μελέτες έχουν αποδείξει ότι η εσπεριδίνη και η ναρινγκίνη μπορούν να προλάβουν τις καρδιαγγειακές νόσους, ενώ η ναρινγίνη ενδέχεται να έχει και αντιφλεγμονώδεις δράσεις, ωστόσο εμφανίζουν ασθενείς αντιοξειδωτικές δράσεις (Zhao et al., 2014 Lim & Koffas, 2010).

Πρόσφατες μελέτες συνδέουν τη ναριουτίνη, που βρίσκεται άφθονη στα πορτοκάλια και την εσπεριδίνη με τη θεραπεία της νόσου του Alzheimer (Karasawa and Mohan, 2018) (Chakraborty & Basu, 2017). Άλλες μελέτες δείχνουν ότι η ναρινγκενίνη εξασθενεί τον πολλαπλασιασμό του ιού του δάγκειου πυρετού σε ανθρώπινα μονοκύτταρα αποδεικνύοντας ότι αποτελεί πιθανό υποψήφιο για θεραπείες του δάγκειου πυρετού.

Οι φλαβανόλες είναι φλαβονοειδείς ενώσεις που στον πυρήνα του μορίου τους έχουν μια υδροξυλομάδα. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι φλαβαν-3-ολες (flavan-3-ols), οι 3, 4 φλαβονοδιόλες και οι προανθοκυανιδίνες (συμπυκνωμένοι ταννινικοί παράγοντες) και



πρόκειται για άχρωμες ενώσεις που απαντώνται σε όλα τα συνηθισμένα φρούτα (Belitz et al., 2014). Οι φλαβαν-3-ολες είναι οι κατεχίνες, η μονομερής μορφή των προανθοκυανιδινών και συναντώνται σε ποικίλα είδη φυτών.

Η κατεχίνη και η επικατεχίνη είναι οι φλαβανόλες που βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα στα φρούτα, ενώ οι κύριες φλαβανόλες που απαντώνται στα σταφύλια, σε ορισμένους σπόρους των ψυχανθών και βασικότερα, στο τσάι είναι γνωστές ως γαλλοκατεχίνες, επιγαλλοκατεχίνες και γαλλικές επιγαλλοκατεχίνες (Zhao et al., 2014, D'Archivio et al. 2007). Από τα φρούτα, το βερίκοκο έχει την υψηλότερη συγκέντρωση κατεχινών (250 mg/kg νωπού βάρους), ενώ και το κρασί μπορεί να φτάσει συγκέντρωση έως και 300 mg/L. Οι σημαντικότερες όμως πηγές κατεχινών είναι το πράσινο τσάι και το κακάο. Ένα μόνο φλιτζάνι πράσινο τσάι μπορεί να περιέχει έως 200 mg κατεχινών, ενώ η μαύρη σοκολάτα περιέχει περίπου 54 mg κατεχινών ανά 100 g (Zhao et al., 2014, D'Archivio et al. 2007). Το μαύρο τσάι, δεν θεωρείται πλούσιο σε κατεχίνες, καθώς για να παραχθεί πρέπει να υποβληθεί στη διαδικασία της ζύμωσης, κατά την οποία, οι μονομερείς φλαβόνες που υπάρχουν στα φύλλα του τσαγιού, οξειδώνονται σε δύο τύπους πιο σύνθετων συμπυκνωμένων πολυφαινολών, τις θεαφλαβίνες και τις θεαρουβινίνες (D'Archivio et al. 2007). Οι κατεχίνες έχουν μελετηθεί εκτενώς για τις αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές τους δράσεις, ενώ υπάρχουν επιστήμονες που έχουν συνδέσει την κατανάλωση τσαγιού με την πρόληψη διαφόρων μορφών καρκίνου όπως επίσης και με την προστασία από καρδιαγγειακές παθήσεις (Balashova et al., 2018, Ottaviani et al., 2018, Zhao et al., 2014).

Οι ανθοκυανίνες ανήκουν επίσης στα φλαβονοειδή και αποτελούν τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη ομάδα υδατοδιαλυτών χρωστικών ουσιών, στις οποίες οφείλεται το ροζ, κόκκινο, μπλε και μωβ χρώμα διαφόρων φρούτων, λουλουδιών, λαχανικών και δημητριακών καρπών (Shahidi and Naczk 2004). Οι ανθοκυανίνες στα φυτά εντοπίζονται κυρίως σε συζευγμένη μορφή ως γλυκοζίτες. Οι βασικές τους δομές χαρακτηρίζονται από δύο αρωματικούς δακτυλίους A και B που συνδέονται με έναν ετεροκυκλικό δακτύλιο C που διαθέτει οξυγόνο και ονομάζονται ανθοκυανιδίνες. Έχουν βρεθεί αρκετές δεκάδες διαφορετικές ανθοκυανιδίνες με τις πιο συνηθισμένες να είναι η κυανιδίνη, πελαργονιδίνη, πεονιδίνη, δελφινιδίνη, πετουνιδίνη και μαλβιδίνη. Από αυτές, οι κυανιδίνες και οι δελφινιδίνες αποτελούν τις πιο κοινές ομάδες



φυσικών ανθοκυανών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι ανθοκυανίνες είναι εξαιρετικά αντιδραστικές ουσίες μέσα στους φυτικούς ενώ επηρεάζονται από την επεξεργασία τροφίμων με τρόπο που μπορεί να προκαλέσει μετατροπή τους σε διαφορετικά μόρια, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση ή ακόμα και την απώλεια του χρώματος. Οι ομάδες υποκαταστατών στον δακτύλιο Β των ανθοκυανιδίων και οι συνθήκες pH καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον χρωματικό κορεσμό και τη σταθερότητα των ανθοκυανινών. Αύξηση της υδροξυλίωσης προκαλεί μια μετατόπιση προς το κυανού χρώμα (πελαργονιδίνη -> κυανιδίνη -> δελφινιδίνη), ενώ ο σχηματισμός γλυκοζιτών και μεθυλίωση προκαλεί μια μετατόπιση προς το ερυθρό χρώμα (πελαργονιδίνη -> πελαργονιδιο-3-γλυκοζίτης, κυανιδίνη -> πεονιδίνη) (Belitz et al., 2014). Οι ανθοκυανίνες είναι σχετικά σταθερές σε όξινα διαλύματα που παρουσιάζουν κόκκινο χρώμα και ασταθείς σε ουδέτερες και ασθενώς όξινες συνθήκες (Zhao et al., 2014, Tsoa 2010).

Την κύρια πηγή των ανθοκυανινών αποτελεί ο καρπός του φυτού και συνήθως, η περιεκτικότητα του καρπού σε ανθοκυανίνες είναι ανάλογη με την ένταση του χρώματος (Zhao et al., 2014, Yildiz 2010). Οι φράουλες και τα κεράσια έχουν περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες περίπου 0,15 mg και 0,45 mg ανά g νωπού βάρους αντίστοιχα. Άλλα είδη μούρων που παρουσιάζουν υψηλότερη ένταση χρώματος, όπως για παράδειγμα τα μαύρα φραγκοστάφυλα και τα βατόμουρα, μπορούν να περιέχουν 2-4 mg ανθοκυανίνες ανά g νωπού βάρους. Ένα λίτρο κρασιού, μπορεί να δώσει 200-350 mg ανθοκυανίνες, αποτελώντας και αυτό πλούσια πηγή ανθοκυανινών, οι οποίες κατά την παλαιώσή του μετατρέπονται σε διάφορες σύνθετες δομές (Zhao et al., 2014, Yildiz 2010). Διάφορα φυλλώδη και ριζώδη λαχανικά καθώς και τα δημητριακά αποτελούν επίσης διατροφικές πηγές ανθοκυανινών.

Αρκετές μελέτες ο αριθμός των οποίων αυξάνεται συνεχώς αποδεικνύουν τις ευεργετικές ιδιότητες που έχουν οι ανθοκυανίνες και τα παραγόμενα εκχυλίσματά τους, στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων (Zhao et al., 2014). Μελέτη στην οποία διερευνήθηκαν ανθοκυανίνες του βατόμουρου, δείχνει ότι μεταβολίζονται εύκολα σε διάφορα παράγωγα φαινολικών οξέων, συμβάλλοντας στην ανθρώπινη υγεία (Karasawa 2017). Τόσο *in vitro*, *in vivo* και κλινικές μελέτες, περιγράφουν τις προστατευτικές επιδράσεις και τον πολυθεραπευτικό ρόλο των ανθοκυανινών, συμπεριλαμβανομένης της αντιοξειδωτικής δράσης, της

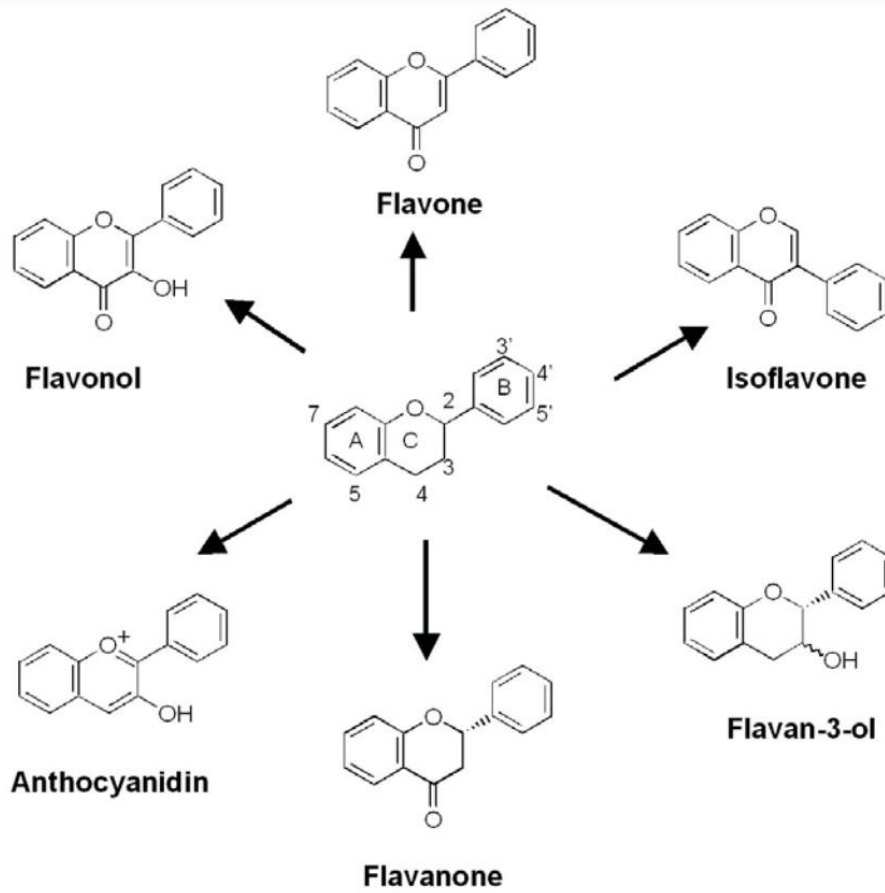


καταπολέμησης του οιδήματος, της μείωσης της διαπερατότητας των τριχοειδών αγγείων, της αύξησης της αναγέννησης της οπτικής πορφύρας, της βελτίωσης της όρασης στο σούρουπο, της αντιφλεγμονώδους δράσης και της αντικαρκινικής δράσης οφέλη τους κατά των χρόνιων ασθενειών (Karasawa 2017, He and Giusti 2010).

Οι ισοφλαβόνες, αποτελούν υποομάδα των φυτοοιστρογόνων, ενώσεων φυτικής προέλευσης που είναι δομικά ανάλογες με τις ανθρώπινες οιστρογονικές ορμόνες. Η χημική τους δομή περιλαμβάνει δύο αρωματικούς δακτυλίους που συνδέονται με γέφυρα τριών ανθράκων, προσδίδοντας οιστρογονική δράση. Οι κύριες ισοφλαβόνες που βρίσκονται σε διατροφικές πηγές περιλαμβάνουν τη γενιστεΐνη, τη δαιϊδζεΐνη και τη γλυσιτεΐνη. Κάθε μία από αυτές τις ενώσεις υπάρχει σε τέσσερις χημικές μορφές, μη συζευγμένη (αγλυκόνη), συζευγμένη με σάκχαρα (γλυκοζίτης ισοφλαβονών), ακετυλογλυκοζίτες και μηλονυλογλυκοζίτες (Zhao et al., 2014). Οι ενώσεις αυτές προέρχονται κυρίως από φασόλια σόγιας και τα προϊόντα που προέρχονται από σόγια και είναι οι κύριες πηγές διαιτητικών ισοφλαβονών στην ανθρώπινη διατροφή. Οι συγκεντρώσεις των ισοφλαβονών στα προϊόντα αυτά ποικίλλουν γενικά ανάλογα με τη γεωγραφική ζώνη, τις συνθήκες καλλιέργειας και την επεξεργασία, ωστόσο σύμφωνα με μελέτες, φαίνεται να έχουν ένα από τα υψηλότερα ποσοστά εντερικής απορρόφησης σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες φλαβονοειδών (Selma et al., 2009, Costain, 2001).

Τα φασόλια σόγιας και τα προϊόντα που προέρχονται από σόγια αποτελούν σημαντικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής σε διάφορους πολιτισμούς, με έμφαση στους Ασιατικούς, στους οποίους έχει παρατηρηθεί μειωμένος κίνδυνος για την εμφάνιση ορμονοεξαρτώμενων μορφών καρκίνου, όπως του μαστού, του προστάτη και του παχέος εντέρου (Zhao et al., 2014). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι ισοφλαβόνες, ως φυτοοιστρογόνα μπορούν να συνδεθούν με τους υποδοχείς οιστρογόνων των θηλαστικών και να προκαλέσουν οιστρογονικές ή/και αντιοιστρογονικές επιδράσεις τόσο *in vitro* όσο και *in vivo* (Yang et al., 2022, Kushwaha et al. 2014).





Εικόνα 1.2: Βασική δομή των φλαβονοειδών (εικόνα που έχει εξαχθεί από τους Nishiumi et al., 2011).



**Πίνακας 1.1:** Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες φλαβονοειδών.

	Πηγές	Δράση	Βιβλιογραφία
<b>Φλαβονόλες</b>			
Κερκετίνη	κάππαρη, κρεμμύδι, σκόρδο, διάφορα μούρα, κόκκινο κρασί, άνηθος, τζίντζερ, ρίγανη, σκηρόχορτο, κόλιανδρος, μαύρο & πράσινο τσάι, μπρόκολο, πράσα, κατσαρά λάχανα, σταφύλια, μήλα, υποφαές, αγκινάρα, καυκαλήθρα	Αντιοξειδωτική, αντικαρκινική, καρδιοπροστατευτική, αντιδιαβητική, αντιφλεγμονώδης, νευροπροστατευτική, κατά της αθηροσκλήρωσης, προστατεύει την υγεία των ματιών	(Barreca et al., 2021) (Karasawa and Mohan, 2018) (Zhao et al., 2014, Erlund 2004)
Μυρικετίνη	φύλλα μάραθου, μαϊντανός, γκότζι μπέρι, κράνμπερι, μύρτιλλα, μαύρο φραγκοστάφυλο, ίνες χαρουπιού, κρεμμύδι, μπρόκολο, πράσα, κατσαρά λάχανα	Αντιοξειδωτική, αντικαρκινική, αντιδιαβητική, αντιφλεγμονώδης, ωφέλιμη κατά του Alzheimer	
Καμφερόλη	Κάππαρη, σαφράν, ρόκα, κινέζικο λάχανο, kale, κάρδαμο, τζίντζερ, κρεμμύδι	Αντικαρκινική, αντιοξειδωτική	
<b>Φλαβόνες</b>			
Απιγενίνη	Πολλά φρούτα και λαχανικά, σέλινο, μαϊντανός, χαμομήλι, καρότο, ηλίανθος	Αντικαρκινογόνος, αντιφλεγμονώδης, αντιβακτηριακή, αντιδιαβητική, νευροπροστατευτική, αντικαταθιπτική, ωφέλιμη κατά της αμνησίας και του Alzheimer, διουρητική, προάγει τη χαλάρωση των λείων μυών, υποτασική	(Salehi et al., 2019) (Zhao et al., 2014)
Λουτεολίνη	Μπρόκολο, σέλινο, πράσινη πιπεριά, μαϊντανός, ρίγανη, καρότα, δεντρολίβανο	Αντικαρκινογόνος, αντιοξειδωτική, αντιμεταλλαξιογόνος, αντιφλεγμονώδης, αντιβακτηριακή	(Nabavi et al., 2015) (Zhao et al., 2014)
<b>Φλαβανόνες</b>			
Εσπεριδίνη	Εσπεριδοειδή, πορτοκάλι, μανταρίνι, κάσιους, δαμάσκηνα	Αντιοξειδωτική, αντικαρκινογόνος, υπολιπιδαιμική, αγγειοπροστατευτική,	(Martinez et al., 2017) (Karasawa and Mohan, 2018) (Hamzalioglu and Gökmen, 2016)



Ναριουτίνη	Πορτοκάλι, γκρέιπφρουτ, λεμόνι	Αντικαρκινική, νευροπροστατευτική (κατά της νόσου του Alzheimer), αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδης, ηπατοπροστατευτική, αντικαταθλιπτική	(Mitra et al., 2022)
Ναριγκενίνη	Γκρέιπφρουτ, ντομάτα	Αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδης, καρδιοπροστατευτική, ρυθμιστής του ανοσοποιητικού συστήματος	(Pan et al., 2024)
Εριοικτρίνη	Λεμόνι	Αντικαρκινική, αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδης, κατά της αθηροσκλήρωσης, νευροπροστατευτική, νεφροπροστατευτική	(Yao et al., 2022)
<b>Φλαβονόλες (φλαβαν-3-όλες)</b>			
Κατεχίνες	Πράσινο τσάι, κακάο, μαύρη σοκολάτα, σταφύλια, βερίκοκο, κεράσι	Αντιφλεγμονώδης, αντιοξειδωτική, αντικαρκινική	Balashova et al., 2018)(Zhao et al., 2014)(Ottaviani et al., 2018)(Dixit et al., 2023)
<b>Ισοφλαβόνες</b>			
Γενιστεΐνη, δαϊδζεΐνη, γλυσιστεΐνη	Φασόλια σόγιας, προϊόντα σόγιας, όσπρια	Αντιοξειδωτική, ιδιότητα μίμησης οιστρογόνων, αντικαρκινική	(Zhao et al., 2014). (Kushwaha et al. 2014) (Yang et al., 2022).
<b>Ανθοκυανίνες</b>			
Κυανιδίνη, δελφινιδίνη, πελαργονιδίνη, πεονιδίνη, πετουνιδίνη, μαλβιδίνη	Κόκκινα και μωβ μούρα, φράουλες, κεράσια, κόκκινα σταφύλια, μαύρα καρότα, κόκκινο λάχανο, μωβ κουνουπίδι, δαμάσκηνα, μήλα, μελιτζάνα, ρόδι,	Αντιοξειδωτική, καρδιοπροστατευτική, μειώνει τη χοληστερόλη, αντικαρκινική, βελτίωσης όρασης	(Mattioli et al., 2020) Karasawa 2017, He and Giusti 2010



## Φαινολικά οξέα

Τα φαινολικά οξέα (Πίνακας 1.2), είναι σημαντική ομάδα ΒΑCs που ανήκουν στην κατηγορία των πολυφαινολών και είναι οι κύριες αντιοξειδωτικές πηγές μεταξύ των φυτικών τροφίμων (Karasawa and Mohan, 2018). Άλλα διατροφικά πλεονεκτήματα και λειτουργίες που καθιστούν τα φαινολικά οξέα τόσο σημαντικά είναι οι αντιφλεγμονώδεις, αντιμικροβιακές, ανοσορρυθμιστικές, αντιθρομβωτικές, αντιαλλεργικές, αντιαθηρογόνες, καρδιοπροστατευτικές, αντικαρκινικές και αντιδιαβητικές ιδιότητες (Rashmi et al. 2020, Anantharaju et al., 2016). Εκτός από την αξιοποίησή τους για τα οφέλη στην υγεία, χρησιμοποιούνται και ως πρόσθετα τροφίμων, για τη διατήρηση του χρώματος, την αναστολή της οξειδωσης των λιπιδίων και καθυστέρηση μικροβιακής ανάπτυξης τα οποία συμβάλλουν στην παράταση της ζωής του προϊόντος (Rashmi et al. 2020, Rahmanian et al., 2014).

Τα φαινολικά οξέα απαντώνται είτε δεσμευμένα, είτε σε ελεύθερη μορφή, σε φρούτα, λαχανικά, μπαχαρικά, δημητριακά και ποτά, ενώ κατανέμονται σε διάφορα μέρη των φυτών (Arfaoui, 2021; Karasawa and Mohan, 2018). Είναι αρωματικοί δευτερογενείς μεταβολίτες, οι οποίοι συμβάλλουν στα τυπικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τροφίμων φυτικής προέλευσης, προσδίδοντας χρώμα, γεύση, στυπτικότητα και σκληρότητα (Rashmi et al. 2020).

Τα φαινολικά οξέα χαρακτηρίζονται από την παρουσία ενός φαινολικού δακτυλίου, που αποτελείται από έναν εξαμελή αρωματικό δακτύλιο με μία ή περισσότερες ομάδες υδροξυλίου (Zhao et al., 2014). Ταξινομούνται περαιτέρω με βάση τη χημική τους δομή, σε δύο κύριες ομάδες: τα υδροξυβενζοϊκά οξέα που είναι παράγωγα του βενζοϊκού οξέος και τα υδροξυκιναμωμικά οξέα, παράγωγα του κινναμωμικού οξέος (Karasawa and Mohan, 2018; Zhao et al., 2014). Τα φρούτα που ανήκουν στην κατηγορία των μούρων, όπως τα βατόμουρα, τα σμέουρα και τα μαύρα βατόμουρα είναι πλούσια σε υδροξυβενζοϊκά και υδροξυκιναμωμικά οξέα (Karasawa and Mohan, 2018).

Τα πιο κοινά υδροξυβενζοϊκά οξέα είναι το πρωτοκατεχικό οξύ, το βανιλικό οξύ, γαλλικό οξύ και το συριγγικό οξύ. Βρίσκονται σε ελάχιστες ποσότητες στα διάφορα βρώσιμα φυτά, με εξαίρεση ορισμένα κόκκινα φρούτα και κυρίως τα βατόμουρα, τα οποία έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υδροξυβενζοϊκά οξέα με κύριο αντιπρόσωπο το πρωτοκατεχικό οξύ, το οποίο





μπορεί να περιέχεται έως και κατά 100 mg/kg νωπού βάρους (Zhao et al., 2014). Τα κόκκινα σμέουρα περιέχουν ελλαγικό και p-υδροξυβενζοϊκό οξύ, ενώ και οι φράουλες είναι εξαιρετικά πλούσιες σε ελλαγικό οξύ (Golovinskaia and Wang, 2021).

Πρωτοκατεχικό οξύ βρίσκεται εκτός από τα διάφορα είδη μούρων, μεταξύ άλλων στο πράσινο τσάι, στα λευκά σταφύλια και στις ελιές, ενώ είναι σημαντικό συστατικό του κρεμμυδιού, όπου βρίσκεται σε υψηλότερη συγκέντρωση στην εξωτερική ξηρή φλούδα (Rashmi and Negi, 2020; Zhao et al., 2014). Το γαλλικό οξύ βρίσκεται στα φύλλα του τσαγιού, στο σουμάκ, σε ορισμένα φρούτα, όπως το σταφύλι και η φράουλα, αλλά και σε κάποια λαχανικά, όπως το ραβέντι (Zhao et al., 2014). Γαλλικό και p-υδροξυβενζοϊκό οξύ, περιέχονται σε μικρές ποσότητες και στο μπρόκολο (Rashmi and Negi, 2020). Το συριγγικό οξύ απαντάται σε αρκετά λαχανικά και βότανα, συμπεριλαμβανομένων των ελιών, του γαρούφαλλου και του φασκόμηλου, ενώ το βαννιλικό οξύ βρίσκεται στους κόκκους βανίλιας, καθώς και σε φρούτα και λαχανικά όπως το καλαμπόκι, ο γλυκός μάραθος, ο μαϊντανός, το σπανάκι και οι πατάτες, σε μικρές ποσότητες και χρησιμοποιείται κυρίως ως αρωματικός παράγοντας στη βιομηχανία τροφίμων, όμως μελετάται και για τις αντιοξειδωτικές του ιδιότητες. Ορισμένα παράγωγα υδροξυβενζοϊκών οξέων χρησιμοποιούνται επί του παρόντος ως πρόσθετα για τη μείωση της οξειδωσης των θρεπτικών ουσιών και για την ενίσχυση της θρεπτικής αξίας των τροφίμων.

Τα υδροξυκιναμωμικά οξέα είναι πολύ πιο συνηθισμένα από τα υδροξυβενζοϊκά οξέα, με πιο κοινά από αυτά το κουμαρικό οξύ, το καφεϊκό οξύ, το φερουλικό οξύ και το σιναπικό οξύ (Santos et al., 2014, Zhao et al., 2014). Συνήθως, τα υδροξυκιναμωμικά οξέα δεν απαντώνται στην ελεύθερη μορφή τους στα διάφορα μέρη του φυτού, αλλά βρίσκονται σε συνδυασμένες μορφές. Οι συνδυασμένες μορφές των υδροξυκιναμωμικών οξέων μπορεί να είναι τα γλυκοζυλιωμένα παράγωγα ή εστέρες σικιμικού οξέος, τρυγικού οξέος και κινικού οξέος (Zhao et al., 2014). Για παράδειγμα το χλωρογενικό οξύ, που είναι ένα από τα βασικά φαινολικά συστατικά των βατόμουρων και απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις στον καφέ αλλά και σε πολλά άλλα είδη φρούτων, αποτελεί εστέρα του καφεϊκού και του κινικού οξέος (Zhao et al., 2014, Clifford 1999). Φρούτα όπως τα βατόμουρα, τα ακτινίδια, τα δαμάσκηνα, τα κεράσια και τα μήλα έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις υδροξυκιναμωμικών οξέων. Τα cranberries περιέχουν ποικιλία φαινολικών οξέων στη φλούδα τους, μεταξύ των οποίων το κυριότερο είναι



το p-υδροξυκιναμωμικό οξύ, ενώ τα κόκκινα σμέουρα περιέχουν καφεϊκό, p-κουμαρικό, και φερουλικό οξύ (Golovinskaia and Wang, 2021).

Στα εξωτερικά μέρη των ώριμων καρπών, εμφανίζεται η υψηλότερη συγκέντρωση υδροξυκιναμωμικών οξέων, ωστόσο έχει βρεθεί ότι κατανέμονται σε ολόκληρο το φρούτο. Το καφεϊκό οξύ αντιπροσωπεύει το 75-100 % της συνολικής περιεκτικότητας υδροξυκιναμωμικών οξέων στα περισσότερα φρούτα, ενώ το φερουλικό οξύ μπορεί να αντιπροσωπεύει έως και το 90 % της συνολικής περιεκτικότητας στους κόκκους δημητριακών (Manach et al. 2004, Zhao et al., 2014). Το καφεϊκό οξύ συναντάται ως το πιο συνηθισμένο φαινολικό οξύ και στα φύλλα του φυτού της γλυκοπατάτας, ενώ το φερουλικό οξύ παρατηρείται στα φύλλα κόλιανδρου, στα φύλλα μουστάρδας, στο λάχανο, στις μπάμιες, στα μωβ μπιζέλια και στην αντράκλα (Rashmi and Negi, 2020, Huang et al., 2007). Στις πατάτες, το κύριο φαινολικό οξύ που απαντάται είναι το χλωρογενικό οξύ και ακολουθούν σε μικρότερες ποσότητες το φερουλικό, το γαλλικό και το p-κουμαρικό οξύ (Rashmi and Negi, 2020, Mohdaly et al., 2010).

Αξιοσημείωτη περιεκτικότητα σε φαινολικά οξέα έχουν και διάφορα είδη φασολιών, με πιο σύνηθες φαινολικό, το φερουλικό οξύ, ενώ πιο σπάνια βρίσκονται το p-κουμαρικό και το σιναπικό οξύ (Rashmi and Negi, 2020, Luthria & Pastor-Corrales, 2006).

Γνωστά για τις ισχυρές αντιοξειδωτικές τους ιδιότητες, τα φαινολικά οξέα συμβάλλουν στην εξουδετέρωση των βλαβερών ελεύθερων ριζών στο σώμα, προστατεύοντας έτσι τα κύτταρα από οξειδωτικές βλάβες και μειώνοντας τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών όπως οι καρδιαγγειακές παθήσεις, ο καρκίνος και οι νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Παρουσιάζουν επίσης αντιφλεγμονώδη δράση, η οποία μπορεί να συμβάλει στη διαχείριση φλεγμονωδών καταστάσεων όπως η αρθρίτιδα και η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει ότι ορισμένα φαινολικά οξέα ρυθμίζουν τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα και βελτιώνουν την ευαισθησία στην ινσουλίνη, καθιστώντας τα πολύτιμα για την πρόληψη και τη διαχείριση του διαβήτη τύπου 2 (Deka et al., 2022).

Η κουρκουμίνη, ένα από τα σημαντικότερα BACs που ανήκει και αυτή στα φαινολικά οξέα, βρίσκεται στο ρίζωμα του φυτού του κουρκουμά. Είναι υπεύθυνο για το ζωηρό κίτρινο χρώμα του κουρκουμά και χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες στην διατροφή και την παραδοσιακή ιατρική διαφόρων ασιατικών χωρών. Είναι γνωστή για τις ισχυρές αντιφλεγμονώδεις,



αντιοξειδωτικές και αντιμικροβιακές της ιδιότητες, γεγονός που την καθιστά αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας στη σύγχρονη ιατρική. Οι ποικίλες βιολογικές δραστηριότητές του προέρχονται από την ικανότητά του να ρυθμίζει διάφορα μονοπάτια σηματοδότησης που εμπλέκονται στη φλεγμονή, το οξειδωτικό στρες και την ανοσολογική απόκριση. Το θεραπευτικό δυναμικό της κουρκουμίνης έχει διερευνηθεί στο πλαίσιο πολλών καταστάσεων υγείας, συμπεριλαμβανομένων των χρόνιων φλεγμονωδών ασθενειών, των νευροεκφυλιστικών διαταραχών, του καρκίνου και του μεταβολικού συνδρόμου (Lestari & Indrayanto, 2014, Nazareno, 2013) Παράλληλα, έχει επιστήσει την προσοχή των ερευνητών και της φαρμακοβιομηχανίας, για τον πιθανό ρόλο της στη διαχείριση της αρθρίτιδας, ιδιαίτερα της οστεοαρθρίτιδας και της ρευματοειδούς αρθρίτιδας. Οι αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές του παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτό το πλαίσιο, καθώς η φλεγμονή είναι βασικός παράγοντας της βλάβης των αρθρώσεων και του πόνου στην αρθρίτιδα. Η κουρκουμίνη έχει αποδειχθεί ότι αναστέλλει διάφορους φλεγμονώδεις μεσολαβητές και μονοπάτια, που εμπλέκονται στη φλεγμονώδη απόκριση. Επιπλέον, χάρη στην αντιοξειδωτική της δράση, μπορεί να συμβάλει στην άμβλυση του οξειδωτικού στρες και της υποβάθμισης του χόνδρου στην αρθρίτιδα. Κλινικές μελέτες έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα, με τα συμπληρώματα κουρκουμίνης να δείχνουν βελτιώσεις στον πόνο, τη δυσκαμψία και τη σωματική λειτουργία σε άτομα με οστεοαρθρίτιδα και ρευματοειδή αρθρίτιδα. Ενώ απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να αποσαφηνιστεί η βέλτιστη δόση, η σύνθεση και τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα του συμπληρώματος κουρκουμίνης για τη διαχείριση της αρθρίτιδας, οι δυνατότητές του ως φυσική και ασφαλής συμπληρωματική θεραπεία υπόσχονται τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ασθενών με αρθρίτιδα (Pourhabibi-Zarandi et al., 2021, Daily et al., 2016).



**Πίνακας 1.2:** Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες φαινολικών οξέων

	Πηγές	Δράση	Βιβλιογραφία
<b>ΦΑΙΝΟΛΙΚΑ ΟΞΕΑ</b>			
<b>Υδροξυβενζοϊκά οξέα</b>			
πρωτοκατεχικό οξύ	Κόκκινα φρούτα, βατόμουρα, πράσινο τσάι, λευκά σταφύλια, ελιές, ξηρή φλούδα κρεμμυδιού	Αντιοξειδωτική, καρδιοπροστατευτική, αντικαρκινική, νευροπροστατευτική, αντιφλεγμονώδης, πρόληψη και διαχείριση του διαβήτη τύπου 2	(Deka et al., 2022, Zhao et al., 2014)
βαννιλικό οξύ	κόκκοι βανίλιας, καλαμπόκι, γλυκός μάραθος, μαϊντανός, σπανάκι, πατάτες,		
γαλλικό οξύ	φύλλα τσαγιού, σουμάκ, σταφύλι, φράουλα, ραβέντι, μπρόκολο		
συριγγικό οξύ	αρκετά λαχανικά και βότανα, ελιές, γαρύφαλλο, φασκόμηλο		
ελλαγικό οξύ	Φράουλες, κόκκινα σμέουρα		
p-υδροξυβενζοϊκό οξύ	Κόκκινα σμέουρα, μπρόκολο		
<b>Υδροξυκιναμωμικά οξέα</b>			
Κουμαρικό, καφεϊκό, φερουλικό, σιναπικό, p-υδροξυκιναμωμικό οξύ και οι εστέρες τους	βατόμουρα, ακτινίδια, δαμάσκηνα, καφές, τσάι, ρόδι, κεράσι, μήλο, cranberries, κόκκινα σμέουρα, κόκκοι δημητριακών, φύλλα του φυτού της γλυκοπατάτας, φύλλα κόλιανδρου, φύλλα μουστάρδας, λάχανο, μπάμιες, μωβ μπιζέλια, αντράκλα		
Κουρκουμίνη	Κουρκουμάς	Αντιβακτηριακή αντιφλεγμονώδης, αντιοξειδωτική, αντικαρκινική, αντιμεταλλαξιογόνος, αντιπηκτική, αντική, δρα κατά του έλκους, βελτιώνει τα συμπτώματα της αρθρίτιδας και άλλες φλεγμονώδεις καταστάσεις	(Mondal et al., 2021, Daily et al., 2016, Hamzalioglu and Gökmen, 2016)



### Φαινολικά διτερπένια

Τα τερπένια που προέρχονται από φυτικές πηγές (Πίνακας 1.3), είναι δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών και σχετίζονται με την αύξηση και την ανάπτυξή τους. Έχουν ανακαλυφθεί πάνω από 35.000 τύποι τερπενίων μέχρι σήμερα και θεωρούνται ως η πιο ποικιλόμορφη κατηγορία μεταβολιτών. Σχηματίζονται βιοσυνθετικά από το συνδυασμό δύο ή περισσότερων μονάδων ισοπρενίου (μια μονάδα πέντε ατόμων άνθρακα, 2-μεθυλο-1,3-βουταδιένιο) (Zhao et al., 2014). Ανάλογα με τον αριθμό των ισοπρενικών μονάδων μπορούν να ταξινομηθούν σε μονοτερπένια, σεσκιτερπένια, διτερπένια, τριτερπένια και τετρατερπένια. Πολλές αναφορές δείχνουν ότι τα τερπένια παράγουν φαρμακολογικές δράσεις σε διαταραχές που σχετίζονται με τη φλεγμονή μέσω μηχανισμών που περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση ενός μονοπατιού σηματοδότησης.

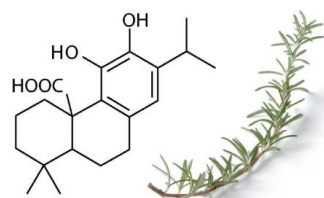
Τα διτερπένια αντιπροσωπεύουν μια διαφορετική κατηγορία οργανικών ενώσεων που αποτελούνται από τέσσερις μονάδες ισοπρενίου, που βρίσκονται συνήθως σε φυτά, μύκητες και θαλάσσιους οργανισμούς. Μεταξύ αυτών, το καρνοσικό οξύ (Εικόνα 1.3) που βρίσκεται κυρίως στο εκχύλισμα του δεντρολίβανου (*Rosmarinus officinalis*) και σε ορισμένα άλλα αρωματικά φυτά, έχει βρεθεί στο επίκεντρο της προσοχής των ερευνητών και των βιομηχανιών τροφίμων και φαρμάκων, χάρη στις αξιοσημείωτες αντιοξειδωτικές και αντιβακτηριδιακές ιδιότητες του (Birtić et al., 2015). Οι θεραπευτικές του δυνατότητες είναι σημαντικές, ιδιαίτερα στην καταπολέμηση του οξειδωτικού στρες και της φλεγμονής, που εμπλέκονται σε διάφορες καταστάσεις υγείας (Loussouarn et al. 2017).

Χαρακτηριστικό αποτελεί το γεγονός ότι το καρνοσικό οξύ σε εκχυλίσματα δεντρολίβανου έπεται από αίτημα της βιομηχανίας τροφίμων, έχει ενσωματωθεί στην ευρωπαϊκή νομοθεσία (ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) αριθ. 1129/2011) περί χρήσης προσθέτων στα τρόφιμα με την ονομασία «Extracts of rosemary». Είναι εγκεκριμένο ως αντιοξειδωτικό πρόσθετο σε λίπη και έλαια, με συγκεκριμένους περιορισμούς στη συγκέντρωση και τις εφαρμογές του. Αυτό το κανονιστικό πλαίσιο διασφαλίζει την ασφαλή χρήση του σε προϊόντα διατροφής, αξιοποιώντας παράλληλα τις ευεργετικές του ιδιότητες (Birtić et al., 2015).

Από την άλλη πλευρά, το ροσμαρινικό οξύ, ένα άλλο σημαντικό διτερπένιο που βρίσκεται σε αφθονία στο δεντρολίβανο και σε άλλα βότανα όπως ο βασιλικός, η μέντα και το φασκόμηλο, έχει ισχυρές αντιοξειδωτικές, αντιφλεγμονώδεις και αντιμικροβιακές ιδιότητες (Guan et al., 2022). Το ροσμαρινικό οξύ, έχει μελετηθεί εκτενώς τόσο για την προστασία από την



οξειδωτική βλάβη των κυττάρων και τη μείωση των φλεγμονών, όσο και για τις αντιαλλεργικές ιδιότητες του (Yesil-Celiktas et al., 2010). Έχει βρεθεί ότι δρα προστατευτικά έναντι αναφυλακτικών καταστάσεων, όπως της ατοπικής δερματίτιδας, του άσθματος και της αλλεργικής ρινίτιδας (Shang et al., 2024, Luo et al., 2020). Έχει διερευνηθεί επίσης για το ρόλο του στην υποστήριξη της καρδιαγγειακής υγείας, της ανοσοποιητικής λειτουργίας και της γνωσιακής λειτουργίας, ενώ παράλληλα φαίνεται να έχει την ικανότητά να ρυθμίζει την εντερική μικροχλωρίδα (Shang et al., 2024). Επιπλέον, η αντιμικροβιακή δράση του ροσμαρινικού οξέος έχει συγκεντρώσει ενδιαφέρον, με πιθανές εφαρμογές στη συντήρηση τροφίμων και την ανάπτυξη φυσικών αντιμικροβιακών παραγόντων. Συνολικά, τόσο το καρνοσικό όσο και το ροσμαρινικό οξύ αποτελούν παράδειγμα της πλούσιας ποικιλίας BACs που βρίσκονται στη φύση, με πολλά οφέλη στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία, καθοδηγούμενα από ρυθμιστικά μέτρα που διασφαλίζουν την ασφαλή χρήση τους.



**Εικόνα 1.3:** Χημική δομή του καρνοσικού οξέος (εικόνα που έχει εξαχθεί από τους Birtic et al., 2015)

**Πίνακας 1.3:** Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες φαινολικών διτερπενίων

	Πηγές	Δράση	Βιβλιογραφία
<b>ΦΑΙΝΟΛΙΚΑ</b>			
<b>ΔΙΤΕΡΠΕΝΙΑ</b>			
καρνοσικό οξύ	δενδρολίβανο, φασκόμηλο ρίγανη και άλλα είδη της οικογένειας Lamiaceae ( <i>Origanum vulgare</i> , Hossain et al., 2010, Birtic et al., 2015).	Αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης, αντικαρκινική, μείωση του σωματικού βάρους	(Loussouarn et al., 2017, Birtic et al., 2015)
ροσμαρινικό οξύ	δενδρολίβανο, φασκόμηλο, μελισσόχορτο, τη μέντα, γλυκός βασιλικός και άλλα είδη της οικογένειας Lamiaceae	Αντιοξειδωτική, αντιμικροβιακή, αντιφλεγμονώδης,	(Bartels, 2015, Takano et al., 2004)



### Λοιπά φαινολικά συστατικά

Οι ταννίνες είναι μια ομάδα πολυφαινολικών ενώσεων που βρίσκονται σε αφθονία σε διάφορους φυτικούς ιστούς. Σε σημαντικές ποσότητες απαντώνται σε τρόφιμα όπως το τσάι, ο καφές, το κόκκινο κρασί, οι ξηροί καρποί, τα φρούτα (ιδίως τα μούρα και τα σταφύλια), τα όσπρια (όπως τα φασόλια και οι φακές) και ορισμένα βότανα και μπαχαρικά και συμβάλλουν στη στυφή και πικρή γεύση αυτών των τροφίμων και ποτών. Μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε υδρολύσιμες ταννίνες και συμπυκνωμένες ταννίνες (Shaukat et al., 2023). Οι υδρολύσιμες ταννίνες, όπως οι γαλλοταννίνες και οι ελλαγιταννίνες, είναι εστέρες του γαλλικού ή του ελλαγικού οξέος με γλυκόζη. Οι συμπυκνωμένες ταννίνες, επίσης γνωστές ως προανθοκυανιδίνες, είναι ολιγομερή ή πολυμερή φλαβαν-3-ολών όπως οι κατεχίνες και οι επικατεχίνες. Οι ταννίνες είναι γνωστές για την ικανότητά τους να δεσμεύουν και να ιζηματοποιούν τις πρωτεΐνες, γεγονός που συμβάλλει στη στυπτικότητα τους. Διαθέτουν επίσης αντιοξειδωτικές ιδιότητες λόγω της ικανότητάς τους να απομακρύνουν τις ελεύθερες ρίζες και να χηλικοποιούν ιόντα μετάλλων (Shaukat et al., 2023). Στην ανθρώπινη υγεία, οι ταννίνες έχουν μελετηθεί για τα πιθανά οφέλη τους, συμπεριλαμβανομένων των αντιφλεγμονωδών, αντιμικροβιακών και καρδιοπροστατευτικών επιδράσεων.

Τα στυλβένια είναι μια κατηγορία πολυφαινολικών ενώσεων που χαρακτηρίζονται από μια κεντρική δομή 1,2-διφαινυλαιθυλενίου. Πρόκειται για φυτοαλεξίνες που παράγονται από τα φυτά ως αντίδραση σε τραυματισμούς και λοιμώξεις. Ένα από τα πιο γνωστά στυλβένια είναι η ρεσβερατρόλη, που βρίσκεται κυρίως στα σταφύλια, το κόκκινο κρασί, τα φιστίκια και τα μούρα (Bohara et al., 2022). Η ρεσβερατρόλη έχει κερδίσει την προσοχή για τις αντιοξειδωτικές της ιδιότητες και τα πιθανά οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των αντιφλεγμονωδών, καρδιοπροστατευτικών και αντικαρκινικών επιδράσεων (Bohara et al., 2022). Έχει προταθεί ότι διαμορφώνει διάφορα μονοπάτια σηματοδότησης που εμπλέκονται σε κυτταρικές διεργασίες, όπως η απόπτωση, η ρύθμιση του κυτταρικού κύκλου και η απόκριση στο οξειδωτικό στρες. Το κόκκινο κρασί, ειδικότερα, έχει σημειωθεί για την περιεκτικότητά του σε ρεσβερατρόλη, με τη μέτρια κατανάλωση να συνδέεται με πιθανά καρδιαγγειακά οφέλη (El Khawand et al., 2018). Ενώ πολυάριθμες μελέτες έχουν καταδείξει τις ευεργετικές επιδράσεις της ρεσβερατρόλης, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διευκρινιστεί η βέλτιστη δοσολογία και τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα της κατανάλωσης ρεσβερατρόλης στον άνθρωπο.



Οι λιγνάνες είναι φυτοοιστρογόνα που βρίσκονται σε αφθονία στους σπόρους, τα δημητριακά, τους ξηρούς καρπούς, τα φρούτα και τα λαχανικά. Ο λιναρόσπορος και το σουσάμι είναι ιδιαίτερα πλούσιες πηγές λιγνάνων, μαζί με άλλους σπόρους όπως οι κολοκυθόσποροι και οι ηλιόσποροι. Άλλες διατροφικές πηγές περιλαμβάνουν δημητριακά ολικής αλέσεως όπως το σιτάρι, το κριθάρι και η βρώμη, καθώς και όσπρια όπως η σόγια. Χαρακτηρίζονται από τη δομή τους, η οποία περιλαμβάνει δύο μονάδες φαινυλοπροπανίου συνδεδεμένες με δεσμό άνθρακα-άνθρακα. Οι λιγνάνες μεταβολίζονται από τα βακτήρια του εντέρου σε εντερολιγνάνες, όπως η εντεροδιόλη και η εντερολακτόνη, οι οποίες ασκούν ασθενή οιστρογονική δράση. Οι ενώσεις αυτές έχουν συσχετιστεί με πιθανά οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένης της ανακούφισης των συμπτωμάτων της εμμηνόπαυσης, της προστασίας από ορμονοεξαρτώμενους καρκίνους και καρδιαγγειακά οφέλη (Bohara et al., 2022, Rodríguez-García et al., 2019).

Οι κουμαρίνες είναι αρωματικές ενώσεις που βρίσκονται σε διάφορα φυτά, συμβάλλουν στη γεύση και το άρωμα ορισμένων τροφίμων και χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες αρωμάτων και καλλυντικών. Πηγές κουμαρινών είναι τα φασόλια τόνκα, το γλυκό τριφύλλι, η κανέλα και ορισμένα βότανα όπως το χαμομήλι και η λεβάντα. Ενώ ορισμένες κουμαρίνες, όπως η βαρφαρίνη, έχουν χρησιμοποιηθεί θεραπευτικά ως αντιπηκτικά, η υπερβολική κατανάλωση τροφίμων ή συμπληρωμάτων πλούσιων σε κουμαρίνες μπορεί να έχει ηπατοτοξικές επιδράσεις. Ορισμένες κουμαρίνες έχουν επίσης διερευνηθεί για τα πιθανά οφέλη τους για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων αντικαρκινικών, αντιφλεγμονωδών και αντιμικροβιακών ιδιοτήτων (Zhao et al., 2014).

### 1.2.2 Καροτενοειδή

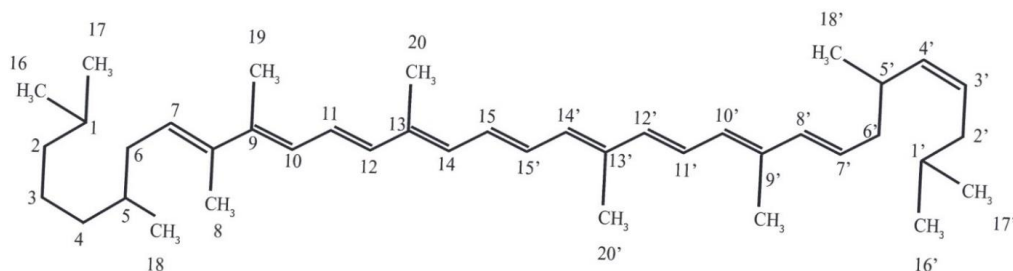
Τα καροτενοειδή (Πίνακας 1.4), είναι ευρέως διαδεδομένη κατηγορία λιποδιαλυτών χρωστικών που απαντώνται στη φύση και ευθύνονται για τους χαρακτηριστικούς ελκυστικούς χρωματισμούς πολλών φρούτων και λαχανικών, για τα οποία δρουν φωτοπροστατευτικά (Dixit et al., 2023). Είναι υπεύθυνα για το έντονο κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα πολλών τροφίμων φυτικής προέλευσης, ενώ μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί πάνω από 750 χρωστικές που ανήκουν στην οικογένεια των καροτενοειδών (Nabi et al., 2020, Mohdaly et al., 2010, Ong & Tee, 1992). Στα πράσινα φυτά, τα καροτενοειδή επισκιάζονται από τη χλωροφύλλη, κατά την αποικοδόμησή της όμως, τα καροτενοειδή εμφανίζονται άμεσα (π.χ. το πράσινο πιπέρι γίνεται





κόκκινο μετά από ωρίμανση) (Belitz et al., 2014). Τα καροτενοειδή εντοπίζονται σε πολλούς ζωικούς ιστούς, στους οποίους όμως απορροφώνται και εναποτίθενται μέσω της κατανάλωσης τροφής που τα περιέχει, αφού οι ζωικοί οργανισμοί και ο άνθρωπος, δεν μπορούν να τα βιοσυνθέσουν (Singh, Ahmad, & Ahmad, 2015).

Τα καροτενοειδή, αποτελούνται από μια ραχοκοκαλιά περίπου 40 ανθράκων με ένα εκτεταμένο σύστημα συζυγών διπλών δεσμών, τόσο με οξυγονωμένους όσο και μη οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες (Εικόνα 1.4) (Mondal et al., 2021). Χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τα καροτένια στα οποία ανήκουν το λυκοπένιο, το α-καροτένιο και το β-καροτένιο και τις ξανθοφύλλες, όπως η λουτεΐνη και η ζεαξανθίνη (Saini et al., 2015, Belitz et al., 2014). Σε αντίθεση με τα καροτένια που είναι καθαροί πολυενικοί υδρογονάνθρακες, μη πολικοί, οι ξανθοφύλλες περιέχουν οξυγόνο σε μορφή υδροξύ-, εποξύ- ή οξο- ομάδων (Belitz et al., 2014). Η ύπαρξη τέτοιας πολικής ομάδας στη δομή, επηρεάζει τη βιολογική λειτουργία και την πολικότητα των καροτενοειδών (Nabi et al., 2020, Belitz et al., 2014, Mattea et al., 2009). Το οξυγόνο και το φως, επηρεάζουν ιδιαίτερα τη σταθερότητα των καροτενοειδών. Όταν αποκλειστούν αυτοί οι παράγοντες, τα καροτενοειδή στα τρόφιμα, είναι σταθερά ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο, η αποικοδόμησή τους επιταχύνεται από ενδιάμεσες ρίζες που εμφανίζονται στα τρόφιμα λόγω της υπεροξειδωσής των λιπιδίων. Τέτοιο παράδειγμα οξειδωτικής αποικοδόμησης των καροτενοειδών είναι οι αλλαγές στην έκταση του χρωματισμού που παρατηρείται συχνά με τα αφυδατωμένα προϊόντα πάπρικας και ντομάτας (Belitz et al., 2014).



**Εικόνα 1.4:** Η βασική χημική δομή των καροτενοειδών (εικόνα που έχει εξαχθεί από τους Zakynthinos & Varzakas, 2016).



Ο βιολογικός ρόλος των καροτενοειδών είναι πολύπλευρος, αφού φαίνεται να παρουσιάζουν θεραπευτικές επιδράσεις, όπως καρδιοπροστατευτικές, αντικαρκινικές, αντιφλεγμονώδεις και αντιβακτηριακές, ανοσοτροποποιητικές, νευροπροστατευτικές όπως και αντιδιαβητικές (Nabi et al., 2020, Arain et al., 2018, Pan et al., 2018). Επίσης δεν είναι λιγότερο σημαντική η αντιοξειδωτική τους δράση, αφού μειώνουν το οξειδωτικό στρες δρώντας ως εκκαθαριστές των ελεύθερων ριζών και ρυθμίζοντας την παραγωγή αντιοξειδωτικών ενζύμων (Arain et al., 2018).

Το α- και το β-καροτένιο αποτελούν την πρόδρομη ουσία της βιταμίνης Α (ρετινόλη). Τα φυσικά καροτενοειδή μέσω της δράσης της προβιταμίνης Α και του ενζύμου διοξυγενάση, σχηματίζουν ρετινόλη (Von Lintig & Vogt, 2000). Αρκετά φρούτα και λαχανικά με έντονους χρωματισμούς, όπως το καρότο, η κολοκύθα, τα φασόλια, η γλυκοπατάτα και το βερίκοκο είναι πλούσιες πηγές αυτών των καροτενοειδών, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι τα καροτενοειδή, βρίσκονται στα φυτά, κατά κανόνα ως σύνθετο μίγμα (Belitz et al., 2014). Ως πρόδρομες ουσίες της βιταμίνης Α, αυτά τα καροτενοειδή εκτός από φαρμακευτικό ρόλο φαίνεται ότι έχουν την ικανότητα να αναστέλλουν αποτελεσματικά χρόνιες ασθένειες, όπως ο καρκίνος του μαστού και του δέρματος. Κάποιες μελέτες έχουν ασχοληθεί με την αξιολόγηση της δυνατότητας του β-καροτενίου να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα, ενώ άλλες υποδείχνουν το α-καροτένιο ως πιο αποτελεσματικό στην καταστολή του πολλαπλασιασμού των καρκινικών κυττάρων (Galliechio et al., 2008, Murakoshi et al., 1992). Παράλληλα φαίνεται να εμφανίζουν και ανοσοτροποποιητικές δράσεις καθώς ενεργοποιούν την κυτταρική επικοινωνία και το ανοσοποιητικό σύστημα (Nabi et al., 2020, Singh et al., 2015).

Το λυκοπένιο είναι ένα καροτενοειδές που βρίσκεται εκτενώς στα κόκκινα λαχανικά, με τη ντομάτα και τα προϊόντα της να αποτελούν την κύρια πηγή (Arain et al., 2018). Πληθώρα *in vivo*, *ex vivo* και *in vitro* μελετών έχουν πραγματοποιηθεί, με στόχο τη διερεύνηση της επίδρασης του λυκοπενίου έναντι του οξειδωτικού στρες. Τελευταία το ενδιαφέρον των ερευνητών εστιάζει και στις αντικαρκινικές ιδιότητες που μπορεί να παρουσιάζει, κυρίως κατά του καρκίνου των ωοθηκών, του τραχήλου της μήτρας, του μαστού, του προστάτη και του ήπατος (Singh et al., 2015). Παράλληλα έχει διαπιστωθεί η δράση του λυκοπενίου στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης καρδιαγγειακών παθήσεων, υπέρτασης και διαβήτη (Liu et al., 2020). Η



αντιοξειδωτική δράση του λυκοπενίου έχει διαπιστωθεί και ενάντια στην υπεριώδη ακτινοβολία, όπου εμπόδισε την οξειδωτική βλάβη του δέρματος (Karasawa and Mohan, 2018).

**Πίνακας 1.4:** Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες καροτενοειδών

	Πηγές	Δράση	Βιβλιογραφία
<b>ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ</b>			
<b>Καροτένια</b>			
Λυκοπένιο	Τομάτα, γκουάβα, καρπούζι, μάνγκο	Αντιοξειδωτική, προστατεύει τα μάτια από το στρες, βοηθά στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης καρκίνου, καρδιαγγειακών παθήσεων, υπέρτασης και διαβήτη, μειώνει τον νευροπαθητικό πόνο	(Liu et al., 2020, Madaan et al., 2017)
β- καροτένιο	Καρότο, κολοκύθα, γλυκοπατάτα, σπανάκι, κέιλ, φρούτα και λαχανικά	Αντιοξειδωτική, καρδιοπροστατευτική, αντικαρκινική, αντιφλεγμονώδης, ανοσοτροποποιητικές, νευροπροστατευτικές	(Nabi et al., 2020, Pan et al., 2018, Madaan et al., 2017)
<b>Ξανθοφύλλες</b>			
Λουτεΐνη	Ταγέτης ο ορθοφυής ( <i>Tagetes erecta</i> ), μπρόκολο, σπανάκι, καρότα, καλαμπόκι, εσπεριδοειδή και πράσινα μπιζέλια	Μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης μυϊκού εκφυλισμού, σοβαρών οφθαλμικών παθήσεων	(Bone et al., 2003)

### 1.2.3 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες (Πίνακας 1.5) είναι ένα σημαντικό σύμπλεγμα ενώσεων που απαιτούνται για την ομαλή λειτουργία των κυττάρων, την ανάπτυξη και την εξέλιξη του οργανισμού. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.5, οι βιταμίνες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες με βάση τον τρόπο απορρόφησής τους και αποθήκευσης: λιποδιαλυτές και υδατοδιαλυτές βιταμίνες. Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες αποθηκεύονται στο ήπαρ, στους λιπώδεις ιστούς και στους μυς. Οι κυριότερες λιποδιαλυτές βιταμίνες είναι οι A, D, E και K (Εικόνα 1.5). Οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες (βιταμίνη C και βιταμίνη B) διαλύονται στο νερό κατά την είσοδό τους στον οργανισμό. Εξαιτίας αυτού, ο οργανισμός δεν μπορεί να αποθηκεύσει υπερβολικές ποσότητες αυτών των βιταμινών για μετέπειτα χρήση και η περίσσεια βιταμινών στον οργανισμό αποβάλλεται μέσω των ούρων,



εκτός από τη βιταμίνη B12 (Lykstad et al. 2023). Όλες οι υπόλοιπες πρέπει να λαμβάνονται μέσω της διατροφής σε τακτική βάση (Dixit et al., 2023, Lykstad et al. 2023).



**Εικόνα 1.5:** Κατηγοριοποίηση βιταμινών με βάση τη διαλυτότητα (εικόνα που έχει εξαχθεί από τους Ofoedu et al., 2021).

Όπως προαναφέρθηκε, οι βιταμίνες είναι βασικές οργανικές ενώσεις που διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο σε διάφορες φυσιολογικές διεργασίες, από το μεταβολισμό έως τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και όχι μόνο. Αν και μπορούν να ληφθούν από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων τόσο των φυτικών όσο και των ζωικών τροφίμων, πολλές βιταμίνες έχουν την προέλευσή τους στα φυτά.

Η βιταμίνη A (ρετινόλη) βρίσκεται κυρίως σε φυτά όπως τα καρότα, οι γλυκοπατάτες και το σπανάκι, με τη μορφή της προβιταμίνης A. Είναι απαραίτητη για την όραση, τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την ανάπτυξη και διαφοροποίηση των κυττάρων, ενώ παίζει ρόλο και στη διατήρηση και ρύθμιση του μεταβολισμού. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της φυσιολογικής όρασης συμβάλλοντας στην παραγωγή της ροδοψίνης, μιας χρωστικής ουσίας που εμπλέκεται στην όραση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Επιπλέον, η βιταμίνη A επηρεάζει την έκφραση γονιδίων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που εμπλέκονται στο μεταβολισμό των λιπιδίων, την κυτταρική ανάπτυξη και τις ανοσολογικές αποκρίσεις. Οι



θεραπευτικές της δράσεις περιλαμβάνουν τη διατήρηση της ακεραιότητας του υγιούς δέρματος και είναι επίσης απαραίτητη για την εμβρυϊκή ανάπτυξη και την αναπαραγωγική υγεία (Ofoedu et al., 2021).

Η βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ), βρίσκεται σε αφθονία στα εσπεριδοειδή, τα μούρα και τα φυλλώδη λαχανικά. Χρησιμεύει ως ισχυρό αντιοξειδωτικό, απομακρύνοντας τις ελεύθερες ρίζες και προστατεύοντας τα κύτταρα από την οξειδωτική βλάβη. Μεταβολικά, εμπλέκεται στη σύνθεση κολλαγόνου, μια κρίσιμη διαδικασία για την επούλωση πληγών και το σχηματισμό συνδετικού ιστού. Επιπλέον, η βιταμίνη C ενισχύει την απορρόφηση του σιδήρου, υποστηρίζει τη σύνθεση νευροδιαβιβαστών και συμβάλλει στην αναγέννηση άλλων αντιοξειδωτικών όπως η βιταμίνη E.

Η βιταμίνη E (τοκοφερόλη), η οποία βρίσκεται σε αφθονία στους ξηρούς καρπούς, τους σπόρους και τα φυτικά έλαια, είναι ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό που συμβάλλει στην προστασία των κυττάρων από τις βλάβες που προκαλούν οι ελεύθερες ρίζες. Οι θεραπευτικές της δράσεις περιλαμβάνουν την υποστήριξη της καρδιαγγειακής υγείας, την προαγωγή της υγείας του δέρματος και τη μείωση του κινδύνου γνωσιακής παρακμής που σχετίζεται με την ηλικία. Η βιταμίνη E είναι επίσης γνωστή για τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητές της, καθιστώντας την ευεργετική για καταστάσεις όπως η αρθρίτιδα και οι φλεγμονώδεις δερματικές διαταραχές.

Οι βιταμίνες του συμπλέγματος B, συμπεριλαμβανομένων των B1 (θειαμίνη), B2 (ριβοφλαβίνη), B3 (νιασίνη), B5 (παντοθενικό οξύ), B6 (πυριδοξίνη), B7 (βιοτίνη), B9 (φυλλικό οξύ) και B12 (κοβαλαμίνη), βρίσκονται σε δημητριακά ολικής αλέσεως, όσπρια, φυλλώδη λαχανικά και σε εμπλουτισμένα τρόφιμα. Είναι απαραίτητα συνένζυμα σε πολυάριθμα μεταβολικά μονοπάτια, συμπεριλαμβανομένου του μεταβολισμού της ενέργειας, της σύνθεσης του DNA και της σύνθεσης των νευροδιαβιβαστών. Για παράδειγμα, η βιταμίνη B1 (θειαμίνη) δρα ως συμπαραγόντας στη μετατροπή των υδατανθράκων σε ενέργεια μέσω του κύκλου του κιτρικού οξέος. Η βιταμίνη B3 (νιασίνη) διαδραματίζει βασικό ρόλο στη γλυκόλυση και στον κύκλο του κιτρικού οξέος διευκολύνοντας την παραγωγή του NADH, ενός βασικού μεταφορέα ηλεκτρονίων. Οι βιταμίνες B είναι επίσης κρίσιμες για το μεταβολισμό των αμινοξέων, το μεταβολισμό των λιπιδίων και τη σύνθεση των ερυθρών αιμοσφαιρίων (Ofoedu et al., 2021).



Η βιταμίνη Κ, η οποία είναι άφθονη στα φυλλώδη λαχανικά, το μπρόκολο και τα λαχανάκια Βρυξελλών, διαδραματίζει βασικό ρόλο στην πήξη του αίματος και την υγεία των οστών. Συμβάλλει στην ανοργανοποίηση των οστών ενεργοποιώντας την οστεοκαλσίνη, μια πρωτεΐνη που δεσμεύει ιόντα ασβεστίου σε πρωτεΐνες της οστικής μήτρας, ενισχύοντας την αντοχή και την πυκνότητα των οστών. Η βιταμίνη Κ διερευνάται επίσης για τον πιθανό ρόλο της στην πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και ορισμένων τύπων καρκίνου (Ofoedu et al., 2021).



**Πίνακας 1.5:** Κατηγορίες και βιολογικές λειτουργίες βιταμινών

	Πηγές	Δράση	Βιβλιογραφία	
<b>ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ</b>				
<b>Λιποδιαλυτές</b>				
A (προβιταμίνη A)	Φρούτα και λαχανικά που περιέχουν καροτενοειδή, πράσινα φυλλώδη λαχανικά – γλυκοπατάτα, καρότο, σπανάκι, κολοκύθα	Προάγει την υγεία των ματιών, των οστών και του δέρματος, το ανοσοποιητικό σύστημα, συμμετέχει στη διαφοροποίηση των επιθηλιακών κυττάρων	(Dixit et al., 2023, Ofoedu et al., 2021, Hamzalioglu and Gökmen, 2016)	
D				
E	Φυτικά έλαια, αμύγδαλα, φουντούκια, φιστίκια, αβοκάντο, ηλιόσποροι, μάνγκο, ακτινίδιο, σπανάκι, σέσκουλα, φύλλα πικραλίδας	Αντιοξειδωτική δράση, βοηθά στη βελτίωση της κυκλοφορίας του αίματος, στην περιποίηση του δέρματος και στην υγεία της καρδιάς, ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα		
K (φυλλοκινόνη)	Λαχανίδα, μπρόκολο, σπανάκι, μαϊντανός, λάχανο, φυτικά έλαια (σόγιας, κανόλα, ελιάς)	Συμβάλλει στην πήξη του αίματος και στην υγεία των οστών μέσω του μεταβολισμού του ασβεστίου		
<b>Υδατοδιαλυτές</b>				
C (ασκορβικό οξύ)	Εσπεριδοειδή, μούρα, ντομάτα, πατάτα, κόκκινη και πράσινη πιπεριά, ακτινίδιο, μπρόκολο, φράουλες, λαχανάκια Βρυξελλών, πεπόνι	Αντιοξειδωτική, αντικαρκινική, τόνωση του ανοσοποιητικού συστήματος, προάγει την ανάπτυξη και την επανόρθωση των ιστών, απαραίτητο για τη σύνθεση του κολλαγόνου και της καρνιτίνης, μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, συμβάλλει στην αντιμετώπιση των οφθαλμικών διαταραχών, του σκορβούτου και του διαβήτη		
B				
B1 (θειαμίνη)	Εσπεριδοειδή, φράουλες, σταφύλια, ανανάς, σπαράγγια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, δημητριακά ολικής άλεσης, όσπρια, ξηροί καρποί, κολοκύθι, γάλα σόγιας	Βελτίωση της νοητικής λειτουργίας, ρύθμιση του μεταβολισμού, διατήρηση της υγείας του νευρικού συστήματος.		



B2 (ριβοφλαβίνη)	Αμύγδαλα, σκούρα πράσινα φυλλώδη λαχανικά, δημητριακά ολικής αλέσεως	Αντιοξειδωτική, προστασία από την ημικρανία, προάγει την αύξηση της κυτταρικής ανάπτυξης.
B3 (νιασίνη)	δημητριακά, φιστίκια, όσπρια, αβοκάντο, ντομάτα, φυλλώδη λαχανικά, καρότα, γλυκοπατάτες, σπαράγγια, ξηροί καρποί, προϊόντα ολικής άλεσης	μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, προάγει την υγεία του νευρικού συστήματος, τη ρύθμιση και σταθεροποίηση του μεταβολισμού
B5 (παντοθενικό οξύ)	δημητριακά, όσπρια, ντομάτα, πατάτες, μπρόκολο, πράσινα φυλλώδη λαχανικά	σταθεροποίηση του μεταβολισμού, σύνθεση ορμονών, βοηθά στην επούλωση πληγών και στην ομαλοποίηση του λιπιδαιμικού προφίλ του αίματος
B6 (πυριδοξίνη)	Μπρόκολο	Μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων, αντικαρκινική δράση, βελτίωση του ανοσοποιητικού συστήματος, διατήρηση υγιούς μεταβολισμού, ενίσχυση επιπέδου ενέργειας.
B7 (βιοτίνη)	ξηροί καρποί, ρεβίθια, αραβόσιτος, δημητριακά ολικής άλεσης, πράσινα φυλλώδη λαχανικά, μπανάνες, πατάτες, φρούτα και αμυλούχα λαχανικά.	Προάγει την αναγέννηση των μαλλιών, του δέρματος και των νυχιών, βοηθά στη θεραπεία δερματικών διαταραχών, ρυθμίζει το μεταβολισμό
B9 (φολικό οξύ)	Ξηροί καρποί, δημητριακά, φακές, φύτρα σιταριού, σπαράγγια, φασόλια, πράσινα φυλλώδη λαχανικά	απαραίτητο για την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων και το σχηματισμό του νευρικού σωλήνα. Βοηθά στη μείωση των δυσλειτουργιών στους νευρικούς σωλήνες και βοηθά κατά της αναιμίας, της δυσπεψίας, της μη φυσιολογικής ανάπτυξης του εγκεφάλου και των δερματικών διαταραχών.
B12 (κυανοκοβαλα- μίνη)	Σπανάκι, σκούρα φυλλώδη λαχανικά, σπαράγγια, παντζάρια, γογγύλια, φύλλα μουστάρδας	Απαραίτητη για το σχηματισμό ερυθρών αιμοσφαιρίων και την απορρόφηση σιδήρου, ασβεστίου και βιταμίνης A, απαραίτητη για τη νευρική δραστηριότητα και τη σύνθεση των νευροδιαβιβαστών, ομαλοποιεί το μεταβολισμό





#### 1.2.4 Λιπαρά οξέα

Τα λιπαρά οξέα, τα δομικά στοιχεία των λιπιδίων, αντιπροσωπεύουν μια ποικιλόμορφη ομάδα οργανικών ενώσεων που είναι απαραίτητες για πολυάριθμες βιολογικές διεργασίες στους ζωντανούς οργανισμούς και κατατάσσονται στους πρωτογενείς μεταβολίτες. Δομικά, αποτελούνται από μια αλυσίδα υδρογονανθράκων με μια ομάδα καρβοξυλικού οξέος στο ένα άκρο. Οι αλυσίδες αυτές ποικίλλουν σε μήκος και κορεσμό, επηρεάζοντας τις φυσικές και βιοχημικές ιδιότητες του λιπαρού οξέος. Τα λιπαρά οξέα (Πίνακας 1.6) χωρίζονται γενικά σε κορεσμένα λιπαρά οξέα (SAFA) και ακόρεστα λιπαρά οξέα. Τα κορεσμένα λιπαρά οξέα περιέχουν μόνο απλούς δεσμούς μεταξύ των ατόμων άνθρακα και είναι συνήθως στερεά σε θερμοκρασία δωματίου. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, διαθέτουν έναν – μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (MUFA) – ή περισσότερους διπλούς δεσμούς – πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) – κάτι που τους προσδίδει ένα βαθμό ρευστότητας (Ramírez et al., 2001, Gunstone, 1996). Τα λιπαρά οξέα αποτελούν θεμελιώδη συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών, ενώ χρησιμεύουν ως μόρια αποθήκευσης ενέργειας και ως πρόδρομες ενώσεις διαφόρων σηματοδοτικών μορίων που προέρχονται από λιπίδια. Προέρχονται από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων – όπως έχει προαναφερθεί – των ζωικών λιπών, των φυτικών ελαίων και των θαλάσσιων οργανισμών. Τα μόρια αυτά διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στις μεταβολικές διεργασίες, τη γονιδιακή ρύθμιση και τις ανοσολογικές αποκρίσεις.

Το α-λινολενικό οξύ (ALA), ένα θεμελιώδες ωμέγα-3 λιπαρό οξύ, βρίσκεται στο λιναρόσπορο, τους σπόρους chia και τα καρύδια. Η χημική του δομή χαρακτηρίζεται από μια αλυσίδα 18 ατόμων άνθρακα με τρεις διπλούς δεσμούς, ο πρώτος από τους οποίους εμφανίζεται στον τρίτο άνθρακα από το μεθυλικό άκρο. Πρόκειται για ένα PUFA που χρησιμεύει ως πρόδρομος των ωμέγα-3 λιπαρών οξέων μακρύτερης αλυσίδας, του εικοσαπεντανοϊκού οξέος (EPA) και του δοκοσαεξανοϊκού οξέος (DHA) που είναι ζωτικής σημασίας για την καρδιαγγειακή υγεία και τη νευρολογική λειτουργία, ενώ παρουσιάζουν και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες (Lockwood, 2009).

Τα ωμέγα-6 λιπαρά οξέα, ιδίως το λινολεϊκό οξύ (LA) που βρίσκεται άφθονο σε φυτικά έλαια όπως του ηλιανθου, κνήκου και καλαμποκιού, παρουσιάζει χημική δομή που περιλαμβάνει αλυσίδα 18 ατόμων άνθρακα με δύο διπλούς δεσμούς, ο πρώτος εκ των οποίων



βρίσκεται στον έκτο άνθρακα από το μεθυλικό άκρο. Το LA χρησιμεύει ως πρόδρομος παράγοντας μεταξύ άλλων, του αραχιδονικού οξέος (AA). Είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία του επιδερμικού φραγμού και την ακεραιότητα της κυτταρικής μεμβράνης, ωστόσο, μια ανισορροπία στην αναλογία των ωμέγα-6 προς τα ωμέγα-3 λιπαρά οξέα μπορεί να συμβάλει σε φλεγμονώδεις αντιδράσεις και να αυξήσει τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών.

Τα MUFAs, με κύριο αντιπρόσωπο το ελαϊκό οξύ, άφθονο στο ελαιόλαδο, διαθέτουν χημική δομή που χαρακτηρίζεται από μια αλυσίδα 18 ατόμων άνθρακα με έναν μονό διπλό δεσμό που βρίσκεται στον ένατο άνθρακα από το μεθυλικό άκρο. Η μονοακόρεστη φύση του ελαϊκού οξέος προσδίδει σταθερότητα έναντι οξειδωτικών βλαβών και προσδίδει ευνοϊκές επιδράσεις στον μεταβολισμό των λιπιδίων και στην καρδιαγγειακή υγεία. Επίσης η κατανάλωση ελαϊκού οξέος έχει συνδεθεί με μειωμένα επίπεδα LDL χοληστερόλης και βελτιωμένη ευαισθησία στην ινσουλίνη (Bermudez et al., 2011).

Το γ-λινολενικό οξύ (GLA), ένα ωμέγα-6 λιπαρό οξύ που προέρχεται κυρίως από τα έλαια νυχτολούλουδου και βοράγου, παρουσιάζει μια χημική δομή που χαρακτηρίζεται από μια αλυσίδα 18 ατόμων άνθρακα με τρεις cis διπλούς δεσμούς, ο πρώτος από τους οποίους εμφανίζεται στον έκτο άνθρακα από το μεθυλικό άκρο. Το GLA χρησιμεύει ως πρόδρομος ουσία για τη σύνθεση της προσταγλανδίνης E1, ασκώντας αντιφλεγμονώδη και ανοσοτροποποιητική. Έχει ερευνηθεί συγκεκριμένα για τις δυνατότητές του στη διαχείριση φλεγμονωδών καταστάσεων όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα και η ατοπική δερματίτιδα (Karoor et al., 2006).

Τα τριγλυκερίδια μέσης αλυσίδας (MCT), που απαντώνται στο έλαιο καρύδας, διαθέτουν χημικές δομές που περιλαμβάνουν λιπαρά οξέα μέσης αλυσίδας (6-12 άνθρακες). Παρουσιάζουν μοναδικές μεταβολικές ιδιότητες, αφού σε αντίθεση με τα λιπαρά οξέα μακράς αλυσίδας, απορροφώνται και μεταβολίζονται γρήγορα προσδίδοντας ενέργεια. Η μοναδική μεταβολική τους ιδιότητα, τα καθιστά μια άμεσα διαθέσιμη πηγή ενέργειας με πιθανά οφέλη για τη διαχείριση του βάρους, τη γνωσιακή λειτουργία και τις κετογονικές δίαιτες.

Οι φυτοστερόλες, ενώσεις στερολών φυτικής προέλευσης, δομικά ανάλογες με τη χοληστερόλη, είναι άφθονες στους σπόρους, τους ξηρούς καρπούς και τα φυτικά έλαια. Παρουσιάζουν μια αξιοσημείωτη ικανότητα, να ανταγωνίζονται την απορρόφηση της



χοληστερόλης στον εντερικό σωλήνα, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των επιπέδων της LDL χοληστερόλης, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων.

Το συζευγμένο λινολεϊκό οξύ (CLA), μια ομάδα ισομερών του λινολεϊκού οξέος που βρίσκεται στα ζωικά προϊόντα από ζώα που έχουν τραφεί με χόρτο και σε ορισμένα φυτικά έλαια όπως το σαφράν, παρουσιάζει ποικίλες χημικές δομές με διαφορετικές διαμορφώσεις συζευγμένων διπλών δεσμών. Οι αντι-παχυσαρκικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες του CLA οφείλονται στη διαμόρφωση του μεταβολισμού των λιπιδίων, της διαφοροποίησης των λιποκυττάρων και της παραγωγής φλεγμονωδών μεσολαβητών. Ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω έρευνες για τη διαλεύκανση των μηχανισμών και της αποτελεσματικότητάς του στην ανθρώπινη υγεία.

**Πίνακας 1.6:** Κατηγορίες και βιολογικές τους λειτουργίες λιπαρών οξέων

	Πηγές	Δράση	Βιβλιογραφία
<b>ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ</b>			
<b>Μονοακόρεστα (MUFAs)</b>			
Ελαιϊκό οξύ (oleic acid)	Ελαιόλαδο, αβοκάντο, σταφυλέλαιο, ξηροί καρποί, λάδι κανόλα.	Βοηθά στη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών διαταραχών και παρέχει επίσης ένα υγιέστερο προφίλ λιπιδίων του ορού	(Bermudez et al., 2011)
<b>Πολυακόρεστα (PUFAs)</b>			
Ωμέγα-3 λιπαρά οξέα – λινολενικό οξύ	Λιναρόσπορος, καρύδια, έλαιο κάνναβης	Αντιφλεγμονώδη, αντιπηκτική, βελτιώνει την υγεία των ματιών και της καρδιάς, νευροπροστατευτική(?)	(Dixit et al., 2023)
Μακράς αλυσίδας Ωμέγα-3 λιπαρά οξέα – εικοσαπεντανικό οξύ (EPA)		προστασίας ενάντια στις συγγενείς καρδιοπάθειες και αυτοάνοσα νοσήματα, βελτίωση της οπτικής και γνωσιακής ανάπτυξη των βρεφών	(Joneja et al., 2018)

Όπως προαναφέρθηκε, όλα τα παραπάνω συστατικά, τα τελευταία χρόνια έχουν αποκτήσει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο σε ερευνητικό επίπεδο αλλά και σε βιομηχανικό. Ήδη υπάρχουν αρκετές εταιρίες που εδώ και δεκαετίες έχουν αναπτύξει προϊόντα τροφίμων εμπλουτισμένα με BACs.



Χυμοί φρούτων με ενισχυμένη σύνθεση βιταμινών και ιχνοστοιχείων (Εικόνα 1.6), καθώς και γάλα εμπλουτισμένο με ασβέστιο, μαγνήσιο και βιταμίνη D ή ακόμα και με Ω3 λιπαρά οξέα, έχουν ήδη κατακτήσει την αγορά. Τα δημητριακά του πρωινού είναι τρόφιμα που εμπλουτίζονται κατά κόρον με βιταμίνες και όχι μόνο. Για παράδειγμα η εταιρεία Kellogg's έχει αναπτύξει μεταξύ άλλων δημητριακά με κόκκινα μούρα (Εικόνα 1.7), εμπλουτισμένα με βιταμίνες Β, C, D καθώς και με β-καροτένιο.



**Εικόνα 1.6 :** Amita motion, χυμός 9 φρούτων εμπλουτισμένος με 7 βιταμίνες (Εικόνα που έχει εξαχθεί από την ιστοσελίδα της εταιρείας <https://www.amitamotion.gr/>)



**Εικόνα 1.7 :** Kellogg's® Special K® Red Berries Cereal, δημητριακά με κόκκινα μούρα, εμπλουτισμένα με βιταμίνες και β-καροτένιο (Εικόνα που έχει εξαχθεί από την ιστοσελίδα της εταιρείας [https://www.specialk.com/en\\_US/home.html](https://www.specialk.com/en_US/home.html))



Επίσης, η Becel ProActiv που ανήκει στον όμιλο Unilever, προσφέρει προϊόντα εμπλουτισμένα με φυτοστερόλες, οι οποίες έχουν αποδειχθεί ότι βοηθούν στη μείωση της χοληστερίνης. Τα προϊόντα αυτά, που ανήκουν στα λειτουργικά τρόφιμα, περιλαμβάνουν μαργαρίνες (Εικόνα 1.8) και ροφήματα που συμβάλλουν στη βελτίωση της καρδιαγγειακής υγείας, ενώ μπορεί να είναι εμπλουτισμένα και με βιταμίνες.



**Εικόνα 1.8** : Becel ProActiv, μαργαρίνη εμπλουτισμένη με φυτοστερόλες και βιταμίνες της (Εικόνα που έχει εξαχθεί από την ιστοσελίδα της εταιρείας <https://www.pro-activ.com/el-gr>)

Έτσι, όπως έχει προαναφερθεί, η χρήση των διαφόρων BACs έχει αρχίσει να εντάσσεται και στη νομοθεσία, δίνοντας σαφείς οδηγίες για τη χρήση των πιο διαδεδομένων από αυτά και κυρίως αυτών που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα τροφίμων (αντιοξειδωτικά, χρωστικές κλπ.).

Μέχρι πρόσφατα, επικρατούσε η άποψη ότι η αποτελεσματικότητα των βιολογικών δράσεων των BACs εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητά τους στα τρόφιμα καθώς και από την ποσότητα πρόσληψης. Αυτή η αντίληψη οδηγούσε συχνά σε μια απλοϊκή προσέγγιση "το περισσότερο είναι καλύτερο", όπου θεωρούνταν ότι οι υψηλότερες δόσεις BACs, σε τρόφιμα ή συμπληρώματα διατροφής, θα οδηγούσαν σε μεγαλύτερα οφέλη για την υγεία. Ωστόσο, η προσπάθεια κατανόησης των ερευνητών για τα BACs και την αποτελεσματικότητά τους έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Έτσι, ενώ τα BACs που βρίσκονται σε αφθονία στα τρόφιμα, τα φαρμακευτικά προϊόντα και τα φυσικά προϊόντα, υπόσχονται την πρόληψη ασθενειών και την προαγωγή της συνολικής ευεξίας, για να μπορέσει να γίνει αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού τους πρέπει να επιτευχθεί η κατανόηση του περίπλοκου πλέγματος παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά τους κατά την κατανάλωση.



Έχει βρεθεί μια σειρά ενδογενών και εξωγενών παραγόντων που επηρεάζουν την δράση και αποτελεσματικότητα των BACs, όπως η χημική δομή τους, που διαμορφώνει τις ιδιότητες, τις φυσιολογικές επιδράσεις τους, οι οποίες οφείλονται στις μοναδικές μοριακές τους διαμορφώσεις. Επιπλέον, η μήτρα στην οποία καταναλώνονται αυτές οι ενώσεις παίζει καθοριστικό ρόλο. Είτε πρόκειται για τρόφιμα ή συμπληρώματα διατροφής, η μήτρα μπορεί να διευκολύνει ή να εμποδίσει την απελευθέρωση και την επακόλουθη απορρόφηση των BACs. Επιπλέον, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ατομική μεταβλητότητα. Η ατομική μεταβλητότητα αναφέρεται στις διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των ατόμων σε διάφορες φυσιολογικές, βιολογικές, γενετικές, και συμπεριφορικές παραμέτρους που μπορούν να επηρεάσουν την αντίδραση του κάθε ατόμου σε φάρμακα, τρόφιμα και άλλους παράγοντες. Η γενετική προδιάθεση, οι μεταβολικές διαφορές και η συνολική κατάσταση της υγείας μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα ανταποκρίνονται στην απορρόφηση διαφόρων ουσιών. Για παράδειγμα οι διαφορές στο εντερικό μικροβίωμα του κάθε ατόμου μπορούν να επηρεάσουν την απορρόφηση και τον μεταβολισμό των BACs. Σύμφωνα με μελέτες, ο μεταβολισμός των πολυφαινόλων, συμπεριλαμβανομένων των φλαβονοειδών, έχει παρουσιάσει αξιοσημείωτη ατομική μεταβλητότητα (Bié et al., 2023).

Επίσης, αρκετά σημαντικές είναι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των BACs και των λουπών συστατικών του προϊόντος εφαρμογής, όπου μπορούν να ενισχύσουν (συνεργιστική δράση) ή να αναστείλουν (ανταγωνιστική δράση) την αποτελεσματικότητά τους, αναδεικνύοντας έτσι την πολυπλοκότητα του πεδίου των BACs (Rajčević et al., 2022).

Τέλος, μια άλλη έννοια πολύ σημαντική για την κατανόηση της λειτουργίας και της δράσης των BACs στον οργανισμό, είναι η έννοια της βιοδιαθεσιμότητας που θα αναλυθεί περαιτέρω στην επόμενη ενότητα. Σύμφωνα με πολυάριθμες μελέτες, παρά το γεγονός ότι τα BACs έχουν αποδεδειγμένα *in vitro* βιολογική δράση αυτό δε συνεπάγεται ότι έχει αποδεδειγμένα και την ίδια *in vivo* δράση. Το παραπάνω σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ένα μόνο μέρος των συστατικών που καταναλώνονται, χρησιμοποιούνται τελικά από τον οργανισμό, επιδεικνύουν την ανάγκη της γνώσης και αντίληψης της βιοδιαθεσιμότητας των BACs.



### 1.3 Βιοδιαθεσιμότητα βιοδραστικών συστατικών

Η διατροφή αποσκοπεί στην παροχή θρεπτικών συστατικών σε επαρκή ποσότητα και ποιότητα, για την κάλυψη των αναγκών του οργανισμού, και BACs, για την ενίσχυση της υγείας. Για να έχουν ωστόσο θετική επίδραση στην υγεία, όταν τα BACs των τροφίμων εισέλθουν στον οργανισμό και πριν δράσουν, πρέπει να απελευθερωθούν από τη δομή του τροφίμου, να διασπαστούν κατά την πέψη στο γαστρεντερικό σωλήνα, να λάβουν μέρος οι απαραίτητες χημικές αλλαγές για να γίνουν απορροφήσιμες μονάδες και να διανεμηθούν (Heaney, 2001). Με άλλα λόγια, οι ενώσεις αυτές πρέπει να είναι βιοδιαθέσιμες ώστε να επωφεληθούν οι βιολογικές δράσεις που τα χαρακτηρίζουν (Bohn et al., 2015).

Όπως αναφέρθηκε, η έννοια της βιοδιαθεσιμότητας έχει διάφορες συνθήκες που την καθορίζουν και δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος ορισμός. Από διατροφική άποψη, ορίζεται ως το κλάσμα του προσλαμβανόμενου συστατικού που είναι διαθέσιμο για χρήση στις φυσιολογικές λειτουργίες, και σε αυτό περιλαμβάνονται η βιοπροσβασιμότητα και η βιοδραστικότητα (Fernández-García et al., 2009). Επιπλέον, αναφέρεται στη μεταφορά και κατανομή των BACs στους ιστούς στόχους και τα κύτταρα δράσης τους (Wood, 2005).

Αντίστοιχα, για τη βιοπροσβασιμότητα έχουν δοθεί δύο ορισμοί. Σύμφωνα με το πρώτο ορισμό η βιοπροσβασιμότητα ορίζεται ως το κλάσμα μιας ένωσης που απελευθερώνεται από την τροφή στο γαστρεντερικό σωλήνα και έτσι καθίσταται διαθέσιμο για εντερική απορρόφηση. Ο δεύτερος ορισμός είναι πιο αυστηρός καθώς περιγράφει τη βιοπροσβασιμότητα ως το κλάσμα μιας ένωσης που απελευθερώνεται από τη τροφή στο γαστρεντερικό σωλήνα και έτσι καθίσταται διαθέσιμο για εντερική απορρόφηση, συμπεριλαμβανομένης της απορρόφησης στα κύτταρα του εντερικού επιθηλίου και του εντερικού και ηπατικού μεταβολισμού (Cardoso et al., 2015).

Η έννοια της βιοδραστικότητας περιλαμβάνει τη σειρά των γεγονότων που συνδέονται με τον τρόπο με τον οποίο τα BACs προσεγγίζουν τη συστηματική κυκλοφορία, μεταφέρονται στον ιστό-στόχο, την αλληλεπίδραση με τον μεταβολισμό των βιομορίων σε αυτούς τους ιστούς και το σύνολο των φυσιολογικών επιδράσεων που προκαλεί.

Συνεπώς, η κατανόηση της βιοπροσβασιμότητας ως πρώτο βήμα της βιοδιαθεσιμότητας παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για την εξακρίβωση της διατροφικής



ποιότητας ενός θρεπτικού συστατικού ή μιας βιοδραστικής ένωσης όχι μόνο όσον αφορά τις ποσότητες που απαιτούνται για την επίτευξη των βιολειτουργικών λειτουργιών, αλλά και για τη ρύθμιση της ανάπτυξης λειτουργικών τροφίμων (Fernández-García et al., 2009).

#### 1.4 Μέθοδοι προσδιορισμού βιοδιαθεσιμότητας

Η κατανόηση της βιοδιαθεσιμότητας μιας ένωσης στα τρόφιμα μπορεί συνήθως να εκτιμηθεί με τη μελέτη των επιπτώσεων της στις συγκεντρώσεις στο πλάσμα σε ανθρώπους ή ζώα. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χορήγηση της ένωσης μόνη της ή εντός μιας μήτρας, είτε σε εφάπαξ δόση είτε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Rein et al., 2013). Λόγω του κόστους του πειραματικού σχεδιασμού, του εξοπλισμού και της εργασίας, της ερμηνείας των δεδομένων, και των βιοηθικών περιορισμών, οι *in vivo* μέθοδοι για τον έλεγχο της βιοδιαθεσιμότητας των BACs για ευρύ φάσμα επεξεργασμένων τροφίμων είναι περιορισμένες. Κατά συνέπεια, υπάρχει έλλειψη δεδομένων, τόσο περιορισμένων σε ποσότητα όσο και χρονολογικά ξεπερασμένων, που εξετάζουν τον αντίκτυπο της επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα των φυτοχημικών ουσιών στους ζωντανούς οργανισμούς (Ribas-Agustí et al., 2018). Αρκετές *in vivo* μελέτες έχουν διεξαχθεί σε ανθρώπους για τη διερεύνηση της επίδρασης της επεξεργασίας στα BACs (Sánchez-Moreno et al., 2004; 2005; Aschoff et al., 2015).

Ενώ είναι σημαντικό να διεξάγονται ελεγχόμενες κλινικές μελέτες σε ανθρώπους για τον ακριβή προσδιορισμό της *in vivo* βιοδιαθεσιμότητας των συστατικών των τροφίμων, χρησιμοποιούνται επίσης συνήθως μοντέλα *in vitro* που μιμούνται διάφορα στάδια της πέψης. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε γενικές γραμμές σε στατικά και δυναμικά μοντέλα, το καθένα με ξεχωριστές μεθοδολογίες και εφαρμογές.

Τα στατικά μοντέλα πέψης *in vitro* χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της απλότητας, της αναπαραγωγιμότητας και του χαμηλού κόστους και είναι γενικά γρήγορες μέθοδοι για την πρόβλεψη της βιοδιαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών (Van Buggenhout et al., 2010). Επιπλέον, προσφέρουν την ευκαιρία να ασκηθεί μεγαλύτερος έλεγχος στο υπό έρευνα σύστημα. Ωστόσο, τα στατικά μοντέλα *in vitro* διατηρούν σταθερές συνθήκες, όπως το pH, τις αναλογίες ενζύμων και τους χρόνους πέψης καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Έτσι ο κύριος περιορισμός τους είναι η αδυναμία αναπαραγωγής των δυναμικών συνθηκών του ανθρώπινου





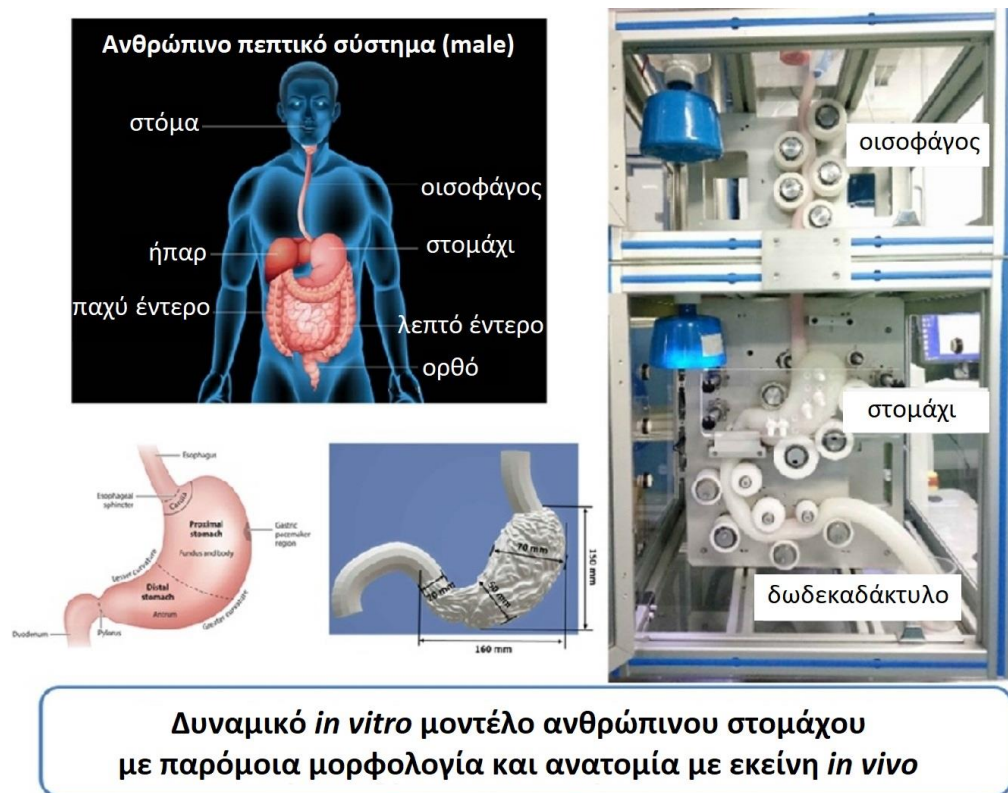
γαστρεντερικού σωλήνα, όπως οι διαβαθμίσεις του pH, η σταδιακή προσθήκη ενζύμων και η συνεχής γαστρική κένωση (Brodkorb et al., 2019).

Τα δυναμικά μοντέλα πέψης *in vitro*, από την άλλη πλευρά, ενσωματώνουν μεταβαλλόμενες συνθήκες που μιμούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια τις φυσιολογικές διεργασίες λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη παράγοντες όπως το μεταβλητό pH, τους ρυθμούς έκκρισης ενζύμων και τη γαστρική κένωση, καθιστώντας τα πιο κοντά στην πραγματική διεργασία της πέψης. Ωστόσο, είναι πολύπλοκα, ακριβά και απαιτούν σημαντικούς τεχνολογικούς πόρους, γεγονός που περιορίζει την προσβασιμότητά τους για πολλούς ερευνητές (Brodkorb et al., 2019).

Ένα αξιοσημείωτο δυναμικό *in vitro* μοντέλο πέψης περιγράφεται στην Εικόνα 1.9 και είναι το σύστημα Near Real Dynamic *in vitro* Human Stomach (DIVHS), το οποίο έχει σχεδιαστεί για να προσομοιάζει στενά τις ανθρώπινες γαστρεντερικές συνθήκες. Αυτό το μοντέλο βελτιώνει τις προηγούμενες προσπάθειες ενσωματώνοντας μια πιο ακριβή αναπαράσταση του μηχανικού και χημικού περιβάλλοντος του στομάχου και γενικά του γαστρεντερικού συστήματος. Τα βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τη χρήση ελαστικής και συσταλτής γέλης πυριτίου για την προσομοίωση των ρυγχών και των πτυχών του στομάχου, καθώς και τη συμπερίληψη εντερικών πτυχών και λαχνών για τη μίμηση του λεπτού εντέρου (Wu & Chen, 2020). Αυτό επιτρέπει μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση της πεπτικής διαδικασίας σε σύγκριση με τα στατικά μοντέλα. Για παράδειγμα, το μοντέλο ρυθμίζει σταδιακά το pH ώστε να αντικατοπτρίζει την οξίνιση στο στομάχι και στη συνέχεια την εξουδετέρωση στο έντερο. Η προσθήκη ενζύμων ελέγχεται επίσης ώστε να προσομοιώνεται η διαδοχική απελευθέρωση και δραστηριότητα όπως παρατηρείται *in vivo* (Wu & Chen, 2020).

Ενώ τα δυναμικά μοντέλα όπως το σύστημα DIVHS προσφέρουν αυξημένη ακρίβεια και φυσιολογική συνάφεια, η πολυπλοκότητα και το κόστος τους παραμένουν προκλήσεις. Χρησιμεύουν ως ισχυρά εργαλεία για συγκεκριμένες ερευνητικές εφαρμογές όπου η λεπτομερής προσομοίωση των γαστρεντερικών συνθηκών είναι ζωτικής σημασίας.





**Εικόνα 1.9:** Δυναμικό *in vitro* μοντέλο ανθρώπινου στομάχου (εικόνα που έχει εξαχθεί από τους Wu & Chen, 2020)

Νέες *in vitro* μέθοδοι μιμούνται με ακρίβεια το φυσιολογικό περιβάλλον και τη χρονολογική πορεία της ανθρώπινης γαστρεντερικής λειτουργίας καθ' όλη τη διάρκεια της πέψης. Πρώτον, ομογενοποιημένα γεύματα ή απομονωμένες βιοδραστικές χημικές ουσίες υποβάλλονται σε προσομοίωση γαστρικής, εντερικής και σιελογενετικής πέψης. Στη συνέχεια, το κλάσμα των διαλυτών συστατικών προσδιορίζεται με φυγοκέντρηση ή διάλυση μέσω ημιπερατής μεμβράνης σε κλειστό σύστημα.

Το μοντέλο INFOGEST αποτελεί σημαντική πρόοδο στις μεθόδους *in vitro* πέψης. Διάφοροι ερευνητές συμμετείχαν σε ένα ευρείας κλίμακας δίκτυο χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ με στόχο τη βελτίωση και τυποποίηση του επιστημονικού πρωτοκόλλου για την προσομοίωση της πέψης των τροφίμων. Το πρωτόκολλο προέκυψε από μακροχρόνια συνεργασία άνω των 27



ακαδημαϊκών ιδρυμάτων από 18 διαφορετικές χώρες. Το INFOGEST 2.0 είναι ένα τυποποιημένο *in vitro* πρωτόκολλο βήμα προς βήμα για τη μελέτη της γαστρεντερικής πέψης των τροφίμων. Βασίζεται σε μια διεθνή συναίνεση που αναπτύχθηκε μέσω της δράσης COST Action INFOGEST, χρηματοδοτούμενης από την ΕΕ, κατά την περίοδο 2011-2015 (Brodkorb et al., 2019, Minekus et al., 2014).

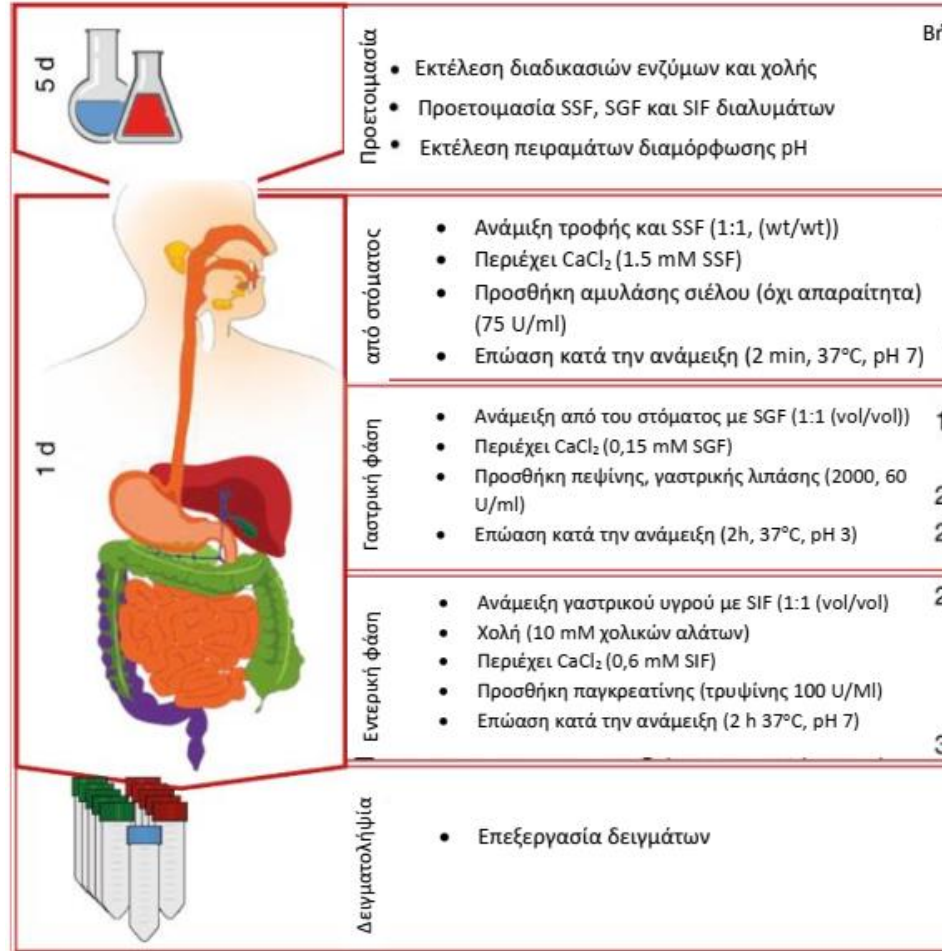
Η μέθοδος αυτή έχει καθιερωθεί ως το πρότυπο στον ακαδημαϊκό και βιομηχανικό χώρο για την προσομοίωση της πέψης των τροφίμων, χρησιμοποιώντας τυποποιημένο εργαστηριακό εξοπλισμό. Έχει επικυρωθεί μέσω πολλαπλών δοκιμών *in vivo* και παρέχει μια πολύ ακριβή προσέγγιση της γαστρεντερικής πέψης των γαλακτοκομικών προϊόντων. Πρόκειται για μια στατική μέθοδο πέψης που χρησιμοποιεί σταθερές αναλογίες γεύματος προς πεπτικά υγρά και διατηρεί σταθερό pH σε κάθε στάδιο της πέψης. Έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κοινό εργαστηριακό εξοπλισμό και απαιτεί ελάχιστη εξειδίκευση, ενθαρρύνοντας έτσι την υιοθέτησή της από ευρύ φάσμα ερευνητών.

Στην Εικόνα 1.10, περιγράφεται το πρωτόκολλο πέψης INFOGEST 2.0, το οποίο μπορεί να χωριστεί σε τρία βήματα: προετοιμασία, διαδικασία πέψης και επεξεργασία του δείγματος με επακόλουθη ανάλυση. Για την προετοιμασία της *in vitro* πέψης, οι δραστηριότητες όλων των πεπτικών ενζύμων και οι συγκεντρώσεις των χολικών αλάτων πρέπει να προσδιορίζονται πειραματικά, χρησιμοποιώντας τις συνιστώμενες τυποποιημένες δόσεις. Αυτό το πρώτο βήμα προετοιμασίας είναι εξαιρετικά σημαντικό και η αποτυχία της σωστής ανάλυσης της ενζυμικής δραστηριότητας μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένους ρυθμούς πέψης συστατικών, αλλάζοντας ενδεχομένως τη συνολική πέψη του τροφίμου (Brodkorb et al., 2019, Minekus et al., 2014). Η πέψη περιλαμβάνει την έκθεση του τροφίμου σε τρεις διαδοχικές φάσεις πέψης, την από στόματος, τη γαστρική και την εντερική και κάθε φάση μιμείται συγκεκριμένες συνθήκες πέψης ως εξής:

- Από στόματος: Προσομοιώνει τη μάσηση και την έκκριση σάλιου, χρησιμοποιώντας α-αμυλάση για την έναρξη της πέψης του αμύλου.
- Γαστρική φάση: Περιλαμβάνει τη μείωση του pH σε περίπου 3,0 και την προσθήκη πεψίνης για τη μίμηση συνθηκών του στομάχου.



- Εντερική φάση: Ρυθμίζει το pH στο 7,0 και εισάγει χολικά άλατα και παγκρεατικά ένζυμα για την προσομοίωση των συνθηκών του λεπτού εντέρου.



**Εικόνα 1.10:** Διάγραμμα ροής και χρονοδιάγραμμα για την *in vitro* μέθοδο πέψης τροφίμων INFOGEST 2.0. Δίνονται το αναμενόμενο χρονοδιάγραμμα (αριστερά) και τα στάδια και ο αντίστοιχος αριθμός βημάτων της διαδικασίας (δεξιά) SGF, προσομοιωμένο γαστρικό υγρό- SIF, προσομοιωμένο εντερικό υγρό- SSF, προσομοιωμένο σιελογόνο υγρό (εικόνα που έχει εξαχθεί από τους (Brodkorb et al., 2019).

Το INFOGEST μπορεί να προσαρμοστεί για τη μελέτη της πεπτικής συμπεριφοράς των τροφίμων σε διαφορετικές ομάδες πληθυσμού, όπως παιδιά, ηλικιωμένοι ή άτομα με συγκεκριμένες παθήσεις υγείας. Αυτή η προσαρμοστικότητα υποστηρίζει την ανάπτυξη εξατομικευμένων στρατηγικών διατροφής προσανατολισμένων στις μοναδικές ανάγκες αυτών



των ομάδων, διασφαλίζοντας ότι οι διατροφικές παρεμβάσεις είναι αποτελεσματικές και επωφελείς για όλα τα άτομα (Ménard et al., 2023).

Μία από τις κύριες εφαρμογές του μοντέλου INFOGEST είναι ο προσδιορισμός της βιοδιαθεσιμότητας και της βιοπροσβασιμότητας των θρεπτικών συστατικών και των BACs στα τρόφιμα (Zhou et al., 2022). Με την προσομοίωση των πεπτικών συνθηκών του ανθρώπινου γαστρεντερικού σωλήνα, το μοντέλο επιτρέπει στους ερευνητές να αξιολογήσουν τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικά τρόφιμα και μέθοδοι επεξεργασίας επηρεάζουν την απελευθέρωση και την απορρόφηση βασικών θρεπτικών συστατικών όπως βιταμίνες, πρωτεΐνες και αντιοξειδωτικές ενώσεις. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα σε διάφορες μελέτες, παρέχοντας μια αξιόπιστη βάση για τη βελτιστοποίηση των διατροφικών σκευασμάτων.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου INFOGEST έγκεινται στην τυποποίηση, την αναπαραγωγικότητα και την ευθυγράμμιση με τις φυσιολογικές συνθήκες. Έχει υιοθετηθεί ευρέως και αναφέρεται στην επιστημονική κοινότητα, αποδεικνύοντας τη χρησιμότητά της σε διάφορες μελέτες. Ωστόσο, η στατική φύση του μοντέλου εξακολουθεί να περιορίζει την ικανότητά του να αναπαράγει πλήρως τις δυναμικές διαδικασίες της ανθρώπινης πέψης. Επιπλέον, αν και είναι πιο προσιτό από τα δυναμικά μοντέλα, ενδέχεται να μην αποτυπώνει όλες τις πτυχές της πεπτικής διαδικασίας, όπως τις ειδικές υδρολυτικές δραστηριότητες της ψηκτροειδούς παρυφής, τη διάτμηση, τη ανάμιξη και την ενυδάτωση και παράγουν ουσιαστικά ακίνητα προϊόντα πέψης (Brodkorb et al., 2019, Alegría et al., 2015).

Ωστόσο, αν και τα μοντέλα είναι χρήσιμα, δεν αντιπροσωπεύουν πλήρως τις πραγματικές λειτουργίες, όπως το πώς οι ορμόνες και τα νεύρα ελέγχουν τις λειτουργίες, την ανατροφοδότηση, πώς λειτουργούν τα κύτταρα του βλεννογόνου, πόσο περίπλοκη είναι η περισταλτική κίνηση ή πώς εμπλέκεται τοπικά το ανοσοποιητικό σύστημα (Guerra et al., 2012). Επιπλέον, η τυποποίηση των *in vitro* μεθόδων είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των σχεδιασμών των μελετών και τη δυνατότητα των ερευνητών να συγκρίνουν τα αποτελέσματα. Πριν από την εξαγωγή συμπερασμάτων από τα *in vitro* μοντέλα πέψης για κάθε θρεπτικό συστατικό ή βιοδραστική ένωση, αυτά πρέπει να προσαρμοστούν, να τροποποιηθούν, να δοκιμαστούν και



να επικυρωθούν σε σχέση με μελέτες *in vivo* (Cardoso et al., 2015). Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα των *in vitro* δοκιμών ενδέχεται να μην είναι εφαρμόσιμα *in vivo*.

Τέλος, οι καλλιέργειες κυττάρων βοηθούν στις δοκιμές πέψης και βιοδιαθεσιμότητας BACs που είναι διαλυτές σε εργαστηριακό περιβάλλον. Το μοντέλο κυττάρων Caco-2 είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο και επιβεβαιωμένο εντερικό επιθηλιακό μοντέλο. Στην κυτταροκαλλιέργεια, τα κύτταρα Caco-2 του παχέος εντέρου διαφοροποιούνται σε μια ιδιαίτερα πολωμένη μονοστιβάδα κατά τη συμβολή. Τα κύτταρα αυτά έχουν αρκετές λειτουργικές και φυσικές ομοιότητες με τα ώριμα ανθρώπινα εντεροκύτταρα (Pinto et al., 1983). Αυτές οι προσεγγίσεις αξιολογούν τη βιοπροσβασιμότητα και προσδιορίζουν τα πρότυπα βιοδιαθεσιμότητας.



## 2 Θερμικές και μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Με την ανάπτυξη μεθόδων συντήρησης και επεξεργασίας τροφίμων διασφαλίζεται η ποιότητα, μέσω της καταστροφής αλλοιογόνων μικροοργανισμών και της διατήρησης των θρεπτικών συστατικών και η ασφάλεια, με την καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών στα τρόφιμα (Agiroroulou et al., 2022). Οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι επεξεργασίας και συντήρησης τροφίμων, όπως είναι η παστερίωση, η αποστείρωση και το ζεμάτισμα, αν και διατηρούν τη μικροβιολογική ασφάλεια των προϊόντων, μπορεί να υποβαθμίσουν σημαντικά ορισμένα θρεπτικά συστατικά καθώς και ποιοτικά/οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, με την αύξηση της θερμοκρασίας, οι ιδιαίτερα θερμοευαίσθητες ενώσεις όπως βιταμίνες και πολυφαινόλες, καθώς και χρωστικές ουσίες και αρωματικά συστατικά εξασθενούν, υποβαθμίζοντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και κατά συνέπεια την ποιότητα των τροφίμων (Lima et al., 2014). Η αυξημένη θερμοκρασία και η χρονική διάρκεια των θερμικών μεθόδων επεξεργασίας των τροφίμων δυνητικά μπορούν να παράγουν επίσης ορισμένα δευτερεύοντα αλλά επιβλαβή συστατικά για την ανθρώπινη υγεία (Hellwig & Henle, 2014).

Επιπλέον, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για υψηλής ποιότητας τρόφιμα έχει οδηγήσει τόσο την επιστημονική κοινότητα όσο και τη βιομηχανία τροφίμων στη μελέτη και εφαρμογή νέων μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας οι οποίες δεν υποβαθμίζουν οργανοληπτικά, ποιοτικά και διατροφικά χαρακτηριστικά των τροφίμων (Birmpra et al., 2013). Η εφαρμογή νέων μη θερμικών τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει τις συμβατικές θερμικές μεθόδους επεξεργασίας. Οι μη θερμικές τεχνολογίες, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία (Ultraviolet-UV), τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (Pulsed Electric Fields-PEF), η υπερυψηλή πίεση (High Pressure-HP) και οι υπέρηχοι (Ultrasounds-US), μπορούν να εξασφαλίσουν ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και υψηλή διατροφική αξία των τροφίμων. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μικρότερης χρονικής διάρκειας επεξεργασίας σε ήπιες θερμοκρασίες, ακόμα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, οπότε και χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ασφάλειας και την παράταση της διάρκειας ζωής των τροφίμων (Alexandre et al., 2012).

Όπως επισημαίνεται και στη συνέχεια, ο στόχος των νέων μη θερμικών τεχνολογιών είναι η αντικατάσταση των θερμικών μεθόδων, μέσω αξιοποίησης των θετικών στοιχείων και εξάλειψης των αρνητικών. Λόγω της ύπαρξης πολλών διαφορετικών μεθόδων, είναι σημαντικό



να αξιολογούνται ως προς την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα κατά την εφαρμογή τους, ακόμα και συνδυαστικά.

## 2.1 Θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι θερμικές μέθοδοι είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για τη συντήρηση τροφίμων για περισσότερα από 100 χρόνια, βελτιώνοντας τη διατροφική ποιότητα και ασφάλεια των τροφίμων. Οι συνήθεις μέθοδοι επεξεργασίας περιλαμβάνουν παστερίωση και αποστείρωση σε γραμμή μέσω εναλλακτών θερμότητας, καθώς και παστερίωση ή αποστείρωση με θέρμανση σφραγισμένων δοχείων υπό πίεση. Αντίστοιχα, το ζεμάτισμα είναι μια διαδικασία ήπιας θέρμανσης που εφαρμόζεται σε νωπά φρούτα και λαχανικά για την εξάλειψη του παγιδευμένου αέρα και απενεργοποίηση ενδογενών ανεπιθύμητων ενζύμων (Texeira, 2014).

Η επεξεργασία τροφίμων για αυξημένη διάρκεια αποθήκευσης είναι απαραίτητη επειδή οι ιδιότητες αλλά και η διαθεσιμότητα πρώτων υλών των τροφίμων καθορίζονται από πληθώρα παραγόντων. Για παράδειγμα, η θερμική επεξεργασία φρούτων και λαχανικών μπορεί να επηρεάσει την αφθονία των φυτοχημικών ουσιών και το σχηματισμό δευτερευόντων ανεπιθύμητων ενώσεων. Επίσης, έχει επιπτώσεις στη βιοπροσβασιμότητα των BACs επηρεάζοντας τη δομή του τροφίμου. Ωστόσο, το αποτέλεσμα δεν είναι πάντα αρνητικό, καθιστώντας τις ενώσεις πιο προσιτές στην απορρόφηση. Υπάρχουν ενδείξεις για θετικές επιδράσεις στα BACs, όπως η αυξημένη βιοπροσβασιμότητα σε θερμικά επεξεργασμένα τρόφιμα ή/και αυξημένη εκχυλισιμότητα (Fernandez-Garcia et al., 2008).

### 2.1.1 Ζεμάτισμα - Λεύκανση

Το ζεμάτισμα με ζεστό νερό μια από τις πιο σημαντικές θερμικές μεθόδους επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών. Οι κύριοι στόχοι του ζεματίσματος είναι: η αδρανοποίηση των ενζύμων για να αποφευχθεί πιθανή αλλοίωση σε γεύση και χρώμα, η μείωση του μικροβιακού φορτίου για παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και η αποφυγή των οξειδωτικών δράσεων (Wang et al., 2017). Επιπλέον, το κατάλληλο ζεμάτισμα μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία επιφανειακών ρωγμών, οι οποίες ενισχύουν τη μεταφορά υγρασίας κατά τη διαδικασία ξήρανσης φρούτων και λαχανικών (Wang et al., 2017). Το ζεμάτισμα χρησιμοποιείται ευρέως λόγω των πολυάριθμων κρίσιμων λειτουργιών του, πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία





είναι με ζεστό νερό λόγω της απλότητας και της ευκολίας εφαρμογής (Mukherjee & Chattopadhyay, 2007).

Συνήθως, τα προϊόντα βυθίζονται σε ζεστό νερό (70 - 100°C) για κάποια λεπτά και στη συνέχεια αποστραγγίζονται και ψύχονται πριν την επόμενη διαδικασία (Xiao et al., 2014). Ο χρόνος που απαιτείται για το ζεμάτισμα ενός προϊόντος εξαρτάται από το χρόνο που απαιτείται για την αδρανοποίηση των πλέον θερμοάντοχων ενζύμων όπως η υπεροξειδάση και πολυφαινολική οξειδάση (Xiao et al., 2017). Γενικά, μετά από ορισμένο χρόνο, το νερό πρέπει να ανανεωθεί, λόγω πιθανού κορεσμού από τα θρεπτικά συστατικά που έχουν εκχυλιστεί από τα προϊόντα. Αυτό σημαίνει πως κατά τη διαδικασία καταναλώνονται σημαντικές ποσότητες νερού και ενέργειας. Η μεταφορά μάζας είναι μια κρίσιμη διεργασία στο ζεμάτισμα, όπου θερμότητα και μάζα μεταφέρονται ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την κατανομή της θερμοκρασίας και τις μεταβολές της μάζας (Xanthakis et al., 2018). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου, όπως το πορώδες και η διαλυτότητα των θρεπτικών συστατικών, επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Προκειμένου να διατηρηθεί το χρώμα του προϊόντος και να αδρανοποιηθούν οι μικροοργανισμοί, προστίθενται χημικές ουσίες όπως το θειώδες νάτριο, το οποίο δυσχεραίνει την αντιμετώπιση των υγρών αποβλήτων που παράγονται (Xiao et al., 2017).

Για να αμβλυνθούν τα μειονεκτήματα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες νέες διαδικασίες, π.χ. ζεμάτισμα με μικροκύματα, με υψηλή υγρασία με θερμό αέρα και με υπέρυθρη ακτινοβολία. Κατά το ζεμάτισμα με μικροκύματα, τα πολικά υλικά απορροφούν ενέργεια μικροκυμάτων και τη μετατρέπουν σε θερμότητα μέσω διηλεκτρικής θέρμανσης εντός ενός εναλλασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου υψηλής συχνότητας, προσφέροντας πλεονεκτήματα, όπως χαμηλή απώλεια θρεπτικών συστατικών και προϊόντα υψηλής ποιότητας (Bingol et al., 2014). Το ζεμάτισμα με μικροκύματα μπορεί να θεωρηθεί ως ξηρή διαδικασία, δεδομένου ότι δεν απαιτείται νερό για την αύξηση της θερμοκρασίας του προϊόντος και την αδρανοποίηση των ενζύμων (Xanthakis et al., 2018).

Για την ελαχιστοποίηση της απώλειας θρεπτικών συστατικών, ιδίως των υδατοδιαλυτών, και του στερεού περιεχομένου που διαλύεται στο ζεστό νερό και για τη μείωση των υγρών αποβλήτων, αναπτύχθηκε το ζεμάτισμα με υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας, με υψηλή ταχύτητα θερμού αέρα υψηλής υγρασίας (HHAIB) (Bai et al., 2013),



καταλήγοντας σε γρήγορο ζεμάτισμα με μικρή κατανάλωση νερού. Η κατάλληλη επιλογή είναι ζωτικής σημασίας για τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στις φυσικές και διατροφικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων.

Αντίστοιχα, το ζεμάτισμα με υπέρυθη ακτινοβολία είναι μια καινοτόμος τεχνολογία που χρησιμοποιεί υπέρυθη ενέργεια για την αδρανοποίηση των ενζύμων, αλλά και τη μείωση της υγρασίας. Εκτός από τα πλεονεκτήματά, όπως η υψηλή ενεργειακή απόδοση και ο μειωμένος χρόνος επεξεργασίας προσφέρει το πλεονέκτημα του συνδυασμού των παραδοσιακών διαδικασιών ζεματίσματος και ξήρανσης σε ένα μόνο βήμα, γι' αυτό και έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα φρούτα και λαχανικά (Wang et al., 2017), όπως καρότα (Vishwanathan et al., 2013) και αποξηραμένα μήλα (Zhu et al., 2010).

### 2.1.2 Παστερίωση

Ο βασικός στόχος της παστερίωσης συνοψίζεται στον ορισμό που υιοθέτησε η Διεθνής Ομοσπονδία Γάλακτος (IDF): «*Η παστερίωση είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε ένα προϊόν, με σκοπό την αποφυγή κινδύνων για τη δημόσια υγεία που προκύπτουν από παθογόνους μικροοργανισμούς σχετιζόμενους με το γάλα, μέσω θερμικής επεξεργασίας που συνάδει με ελάχιστες χημικές, φυσικές και οργανοληπτικές αλλαγές στο προϊόν*». Ο ορισμός αυτός θα μπορούσε να είναι συνολικός, εάν το γάλα αντικαθίστατο στον ορισμό από το εν λόγω προϊόν (Wilbey, 2014).

Η παστερίωση είναι μια μέθοδος θερμικής επεξεργασίας (συνήθως < 100°C) για τη θανάτωση συγκεκριμένων παθογόνων μικροοργανισμών, συμβάλλοντας στη μείωση ή την εξάλειψή τους σε τρόφιμα με χαμηλά ή/και υψηλά επίπεδα υγρασίας. Για την παστερίωση τροφίμων με χαμηλή υγρασία περιλαμβάνονται συμβατικές θερμικές διεργασίες, όπως το ψήσιμο, ελεγχόμενη συμπύκνωση ατμού και άλλες καινοτόμες όπως η ακτινοβολία (Anderson, 2019). Για τη μικροβιακή αδρανοποίηση τροφίμων με υψηλή υγρασία, όπως χυμοί, οι μέθοδοι που αξιοποιούνται περιλαμβάνουν τη θερμική παστερίωση, τη ωμική θέρμανση και τα μικροκύματα (Sanchez et al., 2020).

Οι διεργασίες παστερίωσης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία δεν καταστρέφουν όλους τους μικροοργανισμούς, αλλά στοχεύουν τους παθογόνους και μειώνουν τους αλλοιογόνους μικροοργανισμούς που μπορεί να αναπτυχθούν κατά την αποθήκευση και τη



διακίνηση και διάθεση τροφίμων (Silva and Gibbs, 2010). Ως εκ τούτου, τα παστεριωμένα τρόφιμα πρέπει να αποθηκεύονται υπό ψύξη ή/και με συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας, οι οποίες επιβραδύνουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που τελικά θα προκαλέσουν αλλοίωση (Teixeira, 2014). Ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος, η διάρκεια ζωής των παστεριωμένων τροφίμων μπορεί να κυμαίνεται από μερικές ημέρες (γάλα) έως αρκετές εβδομάδες ή και περισσότερο (χυμοί φρούτων). Ρευστά προϊόντα, όπως το γάλα και οι χυμοί φρούτων, υποβάλλονται σε θερμική παστερίωση μέσω μιας μεθόδου υψηλής θερμοκρασίας βραχείας διάρκειας (High Temperature Short Time, HTST). Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει θέρμανση, διατήρηση και ψύξη του ακατέργαστου προϊόντος καθώς αυτό κινείται μέσω ενός συστήματος εναλλακτών θερμότητας και σωλήνων συγκράτησης. Η τεχνική HTST απενεργοποιεί συγκεκριμένα βακτήρια, ενώ μειώνει την προκαλούμενη από τη θερμότητα βλάβη στην ποιότητα του προϊόντος. Τα ακατέργαστα υγρά προϊόντα διατηρούνται σε ψυχόμενες δεξαμενές μέχρι να προετοιμαστούν για παστερίωση. Το σύστημα εναλλάκτη θερμότητας αυξάνει τη θερμοκρασία του προϊόντος στην απαραίτητη θερμοκρασία παστερίωσης πριν διέλθει μέσω ενός μονωμένου σωλήνα συγκράτησης για την απαιτούμενη διάρκεια. Το προϊόν ψύχεται χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη θερμότητας-ψύξης για να φτάσει σε κατάλληλη θερμοκρασία, για αποθήκευση σε δεξαμενή. Οι θερμοκρασίες παστερίωσης κυμαίνονται συνήθως από 60 έως 90°C, οι οποίες είναι σημαντικά χαμηλότερες από το σημείο βρασμού του νερού (Teixeira, 2014).

Η παστερίωση συνδυάζεται συνήθως με άλλα μέσα συντήρησης, όπως η οξίνιση και η αποθήκευση σε χαμηλή θερμοκρασία (Stoforos et al., 2016).

### 2.1.3 Αποστείρωση

Η αποστείρωση στη βιομηχανία τροφίμων η οποία συνήθως καλείται εμπορική αποστείρωση είναι η εφαρμογή θερμότητας που αποσκοπεί στην απαλλαγή των τροφίμων από κάθε μορφή μικροοργανισμών και παραγόμενων τοξινών, οι οποίοι αναπτύσσονται υπό κανονικές συνθήκες αποθήκευσης και διανομής (Chiozzi et al., 2022). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Stumbo (1973) *“Ανεξάρτητα από το αν χρησιμοποιείται ο όρος αποστείρωση ή παστερίωση για την επισήμανση μιας θερμικής επεξεργασίας για τη μείωση του μικροβιακού πληθυσμού ενός τροφίμου, ο βασικός σκοπός της θερμικής επεξεργασίας είναι ο ίδιος, η απαλλαγή του τροφίμου από*



μικροοργανισμούς που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την υγεία των καταναλωτών ή να προκαλέσουν οικονομική υποτίμηση του τροφίμου κατά την αποθήκευση και τη διανομή.”

Η αποστείρωση είναι απαραίτητη, ιδίως στην κονσερβοποίηση, καθώς εξαλείφει μικροοργανισμούς και εξασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα ιδιαίτερα των κονσερβοποιημένων τροφίμων (Teixeira, 2014). Η θερμική επεξεργασία αναστέλλει τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων που προκαλούν αλλοίωση και αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Η επιτυχία της εξαρτάται από την αλληλεπίδραση της χημείας του τροφίμου (pH), του μικροπεριβάλλοντος στο δοχείο, τη σφράγιση και τη θερμοκρασία αποθήκευσης.

Για παράδειγμα, το κύριο πρόβλημα στα χαμηλής οξύτητας τρόφιμα ( $pH > 4,5$ ) είναι το *Clostridium botulinum*, ένα αναερόβιο βακτήριο που είναι ανθεκτικό στη θερμότητα και μπορεί να αναπτυχθεί και να δημιουργήσει μια θανατηφόρα τοξίνη αλλαντίασης. Τα βακτήρια που σχηματίζουν σπόρια δεν μπορούν να αναπτυχθούν σε περιβάλλον με  $pH < 4,5$ , γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για παστερίωση. Ωστόσο, τα σπορογόνα βακτήρια σε τρόφιμα χαμηλής οξύτητας είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη θερμότητα και χρειάζονται θερμοκρασίες σημαντικά υψηλότερες από το σημείο βρασμού του νερού για να απενεργοποιηθούν. Για την επεξεργασία τροφίμων χαμηλής οξύτητας χρησιμοποιείται εξοπλισμός με βάση την πίεση, όπως πιεστικά retorts, αυτόκλειστα ή επεξεργασία σε υπερυψηλές θερμοκρασίες (Ultra High Temperature, UHT) σε συστήματα εναλλάκτη θερμότητας. Η έγχυση ατμού είναι μια προτιμώμενη επιλογή έναντι των συστημάτων εναλλάκτη θερμότητας για την επεξεργασία UHT. Ατμός υπό πίεση διοχετεύεται απευθείας στο προϊόν, αυξάνοντας γρήγορα τη θερμοκρασία στο επίπεδο αποστείρωσης. Η στιγμιαία ψύξη λαμβάνει χώρα καθώς το μείγμα εξέρχεται από τον σωλήνα συγκράτησης και εισέρχεται σε έναν θάλαμο ρυθμιζόμενης πίεσης (Teixeira, 2014).

Η επεξεργασία UHT χρησιμοποιείται για τη δημιουργία υγρών προϊόντων χαμηλής οξύτητας με παρατεταμένη διάρκεια ζωής, όπως το γάλα ή η κρέμα γάλακτος UHT. Τα διατηρήσιμα στο ράφι υγρά προϊόντα χαμηλής οξύτητας υποβάλλονται σε ασηπτική επεξεργασία με την πλήρωση αποστειρωμένου ψυχρού προϊόντος UHT σε αποστειρωμένα δοχεία σε αποστειρωμένο περιβάλλον για να αποφευχθεί η μόλυνση από βακτήρια που μεταφέρονται με τον αέρα μετά την επεξεργασία.



## 2.2 Μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας βασιζόμενες στη θέρμανση έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιομηχανία των τροφίμων για δεκαετίες καθώς συνεισφέρουν σημαντικά στην καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών και απενεργοποίηση σημαντικών ενζύμων. Ωστόσο, η θέρμανση μπορεί να προκαλέσει σημαντικά μειονεκτήματα με βασικότερο την υποβάθμιση διαφόρων συστατικών όπως BACs. Συνέπεια αυτής της αλλοίωσης είναι η μειωμένη ποιότητα των προϊόντων αλλά και η αποδοχή τους από το καταναλωτικό κοινό. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες ωστόσο έχει ξεκινήσει μια τάση από τους καταναλωτές να ζητούν ολοένα και λιγότερη επεξεργασία στα τρόφιμα που καταναλώνουν, ώστε αυτά να είναι όσο το περισσότερο «φυσικά» είναι δυνατό.

Οι μη θερμικές τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων αφορούν σε συγκεκριμένες διαδικασίες, χωρίς έντονη μεταβολή ή αυξημένη θερμοκρασία, με σκοπό την παραγωγή ασφαλών, υψηλής ποιότητας προϊόντων (Knorr et al. 2011). Εκτός όμως από τη συντήρηση, οι μη θερμικές επεξεργασίες έχουν τη δυνατότητα να ενισχύουν οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους όπως είναι το χρώμα και η γεύση (Tsevdou et al., 2022) αλλά και να ενισχύουν τα BACs των τροφίμων, όπως θα αναλυθεί και στο επόμενο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Επιπλέον είναι σε συμφωνία με τις επιτακτικές ανάγκες της περιβαλλοντικής κρίσης για τρόφιμα με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και περιβαλλοντικά βιώσιμες αλυσίδες τροφίμων, αφού συνεισφέρουν σε μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση αλλά και κατανάλωση πόρων όπως το νερό (Perreira and Vicente, 2010).

Οι σημαντικότερες μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας τροφίμων είναι η υπερυψηλή πίεση (HP, high pressure), παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF, pulsed electric fields), ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα (CP, cold atmospheric plasma), συνεχής επεξεργασία με υπεριώδης ακτινοβολία (continuous UV light processing), με υπέρηχους (sonication) και με όζον (ozone). Η εφαρμογή τους από τη βιομηχανία τροφίμων σε μεγάλη κλίμακα έχει ως αποτέλεσμα το συνεχές ερευνητικό ενδιαφέρον (Zhang et al., 2018). Ειδικότερα την τελευταία δεκαετία αυξάνονται τα ερευνητικά αποτελέσματα με σκοπό όχι μόνο τη βελτιστοποίηση των μεθόδων αλλά και την εφαρμογή τους με μειωμένο κόστος και αυξημένη ποιότητα. Αν και αρχικά το ενδιαφέρον προσέλκυε κυρίως η υπερυψηλή πίεση και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, είναι σημαντική



τελευταία η αύξηση της μελέτης αλλά και εφαρμογής του ψυχρού πλάσματος. Συγκεκριμένα, η βιομηχανία τροφίμων στην Αμερική εφαρμόζει κατά σειρά HP (35.6%), PEF (20%) και CP (14.1%) (Khoungieh, 2021). Αν και κάθε μέθοδος επεξεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξεχωριστά για κάθε προϊόν και αναλόγως με το στόχο της επεξεργασίας, υπάρχει μια τάση για μελέτη συνδυασμένων μεθόδων για καλύτερα αποτελέσματα ως προς την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων.

### 2.2.1 Υπερυψηλή πίεση

Η υπερυψηλή πίεση (HP) είναι από τις πιο διαδεδομένες μη θερμικές τεχνολογίες. Αν και οι πρώτες μελέτες για την εφαρμογή της χρονολογούνται από το 1899, για τη συντήρηση του γάλακτος, η εμπορική της χρήση ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990. Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο προϊόν αφορούσε σε μαρμελάδα η οποία τέθηκε στην αγορά της Ιαπωνίας και στη συνέχεια άλλα προϊόντα στις αγορές Ευρώπης και βόρειας Αμερικής (Tsendou et al., 2019). Η εκτεταμένη έρευνα που διεξήχθη σε αυτό το θέμα τα τελευταία 40 χρόνια οδήγησε στην ανάπτυξη τροφίμων που ανταποκρίνονται τόσο στις προτιμήσεις των πελατών όσο και στα πρότυπα της βιομηχανίας για τρόφιμα με φρέσκια γεύση και παράταση της διάρκειας ζωής. Η HP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τροφίμων με υψηλότερη ασφάλεια, ποιότητα και βιολειτουργικότητα σε σύγκριση με τα τρόφιμα που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία, καθώς ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας. Η τεχνολογία HP έχει χρησιμοποιηθεί στην αποστείρωση και τη συντήρηση τροφίμων για την παράταση της διάρκειας ζωής ακολουθώντας την αρχή του Le Chatelier (Barba et al. 2012). Ως μέθοδος κατέχει σημαντικό μερίδιο στην αγορά τροφίμων συμπεριλαμβανομένων φρούτων, λαχανικών, ψαριών, κρέατος και προϊόντων αυγού-γαλακτοκομικών, καθώς και συμβατικών ζυμωμένων τροφίμων (Misra et al., 2017). Ειδικότερα, τα φυτικής προέλευσης τρόφιμα είναι ένας τομέας προϊόντων όπου η HP έχει αποδειχθεί επωφελής.

Τα δυνητικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής, μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, νερού και χρήση χημικών αντιδραστηρίων, σε σύγκριση με τις παραδοσιακές θερμικές διαδικασίες' σε συνδυασμό με τη σημερινή τάση μείωσης των αποβλήτων τροφίμων, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τη βιομηχανική υιοθέτηση



αυτής της τεχνολογίας, από τις αντίστοιχες θερμικές διαδικασίες παστερίωσης (Wang et al. 2018).

Το σύστημα επεξεργασίας HP απαιτεί τα ακόλουθα μέρη: σύστημα ανταλλαγής θερμότητας, σύστημα για την παραγωγή πίεσης και τη διατήρηση της πίεσης, σύστημα μέτρησης της θερμοκρασίας, θάλαμος επεξεργασίας και σύστημα ελέγχου της διαδικασίας (Hokmollahi & Ehsani, 2017). Κατά τη διάρκεια της HP, πίεση μεταφέρεται μέσω ενός υδάτινου μέσου στα τρόφιμα σε θερμοκρασίες δωματίου ή ήπιες θερμοκρασίες (<60°C), παρέχοντας στιγμιαία ισοβαρή πίεση στο προϊόν (Chen et al., 2013). Κατά τη διάρκεια (100-1000 MPa/ 20-60°C), μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα διάσπαση του κυτταρικού τοιχώματος και της μεμβράνης, ενζυμικά καταλυόμενες διεργασίες, χημικές αντιδράσεις και τροποποίηση βιοπολυμερών, συμπεριλαμβανομένης της αδρανοποίησης ενζύμων και μετουσίωσης πρωτεϊνών (Oey et al., 2008). Με την εφαρμογή διαφορετικών συνδυασμών πίεσης και θερμοκρασίας μπορούν να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα στην υφή, το χρώμα και τη γεύση των τροφίμων. Η ποιότητα ωστόσο των τροφίμων μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, λόγω χημικών αντιδράσεων, όπως η οξειδωση, και βιοχημικών αντιδράσεων όταν τα ενδογενή ένζυμα ή οι μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται πλήρως (Oey et al., 2008). Αν και η εφαρμογή της HP στοχεύει και στην αδρανοποίηση των ενζύμων που οδηγούν στην ποιοτική υποβάθμιση των τροφίμων, ορισμένα ένζυμα που δεν αδρανοποιούνται πλήρως από την HP, όπως η πολυφαινολική οξειδάση, η λιποξυγενάση και η πηκτινομεθυλεστεράση (PME) μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις, περιορίζοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων HP σε μερικές εβδομάδες ή μήνες υπό ψύξη (Sila et al., 2008).

Η HP μπορεί να αδρανοποιήσει αποτελεσματικά τους περισσότερους παθογόνους και αλλοιογόνους οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων ζυμομυκήτων, μούχλας και θετικών και αρνητικών κατά Gram βακτηρίων, όπως *B. cereus*, *C. perfringens*, *E. coli* και *S. aureus*, με ελάχιστες αλλαγές στην υφή, το χρώμα, τη γεύση και τη θρεπτική ποιότητα, σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες συντήρησης (Medina-Meza, 2015). Η αποτελεσματικότητα της αδρανοποίησης εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη πίεση, το χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία, καθώς και από την αντοχή του μικροοργανισμού και της δομής του τροφίμου. Ένα πλεονέκτημα της HP είναι ότι δρα κυρίως σε μη ομοιοπολικούς δεσμούς (Ma & Davis, 2015),



ασκώντας έτσι βακτηριοκτόνο δράση. Γενικά, οι προκαρυωτικοί μικροοργανισμοί είναι συνήθως πιο ανθεκτικοί από τους ευκαρυωτικούς ενώ τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα από τα θετικά κατά Gram βακτήρια. Η καταστροφή των μούχλας και των ζυμομυκήτων απαιτεί πιέσεις 300 - 600 MPa σε σχέση με τα βακτηριακά σπόρια, τα οποία είναι πιο ανθεκτικές μικροβιακές δομές, απαιτώντας σημαντικά μεγαλύτερες πιέσεις (έως και 1200 MPa) για αδρανοποίηση (Oliveira et al., 2015). Ο κύριος μηχανισμός για το αποτέλεσμα της αποστείρωσης είναι η μη αναστρέψιμη καταστροφή της κυτταρικής δομής (κυτταρικές μεμβράνες και κυτταρικά τοιχώματα), με αποτέλεσμα την τροποποίηση της διαπερατότητας και τη διαταραχή της λειτουργικότητας. Οι επιδράσεις της πίεσης στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων και των οργανιδίων έχουν απεικονιστεί με τη χρήση οπτικής μικροσκοπίας, ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης και μικροσκοπίας ατομικών δυνάμεων (Marigheto et al., 2004). Η κατανόηση των επιμέρους κυτταρικών επιδράσεων των συνδυασμένων επεξεργασιών πίεσης-θερμοκρασίας στην ποιότητα και τη δομή των φυτών είναι η βασική πρόκληση.

Για παράδειγμα, σε ό,τι αφορά την αποτελεσματικότητά της μεθόδου, σε ζυμωμένο χυμό φρούτων ενισχύθηκαν οι οργανοληπτικές ιδιότητες ενώ και ο αριθμός των υπερβιοτικών μικροοργανισμών (*Lactobacillus casei*) ήταν υψηλότερος σε σχέση με εκείνους που υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία (Zheng et al., 2014). Η HP έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική στην εξάλειψη των ζυμομυκήτων σε χυμό πολτού φραγκοστάφυλου (Vega-Galvez et al., 2014), ένδειξη ότι μπορεί να είναι χρήσιμη ως μέθοδος αποστείρωσης, διατηρώντας ταυτόχρονα τους υπερβιοτικούς μικροοργανισμούς σε ροφήματα που μπορεί να τους περιέχουν. Η πρακτική της HP των ακατέργαστων ψυχρών χυμών φρούτων και λαχανικών και των smoothies ενισχύεται τάχιστα, επειδή διατηρεί σε μεγάλο βαθμό τον αρχικό ακατέργαστο χαρακτήρα των χυμών και την ποιότητα, προάγει την ασφάλεια και παρατείνει τη διάρκεια ζωής στο ράφι.

## 2.2.2 Ομογενοποίηση υψηλής πίεσης

Η ομογενοποίηση υψηλής πίεσης (high pressure homogenization, HPH), είναι μια καινοτόμος μέθοδος συνεχούς ροής που επιτρέπει την ομογενοποίηση και την παστερίωση, ακόμα και την αποστείρωση υγρών προϊόντων σε ένα μόνο βήμα, ενώ υποβάλλεται σε υψηλή πίεση για λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο (Levy et al., 2020). Η ομογενοποίηση είναι μια φυσική διεργασία





κατά την οποία ένα διάχυτο σύστημα π.χ γαλάκτωμα ρέει με υψηλή ταχύτητα μέσω μιας στενής διόδου, μιας βαλβίδας διάσπασης, παράγοντας μικρότερη και συνεκτική κατανομή μεγέθους σωματιδίων (Berk, 2018).

Η συμβατική ομογενοποίηση χρησιμοποιείται συνήθως στη βιομηχανία τροφίμων για τη σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων, τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων και την ανάμειξη των συστατικών. Συνήθως λειτουργεί σε πιέσεις έως και 50 MPa και δεν έχει αποτέλεσμα στη συντήρηση του επεξεργασμένου ρευστού. Αντίθετα, η ομογενοποίηση (υπερ)υψηλής πίεσης (UHPH) μπορεί να φτάσει σε πιέσεις έως και 400 MPa. Τα επίπεδα πίεσης που επιτυγχάνονται στις διεργασίες ομογενοποίησης εξαρτώνται από τον σχεδιασμό του ομογενοποιητή και τα χαρακτηριστικά του, όπως το μέγεθος του διακένου και η γεωμετρία της βαλβίδας (Levy et al., 2020).

Ο εξοπλισμός ομογενοποίησης υψηλής πίεσης περιλαμβάνει μια αντλία θετικής εκτόπισης που ωθεί το προς επεξεργασία ρευστό μέσω μιας βαλβίδας κατασκευασμένης από ανθεκτικά στην υψηλή πίεση υλικά (π.χ. κεραμικά) και επιτρέπει επίπεδα πίεσης λειτουργίας έως 400 MPa και θερμοκρασίες διεργασίας έως 140-150°C (Balasubramaniam et al., 2016). Η δύναμη που ασκείται στη βελόνα ελέγχει την πίεση του υγρού που κινείται μέσω της βαλβίδας. Οι εμπορικά διαθέσιμες μονάδες διαφέρουν κυρίως ως προς το σχεδιασμό της βαλβίδας υψηλής πίεσης που επηρεάζει το εύρος της πίεσης σε εργαστηριακή, και βιομηχανική κλίμακα (Sevenich and Mathys, 2018). Τα βιομηχανικά συστήματα ομογενοποίησης υψηλής πίεσης είναι εξοπλισμένα με κυκλώματα ψύξης ή θέρμανσης.

Η απόδοση επηρεάζεται από την πίεση επεξεργασίας, τη θερμοκρασία, τη γεωμετρία της βαλβίδας και το ιξώδες του ρευστού. Η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας κυττάρων εξαρτάται σημαντικά από πτυχές όπως το σχήμα και η φυσιολογία των μικροοργανισμών-στόχων, το στάδιο ανάπτυξής τους και τυχόν προεπεξεργασίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ευαισθησία των κυττάρων σε διεργασίες διάσπασης (Tsendou et al., 2022).

### 2.2.3 Παλμικά ηλεκτρικά πεδία

Μαζί με την HP, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (Pulsed Electric Fields, PEF) αποτελούν μία από τις πιο διαδεδομένες μη θερμικές διεργασίες που εφαρμόζονται στη βιομηχανία τροφίμων. Η επεξεργασία με PEF χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για τη συντήρηση, ως εναλλακτική



λύση στη θερμική παστερίωση (Barba et al., 2015). Η PEF χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1950 και έκτοτε έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική μέθοδος για την αδρανοποίηση μικροοργανισμών σε τρόφιμα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ιδίως για ρευστά ή ημι-ρευστά τρόφιμα (Aadil et al., 2015).

Οι επεξεργασίες διεξάγονται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος ή ελαφρώς αυξημένες για μικρό χρονικό διάστημα (ms), έτσι ώστε οι απώλειες ενέργειας λόγω θέρμανσης να είναι αμελητέες. Το σύστημα περιλαμβάνει το σύστημα παλμικής ισχύος, μεταφοράς υλικού, ψύξης, λειτουργίας/ελέγχου και το θάλαμο επεξεργασίας. Για την εφαρμογή PEF, ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος (DC) υψηλής τάσης συνδέεται με μια συστοιχία πυκνωτών για την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας ενέργειας, η οποία στη συνέχεια θα εκφορτιστεί ως ηλεκτρικός παλμός υψηλής τάσης στο σύστημα τροφίμων (Barsotti, 1999).

Ειδικότερα, η επεξεργασία τροφίμων με PEF περιλαμβάνει την εφαρμογή παλμών ηλεκτρικού ρεύματος υψηλής τάσης (ένταση πεδίου 20 - 80 kV/cm) σε κυτταρικό υλικό που τοποθετείται μεταξύ 2 ηλεκτροδίων, δημιουργώντας ηλεκτρικά πεδία υψηλής έντασης (1-80 kV/cm), για μικρό χρονικό διάστημα (από μερικά νανοδευτερόλεπτα έως μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου) ώστε να αποφεύγεται οποιοδήποτε αποτέλεσμα θέρμανσης (Toerpf et al., 2006). Έχει αποδειχθεί ότι η αδρανοποίηση των μικροβίων με PEF οφείλεται στη διάσπαση των κυτταρικών μεμβρανών που προκαλείται από τη συσσώρευση ηλεκτρικών φορτίων στην κυτταρική μεμβράνη, η οποία καταλήγει σε διάσπαση της μεμβράνης όταν το επαγόμενο δυναμικό της μεμβράνης υπερβεί μια κρίσιμη τιμή (Schoenbach & Beebe, 1997). Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως ηλεκτρομόνωση ή ηλεκτροδιαμερισματοποίηση και οδηγεί σε απώλεια ενδοκυτταρικού περιεχομένου και κυτταρικό θάνατο.

Όταν εφαρμόζεται η PEF, διάφορες παράμετροι επεξεργασίας (ηλεκτρικό πεδίο, σχήμα παλμού, πλάτος και συχνότητα, συνολικός χρόνος επεξεργασίας, διαμόρφωση ηλεκτροδίων και θερμοκρασία) πρέπει να ρυθμίζονται προσεκτικά και άλλοι κρίσιμοι παράγοντες, όπως το μέγεθος, το σχήμα και τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του υπό επεξεργασία μέσου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου (Li & Farid, 2016). Συνήθως, επειδή τα φυτικά κύτταρα είναι μεγαλύτερα από τα μικροβιακά, οι εντάσεις πεδίου που απαιτούνται κυμαίνονται σε κλίμακα 0,7-3,0 kV/cm, σε αντίθεση με την αδρανοποίηση των



μικροβιακών κυττάρων που χρειάζονται εντάσεις μεγαλύτερες των 15 kV/cm (εισερχόμενη ενέργεια 40-1000 kJ/kg) (Toepfl et al. 2006).

#### 2.2.4 Υπέρηχοι

Οι υπέρηχοι (US) είναι μια καινοτόμος τεχνολογία επεξεργασίας πολλά υποσχόμενη στη βιομηχανία τροφίμων, όσον αφορά τη βελτίωση και την αποτελεσματικότητα διαφόρων διαδικασιών επεξεργασίας τροφίμων και λόγω της δυνατότητάς της να αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στις επιφάνειες φρούτων και λαχανικών (Chemat et al., 2011). Οι υπέρηχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συντήρηση εξαλείφοντας τους μικροοργανισμούς στους χυμούς φρούτων χωρίς τις υψηλές θερμοκρασίες της παστερίωσης (αλλά και συμπληρωματικά με αυξημένη θερμοκρασία), διατηρώντας τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, προσφέρει πλεονεκτήματα όσον αφορά το κόστος, την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση λόγω μειωμένου χρόνου επεξεργασίας και την επιλεκτικότητα, με καλύτερο χρόνο επεξεργασίας, βελτιωμένη ποιότητα και μειωμένους φυσικούς κινδύνους (Chemat et al., 2011).

Ειδικότερα, η εφαρμογή μπορεί να γίνει σε ένα τρόφιμο με διάφορους τύπους, όπως λουτρά υπερήχων, αισθητήρες υπερήχων και συστήματα δόνησης που μπορούν να εγκατασταθούν σε συνεχή γραμμή παραγωγής. Στη βιομηχανία τροφίμων, οι υπέρηχοι εφαρμόζονται είτε με άμεση έκθεση είτε έμμεσα, με τη χρήση ενός οργάνου όπως το υδατόλουτρο υπερήχων. Σε τρόφιμα υγρής μορφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας, ενώ σε στερεή δομή θα πρέπει πρώτα να ενσωματωθούν σε υγρό μέσο, συνήθως νερό. Τα ηχητικά κύματα που εφαρμόζονται δημιουργούν συνθήκες συμπίεσης και αποσυμπίεσης στα σωματίδια οπότε η παραγόμενη ενέργεια αυξάνει την αύξηση των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Η βασική δράση είναι η δημιουργία μικροφυσαλίδων στο υγρό, οι οποίες στη συνέχεια εξελίσσονται στο μέσο. Οι φυσαλίδες που δημιουργούνται μεγαλώνουν, αλλά κάποια στιγμή καταρρέουν προωθώντας το σχηματισμό κρουστικών κυμάτων. Αυτά τα κρουστικά κύματα δημιουργούν υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις με αποτέλεσμα την σπηλαίωση, το οποίο επηρεάζει τα κутταρικά τοιχώματα και τις μεμβράνες (Cravotto & Binello, 2016).

Οι κύριες παράμετροι επεξεργασίας που επηρεάζουν την επεξεργασία με υπερήχους είναι η ισχύς, η συχνότητα (20 kHz-10 MHz) και ο χρόνος επεξεργασίας (Awad et al., 2012). Οι



συχνότητες μπορούν να χωριστούν σε χαμηλής (>400 kHz) και υψηλής ισχύος (20-100 kHz). οι χαμηλής ισχύος έχουν μη καταστρεπτικά αποτελέσματα στις ιδιότητες των τροφίμων από τα οποία διέρχονται και χρησιμοποιούνται ως μη καταστροφικό εργαλείο για την αξιολόγηση της σύνθεσης, της δομής ή της ροής των τροφίμων. Αντίθετα, οι υψηλής ισχύος προκαλούν μηχανικές, φυσικές και χημικές αλλαγές, όπως φυσική διάσπαση, η οποία υποστηρίζει τον μηχανισμό αδρανοποίησης στις επιφάνειες των τροφίμων (Kentish and Ashokkumar, 2011). Στη συντήρηση τροφίμων, οι υψηλής ισχύος χρησιμοποιούνται για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών και έχουν εφαρμογές στη γαλακτωματοποίηση, τον καθαρισμό και την εκχύλιση, τη βελτιωμένη ξήρανση και την αφύγρανση. Ειδικά στην περίπτωση των ζυμομυκήτων έχει αποδειχθεί ότι πρώτα διαταράσσεται το κυτταρικό τοίχωμα και στη συνέχεια η κυτταρική μεμβράνη, απελευθερώνοντας πολυσακχαρίτες του κυτταρικού τοιχώματος και ενδοκυτταρικών πρωτεϊνών (Wu et al., 2015).

### 2.2.5 Υπεριώδης ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μη θερμική επεξεργασία για την απολύμανση φρέσκων ή ελάχιστα επεξεργασμένων φρούτων και λαχανικών. Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει δοκιμαστεί με UV-A (μεγάλου μήκους κύματα, 400-315 nm), UV-B (μεσαίου μήκους κύματα, 315-280 nm) και συνήθετα με UV-C (μικρού μήκους κύματα, 280-100 nm) (US-FDA, 2002). Η επεξεργασία μπορεί να εγείρει μηχανισμούς αντίστασης έναντι των παθογόνων μικροοργανισμών ή να βλάψει άμεσα το βακτηριακό DNA (Ramos et al., 2013). Η ακτινοβολία UV-C προκαλεί επίσης σημαντικές βλάβες στην ακεραιότητα της κυτταροπλασματικής μεμβράνης και τη δραστηριότητα των κυτταρικών ενζύμων (Gómez et al., 2011). Ωστόσο, η μικροβιακή αδρανοποίηση περιορίζεται αποκλειστικά στην επιφάνεια του τροφίμου, καθώς η UV-C έχει εξαιρετικά χαμηλή διείσδυση στα στερεά. Ενώ είναι αποτελεσματική έναντι βακτηρίων, επηρεάζει ελάχιστα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Με την ακτινοβολία η επεξεργασία γίνεται σε ήδη συσκευασμένα τρόφιμα, εξασφαλίζοντας ότι δεν θα υπάρξει περαιτέρω μόλυνση στο προϊόν. Τα επεξεργασμένα τρόφιμα έχουν παρατεταμένη διάρκεια ζωής με ανώτερες θρεπτικές και ποιοτικές ιδιότητες σε σύγκριση με τις συμβατικές θερμικές επεξεργασίες.



## 2.2.6 Ψυχρό πλάσμα

Το πλάσμα έχει περιγραφεί ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης, η οποία διαφέρει από τη στερεά, την υγρή και την αέρια (Niemira, 2012). Η κατάσταση της ύλης μπορεί να αλλάξει όταν αποκτήσει ενέργεια με την οποία μετασχηματίζεται από τη μία στην άλλη. Για παράδειγμα, το στερεό μετατρέπεται σε υγρό, στη συνέχεια σε αέριο και τέλος σε πλάσμα (Oner et al., 2023). Η ενέργεια εφαρμόζεται για να ενισχύσει τις συγκρούσεις με άλλα μόρια, άτομα, και ηλεκτρόνια. Οι ενδομοριακές και ενδοατομικές δομές μπορούν στη συνέχεια να διασπαστούν, οπότε και απελευθερώνονται ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα. Το πλάσμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ιονισμένο αέριο που αποτελείται από ουδέτερα μόρια, ηλεκτρόνια και θετικά και αρνητικά ιόντα, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν την ενέργειά τους συγκρουόμενα με μόρια αερίου και στη συνέχεια να παράγουν διάφορα δραστικά είδη που μπορούν να αλληλεπιδράσουν με την επιφάνεια των τροφίμων, όπως δραστικές ρίζες υδροξυλίου, υπεροξείδιο του υδρογόνου, όζον, οξείδιο του αζώτου και υπεριώδης ακτινοβολία (Niemira, 2012). Αν και το πλάσμα μπορεί να παραχθεί από πλειάδα αερίων όπως αέρας ή άζωτο, φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικό όταν προστίθεται οξυγόνο στο μίγμα (Han et al. 2016). Τα αέρια αυτά υποβάλλονται σε οποιοδήποτε είδος ενέργειας, όπως θερμική, ηλεκτρική, μαγνητική κ.λπ., για να δημιουργηθεί πλάσμα που περιέχει θετικά ιόντα, αρνητικά ιόντα όπως όζον και μονήρες οξυγόνο (O).

Με βάση τη θερμοδυναμική ισορροπία, το πλάσμα μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο ομάδες, θερμική (100 - 150 °C) και μη θερμική (<60°C). Ωστόσο, για εφαρμογή στην αλυσίδα τροφίμων χρησιμοποιείται το ψυχρό πλάσμα. Το εύρος θερμοκρασίας δράσης απαντά σε 25 - 65°C (Zhadan et al., 2021). Το ψυχρό πλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του μικροβιακού φορτίου στα τρόφιμα ή στην επιφάνεια των τροφίμων, τη βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των συστατικών των τροφίμων, όπως τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες, και για την αποστείρωση του εξοπλισμού επεξεργασίας τροφίμων, την αδρανοποίηση των ενζύμων που αλλοιώνουν τα τρόφιμα, την επεξεργασία των υλικών συσκευασίας τροφίμων και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων (Zhadan et al., 2021).

Το ψυχρό πλάσμα (CP) είναι μία από τις νεότερες μη θερμικές τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων των τελευταίων ετών, με δυνατότητα εφαρμογής σε μεγάλη ποικιλία τροφίμων. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός ερευνητικών μελετών που βασίζονται στην εφαρμογή CP σε



τρόφιμα σε εργαστηριακή κλίμακα, υποδεικνύοντας ότι η τεχνολογία αυτή έχει δυνατότητες για τη μικροβιακή απολύμανση, τη λειτουργικότητα των τροφίμων, τον έλεγχο των φυτοφαρμάκων και την απομάκρυνση των αλλεργιογόνων (Cullen et al., 2018). Τα κύρια πλεονεκτήματα απαντούν στην αποτελεσματικότητά της αδρανοποίησης μικροβίων, συμπεριλαμβανομένων όσων προκαλούν αλλοίωση, στην ευκολία χρήσης, στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης πόρων όπως το νερό αλλά και τη χρονική διάρκεια, έως και λίγα λεπτά (López et al. 2019). Για παράδειγμα, είναι σημαντικές οι αναφορές για αποτελεσματική δράση έναντι του *Staphylococcus aureus*, του *E. coli* και της *Candida albicans* σε χυμό πορτοκαλιού (Shi et al., 2011) ή του *Citrobacter freundii* σε χυμό μήλου (Surowsky et al., 2014). Επιπλέον, εφαρμόζεται τόσο σε στερεά όσο και σε υγρά τρόφιμα χωρίς να αφήνει υπολείμματα. Από άποψη κόστους θεωρείται περισσότερο φθηνή καθώς δεν απαιτούνται συνθήκες θερμότητας, πίεσης και κενού (Oner et al., 2023).

Ωστόσο, η μέθοδος έχει και συγκεκριμένα όρια, τον έλεγχο των προϊόντων από τις αντιδράσεις στα τρόφιμα υψηλής υγρασίας, η οξειδωση των λιπιδίων σε τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και το αυξημένο κόστος από τη χρήση ευγενούς αερίου (Misra et al., 2016). Επιπλέον, η αδρανοποίηση των μικροβίων μπορεί να εξασθενήσει σε τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες λόγω της ανάκαμψης των μικροοργανισμών από την απομάκρυνση των αντιδραστικών ειδών του πλάσματος (Bourke et al., 2018).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες CP για την επεξεργασία τροφίμων, καθώς και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του (Niemira, 2012). Το CP παράγεται σε θερμοκρασία δωματίου ή κοντά σε αυτήν και δεν βασίζεται σε θερμικό αποτέλεσμα για τη θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών, οπότε δεν βλάπτει την ποιότητα των τροφίμων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας (Thirumbdas et al., 2014). Το σύστημα ψυχρού πλάσματος περιλαμβάνει διάταξη εκκένωσης, θάλαμο επεξεργασίας, σύστημα ελέγχου αερίων ή/και σύστημα ελέγχου πίεσης.

Τα συστήματα CP μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες με βάση τη θέση του προς επεξεργασία τροφίμου σε σχέση με την πηγή CP και τη φύση της χημείας του CP, η οποία προσδιορίζει τον χρόνο ημιζωής και την αντιδραστικότητα των φορτισμένων ενεργών ειδών εντός του πλάσματος. Η πρώτη κατηγορία είναι το σύστημα απομακρυσμένης επεξεργασίας,



όπου το τρόφιμο τοποθετείται σε κάποια απόσταση από την πηγή παραγωγής, το οποίο επεξεργάζεται με πλάσμα πλούσιο σε δευτερογενή χημικά είδη, η δεύτερη είναι γνωστή ως σύστημα άμεσης επεξεργασίας, όπου το προϊόν τοποθετείται σχετικά κοντά στην πηγή παραγωγής και επεξεργάζεται με ενεργό πλάσμα, και στην τρίτη κατηγορία, τα συστήματα επαφής με ηλεκτρόδια, το προϊόν βρίσκεται εντός του πεδίου παραγωγής CP.

Αν και η τεχνολογία πλάσματος βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη στον τομέα της επεξεργασίας τροφίμων, προσφέρει μια καλή εναλλακτική λύση έναντι των συμβατικών μεθόδων για τρόφιμα φυτικής προέλευσης. Οι παράμετροι επεξεργασίας πλάσματος, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου τάσης, της συχνότητας, της σύνθεσης του αερίου, του χρόνου επεξεργασίας, του τύπου έκθεσης στο πλάσμα και της γεωμετρίας των ηλεκτροδίων, είναι αποτελεσματικές στη δημιουργία αντιδραστικών ειδών, ενώ η βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων για την επίτευξη μικροβιακής απολύμανσης με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας αποτελεί πρόκληση λόγω της ποικιλίας των ιδιοτήτων των τροφίμων φυτικής προέλευσης.

Ο σχεδιασμός συμβατού συστήματος CP για την επεξεργασία τροφίμων αποτελεί μια από τις κύριες προκλήσεις, δεδομένου ότι η ομοιότητα όσον αφορά τις συνθήκες επεξεργασίας και, ως εκ τούτου, η ομοιόμορφη επεξεργασία πρέπει να επιβεβαιωθεί για μεγάλη ποικιλία τροφίμων. Ως άλλη πρόκληση, οι πιθανές τοξικές/αρνητικές επιδράσεις αυτής της τεχνολογίας μετά την επεξεργασία και κατά την αποθήκευση πρέπει να διερευνηθούν και να εγκριθούν για να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία τροφίμων.

### 2.2.7 Όζον

Το όζον ( $O_3$ ) αφορά σε ένα άχρωμο αέριο με τυπική οσμή και πυκνότερο σε αέρια μορφή από τον αέρα. Σχηματίζεται όταν το μοριακό οξυγόνο ( $O_2$ ) συνδυάζεται με το μονήρες O. Το όζον είναι πολύ ασταθές για αυτό και πρέπει να παράγεται επί τόπου όταν χρειάζεται. Η εφαρμογή του όζοντος, σε μορφή αέρια ή υγρή, είναι μια βιολογικά φιλική και εμπορικά εφικτή τεχνολογία, οπότε καθίσταται ένας πολλά υποσχόμενος παράγοντας στη βιομηχανία τροφίμων. Το 1997, η Αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (US-FDA) συμπεριέλαβε το όζον στα πρόσθετα GRAS (Generally Recognized as Safe) και επισήμως το 2001 άρχισε να επιτρέπεται η άμεση επαφή του με τρόφιμα (Torlak et al., 2014). Η χρήση του στη βιομηχανία τροφίμων έχει γίνει ευρέως



διαδεδομένη, κυρίως ως απολυμαντικού μέσου του εξοπλισμού, αλλά και ως μέσο παράτασης της διάρκειας ζωής πολλών τροφίμων (Jadhav et al., 2021).

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ευρέως για την απολύμανση, τη συντήρηση, την αποθήκευση, τον καθαρισμό του εξοπλισμού των εγκαταστάσεων και τις βιομηχανικές διεργασίες για την ελαχιστοποίηση των χημικών παραγόντων ή των φυτοφαρμάκων στα τρόφιμα. Ο εξοπλισμός αυτός χρησιμοποιείται για την επεξεργασία διαφόρων τροφίμων, όπως φρέσκα και αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά, χυμοί φρούτων και λαχανικών, γαλακτοκομικά προϊόντα, δημητριακά, κρέας, ψάρια και θαλασσινά, κυρίως για απολύμανση (Chiozzi et al., 2022). Η εφαρμογή του σε φρούτα και λαχανικά επικεντρώνεται στη συντήρησή τους σε συνδυασμό με τη μικροβιολογική τους ασφάλεια, τις μυκοτοξίνες και τα χημικά υπολείμματα (Porto et al. 2020).

Η επεξεργασία με όζον είναι ιδιαίτερα αποδεκτή τεχνική στη βιομηχανία τροφίμων, επειδή γίνεται διάσπαση σε οξυγόνο χωρίς να αφήνει επιβλαβή κατάλοιπα, διαθέτει υψηλό δυναμικό οξειδωσης (2.07 V) σε αλκαλικό διάλυμα σε σύγκριση με εκείνη της χλωρίνης (1,36 V), και έχει ευρύ αντιμικροβιακό φάσμα έναντι διαφόρων μικροοργανισμών, σε μικρές συγκεντρώσεις (Bevilacqua et al., 2017). Πιο συγκεκριμένα, έχει μεγάλη αντιοξειδωτική δράση έναντι βακτηρίων, μυκήτων, ιών, πρωτόζωων και βλαστικών κυττάρων, οξειδώνοντας σταδιακά ζωτικά κυτταρικά συστατικά, ξεκινώντας από τις σουλφυδρυλικές ομάδες και τα αμινοξέα, που περιέχονται στις πρωτεΐνες και τα ένζυμα, και συνεχίζοντας με την οξείδωση των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (Sivarajani, 2021). Παράγοντες που σχετίζονται με την αποτελεσματικότητα κατά των παθογόνων μικροοργανισμών είναι το pH του χυμού, η συγκέντρωση, η θερμοκρασία και τα πρόσθετα, καθώς και ο χρόνος έκθεσης και η συγκέντρωση του όζοντος.

Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει ευρέως τη χρήση του σε διάφορα φρούτα και λαχανικά όπου η αποτελεσματικότητα της χρήσης του όζοντος σε αυτές τις κατηγορίες τροφίμων επιτυγχάνεται με την εφαρμογή σχετικά χαμηλής συγκέντρωσης όζοντος σε συνδυασμό με μικρό χρόνο έκθεσης. Η εφαρμογή για 5 min ήταν επαρκής για να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του ελάχιστα επεξεργασμένου πυριερίου για 14 ημέρες, το οποίο συσκευάστηκε σε σακούλες





πολυπροπυλενίου και αποθηκεύτηκε σε θερμοκρασία  $5 \pm 0,5$  °C και RH  $85\% \pm 5\%$  (Ummat et al., 2018).

Το όζον, ένα φυσικό απολυμαντικό, έχει αποδειχθεί ότι εμποδίζει την ανάπτυξη βακτηρίων αλλοίωσης και ζυμομυκήτων σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,15 έως 5,0 ppm. Ο αντίκτυπος αυτής της ουσίας στην ποιότητα των φρούτων δεν είναι καλά κατανοητός, καθώς η ικανότητά να οξειδώνει μπορεί ενδεχομένως να μειώσει την ποιότητα ανάλογα με την ποσότητα. Τα ερευνητικά δεδομένα ωστόσο έχουν επαληθεύσει ότι το όζον έχει ευεργετικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη βακτηρίων στους χυμούς φρούτων, αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να προσδιοριστεί η επίδρασή του στα BACs (Gibson et al. 2019). Τα υψηλά επίπεδα όζοντος μπορούν να βλάψουν τη γεύση των χυμών φρούτων, αλλά τα χαμηλά επίπεδα μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των ποτών. Το όζον χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό φρούτων και λαχανικών, ιδίως φυλλώδη, ως υποκατάστατο του χλωρίου. Η επεξεργασία με όζον προκαλεί καταστροφή ή λύση ταχύτερα από ό,τι άλλα απολυμαντικά, καθώς δεν χρειάζεται να διεισδύσει μέσω της κυτταρικής μεμβράνης για να είναι αποτελεσματικό. Ωστόσο, τα απολυμαντικά, όπως το όζον, μπορούν να βλάψουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες και το θρεπτικό περιεχόμενο των επεξεργασμένων τροφίμων.

### 2.3 Συνδυαστικές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι νέες μη θερμικές τεχνολογίες μπορούν να συνδυαστούν είτε με άλλες καινοτόμες είτε με συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας για την ανάπτυξη βιώσιμων, αποδοτικών, οικονομικών αλλά και περιβαλλοντικά φιλικών διαδικασιών. Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων τεχνολογιών αυξάνει την αποτελεσματικότητά τους όταν υπάρχει συνεργιστική ή αθροιστική δράση. Με τον τρόπο αυτό, οι συνδυασμένες τεχνολογίες αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της μικροβιακής και ενζυμικής αδρανολογίας, μειώνουν το χρόνο επεξεργασίας και την ένταση της επεξεργασίας, παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των τροφίμων και εξασφαλίζουν μικρότερες επιπτώσεις στις οργανοληπτικές και φυσικοχημικές ιδιότητες σε σύγκριση με τις συμβατικές θερμικές διεργασίες (Barbosa-Canovas et al., 2020).

Αυτό το σύνολο των διαδικασιών αναφέρονται ως ένα πλαίσιο σύμφωνα με τη μεθοδολογία της τεχνολογίας εμποδίων με σκοπό το συνδυασμό περισσότερων του ενός ηπιότερων παραγόντων συντήρησης προκειμένου να επιτευχθεί ένα αυξημένο επίπεδο



ασφάλειας και σταθερότητας των προϊόντων. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν και τα αναφερόμενα εμπόδια, τα οποία οι παθογόνοι ή αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί πρέπει να ξεπεράσουν για να επιβιώσουν στο περιβάλλον των τροφίμων. Αυτοί μπορεί να είναι φυσικοί, χημικοί ή βιολογικοί παράγοντες και η έντασή τους μπορεί να ρυθμιστεί ξεχωριστά, ανάλογα με τον στόχο, ώστε να ικανοποιούνται οι προτιμήσεις των καταναλωτών με οικονομικά λογικό τρόπο, χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια των προϊόντων. Ο κατάλληλος συνδυασμός μπορεί να εξασφαλίσει μικροβιακή ασφάλεια, σταθερότητα αλλά και ποιότητα των προϊόντων.

Ως εκ τούτου, οι συνδυασμένες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν μη θερμικές τεχνολογίες έχουν κερδίσει την προσοχή ώστε να ξεπεραστεί ο περιορισμός των μη θερμικών τεχνολογιών, όπου αυτοί υπάρχουν (Barbosa-Canovas et al., 2020). Ως ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η επεξεργασία με όζον σε συνδυασμό με θερμικές ή μη θερμικές μεθόδους ώστε να υπάρξει αντιμετώπιση των προβλημάτων ποιότητας, τη βελτίωση των διεργασιών και τη δημιουργία νεοφανών τροφίμων. Μια συνδυασμένη επεξεργασία μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τον αριθμό των μικροβίων, να διατηρήσει την ποιότητα των τροφίμων και να μειώσει τα επίπεδα υπολειπόμενου όζοντος. Έχει αναφερθεί, ότι η επεξεργασία αυτών μολυσμένων με σαλμονέλα με όζον και στη συνέχεια η θέρμανσή τους αδρανοποίησε αποτελεσματικά τα βακτήρια. Αντίστοιχα, άλλες έρευνες έδειξαν πως υπέρηχοι συνδυασμένοι με πίεση ή/και θέρμανση αυξάνει την επίδραση σε μικροοργανισμούς όπως *Listeria monocytogenes*, *Listeria innocua*, *Escherichia coli*, *Cronobacter sakazakii*, *Salmonella enteritidis*, and *Saccharomyces cerevisiae* (Bermúdez-Aguirre et al, 2012).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ενζυμική δραστηριότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της επεξεργασίας. Η ενεργοποίηση των ενζύμων μπορεί να εμφανιστεί σε χαμηλές εντάσεις λόγω του αποτελέσματος εκχύλισης των μη θερμικών τεχνολογιών, καθιστώντας τα ένζυμα πιο προσιτά στα BACs και οδηγώντας σε περαιτέρω αποικοδόμηση του βιοδραστικού περιεχομένου (Islam et al., 2014). Ένζυμα όπως η πολυφαινολική οξειδάση (PPO) και η υπεροξειδάση (POD) συμμετέχουν στην υποβάθμιση της ποιότητας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης (Manzoor et al., 2020). Όταν η αδρανοποίηση δεν είναι επαρκής, η σταθερότητα των BACs θα επηρεαστεί σημαντικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Oliviera et al. (2018) διερεύνησαν τη συνεργιστική εφαρμογή τεχνικών όζοντος και υπερήχων



σε καθαρό χυμό αçaí και ανέφεραν ότι ο ενίσχυσε τη σταθερότητα, ενώ το όζον ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην απενεργοποίηση ενζύμων, ιδίως της ΡΡΟ. Το ιξώδες μειώθηκε, αλλά η αντιοξειδωτική δράση, οι φαινολικές ενώσεις και η συγκέντρωση ανθοκυανών μειώθηκαν.

#### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



### 3 Επίδραση μεθόδων επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών

Οι διάφορες διεργασίες επεξεργασίας βελτιώνουν την ποιότητα των τροφίμων και τη διάρκεια ζωής τους. Σε αυτές περιλαμβάνονται το ζεμάτισμα, η εξάτμιση, η παστερίωση, ο βρασμός και και άλλες όπως είναι οι μηχανικές, το πλύσιμο, η κοπή και η ομογενοποίηση. Επιπλέον, οι χημικές διαδικασίες περιλαμβάνουν υδρόλυση, εστεροποίηση, ζύμωση και άλλες ενζυμικές αντιδράσεις. Οι ιδιότητες της δομής των τροφίμων μπορούν να οδηγήσουν σε αποτελέσματα όπως η μετουσίωση των πρωτεϊνών, η ζελατινοποίηση του αμύλου, η απώλεια νερού και ηλεκτρολυτών και τέλος η αποικοδόμηση των βιοδραστικών ενώσεων. Η υποβάθμιση των τροφίμων μπορεί να μειώσει τη γεύση και τη θρεπτική αξία των προϊόντων (Sensoy, 2014). Οι θερμικές επεξεργασίες, μια παραδοσιακή προσέγγιση συντήρησης τροφίμων, μπορεί να προκαλέσουν χημικούς μετασχηματισμούς διαφόρων βιοδραστικών συστατικών (BACs) που παράγουν μεταλλαξιόνες ή και καρκινογόνες χημικές ουσίες (Evrendilek, 2018).

Καθώς αυξάνεται η ζήτηση για τρόφιμα υψηλής ποιότητας, οι τεχνολογίες επεξεργασίας εξελίσσονται. Οι νέες μέθοδοι συντήρησης τροφίμων, όπως η επεξεργασία HP αποσκοπούν στη διατήρηση της μικροδομής, των οργανοληπτικών ιδιοτήτων και του θρεπτικού περιεχομένου. Σύμφωνα με μελέτη των Sánchez-Moreno et al. (2009), η μη θερμική επεξεργασία είναι μια αποτελεσματική τεχνική για τη βελτίωση της ποιότητας των τροφίμων, διατηρώντας παράλληλα τη διάρκεια ζωής τους, τη θρεπτική τους αξία και τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Εάν η διατροφική ποιότητα των τροφίμων λαμβάνει υπόψη τόσο τη σταθερότητα όσο και τη βιοδιαθεσιμότητα, τότε η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων σε σημαντικά συστατικά των τροφίμων κατά την επεξεργασία την καθιστά πιο συμφέρουσα. Εκτός αυτού, πρόσφατες μελέτες εξέτασαν νέες στρατηγικές συσκευασίας τροφίμων με τη χρήση αντιμικροβιακών νανοσωματιδίων (Vahedikia, 2019).

Η βιοπροσβασιμότητα και η βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών ποικίλλουν ανάλογα με την επεξεργασία των τροφίμων. Η προετοιμασία και η επεξεργασία επηρεάζει σημαντικά τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών και των BACs, καθώς μπορεί είτε να ενισχύσει είτε να μειώσει τη συγκέντρωσή τους. Η έρευνα δείχνει ότι η επεξεργασία επηρεάζει



τη βιοπροσβασιμότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών ανάλογα με τον τύπο, τη δομή του τροφίμου και την τεχνολογία της χρησιμοποιούμενης επεξεργασίας (Evrendilek, 2018).

Η βιοπροσβασιμότητα και η βιοδραστικότητα είναι δύο σχετικοί αλλά διαφορετικοί όροι που χρησιμοποιούνται στη φαρμακολογία και τη διατροφολογία για να περιγράψουν διαφορετικές πτυχές της δράσης των βιοδραστικών συστατικών στον ανθρώπινο οργανισμό, που δεν θα πρέπει να συγχέονται. Η βιοπροσβασιμότητα αναφέρεται στον βαθμό και την ταχύτητα με την οποία ένα βιοδραστικό συστατικό απορροφάται από το γαστρεντερικό σύστημα και γίνεται διαθέσιμο στην κυκλοφορία του αίματος. Ενώ, η βιοδραστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του συστατικού να αλληλεπιδρά με βιολογικούς στόχους στο σώμα και να προκαλεί μια συγκεκριμένη βιολογική ή φυσιολογική απόκριση. Η βιοδραστικότητα αφορά το πώς το συστατικό επιδρά στους ιστούς και τα κύτταρα, ενεργοποιεί ή αναστέλλει συγκεκριμένες βιοχημικές οδούς, και προκαλεί συγκεκριμένα αποτελέσματα, όπως αντιοξειδωτική δράση, αντιφλεγμονώδη δράση, ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, κ.λπ. Συμπερασματικά η βιοπροσβασιμότητα είναι σημαντική για την κατανόηση της αποτελεσματικότητας της απορρόφησης ενός συστατικού από τη διατροφή ή τα φάρμακα ενώ η βιοδραστικότητα είναι σημαντική για την αξιολόγηση της συνολικής αποτελεσματικότητας και της δυναμικής δράσης του συστατικού στη λειτουργία του οργανισμού. Συνοψίζοντας, η βιοπροσβασιμότητα είναι η απαραίτητη προϋπόθεση για τη βιοδραστικότητα. Ένα συστατικό πρέπει πρώτα να είναι βιοπροσβάσιμο για να είναι βιοδραστικό και να ασκήσει τις επιθυμητές βιολογικές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό.

### 3.1 Καροτενοειδή

Για να είναι βιοδιαθέσιμα τα καροτενοειδή, η πέψη πρέπει να τα απελευθερώσει από το τρόφιμο. Οι χρωμοπλάστες, τα κυτταρικά τοιχώματα και οι μεμβράνες προστατεύουν τα καροτενοειδή στα φρούτα και τα λαχανικά. Το έντερο απορροφά τα καροτενοειδή ενσωματώνοντάς τα σε μικτά μικκύλια. Η δομή της τροφής, η συγκέντρωση, η απόθεση και η κατανομή στους χρωμοπλάστες, η χημική δομή και οι συνδέσεις με άλλα συστατικά (φυτικές ίνες, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες) μπορούν να επηρεάσουν τη βιοπροσβασιμότητα (López-Gómez et al., 2021). Η βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών δεν εξαρτάται απλώς από τη χημική



δομή, καθώς το ίδιο προϊόν μπορεί να περιλαμβάνει καροτενοειδή με συγκρίσιμες δομές αλλά διαφορετική απορρόφηση. Για παράδειγμα, τα προϊόντα ντομάτας περιέχουν τόσο β-καροτένιο με υψηλή βιοπροσβασιμότητα όσο και λυκοπένιο με χαμηλή βιοπροσβασιμότητα, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στη μορφή εναπόθεσής τους (López-Gómez et al., 2021).

Ανάλογα με το τρόφιμο, οι χρωμοπλάστες παράγουν και αποθηκεύουν τα καροτενοειδή σε στερεές κρυσταλλοειδείς, πλαστοσφαιρικές ή σφαιρικές-σωληνοειδείς μορφές. Τα καρότα και οι ντομάτες περιέχουν κρυσταλλοειδή συσσωματώματα, τα οποία αναστέλλουν την πέψη, ενώ το κολοκύθι και η γλυκοπατάτα περιέχουν σφαιρικά-σωληνοειδή συσσωματώματα, τα οποία επιτρέπουν την αποτελεσματική απελευθέρωση και απορρόφηση (Schweiggert et al., 2012). Ορισμένα μπορούν να τροποποιηθούν θετικά ή αρνητικά από τις τεχνολογίες επεξεργασίας, τις μεθόδους μαγειρέματος, τη συμπίληψη στοιχείων πλούσιων σε λιπίδια ή πρωτεΐνες (λάδι, γάλα) ή από συνδυασμό αυτών (López-Gómez et al., 2021). Στις ωμές τροφές, η ακαμψία των κυτταρικών μεμβρανών και των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών περιορίζει την απελευθέρωση των καροτενοειδών από την τροφή και εμποδίζει τη δράση των πεπτικών ενζύμων. Μελέτες έχουν δείξει ότι η βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών απαιτεί τη διατάραξη ή την αποδυνάμωση των κυτταρικών τοιχωμάτων, των μεμβρανών και των χρωμοπλαστών, γι' αυτό και η επεξεργασία των τροφίμων είναι μια χρήσιμη τεχνική για το σκοπό αυτό (Palmero et al., 2013). Η εφαρμογή θερμότητας και τεχνικών επεξεργασίας έχει ως αποτέλεσμα την αποτελεσματική αποδυνάμωση των κυτταρικών τοιχωμάτων και των μεμβρανών των φυτών, με συνέπεια την απελευθέρωση σημαντικής ποσότητας καροτενοειδών, οδηγώντας σε αύξηση του διαλυτοποιημένου τμήματος (Hedrén et al. 2002).

Επιπλέον, τα διάφορα καροτενοειδή απορροφούν με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τη μοριακή τους δομή. Για παράδειγμα, τα γραμμικά καροτενοειδή με πολλούς διπλούς δεσμούς έχουν μεγαλύτερο δυναμικό συσσωμάτωσης, οδηγώντας σε μειωμένη βιοπροσβασιμότητα των trans ισομερών, αλλάζοντας τη βιοπροσβασιμότητα σε διάφορες μεθόδους επεξεργασίας. Έτσι, ενώ οι Zhang et al. (2018) ανέφεραν ότι η εφαρμογή υπερήχων (800 W, 20 λεπτά, 25 kHz) αύξησε τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών προωθώντας την ισομερίωση του trans σε cis-λυκοπένιο στο χυμό ντομάτας, οι Knockaert et al. (2013) ανέφεραν μειωμένη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών, εμποδίζοντας την ισομερίωση του cis-λυκοπενίου, με



εφαρμογή HP του ντοματοπολτού (600 MPa, 117°C). Η επεξεργασία του ντοματοπολτού, συμπεριλαμβανομένης της μηχανικής ομογενοποίησης και των θερμικών επεξεργασιών, ενισχύει σημαντικά τη βιοδιαθεσιμότητα του λυκοπενίου.

Από την άλλη το μαγείρεμα έχει την ικανότητα να μετατρέπει όλα τα καροτενοειδή με trans-μορφή σε cis-μορφή, ενισχύοντας έτσι τη βιοπροσβασιμότητα και τη βιοδιαθεσιμότητά τους, το οποίο είναι σύμφωνο με την έρευνα των Shi και Maguer (2000), που έδειξε ότι η βιοδιαθεσιμότητα του λυκοπενίου στα επεξεργασμένα προϊόντα ντομάτας ήταν υψηλότερη από ό,τι στις μη επεξεργασμένες φρέσκες ντομάτες λόγω του ισομερισμού των all-trans μορφών σε cis ισομερή. Η ήπια θερμική επεξεργασία μπορεί να ενισχύσει τη βιοδιαθεσιμότητα των καροτενοειδών στα φυτικά τρόφιμα αποδυναμώνοντας τα σύμπλοκα καροτενοειδών-πρωτεΐνης και εξασθενώντας τους ιστούς, καθιστώντας τις ενώσεις πιο απορροφήσιμες (Neves et al., 2021).

Συγκεκριμένα, το cis-λυκοπένιο αποτελεί πάνω από το 50% του λυκοπενίου του ορού και των ιστών, αποδεικνύοντας ότι είναι πιο βιοδιαθέσιμο από όλα τα trans-ισομερή (van Breemen et al., 2002). Για παράδειγμα, τα επίπεδα λυκοπενίου αυξήθηκαν μετά την κατανάλωση θερμικά επεξεργασμένου χυμού ντομάτας, αλλά όχι μη επεξεργασμένου χυμού. Η αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα του οφείλεται στην αποσύνθεση των φυτικών κυττάρων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και στον trans-to-cis-ισομερισμό που προκαλείται από τη θερμότητα .

Στην ίδια βάση, οι Jayathunge et al. (2017) διερεύνησαν κατά πόσον η θερμική και μη θερμική επεξεργασία του χυμού ντομάτας επηρεάζει τον ισομερισμό και τη βιοδιαθεσιμότητα του λυκοπενίου. Μετά το ζεμάτισμα, την εφαρμογή υπερήχων και το PEF, ο χυμός ντομάτας είχε πολύ υψηλότερα επίπεδα trans- και cis-λυκοπενίου. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και το ζεμάτισμα αύξησαν τη συνολική βιοπροσβασιμότητα του λυκοπενίου κατά 15,6%. Σύμφωνα με τους Jayathunge et al. (2017), η εφαρμογή PEF (4 μs του 1 kV/cm) σε ολόκληρες ντομάτες βελτίωσε τη βιοπροσβασιμότητα του trans-(6,2%) και cis-(31%) λυκοπενίου αμέσως και 24 ώρες αργότερα. Οι επεξεργασίες US και θερμότητας μείωσαν σημαντικά τη βιοπροσβασιμότητα του trans-λυκοπενίου αλλά αύξησαν το cis-λυκοπένιο.

Παρόμοια οι Bot et al. (2018) εξέτασαν την επίδραση PEF (7,6 MJ/kg, 40-45 °C), θέρμανσης (7,6 MJ/kg, 85-90°C) ή συνδυασμούς των δύο σε κλάσματα ντομάτας (ιστός, κύτταρα και χρωμοπλάστες). Το κλάσμα χρωμοπλαστών έχει τη μέγιστη βιοπροσβασιμότητα του β-



καροτενίου και του all-trans-λυκοπενίου λόγω της απουσίας πολυσακχαριτών του κυτταρικού τοιχώματος που εμποδίζουν τα ένζυμα πέψης. Μετά την εφαρμογή PEF, η βιοπροσβασιμότητα μειώθηκε λόγω του σχηματισμού συμπλόκου καροτενοειδών- πρωτεΐνης. Η θέρμανση μείωσε τη βιοπροσβασιμότητα του all-trans λυκοπενίου στους ιστούς της ντομάτας. Φαίνεται πως τα trans ισομερή εγκλωβίζονται ευκολότερα από τις cis ισομορφές, επομένως τα δίκτυα ινών περιορίζουν την απελευθέρωσή τους κατά την πέψη.

### 3.1.1 Θερμική επεξεργασία

Οι Edwards et al. (2002) αξιολόγησαν *in vivo* τη βιοδιαθεσιμότητα των α- και β-καροτενοειδών σε πουρέ καρότου, βρασμένα πολτοποιημένα και ωμά ψιλοκομμένα καρότα. Ο πουρές καρότου έδειξε περίπου δύο φορές υψηλότερα επίπεδα απορρόφησης α- και β-καροτενίου από τα βρασμένα πολτοποιημένα καρότα, ίσως λόγω του μειωμένου μεγέθους, της αυξημένης επιφάνειας ή της έκθεσης στη θερμότητα σύμφωνα με τους ερευνητές. Ενώ οι Rock et al. (1998) διαπίστωσαν ότι η κατανάλωση πολτοποιημένων καρότων και σπανακιού αύξησε τα επίπεδα β-καροτενίου στο πλάσμα κατά τρεις φορές σε σύγκριση με την κατανάλωσή τους ωμά. Αντίστοιχα, οι Livny et al. (2003), ανέφεραν ότι τα μαγειρεμένα, πολτοποιημένα καρότα είχαν μεγαλύτερα επίπεδα β-καροτενίου στο πλάσμα από ό,τι τα ωμά, τεμαχισμένα καρότα.

Σε *in vitro* μοντέλο πέψης οι Hedrén et al. (2002), για να αξιολογήσουν τις επιδράσεις τόσο της θέρμανσης όσο και του μεγέθους των σωματιδίων στη βιοπροσβασιμότητα των καροτενίων, στα καρότα, παρατηρήθηκε αύξηση της βιοπροσβασιμότητας του β-καροτενίου, από 3% σε ωμά, τεμαχισμένα καρότα σε 21% μετά την ομογενοποίηση και περαιτέρω αύξηση σε 27% μετά το μαγείρεμα. Τα μικρότερα μεγέθη σωματιδίων και η μηχανική διάσπαση των φυτικών κυττάρων στα πολτοποιημένα λαχανικά μπορεί να αυξήσουν την απορρόφηση των καροτενοειδών στον εντερικό αυλό (Edwards et al., 2002)..

### 3.1.2 Μη θερμική επεξεργασία

#### 3.1.2.1 Ομογενοποίηση Υπερψηλής Πίεσης (HPH)

Οι Colle et al. (2010) εξέτασαν την επίδραση της HPH (84-1327 bar) ή της HPH με θέρμανση (90 °C για 30 λεπτά) στη βιοδιαθεσιμότητα του λυκοπενίου σε πολτό ντομάτας. Καθώς αυξανόταν η πίεση, αυτή μειωνόταν. Οι Rapano et al. (2009) ανέφεραν αρνητική συσχέτιση μεταξύ της συνεκτικότητας του πολτού ντομάτας και της βιοπροσβασιμότητας των καροτενοειδών





(λυκοπένιο, λουτεΐνη και ζ-καροτένιο) μετά από επεξεργασία HPH (μία φορά στα 20-100 MPa). Αυτό αποδόθηκε στη δημιουργία δικτύου ινών και στα χαμηλά επίπεδα λιπιδίων στα δείγματα. Σε παρόμοια διαδικασία από τους Liu et al. (2005), η HPH (20-180 MPa, πέρασμα 1, 2 ή 3) αύξησε τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών στο χυμό καρότου κατά 30-50%, σε σύγκριση με 25% στους μη επεξεργασμένους χυμούς. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι ο χαμηλότερος βαθμός μεθοξυλίωσης και η γαλακτωματοποιητική δραστηριότητα της πηκτίνης συσχετίζονται με υψηλότερη βιοπροσβασιμότητα καροτενοειδών.

Ένας ακόμα παράγοντας της έρευνας αφορά στις ιδιότητες της πηκτίνης. Η υψηλή μεθοξυλιωμένη πηκτίνη δημιουργεί μια σφιχτή δομή που περιβάλλει τα σταγονίδια λιπιδίων, εμποδίζοντας την πρόσβαση και την πέψη της λιπάσης. Επιπλέον, η σημαντική γαλακτωματοποιητική δράση ενθυλακώνει τα καροτενοειδή, εμποδίζοντας την απορρόφηση. Οι Gence (2018) διαπίστωσαν ότι τα υψηλά επίπεδα πηκτίνης σε χυμούς εσπεριδοειδών μεταβάλλουν το μέγεθος των μικκυλίων και μειώνουν τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών από 10-15% σε 2-5%. Αντίθετα, σε έρευνα των Cano et al. (2020) ο αντίκτυπος οφειλόταν σε τροποποιημένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υδρόφοβων ομάδων της πηκτίνης κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Μια μελέτη των Sentandreu et al. (2014) συνέκρινε τις επιδράσεις της HPH (150 MPa, 68 C για 15 s) και της συμβατικής παστερίωσης (65 C, 85 C και 92 C) στη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών στο χυμό μανταρινιού. Η βιοπροσβασιμότητα και το μέγεθος των σωματιδίων δεν άλλαξαν μετά την παστερίωση. Η HPH ενίσχυσε τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών κατά 5 φορές μειώνοντας το μέγεθος των σωματιδίων, επιτρέποντας στα πεπτικά ένζυμα να έχουν εύκολη πρόσβαση σε αυτά. Οι Liu et al. (2004) μελέτησαν τα καροτενοειδή σε μαγειρεμένα και ωμά ολόκληρα γεύματα χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα προσομοίωσης γαστρεντερικής πέψης και καλλιέργειας κυττάρων Caco-2. Η μελέτη διαπίστωσε ότι η θέρμανση των τροφίμων στους 100°C για 15 λεπτά ενίσχυσε σημαντικά τη βιοδιαθεσιμότητα των καροτενοειδών, όπως η λουτεΐνη (0,9-πλάσια αύξηση) και η ζεαξανθίνη (1,2-πλάσια αύξηση).

### 3.1.2.2 Υπέρηχοι (US)

Σε ό,τι αφορά την εφαρμογή υπερήχων, οι Anese et al. (2010) ανέφεραν ότι οι υπερήχοι (15, 30 και 60 λεπτά, 100 μm, 105 W/cm<sup>2</sup>) προκάλεσαν αποεστεροποίηση της πηκτίνης, οδηγώντας στο



σηματισμό ενός ισχυρού δικτύου που αύξησε το ιξώδες του επεξεργασμένου πολτού ντομάτας. Επιπλέον, διαπίστωσαν μια εκθετική και αρνητική σχέση μεταξύ του ιξώδους των πολτών ντομάτας που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με υπέρηχους και της βιοπροσβασιμότητας του λυκοπενίου. Παρόλα αυτά, ορισμένες μελέτες ανέφεραν θετική επίδραση στη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών. Οι Buniewska et al. (2019) διερεύνησε την επίδραση της εφαρμογής των ίδιων ειδικών ενεργειών (32 και 256 kJ/kg) της PEF και της US σε ένα χυμό φρούτων που έχει γλυκανθεί με *Stevia rebaudiana*. Διαπίστωσαν ότι τα ολικά καροτενοειδή απορροφήθηκαν καλύτερα μετά την εφαρμογή και των δύο επεξεργασιών PEF και US (32 kJ/kg) και απέδωσαν τις αλλαγές αυτές σε τροποποιήσεις των ρεολογικών ιδιοτήτων του χυμού που ευνοούσαν την προσβασιμότητα των πεπτικών ενζύμων. Οι Mercado-Mercado et al. (2015) ανέφεραν επίσης 30-50% βελτίωση της βιοπροσβασιμότητας των καροτενοειδών (λουτεΐνη, β-καροτένιο και β-κρυπτοξανθίνη) μετά την εφαρμογή US (90 W, 24 kHz, 30 λεπτά) σε υποπροϊόντα μάνγκο, η οποία αποδόθηκε σε τροποποιήσεις στη δομή των διαλυτών και αδιάλυτων ινών με τη διάσπαση των εστερικών δεσμών και των δεσμών υδρογόνου, μεταξύ άλλων. Πρόσφατα, οι de Souza Carvalho et al. (2016) αξιολόγησαν την επίδραση των US (0, 0,9, 1,8, 2,7 και 3,6 kJ/cm<sup>3</sup>) στη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών σε χυμούς buriti (*Mauritia flexuosa*, βραζιλιάνικο φρούτο). Η περιεκτικότητα σε β-καροτένιο και η βιοπροσπελασιμότητα αυξήθηκαν όταν εφαρμόστηκαν επεξεργασίες που χαρακτηρίζονταν από υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας υπερήχων, διπλασιάζοντας την αντίστοιχη του μη επεξεργασμένου χυμού στα 3,6 kJ/cm<sup>3</sup>.

### 3.1.2.3 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (PEF)

Οι López-Gómez et al. (2021) ανέφεραν ότι η βιοπροσβασιμότητα των ολικών καροτενοειδών, του α-καροτενίου και του β-καροτενίου σε καρότα επεξεργασμένα με PEF (πέντε παλμοί των 3,5 kV/cm) αυξήθηκε κατά 80,2%, 59,1% και 58%, αντίστοιχα. Απέδωσαν αυτή την αύξηση στην ηλεκτρική διαπερατότητα και στις αλλαγές στη θέση των καροτενοειδών στο εσωτερικό των κυττάρων, τα οποία απελευθερώθηκαν ευκολότερα κατά τη διάρκεια της πέψης. Αντίστοιχα, οι González-Casado et al. (2018) διερεύνησαν τη βιοπροσβασιμότητα των καροτενοειδών από πουρέ ντομάτας χαμηλών λιπαρών που προέρχονταν από ντομάτες επεξεργασμένες με PEF (0,4-2 kV/cm, 5, 18, 30 παλμοί, 0,02-2,31 kJ/kg). Οι επεξεργασμένες με PEF ολόκληρες ντομάτες



αύξησαν τη συγκέντρωση καροτενοειδών λόγω δύο παραγόντων: την ενεργοποίηση του δευτερογενούς μεταβολισμού και τις δομικές μεταβολές που βελτίωσαν την εκχυλισιμότητα.

## 3.2 Πολυφαινόλες

Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι πλούσια σε φαινολικές χημικές ουσίες. Τα φρούτα όπως τα μήλα και τα μούρα είναι πλούσια σε πολυφαινόλες, με περίπου 200 mg ανά 100 g φρέσκων φρούτων. Η συγκέντρωση και η βιοδιαθεσιμότητα αυτής της φαινολικής ένωσης επηρεάζονται από τις μεθόδους επεξεργασίας των τροφίμων. Οι περισσότερες φαινολικές ουσίες είναι ευαίσθητες στις υψηλές θερμοκρασίες κατά την παρασκευή τροφίμων, σύμφωνα με την έρευνα. Η επεξεργασία τροφίμων χωρίς υψηλές θερμοκρασίες είναι χρήσιμη, δεδομένου ότι η μη θερμική επεξεργασία μπορεί να αντικαταστήσει τη θερμική επεξεργασία. Μια μέθοδος για την ενίσχυση της βιοπροσβασιμότητας και της βιοδιαθεσιμότητας των φαινολικών συστατικών μπορεί να χρησιμοποιεί μεμονωμένες ή συνδυασμένες τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων, με βάση τα προβλεπόμενα αποτελέσματά τους και τις ανάγκες του τροφίμου.

Τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η επεξεργασία των τροφίμων φυτικής προέλευσης μπορεί να προκαλέσει ορισμένες αλλαγές στη δομή των τροφίμων, οι οποίες βελτιώνουν τη βιοπροσβασιμότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των πολυφαινολών, όπως ο χημικός μετασχηματισμός σε πιο βιοπροσβάσιμες και βιοδιαθέσιμες μορφές, η αποδυνάμωση των αλληλεπιδράσεων των πολυφαινολών με άλλα συστατικά, η μείωση της περιεκτικότητας σε φυτικά άλατα μέσω θερμικής αποδόμησης ή ζύμωσης και η διάσπαση των κυτταρικών τοιχωμάτων των φυτών (Hotz & Gibson, 2007). Δεδομένου ότι η επεξεργασία τροφίμων μπορεί να αυξήσει τη βιοπροσβασιμότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των φαινολικών συστατικών, είναι σημαντικό να μελετηθούν οι επιδράσεις υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, ώστε να βρεθεί η καλύτερη στρατηγική για κάθε τρόφιμο. Κάποια εκ πρώτης όψεως αντιφατικά αποτελέσματα κατά τη χρήση της ίδιας τεχνολογίας υποδηλώνουν ότι η βιοπροσβασιμότητα ή η βιοδιαθεσιμότητα των φαινολικών ενώσεων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας, τη φύση των φαινολικών ενώσεων και τη δομή των τροφίμων φυτικής προέλευσης.

### 3.2.1 Θερμική επεξεργασία

Η έρευνα για τη θερμική επεξεργασία δείχνει ότι ο βρασμός μεταβάλλει περισσότερο την περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες. Αυτές οι χημικές ουσίες διατηρούνται καλύτερα με τον ατμό



και το τηγάνισμα. Επειδή οι φαινόλες διαλύονται στο νερό, μπορεί να διαρρεύσουν κατά το βράσιμο. Η θερμική επεξεργασία διασπά τους ιστούς, απελευθερώνοντας θρεπτικά και βιολογικά συστατικά στο νερό που βράζει. Λόγω της διαλυτότητάς τους στο νερό, οι πολυφαινόλες μπορεί να χάσουν περισσότερο σε πολικά μέσα όπως το νερό. Ωστόσο, τα μη πολικά μέσα, όπως το λάδι, μπορούν να εκχυλίσουν λιγότερες λιποδιαλυτές πολυφαινόλες (Ribas-Agusti et al., 2018).

Σημαντική επίπτωση το βράσιμο είχε στα κρεμμύδια και τα σπαράγγια. Μετά από βράσιμο για 60 λεπτά, τα κρεμμύδια έχασαν το 20,6% των φλαβονολών τους, ενώ τα σπαράγγια έχασαν το 43,9%. Οι αντιοξειδωτικές ικανότητες μεταβλήθηκαν σημαντικά (Arfaoui, 2021). Σε μια άλλη μελέτη, το βράσιμο βολβών κρεμμυδιού για 1 ώρα αποικοδόμησε το διγλυκοζίτη της κερκετίνης κατά 53% και το μονογλυκοζίτη κατά 44%. Το βράσιμο για 30 λεπτά, το τηγάνισμα και το ψήσιμο σε μικροκύματα και φούρνο προκάλεσαν ελάχιστη αλλαγή. Οι διαφοροποιήσεις στα μέσα μπορεί να προάγουν την αποικοδόμηση των παραγώγων της κερσετίνης. Το νερό, ένα πολικό μέσο, εκχύλισε αυτές τις χημικές ουσίες καλύτερα από το λάδι και τον αέρα. Η μελέτη αυτή τονίζει επίσης την επίδραση της κατηγορίας των πολυφαινολών. Οι ανθοκυανίνες επηρεάστηκαν περισσότερο από το τηγάνισμα, ακολουθούμενες από το βράσιμο και το ψήσιμο (Arfaoui, 2021).

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος είναι πως ο όγκος του νερού επηρεάζει την αλλαγή των πολυφαινολών κατά τη θερμική επεξεργασία. Μικρότεροι όγκοι μαγειρέματος αύξησαν την περιεκτικότητα σε φαινόλες στα κολοκυθάκια, τα φασόλια και τα καρότα. Τα κολοκυθάκια είχαν περισσότερη ρουτίνη, τα φασόλια είχαν κερσετίνη και ρουτίνη και τα καρότα είχαν χλωρογενικό οξύ. Συνεπώς, το μαγείρεμα με μικρότερους όγκους νερού μείωσε την περιεκτικότητα σε φαινολικά συστατικά του νερού.

Οι Musilova et al. (2020) εξέτασαν πώς η διακύμανση επηρεάζει την επεξεργασία των τροφίμων και τα επίπεδα πολυφαινολών. Τέσσερις ποικιλίες γλυκοπατάτας θερμάνθηκαν με τέσσερις τρόπους. Η θερμότητα μείωσε συνήθως τα επίπεδα φαινολικών οξέων. Το βράσιμο επηρέασε σημαντικά τα χλωρογενικά, νεοχλωρογενικά και trans-φερουλικά οξέα. Συγκεκριμένα, μείωσε τα επίπεδα του χλωρογενικού οξέος κατά 29%, του νεοχλωρογενικού οξέος κατά 69% και του trans-φερουλικού οξέος κατά 29% στις διαφορετικές ποικιλίες. Ωστόσο, αυτές οι



επεξεργασίες αύξησαν σημαντικά τις ολικές πολυφαινόλες, τις ολικές ανθοκυανίνες και τη συνολική αντιοξειδωτική δραστηριότητα σε όλα τα δείγματα.

Πέραν όμως από τη γενική μελέτη, στις πολυφαινόλες έχει μελετηθεί διεξοδικά η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στη βιοδιαθεσιμότητα (Huelamo et al., 2017). Η οικιακή θέρμανση ντομάτας βελτίωσε τη βιοδιαθεσιμότητα της ναρινγενίνης και του χλωρογενικού οξέος σε πέντε άτομα της δοκιμής. Οι θερμικές και μηχανικές επεξεργασίες κατά την παρασκευή σάλτσας ντομάτας αύξησαν τα επίπεδα γλυκουρονιδίου της ναρινγενίνης στο πλάσμα και στα ούρα. Σε μια τυχαιοποιημένη ελεγχόμενη μελέτη, οκτώ εθελοντές έλαβαν είτε σάλτσα ντομάτας είτε ωμές ντομάτες. Τα δεδομένα υποδεικνύουν ότι η θερμική επεξεργασία αυξάνει τη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών πολυφαινόλης από τη σύσταση των τροφίμων.

Ωστόσο, ο τύπος θερμικής επεξεργασίας επηρεάζει τη βιοδιαθεσιμότητα των πολυφαινολών. Σε συγκριτική μελέτη διαφόρων τεχνικών ο ατμός είχε την υψηλότερη ολική συγκέντρωση φαινολών στα δείγματα μανιόκας, ακολουθούμενη από τη θέρμανση μικροκυμάτων και το βράσιμο. Τα δείγματα στον ατμό είχαν βιοδιαθεσιμότητα 74,5%, ενώ τα βρασμένα και τα δείγματα σε φούρνο μικροκυμάτων είχαν παρόμοιες τιμές (72,9% και 72,7%, αντίστοιχα) (DeLima et al. 2017) Ο ατμός ήταν η πιο αποτελεσματική στρατηγική θέρμανσης, ίσως λόγω της έμμεσης έκθεσης στο νερό, η οποία αύξησε τη συγκράτηση των πολυφαινολών στο φυτό.

Αντίστοιχα, οι Rodriguez-Mateos et al. (2014) μελέτησαν την επίδραση του ψησίματος στις πολυφαινόλες των μύρτιλου, συμπεριλαμβανομένων των ανθοκυανών, των προκυανιδινών και των φαινολικών οξέων, και τη βιοδιαθεσιμότητά τους. Αυτή η έρευνα 10 υγιών ατόμων χρησιμοποίησε ένα ψημένο προϊόν που περιείχε μύρτιλλα, ένα μη επεξεργασμένο ρόφημα μύρτιλλου και ένα ψημένο προϊόν ελέγχου. Η επεξεργασία δεν είχε σημαντική επίδραση στο συνολικό πολυφαινολικό περιεχόμενο, αλλά μείωσε σημαντικά τις ανθοκυανίνες (-42%), αύξησε το χλωρογενικό οξύ (23%) και αύξησε τα διμερή και τριμερή φλαβονόλης (36% και 28%, αντίστοιχα). Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι το ψημένο προϊόν μύρτιλλου αύξησε τέσσερις μεταβολίτες (m-υδροξυφαινολοξικό, φερουλικό, ισοφερουλικό και υδροξυϊππουρικό οξύ) και μείωσε άλλους τέσσερις (ιππουρικό, βενζοϊκό, σαλικυλικό και σιναπικό οξύ) σε σύγκριση με το ρόφημα, χωρίς να επηρεάσει τα συνολικά επίπεδα φαινολικών.



## 3.2.2 Μη θερμική επεξεργασία

### 3.2.2.1 Υπερυψηλή Πίεση (HP)

Η υψηλή πίεση είναι ελκυστική για τη διατροφή, δεδομένου ότι οι περισσότερα BACs επιβιώνουν σε υψηλές πιέσεις καλύτερα από ό,τι σε υψηλές θερμοκρασίες. Η υψηλή πίεση μπορεί επίσης να εξασθενίσει τις κυτταρικές δομές και να αυξήσει την απορρόφηση BACs. Οι Rodríguez-Roque et al. (2015) ανέφεραν ότι τα επεξεργασμένα με HP φρουτοποτά με νερό, αγελαδινό γάλακ και γάλα σόγιας είχαν υψηλότερη βιοπροσβασιμότητα φαινολικών οξέων και φλαβονοειδών από τα θερμικά επεξεργασμένα ποτά, αλλά χαμηλότερες συνολικές πολυφαινόλες. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, η υψηλή πίεση ενισχύει το δίκτυο και τις συνδέσεις της τροφής, αποτρέποντας την απελευθέρωση BACs κατά την πέψη (Colle et al., 2010). Σε συμφωνία είναι και η μελέτη από τους He et al. (2016) που διαπίστωσαν ότι οι χυμοί μήλου, σταφυλιού και πορτοκαλιού που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία HPH ήταν λιγότερο βιοδιαθέσιμοι από τους θερμικά παστεριωμένους χυμούς.

### 3.2.2.2 Παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF)

Η επεξεργασία με PEF θα μπορούσε να έχει ενδιαφέρουσες επιπτώσεις στη βιοπροσβασιμότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα των φαινολικών ενώσεων λόγω των επιπτώσεών της στα τρόφιμα, ιδίως στην ακεραιότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων και των μεμβρανών. Η επεξεργασία με PEF έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την ενίσχυση της περιεκτικότητας σε φαινολικές ενώσεις σε χυμούς φρούτων μήλου, δεσμευμένων στα κυτταρικά τοιχώματα του πυρήνα τους (Lohani and Muthukumaran, 2016). Ωστόσο, άλλες έρευνες έδειξαν ότι δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ του επεξεργασμένου με PEF και του θερμικά επεξεργασμένου χυμού ντομάτας (Odrizola-Serrano et al., 2009).

Οι Rodríguez-Roque et al. (2015) διαπίστωσαν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η επεξεργασία ροφημάτων με βάση τα φρούτα με PEF (35 kV/cm for 1800 μs) είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη βιοπροσβασιμότητα ισοφλαβονών σε σύγκριση με τα θερμικά παστεριωμένα (90 C for 1 min) ροφήματα φρούτων, ανεξάρτητα από το αν ήταν σε διάλυμα νερού ή γάλακτος. Η μόνη εξαίρεση ήταν οι ολικές πολυφαινόλες σε ροφήματα φρούτων σε γάλα σόγιας. Αντίστοιχα και οι Buniowska et al. (2019) εξέτασαν τη φαινολική βιοπροσβασιμότητα του χυμού παπάγια και μάνγκο με *Stevia rebaudiana* μετά από επεξεργασίες PEF ή υπερήχων (32 και 256 kJ/kg).



Λόγω της ενισχυμένης απελευθέρωσης, οι χυμοί που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία PEF (256 kJ/kg) και υπερήχους (32 και 256 kJ/kg) ήταν περισσότερο βιοπροσβάσιμοι από τους μη επεξεργασμένους χυμούς. Σε παρόμοια έρευνα, οι López-Gómez et al. (2021) διαπίστωσαν ότι η PEF (πέντε παλμοί των 3,5 kV/cm) αύξησε τη βιοπροσβασιμότητα των φαινολικών του καρότου κατά 53%, ενώ το φερουλικό οξύ και το 3-καφεοϋλοκινικό οξύ ήταν λιγότερο βιοπροσβάσιμα. Οι ερευνητές συμπέραναν πως η ηλεκτρική διαπερατότητα αυξάνει την απελευθέρωση των φαινολικών ενώσεων του τροφίμου και τη βιοπροσβασιμότητα.

### 3.2.2.3 Υπέρηχοι (US)

Μια μελέτη των Lafarga et al. (2019) εξέτασε πώς οι υπέρηχοι (250 W για 20 λεπτά, 40 kHz, 4 °C) επηρέασαν την περιεκτικότητα σε φαινόλες και τη βιοδιαθεσιμότητα διαφόρων λαχανικών. Μετά την εφαρμογή υπερήχων, τα φαινολικά συστατικά του μαρουλιού και της πράσινης πιπεριάς ήταν 11% έως 150% περισσότερο βιοδιαθέσιμα από ό,τι στα στάδια του στομάχου και του εντέρου. Η σημαντική ενίσχυση ήταν αποτέλεσμα της βελτιωμένης απελευθέρωσης από την ηχητική σπηλαίωση και την αποσύνθεση του κυτταρικού τοιχώματος.

Επιπλέον έρευνες με υπέρηχους έγιναν σε υγρή σύσταση τροφίμων, για την εξέταση του επιπέδου που αυτή επηρεάζεται. Για παράδειγμα, οι Ribeiro et al. (2014) εξέτασαν τη βιοπροσβασιμότητα των φαινολικών και των ανθοκυανών σε smoothies *juçara* που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με υπέρηχους (220 W για 7 λεπτά). Ενώ η επεξεργασία αύξησε τη βιοπροσβασιμότητα των ανθοκυανών, τα smoothies χωρίς επεξεργασία δεν άλλαξαν τη βιοπροσβασιμότητα των φαινολικών. Οι φυσαλίδες σπηλαίωσης μπορεί να διασπάσουν τα κύτταρα και να απελευθερώσουν φαινόλες, αλλά το μεγαλύτερο μέγεθος των σωματιδίων και το ιξώδες εμποδίζουν την απορρόφησή τους. Οι De Souza Carvalho et al. (2012) εξέτασαν την επίδραση των US (0, 0,9, 1,8, 2,7 και 3,6 kJ/cm<sup>3</sup>) στην βιοπροσβασιμότητα των ανθοκυανών του χυμού *açaí*. Λόγω της θραύσης και απελευθέρωσης του κυτταρικού τοιχώματος, οι χυμοί που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα είχαν υψηλότερη συγκέντρωση μονομερούς ανθοκυανίνης και βιοπροσβασιμότητα.

## 3.3 Βιταμίνη C

Η βιταμίνη C έχει χαμηλή αντοχή στη θερμότητα και υφίσταται εύκολα οξείδωση. Ως αποτέλεσμα, όταν υποβάλλεται σε υψηλές θερμοκρασίες, η βιταμίνη υφίσταται μείωση της



αρχικής της κατάστασης. Το εύρος της απώλειας μπορεί να κυμαίνεται από 20% έως και 90%, ανάλογα με διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της διάρκειας επεξεργασίας και της έκθεσης σε οξυγόνο (Mieszczaowska-Frac et al., 2021). Οι έρευνες έχουν δείξει σταθερά μια θετική συσχέτιση μεταξύ της διατήρησης της βιταμίνης C και άλλων βασικών θρεπτικών συστατικών (Udin et al., 2002). Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να παρακολουθείται στενά η επίδραση συγκεκριμένων ιδιοτήτων της επεξεργασίας στην περιεκτικότητα σε βιταμίνες και οι πιθανές επιζήμιες επιπτώσεις τους στη συνολική ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Η διατήρηση της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C σε φρούτα και λαχανικά φαίνεται να επιτυγχάνεται καλύτερα μέσω της κρουοσυντήρησης, μιας εξαιρετικά αποτελεσματικής τεχνικής. Η κατάψυξη των πρώτων υλών αμέσως μετά τη συγκομιδή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ποιότητάς τους στα τελικά προϊόντα. Οι Li et al. (2017) διαπίστωσαν ότι τα φρέσκα προϊόντα που αποθηκεύονται για πολλές ημέρες παρουσιάζουν συνήθως χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σύγκριση με παρόμοια κατεψυγμένα προϊόντα. Πριν την κατάψυξη, τα συγκεκριμένα λαχανικά ζεματίζονται είτε με νερό είτε με ατμό, ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών χημικών ουσιών και να απενεργοποιηθούν τα ένζυμα που βρίσκονται στα ωμά λαχανικά (Mieszczaowska-Frac et al., 2021).

### 3.3.1 Θερμική επεξεργασία

Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την επεξεργασία φρούτων και λαχανικών παρέχουν μικροβιολογική ασφάλεια. Επίσης, μετουσιώνουν τις πρωτεΐνες και ζελατινοποιούν το άμυλο. Με τον τρόπο αυτό τα επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά καθίστανται πιο εύπεπτα. Τόσο η παστερίωση ( $\theta < 100^{\circ}\text{C}$ ) όσο και η αποστείρωση ( $\theta 110-121^{\circ}\text{C}$ ) είναι εξαιρετικοί τρόποι για τη διατήρηση των προϊόντων και της ασφάλειάς τους.

Ωστόσο, οι μεταβλητές επεξεργασίας (θερμοκρασία και διάρκεια) καθώς και η δομή του τροφίμου δυνητικά επηρεάζει τη διατήρηση ή μη των επιπέδων της βιταμίνης C. Ποιοτικές γενικεύσεις πως η υψηλή θερμοκρασία μειώνει την θρεπτική αξία στα φρούτα και τα λαχανικά εφόσον δε συνδέονται με μαθηματικά μοντέλα δεν επαληθεύονται (Giannakourou and Taoukis, 2021).

Για παράδειγμα, εξετάστηκε πώς η θερμική επεξεργασία και η άλεση επηρεάζουν τις κόκκινες και τις κίτρινες ντομάτες, με το αποτέλεσμα να είναι η μείωση του 80% της βιταμίνης C





(Georgé et al., 2011). Οι Klorotek et al. (2005) έδειξαν ότι η παστερίωση μείωσε περισσότερο τα επίπεδα βιταμίνης C στο χυμό φράουλας, ενώ η συμπίεση αφαίρεσε το 22% της βιταμίνης C. Το επίπεδο ασκορβικού οξέος του χυμού μειώθηκε κατά 35% μετά την παστερίωση στους 85°C σε σύγκριση με τον διηθημένο χυμό, ενώ ο πουρές φράουλας έχασε 12% βιταμίνη C σε σύγκριση με τις άνευ επεξεργασίας φράουλες. Παρόμοια, η παστερίωση του νέκταρ φραγκοστάφυλου στους 80°C για 27 δευτερόλεπτα είχε ως αποτέλεσμα την πτώση της συγκέντρωσης της βιταμίνης C κατά 2 - 6% (Iversen, 1999).

Οι El-Ishaq και Obirinakem (2015) διαπίστωσαν ότι η παστερίωση χυμών φρούτων (χυμοί ανανά, πορτοκαλιού, καρπουζιού και ντομάτας) σε χαμηλότερη θερμοκρασία (40°C) προκάλεσε απώλεια 39-47% της βιταμίνης C, ανεξάρτητα από την αρχική περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ. Τέλος, σε πείραμα σύγκρισης για διάφορους τρόπους μαγειρέματος (βράσιμο, ζεμάτισμα, ατμός) στην περιεκτικότητα των λαχανικών σε βιταμίνες, διαπιστώθηκε πως το βράσιμο μείωσε σημαντικά την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C σε όλα τα δείγματα (26-100%), ενώ η διατήρηση της βιταμίνης C κυμάνθηκε από 58% έως 89% μετά το ζεμάτισμα (Lee et al., 2018). Αντίστοιχα, ήταν και τα αποτελέσματα σε μελέτη με χρήση των ίδιων θερμικών επεξεργασιών σε διαφορετικά είδη λαχανικών (Porona, 2019). Η επεξεργασία μέσω θέρμανσης, ατμού και μικροκυμάτων, σε λαχανικά όπως κουνουπίδι, πιπεριά, πατάτες, καρότα, λάχανο και μελιτζάνα έδειξε ότι το βράσιμο εξάντλησε τη βιταμίνη C (27%-69%) σε όλα τα δείγματα, με την κόκκινη πιπεριά να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απώλεια και την πατάτα τη μικρότερη.

### 3.3.2 Μη θερμική επεξεργασία

#### 3.3.2.1 Υπερυψηλή πίεση (HP)

Η HP, είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί συνήθως πίεση 600 MPa. Οι υψηλές πιέσεις χρησιμοποιούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες για την καλύτερη διατήρηση BACs, όπως η βιταμίνη C. Ως μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στην αγορά χυμών ως κύρια μέθοδος επεξεργασίας. Στο προϊόν εφαρμόζεται υψηλή πίεση μόλις συσκευαστεί.

Χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμέτρους HP, οι Koutchma et al. (2016) διατήρησαν τη βιταμίνη C σε 18 χυμούς φρούτων από διαφορετικά είδη από 76 έως 96%. Αντίστοιχα, οι Patras et al. (2009) συνέκριναν BACs όπως η βιταμίνη C σε πουρέ φράουλας στους 70°C και σε HP (400-500-600 MPa). Ο θερμικά επεξεργασμένος πουρές έχασε 22,6% ασκορβικό οξύ, ενώ με



HP λιγότερο από 9% της βιταμίνης C σε σύγκριση με το αρχικό επίπεδο. Τέλος, οι Tewari et al. (2017) σε μελέτη ανασκόπησης διαπίστωσαν ότι στα περισσότερα φρούτα και λαχανικά που έχουν υποστεί επεξεργασία με HP διατηρήθηκε το επίπεδο της βιταμίνης στο 79-99% και 67-93% αντίστοιχα.

Συμπερασματικά, η τεχνολογία HP μπορεί να διατηρήσει τη βιταμίνη C κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης. Η HP είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση στη θερμική επεξεργασία τροφίμων που διατηρεί τη μικροβιολογική σταθερότητα και τις χημικές ουσίες που προάγουν την υγεία.

### 3.3.2.2 Ομογενοποίηση Υψηλής Πίεσης (HPH)

Μελέτες σχετικά με τη σταθερότητα των BACs μετά τη χρήση HPH υποδηλώνουν ότι αυτή η μη θερμική τεχνική βελτιώνει τη διατήρησή τους. Η HPH αύξησε σημαντικά την περιεκτικότητα σε L-ασκορβικό οξύ σε δείγματα χυμού πορτοκαλιού σε σύγκριση με τη θερμική παστερίωση (Velázquez-Estrada et al., 2013). Η περιεκτικότητα σε L-ασκορβικό οξύ μειώθηκε κατά 2% έως 5% στα δείγματα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με μέτρια πίεση (100 και 200 MPa), αλλά κατά 11% όταν χρησιμοποιήθηκε υψηλότερη πίεση (300 MPa). Η αυξημένη θερμοκρασία και πίεση κατά τη HPH (45, 70 και 94 °C) φαίνεται να επιταχύνουν την οξειδωση του ασκορβικού οξέος.

Επιπλέον, η HPH έχει δείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην παραγωγή χυμού μήλου σε πιέσεις 100, 200 και 300 MPa, και θερμοκρασίες 4 και 20 °C (Suarez-Jacobo et al, 2011). Επίσης, παστεριώθηκε στους 90 °C για 4 λεπτά ως δείγμα ελέγχου των παραμέτρων. Η επεξεργασία HPH παρήγαγε τις ίδιες συγκεντρώσεις βιταμίνης C με τον ακατέργαστο χυμό, αλλά η παστερίωση στους 90 °C απέδωσε μόνο το 11% της αρχικής ποσότητας.

### 3.3.2.3 Υπέρηχοι (US)

Οι υπέρηχοι είναι ευνοϊκοί για το περιβάλλον και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στις επιχειρήσεις τροφίμων (Mieszczaowska-Frac et al., 2021). Οι Aadil et al. (2016) εξέτασαν τον τρόπο με τον οποίο οι υπέρηχοι επηρεάζουν την ποιότητα του χυμού γκρέιπφρουτ. Εφάρμοσαν τεχνική με υπέρηχους σε συμπυκνωμένο χυμό, για 30, 60 και 90 λεπτά στα 28 kHz και στους 20°C. Όλα τα δείγματα χυμού είχαν υψηλότερα επίπεδα βιταμίνης C. Μετά από 90 λεπτά έκθεσης, η αύξηση ήταν στο 28% από 14% μετά από 30 λεπτά. Η διατήρηση του ασκορβικού οξέος μειώθηκε σχετικά με το χρόνο και την ένταση της μεθόδου.



Μια άλλη μελέτη συνέκρινε τις επιδράσεις της επεξεργασίας σε υψηλή θερμοκρασία (90°C) με την επεξεργασία με υπερήχους (15-60 λεπτά) στους 25°C (40 kHz, 30 W) στην ποιότητα του χυμού μάνγκο, συμπεριλαμβανομένης της σταθερότητας της βιταμίνης C (Santhirasegaram et al., 2013). Ο θερμικά επεξεργασμένος χυμός μάνγκο μείωσε το ασκορβικό οξύ κατά 65% περισσότερο από τον μη επεξεργασμένο χυμό. Η διατήρηση του L-ασκορβικού οξέος ήταν καλύτερη με υπερήχους από τη θερμική παστερίωση. Μετά από 15 και 30 λεπτά, η μείωση ήταν 13% και 16%. Η παράταση της επίδρασης σε 60 λεπτά αύξησε την απώλεια βιταμίνης C σε 28%. Επιπλέον, τα ηχητικά κύματα αύξησαν το καροτένιο του χυμού μάνγκο. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούσαν με προηγούμενη έρευνα για παρόμοια επεξεργασμένο χυμό αχλαδιού (Zafra-Rojas et al., 2013), με την οποία εξετάστηκαν οι επιδράσεις του εύρους των υπερήχων και του χρόνου επεξεργασίας (40% και 60% για 10, 15, 25 λεπτά, 80% για 3, 5, 8, 10, 15 και 25 λεπτά) στις ιδιότητες του χυμού.

#### 3.3.2.4 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (PEF)

Το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο επηρέασε τα BACs χυμού καρπουζιού, συμπεριλαμβανομένης της βιταμίνης C (Oms-Oliu et al., 2009). Η μελέτη ανέλυσε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (30-35 kV/cm), τη συχνότητα των παλμών (50-250 Hz), το χρόνο επεξεργασίας (50-2050 μs), το πλάτος του παλμού (1-7 μs) και την πολικότητα στη μέθοδο (μονοπολικό/διπολικό). Η διατήρηση της βιταμίνης C κυμάνθηκε από 39,8% έως 96,4% ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του PEF. Το λυκοπένιο και η αντιοξειδωτική ικανότητα του χυμού ήταν λιγότερο ευαίσθητα στις μεταβολές των παραμέτρων PEF από ό,τι η βιταμίνη C (Oms-Oliu et al., 2009).

Αντίστοιχα, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία υψηλής έντασης (HIPEF) παρουσίασαν θετικές επιδράσεις στο χυμό πορτοκαλιού και στην κρύα σούπα λαχανικών (gazpacho) σύμφωνα με τους Elez-Martínez και Martín-Belloso (2019). Ο επεξεργασμένος με PEF χυμός πορτοκαλιού και το gazpacho διατήρησαν τη βιταμίνη C περισσότερο (87,5-98,2% και 84,3-97,1%, αντίστοιχα) σε σχέση με τα προϊόντα που παστεριώθηκαν με θερμότητα στους 90°C για 1 λεπτό (82,4% και 79,2%). Οι συγγραφείς έδειξαν ότι οι παράγοντες της διαδικασίας PEF επηρεάζουν τη συγκράτηση του ασκορβικού οξέος, διαπιστώνοντας ότι η διατήρηση της βιταμίνης C αυξήθηκε με τη μεταβολή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, του χρόνου, της συχνότητας και του εύρους των παλμών.



Σε άλλο πείραμα, σε χυμό καρότου εφαρμόστηκε θέρμανση και PEF (Quitão-Teixeria et al. 2009). Τα ηλεκτρικά πεδία ήταν 35 kV/cm και 200 Hz, ενώ η θέρμανση έγινε στους 90°C για 30 ή 60 δευτερόλεπτα. Αποτέλεσμα ήταν η επεξεργασία με PEF να διατηρήσει 95% βιταμίνη C από ό,τι οι θερμικές επεξεργασίες, οι οποίες διατήρησαν μόνο 87-89%. Επιπλέον, ο θερμικά επεξεργασμένος χυμός καρότου έχασε περισσότερη βιταμίνη C από τον χυμό PEF μετά από 56 ημέρες στους 4°C. Οι θερμικά επεξεργασμένοι χυμοί διατήρησαν 14,1% (90°C για 60 δευτερόλεπτα) και 21,3% (90°C για 30 δευτερόλεπτα) βιταμίνη C κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, αλλά ο επεξεργασμένος με PEF χυμός καρότου διατήρησε το 37,6% της αρχικής περιεκτικότητας. Άλλες έρευνες δείχνουν ότι τα προϊόντα που συντηρούνται με PEF διατηρούν περισσότερη βιταμίνη C από την παστερίωση σε υψηλή θερμοκρασία και την αποθήκευση (Elez-Martínez et al., 2009).

Οι σύγχρονες τεχνολογίες, όπως η HPP και η PEF, μπορούν να τροποποιήσουν τη δομή των φρούτων και των λαχανικών με στόχο να αυξήσουν τη βιοδιαθεσιμότητα των ευεργετικών συστατικών. Για παράδειγμα, οι ντομάτες έχουν περισσότερο λυκοπένιο, τα μήλα περισσότερες φαινολικές ενώσεις, τα καρότα περισσότερα καροτένια και το καστανό ρύζι περισσότερους υδατάνθρακες, μικροστοιχεία και αμινοξέα (Dima et al., 2020). ωστόσο, υπάρχουν παρά μόνο λίγες πληροφορίες σχετικά με το πως τα φρούτα και τα λαχανικά επηρεάζουν τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C. Για το λόγο αυτό, συγκεκριμένη ομάδα ερευνητών μελέτησε πώς νέες μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας επηρεάζουν την απορρόφηση της βιταμίνης C από επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά, και με κλινικές δοκιμές (Sánchez-Moreno et al., 2004; 2005; 2009; Rodríguez-Roque et al., 2015).

Συγκεκριμένα, μελέτησαν τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C και των επιπέδων 8-ισοπροστάνης (8-epiPGF2α) σε υγιή άτομα (Sánchez-Moreno et al., 2004). Ο επεξεργασμένος με PEF χυμός πορτοκαλιού (επεξεργασμένος με ορισμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά) συγκρίθηκε με τον φρεσκοστυμμένο χυμό πορτοκαλιού (FS). Η μελέτη περιελάμβανε δύο ομάδες: έξι άτομα έπιναν 500 ml επεξεργασμένου PEF χυμού πορτοκαλιού και έξι άτομα έπιναν χυμό πορτοκαλιού FS. Πρώτη ημέρα: 250 ml πορτοκαλάδας FS - δεύτερη ημέρα: 250 ml πρωί και απόγευμα. Σύμφωνα με την έρευνα, η κατανάλωση χυμού πορτοκαλιού με PEF οδήγησε σε αυξημένα επίπεδα βιταμίνης C στο πλάσμα και μειωμένα επίπεδα 8-epiPGF2α. Αυτή η μελέτη δείχνει πώς



η τεχνολογία PEF διατηρεί τον χυμό πορτοκαλιού, τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C και τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες με μεγάλη διάρκεια ζωής.

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε πείραμα με gazpacho, ένα είδος σούπας λαχανικών, για να εκτιμηθεί πόση βιταμίνη C μπορεί να απορροφηθεί από μια σούπα που έχει υποστεί PEF σε σύγκριση με μια σούπα που έχει παρασκευαστεί πρόσφατα (FM). Η μελέτη διερεύνησε επίσης τον αντίκτυπο αυτών στη συγκέντρωση του 8-eriPGF2α στον ανθρώπινο πληθυσμό. Η κατανάλωση δύο μερίδων (500 ml) γκασπάτσο PEF ή FM σε καθημερινή βάση φαίνεται να αυξάνει τα επίπεδα βιταμίνης C στο πλάσμα και να μειώνει αισθητά τις συγκεντρώσεις 8-eriPGF2α σε άτομα με καλή υγεία. Δηλαδή, όταν χρησιμοποιείται η PEF ως μέθοδος συντήρησης, η θρεπτική αξία του επεξεργασμένου προϊόντος παραμένει άθικτη (Sánchez-Moreno et al., 2005). Παράλληλα με την έρευνά τους σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C στο χυμό πορτοκαλιού, οι επιστήμονες διεξήγαγαν επίσης πειράματα εφαρμόζοντας HP (Sánchez-Moreno et al., 2003). Μελέτες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση χυμού πορτοκαλιού επεξεργασμένου με HP μπορεί να ενισχύσει τα επίπεδα βιταμίνης C στην κυκλοφορία του αίματος και να μειώσει τα επίπεδα των 8-eriPGF2α και PGE2, γεγονός που μπορεί ενδεχομένως να μειώσει τον κίνδυνο χρόνιων ασθενειών. Οι ερευνητές εξέτασαν τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C και τις επιδράσεις της στα επίπεδα της βιταμίνης C, του ουρικού οξέος (UA), των F2-ισοπροστανών (8-eriPGF2α), της C-αντιδρώσας πρωτεΐνης (CRP) και της προσταγλανδίνης E2 (PGE2) στο πλάσμα μιας ομάδας υγιών ατόμων. Η μελέτη σχετικά με τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C διεξήχθη σε δύο στάδια: μια δοκιμή απόκρισης στη δόση και μια δοκιμή απόκρισης σε πολλαπλές δόσεις. Στους συμμετέχοντες δόθηκαν συγκεκριμένες οδηγίες να καταναλώσουν 500 ml χυμού ή γκασπάτσο μετά από νηστεία για τουλάχιστον 12 ώρες, προκειμένου να μετρηθεί η συσχέτιση δόσης-απόκρισης, ενώ δείγματα αίματος συλλέχθηκαν πριν και ανά διαστήματα 60 λεπτών για διάρκεια 6 ωρών. Περισσότερα δείγματα αίματος ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης την έβδομη και τη δέκατη τέταρτη ημέρα της μελέτης. Τα επίπεδα της βιταμίνης C στο πλάσμα έφτασαν στο υψηλότερο σημείο τους 3-4 ώρες μετά τη χορήγηση και στις δύο ομάδες που έλαβαν θεραπεία με HP και PEF και για τα δύο προϊόντα. Σε σύγκριση με την αρχική τιμή, παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη αύξηση της συγκέντρωσης της βιταμίνης C την έβδομη και τη 14η ημέρα της παρέμβασης. Τα οφέλη της κατανάλωσης προϊόντων επεξεργασμένων με PEF



περιλαμβάνουν αύξηση των επιπέδων βιταμίνης C στο πλάσμα, ενισχυμένη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C, παράταση της διάρκειας ζωής των φρέσκων προϊόντων και μείωση του οξειδωτικού στρες σε υγιή άτομα (Sánchez-Moreno et al., 2009).

Στο πλαίσιο μιας διαφορετικής μελέτης (Rodríguez-Roque et al., 2015), τρεις διαφορετικοί τύποι ποτών υποβλήθηκαν σε διαφορετικές τεχνικές συντήρησης: PEF, HP και θερμική επεξεργασία. Χρησιμοποιώντας μια *in vitro* μέθοδο, αναλύθηκε η βιοπροσβασιμότητα της βιταμίνης C, σε δύο διαδοχικά στάδια: γαστρική πέψη (pH 2, χρησιμοποιώντας πεψίνη) και πέψη στο λεπτό έντερο με διάλυση (pH 7, χρησιμοποιώντας συνδυασμό παγκρεατικής και χολής). Οι μη θερμικές τεχνικές επεξεργασίας, όπως η PEF και η HP, δεν επηρέασαν τη βιοπροσβασιμότητα της βιταμίνης C στα επεξεργασμένα ροφήματα σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα. Ωστόσο, στα θερμικά επεξεργασμένα ροφήματα (90°C για 60s) παρουσιάστηκαν αξιοσημείωτες μειώσεις. Οι ερευνητές υποστήριξαν για το φαινόμενο αυτό, ότι οι τεχνολογίες PEF και HP διαθέτουν την ικανότητα να αδρανοποιούν συγκεκριμένα οξειδωτικά ένζυμα. Με τη χρήση αυτών των μεθόδων, η οξείδωση της βιταμίνης C αποτρέπεται αποτελεσματικά, διασφαλίζοντας ότι διατηρεί την ενεργό μορφή της και παραμένει βιοπροσβάσιμη στα επεξεργασμένα ροφήματα (Rodríguez-Roque et al., 2015).

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως η χρήση HP, PEF και υπερήχων μπορεί να συγκρατήσει τη βιταμίνη C σε χυμούς φρούτων και λαχανικών και να ενισχύσει τη βιοδιαθεσιμότητα της βιταμίνης C. Η προσαρμογή των ρυθμίσεων της διαδικασίας με βάση τον τύπο της πρώτης ύλης είναι απαραίτητη για την αποφυγή υπερβολικής απώλειας βιταμίνης C κατά τη χρήση κάθε τεχνολογίας. Οι μη θερμικές τεχνολογίες στην επεξεργασία τροφίμων ήταν ευεργετικές για τη διατήρηση της βιταμίνης C σε επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά, σύμφωνα με μελέτες. Οι καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας ενισχύουν την ασφάλεια των τροφίμων και τη διατροφική αξία αυξάνοντας τη βιοδιαθεσιμότητα BACs, όπως η βιταμίνη C, που είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία του οργανισμού



## 4 Συμπεράσματα

Η μελέτη της επίδρασης των θερμικών και μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων στη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών συστατικών έχει αποφέρει σημαντικές πληροφορίες και γνώσεις. Ιδιαίτερα, η εστίαση της παρούσας εργασίας στις πολυφαινόλες, τα καροτενοειδή και τη βιταμίνη C αποκάλυψε ότι οι μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας σε σύγκριση με τις θερμικές μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη διατροφική αξία των τροφίμων.

Έχει αποδειχθεί ότι οι πολυφαινόλες επωφελούνται από τη μη θερμική επεξεργασία όπως η PEF, η οποία διευκολύνει την απελευθέρωσή τους από φυτικές δομές, χωρίς να τις καταστρέφει, αυξάνοντας έτσι τη βιοδιαθεσιμότητά τους. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τις ενώσεις που συνήθως δεσμεύονται στα κυτταρικά τοιχώματα και είναι επομένως δυσκολότερα προσβάσιμες μέσω της πέψης. Η αυξημένη διαλυτότητα και η αλληλεπίδραση με το μικροβίωμα του εντέρου μπορεί επίσης να συμβάλει στη βελτίωση των αποτελεσμάτων για την υγεία, με συνηθέστερα επωφελή αποτελέσματα, την ενίσχυση της αντιοξειδωτικής τους δράσης.

Αντίστοιχα, τα καροτενοειδή φαίνεται ότι παρουσιάζουν αυξημένη σταθερότητα και βιοπροσβασιμότητα μετά από την εφαρμογή μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας όπως η HP. Η δομική ακεραιότητα και η διατήρηση του χρώματος αυτών των ενώσεων είναι ζωτικής σημασίας για την αποδοχή από τους καταναλωτές και για τη διατήρηση των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων τους. Η μετατροπή των καροτενοειδών σε πιο βιοδραστικές μορφές μέσω ισομερισμού είναι ένα ακόμα συγκριτικό πλεονέκτημα των μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας.

Με παρόμοια αντιοξειδωτική δράση η βιταμίνη C, η οποία συχνά υποβαθμίζεται από τη θερμότητα, επωφελείται από τις ηπιότερες συνθήκες της μη θερμικής επεξεργασίας. Η διατήρηση της όχι μόνο συμβάλλει στην αντιοξειδωτική ικανότητα των τροφίμων φυτικής προέλευσης, αλλά διαδραματίζει επίσης ζωτικό ρόλο στη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος. Ο λόγος εξάλλου που οι περισσότερες έρευνες μελετούν τα συγκεκριμένα BACs αφορά στη σημαντική αντιοξειδωτική τους δράση και την παρουσία σε πληθώρα φρούτων και λαχανικών.

Η μη θερμική επεξεργασία καθώς και οι συνθήκες διατήρησης των τροφίμων μπορεί να οδηγήσουν σε επωφελείς επιδράσεις για τα BACs. Αποτέλεσμα είναι μια αλληλεπίδραση, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω για την ενίσχυση της βιοδιαθεσιμότητάς τους.



Επιπλέον, τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, τα οποία είναι κρίσιμα για την αποδοχή τους από τους καταναλωτές, φαίνεται να διατηρούνται σε ικανοποιητικό βαθμό.

Σε αρκετές μελέτες, παρατηρείται ότι ο συνδυασμός μη θερμικών τεχνολογιών επεξεργασίας, μπορεί να οδηγήσει σε συνεργιστική ενίσχυση της βιοδιαθεσιμότητας των βιοδραστικών συστατικών. Συνδυάζοντας μεθόδους όπως την υπερυψηλή πίεση με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία ή τους υπερήχους, η τεχνολογία τροφίμων μπορεί να στοχεύσει σε συγκεκριμένα εμπόδια που περιορίζουν την απορρόφηση των θρεπτικών συστατικών. Αυτή η πολύπλευρη προσέγγιση μπορεί να βελτιστοποιήσει την απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών και να μεγιστοποιήσει τη βιοδιαθεσιμότητά τους, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση για τη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών.

Ωστόσο, για την παραγωγή τροφίμων με υψηλή βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών και κατά συνέπεια ευεργετικές δράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, η υιοθέτηση καινοτόμων μεθόδων μη θερμικής επεξεργασίας στη βιομηχανία τροφίμων δεν είναι απλώς μια τεχνολογική πρόοδος, αλλά ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της ικανοποίησης των συνεχώς εξελισσόμενων απαιτήσεων των καταναλωτών που αναζητούν τρόφιμα με υψηλή διατροφική αξία για την ενίσχυση της υγείας τους. Η σημασία αυτών των μεθόδων έγκειται στην ικανότητά τους να ενισχύουν τη βιοδιαθεσιμότητα των βιοδραστικών ενώσεων χωρίς να υποβαθμίζουν την οργανοληπτική και διατροφική ποιότητα των τροφίμων φυτικής προέλευσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε μια εποχή όπου ο επιπολασμός των χρόνιων ασθενειών αυξάνεται και οι καταναλωτές έχουν όλο και μεγαλύτερη επίγνωση του αντίκτυπου της διατροφής στην υγεία τους.

Με την ενσωμάτωση τεχνικών μη θερμικής επεξεργασίας, η βιομηχανία μπορεί να προσφέρει προϊόντα πλούσια σε ζωτικά θρεπτικά συστατικά, όπως πολυφαινόλες, καροτενοειδή και βιταμίνη C, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της καλής υγείας και την πρόληψη ασθενειών. Επιπλέον, οι τεχνικές αυτές ευθυγραμμίζονται με τις βιώσιμες πρακτικές που γίνονται όλο και πιο σημαντικές για τους καταναλωτές. Συνήθως απαιτούν λιγότερη ενέργεια και νερό από τις παραδοσιακές θερμικές μεθόδους, συμβάλλοντας στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Επιπλέον, η εφαρμογή των μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά οφέλη για τον κλάδο της παραγωγής τροφίμων με





επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των τροφίμων. Η αυξημένη διάρκεια ζωής και τα μειωμένα ποσοστά αλλοίωσης μεταφράζονται σε μείωση της σπατάλης τροφίμων και χαμηλότερο κόστος και υψηλότερα κέρδη για τη βιομηχανία τροφίμων. Επιπλέον, η δυνατότητα εμπορίας των προϊόντων ως "φυσικά διατηρημένων" ή "ενισχυμένων με θρεπτικά συστατικά" μπορεί να προσφέρει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά.

Εν κατακλείδι, η χρήση και υιοθέτηση μη θερμικών μεθόδων επεξεργασίας, ιδίως όταν συνδυάζονται, είναι υψίστης σημασίας για τη βιομηχανία τροφίμων. Αντιπροσωπεύει μια προοδευτική προσέγγιση στην παραγωγή τροφίμων με προτεραιότητα στη διατροφική αξία, την υγεία των καταναλωτών και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα.



## 5 Βιβλιογραφία

- Aadil, R.M., Zeng, X.-A., Han, Z., Sun, D.-W., 2013. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry* 141, 3201–3206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.008>
- Abid, M., Jabbar, S., Wu, T., Hashim, M.M., Hu, B., Lei, S., Zeng, X., 2014. Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry* 21, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.06.002>
- African Centre for Mushroom Research and Technology Innovations, University of Benin, P.M.B 1154, Benin City, Nigeria, & Okhuoya, J. (2017). Edible mushrooms: As functional foods and nutraceuticals. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 1(5), 186–187. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v1i5.1>
- Aggarwal, B. B., & Sung, B. (2009). Pharmacological basis for the role of curcumin in chronic diseases: An age-old spice with modern targets. *Trends in Pharmacological Sciences*, 30(2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2008.11.002>
- Agriopoulou, S., Sachadyn-Król, M., Stamatelopoulou, E., Varzakas, T., 2022. Effect of ozonation and plasma processing on food bioactives, in: Jafari, S.M., Capanoglu, E. (Eds.), *Retention of Bioactives in Food Processing*. Springer International Publishing, Cham, pp. 547–577. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96885-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96885-4_18)
- Alexandre, E.M.C., Brandão, T.R.S., Silva, C.L.M., 2012. Emerging technologies to improve the safety and quality of fruits and vegetables, in: McElhatton, A., Do Amaral Sobral, P.J. (Eds.), *Novel Technologies in Food Science*. Springer New York, New York, NY, pp. 261–297. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7880-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7880-6_12)
- Alugwu, S. U., Okonkwo, T. M., & Ngadi, M. O. (2023). Effect of thermal treatments on selected minerals and water soluble vitamins of chicken breast meat. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 10–43. <https://doi.org/10.9734/ejnf/2023/v15i11285>
- Anantharaju, P. G., Gowda, P. C., Vimalambike, M. G., & Madhunapantula, S. V. (2016). An overview on the role of dietary phenolics for the treatment of cancers. *Nutrition Journal*, 15(1), 99. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0217-2>
- Anderson, N.M., 2019. Recent advances in low moisture food pasteurization. *Current Opinion in Food Science* 29, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.11.001>
- Andlauer, W., & Fürst, P. (2002). Nutraceuticals: A piece of history, present status and outlook. *Food Research International*, 35(2–3), 171–176. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00179-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00179-X)
- Anese, M., Mirolo, G., Beraldo, P., Lippe, G., 2013. Effect of ultrasound treatments of tomato pulp on microstructure and lycopene *in vitro* bioaccessibility. *Food Chemistry* 136, 458–463.
- Arain, M. A., Mei, Z., Hassan, F. U., Saeed, M., Alagawany, M., Shar, A. H., & Rajput, I. R. (2018). Lycopene: A natural antioxidant for prevention of heat-induced oxidative stress in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 74(1), 89–100. <https://doi.org/10.1017/S0043933917001040>
- Arfaoui, L., 2021. Dietary Plant Polyphenols: Effects of Food Processing on Their Content and Bioavailability. *Molecules* 26, 2959. <https://doi.org/10.3390/molecules26102959>



- Arfaoui, L., 2021. Dietary Plant Polyphenols: Effects of Food Processing on Their Content and Bioavailability. *Molecules* 26, 2959.
- Ashoori, M., & Saedisomeolia, A. (2014). Riboflavin (Vitamin b 2) and oxidative stress: A review. *British Journal of Nutrition*, 111(11), 1985–1991. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000178>
- Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., Youssef, M.M., 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International* 48, 410–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
- Bai, J.-W., Sun, D.-W., Xiao, H.-W., Mujumdar, A.S., Gao, Z.-J., 2013. Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 20, 230–237.
- Blashova, E., Maslov, D., & Lokhov, P. (2018). A metabolomics approach to pharmacotherapy personalization. *Journal of Personalized Medicine*, 8(3), 28. <https://doi.org/10.3390/jpm8030028>
- Balasubramaniam, V.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Lelieveld, H.L.M. (Eds.), 2016. High pressure processing of food: principles, technology and applications, Food engineering series. Springer, New York.
- Barba, F.J., Esteve, M.J., Frigola, A., 2010. Ascorbic acid is the only bioactive that is better preserved by high hydrostatic pressure than by thermal treatment of a vegetable beverage. *J. Agric. Food Chem.* 58, 10070–10075. <https://doi.org/10.1021/jf1019483>
- Barba, F.J., Esteve, M.J., Frígola, A., 2012. High pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: a review. *Comp Rev Food Sci Food Safe* 11, 307–322. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00185.x>
- Barba, F.J., Esteve, M.J., Frígola, A., 2014. Bioactive components from leaf vegetable products, in: *Studies in Natural Products Chemistry*. Elsevier, pp. 321–346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63294-4.00011-5>
- Barba, F.J., Parniakov, O., Pereira, S.A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J.A., Raso, J., Martin-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N., Vorobiev, E., 2015. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International* 77, 773–798. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.015>
- Barbosa-Cánovas, G.V., Yildiz, S., Oner, M.E., Candoğan, K., 2020. Selected Novel Food Processing Technologies Used as Hurdles, in: Demirci, A., Feng, H., Krishnamurthy, K. (Eds.), *Food Safety Engineering*. Springer International Publishing, Cham, pp. 629–657. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42660-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42660-6_24)
- Barreca, D., Trombetta, D., Smeriglio, A., Mandalari, G., Romeo, O., Felice, M. R., Gattuso, G., & Nabavi, S. M. (2021). Food flavonols: Nutraceuticals with complex health benefits and functionalities. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.030>
- Barsotti, L., Cheftel, J.C., 1999. Food processing by pulsed electric fields. II. Biological aspects. *Food Reviews International* 15, 181–213. <https://doi.org/10.1080/87559129909541186>



- Bartels, S. J. (2015). Can behavioral health organizations change health behaviors? The stride study and lifestyle interventions for obesity in serious mental illness. *American Journal of Psychiatry*, 172(1), 9–11. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2014.14101246>
- Belitz, H.D., Grosch, W. and Schieberle, P. (2009) *Food Chemistry*. 4th Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1070 p
- Berk, Z., 2018. Chapter 7 - Mixing, in: Berk, Z. (Ed.), *Food Process Engineering and Technology* (Third Edition), Food Science and Technology. Academic Press, pp. 193–217. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00007-5>
- Bermudez, B., Lopez, S., Ortega, A., M. Varela, L., M. Pacheco, Y., Abia, R., & J.G. Muriana, F. (2011). Oleic acid in olive oil: From a metabolic framework toward a clinical perspective. *Current Pharmaceutical Design*, 17(8), 831–843. <https://doi.org/10.2174/138161211795428957>
- Bermúdez-Aguirre, D., Dunne, C.P., Barbosa-Cánovas, G.V., 2012. Effect of processing parameters on inactivation of *Bacillus cereus* spores in milk using pulsed electric fields. *International Dairy Journal* 24, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.11.003>
- Bevilacqua, A., Casanova, F.P., Petrucci, L., Sinigaglia, M., Corbo, M.R., 2016. Using physical approaches for the attenuation of lactic acid bacteria in an organic rice beverage. *Food Microbiology* 53, 1–8.
- Bié, J., Sepodes, B., Fernandes, P. C. B., & Ribeiro, M. H. L. (2023). Polyphenols in health and disease: Gut microbiota, bioaccessibility, and bioavailability. *Compounds*, 3(1), 40–72. <https://doi.org/10.3390/compounds3010005>
- Bilal, A. W., R, H. B., & A, H. W. (2010). Nutritional and medicinal importance of mushrooms. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(24), 2598–2604. <https://doi.org/10.5897/JMPRO9.565>
- Bingol, G., Wang, B., Zhang, A., Pan, Z., McHugh, T.H., 2014. Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. *Journal of Food Engineering* 121, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.001>
- Birmpa, A., Sfika, V., Vantarakis, A., 2013. Ultraviolet light and Ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *International Journal of Food Microbiology* 167, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.005>
- Birtić, S., Dussort, P., Pierre, F.-X., Bily, A. C., & Roller, M. (2015). Carnosic acid. *Phytochemistry*, 115, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.12.026>
- Bohara, R. A., Tabassum, N., Singh, M. P., Gigli, G., Ragusa, A., & Leporatti, S. (2022). Recent overview of resveratrol's beneficial effects and its nano-delivery systems. *Molecules*, 27(16), 5154. <https://doi.org/10.3390/molecules27165154>
- Bone, R. A., Ruiz, C. A., Landrum, J. T., & Guerra, L. H. (2003). Lutein and zeaxanthin dietary supplements raise macular pigment density and serum concentrations of these carotenoids in humans. *The Journal of Nutrition*, 133(4), 992–998. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.992>
- Bot, F., Verkerk, R., Mastwijk, H., Anese, M., Fogliano, V., Capuano, E., 2018. The effect of pulsed electric fields on carotenoids bioaccessibility: The role of tomato matrix. *Food Chemistry* 240, 415–421.



- Bourke, P., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P.J., Keener, K., 2018. The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Food Production. *Trends in Biotechnology* 36, 615–626. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>
- Boussetta, N., Soichi, E., Lanoisellé, J.-L., Vorobiev, E., 2014. Valorization of oilseed residues: Extraction of polyphenols from flaxseed hulls by pulsed electric fields. *Industrial Crops and Products* 52, 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.048>
- Bravo, L. (2009). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56(11), 317–333. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x>
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., ... Recio, I. (2019). INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14(4), 991–1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>
- Brownlee, I. A. (2011). The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 25(2), 238–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.013>
- Bugianesi, R., Salucci, M., Leonardi, C., Ferracane, R., Catasta, G., Azzini, E., Maiani, G., 2004. Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and  $\beta$ -carotene in cherry tomatoes. *Eur J Nutr* 43, 360–366. <https://doi.org/10.1007/s00394-004-0483-1>
- Buniowska, M., Carbonell-Capella, J.M., Frigola, A., Esteve, M.J., 2017. Bioaccessibility of bioactive compounds after non-thermal processing of an exotic fruit juice blend sweetened with Stevia rebaudiana. *Food Chemistry* 221, 1834–1842. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.093>
- Castenmiller, J.J.M., West, C.E., Linssen, J.P.H., Van Het Hof, K.H., Voragen, A.G.J., 1999. The food matrix of spinach is a limiting factor in determining the bioavailability of  $\beta$ -carotene and to a lesser extent of lutein in humans. *The Journal of Nutrition* 129, 349–355. <https://doi.org/10.1093/jn/129.2.349>
- Chakraborty, S., & Basu, S. (2017). Multi-functional activities of citrus flavonoid narirutin in Alzheimer's disease therapeutics: An integrated screening approach and *in vitro* validation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 733–743. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.110>
- Chan, N., Li, S., & Perez, E. (2016). Interactions between chinese nutraceuticals and western medicines. Στο *Nutraceuticals* (σσ. 875–882). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00061-9>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, Khan, M.K., 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry* 18, 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Chen, D., Xi, H., Guo, X., Qin, Z., Pang, X., Hu, X., Liao, X., Wu, J., 2013. Comparative study of quality of cloudy pomegranate juice treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 19, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.03.003>



- Chen, L., Bai, G., Yang, R., Zang, J., Zhou, T., Zhao, G., 2014. Encapsulation of  $\beta$ -carotene within ferritin nanocages greatly increases its water-solubility and thermal stability. *Food Chemistry* 149, 307–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.115>
- Chiozzi, V., Agriopoulou, S., Varzakas, T., 2022. Advances, applications, and comparison of thermal (Pasteurization, sterilization, and aseptic packaging) against non-thermal (Ultrasounds, uv radiation, ozonation, high hydrostatic pressure) technologies in food processing. *Applied Sciences* 12, 2202. <https://doi.org/10.3390/app12042202>
- Cilla, A., Alegría, A., De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., Plaza, L., Clemente, G., Lagarda, M.J., Barberá, R., 2012. Bioaccessibility of tocopherols, carotenoids, and ascorbic acid from milk- and soy-based fruit beverages: influence of food matrix and processing. *J. Agric. Food Chem.* 60, 7282–7290. <https://doi.org/10.1021/jf301165r>
- Colle, I., Van Buggenhout, S., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2010. High pressure homogenization followed by thermal processing of tomato pulp: Influence on microstructure and lycopene *in vitro* bioaccessibility. *Food Research International* 43, 2193–2200. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.029>
- Costain, L. (2001). *Natural care handbook: Super nutrients*. Dorling Kindersley.
- Cravotto, G., Binello, A., 2016. Low-Frequency, High-Power Ultrasound-Assisted Food Component Extraction, in: *Innovative Food Processing Technologies*. Elsevier, pp. 3–29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100294-0.00001-8>
- Cruz-Cansino, N.D.S., Ramírez-Moreno, E., León-Rivera, J.E., Delgado-Olivares, L., Alanís-García, E., Ariza-Ortega, J.A., Manríquez-Torres, J.D.J., Jaramillo-Bustos, D.P., 2015. Shelf life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus pear (*Opuntia ficus indica*) juice after thermoultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry* 27, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.040>
- Cullen, P.J., Lalor, J., Scally, L., Boehm, D., Milosavljević, V., Bourke, P., Keener, K., 2018. Translation of plasma technology from the lab to the food industry. *Plasma Processes & Polymers* 15, 1700085. <https://doi.org/10.1002/ppap.201700085>
- Daily, J. W., Yang, M., & Park, S. (2016). Efficacy of turmeric extracts and curcumin for alleviating the symptoms of joint arthritis: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Journal of Medicinal Food*, 19(8), 717–729. <https://doi.org/10.1089/jmf.2016.3705>
- Deka, H., Choudhury, A., & Dey, B. K. (2022). An overview on plant derived phenolic compounds and their role in treatment and management of diabetes. *Journal of Pharmacopuncture*, 25(3), 199–208. <https://doi.org/10.3831/KPI.2022.25.3.199>
- Dima, C., Assadpour, E., Dima, S., Jafari, S.M., 2020. Bioavailability of nutraceuticals: Role of the food matrix, processing conditions, the gastrointestinal tract, and nanodelivery systems. *Comp Rev Food Sci Food Safe* 19, 954–994. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12547>
- Dixit, V., Joseph Kamal, S. W., Bajrang Chole, P., Dayal, D., Chaubey, K. K., Pal, A. K., Xavier, J., Manjunath, B. T., & Bachheti, R. K. (2023). Functional foods: Exploring the health benefits of bioactive compounds



- from plant and animal sources. *Journal of Food Quality*, 2023, 1–22. <https://doi.org/10.1155/2023/5546753>
- Domínguez Avila, J.A., Wall Medrano, A., Ruiz Pardo, C.A., Montalvo González, E., González Aguilar, G.A., 2018. Use of nonthermal technologies in the production of functional beverages from vegetable ingredients to preserve heat-labile phytochemicals. *J Food Process Preserv* 42, e13506. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13506>
- Edwards, A.J., Nguyen, C.H., You, C.-S., Swanson, J.E., Parker, R.S., Emenhiser, C., 2002.  $\alpha$ - and  $\beta$ -Carotene from a Commercial Carrot Puree Are More Bioavailable to Humans than from Boiled-Mashed Carrots, as Determined Using an Extrinsic Stable Isotope Reference Method. *The Journal of Nutrition* 132, 159–167.
- El Khawand, T., Courtois, A., Valls, J., Richard, T., & Krisa, S. (2018). A review of dietary stilbenes: Sources and bioavailability. *Phytochemistry Reviews*, 17(5), 1007–1029. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9578-9>
- Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., 2007. Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chemistry* 102, 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.048>
- Elez-Martínez, P., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O., 2009. Impact of high-intensity pulsed electric fields on bioactive compounds in mediterranean plant-based foods. *Natural Product Communications* 4, 1934578X0900400. <https://doi.org/10.1177/1934578X0900400509>
- El-Ishaq, A., & Obirinakem, S. (2015). Effect of Temperature and Storage on Vitamin C Content in Fruits Juice.
- Evréndilek, G.A., 2018. Effects of high pressure processing on bioavailability of food components. *J Nutr Food Sci* 08. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000676>
- Fan, X., Annous, B.A., Sokorai, K.J.B., Burke, A., Mattheis, J.P., 2006. Combination of hot-water surface pasteurization of whole fruit and low-dose gamma irradiation of fresh-cut cantaloupe. *Journal of Food Protection* 69, 912–919. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.4.912>
- Fan, X., Sokorai, K.J.B., 2008. Retention of quality and nutritional value of 13 fresh-cut vegetables treated with low-dose radiation. *Journal of Food Science* 73. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00871.x>
- Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., Pérez-Gálvez, A., 2009. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research* 29, 751–760. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.09.016>
- Food Chemistry, H. D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle, 2014, fourth edition
- Galicchio, L., Boyd, K., Matanoski, G., Tao, X. (Grant), Chen, L., Lam, T. K., Shiels, M., Hammond, E., Robinson, K. A., Caulfield, L. E., Herman, J. G., Guallar, E., & Alberg, A. J. (2008). Carotenoids and the risk of developing lung cancer: A systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 88(2), 372–383. <https://doi.org/10.1093/ajcn/88.2.372>



- Gence, L., Servent, A., Poucheret, P., Hiol, A., Dhuique-Mayer, C., 2018. Pectin structure and particle size modify carotenoid bioaccessibility and uptake by Caco-2 cells in citrus juices vs. concentrates. *Food Funct.* 9, 3523–3531.
- Georgé, S., Tourniaire, F., Gautier, H., Goupy, P., Rock, E., Caris-Veyrat, C., 2011. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry* 124, 1603–1611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.024>
- Ghosh, S., Kumar, V., Mukherjee, H., Lahiri, D., & Roy, P. (2021). Nutraceutical regulation of miRNAs involved in neurodegenerative diseases and brain cancers. *Heliyon*, 7(6), e07262. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07262>
- Ghosh, S., Sarkar, T., Pati, S., Kari, Z. A., Edinur, H. A., & Chakraborty, R. (2022). Novel bioactive compounds from marine sources as a tool for functional food development. *Frontiers in Marine Science*, 9, 832957. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.832957>
- Giannakourou, M.C., Taoukis, P.S., 2021. Effect of alternative preservation steps and storage on vitamin C stability in fruit and vegetable products: critical review and kinetic modelling approaches. *Foods* 10, 2630. <https://doi.org/10.3390/foods10112630>
- Gibson, K.E., Almeida, G., Jones, S.L., Wright, K., Lee, J.A., 2019. Inactivation of bacteria on fresh produce by batch wash ozone sanitation. *Food Control* 106, 106747. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106747>
- Giordano, E., & Visioli, F. (2014). Long-chain omega 3 fatty acids: Molecular bases of potential antioxidant actions. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 90(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2013.11.002>
- Golovinskaia, O., Wang, C.-K., 2021. Review of Functional and Pharmacological Activities of Berries. *Molecules* 26, 3904. <https://doi.org/10.3390/molecules26133904>
- González-Casado, S., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., Soliva-Fortuny, R., 2018. Enhancing the carotenoid content of tomato fruit with pulsed electric field treatments: Effects on respiratory activity and quality attributes. *Postharvest Biology and Technology* 137, 113–118.
- Guan, H., Luo, W., Bao, B., Cao, Y., Cheng, F., Yu, S., Fan, Q., Zhang, L., Wu, Q., & Shan, M. (2022). A comprehensive review of rosmarinic acid: From phytochemistry to pharmacology and its new insight. *Molecules*, 27(10), 3292. <https://doi.org/10.3390/molecules27103292>
- Gunstone, F. D. (1996). *Fatty acid and lipid chemistry*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4131-8>
- Gurpilhares, D. D. B., Cinelli, L. P., Simas, N. K., Pessoa Jr., A., & Sette, L. D. (2019). Marine prebiotics: Polysaccharides and oligosaccharides obtained by using microbial enzymes. *Food Chemistry*, 280, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.023>
- Hamzalioglu, A., Gökmen, V., 2016. Interaction between Bioactive Carbonyl Compounds and Asparagine and Impact on Acrylamide, in: *Acrylamide in Food*. Elsevier, pp. 355–376. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802832-2.00018-8>





- He, Z., Tao, Y., Zeng, M., Zhang, S., Tao, G., Qin, F., Chen, J., 2016. High pressure homogenization processing, thermal treatment and milk matrix affect *in vitro* bioaccessibility of phenolics in apple, grape and orange juice to different extents. *Food Chemistry* 200, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.045>
- Hedrén, E., Diaz, V., Svanberg, U., 2002. Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an *in vitro* digestion method. *Eur J Clin Nutr* 56, 425–430. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601329>
- Hedrén, E., Diaz, V., Svanberg, U., 2002. Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an *in vitro* digestion method. *Eur J Clin Nutr* 56, 425–430.
- Hellwig, M., Henle, T., 2014. Baking, ageing, diabetes: a short history of the maillard reaction. *Angew Chem Int Ed* 53, 10316–10329. <https://doi.org/10.1002/anie.201308808>
- Hokmollahi, F., & Ehsani, M.R. (2017). High pressure processing and its application in cheese manufacturing: a review.
- Hotz, C., Gibson, R.S., 2007. Traditional Food-Processing and Preparation Practices to Enhance the Bioavailability of Micronutrients in Plant-Based Diets<sup>1</sup>. *The Journal of Nutrition* 137, 1097–1100.
- Hsu, K.-C., Tan, F.-J., Chi, H.-Y., 2008. Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology* 41, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.030>
- Huang, Y., Xiao, D., Burton-Freeman, B.M., Edirisinghe, I., 2016. Chemical changes of bioactive phytochemicals during thermal processing, in: *Reference Module in Food Science*. Elsevier, p. B9780081005965030559. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03055-9>
- Indrawati, Arroqui, C., Messagie, I., Nguyen, M.T., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2004. Comparative study on pressure and temperature stability of 5-methyltetrahydrofolic acid in model systems and in food products. *J. Agric. Food Chem.* 52, 485–492. <https://doi.org/10.1021/jf0349432>
- Islam, Md.N., Zhang, M., Adhikari, B., 2014. The Inactivation of Enzymes by Ultrasound—A Review of Potential Mechanisms. *Food Reviews International* 30, 1–21. <https://doi.org/10.1080/87559129.2013.853772>
- Jadhav, H.B., Annapure, U.S., Deshmukh, R.R., 2021. Non-thermal Technologies for Food Processing. *Front. Nutr.* 8, 657090. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.657090>
- Jayathunge, K.G.L.R., Stratakos, A.Ch., Cregenzán-Albertia, O., Grant, I.R., Lyng, J., Koidis, A., 2017. Enhancing the lycopene *in vitro* bioaccessibility of tomato juice synergistically applying thermal and non-thermal processing technologies. *Food Chemistry* 221, 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.117>
- Joneja, G., Nafikova, S., Reid, J., Rublevskiy, A., & Salazar, J. (2018). Overcoming challenges in an hp/ht abandonment in the north sea. *SPE Norway One Day Seminar*. SPE Norway One Day Seminar, Bergen, Norway. <https://doi.org/10.2118/191323-MS>
- Justesen, U., Knuthsen, P., & Leth, T. (1998). Quantitative analysis of flavonols, flavones, and flavanones in fruits, vegetables and beverages by high-performance liquid chromatography with photo-diode array



- and mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A*, 799(1–2), 101–110. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(97\)01061-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(97)01061-3)
- Kamdem, J.P., Tsopmo, A., 2019. Reactivity of peptides within the food matrix. *J Food Biochem* 43, e12489. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12489>
- Kamiloglu, S., Demirci, M., Selen, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Capanoglu, E., 2014. Home processing of tomatoes (*solanum lycopersicum*): effects on *in vitro* bioaccessibility of total lycopene, phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity: Home processing of tomatoes & antioxidant bioaccessibility. *J. Sci. Food Agric.* 94, 2225–2233. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6546>
- Kapoor R, Huang YS. Gamma linolenic acid: an antiinflammatory omega-6 fatty acid. *Curr Pharm Biotechnol.* 2006;7(6):531-534. doi:10.2174/138920106779116874
- Karasawa, M.M.G., Mohan, C., 2018. Fruits as Prospective Reserves of bioactive Compounds: A Review. *Nat. Prod. Bioprospect.* 8, 335–346. <https://doi.org/10.1007/s13659-018-0186-6>
- Kaur, H., & Kaur, G. (2014). A critical appraisal of solubility enhancement techniques of polyphenols. *Journal of Pharmaceutics*, 2014, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2014/180845>
- Kentish, S., Ashokkumar, M., 2011. The Physical and Chemical Effects of Ultrasound, in: Feng, H., Barbosa-Canovas, G., Weiss, J. (Eds.), *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Springer New York, New York, NY, pp. 1–12. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_1)
- Khan, M.K., Zill-E-Huma, Dangles, O., 2014. A comprehensive review on flavanones, the major citrus polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis* 33, 85–104. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.004>
- Khouryieh, H.A., 2021. Novel and emerging technologies used by the U.S. food processing industry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 67, 102559. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102559>
- Kitts, D. D. (1994). Bioactive substances in food: Identification and potential uses. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 72(4), 423–434. <https://doi.org/10.1139/y94-062>
- Klopotek, Y., Otto, K., Böhm, V., 2005. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin c, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 53, 5640–5646. <https://doi.org/10.1021/jf047947v>
- Knockaert, G., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2012. Changes in β-carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree. *Food Chemistry* 133, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.066>
- Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O., Schoessler, K., 2011. Emerging technologies in food processing. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2, 203–235. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.102308.124129>
- Ko, J.A., Lee, B.H., Lee, J.S., Park, H.J., 2008. Effect of uv-b exposure on the concentration of vitamin d 2 in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *J. Agric. Food Chem.* 56, 3671–3674. <https://doi.org/10.1021/jf073398s>



- Komatsu, Y., Tsuda, M., Wada, Y., Shibasaki, T., Nakamura, H., Miyaji, K., 2023. Nutritional evaluation of milk-, plant-, and insect-based protein materials by protein digestibility using the infogest digestion method. *J. Agric. Food Chem.* 71, 2503–2513. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07273>
- Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V., Popielarz, A., 2016. Effects of ultraviolet light and high-pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. *Comp Rev Food Sci Food Safe* 15, 844–867. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12214>
- Koyyalamudi, S.R., Jeong, S.-C., Song, C.-H., Cho, K.Y., Pang, G., 2009. Vitamin d2 formation and bioavailability from agaricus bisporus button mushrooms treated with ultraviolet irradiation. *J. Agric. Food Chem.* 57, 3351–3355. <https://doi.org/10.1021/jf803908q>
- Kumar, K., Mehra, R., Guiné, R. P. F., Lima, M. J., Kumar, N., Kaushik, R., Ahmed, N., Yadav, A. N., & Kumar, H. (2021). Edible mushrooms: A comprehensive review on bioactive compounds with health benefits and processing aspects. *Foods*, 10(12), 2996. <https://doi.org/10.3390/foods10122996>
- Lafarga, T., Acien-Fernández, F. G., & Garcia-Vaquero, M. (2020). Bioactive peptides and carbohydrates from seaweed for food applications: Natural occurrence, isolation, purification, and identification. *Algal Research*, 48, 101909. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101909>
- Lee, S., Choi, Y., Jeong, H.S., Lee, J., Sung, J., 2017. Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables. *Food Sci Biotechnol.* <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0281-1>
- Leong, S.Y., Du, D., Oey, I., 2018. Pulsed Electric Fields enhances calcium infusion for improving the hardness of blanched carrots. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 47, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.011>
- Lestari, M. L. A. D., & Indrayanto, G. (2014). Curcumin. Στο Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology (τ. 39, σσ. 113–204). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800173-8.00003-9>
- Levy, R., Okun, Z., Shpigelman, A., 2021. High-pressure homogenization: principles and applications beyond microbial inactivation. *Food Eng Rev* 13, 490–508. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09239-8>
- Li, L., Pegg, R.B., Eitenmiller, R.R., Chun, J.-Y., Kerrihard, A.L., 2017. Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored, and frozen fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis* 59, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.002>
- Li, X., Farid, M., 2016. A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies. *Journal of Food Engineering* 182, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.026>
- Lim, C.-G., & Koffas, Mattheos A. G. (2010). Bioavailability and recent advances in the bioactivity of flavonoid and stilbene compounds (τ. 14). Bentham Science Publishers. <https://doi.org/10.2174/138527210792927654>
- Lima, G.P.P., Vianello, F., Corrêa, C.R., Campos, R.A.D.S., Borguini, M.G., 2014. Polyphenols in Fruits and Vegetables and Its Effect on Human Health. *FNS* 05, 1065–1082.



- Liu, N., Liu, B., Wang, G., Soong, Y.-H. V., Tao, Y., Liu, W., & Xie, D. (2020). Lycopene production from glucose, fatty acid and waste cooking oil by metabolically engineered *Escherichia coli*. *Biochemical Engineering Journal*, 155, 107488. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107488>
- Liu, X., Liu, J., Bi, J., Yi, J., Peng, J., Ning, C., Wellala, C.K.D., Zhang, B., 2019. Effects of high pressure homogenization on pectin structural characteristics and carotenoid bioaccessibility of carrot juice. *Carbohydrate Polymers* 203, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.055>
- Livny, O., Reifen, R., Levy, I., Madar, Z., Faulks, R., Southon, S., Schwartz, B., 2003.  $\beta$ -carotene bioavailability from differently processed carrot meals in human ileostomy volunteers. *European Journal of Nutrition* 42, 338–345.
- Lockwood, G. B. (2009). The plant nutraceuticals. Στο Trease and Evans' Pharmacognosy (σσ. 459–470). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2933-2.00032-0>
- Lohani, U.C., Muthukumarappan, K., 2016. Application of the pulsed electric field to release bound phenolics in sorghum flour and apple pomace. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 35, 29–35.
- López, M., Calvo, T., Prieto, M., Múgica-Vidal, R., Muro-Fraguas, I., Alba-Elías, F., Alvarez-Ordóñez, A., 2019. A Review on Non-thermal Atmospheric Plasma for Food Preservation: Mode of Action, Determinants of Effectiveness, and Applications. *Front. Microbiol.* 10, 622. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00622>
- López-Gámez, G., Elez-Martínez, P., Quiles-Chuliá, A., Martín-Belloso, O., Hernando-Hernando, I., Soliva-Fortuny, R., 2021. Effect of pulsed electric fields on carotenoid and phenolic bioaccessibility and their relationship with carrot structure. *Food Funct.* 12, 2772–2783. <https://doi.org/10.1039/D0FO03035J>
- Loussouarn, M., Krieger-Liszkay, A., Svilar, L., Bily, A., Birtić, S., & Havaux, M. (2017). Carnosic acid and carnosol, two major antioxidants of rosemary, act through different mechanisms. *Plant Physiology*, 175(3), 1381–1394. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01183>
- Luo, C., Zou, L., Sun, H., Peng, J., Gao, C., Bao, L., Ji, R., Jin, Y., & Sun, S. (2020). A review of the anti-inflammatory effects of rosmarinic acid on inflammatory diseases. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 153. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00153>
- Luthria, D. L., & Pastor-Corrales, M. A. (2006). Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(2–3), 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.003>
- Lykstad J, Sharma S. Biochemistry, Water Soluble Vitamins. [Updated 2023 Mar 6]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538510/>
- Madaan, T., Choudhary, A. N., Gyenwalee, S., Thomas, S., Mishra, H., Tariq, M., Vohora, D., & Talegaonkar, S. (2017). Lutein, a versatile phyto-nutraceutical: An insight on pharmacology, therapeutic indications, challenges and recent advances in drug delivery. *PharmaNutrition*, 5(2), 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2017.02.005>



- Manzoor, M.F., Zeng, X., Ahmad, N., Ahmed, Z., Rehman, A., Aadil, R.M., Roobab, U., Siddique, R., Rahaman, A., 2020. Effect of pulsed electric field and thermal treatments on the bioactive compounds, enzymes, microbial, and physical stability of almond milk during storage. *J Food Process Preserv* 44. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14541>
- Maoka, T. (2009). Recent progress in structural studies of carotenoids in animals and plants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 483(2), 191–195. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2008.10.019>
- Marigheto, N., Vial, A., Wright, K., Hills, B., 2004. A combined NMR and microstructural study of the effect of high-pressure processing on strawberries. *Appl. Magn. Reson.* 26, 521–531. <https://doi.org/10.1007/BF03166580>
- Martinez, K. B., Mackert, J. D., & McIntosh, M. K. (2017). Polyphenols and intestinal health. Στο *Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging* (σσ. 191–210). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805376-8.00018-6>
- Martínez-Flores, H.E., Garnica-Romo, Ma.G., Bermúdez-Aguirre, D., Pokhrel, P.R., Barbosa-Cánovas, G.V., 2015. Physico-chemical parameters, bioactive compounds and microbial quality of thermo-sonicated carrot juice during storage. *Food Chemistry* 172, 650–656. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.072>
- Martínez-Huélamo, M., Tulipani, S., Estruch, R., Escribano, E., Illán, M., Corella, D., Lamuela-Raventós, R.M., 2015. The tomato sauce making process affects the bioaccessibility and bioavailability of tomato phenolics: A pharmacokinetic study. *Food Chemistry* 173, 864–872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.156>
- Martínez-Huélamo, M., Tulipani, S., Estruch, R., Escribano, E., Illán, M., Corella, D., Lamuela-Raventós, R.M., 2015. The tomato sauce making process affects the bioaccessibility and bioavailability of tomato phenolics: A pharmacokinetic study. *Food Chemistry* 173, 864–872.
- Mattea, F., Martín, Á., & Cocero, M. J. (2009). Carotenoid processing with supercritical fluids. *Journal of Food Engineering*, 93(3), 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.030>
- Mattila, P., Astola, J., & Kumpulainen, J. (2000). Determination of flavonoids in plant material by hplc with diode-array and electro-array detections. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 5834–5841. <https://doi.org/10.1021/jf000661f>
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*, 25(17), 3809. <https://doi.org/10.3390/molecules25173809>
- McInerney, J.K., Seccafien, C.A., Stewart, C.M., Bird, A.R., 2007. Effects of high pressure processing on antioxidant activity, and total carotenoid content and availability, in vegetables. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 8, 543–548. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.005>
- Medina-Meza, I.G., Barnaba, C., Villani, F., Barbosa-Cánovas, G.V., 2015. Effects of thermal and high pressure treatments in color and chemical attributes of an oil-based spinach sauce. *LWT - Food Science and Technology* 60, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.033>



- Menard, O., Lesmes, U., Shani-Levi, C.S., Calahorra, A.A., Lavoisier, A., Morzel, M., Rieder, A., Feron, G., Nebbia, S., Mashiah, L., Andres, A., Bornhorst, G., Carrière, F., Egger, L., Gwala, S., Heredia, A., Kirkhus, B., Macierzanka, A., Portman, R., Recio, I., Santé-Lhoutellier, V., Tournier, C., Sarkar, A., Brodkorb, A., Mackie, A., Dupont, D., 2023. Static *in vitro* digestion model adapted to the general older adult population: an INFOGEST international consensus. *Food Funct.* 14, 4569–4582. <https://doi.org/10.1039/D3FO00535F>
- Migliore, A. (2015). Effectiveness and utility of hyaluronic acid in osteoarthritis. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*. <https://doi.org/10.11138/ccmbm/2015.12.1.031>
- Misra, N.N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R.S., Saraiva, J.A., Barba, F.J., 2017. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International* 97, 318–339. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.001>
- Misra, N.N., Schlüter, O., Cullen, P.J., 2016. Chapter 1 - Plasma in Food and Agriculture, in: Misra, N.N., Schlüter, Oliver, Cullen, P.J. (Eds.), *Cold Plasma in Food and Agriculture*. Academic Press, San Diego, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00001-9>
- Mitra, S., Lami, M. S., Uddin, T. M., Das, R., Islam, F., Anjum, J., Hossain, Md. J., & Emran, T. B. (2022). Prospective multifunctional roles and pharmacological potential of dietary flavonoid narirutin. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 150, 112932. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.112932>
- Moelants, K.R.N., Lemmens, L., Vandebroek, M., Van Buggenhout, S., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E., 2012. Relation between particle size and carotenoid bioaccessibility in carrot- and tomato-derived suspensions. *J. Agric. Food Chem.* 60, 11995–12003. <https://doi.org/10.1021/jf303502h>
- Moghadasian, M. H., & Shahidi, F. (2017). Fatty acids. Στο *International Encyclopedia of Public Health* (σσ. 114–122). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00157-0>
- Mohdaly, A. A. A., Sarhan, M. A., Mahmoud, A., Ramadan, M. F., & Smetanska, I. (2010). Antioxidant efficacy of potato peels and sugar beet pulp extracts in vegetable oils protection. *Food Chemistry*, 123(4), 1019–1026. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.054>
- Moi, I. M., Leow, A. T. C., Ali, M. S. M., Rahman, R. N. Z. R. Abd., Salleh, A. B., & Sabri, S. (2018). Polyunsaturated fatty acids in marine bacteria and strategies to enhance their production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(14), 5811–5826. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9063-9>
- Molteni, C., La Motta, C., Valoppi, F., 2022. Improving the bioaccessibility and bioavailability of carotenoids by means of nanostructured delivery systems: a comprehensive review. *Antioxidants* 11, 1931. <https://doi.org/10.3390/antiox11101931>
- Mondal, S., Soumya, N. P. P., Mini, S., & Sivan, S. K. (2021). Bioactive compounds in functional food and their role as therapeutics. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 4(3), 24. <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i3.786>
- Morales-de La Peña, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Martín-Belloso, O., 2017. Effects of high intensity pulsed electric fields or thermal pasteurization and refrigerated storage on antioxidant compounds of fruit juice-milk beverages. Part i: phenolic acids and flavonoids: effects of high intensity



- pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation* 41, e12912. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12912>
- Morales-de La Peña, M., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M.A., Martín-Belloso, O., 2010. Impact of high intensity pulsed electric field on antioxidant properties and quality parameters of a fruit juice–soymilk beverage in chilled storage. *LWT - Food Science and Technology* 43, 872–881. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.015>
- Mukherjee, S., Chattopadhyay, P.K., 2007. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering* 78, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.001>
- Munekata, P.E.S., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F.J., Mallikarjunan, K., Roohinejad, S., Lorenzo, J.M., 2020. Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods* 9, 288. <https://doi.org/10.3390/foods9030288>
- Musilova, J., Lidikova, J., Vollmannova, A., Frankova, H., Urmínska, D., Bojnanska, T., Toth, T., 2020. Influence of Heat Treatments on the Content of Bioactive Substances and Antioxidant Properties of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Tubers. *Journal of Food Quality* 2020, 1–10.
- Nabavi, S. F., Braidly, N., Gortzi, O., Sobarzo-Sanchez, E., Daglia, M., Skalicka-Woźniak, K., & Nabavi, S. M. (2015). Luteolin as an anti-inflammatory and neuroprotective agent: A brief review. *Brain Research Bulletin*, 119, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2015.09.002>
- Nabi, F., Arain, M. A., Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., Soomro, F., Wang, Z., Ye, R., & Liu, J. (2020). Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), 1809–1818. <https://doi.org/10.1111/jpn.13375>
- Nazareno, M. A. (2013). New insights about medicinal uses and health-beneficial properties of cactus products. *Acta Horticulturae*, 995, 237–250. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.995.28>
- Neves, B.V., Mesquita, L.M.D.S., Murador, D.C., Cheberle, A.I.D.P., Braga, A.R.C., Mercadante, A.Z., De Rosso, V.V., 2021. Improvement of Bioactive Compound Levels, Antioxidant Activity, and Bioaccessibility of Carotenoids from *Pereskia aculeata* after Different Cooking Techniques. *ACS Food Sci. Technol.* 1, 1285–1293.
- Niemira, B.A., 2012. Cold Plasma Decontamination of Foods. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 3, 125–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>
- Ordiozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Gimeno-Añó, V., Martín-Belloso, O., 2008a. Kinetic study of anthocyanins, vitamin c, and antioxidant capacity in strawberry juices treated by high-intensity pulsed electric fields. *J. Agric. Food Chem.* 56, 8387–8393. <https://doi.org/10.1021/jf801537f>
- Ordiozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Hernández-Jover, T., Martín-Belloso, O., 2009. Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. *Food Chemistry* 112, 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.087>



- Odrizola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O., 2008b. Changes of health-related compounds throughout cold storage of tomato juice stabilized by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.07.009>
- Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2008a. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: a review. *Trends in Food Science & Technology* 19, 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.001>
- Oey, I., Van Der Plancken, I., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2008b. Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? *Trends in Food Science & Technology* 19, 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.09.002>
- Ofoedu, C. E., Iwouno, J. O., Ofoedu, E. O., Ogueke, C. C., Igwe, V. S., Agunwah, I. M., Ofoedum, A. F., Chacha, J. S., Muobike, O. P., Agunbiade, A. O., Njoku, N. E., Nwakaudu, A. A., Odimegwu, N. E., Ndukauba, O. E., Ogbonna, C. U., Naibaho, J., Korus, M., & Okpala, C. O. R. (2021). Revisiting food-sourced vitamins for consumer diet and health needs: A perspective review, from vitamin classification, metabolic functions, absorption, utilization, to balancing nutritional requirements. *PeerJ*, 9, e11940. <https://doi.org/10.7717/peerj.11940>
- Omidzadeh, A., Yusof, R.M., Roohinejad, S., Ismail, A., Abu Bakar, M.Z., El-Din A. Bekhit, A., 2014. Anti-diabetic activity of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruit. *RSC Adv.* 4, 62978–62986. <https://doi.org/10.1039/C4RA10789F>
- Oms-Oliu, G., Aguiló-Aguayo, I., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., 2010. Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology* 56, 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.12.011>
- Oms-Oliu, G., Odrizola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., 2012. Stability of health-related compounds in plant foods through the application of non thermal processes. *Trends in Food Science & Technology* 23, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.10.004>
- Oms-Oliu, G., Odrizola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O., 2009. Effects of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice. *Food Chemistry* 115, 1312–1319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.049>
- Oner, M.E., Gultekin Subasi, B., Ozkan, G., Esatbeyoglu, T., Capanoglu, E., 2023. Efficacy of cold plasma technology on the constituents of plant-based food products: Principles, current applications, and future potentials. *Food Research International* 172, 113079. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113079>
- Ong, A. S. H., & Tee, E. S. (1992). [14] Natural sources of carotenoids from plants and oils. Στο *Methods in Enzymology* (τ. 213, σσ. 142–167). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(92\)13118-H](https://doi.org/10.1016/0076-6879(92)13118-H)
- Orhan, D.D., Özçelik, B., Özgen, S., Ergun, F., 2010. Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids. *Microbiological Research* 165, 496–504. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2009.09.002>





- Orlikowska, T., Podwyszyńska, M., Marasek-Ciołakowska, A., Sochacki, D., Szymański, R., 2018. Tulip, in: Van Huylbroeck, J. (Ed.), *Ornamental Crops*. Springer International Publishing, Cham, pp. 769–802. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90698-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90698-0_28)
- Ottaviani, J.I., Heiss, C., Spencer, J.P.E., Kelm, M., Schroeter, H., 2018. Recommending flavanols and procyanidins for cardiovascular health: Revisited. *Molecular Aspects of Medicine* 61, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2018.02.001>
- Palermo, M., Pellegrini, N., Fogliano, V., 2014. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. *J Sci Food Agric* 94, 1057–1070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6478>
- Palmero, P., Lemmens, L., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2014. Role of carotenoid type on the effect of thermal processing on bioaccessibility. *Food Chemistry* 157, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.055>
- Palmero, P., Lemmens, L., Ribas-Agustí, A., Sosa, C., Met, K., De Dieu Umtoni, J., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2013. Novel targeted approach to better understand how natural structural barriers govern carotenoid *in vitro* bioaccessibility in vegetable-based systems. *Food Chemistry* 141, 2036–2043. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.064>
- Pan, J., Meng, L., Li, R., Wang, Z., Yuan, W., Li, Y., Chen, L., Shen, Q., Liu, W., & Zhu, L. (2024). Naringenin protects against septic cardiomyopathy in mice by targeting HIF-1 $\alpha$ . *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 704, 149613. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.149613>
- Pan, W.-H., Yeh, N.-H., Yang, R.-Y., Lin, W.-H., Wu, W.-C., Yeh, W.-T., Sung, M.-K., Lee, H.-S., Chang, S.-J., Huang, C.-J., Lin, B.-F., & Chiang, M.-T. (2018). Vegetable, fruit, and phytonutrient consumption patterns in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.12.015>
- Panozzo, A., Manzocco, L., Calligaris, S., Bartolomeoli, I., Maifreni, M., Lippe, G., Nicoli, M.C., 2014. Effect of high pressure homogenisation on microbial inactivation, protein structure and functionality of egg white. *Food Research International* 62, 718–725.
- Pant, K., Sharma, A., Chopra, H. K., & Nanda, V. (2024). Impact of biodiversification on propolis composition, functionality, and application in foods as natural preservative: A review. *Food Control*, 155, 110097. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110097>
- Patel, D., Shukla, S., & Gupta, S. (2007). Apigenin and cancer chemoprevention: Progress, potential and promise (Review). *International Journal of Oncology*. <https://doi.org/10.3892/ijo.30.1.233>
- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S., Butler, F., 2009. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.12.004>
- Pereira, R.N., Vicente, A.A., 2010. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International* 43, 1936–1943. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.013>



- Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., Cano, M.P., 2011. Carotenoid and flavanone content during refrigerated storage of orange juice processed by high-pressure, pulsed electric fields and low pasteurization. *LWT - Food Science and Technology* 44, 834–839. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.013>
- Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., Elez-Martínez, P., De Ancos, B., Martín-Belloso, O., Cano, M.P., 2006. Effect of refrigerated storage on vitamin C and antioxidant activity of orange juice processed by high-pressure or pulsed electric fields with regard to low pasteurization. *Eur Food Res Technol* 223, 487–493. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0228-2>
- Popova, A.T., 2019. The effect of heating on the vitamin C content of selected vegetables. *World J. Adv. Res. Rev.* 3, 027–032. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.3.3.0073>
- Porto, E., Alves Filho, E.G., Silva, L.M.A., Fonteles, T.V., Do Nascimento, R.B.R., Fernandes, F.A.N., De Brito, E.S., Rodrigues, S., 2020. Ozone and plasma processing effect on green coconut water. *Food Research International* 131, 109000. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109000>
- Pourhabibi-Zarandi, F., Shojaei-Zarghani, S., & Rafrat, M. (2021). Curcumin and rheumatoid arthritis: A systematic review of literature. *International Journal of Clinical Practice*, 75(10). <https://doi.org/10.1111/ijcp.14280>
- Priyadarshani, A.M.B., 2017. A review on factors influencing bioaccessibility and bioefficacy of carotenoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57, 1710–1717. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1023431>
- Quitão-Teixeira, L.J., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Mota-Ramos, A., Martín-Belloso, O., 2009. Comparative study on antioxidant properties of carrot juice stabilised by high-intensity pulsed electric fields or heat treatments. *J Sci Food Agric* 89, 2636–2642. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3767>
- Rahmanian, N., Jafari, S. M., & Galanakis, C. M. (2014). Recovery and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2350-9>
- Rajčević, N., Bukvički, D., Dodoš, T., & Marin, P. D. (2022). Interactions between natural products—A review. *Metabolites*, 12(12), 1256. <https://doi.org/10.3390/metabo12121256>
- Ramamurthy, M.S., Kamat, A., Kakatkar, A., Ghadge, N., Bhushan, B., Alur, M., 2004. Improvement of shelf-life and microbiological quality of minimally processed refrigerated capsicum by gamma irradiation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 55, 291–299. <https://doi.org/10.1080/09637480412331290503>
- Ramírez, M., Amate, L., & Gil, A. (2001). Absorption and distribution of dietary fatty acids from different sources. *Early Human Development*, 65, S95–S101. [https://doi.org/10.1016/S0378-3782\(01\)00211-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3782(01)00211-0)
- Rasera, G.B., De Camargo, A.C., De Castro, R.J.S., 2023. Bioaccessibility of phenolic compounds using the standardized INFOGEST protocol: A narrative review. *Comp Rev Food Sci Food Safe* 22, 260–286. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13065>
- Rashmi, H.B., Negi, P.S., 2020. Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International* 136, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>



- Rathod, N. B., Elabed, N., Punia, S., Ozogul, F., Kim, S.-K., & Rocha, J. M. (2023). Recent developments in polyphenol applications on human health: A review with current knowledge. *Plants*, 12(6), 1217. <https://doi.org/10.3390/plants12061217>
- Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Elez-Martínez, P., 2019. Influence of pulsed electric fields processing on the bioaccessible and non-bioaccessible fractions of apple phenolic compounds. *Journal of Functional Foods* 59, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.05.041>
- Rivera-Madrid, R., Carballo-Uicab, V.M., Cárdenas-Conejo, Y., Aguilar-Espinosa, M., Siva, R., 2020. Overview of carotenoids and beneficial effects on human health, in: *Carotenoids: Properties, Processing and Applications*. Elsevier, pp. 1–40. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817067-0.00001-4>
- Rock, C.L., Lovalvo, J.L., Emenhiser, C., Ruffin, M.T., Flatt, S.W., Schwartz, S.J., 1998. Bioavailability of  $\beta$ -Carotene Is Lower in Raw than in Processed Carrots and Spinach in Women. *The Journal of Nutrition* 128, 913–916.
- Rodríguez-García, C., Sánchez-Quesada, C., Toledo, E., Delgado-Rodríguez, M., & Gaforio, J. (2019). Naturally lignan-rich foods: A dietary tool for health promotion? *Molecules*, 24(5), 917. <https://doi.org/10.3390/molecules24050917>
- Rodríguez-Mateos, A., Pino-García, R.D., George, T.W., Vidal-Diez, A., Heiss, C., Spencer, J.P.E., 2014. Impact of processing on the bioavailability and vascular effects of blueberry (poly)phenols. *Molecular Nutrition Food Res* 58, 1952–1961.
- Rodríguez-Roque, M.J., De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., 2015a. Impact of food matrix and processing on the in vitro bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from fruit juice-based beverages. *Journal of Functional Foods* 14, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.020>
- Rodríguez-Roque, M.J., De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., 2015b. Impact of food matrix and processing on the in vitro bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from fruit juice-based beverages. *Journal of Functional Foods* 14, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.020>
- Roncero-Ramos, I., Mendiola-Lanao, M., Pérez-Clavijo, M., & Delgado-Andrade, C. (2017). Effect of different cooking methods on nutritional value and antioxidant activity of cultivated mushrooms. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(3), 287–297. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1244662>
- Salehi, B., Venditti, A., Sharifi-Rad, M., Kregiel, D., Sharifi-Rad, J., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Souto, E., Novellino, E., Antolak, H., Azzini, E., Setzer, W., & Martins, N. (2019). The therapeutic potential of apigenin. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(6), 1305. <https://doi.org/10.3390/ijms20061305>
- Salsinha, A.S., Cunha, S.A., Machado, M., Rodríguez-Alcalá, L.M., Relvas, J.B., Pintado, M., 2023. Assessment of the bioaccessibility and bioavailability prediction of omega 3 and conjugated fatty acids by in vitro standardized digestion model (Infogest) and cell model. *Food Bioscience* 53, 102635. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102635>



- Sanchez, B.A.O., Celestino, S.M.C., De Abreu Gloria, M.B., Celestino, I.C., Lozada, M.I.O., Júnior, S.D.A., De Alencar, E.R., De Lacerda De Oliveira, L., 2020. Pasteurization of passion fruit *Passiflora setacea* pulp to optimize bioactive compounds retention. *Food Chemistry: X* 6, 100084.
- Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., De Ancos, B., Plaza, L., Olmedilla, B., Granado, F., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., Martín, A., 2004a. Pulsed electric fields–processed orange juice consumption increases plasma vitamin C and decreases F2-isoprostanes in healthy humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 15, 601–607. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2004.04.007>
- Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., De Ancos, B., Plaza, L., Olmedilla, B., Granado, F., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., Martín, A., 2004b. Pulsed electric fields–processed orange juice consumption increases plasma vitamin C and decreases F2-isoprostanes in healthy humans. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 15, 601–607. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2004.04.007>
- Sánchez-Moreno, C., Cano, M.P., De Ancos, B., Plaza, L., Olmedilla, B., Granado, F., Martín, A., 2003. High-pressure orange juice consumption affects plasma vitamin c, antioxidative status and inflammatory markers in healthy humans. *The Journal of Nutrition* 133, 2204–2209. <https://doi.org/10.1093/jn/133.7.2204>
- Sánchez-Moreno, C., De Ancos, B., Plaza, L., Elez-Martínez, P., Cano, M.P., 2009. Nutritional approaches and health-related properties of plant foods processed by high pressure and pulsed electric fields. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49, 552–576. <https://doi.org/10.1080/10408390802145526>
- Sánchez-Moreno, C., Pilar Cano, M., De Ancos, B., Plaza, L., Olmedilla, B., Granado, F., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., Martín, A., 2005. Intake of Mediterranean vegetable soup treated by pulsed electric fields affects plasma vitamin C and antioxidant biomarkers in humans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56, 115–124. <https://doi.org/10.1080/09637480500081811>
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., Somasundram, C., 2013. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry* 20, 1276–1282. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.02.005>
- Sarkar, T., & Pati, S. (Επιμ.). (2024). *Bioactive extraction and application in food and nutraceutical industries*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3601-5>
- Schoenbach, K.H., Peterkin, F.E., Alden, R.W., Beebe, S.J., 1997. The effect of pulsed electric fields on biological cells: experiments and applications. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 25, 284–292. <https://doi.org/10.1109/27.602501>
- Schweiggert, R.M., Mezger, D., Schimpf, F., Steingass, C.B., Carle, R., 2012. Influence of chromoplast morphology on carotenoid bioaccessibility of carrot, mango, papaya, and tomato. *Food Chemistry* 135, 2736–2742. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.035>
- Selma, M. V., Espín, J. C., & Tomás-Barberán, F. A. (2009). Interaction between phenolics and gut microbiota: Role in human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(15), 6485–6501. <https://doi.org/10.1021/jf902107d>



- Sensoy, I., 2014. A review on the relationship between food structure, processing, and bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 902–909. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.619016>
- Sevenich, R., Mathys, A., 2018. Continuous Versus Discontinuous Ultra-High-Pressure Systems for Food Sterilization with Focus on Ultra-High-Pressure Homogenization and High-Pressure Thermal Sterilization: A Review. *Comp Rev Food Sci Food Safe* 17, 646–662. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12348>
- Sgambato, A., Ardito, R., Faraglia, B., Boninsegna, A., Wolf, F. I., & Cittadini, A. (2001). Resveratrol, a natural phenolic compound, inhibits cell proliferation and prevents oxidative DNA damage. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 496(1–2), 171–180. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(01\)00232-7](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(01)00232-7)
- Shang, J., Zeng, H.-L., Jia, B., Wang, X., Xu, L., Liu, X., Fang, M., Gong, Z., & Yang, Q. (2024). Effect of rosmarinic acid covalent conjugation on the structure and allergenic capacity of ovalbumin. *LWT*, 197, 115869. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115869>
- Shaukat, H., Ali, A., Zhang, Y., Ahmad, A., Riaz, S., Khan, A., Mehany, T., & Qin, H. (2023). Tea polyphenols: Extraction techniques and its potency as a nutraceutical. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1175893. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1175893>
- Sheng, K., Qu, H., Liu, C., Yan, L., You, J., Shui, S., Zheng, L., 2017. A comparative assess of high hydrostatic pressure and superfine grinding on physicochemical and antioxidant properties of grape pomace. *Int J of Food Sci Tech* 52, 2106–2114. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13489>
- Shi, J., Maguer, M.L., 2000. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40, 1–42.
- Shi, X.-M., Zhang, G.-J., Wu, X.-L., Li, Y.-X., Ma, Y., Shao, X.-J., 2011. Effect of Low-Temperature Plasma on Microorganism Inactivation and Quality of Freshly Squeezed Orange Juice. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 39, 1591–1597. <https://doi.org/10.1109/TPS.2011.2142012>
- Shin Nishiumi 2011.pdf, n.d.
- Sila, D.N., Duvetter, T., De Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., Moates, G.K., Hills, B.P., Waldron, K.K., Hendrickx, M., Van Loey, A., 2008. Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. *Trends in Food Science & Technology* 19, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.12.007>
- Silva, F.V.M., Gibbs, P.A., 2010. Non-proteolytic *Clostridium botulinum* spores in low-acid cold-distributed foods and design of pasteurization processes. *Trends in Food Science & Technology* 21, 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.011>
- Singh, A., Ahmad, S., & Ahmad, A. (2015). Green extraction methods and environmental applications of carotenoids-a review. *RSC Advances*, 5(77), 62358–62393. <https://doi.org/10.1039/C5RA10243J>
- Sivaranjani, S., Prasath, V.A., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Mousavi Khaneghah, A., 2021. Recent advances in applications of ozone in the cereal industry. *LWT* 146, 111412. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111412>



- Sliva. (2010). Novel medicinal mushroom blend suppresses growth and invasiveness of human breast cancer cells. *International Journal of Oncology*, 37(6). [https://doi.org/10.3892/ijo\\_00000806](https://doi.org/10.3892/ijo_00000806)
- Sosnowska, B., Penson, P., & Banach, M. (2017). The role of nutraceuticals in the prevention of cardiovascular disease. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 67(1), S21–S31. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.03.20>
- Soumya N.P., Mini S., Sivan S., Mondal S. Bioactive compounds in functional foods and their role as therapeutics. *Bioactive Compounds in Health and Disease* 2021. 4(3); 24-39. DOI:
- Sousa, A., Bolanz, K.A.K., 2017. Nutritional implications of an increasing consumption of non-dairy plant-based beverages instead of cow's milk in Switzerland. *J Adv Dairy Res* 05. <https://doi.org/10.4172/2329-888X.1000197>
- Stinco, C.M., Sentandreu, E., Mapelli-Brahm, P., Navarro, J.L., Vicario, I.M., Meléndez-Martínez, A.J., 2020. Influence of high pressure homogenization and pasteurization on the in vitro bioaccessibility of carotenoids and flavonoids in orange juice. *Food Chemistry* 331, 127259. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127259>
- Stoforos, N. G. (2015). Thermal Processing. In T. Varzakas & C. Tzia (Eds.), *Handbook of Food Processing: Food Preservation* (pp. 27–56). Boca Raton: CRC Press
- Suárez-Jacobo, Á., Rüfer, C.E., Gervilla, R., Guamis, B., Roig-Sagués, A.X., Saldo, J., 2011. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice. *Food Chemistry* 127, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.152>
- Sun, X., Acquah, C., Aluko, R.E., Udenigwe, C.C., 2020. Considering food matrix and gastrointestinal effects in enhancing bioactive peptide absorption and bioavailability. *Journal of Functional Foods* 64, 103680. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103680>
- Surowsky, B., Schlüter, O., Knorr, D., 2015. Interactions of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma with Solid and Liquid Food Systems: A Review. *Food Eng Rev* 7, 82–108. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9088-5>
- Teixeira, A.A., 2014. Thermal food preservation techniques (Pasteurization, sterilization, canning and blanching), in: Bhattacharya, S. (Ed.), *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*. Wiley, pp. 115–128. <https://doi.org/10.1002/9781118406281.ch6>
- Temple, N. J. (2022). A rational definition for functional foods: A perspective. *Frontiers in Nutrition*, 9, 957516. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957516>
- Tewari, S., Sehrawat, R., Nema, P.K., Kaur, B.P., 2017. Preservation effect of high pressure processing on ascorbic acid of fruits and vegetables: A review: Tewari et al. *Journal of Food Biochemistry* 41, e12319. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12319>
- Thirumdas, R., Sarangapani, C., Annapure, U.S., 2015. Cold Plasma: A novel Non-Thermal Technology for Food Processing. *Food Biophysics* 10, 1–11.



- Toepfl, S., Mathys, A., Heinz, V., Knorr, D., 2006. Review: Potential of High Hydrostatic Pressure and Pulsed Electric Fields for Energy Efficient and Environmentally Friendly Food Processing. *Food Reviews International* 22, 405–423. <https://doi.org/10.1080/87559120600865164>
- Torlak, E., 2014. Efficacy of ozone against *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *International Journal of Food Microbiology* 172, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.035>
- Torres, B., Tiwari, B.K., Patras, A., Cullen, P.J., Brunton, N., O'Donnell, C.P., 2011. Stability of anthocyanins and ascorbic acid of high pressure processed blood orange juice during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.01.005>
- Tsevdou, M., Dimopoulos, G., Gogou, E., Dermesonlouoglou, E., Taoukis, P., 2022. Nonthermal processing technologies: synergies and new applications in food engineering, in: -Režek -Jambrak, A. (Ed.), *Nonthermal Processing in Agri-Food-Bio Sciences*. Springer International Publishing, Cham, pp. 311–384. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92415-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92415-7_9)
- Tsevdou, M., Gogou, E., Taoukis, P., 2019. High hydrostatic pressure processing of foods, in: *Green Food Processing Techniques*. Elsevier, pp. 87–137. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815353-6.00004-5>
- Uddin, M.S., Hawlader, M.N.A., Ding, L., Mujumdar, A.S., 2002. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering* 51, 21–26. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00031-0)
- Ummat, V., Singh, A.K., Sidhu, G.K., 2018. Effect of aqueous ozone on quality and shelf life of shredded green bell pepper ( *Capsicum annuum* ). *J Food Process Preserv* 42, jfpp.13718. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13718>
- Vahedikia, N., Garavand, F., Tajeddin, B., Cacciotti, I., Jafari, S.M., Omid, T., Zahedi, Z., 2019. Biodegradable zein film composites reinforced with chitosan nanoparticles and cinnamon essential oil: Physical, mechanical, structural and antimicrobial attributes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 177, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.01.045>
- Van Breemen, R.B., Xu, X., Viana, M.A., Chen, L., Stacewicz-Sapuntzakis, M., Duncan, C., Bowen, P.E., Sharifi, R., 2002. Liquid Chromatography–Mass Spectrometry of *cis* - and all- *trans* -Lycopene in Human Serum and Prostate Tissue after Dietary Supplementation with Tomato Sauce. *J. Agric. Food Chem.* 50, 2214–2219.
- Van Oosterom, A. (2014). A comparison of electrocardiographic imaging based on two source types. *Europace*, 16(suppl 4), iv120–iv128. <https://doi.org/10.1093/europace/euu268>
- Varzakas, T., Tzia, C., 2015. *Handbook of food processing*, two volume set. CRC Press.
- Vega-Gálvez, A., López, J., Torres-Ossandón, M.J., Galotto, M.J., Puente-Díaz, L., Quispe-Fuentes, I., Di Scala, K., 2014. High hydrostatic pressure effect on chemical composition, color, phenolic acids and antioxidant capacity of Cape gooseberry pulp (*Physalis peruviana* L.). *LWT - Food Science and Technology* 58, 519–526. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.010>
- Velázquez-Estrada, R.M., Hernández-Herrero, M.M., Rüfer, C.E., Guamis-López, B., Roig-Sagués, A.X., 2013. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant



- activity of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 18, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.02.005>
- Vieira, A.R., Abar, L., Vingeliene, S., Chan, D.S.M., Aune, D., Navarro-Rosenblatt, D., Stevens, C., Greenwood, D., Norat, T., 2016. Fruits, vegetables and lung cancer risk: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Oncology* 27, 81–96. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdv381>
- Vishwanathan, K.H., Giwari, G.K., Hebbar, H.U., 2013. Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. *Food and Bioprocess Technology* 91, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.004>
- Von Lintig, J., & Vogt, K. (2000). Filling the gap in vitamin a research. *Journal of Biological Chemistry*, 275(16), 11915–11920. <https://doi.org/10.1074/jbc.275.16.11915>
- Walton, E. (2014). Buried treasure: Unlocking the secrets of medicinal mushrooms. *Biomedical Journal*, 37(6), 339. <https://doi.org/10.4103/2319-4170.146538>
- Wang, J., Fang, X.-M., Mujumdar, A.S., Qian, J.-Y., Zhang, Q., Yang, X.-H., Liu, Y.-H., Gao, Z.-J., Xiao, H.-W., 2017. Effect of high-humidity hot air impingement blanching (Hhaib) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry* 220, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.200>
- Wilbey, R.A., 2014. Heat treatment of foods | principles of pasteurization, in: *Encyclopedia of Food Microbiology*. Elsevier, pp. 169–174. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00159-2>
- Wu, P., & Chen, X. D. (2020). On designing biomimic in vitro human and animal digestion track models: Ideas, current and future devices. *Current Opinion in Food Science*, 35, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.004>
- Wu, T., Yu, X., Hu, A., Zhang, L., Jin, Y., Abid, M., 2015. Ultrasonic disruption of yeast cells: Underlying mechanism and effects of processing parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 28, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.01.005>
- Xanthakis, E., Gogou, E., Taoukis, P., Ahrné, L., 2018. Effect of microwave assisted blanching on the ascorbic acid oxidase inactivation and vitamin C degradation in frozen mangoes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 48, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.012>
- Xiao, H.-W., Bai, J.-W., Sun, D.-W., Gao, Z.-J., 2014. The application of superheated steam impingement blanching (Ssib) in agricultural products processing – A review. *Journal of Food Engineering* 132, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.032>
- Xiao, H.-W., Pan, Z., Deng, L.-Z., El-Mashad, H.M., Yang, X.-H., Mujumdar, A.S., Gao, Z.-J., Zhang, Q., 2017. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture* 4, 101–127. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>
- Xiao, J. (2015). Dietary flavonoid aglycones and their glycosides: Which show better biological significance? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 00–00. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1032400>
- Xu, J.-W., Zhao, W., & Zhong, J.-J. (2010). Biotechnological production and application of ganoderic acids. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87(2), 457–466. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2576-5>





- Yang, H., Li, T., & Cao, W. (2022). An improved method for quantitative analysis of isoflavones from soybeans and soy protein products by reversed-phase high performance liquid chromatography. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4068337>
- Yao, L., Liu, W., Bashir, M., Nisar, M. F., & Wan, C. (Craig). (2022). Eriocitrin: A review of pharmacological effects. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 154, 113563. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113563>
- Yesil-Celiktas, O., Sevimli, C., Bedir, E., & Vardar-Sukan, F. (2010). Inhibitory effects of rosemary extracts, carnosic acid and rosmarinic acid on the growth of various human cancer cell lines. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(2), 158–163. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0166-4>
- Zafra-Rojas, Q.Y., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Delgado-Olivares, L., Villanueva-Sánchez, J., Alanís-García, E., 2013. Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry* 20, 1283–1288. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.01.021>
- Zakynthinos, G., & Varzakas, T. (2016). Carotenoids: From plants to food industry. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 4(1), 38–51. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue1.04>
- Zhang, W., Yu, Y., Xie, F., Gu, X., Wu, J., Wang, Z., 2019. High pressure homogenization versus ultrasound treatment of tomato juice: Effects on stability and in vitro bioaccessibility of carotenoids. *LWT* 116, 108597. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108597>
- Zhang, Z., Wang, L., Zeng, X., Han, Z., Brennan, C.S., 2019. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *Int J of Food Sci Tech* 54, 1–13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>
- Zhao, G., Zhang, R., Zhang, M., 2017. Effects of high hydrostatic pressure processing and subsequent storage on phenolic contents and antioxidant activity in fruit and vegetable products. *Int J of Food Sci Tech* 52, 3–12. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13203>
- Zhao, Y., Wu, Y., Wang, M., 2014. Bioactive Substances of Plant Origin, in: Cheung, P.C.K. (Ed.), *Handbook of Food Chemistry*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1–35. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41609-5\\_13-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41609-5_13-1)
- Zheng, X., Yu, Y., Xiao, G., Xu, Y., Wu, J., Tang, D., Zhang, Y., 2014. Comparing product stability of probiotic beverages using litchi juice treated by high hydrostatic pressure and heat as substrates. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 23, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.013>
- Zhou, H., Tan, Y., McClements, D.J., 2023. Applications of the infogest in vitro digestion model to foods: a review. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 14, 135–156. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-012235>
- Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T.H., Barrett, D.M., 2010. Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering* 97, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.021>

### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



Κωδικός εγγράφου: a\_MGgcθiSERZqIm3vKsc-A

: 137/137

Υπογραφή:  
ΜΑΡΙΑ ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ  
Πατρώνυμο: ΧΡΗΣΤΟΣ  
ΑΦΜ: 058502137  
Ημ. Υπογραφής: 02/09/2024 14:17:07