



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Επιστήμης & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας & Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων & Διατροφή του Ανθρώπου»

Κατεύθυνση: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Μελέτη Σύγχρονων Μη Θερμικών Τεχνολογιών Επεξεργασίας & Συντήρησης Τροφίμων»

Μαρία Β. Χάμου

Επιβλέπων Καθηγητής

Αντώνιος Καναβούρας, Λέκτορας ΓΠΑ

Αθήνα, 2018



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Επιστήμης & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας & Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων & Διατροφή του Ανθρώπου»

Κατεύθυνση: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Μελέτη Σύγχρονων Μη Θερμικών Τεχνολογιών Επεξεργασίας & Συντήρησης Τροφίμων»

Μαρία Β. Χάμου

Επιβλέπων Καθηγητής

Αντώνιος Καναβούρας, Λέκτορας ΓΠΑ

Αθήνα, 2018



Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Επιστήμης & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας & Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων & Διατροφή του Ανθρώπου»

Κατεύθυνση: ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

«Μελέτη Σύγχρονων Μη Θερμικών Τεχνολογιών Επεξεργασίας & Συντήρησης Τροφίμων»

Μεταπτυχιακή διατριβή

Μαρία Β. Χάμου

Επιβλέπων Καθηγητής

Αντώνιος Καναβούρας, Λέκτορας ΓΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Αντώνιος Καναβούρας, Λέκτορας ΓΠΑ

Νικόλαος Στοφόρος, Καθηγητής ΓΠΑ

Ιωάννα Μαντάλα, Αν. Καθηγήτρια ΓΠΑ

Αθήνα, 2018

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων και Διατροφή του Ανθρώπου» του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών την περίοδο 2015-1016. Ευχαριστώ τον κ. Αντώνη Καναβούρα, Λέκτορα του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου για την ανάθεση και καθοδήγηση στην εκπόνηση του παρόντος θέματος, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, όπως επίσης και την ηθική υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια εγγραφής της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής κ. Στοφόρο, Καθηγητή του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου και κ. Μαντάλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου για την εποικοδομητική συμβολή τους. Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για τη συμπαράστασή τους και την ηθική και υλική στήριξη των επιλογών μου.

Περίληψη

Οι παραδοσιακές τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων βασίζονται στη θερμότητα, προκειμένου να θανατώσουν διάφορους παθογόνους μικροοργανισμούς (βακτήρια, ιούς και παράσιτα) και να καταστήσουν ένα τρόφιμο ασφαλές προς κατανάλωση. Για πολλές τροφές, η θέρμανση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά προϊόντα που παρουσιάζουν μεγάλο κίνδυνο μόλυνσης από μικροοργανισμούς των τροφίμων και στα οποία η θέρμανση δεν ενδείκνυται ως τρόπος επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα στα νωπά φυτικά προϊόντα. Αυτές οι εναλλακτικές, μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας βρίσκονται σε διάφορα στάδια ανάπτυξης και έχουν τη δυνατότητα να καταστρέφουν τους παθογόνους μικροοργανισμούς και να καθιστούν τα τρόφιμα ασφαλή προς κατανάλωση, διατηρώντας παράλληλα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά σε παρόμοια επίπεδα με τα φρέσκα προϊόντα. Από αυτές τις νέες τεχνολογίες, η Υπερυψηλή Υδροστατική Πίεση κερδίζει συνεχώς έδαφος στη βιομηχανία τροφίμων τις τελευταίες δεκαετίες και εφαρμόζεται σε ολοένα και περισσότερα προϊόντα.

Σε αυτή την εργασία, συντελείται μια γενική παρουσίαση της τεχνολογίας υπερυψηλής πίεσης, όπως επίσης και μια αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της, μια ιστορική ανασκόπηση της από τη στιγμή που ήρθε στο φως και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά, καθώς και μια περιγραφή της βασικής αρχής λειτουργίας αλλά και του εξοπλισμού που απαιτείται για να εφαρμοσθεί. Επίσης, υπογραμμίζεται και η επίδραση που έχει σε μικροοργανισμούς και ένζυμα, καθώς και οι υπάρχουσες εφαρμογές της στη βιομηχανία τροφίμων.

Σημαντικό τμήμα της εργασίας είναι να συγκεντρώσει την έρευνα που έχει διεξαχθεί γύρω από αυτή τη μέθοδο σε διάφορα φυτικά προϊόντα, μέσω δημοσιευμένων άρθρων κυρίως από το 2010 μέχρι σήμερα. Έμφαση δίνεται στη μελέτη της διατήρησης της ποιότητας αυτών των προϊόντων, στη μικροβιακή αδρανοποίηση, στο συνδυασμό της υπερυψηλής πίεσης με συμβατικές ή νέες, εναλλακτικές τεχνολογίες, καθώς και άλλες χρήσεις που μπορεί να έχει στη βιομηχανία τροφίμων.

Λέξεις κλειδιά: Μη θερμικές μέθοδοι επεξεργασίας, Υπερυψηλή υδροστατική πίεση, Πλεονεκτήματα, Μειονεκτήματα, Αρχή λειτουργίας, Εξοπλισμός, Εφαρμογές, Έρευνα, Φυτικά προϊόντα, Διατήρηση ποιότητας, Μικροβιακή αδρανοποίηση, Συνδυασμός με άλλες τεχνολογίες, Άλλες χρήσεις.

Abstract

Traditional food processing relies on heat to kill foodborne pathogens, (bacteria, viruses and parasites) to make food safe to eat. For many foods, heating is an effective way to treat foods. However, there are many products that pose a risk for bacterial or viral foodborne disease for which heat is either undesirable or cannot be used e.g. raw plant products. These alternative, non-thermal processing methods are at various stages of development, and have the potential to destroy pathogens and keep foods safe to eat, while retaining the sensory attributes and nutrient content similar to raw or fresh products. One of these new technologies, High Pressure Processing is constantly gaining ground in food industry over the last decades and is being applied to more and more products.

In this paper, a general presentation of this non-thermal technology is carried out, namely a reference to its advantages and disadvantages, a historical approach from the moment that came to light and how it was first used, and a description of the principle and the machinery required to be implemented. Also, its effects on microorganisms and enzymes, as well as its existing applications, are outlined.

An important part of the work is to concentrate research on high pressure processing on various plant products through published articles from 2010 onwards primarily. Emphasis is put on the study of the quality maintenance of these products, microbial inactivation, the combination of this technique with other conventional or alternative, novel technologies and other uses it may have in food processing.

Keywords: Non-thermal processing methods, High pressure processing, Advantages, Disadvantages, Operating principle, Machinery, Applications, Research, Plant products, Quality maintenance, Microbial inactivation, Combination with other technologies, Other uses.

Athens, 2018

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	
1. Υπερυψηλή υδροστατική πίεση	
1.1. Εισαγωγή	6
1.2. Ιστορική ανασκόπηση	7
1.3. Βασικές αρχές της ΥΥΠ	8
1.3.1. Παραγωγή της ΥΥΠ	8
1.3.2. Εξοπλισμός της ΥΥΠ	8
1.3.2.1 Δοχείο ΥΥΠ	10
1.3.2.2 Σύστημα δημιουργίας της πίεσης	10
1.3.2.3 Έλεγχος της θερμοκρασίας	12
1.3.2.4 Συσκευασία πριν την επεξεργασία	12
1.3.3. Ταξινόμηση των συστημάτων λειτουργίας ΥΥΠ	13
1.3.3.1 Εξοπλισμός συστήματος επεξεργασίας κατά παρτίδες	13
1.3.3.2 Εξοπλισμός συστήματος συνεχούς επεξεργασίας	14
1.3.3.3 Εξοπλισμός συστήματος ημι-συνεχούς επεξεργασίας	15
1.3.4. Επίδραση στους μικροοργανισμούς	16
1.3.5. Επίδραση στα ένζυμα	16
1.4. Εφαρμογές ΥΥΠ	17
1.4.1. Περισσότερες εφαρμογές ΥΥΠ	18
1.5. Έρευνα σε φυτικά προϊόντα	18
1.5.1. Φρούτα και λαχανικά	18
1.5.1.1. Διατήρηση της ποιότητας	18
1.5.1.2. Μικροβιακή αδρανοποίηση	20
1.5.1.3. Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με άλλες μεθόδους	22
1.5.1.3a Συνδυασμός με θερμική παστερίωση	22
1.5.1.3b Συνδυασμός με συσκευασία υπό κενό	23
1.5.1.4. Άλλες χρήσεις της ΥΥΠ	24
1.5.1.4a Ξήρανση	24
1.5.1.4b Απομάκρυνση των υπολειμμάτων φαρμάκων	24
1.5.2. Χυμοί	24
1.5.2.1. Διατήρηση της ποιότητας	25
1.5.2.2. Μικροβιακή αδρανοποίηση	27
1.5.2.3. Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με άλλες μεθόδους	28
1.5.2.3a Συνδυασμός με θερμική παστερίωση	28
1.5.2.3b Συνδυασμός με θερμική παστερίωση και νισίνη	28
1.5.2.3c Συνδυασμός με υπερκρίσιμο CO ₂	29
1.5.2.3d Συνδυασμός με φωτοκατάλυση TiO ₂ -UV	29
1.5.2.4. Άλλες χρήσεις της ΥΥΠ	29
1.5.2.4a Υποβάθμιση των τοξινών	29
1.5.3. Πούλπες	30
1.5.3.1. Διατήρηση της ποιότητας	30
1.5.3.2. Μικροβιακή αδρανοποίηση	30
1.5.3.3. Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με άλλες μεθόδους	31
1.5.3.3a Συνδυασμός με ένζυμα	31
1.5.3.3b Συνδυασμός με εντεροσίνη AS-48	31
1.5.4. Πουρέ	32
1.5.4.1. Διατήρηση της ποιότητας	32
1.5.4.2. Μικροβιακή αδρανοποίηση	32
1.5.4.3. Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με θερμική παστερίωση	33
1.5.5. Σάλτσες και dressings	33
1.5.5.1. Διατήρηση της ποιότητας	33
1.5.5.2. Μικροβιακή αδρανοποίηση	34

1.5.6. Smoothies φρούτων	35
1.5.6.1. Διατήρηση της ποιότητας	35
1.5.6.2. Μικροβιακή αδρανοποίηση	35
1.5.7. Άλλα προϊόντα	36
1.5.7.1. Κρέμες	36
1.5.7.1.a Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με CO ₂	36
1.5.7.2 Μαρμελάδες	36
1.5.7.2a Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με οσμωτική αφυδάτωση	36
1.5.7.5. Πάστες	36
1.6. Συμπεράσματα	37
Βιβλιογραφία	42

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1.1 Κύριοι παθογόνοι μικροοργανισμοί φρούτων & λαχανικών	21
---	----

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1.1 Μείωση του όγκου του νερού με την πίεση	8
Εικόνα 1.2 Εξοπλισμός ΥΥΠ, που χρησιμοποιείται για συσκευασία υπό κενό ή MAP	9
Εικόνα 1.3 Εξοπλισμός ΥΥΠ για μεγαλύτερες ποσότητες	9
Εικόνα 1.4 Δοχεία υψηλής πίεσης εργοστασιακής κλίμακας	10
Εικόνα 1.5 Άμεση συμπίεση	11
Εικόνα 1.6 Έμμεση συμπίεση	11
Εικόνα 1.7 Σύστημα συνεχούς επεξεργασίας ΥΥΠ	14
Εικόνα 1.8 Σύστημα ημι-συνεχούς επεξεργασίας ΥΥΠ	15
Εικόνα 1.9 Επιδράσεις στους υψηλής πίεσης σε ζυμομύκητα.	20

Υπερυψηλή υδροστατική πίεση

1.1 Εισαγωγή

Η υπερυψηλή υδροστατική πίεση είναι μια μέθοδος ψυχρής παστερίωσης κατά την οποία εφαρμόζεται πίεση στα τρόφιμα, με σκοπό τη θανάτωση των παθογόνων και αλλοιωγόνων μικροοργανισμών και την αδρανοποίηση των ενζύμων. Κατά την επεξεργασία, το τρόφιμο υποβάλλεται σε συνθήκες υδροστατικής πίεσης (περίπου 600MPa/87,000psi) από μερικά δευτερόλεπτα έως λίγα λεπτά, αφού αρχικά σφραγιστεί σε ανθεκτική και εύκαμπτη συσκευασία. Μετά την επεξεργασία, τοποθετείται σε θαλάμους συντήρησης μέχρι να μεταφερθεί προς πώληση στους καταναλωτές.

Το προϊόν που προκύπτει από τη διαδικασία αυτή είναι ασφαλές με αυξημένη διάρκεια ζωής, καθώς η μέθοδος επιτυγχάνει θανάτωση διαφόρων παθογόνων μικροοργανισμών, όπως η *Salmonella*, η *Listeria monocytogenes* και το *Escherichia coli* 0157:07, αλλά και αλλοιωγόνων, όπως ζύμες, οξυγαλακτικά βακτήρια κ.λπ. Παράλληλα, σε αντίθεση με τις συμβατικές θερμικές επεξεργασίες, διατηρούνται αναλλοίωτα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και οι οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου, όπως η γεύση, η υφή, οι αρωματικές ενώσεις, το χρώμα κ.λπ.

Συγκριτικά με τις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας η μέθοδος υπερυψηλής υδροστατικής πίεσης προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι:

- Επιτυγχάνει μικροβιακή αδρανοποίηση και απενεργοποίηση ενζύμων
- Διατηρούνται οι οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου
- Διατηρείται ή/και βελτιώνεται η θρεπτική και διατροφική αξία του τροφίμου
- Παρέχεται η δυνατότητα τροποποίησης διαφόρων λειτουργικών ιδιοτήτων των συστατικών των τροφίμων
- Η μεταφορά της πίεσης συντελείται στιγμιαία και ομοιόμορφα
- Έχει χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις
- Μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας
- Μειώνεται η προσθήκη χημικών συντηρητικών
- Προκύπτουν ελκυστικά και ποιοτικά ανώτερα προϊόντα για τους καταναλωτές

Ορισμένα μειονεκτήματα της μεθόδου (Penchalaraaju, 2013) είναι:

- Διαθέτει υψηλό κόστος εξοπλισμού
- Τα τρόφιμα επιβάλλεται να περιέχουν κάποιο ποσοστό υγρασίας (περίπου 40% ελεύθερου νερού), ούτως ώστε να επιτευχθεί αντιμικροβιακή δράση
- Συνηθίζεται η επεξεργασία να γίνεται κατά παρτίδες, για την αποφυγή της διασταυρούμενης μόλυνσης
- Οι συσκευασίες πρέπει απαραίτητα να είναι εύκαμπτες για να αντέξουν την εφαρμογή υψηλών πιέσεων χωρίς να καταστραφούν
- Έχει μικρή επίδραση στη συνολική ενζυμική δραστηριότητα
- Υπάρχει κάποια μικροβιακή επιβίωση στο τελικό προϊόν

1.2 Ιστορική ανασκόπηση

Η πρώτη απόπειρα εφαρμογής της υπερυψηλής υδροστατικής πίεσης έγινε από τον Burt Hite το 1894, ο οποίος χρησιμοποίησε για πρώτη φορά δοχεία πίεσης που μπορούσαν να λειτουργήσουν σε συνθήκες πίεσης άνω των 680MPa. Συγκεκριμένα, ο Hite απέδειξε ότι μια εφαρμογή πίεσης της τάξεως των 200-680MPa ήταν ικανή να αδρανοποιήσει μύκητες, ζύμες και αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς στα τρόφιμα. Σε εκείνη τη φάση, η πλήρης αποστείρωση αγελαδινού γάλακτος και η μετέπειτα συντήρησή του σε συνθήκες δωματίου κρίθηκε ανεπιτυχής, ωστόσο οι Hite *et al.* (1914) κατάφεραν να προβλέψουν πως διάφοροι χυμοί φρούτων θα μπορούσαν να αποστειρωθούν σε μεγαλύτερα δοχεία με την εφαρμογή πίεσης και να συντηρηθούν με αυτό τον τρόπο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Το 1899 εφαρμογή πιέσεων της τάξεως 5000 έως 7000kg/cm² σε γάλα και κρέας είχε ως αποτέλεσμα μια μείωση του βακτηριακού πληθυσμού στο γάλα κατά 5 έως 6 λογαριθμικούς κύκλους όταν εφαρμόστηκε πίεση 6800kg/cm² και αύξηση της διάρκειας ζωής του κρέατος με εφαρμογή πίεσης 5400kg/cm².

Έκτοτε, ένα μεγάλο κομμάτι της έρευνας της τεχνολογίας τροφίμων έχει αφιερωθεί στην περιγραφή των επιδράσεων της υπερυψηλής πίεσης στους μικροοργανισμούς και στην ενζυμική δραστηριότητα, καθώς επίσης και σε διάφορα λειτουργικά συστατικά των τροφίμων, όπως οι πρωτεΐνες και το άμυλο. Παρότι οι καταναλωτές αυτή την περίοδο προτιμούν τα κατεψυγμένα προϊόντα, καθώς φαίνεται να διατηρούν με ευκολία την ποιότητα και τη θρεπτική τους αξία, αρχίζει να αυξάνεται η ζήτηση πολυμερών πλαστικών, γεγονός που οδηγεί στην ανάπτυξη αντλιών υψηλής πίεσης, διαφόρων σωληνώσεων και οργάνων. Τη δεκαετία του 1950 αυξάνεται η ανάπτυξη και η ζήτηση στροβιλομηχανών και πτερυγίων για στροβιλοκινητήρες. Μέσα από όλη αυτή τη διαδικασία, πιέσεις της τάξεως των 680MPa και μεγάλου όγκου δοχεία πίεσης έγιναν διαθέσιμα για κατασκευές ρουτίνας. Τη δεκαετία του 1970, ο Macfarlane (1973) και οι Bouton *et al.* (1977) στην Αυστραλία μελέτησαν την επίδραση της υψηλής πίεσης (140MPa) σε κομμάτια κόκκινου κρέατος πριν και μετά την νεκρική ακαμψία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι θα μπορούσε η μέθοδος να βοηθήσει στο «μαλάκωμα» του βοδινού κρέατος, καθιστώντας το ελκυστικότερο στον καταναλωτή. Από την άλλη μεριά, οι Sale *et al.* (1970) διαπίστωσαν ότι τα σπόρια του μη πρωτεολυτικού *Clostridium botulinum* ήταν ιδιαίτερος ανθεκτικά σε υψηλές πιέσεις και ότι αυτή η μέθοδος παστερίωσης θα ήταν αποδοτική σε χαμηλής οξύτητας τρόφιμα, μόνο συνδυαστικά με άλλα εμπόδια. Αντιθέτως, σε υψηλής οξύτητας τρόφιμα η μέθοδος κρίθηκε ιδανική για εμπορική αποστείρωση, αλλά και ικανή να εμποδίσει τα σπόρια του *Clostridium botulinum* να παράξουν τοξίνες.

Η πρώτη εμπορική εφαρμογή της μεθόδου υπερυψηλής πίεσης έγινε το 1992, όταν η ιαπωνική εταιρεία Meidiya Foods επεξεργάστηκε και εμπορεύθηκε για πρώτη φορά μαρμελάδες. Ακολούθησαν και άλλα προϊόντα όπως χυμοί, παγωτά, ακατέργαστο ρύζι κ.λπ. Παράλληλα, συνεχίζεται η διεξαγωγή έρευνας γύρω από όλο και περισσότερες εφαρμογές της υπερυψηλής πίεσης. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες διάφορα τρόφιμα όπως φρούτα και λαχανικά, χυμοί, μαρμελάδες, γαλακτοκομικά, ψάρια και θαλασσινά, προϊόντα χοιρινού και βοδινού κρέατος κ. ά. έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση. Βασικά σημεία της έρευνας που έχει γίνει μέχρι στιγμής παγκοσμίως είναι αφενός η επίδραση που έχει η συγκεκριμένη επεξεργασία σε παθογόνους και αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς, στην κινητική των ενζύμων, αλλά και σε διάφορα συστατικά των τροφίμων, όπως οι πρωτεΐνες

και τα λιπίδια και αφετέρου, το πώς επηρεάζονται διάφορες χημικές αντιδράσεις (όπως η αντίδραση Maillard ή η οξείδωση του λίπους) από τις υψηλές πιέσεις.

1.3 Βασικές αρχές της ΥΥΠ

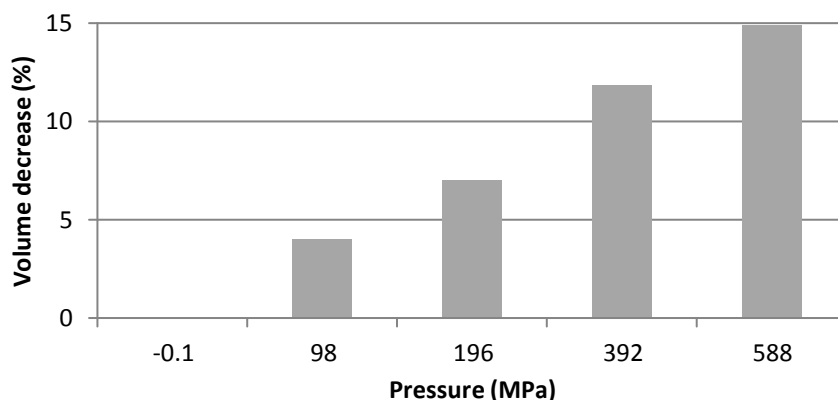
1.3.1 Παραγωγή της ΥΥΠ

Σύμφωνα με τους Ramaswamy *et al.* (1999), η επεξεργασία υπερευψηλής πίεσης έχει δυο βασικές αρχές λειτουργίας:

- Αρχή Le Chatelier: οποιαδήποτε ενέργεια μεταβολής της αντίδρασης χημικής ισορροπίας σε ένα σύστημα, επιφέρει μείωση του όγκου, η οποία ενισχύεται από την υψηλή πίεση.
- Ισοστατική αρχή: η μετάδοση της πίεσης είναι στιγμιαία και ομοιόμορφη, ενώ δεν επηρεάζεται από το μέγεθος και το σχήμα του τροφίμου.

Στην ουσία, η υψηλή πίεση που ασκείται στο υγρό (σ.σ. νερό) που περιβάλλει το τρόφιμο στο δοχείο πίεσης προκαλεί αύξηση των αντιδράσεων σχηματισμού μη ομοιοπολικών δεσμών (υδρογόνου, ιοντικών και υδροφοβικών δεσμών) και εξαιτίας αυτού, μείωση του διαθέσιμου όγκου των μορίων του υγρού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το τρόφιμο να υπόκειται σε υψηλή πίεση μέσω της συμπίεσης του υγρού που το περιβάλλει.

Στην εικ. 1.1 παρουσιάζεται η σταδιακή μείωση του όγκου του νερού με ταυτόχρονη αύξηση της πίεσης, σε θερμοκρασία δωματίου.



Εικόνα 1.1 Μείωση του όγκου του νερού με την πίεση (Farr, 1990).

1.3.2 Εξοπλισμός της επεξεργασίας ΥΥΠ

Ένα τυπικό σύστημα υπερευψηλής πίεσης αποτελείται από τα εξής:

- Δοχείο υψηλής πίεσης
- Σύστημα δημιουργίας της πίεσης
- Συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας (προαιρετικά)
- Σύστημα χειρισμού των υλικών

Οι εικ. 1.2 και 1.3 παρουσιάζουν δυο συστήματα υπερυψηλής πίεσης βιομηχανικής κλίμακας.



Εικόνα 1.2 Εξοπλισμός ΥΥΠ, που χρησιμοποιείται για συσκευασία υπό κενό ή MAP (Source: thyssenkrupp, DE).



Εικόνα 1.3 Εξοπλισμός ΥΥΠ για μεγαλύτερες ποσότητες (Source: thyssenkrupp, DE).

Στην επεξεργασία ΥΥΠ, ως μέσο συμπίεσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό ή κάποιο αδρανές αέριο. Η μείωση του όγκου του νερού είναι περίπου 5% όταν η πίεση αυξάνεται από 0 σε 4000kg/cm² στους 22°C. Αυτή η μείωση όγκου είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με τη μείωση όγκου των αδρανών αερίων και οι μειώσεις μεγάλου όγκου μπορούν να

καταστήσουν τις λειτουργίες πιο επικίνδυνες. Όταν το νερό χρησιμοποιείται ως μέσο πίεσης και υποβάλλονται τα υλικά τροφίμων σε υψηλή πίεση, υπάρχει στιγμιαία και ομοιόμορφη μετάδοση της πίεσης σε όλο το υπό επεξεργασία προϊόν. Τυπικά, μικρές ποσότητες ελαίου μπορούν να προστεθούν στο νερό για αντιδιαβρωτικούς και λιπαντικούς σκοπούς.

1.3.2.1 Δοχείο ΥΥΠ

Βασικό στοιχείο του συστήματος επεξεργασίας ΥΥΠ, μέσα στο οποίο τοποθετείται το τρόφιμο και υπόκειται σε υψηλή πίεση. Συνήθως είναι κυλινδρικού σχήματος και κατασκευάζεται από χάλυβα χαμηλού κράματος. Γενικά, τα δοχεία υψηλής πίεσης εργοστασιακής κλίμακας πρέπει να είναι μεγάλης ανθεκτικότητας και συγκεκριμένου πάχους τοιχώματος, καθώς υποβάλλονται σε χιλιάδες κύκλους επεξεργασίας μεγάλου όγκου τροφίμων. Επίσης, πρέπει να είναι εύκολα στο χειρισμό τους για να διευκολύνεται ο καθαρισμός τους, καθώς ο κίνδυνος διάβρωσής τους από τα ίδια τα υπό επεξεργασία τρόφιμα είναι αυξημένος. Στην εικόνα 1.4 απεικονίζονται δοχεία υψηλής πίεσης βιομηχανικής κλίμακας.



Εικόνα 1.4 Δοχεία υψηλής πίεσης εργοστασιακής κλίμακας (Anderson Dahlen Inc., Minneapolis)

1.3.2.2 Σύστημα δημιουργίας της πίεσης

Υπάρχουν δυο κατηγορίες συστημάτων δημιουργίας υψηλών πιέσεων μέσα στα δοχεία πίεσης:

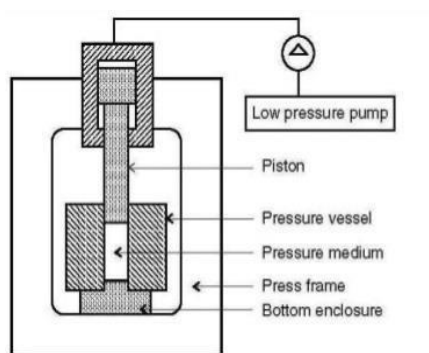
1) Άμεση συμπίεση

Στα συστήματα άμεσης συμπίεσης (εικ. 1.5), τα πώματα των δοχείων πίεσης λειτουργούν ταυτόχρονα ως έμβολα τα οποία μειώνουν τον όγκο μέσα στο δοχείο κι έτσι, συμπιέζουν το υγρό/μέσο που περιβάλλει το τρόφιμο. Αυτά τα συστήματα επιτυγχάνουν

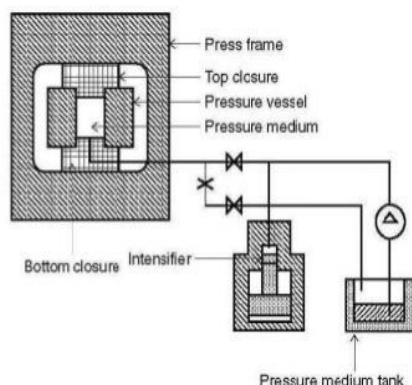
ταχύτατη συμπίεση, περιορίζονται όμως σε εργαστηριακής κλίμακας εξοπλισμούς, καθώς απαιτείται ερμητικό κλείσιμο και απόλυτα δυναμική σφράγιση μεταξύ του εμβόλου και του δοχείου πίεσης. Αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε συνθήκες πολλαπλών κύκλων επεξεργασίας τροφίμων, όπου συντελείται συχνό άνοιγμα και κλείσιμο του δοχείου.

2) Έμμεση συμπίεση

Στο σύστημα έμμεσης συμπίεσης (εικ. 1.6), το μέσο συμπίεσης/υγρό αντλείται με τη βοήθεια ενός ενισχυτή/αντλίας υψηλής πίεσης στο δοχείο πίεσης, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή πίεση που πρέπει να ασκηθεί στο προϊόν. Η αντλία πίεσης αποτελεί ξεχωριστό τμήμα του δοχείου πίεσης, ενώ οι σωληνώσεις που τη συνδέουν με το δοχείο και όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του υγρού πρέπει να είναι σχεδιασμένα για υψηλές πιέσεις και να εμφανίζουν ιδιαίτερη ανθεκτικότητα. Με αυτή τη μέθοδο τα απαιτούμενα επίπεδα πίεσης που θέλουμε να εφαρμόσουμε στο τρόφιμο διατηρούνται σταθερά για μερικά λεπτά, προσφέροντας καλύτερο έλεγχο της επεξεργασίας. Γι' αυτό το λόγο συνηθίζεται να εφαρμόζεται ευρέως σε εξοπλισμούς βιομηχανικής κλίμακας.



Εικόνα 1.5 Άμεση συμπίεση (Yordanov & Angelova, 2010)



Εικόνα 1.6 Έμμεση συμπίεση (Yordanov & Angelova, 2010)

1.3.2.3 Έλεγχος της θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία του μέσου συμπίεσης, αλλά και του προϊόντος που βρίσκεται μέσα σε αυτό, μπορεί να ελεγχθεί είτε έμμεσα, με θέρμανση/ψύξη ολόκληρου του δοχείου πίεσης, είτε άμεσα, τοποθετώντας μια πηγή θερμότητας/ψύξης στο εσωτερικό του δοχείου.

Καθώς το μέσο που περιβάλλει το τρόφιμο συμπιέζεται, μειώνεται έτσι ο όγκος του κι έτσι έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο δοχείο πίεσης. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως «αδιαβατική θέρμανση».

Σύμφωνα με τον πρώτο και δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο, κατά τη διαδικασία ΥΥΠ δημιουργείται μια αδιαβατική διαδικασία, χωρίς μεταφορά θερμότητας από ή προς το περιβάλλον του συστήματος και όλο το έργο που παράγεται από το σύστημα είναι στην ουσία αποτέλεσμα της μείωσης της εσωτερικής ενέργειας του μέσου. Η εξίσωση (1) περιγράφει ακριβώς αυτή την αδιαβατική συμπίεση/θέρμανση του μέσου:

$$\frac{dT}{dT} = \frac{T \alpha_p}{\rho C_p} \quad (1)$$

Όπως βλέπουμε και στην εξίσωση (1), η αύξηση της θερμοκρασίας dT εξαρτάται από τον συντελεστή ογκομετρικής διαστολής α_p , την πυκνότητα ρ , την ειδική θερμότητα C_p του υλικού και την αρχική θερμοκρασία T .

Κατά την επεξεργασία ΥΥΠ, η διαδικασία της συμπίεσης αυξάνει αδιαβατικά τη θερμοκρασία τόσο του προϊόντος, όσο και του μέσου συμπίεσης κατά 3°C περίπου για κάθε 100MPa. Ενώ τα μεταλλικά στοιχεία του συστήματος δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τη θερμότητα συμπίεσης, παρ' όλα αυτά κατά την επεξεργασία, η θερμοκρασία όλων των υλικών που δέχονται τη συμπίεση μέσα στο δοχείο, μεταβάλλεται. Συνεπώς, το μέγεθος της μεταβολής της θερμοκρασίας κατά την επεξεργασία ΥΥΠ εξαρτάται από τη σύνθεση του τροφίμου.

1.3.2.4 Συσκευασία πριν την επεξεργασία

Πριν την επεξεργασία, το τρόφιμο πρέπει να συσκευασθεί σε ανθεκτική και εύκαμπτη συσκευασία, ούτως ώστε να αντέξει τις έντονες πιέσεις. Καθώς η πίεση που ασκείται στο προϊόν είναι ομοιόμορφη, η συσκευασία δεν υφίσταται παραμόρφωση, ενώ το σχήμα της πρέπει να είναι τέτοιο ούτως ώστε να καλύπτει όλο τον όγκο του δοχείου. Συνήθως χρησιμοποιούνται φύλλα συμπολυμερούς αιθυλενίου-βινυλικής αλκοόλης (EVOH) και πολυβινυλικής αλκοόλης (PVOH), όπως επίσης και πολυστρωματικά πλαστικά ή πακέτα αλουμινίου.

1.3.3 Ταξινόμηση των συστημάτων λειτουργίας ΥΥΠ

Η επεξεργασία ΥΥΠ μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κατηγορίες:

- Λειτουργία κατά παρτίδες
- Ημι-συνεχής λειτουργία
- Συνεχής λειτουργία

Σε εργοστασιακό επίπεδο, τα πιο κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας με ΥΥΠ είναι εκείνα με συνεχή λειτουργία και με λειτουργία κατά παρτίδες. Τα τελευταία προσφέρουν το πλεονέκτημα της δυνατότητας επεξεργασίας τόσο υγρών όσο και στερεών τροφίμων, γι' αυτό και προτιμώνται από τη βιομηχανία τροφίμων, ενώ τα συνεχή ή ημι-συνεχή συστήματα βρίσκουν εφαρμογή μόνο σε υγρά ή αντλήσιμα προϊόντα.

Ο χρονικός κύκλος* της επεξεργασίας ΥΥΠ εξαρτάται από τις απαιτούμενες συνθήκες πίεσης και αφορά τη κάθε κατηγορία τροφίμου ξεχωριστά. Γενικά, ένας χρονικός κύκλος αποστείρωσης ενός προϊόντος με ΥΥΠ διαρκεί από 3 έως 8min.

***Χρονικός κύκλος:** ο συνολικός χρόνος της επεξεργασίας. Περιλαμβάνει τη φόρτωση του προϊόντος και το κλείσιμο του δοχείου, τη συμπίεσή του, τη διατήρησή του στα επιθυμητά επίπεδα πίεσης, την αποσυμπίεση και την εκφόρτωσή του.

1.3.3.1 Εξοπλισμός συστήματος επεξεργασίας κατά παρτίδες

Συνήθως ένα σύστημα επεξεργασίας ΥΥΠ κατά παρτίδες αποτελείται από:

- Ένα κυλινδρικό δοχείο πίεσης
- Ένα πώμα σφράγισης του δοχείου
- Ένα μέσο στερέωσης του πώματος σφράγισης, που συνήθως είναι ζυγός ή σπείρωμα
- Μια ενισχυτική αντλία χαμηλής πίεσης για την τροφοδοσία του υγρού συμπίεσης.

Η διαδικασία σε αυτή την περίπτωση έχει ως εξής:

Το τρόφιμο συσκευάζεται σε κατάλληλη συσκευασία υπό κενό για την αποφυγή της ανάμιξης κατά τη διαδικασία και τοποθετείται συσκευασμένο μέσα στο δοχείο. Μετά το κλείσιμο του δοχείου, το μέσο συμπίεσης (το οποίο συνήθως είναι νερό) διοχετεύεται ισοστατικά από τη δεξαμενή του μέσα στο δοχείο πίεσης μεταδίδοντας πίεση, η οποία δημιουργείται με τη βοήθεια ενός συστήματος δημιουργίας πίεσης. Όταν το επίπεδο πίεσης φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα, η αντλία σταματά με κλείσιμο των εσωτερικών βαλβίδων. Σε πίεση 100MPa, ο όγκος του μέσου συμπίεσης μειώνεται περίπου κατά 4%, ενώ πίεση 680MPa μπορεί να προκαλέσει μείωση του όγκου κατά 15%, καθώς και συμπίεση των υγρών προς επεξεργασία τροφίμων. Η πίεση της διεργασίας μπορεί να διατηρηθεί στα επιθυμητά επίπεδα χωρίς την κατανάλωση επιπλέον ενέργειας. Μετά τον

απαιτούμενο χρόνο επεξεργασίας, η πίεση απελευθερώνεται από το δοχείο με την απελευθέρωση του μέσου συμπίεσης προς την αρχική του δεξαμενή.

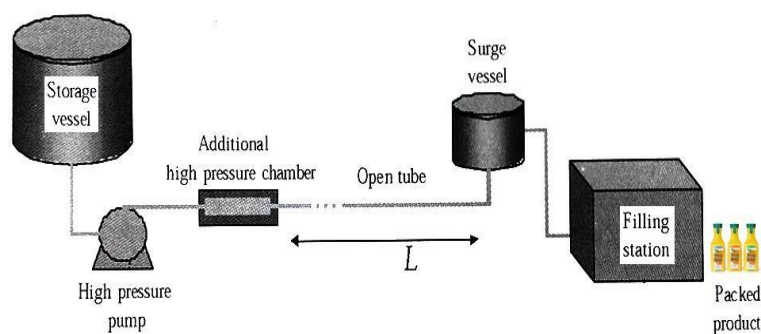
Στις περισσότερες επεξεργασίες, τα προϊόντα τοποθετούνται για 3-5min στα 600MPa. Περίπου 5-6 κύκλοι επεξεργασία ανά ώρα αρκούν για φόρτωση των τροφίμων μέσα στο δοχείο πίεσης, συμπίεση, διατήρηση, αποσυμπίεση και εκφόρτωση. Στη συνέχεια, το επεξεργασμένο προϊόν απομακρύνεται από το δοχείο πίεσης και προωθείται για αποθήκευση στις απαιτούμενες συνθήκες.

Τα δοχεία που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτά έχουν εσωτερικούς όγκους κυμαινόμενους από 35 έως 525 λίτρα, επιτρέποντας σε μεγάλες ή/και μικρότερες εταιρείες παραγωγής τροφίμων να εφαρμόζουν τεχνολογία ΥΥΠ. Επίσης, η συγκεκριμένη τεχνολογία μειώνει κατά πολύ τον κίνδυνο επιμόλυνσης μεγάλων ποσοτήτων τροφίμων από τα διάφορα λιπαντικά ή σωματίδια φθοράς του μηχανισμού. Τέλος, αποφεύγεται και ο κίνδυνος της διασταυρούμενης μόλυνσης των προϊόντων, αλλά και ο καθαρισμός του εξοπλισμού μετά από κάθε κύκλο επεξεργασίας.

1.3.3.2 Εξοπλισμός συστήματος συνεχούς επεξεργασίας

Η συνεχής επεξεργασία ΥΥΠ είναι μια διαδικασία με την οποία μπορούμε να επεξεργαστούμε μόνο τρόφιμα σε υγρή μορφή. Σε αυτό το σύστημα, το οποίο περιγράφεται διαγραμματικά στην εικ. 1.7, το προϊόν ρέει μέσω σωληνώσεων υπό πίεση (από 100MPa και πάνω) με τη βοήθεια ενός ενισχυτή υψηλής πίεσης. Στη συνέχεια, ακολουθεί η αποσυμπίεση του τροφίμου με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική διάτμηση και θέρμανσή του. Μετά την αποσυμπίεσή του, το επεξεργασμένο προϊόν μεταφέρεται σε αποστειρωμένη δεξαμενή.

Όταν το υγρό διέρχεται από κάποιο στοιχείο εκτόνωσης της πίεσης, υπόκειται σε έντονη διάτμηση, τριβή ή/και σπηλαίωση, με επακόλουθες τις αντίστοιχες συνέπειες. Οι συνθήκες έντονης διάτμησης που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία του προϊόντος, αυξάνουν σημαντικά τη θερμοκρασία του, συμβάλλοντας μεν στη μικροβιακή αδρανοποίηση, επηρεάζοντας δε σημαντικά τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά. Για αυτό το λόγο, η μέθοδος αυτή έχει αντικατασταθεί από την ημι-συνεχούς λειτουργίας συστήματα.



Εικόνα 1.7 Σύστημα συνεχούς επεξεργασίας ΥΥΠ (R. W. van den Berg *et al.*, 2001)

1.3.3.3 Εξοπλισμός συστήματος ημι-συνεχούς επεξεργασίας

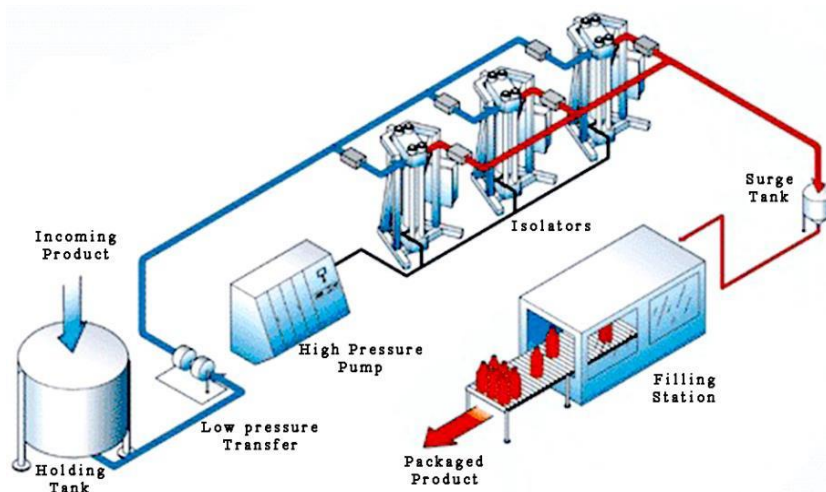
Ένα ημι-συνεχές σύστημα επεξεργασίας ΥΥΠ (Εικ. 1.8) αποτελείται από τα εξής:

- Δυο ή περισσότερα δοχεία πίεσης
- Αντλία χαμηλής πίεσης για το γέμισμα των δοχείων
- Αντλία μεταφοράς υψηλής πίεσης
- Αποστειρωμένες δεξαμενές αποθήκευσης
- Βαλβίδες ελέγχου

Τα δοχεία πίεσης συνήθως περιέχουν ένα ελεύθερο κινούμενο έμβολο διαχωρισμού του υπό επεξεργασία τροφίμου από το υγρό συμπίεσης. Οι βαλβίδες ελέγχου είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να αποφεύγεται η διασταυρούμενη μόλυνση του επεξεργασμένου προϊόντος με το ακόλουθο μη-επεξεργασμένο προϊόν.

Η διαδικασία ξεκινά με την πλήρωση του δοχείου πίεσης με το υγρό τρόφιμο, με τη βοήθεια της αντλίας χαμηλής πίεσης, ενώ κατά τη διάρκεια αυτή το ελεύθερο έμβολο μετατοπίζεται. Μόλις γεμίσει το δοχείο, κλειδώνει η βαλβίδα εισαγωγής και το υγρό συμπίεσης αρχίζει και συμπιέζεται μέσα στο δοχείο, μετακινώντας ταυτόχρονα το ελεύθερο έμβολο. Το έμβολο με τη σειρά του συμπιέζει το υγρό τρόφιμο, επιτυγχάνοντας μείωση του όγκου παρόμοια με αυτή της επεξεργασίας ΥΥΠ κατά παρτίδες. Μετά τον απαιτούμενο χρόνο επεξεργασίας, η πίεση απελευθερώνεται, αποσυμπιέζοντας το τρόφιμο κι έτσι το ελεύθερο έμβολο επιστρέφει στην αρχική του θέση. Στη συνέχεια, το επεξεργασμένο πλέον τρόφιμο προωθείται σε αποστειρωμένη δεξαμενή, πριν συσκευασθεί ασηπτικά σε αποστειρωμένα δοχεία.

Σε βιομηχανικής κλίμακας ημι-συνεχή συστήματα χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα τρία δοχεία πίεσης που παρέχουν συνεχή εξαγωγή επεξεργασμένου προϊόντος (το πρώτο δοχείο αφορά τη φόρτωση του προϊόντος, το δεύτερο τη συμπίεσή του και το τρίτο την τελευταία εκφόρτωση).



Εικόνα 1.8 Σύστημα ημι-συνεχούς επεξεργασίας ΥΥΠ (Balasubramaniam, 2007).

1.3.4 Επίδραση στους μικροοργανισμούς

Γενικά, η εφαρμογή υψηλών πιέσεων στα τρόφιμα φαίνεται να επιδρά σημαντικά στη μικροβιακή αδρανοποίηση. Οι πολύ υψηλές πιέσεις μπορούν να επιτύχουν πλήρη απενεργοποίηση των μικροοργανισμών, ενώ οι μέτριες πιέσεις μειώνουν το ρυθμό αύξησης και αναπαραγωγής τους. Οι οριακές τιμές πίεσης στις οποίες επιτυγχάνεται μικροβιακή απενεργοποίηση ή επιβράδυνση της ανάπτυξής τους, εξαρτάται από τα είδη των μικροοργανισμών.

Η βλαστικότητα των σπορίων σε συνθήκες υψηλών πιέσεων εξαρτάται απόλυτα από τη θερμοκρασία. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε θερμοκρασίες κοντά στους 0°C, η βλαστικότητα των σπορίων δεν επηρεάζεται σημαντικά, ακόμα και σε πίεση 1000MPa. Από την άλλη μεριά, σε μέτριες θερμοκρασιακές συνθήκες, μπορεί να επιτευχθεί βλάστηση των σπορίων μόνο με 100MPa. Γενικά, τα βλαστημένα σπόρια καταστρέφονται σε πίεση 600MPa και θερμοκρασία 50-70 °C.

Ωστόσο, αυτά τα αποτελέσματα δε μπορούν να θεωρηθούν απόλυτα για κάθε κατηγορία τροφίμων, καθώς κατά περίπτωση ο συνδυασμός υψηλών πιέσεων και μέτριων θερμοκρασιών μπορεί να έχει είτε συνεργιστική είτε ανταγωνιστική επίδραση στη μικροβιακή ανάπτυξη, στην ενζυμική δραστηριότητα και στη χημική αντιδραστικότητα. Έτσι, ανάλογα και με το είδος των μικροοργανισμών, οι υψηλές πιέσεις μπορούν να καταστήσουν τους μικροοργανισμούς πιο ευαίσθητους στη θέρμανση ή μπορεί σε άλλη περίπτωση να τους προστατέψει σε συνθήκες υψηλότερων θερμοκρασιών (Galazka and Ledward, 1995).

1.3.5 Επίδραση στα ένζυμα

Η εφαρμογή υψηλών πιέσεων στα τρόφιμα επιφέρει ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των ενζύμων. Συγκεκριμένα στα φρούτα, η πολυφαινολοξειδάση φαίνεται να αντιστέκεται σε πιέσεις μέχρι 1200MPa για 10min πριν από την τελική της απενεργοποίηση (Knorr, 1993), αν και είναι πιο ευαίσθητη σε υψηλότερα επίπεδα pH. Σύμφωνα με τους Hendrickx *et al.* (1998) υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάμεσα σε διάφορα φυτικά προϊόντα, όσον αφορά την ευαισθησία της πολυφαινολοξειδάσης στις υψηλές πιέσεις. Για παράδειγμα, η πολυφαινολοξειδάση της πατάτας και των μανιταριών παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην υψηλή πίεσης, καθώς απαιτούνται 800-900MPa για την απενεργοποίησή της, σε αντίθεση με την περίπτωση των βερίκοκων, της φράουλας και των σταφυλιών, όπου απαιτούνται μόνο 100, 400 και 600MPa, αντίστοιχα.

Η πηκτινестεράση είναι ένα ένζυμο που προκαλεί αποσταθεροποίηση της θολότητας στους χυμούς, ζελατινοποίηση των συστατικών των φρούτων και απώλεια της σταθερότητας των προϊόντων τομάτας. Είναι λιγότερο ανθεκτική στην πίεση από την πολυφαινολοξειδάση και φαίνεται να μειώνεται η δραστηριότητά της σε πιέσεις πάνω από 300MPa, ενώ απενεργοποιείται πλήρως με 700MPa στους 45°C για 10min. Συγκεκριμένα στα πορτοκάλια, η πηκτινестεράση απενεργοποιείται κατά μεγάλο ποσοστό (90%) με πίεση

600MPa σε θερμοκρασία δωματίου και δεν ενεργοποιείται ξανά κατά την αποθήκευση (Irwe and Olsson, 1994).

1.4 Εφαρμογές ΥΥΠ

Η επεξεργασία με ΥΥΠ μπορεί να επιφέρει σημαντικά θετικά αποτελέσματα σε πολλές κατηγορίες τροφίμων, δρώντας στιγμιαία και ομοιόμορφα στο προϊόν, διατηρώντας την ακεραιότητά του και τον αρχικό του όγκο, χωρίς να επηρεάζεται από το σχήμα, το μέγεθος ή την υφή του. Στην παγκόσμια βιομηχανία ήδη έχει εφαρμοσθεί σε ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, που αναφέρονται παρακάτω.

Σε προϊόντα όπως χυμοί φρούτων και λαχανικών, πουρέ, σούπες λαχανικών και smoothies, η υπερυψηλή πίεση επιτυγχάνει αύξηση της διάρκειας ζωής κατά 3 έως 10 φορές, ενώ η γεύση και το άρωμα τους συγκρίνονται με των φρέσκων προϊόντων. Τα υλικά συσκευασίας πρέπει να είναι εύκαμπτα για να επιτρέπεται η συμπίεση λόγω επεξεργασίας (π.χ. εύκαμπτα μπουκάλια, σακουλάκια, μικρά δοχεία κ.λπ.).

Στην κατηγορία των επεξεργασμένων προϊόντων κρέατος, μαγειρεμένα ή παρασκευασμένα, όπως ζαμπόν, καπνιστά και βραστά αλλαντικά κ.λπ., σε οποιαδήποτε μορφή, π.χ. σε ολόκληρο κομμάτι, φέτες, λωρίδες, μικρά κομμάτια κ.λπ. η τεχνολογία υπερυψηλής πίεσης αυξάνει τη διάρκεια ζωής των επεξεργασμένων προϊόντων κατά 2 έως 3 φορές, λόγω της καταπολέμησης παθογόνων και αλλοιωγόνων μικροοργανισμών που μπορούν να μεταβάλλουν το τρόφιμο. Η επεξεργασία σε συσκευασμένο προϊόν με συσκευασία μεμβράνης, υπό κενό ή τροποποιημένης ατμόσφαιρας. Τα υλικά συσκευασίας πρέπει να είναι εύκαμπτα ή ημι-εύκαμπτα (15-20%) για να επιτραπεί η συμπίεση λόγω επεξεργασίας.

Όσον αφορά τα γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως επιδόρπια, ροφήματα, κρέμες και τυριά, αυτά υπόκεινται σε υψηλή πίεση, διατηρώντας τις οργανοληπτικές τους ιδιότητες και τον αρχικό τους όγκο. Η διάρκεια ζωής τους αυξάνεται από 3 έως 10 φορές συγκριτικά με τα μη-επεξεργασμένα τρόφιμα που έχουν αποθηκευτεί στις ίδιες συνθήκες. Τα υλικά συσκευασίας πρέπει και σε αυτά τα προϊόντα να είναι εύκαμπτα, π.χ. μπουκάλια, δοχεία, σακουλάκια κ.λπ.

Στα θαλασσινά και στα ψάρια η επεξεργασία ΥΥΠ αφορά κατά κύριο λόγο την εξαγωγή της σάρκας από τα οστρακοειδή και τα μαλάκια, αλλά και την απολύμανση των προϊόντων που έχουν υποστεί επεξεργασία πριν από τη συσκευασία τους. Σήμερα, προϊόντα όπως στρείδια, μύδια, αστακοί, οι γαρίδες και διάφορα έτοιμα προς κατανάλωση ψάρια, υποβάλλονται σε βιομηχανική επεξεργασία χρησιμοποιώντας υψηλή πίεση. Η τεχνολογία ΥΥΠ μπορεί να αυξήσει από 2 έως 4 φορές τη διάρκεια ζωής των συγκεκριμένων τροφίμων, αυξάνοντας παράλληλα και την ασφάλειά τους.

Τέλος, στην αγορά τροφίμων συναντούμε επίσης και μεταποιημένα τρόφιμα τα οποία έχουν υποβληθεί στην τεχνολογία ΥΥΠ, που περιλαμβάνουν κοτοσαλάτες, ψητά κρέατα και φιλέτα, guacamole, gazpacho, σάλτες, κ.λπ.

Μια άλλη εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι η δημιουργία νέων υφών. Παραδοσιακά, κάποια συστατικά τροφίμων υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία για να πήξουν ή να ζελατινοποιηθούν. Μια εναλλακτική πρόταση για ζελατινοποίηση αποτελεί και η επεξεργασία ΥΓΠ, χωρίς δηλαδή να υποβληθούν σε υψηλή θερμοκρασία. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί η βελτίωση και τη δημιουργία νέων συνταγών, εισάγοντας στην αγορά πιο ελκυστικά για τον καταναλωτή προϊόντα.

1.4.1 Περισσότερες εφαρμογές της ΥΓΠ

Εκτός από τη βιομηχανία τροφίμων, η επεξεργασία ΥΓΠ διευρύνεται μέρα με τη μέρα σε ολόένα και περισσότερους βιομηχανικούς τομείς. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η βιοτεχνολογία υψηλής πίεσης, μια νέα τεχνική, η οποία ενώ αρχικά χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία τροφίμων, τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή στις ιατρικές και φαρμακευτικές επιστήμες. Η υψηλή πίεση μπορεί να σταθεροποιήσει τα ένζυμα και να διαμορφώσει τόσο τη δραστηριότητά τους όσο και την ειδικότητά τους. Από την πλευρά της μηχανικής, οι υψηλές πιέσεις μπορούν να βοηθήσουν στην ενζυμική σύνθεση χημικών ουσιών, φαρμάκων και τροποποιημένων πρωτεϊνών ιατρικού ή φαρμακευτικού ενδιαφέροντος.

Επίσης, καθώς η τεχνολογία ΥΓΠ μπορεί να απενεργοποιεί κάθε βιολογικό παράγοντα, μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματικό τρόπο αποστείρωσης ευαίσθητων βιοφαρμακευτικών ή ιατρικών ενώσεων. Ορισμένα βακτήρια και ιοί που θανατώθηκαν υπό πίεση, παρουσιάζουν αυξημένη ανοσογονικότητα, κι έτσι θα μπορούσαν με αυτό τον τρόπο να δημιουργηθούν νέα εμβόλια. Τέλος, η ΥΓΠ μπορεί να εφαρμοσθεί για την αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες χωρίς ψύξη κυττάρων, ζωικών ιστών, οργάνων μεταμόσχευσης κ.λπ.

1.5 Έρευνα σε φυτικά προϊόντα

1.5.1 Φρούτα και λαχανικά

1.5.1.1 Διατήρηση της ποιότητας

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι καταναλωτές έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην κατανάλωση φρέσκων προϊόντων, με υψηλούς δείκτες ποιότητας, δηλαδή οργανοληπτικές ιδιότητες, θρεπτικότητα και μικροβιολογική ασφάλεια, χωρίς παράλληλη προσθήκη πρόσθετων και συντηρητικών. Οι έντονοι ρυθμοί ζωής της σύγχρονης κοινωνίας καθιστούν τα φρεσκοκομμένα προϊόντα φρούτων ή λαχανικών μια έξυπνη και γρήγορη λύση κατανάλωσης υγιεινού φαγητού. Σαν κατηγορία τροφίμων όμως, είναι αρκετά ευαίσθητα προϊόντα και κινδυνεύουν από κασάνωση και μαλάκωμα, χαρακτηριστικά τα οποία δυσανασχετούν το καταναλωτικό κοινό. Λύση σε αυτό το ζήτημα αποτελούν τα ελάχιστα επεξεργασμένα τρόφιμα, τα οποία κερδίζουν διαρκώς έδαφος στην παγκόσμια αγορά, επιτρέποντας τη διατήρηση ζωντανών ιστών στα προϊόντα. Οι μη θερμικές τεχνικές, και

συγκεκριμένα η εφαρμογή ΥΥΠ, στοχεύει ακριβώς σε αυτό: στη διατήρηση της φρεσκάδας των προϊόντων, με παράλληλη διατήρηση της ασφάλειας.

Σε αυτή την κατεύθυνση, οι Denoya *et al.* (2016) μελέτησαν την επίδραση της ΥΥΠ σε διάφορα δομικά και βιοχημικά χαρακτηριστικά σε ροδάκινα και παρατήρησαν ότι η μικροδομή του τροφίμου διατηρήθηκε σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, ενώ η ενζυμική δραστηριότητα περιορίστηκε σημαντικά. Αν και κάποια χαρακτηριστικά των ζωντανών ιστών εν μέρει τροποποιήθηκαν, το φρούτο παρέμεινε φρέσκο σε μεγάλο βαθμό.

Σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα της συγκεκριμένης μεθόδου στα διάφορα προϊόντα παίζει ο καθορισμός των βέλτιστων συνθηκών επεξεργασίας, ανάλογα με το κάθε είδος τροφίμου. Πάνω σε αυτό το ζήτημα έχουν γίνει πολλαπλές έρευνες που αποδεικνύουν πως λανθασμένες συνθήκες επεξεργασίας μπορούν να επιφέρουν σημαντικά αρνητικές μεταβολές στο τελικό προϊόν. Για παράδειγμα, επεξεργασία σε ροδάκινα με εφαρμογή πίεσης 600 MPa για 5min, εκτός από αποτροπή της ενζυμικής καστανώσης, προσέφερε και μεγαλύτερη διατήρηση ασκορβικού οξέος και φαινολών στο επεξεργασμένο δείγμα, σε σχέση με το μη επεξεργασμένο. Από την άλλη μεριά, επεξεργασία του ίδιου προϊόντος με πίεση 700MPa, για 1 και 5min, προκάλεσε στα φρούτα σημαντική μείωση της σκληρότητας (Denoya *et al.* , 2017).

Οι διαφορετικές πειραματικές συνθήκες έδειξαν να επηρεάζουν και την αναπνοή των ιστών σπαραγγιών, σε μελέτη των Yi *et al.* (2016). Συγκεκριμένα, σε συνθήκες μέτριων πιέσεων (λιγότερο από 200MPa), ο ρυθμός παραγωγής CO₂ αυξήθηκε με αύξηση της πίεσης και αύξηση της χρονικής διάρκειας της εφαρμογής. Αντιθέτως, ενδείξεις αναπνοής υπήρχαν σε πιέσεις πάνω από 400MPa.

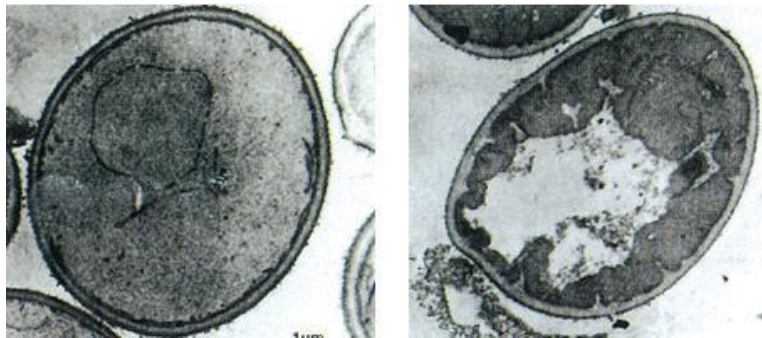
Επίσης, εφαρμογή 200-400MPa σε λωτούς για 3min στους 25°C και μετέπειτα αποθήκευση σε ψύξη, επέφερε αρνητικές επιδράσεις στην ακεραιότητα και μεταβολή της θέσης των καρτενοειδών και των τανινών κατά την αποθήκευση, καθώς και βλάβη στο κυτταρικό τοίχωμα και στη μεμβράνη, γεγονός που προκάλεσε τη διάχυση των διαλυτών ενώσεων. Επίσης, υπήρξαν αρκετές μεταβολές σε διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως στην υφή, στο χρώμα, στο pH, στα συνολικά διαλυτά στερεά, κ.λπ., ανάλογες με την εφαρμοζόμενη πίεση (Vazquez-Gutierrez *et al.* , 2016). Παρ' όλα αυτά, μετά από τις απαραίτητες τροποποιήσεις, θα μπορούσε η μέθοδος ΥΥΠ να αυξήσει την εκχυλιστικότητα κάποιων ουσιών, όπως τα καρτενοειδή ή να βελτιώσει τον πολυμερισμό των τανινών, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο θετικά στην βελτίωση της λειτουργικότητας και την απομάκρυνση της στυπτικότητας των καρπών.

Υπάρχουν βέβαια, αρκετές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα της εφαρμογής ΥΥΠ ανάμεσα σε διαφορετικά είδη φρούτων ή λαχανικών, ακόμα και ανάμεσα σε διαφορετικές ποικιλίες φρούτων ή λαχανικών. Μελετώντας την επίδραση της ΥΥΠ σε δυο διαφορετικές ποικιλίες ροδάκινου (τις *Prunus persicae* cv Flavorcrest και *Prunus persicae* cv. Romea), οι Denoya *et al.* (2017) διαπίστωσαν ότι η ποικιλία Romea είχε χαμηλότερη δραστηριότητα πολυφαινολοξειδάσης και υψηλότερη περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ και ολικές φαινόλες από ότι η Flavorcrest.

1.5.1.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Η επεξεργασία ΥΓΠ έχει την ικανότητα να αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς που ελαττώνουν τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος, επιδρώντας στη βιοποικιλότητά στους. Ένα παράδειγμα στους επίδρασης στους ΥΓΠ σε ζυμομύκητα φαίνεται στην εικ. 1.9. Επιπλέον, ο ακόλουθος πίνακας (πίν. 1.1) δείχνει στους πιο κοινούς παθογόνους μικροοργανισμούς διαφόρων φυτικών προϊόντων.

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους της επεξεργασίας των φρούτων και των λαχανικών, εκτός από τη μείωση της βιωσιμότητας των μικροβιακών πληθυσμών, είναι και η επίδραση στη δυναμική τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ελαχιστοποιώντας την ανάκτηση των επιζώντων μικροοργανισμών.



Εικόνα 1.9 Επιδράσεις στους υψηλής πίεσης σε ζυμομύκητα. Αριστερά: Πριν την επεξεργασία. Δεξιά: μετά από εφαρμογή πίεσης 600MPa στους 20°C για 10 λεπτά.

Η επίδραση των θεραπειών της HPP στη βιωσιμότητα των μικροβιακών πληθυσμών στα τρόφιμα επηρεάζει επίσης τη δυναμική των μικροβιακών πληθυσμών κατά την αποθήκευση των επεξεργασμένων τροφίμων.

Εφαρμόζοντας 600MPa για 8min σε θερμοκρασίες 22°C και 45°C σε ροδάκινα, οι Grande Burgos *et al.* (2016) παρατήρησαν ότι τα συνολικά αερόβια μεσόφιλα βακτήρια και οι ζυμομύκητες μειώθηκαν σημαντικά, ενώ παράλληλα καθυστέρησε κατά πολύ και η ανάκτηση των επιζώντων. Χαρακτηριστικό ήταν το γεγονός ότι ενώ στα δείγματα ελέγχου τα βακτήρια αυξήθηκαν σημαντικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (15 ημέρες), στα επεξεργασμένα με ΥΓΠ δείγματα παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του αριθμού των παθογόνων βακτηρίων και διατήρηση αυτών των χαμηλών επιπέδων και κατά τη διάρκεια της αποθηκευτικής περιόδου.

Το ίδιο ζήτημα μελετήθηκε και από τους Toledo Del Árbol *et al.* (2016), οι οποίοι μελέτησαν την εφαρμογή της ΥΓΠ σε κεράσια και τις επιδράσεις της μετά την επεξεργασία και κατά την αποθήκευση (60 ημέρες στους 4°C). Εφαρμογή 600MPa για 8min προκάλεσε μείωση των παθογόνων και της ενδογενούς μικροχλωρίδας συνολικά κατά 4,65 λογαριθμικούς κύκλους. Οι συγκεντρώσεις ζυμών και μυκήτων μειώθηκαν σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα. Βέβαια, στις 60 ημέρες παρατηρήθηκε μικροβιακή ανάπτυξη. Από τα βακτηριακά είδη που ανιχνεύθηκαν, τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην εφαρμογή πίεσης είχαν τα Proteobacteria, ενώ κατά την αποθηκευτική περίοδο σημαντική αύξηση είχαν τα

Glunobacter. Από την άλλη μεριά, η σχετική αφθονία των Enterobacteriaceae κατά την αποθήκευση μειώθηκε σημαντικά.

Πίνακας 1.1 Κύριοι παθογόνοι μικροοργανισμοί φρούτων & λαχανικών (Abadias *et al.*, 2012; FAO/WHO, 2008; Olaimat & Holley, 2012; Senorans *et al.*, 2003; Seow *et al.*, 2012; Van Boxtael *et al.*, 2013; Warriner, 2005; Zhao, 2005).

Παθογόνα	Προϊόντα
Βακτήρια	
<i>Clostridium botulinum</i>	Λάχανο, πιπεριές, σκόρδο, πατάτες, καρότα
<i>E. coli</i> O157:H7	Φύτρες αλάλφα, λάχανο, σέλινο, κόλιανδρος, καρότα, μαρούλι, λάχανο, μούρα, πεπόνια, χυμός μήλου
<i>L. monocytogenes</i>	Φύτρες φασολιών, λάχανο, κιχώριο, πεπόνια, μελιτζάνες, μαρούλι, πατάτες, ραπανάκια
<i>Salmonella spp.</i>	Φύτρες αλάλφα, αγκινάρες, φύλλα παντζαριού, σέλινο, λάχανο, πεπόνια, κουνουπίδι, μελιτζάνες, μάραθο, φρέσκα κρεμμυδάκια, μαρούλι, φύτρες φασολιών, κάρδαμο, πιπεριές, πράσινη σαλάτα, σπανάκι, μη παστεριωμένο χυμός φρούτων, τομάτες, καρπούζι, μάνγκο
<i>Shigella spp.</i>	Σέλινο, μαρούλι, φρέσκα κρεμμυδάκια, λαχανικά σαλάτας, μαϊντανός
<i>Staphylococcus spp.</i>	Μαρούλι, μαϊντανός, ραπανάκια, λαχανικά σαλάτας, λαχανάκια Βρυξελλών
<i>Vibrio cholerae</i>	Λάχανο και γάλα καρύδας
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Καρότα, αγγούρια, μαρούλι, τομάτες
Ιοί	
<i>Norovirus</i>	Μαρούλι, φρέσκα κρεμμυδάκια, νεροκάρδαμο, λαχανικά σαλάτας, φέτες πεπονιού, φέτες τομάτας, φρεσκοκομμένα φρούτα
<i>Hepatitis A</i>	Μαρούλι, φρέσκα κρεμμυδάκια, κάρδαμο, σμέουρα, κατεψυγμένες φράουλες, μούρα
Πρωτόζωα	
<i>Cryptosporidium spp.</i>	Μαρούλι, κρεμμύδια, φρέσκα κρεμμυδάκια
<i>Cyclospora spp.</i>	Μαρούλι, κρεμμύδια, φρέσκα κρεμμυδάκια, σμέουρα, βατόμουρα

Ενώ λοιπόν, παρατηρήθηκε μεγάλη ανθεκτικότητα των Proteobacteria απέναντι στην επεξεργασία ΥΥΠ στα κεράσια, στην περίπτωση των σπαραγγιών τα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο είδος βακτηρίων ήταν πιο ικανοποιητικά. Συγκεκριμένα, οι Toledo del Árbol *et al.* (2015a) εφάρμοσαν πάλι 600MPa για 8min και στη συνέχεια αποθήκευσαν κάποια δείγματα για 30 ημέρες στους 4°C και τα υπόλοιπα για 10 ημέρες στους 22°C. Η επεξεργασία ΥΥΠ επέφερε μείωση των μικροβιακών κυττάρων κατά 3.6 λογαριθμικούς κύκλους, ενώ οι επιζήσαντες πληθυσμοί δεν αυξήθηκαν καθόλου στα δείγματα που αποθηκεύτηκαν στους 4°C. Αρνητικά θεωρήθηκαν τα αποτελέσματα της ΥΥΠ για τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν στους 22°C, καθώς ο αριθμός των βακτηρίων αυξήθηκε σημαντικά από την 3η ημέρα, με αποτέλεσμα την ταχεία αλλοίωση των σπαραγγιών.

Όσον αφορά τα μη επεξεργασμένα δείγματα που αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης, οι γαλακτοβάκιλλοι αυξήθηκαν σημαντικά, σε αντίθεση με τα πρωτεοβακτήρια, τους εντερόκοκκους και τους λακτόκοκκους, όπου παρατηρήθηκε μείωση. Κατά την αποθήκευση των μη επεξεργασμένων δειγμάτων στους 22°C, η αφθονία του φύλου Bacteroidetes μειώθηκε, ενώ τα πρωτεοβακτήρια αυξήθηκαν. Αντίθετα, η εφαρμογή ΥΥΠ μείωσε τα πρωτεοβακτήρια και αμέσως μετά την επεξεργασία, αλλά και κατά την αποθήκευση στους

4°C. Τέλος, στα επεξεργασμένα δείγματα που αποθηκεύτηκαν στους 22°C, οι ψευδομονάδες μειώθηκαν σημαντικά από την πρώτη ημέρα, σε αντίθεση με τα *Bacteroidetes* που αυξήθηκαν σημαντικά. Ακολούθησε αύξηση των εντεροβακτηριδίων, με ταυτόχρονη αύξηση των επιζώντων μικροβίων και τελικά, αλλοίωση του προϊόντος.

Σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη καταπολέμηση των μικροοργανισμών στα επεξεργασμένα με ΥΥΠ προϊόντα παίζουν και οι θερμοκρασίες αποθήκευσης, οι οποίες φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων (ανάλογα πάντα και με τα επίπεδα της πίεσης που έχουν εφαρμοσθεί. Την απενεργοποίηση των συνολικών αερόβιων βακτηρίων, των βακτηρίων γαλακτικού οξέος και των ζυμομυκήτων σε κινέζικο ξυνολάχανο μελέτησαν οι Li *et al.* (2010), εφαρμόζοντας 200-600MPa για 10-30min, και αποθηκεύοντας τα δείγματα για 90 ημέρες σε θερμοκρασίες 4, 27 και 37°C. Τα χαμηλότερα επίπεδα πίεσης (δηλαδή τα 200MPa) δεν φαίνεται να είχαν σημαντική επίδραση στους μικροοργανισμούς, ενώ τα 400MPa και τα 600MPa μείωσαν σημαντικά τα ολικά αερόβια βακτήρια και τα βακτήρια γαλακτικού οξέος. Σχετικά με τις θερμοκρασιακές συνθήκες αποθήκευσης, στις θερμοκρασίες των 27 και 37°C και σε πίεση 400MPa, τα επίπεδα των ολικών αερόβιων βακτηρίων και των βακτηρίων γαλακτικού οξέος παρέμειναν στα αρχικά επίπεδα, σε αντίθεση με την αποθήκευση στους 4°C, όπου αναστάλθηκαν πλήρως. Οι ζυμομύκητες στα 400 και 600MPa μειώθηκαν κάτω από το ανιχνεύσιμο επίπεδο μετά από 2 ημέρες και στις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Στα 600MPa βέβαια, δεν υπήρξε καμία ανάκτηση των επιζώντων ολικών βακτηρίων και έτσι, αυτή η τιμή πίεσης αποτελεί και τη βέλτιστη τιμή για συντήρηση και μικροβιακή ασφάλεια του συγκεκριμένου προϊόντος.

1.5.1.3 Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με άλλες μεθόδους

1.5.1.3a Συνδυασμός με θερμική παστερίωση

Οι κόκκινες πιπεριές είναι μια εξαιρετική πηγή βασικών θρεπτικών ουσιών και βιοενεργών ενώσεων. Η επίδραση της ΥΥΠ σε συνδυασμό με θερμική παστερίωση στους 70°C για 10min, στην εκχυλιστικότητα βιοενεργών ουσιών και στην υφή μελετήθηκε από τους Hernández-Carrión *et al.* (2014a). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εφαρμογή 500MPa συνδυαστικά με θερμική παστερίωση είχε λιγότερη επίδραση στη μικροδομή, στην υφή του προϊόντος, αλλά και στην περιεκτικότητα βιοενεργών ουσιών, συγκριτικά με εφαρμογή χαμηλότερων πιέσεων. Κατά συνέπεια, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν νέα λειτουργικά τρόφιμα χρησιμοποιώντας κόκκινη πιπεριά, επεξεργασμένη με υψηλές πιέσεις (500MPa) ή/και θερμική παστερίωση.

Σε μια προσπάθεια καλύτερης και λεπτομερέστερης αξιολόγησης των αποτελεσμάτων αυτού του συνδυασμού τεχνικών στη μικροδομή των πιπεριών, οι Hernández-Carrión *et al.* (2014b) χρησιμοποίησαν ανάλυση εικόνας, χρησιμοποιώντας διάφορες μεγεθύνσεις (100 ×, 200× και 350×). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι όλοι οι συνδυασμοί πιέσεων που αξιολογήθηκαν προκάλεσαν δομικές τροποποιήσεις στη μικροδομή της κόκκινης πιπεριάς, αλλά η ΥΥΠ στα 500MPa μαζί με θερμική παστερίωση είχαν μικρότερο αντίκτυπο.

1.5.1.3b Συνδυασμός με συσκευασία υπό κενό

Η κασπάνωση κατά το άνοιγμα των συσκευασιών και κατά την έκθεση στον αέρα μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ποιότητα των φρέσκων προϊόντων. Γι' αυτό το λόγο, οι Denoga *et al.* (2014) μελέτησαν την επίδραση της ΥΥΠ σε συνδυασμό με συσκευασία υπό κενό για τη συντήρηση φρέσκων ροδάκινων.

Αρχικά λοιπόν, το προϊόν τεμαχισμένο σε κομμάτια τοποθετήθηκε σε διάλυμα ασκορβικού και κιτρικού οξέος για να ανασταλεί η ενζυμική κασπάνωση. Στη συνέχεια, κάποια δείγματα συσκευάστηκαν απλά υπό κενό και στα υπόλοιπα (εκτός από το δείγμα ελέγχου) εφαρμόστηκαν 500MPa για 5min συνδυαστικά με συσκευασία υπό κενό.

Μετά από 21 ημέρες, τα δείγματα στα οποία εφαρμόστηκε πίεση παρουσίασαν την καλύτερη υφή, ενώ παράλληλα είχαν σημαντικά χαμηλότερη περιεκτικότητα αιθανόλης και η δραστηριότητα της πολυφαινολοξειδάσης (PPO) είχε επίσης μειωθεί περισσότερο από τα υπόλοιπα δείγματα. Με αυτό τον τρόπο, οι Denoga *et al.* (2014) ανέστειλαν και την ενζυμική κασπάνωση, αλλά και τη ζύμωση στο προϊόν, δημιουργώντας τις βέλτιστες συνθήκες για την αποτελεσματική συντήρηση των ροδάκινων.

Σε άλλη μελέτη, οι Denoga *et al.* (2015) ασχολήθηκαν πιο λεπτομερώς με την απενεργοποίηση ενζύμων στα ροδάκινα, διατηρώντας παράλληλα την υφή και το χρώμα τους. Συγκεκριμένα, βελτιστοποίησαν το επίπεδο πίεσης (από 400 έως 600 MPa) και το χρόνο εφαρμογής(από 1 έως 9min). Τα φρούτα (τεμαχισμένα σε κυλινδρικό σχήμα) εμβαπτίστηκαν αρχικά σε διάλυμα οργανικού οξέος και στη συνέχεια, αφού συσκευάστηκαν υπό κενό, δέχθηκαν την εφαρμογή ΥΥΠ σε θερμοκρασία δωματίου. Γενικά, τα υψηλότερα επίπεδα πίεσης ήταν πιο αποτελεσματικά για την ενζυμική αδρανοποίηση και τη διατήρηση του χρώματος, από ό, τι οι χαμηλότερες πιέσεις σε μεγαλύτερους χρόνους εφαρμογής. Επιπλέον, η μικροδομή και η υφή των ιστών επηρεάστηκαν δυσμενώς από τις πιο χρονοβόρες διεργασίες. Σαν συμπέρασμα προέκυψε ότι οι βέλτιστες συνθήκες αυτού του συνδυασμού (ΥΥΠ και συσκευασίας υπό κενό) για το συγκεκριμένο προϊόν είναι η εφαρμογή 585MPa για 1min.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για την αποφυγή της κασπάνωσης στα φρέσκα φρούτα είναι, μαζί με τον συνδυασμό ΥΥΠ και συσκευασίας υπό κενό, η χρήση του χυμού ανανά. Με αυτό τον τρόπο τα φρούτα επιτυγχάνεται διατήρηση της φρεσκάδας για αρκετές ώρες, ακόμα και σε συνθήκες περιβάλλοντος και γενικότερα, μπορεί να εξασφαλισθεί αποτελεσματική συντήρηση των φρούτων και προϊόντα υψηλής ποιότητας.

Μήλα Granny Smith και Pink Lady, τεμαχισμένα σε κύβους, εμβαπτίστηκαν σε χυμό ανανά και στη συνέχεια, συσκευάστηκαν υπό κενό και υποβλήθηκαν σε πίεση 600MPa για 1-5min στους 22°C (Perera *et al.* , 2009). Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης 4 εβδομάδων στους 4°C των συσκευασμένων δειγμάτων, δεν παρατηρήθηκαν ορατές αλλαγές χρώματος. Η υφή και η μεταβολή του χρώματος μετά από έκθεση στον αέρα για 5 ώρες, επηρεάστηκαν σημαντικά από την ποικιλία μήλου και τις συνθήκες επεξεργασίας. Ο συνδυασμός των μεθόδων μείωσε σημαντικά την υπολειμματική δραστηριότητα της PPO, ενώ η δράση της PME δεν επηρεάστηκε και στις δύο ποικιλίες.

1.5.1.4 Άλλες χρήσεις της ΥΥΠ

1.5.1.4a Ξήρανση

Η συντήρηση των νωπών προϊόντων με τη βοήθεια της ξήρανσης χρονολογείται από την αρχαιότητα και εξακολουθεί να αποτελεί μια αποτελεσματική και απαραίτητη τεχνική. Η συμβατική ξήρανση των φρούτων και των λαχανικών συνοδεύεται συχνά από αλλαγές σε οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως το χρώμα, την υφή και τη γεύση. Διάφορες κατάλληλες προκαταρκτικές επεξεργασίες μπορούν να βελτιώσουν τη διαδικασία ξήρανσης μειώνοντας το χρόνο στεγνώματος, αποδίδοντας προϊόντα υψηλότερης ποιότητας και εξοικονομώντας ενέργεια. Ένα παράδειγμα τεχνικής που μπορεί να παίξει αυτό το ρόλο είναι και η ΥΥΠ.

Διάφοροι συνδυασμοί πίεσης, χρόνου και θερμοκρασίας (100-300MPa για 5-45min στους 20 και 35°C) εφαρμόστηκαν από τους Yucel *et al.* (2010) σε μήλα, πράσινα φασόλια και καρότα πριν από τη διαδικασία της ξήρανσης. Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε ξηραντήρας σήραγγας θερμού αέρα σε θερμοκρασίες 27-85°C και ταχύτητες αέρα 0,4 και 0,8m/s με σταθερές εξωτερικές συνθήκες. Γενικά, πιέσεις μεγαλύτερες των 100MPa αύξησαν τη διαπερατότητα των κυττάρων, αυξάνοντας έτσι τις ταχύτητες ξήρανσης και γενικότερα, βελτίωσαν τις συνθήκες ξήρανσης.

1.5.1.4b Απομάκρυνση των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων

Το chlorpyrifos ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$) είναι μια χημική ένωση που χρησιμοποιείται γενικά ως εντομοκτόνο ευρέος φάσματος για τον έλεγχο παρασίτων στην παραγωγή λαχανικών. Δυστυχώς όμως, τα επίπεδα της ένωσης που απομένουν τελικά πάνω στα προϊόντα είναι πολύ υψηλά.

Η μείωση του chlorpyrifos με τη βοήθεια της επεξεργασίας ΥΥΠ μελετήθηκε από τους Iizuka *et al.* (2013), εφαρμόζοντας στα δείγματα διάφορα επίπεδα πίεσης (0.1-400MPa), σε δυο διαφορετικές θερμοκρασίες (5 or 25°C) για 30min. Οι βέλτιστες συνθήκες ΥΥΠ για τη μείωση του chlorpyrifos ήταν περίπου 75MPa στους 5°C, με ρυθμό απομάκρυνσης περίπου 75%. Αυτός ο ρυθμός απομάκρυνσης είναι ελαφρώς υψηλότερος από άλλες θεραπείες όπως η διαβροχή σε διάλυμα αιθανόλης και υπερήχων. Παράλληλα, επιτυγχάνεται διατήρηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, όπως το χρώμα, το μέγεθος και το σχήμα. Τέλος, με τις συγκεκριμένες πειραματικές συνθήκες, δεν εντοπίστηκαν τοξικά ενδιάμεσα στα εκχυλίσματα των καρπών.

1.5.2 Χυμοί

Η επεξεργασία ΥΥΠ είναι μια τεχνολογία η οποία, ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας, μπορεί και επιτυγχάνει πλήρη ή μερική απενεργοποίηση μικροοργανισμών και ενζύμων (U.S. FDA 2000; Chakraborty and others 2014; Koutchma 2014). Οι κυριότερες

παράμετροι που επηρεάζουν την αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα της ΥΥΠ είναι η εφαρμοζόμενη πίεση, η θερμοκρασία, ο χρόνος έκθεσης, οι ιδιότητες του προϊόντος, ο τύπος της συσκευασίας και η ανθεκτικότητα στην πίεση του κάθε μικροοργανισμού.

Σύμφωνα με τον Αμερικανικό Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA), η χρήση ΥΥΠ στην επεξεργασία χυμών είναι απολύτως ασφαλής, με την προϋπόθεση ότι επιτυγχάνεται μείωση του σχετικού παθογόνου παράγοντα κατά 5 λογαριθμικού κύκλους (FDA, U.S., 2004). Γενικά, σε χαμηλές ή ήπιες θερμοκρασιακές συνθήκες, η ΥΥΠ διατηρεί τις πολύτιμες ιδιότητες ποιότητας των φρέσκων χυμών, δηλαδή τις βιταμίνες, τα αντιοξειδωτικά, το χρώμα, το άρωμα και τη γεύση.

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες διάφορων χυμών, μαζί με τις παραμέτρους της επεξεργασίας ΥΥΠ, συνοψίζονται στον πίνακα 1.2.

1.5.2.1 Διατήρηση της ποιότητας

Οι βιοενεργές ενώσεις, όπως οι ανθοκυανίνες και οι πολυφαινόλες, επηρεάζονται αμέσως από εξωγενείς παράγοντες όπως το οξυγόνο, το φως, το pH και τη θερμοκρασία. Η εφαρμογή ΥΥΠ στοχεύει στη διατήρηση των πολυφαινολών και των ανθοκυανινών σε υψηλά επίπεδα. Γενικά, η συνολική περιεκτικότητα ανθοκυανινών αποτελεί συχνά δείκτη πρόβλεψης της διάρκειας ζωής του χυμού, λόγω της μεγαλύτερης ευαισθησίας που έχουν στη θερμοκρασία αποθήκευσης του ότι συμβάλλου, αλλά και γιατί συμβάλλουν δραστικά στην αποδοχή του προϊόντος από τους καταναλωτές.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής ΥΥΠ στην περιεκτικότητα πολυφαινολών και ανθοκυανινών του χυμού ροδιού μελετήθηκαν από τους Ferrari *et al.* (2011). Τα προϊόντα υποβλήθηκαν σε πίεση 400 MPa, στους 25°C για 5min, και αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης για 3 μήνες. Γενικά, η περιεκτικότητα ανθοκυανινών και πολυφαινολών φάνηκε να επηρεάζεται από τις συνθήκες επεξεργασίας και τις συνθήκες αποθήκευσης. Επεξεργασία ΥΥΠ σε μέτριες θερμοκρασίες προάγει την δυνατότητα εξαγωγής χρωστικών ουσιών και αυξάνει την περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες. Τα αποτελέσματα των Ferrari *et al.* (2011) επιβεβαιώνουν τη δυνατότητα της ΥΥΠ για συντήρηση προϊόντων που είναι πλούσια σε θερμο-ευαίσθητα και θρεπτικά συστατικά.

Στην ίδια κατεύθυνση, Subasi & Alpas (2016) μελέτησαν τα αποτελέσματα υψηλών πιέσεων σε διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε χυμό από ρόδι. Συγκεκριμένα, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε 200, 300, 400MPa, στους 5°C, 15°C και 25°C για 5 και 10min. Για όλες τις θερμοκρασίες επεξεργασίας, σε όλες οι εφαρμογές πιέσεων δεν παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της αντιοξειδωτικής δράσης, της συνολικής φαινολικής περιεκτικότητας και των συγκεντρώσεων ανθοκυανινών, ενώ παρατηρήθηκε σημαντική μείωση ($p \leq 0.05$) όλων των παραπάνω σε δείγματα που είχαν υποστεί θερμική επεξεργασία (85°C για 10min).

Η ΥΥΠ σε θερμοκρασία δωματίου βελτιώνει την ποιότητα του χυμού ροδιού, αυξάνοντας την ένταση του κόκκινου χρώματος και διατηρώντας το περιεχόμενο των φυσικών ανθοκυανινών (Ferrari *et al.*, 2010). Η υπολειμματική δραστηριότητα μερικών ενζύμων στο τέλος της διαδικασίας, όπως η πολυφαινολοξειδάση (PPO), μπορεί να προκαλέσει την αποικοδόμηση των λειτουργικών ενώσεων, όπως παρατηρείται σε συγκεκριμένες συνθήκες

επεξεργασίας, υποδηλώνοντας έτσι ότι ο βέλτιστος συνδυασμός των παραμέτρων επεξεργασίας θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την αποικοδόμηση των βιοενεργών ενώσεων, αλλά και την ενζυμική δράση.

Η επίδραση της ΥΥΠ στη διάρκεια ζωής ανασυσταμένου χυμού πορτοκαλιού εξετάστηκε από τους Polydera *et al.* (2003). Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν 500MPa στους 35°C για 5min και χρησιμοποιήθηκαν φιάλες από πολυπροπυλενίου και ελασματοποιημένες σακούλες, ενώ ακολούθησε αποθήκευση στους 0-15°C. Τα αποτελέσματα έδειξαν χαμηλότερα ποσοστά αποικοδόμησης ασκορβικού οξέος για τον ΥΥΠ -χυμό, άρα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με θερμικά παστεριωμένο χυμό (80°C, 30s). Η μοντελοποίηση της κινητικής απέδειξε υψηλή εξάρτηση της θερμοκρασίας από την απώλεια του ασκορβικού οξέος για το επεξεργασμένο με ΥΥΠ προϊόν όπως εκφράζεται από τις τιμές ενεργειακής ενεργοποίησης (61,1 και 43,8kJ/mol αντιστοίχως για εμφιαλωμένους χυμούς υψηλής πίεσης και θερμικής επεξεργασίας). Με βάση την κατακράτηση του ασκορβικού οξέος, η αύξηση της διάρκειας ζωής του χυμού ΥΥΠ που φυλάσσεται σε φιάλες συγκριτικά με τον θερμικά παστεριωμένο κυμάνθηκε από 11% (αποθήκευση στους 15°C) έως 65% (αποθήκευση στους 0°C). Οι αντίστοιχες τιμές αύξησης της διάρκειας ζωής για τους χυμούς σε σακουλάκια ήταν 24% και 57%. Το χρώμα δεν έδειξε να επηρεάζεται σημαντικά από τον τύπο της επεξεργασίας. Τέλος, ο χυμός ΥΥΠ είχε υψηλότερες τιμές ιζώδους, ενώ τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά ήταν ανώτερα.

Εκτός από τους προαναφερθέντες, και οι Varela-Santos *et al.* (2011) μελέτησαν την επίδραση της ΥΥΠ (350-550MPa για 30, 90 και 150 δευτερόλεπτα) στις φυσικοχημικές και βιοενεργές ενώσεις του χυμού ροδιού κατά τη διάρκεια 35 ημερών αποθήκευσης στους 4°C. Τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων μετρήσεων παρουσίασαν μια ελαφρά μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ η περιεκτικότητα των φαινολών φάνηκε σημαντικά αυξημένη ($p < 0,05$) για τα επεξεργασμένα δείγματα, συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα, την ημέρα 0. Η συνολική διαφορά χρώματος (ΔE) των επεξεργασμένων δειγμάτων ήταν σημαντικά μειωμένη ($P < 0,05$) κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα. Η μεγαλύτερη διαφορά χρώματος παρατηρήθηκε την 35η ημέρα στα δείγματα που υποβλήθηκαν σε 550MPa για 90s. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν σαφώς ότι η σταθερότητα χρώματος του χυμού ροδιού εξαρτάται από τις συνθήκες επεξεργασίας. Κατά τη διάρκεια των πρώτων 15 ημερών, το pH, °Bx και η τιτλοδοτούμενη οξύτητα δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από την επεξεργασία ΥΥΠ.

Σύμφωνα με τους Chen *et al.*, (2012) εφαρμογή 400MPa για 5min σε χυμό ρόδι είχε ως αποτέλεσμα σημαντική διατήρηση του αρχικού χρώματος του χυμού, της περιεκτικότητας ανθοκυανινών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας, καθώς και υψηλά ποσά ολικών φαινολών αμέσως μετά την επεξεργασία. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, το χρώμα μεταβλήθηκε και η αντιοξειδωτική ικανότητα, η περιεκτικότητα ανθοκυανινών, ολικών φαινολών μειώθηκαν. Το pH, τα συνολικά διαλυτά στερεά και η τιτλοδοτούμενη οξύτητα δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές μετά την επεξεργασία και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

Ο χυμός φράουλας απαιτεί και αυτός αυστηρή επεξεργασία και κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης για να προστατεύσει την ποιότητά του. Τα αποτελέσματα της επίδρασης των

υψηλών πιέσεων (600MPa για 4min, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης 6 μηνών στους 4 και 25°C)σε θολό και διαυγή χυμό φράουλας, ερευνήθηκαν από τους Cao *et al.* (2012). Με την αποθήκευση στους 4°C, παρατηρήθηκε μείωση του ασκορβικού οξέος, των ανθοκυανινών και των ολικών φαινολών και στο θολό και στο διαυγή χυμό, ενώ η αντιοξειδωτική ικανότητα και των δυο χυμών μειώθηκε κατά πολύ λίγο (λιγότερο από 10%). Η μείωση των παραπάνω δεικτών για την αποθήκευση στους 25°C ήταν σχεδόν διπλάσια. Οι δείκτες φωτεινότητας (L*) και κόκκινου χρώματος (a*) και στους δύο χυμούς στους 25°C ήταν σημαντικά χαμηλότεροι από ό, τι στους 4°C, ενώ η συνολική διαφορά χρώματος (ΔE) και ο βαθμός καστανώσης (BD) ήταν σημαντικά υψηλότερα. Παράλληλα, η τιμή του ιξώδους μειώθηκε και στους δυο χυμούς μετά την αποθήκευση και στις δυο διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες.

Όσον αφορά την απενεργοποίηση των πηκτινολυτικών ενζύμων, οι Katsaros *et al.* (2010) μελετώντας την απενεργοποίηση της PME σε φρέσκο πορτοκαλοχυμό, σε συνθήκες υψηλής πίεσης (100-500MPa) σε συνδυασμό με μέτρια θερμοκρασία (20-40°C), παρατήρησαν ότι αυτή ακολούθησε κινητική πρώτης τάξης με υπολειμματική δραστηριότητα PME (15%) για κάθε συνδυασμό πίεσης και θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκε. Η πίεση και η θερμοκρασία βρέθηκαν να έχουν συνεργιστική δράση για την απενεργοποίηση της PME, ενώ οι προτεινόμενες συνθήκες διεργασίας για ψυχρή παστερίωση του πορτοκαλοχυμού από την Valencia είναι 350MPa στους 35°C για 2min.

1.5.2.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Η επίδραση της ΥΥΠ και συγκεκριμένα 350-550MPa για 30, 90 και 150 δευτερόλεπτα στη μικροβιακή ποιότητα του χυμού από ρόδι κατά τη διάρκεια 35 ημερών αποθήκευσης στους 4°C αξιολογήθηκε από τους Varela-Santos *et al.* (2011). Τα μικροβιολογικά αποτελέσματα έδειξαν ότι επεξεργασία με ΥΥΠ σε 350MPa και πάνω, για 150 δευτερόλεπτα οδήγησε σε μείωση του μικροβιακού φορτίου γύρω από 4.0 λογαριθμικούς κύκλους και αυτό ήταν αρκετό για να διατηρηθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί κάτω από το όριο ανίχνευσης καθ' όλη την περίοδο αποθήκευσης. Συνεπώς, αυτές οι επεξεργασίες ήταν ικανές να επεκτείνουν τη μικροβιολογική διάρκεια ζωής του χυμού ροδιού για περισσότερο από 35 ημέρες.

Από την άλλη μεριά, οι Subasi & Alpas (2017) εφάρμοσαν 200, 300 και 400MPa επίσης σε χυμό από ρόδι, σε θερμοκρασίες 5°C, 15°C και 25°C, για 5 και 10min, στοχεύοντας στη μικροβιακή αδρανοποίηση των δειγμάτων, έναντι συμβατικής θερμικής επεξεργασίας (85°C για 10min) και μη-επεξεργασμένου δείγματος. Και για τις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες επεξεργασίας, τα 400MPa για 10min ήταν αρκετά για να μειώσουν το μικροβιακό φορτίο γύρω από 4.0 λογαριθμικούς κύκλους. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Chen *et al.*, (2013), οι οποίοι έλαβαν για το ίδιο είδος χυμού ικανοποιητικά αποτελέσματα σε μικρότερο χρόνο επεξεργασίας (5min).

Την κινητική αδρανοποίησης δύο ανθεκτικών στη πίεση βακτηρίων γαλακτικού οξέος (LAB) *Lactobacillus plantarum* και *Lactobacillus brevis* σε φρέσκο χυμό πορτοκάλι Valencia υπό ΥΥΠ (100-500MPa) σε συνδυασμό με μέτρια θερμοκρασία (20-40°C) μελέτησαν οι Katsaros

et al. (2010). Η ενεργοποίηση και ο όγκος ενεργοποίησης εκτιμήθηκαν σε κάθε πίεση και σε θερμοκρασία, αντίστοιχα. Οι τιμές που προέκυψαν ήταν 90kJ/mol και -30mL/mol σε πίεση αναφοράς 300MPa και θερμοκρασία αναφοράς 35°C, αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες τιμές zT και zP της απενεργοποίησης LAB εκτιμήθηκαν επίσης σε όλες τις συνθήκες που εξετάστηκαν. Οι τιμές 19,5°C και 95MPa σε πίεση αναφοράς 300MPa και θερμοκρασία αναφοράς 30°C εκτιμήθηκαν αντιστοίχως για το *L. plantarum*, ενώ οι αντίστοιχες τιμές για το *L. brevis* ήταν 40°C και 82MPa, αντίστοιχα, στις ίδιες συνθήκες αναφοράς. Η πίεση και η θερμοκρασία φάνηκε να έχουν συνεργιστική δράση, ενώ οι προτεινόμενες συνθήκες ψυχρής παστερίωσης του πορτοκαλοχυμού από την Valencia ήταν 350MPa στους 35°C για 2min.

1.5.2.3 Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με άλλες μεθόδους

1.5.2.3a Συνδυασμός με θερμική παστερίωση

Το βακτήριο *Alicyclobacillus acidoterrestris* έχει προταθεί ως δείκτης αναφοράς στο σχεδιασμό της παστερίωσης φρούτων υψηλής οξύτητας, λόγω της αντίστασης των σπορίων και της αλλοίωσης που συμβαίνει στους χυμούς φρούτων. Δεδομένης αυτής της αλλοίωσης των προϊόντων και των οικονομικών απωλειών που οφείλονται στον *A. Acidoterrestris* στη βιομηχανία χυμών, οι Silva *et al.* (2012) διερεύνησαν τις επιδράσεις του συνδυασμού ΥΠΠ (200-600MPa) με ήπια θερμοκρασία (45-65°C) για 1-15min, για την αδρανοποίηση των σπορίων αυτού του βακτηρίου σε χυμό πορτοκαλιού. Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο υψηλότερη ήταν η θερμοκρασία, η πίεση και η χρονική διάρκεια της επεξεργασίας, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η αδρανοποίηση του *A. Acidoterrestris*. Με 600MPa στους 45°C τα σπόρια αδρανοποιήθηκαν πλήρως, ενώ χρειάστηκαν μόνο 200MPa για τη μείωση του αριθμού τους. Τελικά, η επεξεργασία ΥΥΠ σε συνδυασμό με χαμηλότερες θερμοκρασίες (45-65°C) από τη συμβατική θερμική επεξεργασία (85-95 °C) χωρίς πίεση επέτρεψε την αδρανοποίηση σπορίων *A. Acidoterrestris*, καλύτερη συντήρηση και υψηλότερη ποιότητα στο προϊόν.

Στην ίδια κατεύθυνση, οι Uchida *et al.* , (2016) συνδύασαν 600MPa με ήπια θερμότητα (35-65°C) σε υγρό εκχύλισμα βύνης που ρυθμίστηκε σε 10, 20 και 30°Bx. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν επικυρώθηκαν με χυμούς φρούτων και συμπυκνώματα. Ο συνδυασμός της ΥΥΠ με ήπια παστερίωση αποτελεί μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση έναντι της συμβατικής θερμικής επεξεργασίας για την αδρανοποίηση των σπορίων *A. Acidoterrestris* στους χυμούς μέχρι 30°Bx, επιτρέποντας τη χρήση χαμηλότερων θερμοκρασιών για την ίδια μικροβιακή αδρανοποίηση, εξασφαλίζοντας όμως παράλληλα πιο θρεπτικούς, πιο φρέσκους και πιο γευστικούς χυμούς.

1.5.2.3b Συνδυασμός με θερμική παστερίωση και νισίνη

Ακόμα μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση του συνδυασμού της ΥΥΠ με θερμική παστερίωση είναι και η προσθήκη του συντηρητικού «νισίνη». Οι Zhao *et al.* (2012) εφάρμοσαν 400MPa

για 4min και 500MPa για 2min, συνδυαστικά με θερμική παστερίωση στους 85°C για 15 δευτερόλεπτα, με παράλληλη προσθήκη νισίνης (100IU/mL) σε δείγματα χυμού αγγουριού και στη συνέχεια αποθήκευσαν τα δείγματα για ημέρες στους 4°C. Οι ζύμες και οι μύκητες αδρανοποιήθηκαν πλήρως σε όλες τις πιθανές συνθήκες πίεσης και τα επίπεδα τους ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης κατά την αποθήκευση. Επίσης, η νισίνη μαζί με την ΥΥΠ και τη θερμική παστερίωση είχαν συνεργιστική επίδραση στην απενεργοποίηση των ολικών αερόβιων βακτηρίων. Τέλος, η διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του χυμού κατά την αποθήκευση ήταν σημαντικά υψηλότερη από δείγματα που παστεριώθηκαν μόνο θερμικά, ενώ ο συνδυασμός 500MPa για 2min με 100IU/mL νισίνη εξασφάλισε αύξηση της διάρκειας αποθήκευσης συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα.

1.5.2.3c Συνδυασμός με υπερκρίσιμο CO₂

Το υπερκρίσιμο CO₂ και η ΥΥΠ συνδυάστηκαν από τους Porębska *et al.* (2016), με σκοπό την αναστολή της βλάστησης σπορίων του *A. Acidoterrestris*. Τα σπόρια αιωρήθηκαν σε χυμό μήλου, προστέθηκε στο δείγμα υπερκρίσιμο CO₂, και στη συνέχεια εφαρμόστηκαν 60MPa στους 50-75°C για 20-40min και 300MPa στους 50-75°C για 5-15min. Αν και κάποια στελέχη έδειξαν κάποια ανθεκτικότητα στον συγκεκριμένο συνδυασμό, οι Porębska *et al.* (2016) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι εφαρμογή ΥΥΠ μαζί με υπερκρίσιμο CO₂ συνδυαστικά με μέτρια αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να είναι μια χρήσιμη τεχνική για την απενεργοποίηση των σπορίων *A. Acidoterrestris* σε χυμούς.

1.5.2.3d Συνδυασμός με φωτοκατάλυση (TiO₂-UV)

Η επίδραση του συνδυασμού ΥΥΠ με φωτοκατάλυση TiO₂-UV (TUVP) στη μικροβιακή απενεργοποίηση διερευνήθηκε από τους Shahbaz *et al.* (2015) σε εμπορικό χυμό μήλου. Γενικά, φαίνεται να υπήρξε συνεργιστική δράση ανάμεσα στην υψηλή πίεση στη διαδικασία της φωτοκατάλυσης με TiO₂-UV, καθώς ο συνδυασμός τους απενεργοποίησε πλήρως τα θετικά κατά Gram βακτήρια, τη *Listeria monocytogenes* και τον *Staphylococcus aureus* που υπήρχαν στα δείγματα, κάτι που δεν κατάφερε μεμονωμένα η εφαρμογή υψηλής πίεσης. Αντίστοιχα αποτελέσματα υπήρξαν και όσον αφορά την αδρανοποίηση των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων, του *Escherichia coli* O157:H7, του *Saccharomyces cerevisiae* και της *Salmonella Typhimurium*.

1.5.2.4 Άλλες χρήσεις της ΥΥΠ

1.5.2.4a Υποβάθμιση των τοξινών

Στην προσπάθεια να μελετηθεί το ζήτημα της μείωσης της πατουλίνης στους εμπορεύσιμους χυμούς, οι Hao *et al.* (2015) εισήγαγαν τη συγκεκριμένη τοξίνη σε διάφορα είδη χυμών, στους οποίους εφαρμόστηκε ΥΥΠ. Το μέγεθος της μείωσης της πατουλίνης

φάνηκε να εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη πίεση και το χρόνο επεξεργασίας. Σαν συμπέρασμα, μπορούμε να πούμε ότι η ΥΥΠ μπορεί να εφαρμοστεί ως εργαλείο διαχείρισης κινδύνου για τον έλεγχο της πατουλίνης σε χυμούς με βάση το μήλο, και γενικότερα για τον έλεγχο μυκοτοξινών στους χυμούς, αν και το μέγεθος της απομάκρυνσής τους εξαρτάται από τις συνθήκες επεξεργασίας και τη σύνθεση του χυμού.

1.5.3 Πούλπες

1.5.3.1 Διατήρηση της ποιότητας

Η πούλπα είναι ένας πολτός φρούτων που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων για την παρασκευή φρουτοχυμών και μαρμελάδων.

Το μάνγκο φημίζεται παγκοσμίως για το μοναδικό του άρωμα, τη γεύση του και την υψηλή διατροφική του αξία. Οι περισσότερες συμβατικές τεχνικές συντήρησης του μάνγκο περιλαμβάνουν κυρίως τη χρήση θερμικών διεργασιών, κάτι που επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η χρήση ΥΥΠ μπορεί να εξασφαλίσει μικροβιολογική ασφάλεια και διατήρηση αυτών των μοναδικών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και άρα, ένα ποιοτικά ανώτερο προϊόν.

Η επίδραση υψηλών πιέσεων στο χρώμα και τα βιοχημικά χαρακτηριστικά της πούλπας από μάνγκο μελετήθηκε από τους Kaushik *et al.* (2013). Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν 100 έως 600MPa για 1s έως 20min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$). Σε αυτές τις συνθήκες υπήρξε σημαντική μεταβολή του χρώματος της πούλπας, ενώ υπήρξε υψηλή διατήρηση του ασκορβικού οξέος, των ολικών φαινολικών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας (σε σχέση με τις αρχικές τους τιμές, πριν δηλαδή από την επεξεργασία). Εφαρμογή 600MPa για 5min ήταν οι βέλτιστες συνθήκες για τη συντήρηση του προϊόντος, με πολύ μικρές μεταβολές στην ποιότητα του προϊόντος.

Αύξηση των ανθοκυανινών και των ολικών φαινολικών ύστερα από ΥΥΠ σε πούλπα από μούρα παρατήρησαν και οι Liu *et al.*, (2016a). Συγκεκριμένα, σε σύγκριση με φρέσκα αλλά και θερμικά επεξεργασμένα δείγματα, προέκυψε ότι χαμηλότερες πιέσεις (400MPa) για μεγάλο χρονικό διάστημα (20min) απέδωσαν υψηλότερα περιεχόμενα ανθοκυανινών και φαινολών και ισχυρότερες αντιοξειδωτικές ικανότητες στα επεξεργασμένα δείγματα, από ό,τι υψηλότερες πιέσεις (600MPa) για μικρότερο χρόνο (10min). Ακόμη, η δράση της πολυφαινολοξειδάσης (PPO) και της υπεροξειδάσης (POD) ενεργοποιήθηκε στα 200MPa, και μειώθηκε στα 400-600MPa.

1.5.3.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Τα αποτελέσματα της ΥΥΠ στη μικροβιακή καταπολέμηση της πούλπας από μάνγκο, μελέτησαν οι Pulido *et al.* (2016). Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε 600MPa για 8min και αποθηκεύτηκαν σε συνθήκες ψύξης για 30 ημέρες. Γενικά, η επεξεργασία ΥΥΠ μείωσε τον αριθμό των βιώσιμων μικροβίων, συγκριτικά με τα δείγματα του μάρτυρα. Κατά την

αποθηκευτική περίοδο όμως, παρατηρήθηκαν περίπλοκες μεταβολές στους βακτηριακούς πληθυσμούς. Στα επεξεργασμένα δείγματα παρατηρήθηκε μια σχετική αύξηση των πρωτεοβακτηρίων και μια αρκετά καθυστερημένη ανάκτηση των *Firmicutes* και των *Actinobacteria*. Τέλος, ανιχνεύθηκαν και γαλακτοβάκιλλοι, σε μικρότερες ποσότητες όμως από τον μάρτυρα.

Από την άλλη μεριά, οι Kaushik *et al.* (2014) κατέγραψαν για το ίδιο προϊόν, θετικότερα αποτελέσματα για την μικροβιακή αδρανοποίηση της φυσικής μικροχλωρίδας της πούλπας, συμπεραίνοντας ότι επεξεργασία με 600MPa για 5min πέτυχε πολύ μειωμένα ποσά μικροοργανισμών. Επίσης, παρατήρησαν ότι τα κολοβακτηρίδια της πούλπας φάνηκαν να είναι αρκετά ευαίσθητα στην ΥΥΠ, σε αντίθεση με τις ζύμες και τους μύκητες επέδειξαν έντονη ανθεκτικότητα.

1.5.3.3 Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με άλλες μεθόδους

1.5.3.3a Συνδυασμός με ένζυμα

Το Okara είναι ένα φθινό και πλούσιο σε διαιτητικές ίνες υποπροϊόν σόγιας με πιθανή πρεβιοτική δράση. Στόχος των Pérez-López *et al.* (2016) ήταν η αύξηση των διαλυτών και μείωση του μοριακού βάρους των υδατανθράκων, με συνδυαστική εφαρμογή ΥΥΠ και επεξεργασίας με ένζυμα τροφίμων (Ultraflo[®] L ή Viscozyme[®] L . Διαπιστώθηκε ότι και τα δύο ένζυμα βελτίωσαν την επίδραση της ΥΥΠ, ενώ συγκεκριμένα εφαρμογή 600MPa, στους 40°C για 30min πέτυχε σημαντική μείωση του μέσου μοριακού βάρους των πολυσακχαριτών. Συμπερασματικά, χρήση των ενζύμων Ultraflo[®] L (για 15min) και Viscozyme[®] L (για 30min) στα 600MPa ήταν οι πιο αποτελεσματικές επεξεργασίες.

1.5.3.3b Συνδυασμός με εντεροσίνη AS-48

Η πούλπα του φρούτου τσιριμόγια (*Annona cherimola*) εμβολιάστηκε με επιφυτική μικροχλωρίδα και συμπληρώθηκε με εντεροσίνη AS-48 (50μg/g), ενώ στη συνέχεια συσκευάστηκε υπό κενό (Pulido *et al.*, 2014). Έπειτα, τα δείγματα δέχθηκαν επεξεργασία ΥΥΠ 600MPa για 8min και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στους 5°C για 30 ημέρες. Στα δείγματα που συμπληρώθηκαν μόνο με την εντεροσίνη AS-48, χωρίς να ακολουθήσει ΥΥΠ, καθυστέρησε σε μικρό βαθμό η μικροβιακή ανάπτυξη. Η επεξεργασία ΥΥΠ, χωρίς την εισαγωγή της εντεροσίνης AS-48 στα δείγματα, πέτυχε μεν μείωση των μικροβιακών πληθυσμών κατά 5 λογαριθμικούς κύκλους, δεν κατάφερε όμως να εμποδίσει περαιτέρω αύξηση των επιζώντων πληθυσμών την 7^η ημέρα και μετά. Ο συνδυασμός ΥΥΠ και εντεροσίνης AS-48 αποδείχθηκε η πιο αποτελεσματική επεξεργασία, διατηρώντας τους πληθυσμούς των βακτηριακών κυττάρων σε πολύ χαμηλά επίπεδα για τουλάχιστον 15 ημέρες.

Στο ίδιο προϊόν, οι Toledo del Árbol *et al.* (2015b) εμβολίασαν ένα κοκτέιλ *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc gasicomitatum* και *Leuconostoc gelidum* μετά από επεξεργασία ΥΥΠ (400, 500 και 600MPa για 8min) και πρόσθεσαν εντεροσίνη AS-48 (35mg/g),

μεμονωμένα ή σε συνδυασμό. Μετά τις επεξεργασίες, τα δείγματα αποθηκεύτηκαν στους 4°C για 30 ημέρες ή στους 22°C για 10 ημέρες. Επεξεργασία μόνο ΥΥΠ με 400 ή 500MPa μείωσε τις συγκεντρώσεις των βιώσιμων κυττάρων κατά 4,3 και 4,9 λογαριθμικούς κύκλους, αντίστοιχα. Στα 600MPa δεν ανιχνεύθηκαν επιζώντες μικροοργανισμοί. Η προσθήκη εντεροσίνης AS-48 σε συνδυασμό με ΥΥΠ πέτυχε μια επιπλέον μείωση των μικροβιακών κυττάρων μετά από εφαρμογή 400 ή 500MPa, ενώ επίσης μείωσε τους μικροβιακούς πληθυσμούς και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.

1.5.4 Πουρέ

1.5.4.1 Διατήρηση της ποιότητας

Η επεξεργασία ΥΥΠ μπορεί να συμβάλλει στην αύξηση της ποιότητας του πουρέ φρούτων, αν και υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες σχετικά με την αναποτελεσματικότητα της μεθόδου στα ένζυμα που προκαλούν καστάνωση.

Η επίδραση της ΥΥΠ σε διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες, βιοενεργές ενώσεις και ενζυμική δράση του πουρέ δαμάσκηνου μελετήθηκε από τους González-Cebrino *et al.* (2013). Συγκεκριμένα, εφάρμοσαν διάφορα επίπεδα (400, 500 και 600MPa) σε διάφορους χρόνους επεξεργασίας (1, 150 και 300s) και συνέκριναν τα αποτελέσματα με μη επεξεργασμένα δείγματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το pH και η περιεκτικότητα διαλυτών στερεών δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά μετά την επεξεργασία, ενώ επιτεύχθηκε αναστολή της πολυφαινολοξειδάσης (PPO). Από την άλλη μεριά, αυξήθηκαν σημαντικά οι παράμετροι χρώματος (L^* , a^* , απόχρωση, and χρώμα). Μετά την επεξεργασία ΥΥΠ, σε όλα τα επεξεργασμένα δείγματα εμφανίστηκε μια μικρή μείωση των ανθοκυανινών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας, ενώ οι ολικές φαινόλες δεν επηρεάστηκαν σημαντικά. Έτσι, ενώ η εφαρμογή ΥΥΠ μπορεί να διατηρήσει τις περισσότερες παραμέτρους ποιότητας και τη θρεπτικότητα του πουρέ δαμάσκηνου, δεν μπορεί να αναστείλει την ενζυμική καστάνωση, γεγονός που μπορεί να μειώσει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος κατά την αποθήκευση.

Όσον αφορά τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών που μπορεί να επιτευχθεί σε πουρέ, θετικά αποτελέσματα έδωσαν και οι Landl *et al.* (2010), οι οποίοι επεξεργάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακας σύστημα ΥΥΠ πουρέ μήλων Granny Smith σε πιέσεις 400 και 600MPa για 5min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και αποθήκευσαν για 3 εβδομάδες σε συνθήκες ψύξης. Τα αποτελέσματα για τη συντήρηση του πουρέ κρίθηκαν ικανοποιητικά και οικονομικά αποδοτικά. Ο πουρές μήλου είναι γενικά ένα ευρέως διαδεδομένο προϊόν και η εφαρμογή ΥΥΠ μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη φρέσκων, ποιοτικά ανώτερων προϊόντων πουρέ φρούτων με λογική διάρκεια ζωής.

1.5.4.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Η αδρανοποίηση της ενδογενούς μικροχλωρίδας (ολικά αερόβια μεσοφιλικά και ψυχρότροφα βακτήρια, ζύμες και μύκητες) του πουρέ δαμάσκηνου μετά από επεξεργασία ΥΥΠ ήταν αρκετή για να μειώσει τους αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στον πολτό δαμάσκηνου σε μη ανιχνευμένα επίπεδα (González-Cebrino *et al.*, 2013).

Την επίδραση της επεξεργασίας ΥΥΠ στην καταπολέμηση των *Salmonella enterica* και *Listeria monocytogenes* του πουρέ πεπονιού μελέτησαν οι Mukhopadhyay *et al.* (2016), εφαρμόζοντας 300, 400 και 500MPa, σε θερμοκρασία 8°C και 15°C για 5min. Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξημένη απενεργοποίηση και των δυο παθογόνων, ανάλογα με το μέγεθος της πίεσης, ενώ συγκεκριμένα στα 500MPa επιτεύχθηκε πλήρης απενεργοποίηση. Γενικά, η *Listeria* επέδειξε μεγάλη αντοχή στην πίεση, συγκριτικά με τη *Salmonella*. Τέλος, η θερμοκρασία, όπως και η προσθήκη ασκορβικού οξέος (που προστέθηκε σε κάποια δείγματα) δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τη μείωση των παθογόνων.

Την καταπολέμηση του ανθρώπινου νευροϊού που σχετίζεται με τη μετάδοση σοβαρών ασθενειών μέσω των τροφίμων, επιχείρησαν οι Huang *et al.* (2016) σε φρέσκες φράουλες, μύρτιλα και βατόμουρα, και στα αντίστοιχα πουρέ τους. Η καταπολέμηση του νευροϊού εξαρτήθηκε από το είδος των διαφόρων στελεχών που εμβολιάστηκαν στα δείγματα, αλλά και από το είδος των φρούτων (και το αντίστοιχο πουρέ) που τέθηκαν σε επεξεργασία. Το χρώμα, το pH και το ιζώδες στα βατόμουρα και σε όλα τα δείγματα πουρέ παρουσίασαν μηδενικές ή ελάχιστες μεταβολές μετά την επεξεργασία. Τελικά, οι βέλτιστες συνθήκες καταπολέμησης του νευροϊού και παράλληλης διατήρησης της φυσικής και οργανοληπτικής ποιότητας για όλα τα εξεταζόμενα δείγματα ήταν τα 550MPa για 2min στους 0°C.

1.5.4.3 Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με θερμική παστερίωση

Οι επιδράσεις της επεξεργασίας ΥΥΠ (500MPa για 1,5min στους 20°C) και ήπιας παστερίωσης (90°C για 10min) στην περιεκτικότητα σε φρουκτάνη, την πολυφαινολική σταθερότητα και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του πουρέ μήλου εμπλουτισμένου με δύο εμπορικά πρεβιοτικά [Beneo GR® (ινουλίνη) και HSI® (φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες-FOS)] επί 30 ημέρες στους 4°C αξιολογήθηκαν από τους Keenan *et al.* (2011a). Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν τη σταθερότητα των πρεβιοτικών καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι διακυμάνσεις στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ήταν πιο εμφανείς στα δείγματα που περιείχαν ινουλίνη σε σχέση με αυτά που περιείχαν φρουκτο-ολιγοσακχαρίτες. Οργανοληπτικά, τα επεξεργασμένα δείγματα θεωρήθηκαν αποδεκτά για να βγουν στην αγορά. Τέλος, η επεξεργασία φάνηκε να μειώνει τα επίπεδα κάποιων πολυφαινολικών ενώσεων σε όλα τα δείγματα σε σύγκριση με τους μη επεξεργασμένους μάρτυρες, ιδιαίτερα το χλωρογενικό οξύ και τη φλοριδίνη, τα οποία ήταν σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνα για τη μείωση του συνολικού φαινολικού δείκτη (TPI).

1.5.5 Σάλτσες και dressings

1.5.5.1 Διατήρηση της ποιότητας

Μελετώντας τις επιπτώσεις της ΥΥΠ στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της σως από σπανάκι, οι Medina-Meza *et al.* (2015) παρατήρησαν ότι η εφαρμοζόμενη πίεση και ο χρόνος επεξεργασίας επηρέασαν σημαντικά τη διαδικασία και μάλιστα, είδαν ότι η πίεση είναι υπεύθυνη για την κύρια οξείδωση του λίπους. Τα χαρακτηριστικά του χρώματος διατηρήθηκαν και σε ένα βαθμό βελτιώθηκαν κιόλας, με εφαρμογή 500MPa για 10min, ενώ η διατήρηση του ασκορβικού οξέος και η ανάκτηση της χλωροφύλλης α και β ήταν σημαντικά υψηλές. Βέβαια η επεξεργασία κρίθηκε ως αναποτελεσματική όσον αφορά την οξείδωση του λίπους. Μετά από αποθήκευση των δειγμάτων για 21 ημέρες στους 4°C, παρατηρήθηκε ότι η οξείδωση του λίπους αναστάλθηκε δραστικά σε δείγματα που είχαν υποστεί επεξεργασία με ΥΥΠ. Η απενεργοποίηση της πολυφαινολοξειδάσης (PPO) μέσω υψηλής πίεσης βρέθηκε αναστρέψιμη, καθώς η δραστηριότητά της ανακτήθηκε μερικώς μετά από 7 ημέρες.

1.5.5.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Διάφορα οξεο-θερμόφιλα βακτήρια, όπως τα *Alicyclobacillus acidoterrestris* και *Bacillus coagulans* μπορούν με ευκολία να αλλοιώσουν τα επεξεργασμένα με θερμότητα όξινα τρόφιμα, καθώς σχηματίζουν σπόρια με πολύ υψηλή αντοχή στη θερμότητα και μπορούν να αναπτυχθούν σε χαμηλό pH.

Η βλάστηση και αδρανοποίηση των σπορίων των *A. Acidoterrestris* και *B. Coagulans* σε ρυθμιστικό διάλυμα, με επεξεργασία ΥΥΠ, 100-800MPa, για 10min, σε θερμοκρασίες έως 60°C και σε χαμηλό και ουδέτερο pH, μελετήθηκαν από τους Vercaemmen *et al.* (2011). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γενικά, καμία από αυτές τις επεξεργασίες δεν προκάλεσε σημαντική απενεργοποίηση των σπορίων, εκτός ίσως από την εφαρμογή των 800MPa, σε pH 4.0 όπου παρατηρήθηκε σχεδόν αδρανοποίηση του *B. Coagulans* κατά 1 λογαριθμικό κύκλο. Η βλάστηση των σπορίων (μέχρι περίπου 2 λογαριθμικούς κύκλους) παρατηρήθηκε και για τα δύο βακτήρια, αλλά κυρίως στην εφαρμογή χαμηλότερων πιέσεων (100-300MPa) για το *A. Acidoterrestris* και υψηλών πιέσεων (600-800MPa) για το *B. Coagulans*. Επιπλέον, οι συνθήκες χαμηλού pH κατέστειλαν τη βλάστηση των σπορίων του *A. Acidoterrestris*, αλλά στην περίπτωση των σπορίων του *B. Coagulans* τη διέγειραν.

Τα σπόρια των συγκεκριμένων βακτηρίων υπέστησαν επεξεργασία ΥΥΠ και μέσα σε σάλτσα τομάτας, με pH 4.2 και 5.0. Οι συνθήκες της επεξεργασίας ήταν 100-800MPa στους 25, 40 και 60°C για 10min. Τα αποτελέσματα εδώ ήταν παρόμοια για τα σπόρια του *B. Coagulans*, όχι όμως για το *A. Acidoterrestris*, στην περίπτωση του οποίου τα επίπεδα βλάστησης ήταν γενικά υψηλότερα από ό, τι στο ρυθμιστικό διάλυμα, με μια μικρή διαφοροποίηση ανάμεσα στην υψηλή και τη χαμηλή πίεση. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η εξάρτηση της βλάστησης των σπορίων του *A. Acidoterrestris* από το pH αντιστράφηκε στη σάλτσα

ντομάτας, εμφανίζοντας μεγαλύτερη βλαστικότητα στο χαμηλότερο pH. Επιπλέον, η εφαρμογή ΥΥΠ στα δείγματα σάλτσας με pH 4,2 προκάλεσαν επίσης αδρανοποίηση του *A. Acidoterrestis* κατά 1-1.5 λογαριθμικούς κύκλους. Στην υψηλότερη θερμοκρασία (60°C), τα περισσότερα σπόρια που είχαν βλαστήσει, αδρανοποιήθηκαν. Για την σάλτσα ντομάτας με pH 4.2, αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αδρανοποίηση των *A. Acidoterrestis* και *B. Coagulans* κατά 3.5 και 2.0 λογαριθμικούς κύκλους, αντίστοιχα.

1.5. 6 Smoothies φρούτων

1.5.6.1 Διατήρηση της ποιότητας

Τα smoothies είναι ένας εξαιρετικός τρόπος για την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών και βιοδραστικών ενώσεων τόσο από τα φρούτα όσο και από το γάλα με το οποίο παράγονται. Η HPP αποτελεί μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση στην παραδοσιακή θερμική παστερίωση, εξασφαλίζοντας μικροβιολογικά ασφαλές προϊόν, με ελάχιστη επίδραση στα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Εφαρμογή 450-650MPa για 3min στους 20°C, σε smoothies με βάση το αγελαδινό γάλα και το γάλα σόγιας, πραγματοποιήθηκε από τους Andrés *et al.* (2015). Τα στοιχεία που μελετήθηκαν ήταν τα διαλυτά σάκχαρα (γλυκόζη και φρουκτόζη), οργανικά οξέα (κιτρικό, μηλικό, τρυγικό, οξαλικό και κινικό) και μεταλλικά στοιχεία (μετά νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου, χαλκού, ψευδαργύρου και μαγγανίου) των δειγμάτων, τα οποία δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά μετά την επεξεργασία και την αποθήκευση. Τα αποτελέσματα όσον αφορά τις οργανοληπτικές ιδιότητες ήταν παρόμοια με αυτά της θερμικής παστερίωσης, με τη μόνη διαφορά στο άρωμα, το οποίο διατηρήθηκε πολύ περισσότερο στα επεξεργασμένα με ΥΥΠ δείγματα. Τελικά, τα 450MPa αποτελούν τη βέλτιστη τιμή πίεσης για την επεξεργασία των smoothies, πετυχαίνοντας μαζί με τη μικροβιολογική ασφάλεια, και ποιοτικά ανώτερο προϊόν.

Στην περίπτωση επεξεργασίας σε smoothie φρούτων με βάση το γάλα σόγιας, με ΥΥΠ 550 και 650MPa για 3min στους 20°C, συγκρινόμενο με θερμική παστερίωση, οι Andrés *et al.* (2016) παρατήρησαν ότι η επεξεργασία ΥΥΠ διατήρησε καλύτερα το αρχικό χρώμα, αλλά και την περιεκτικότητα σε βιοενεργές ενώσεις (καροτενοειδή, ασκορβικό οξύ και ολικές πολυφαινόλες). Συγκεκριμένα, το 55% του ασκορβικού οξέος διατηρήθηκε σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια της αποθηκευτικής περιόδου. Επίσης, παρουσίασε υψηλότερα επίπεδα λυκοπενίου και β-καροτενίου, καθώς και υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα σε σχέση με τα θερμικά επεξεργασμένα δείγματα. Keenan *et al.* (2011b)

Επίσης σε smoothie φρούτων, εφαρμογή πίεσης 450MPa για 5min στους 20°C επέδειξαν υψηλότερα επίπεδα ολικών αντιοξειδωτικών, φαινολών και ανθοκυανινών, συγκριτικά με εφαρμογή υψηλότερων πιέσεων. Σε πίεση όμως, 600MPa για 10min στους 20°C, μειώθηκε πιο αποτελεσματικά η ενδογενής ενζυμική δραστηριότητα. Και στις δυο περιπτώσεις όμως, παρατηρήθηκε μείωση των επιπέδων ασκορβικού οξέος κατά την αποθήκευση.

1.5.6.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Σε πιέσεις 450-650MPa για 3min στους 20°C, σε smoothies με βάση το αγελαδινό γάλα και το γάλα σόγιας, οι Andrés *et al.* (2015) παρατήρησαν μια συνολική μείωση του μικροβιακού φορτίου, με διατήρηση της μικροβιακής σταθερότητας καθ' όλη τη διάρκεια της αποθηκευτικής περιόδου (45 ημέρες στους 4°C).

1.5.7 Άλλα προϊόντα

1.5.7.1 Κρέμες

1.5.7.1a Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με CO₂

Η εφαρμογή ΥΥΠ συνδυαστικά με CO₂ διερευνήθηκε από τους Casas *et al.* (2012) σε κρέμα μήλου, η οποία τοποθετήθηκε σε δοχείο ανάδευσης και το CO₂ πέρασε από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας για διαφορετικές χρονικές περιόδους. Με τη συγκεκριμένη επεξεργασία, τα σπόρια του *A. acidoterrestis* απενεργοποιήθηκαν κατά τέσσερις τάξεις μεγέθους σε συνθήκες πίεσης 10MPa και σε θερμοκρασία 30°C, χωρίς να επηρεάζονται οι κύριες οργανοληπτικές και ρεολογικές ιδιότητες της κρέμας. Η μοναδική αρνητική επίπτωση στο προϊόν ήταν μια μικρή μείωση της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C, λόγω θερμικής αποδόμησης.

1.5.7.2 Μαρμελάδες

1.5.7.2a Συνδυασμός της επεξεργασίας ΥΥΠ με οσμωτική αφυδάτωση

Ένας συνδυασμός ΥΥΠ και οσμωτικής αφυδάτωσης αναπτύχθηκε από τους Igual *et al.* (2012) στοχεύοντας στην ενζυμική απενεργοποίηση της μαρμελάδας γκρέιπφρουτ. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν υψηλές πιέσεις (550-700MPa) συνδυαστικά με θερμική επεξεργασία (45-75°C). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν επιτυγχάνεται πλήρης απενεργοποίηση της πηκτινομεθυλεστεράσης (PME) και της υπεροξειδάσης (POD), με οποιονδήποτε συνδυασμό θερμοκρασίας και πίεσης. Τα δυο ένζυμα παρουσίασαν κάποια ανθεκτικότητα στην πίεση, ιδίως στα δείγματα που είχε εμπλακεί η οσμωτική αφυδάτωση, η οποία όπως φαίνεται έχει προστατευτική επίδραση στην ενζυμική δραστηριότητα, συγκριτικά με την επεξεργασία ΥΥΠ. Επίσης, σε κανέναν συνδυασμό συνθηκών δεν εντοπίστηκε μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας. Συμπερασματικά, οι κατάλληλοι συνδυασμοί πιέσεων και θερμοκρασιών είναι ικανή να βελτιώσει την ενζυμική σταθερότητα της μαρμελάδας που λαμβάνεται με οσμωτική αφυδάτωση, χωρίς να επηρεαστεί το βιοενεργό περιεχόμενο.

1.5.7.5 Πάστες

Η επεξεργασμένη με ΥΥΠ πάστα αβοκάντο παρουσιάζει σταθερότητα απέναντι στη δράση των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση κατά την αποθήκευση σε συνθήκες ψύξης. Τις επιδράσεις της ΥΥΠ και του χρόνου αποθήκευσης στη σταθερότητα των βιοενεργών ενώσεων του αβοκάντο, και ιδιαίτερα των καροτενοειδών μελέτησαν οι Jacobo-Velázquez *et al.* (2012), εφαρμόζοντας 600MPa για 3min και αποθηκεύοντας για 40 ημέρες στους 4°C. Επίσης, εξετάστηκε και η επίδραση της εφαρμογής στις υδρόφιλες και λιπόφιλες ικανότητες απορρόφησης ριζών οξυγόνου (ORAC). Η εφαρμογή πίεσης αύξησε σημαντικά (περίπου 56%) τις συγκεντρώσεις των ολικών (εκχυλίσιμων) καροτενοειδών. Οι υψηλότερες αυξήσεις μεμονωμένα για τα διάφορα καροτενοειδή παρατηρήθηκαν για τη νεοξανθίνη-b (513%), την α-κρυπτοξανθίνη (312%), το α-καροτένιο (284%), τη β-κρυπτοξανθίνη (220%) και τη λουτεΐνη (40%). Τα επίπεδα καροτενοειδών μειώθηκαν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, αλλά στο τέλος της οργανοληπτικής διάρκειας ζωής του προϊόντος ήταν υψηλότερα από αυτά που είχαν αρχικά στην ακατέργαστη πάστα αβοκάντο. Είναι ενδιαφέρον ότι οι τιμές ORAC ακολούθησαν διαφορετική τάση από τα καροτενοειδή, καθώς μειώθηκαν αμέσως μετά την επεξεργασία και αυξήθηκαν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, γεγονός που δείχνει ότι τα καροτενοειδή φαίνεται ότι συνεισφέρουν ελάχιστα στη συνολική αντιοξειδωτική ικανότητα του φρούτου.

1.6 Συμπεράσματα

Το αυξημένο ενδιαφέρον των καταναλωτών για τρόφιμα υψηλής διατροφικής και οργανοληπτικής ποιότητας χωρίς πρόσθετα, οδήγησε στην ανάπτυξη μη θερμικών τεχνολογιών επεξεργασίας τροφίμων ως εναλλακτική λύση στις συμβατικές μεθόδους θερμικής επεξεργασίας. Το κύριο πλεονέκτημα των νέων τεχνολογιών είναι ότι επιτρέπουν την παράταση της διάρκειας ζωής και την ασφάλεια των φρέσκων τροφίμων, χωρίς να επηρεάζεται η γεύση, η εμφάνιση και οι θρεπτικές ιδιότητες. Οι μη θερμικές επεξεργασίες πραγματοποιούνται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που χρησιμοποιούνται στη θερμική επεξεργασία, αποτρέποντας τις αρνητικές επιπτώσεις της θερμότητας. Επιπλέον, η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης με τη χρήση αυτών των τεχνολογιών μπορεί να συμβάλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την επεξεργασία τροφίμων.

Η επεξεργασία ΥΥΠ χρησιμοποιείται ήδη στη βιομηχανία τροφίμων σε παγκόσμιο, αλλά και σε ελληνικό επίπεδο. Στην ουσία είναι μια τεχνική ψυχρής παστερίωσης, η οποία συνίσταται στην υποβολή τροφής που έχει προηγουμένως σφραγιστεί σε εύκαμπτη και ανθεκτική στην πίεση και το νερό συσκευασία, σε υψηλό επίπεδο υδροστατικής πίεσης (πίεση που μεταδίδεται από το νερό) μέχρι 600MPa/87.000psi για μερικά δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά. Ως μια φυσική, φιλική προς το περιβάλλον διαδικασία, σέβεται τα συστατικά του προϊόντος και βοηθά στη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των νωπών τροφίμων, όπως η γεύση και τα θρεπτικά συστατικά.

Στα προϊόντα φρούτων και λαχανικών, η εφαρμογή ΥΥΠ φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την ποιότητά τους, καθώς προκαλεί αλλαγές στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες που μπορεί να επηρεάσουν την αποδοχή του προϊόντος από τον καταναλωτή. Εντούτοις, η

τεχνική της ΥΥΠ μπορεί να αποτρέψει επιτυχώς την ενζυμική κασπάνωση των φρέσκων φρούτων, διατηρώντας παράλληλα τις συγκεντρώσεις των πολύτιμων ποιοτικών παραμέτρων όπως οι βιταμίνες, τα αντιοξειδωτικά, τα φαινολικά, οι ανθοκυανίνες κλπ. Επίσης, εφόσον εφαρμόζονται ήπιες θερμοκρασίες (0-40°C), διατηρεί και σημαντικές-για τον καταναλωτή-οργανοληπτικές ιδιότητες, όπως το χρώμα και η γεύση των προϊόντων.

Οι βιοενεργές ενώσεις γενικά, επηρεάζονται από διάφορους εξωγενείς παράγοντες. Είναι πολύ σημαντικό λοιπόν, σε προϊόντα που είναι πλούσια σε αυτές τις ουσίες, να μπορούν αυτές να διατηρηθούν και να αξιοποιηθούν. Αυτό θα ήταν ένα πλεονέκτημα για την ανάπτυξη προϊόντων υψηλής ποιότητας και για την αύξηση της απόδοσης των πολυφαινολών, τα οποία ανακτώνται από τα απόβλητα των προϊόντων φρούτων. Με τον ίδιο τρόπο, η ΥΥΠ μπορεί να βελτιώσει την εκχυλιστικότητα των καρτενοειδών και τον πολυμερισμό τανινών, γεγονός που θα μπορούσε να βελτιώσει τη λειτουργικότητα τροφίμων και να απομακρύνει τη στυπτικότητα προϊόντων, όπως είναι τα φρούτα. Πρέπει να δοθεί προσοχή στην ακεραιότητα και τη θέση των καρτενοειδών και των τανινών κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, αλλά και στις αλλαγές που πραγματοποιούνται λόγω της διαλυτών ενώσεων που απελευθερώνονται ως αποτέλεσμα της μεταβολής του κυτταρικού τοιχώματος και της μεμβράνης.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη συντήρηση των ποιοτικών παραμέτρων στα φυτικά προϊόντα μετά από επεξεργασία ΥΥΠ είναι ο βέλτιστος συνδυασμός των παραμέτρων επεξεργασίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η φαινολική περιεκτικότητα μπορεί να αυξηθεί μετά την επεξεργασία. Στους χυμούς παρατηρείται μεγάλη διατήρηση του αρχικού χρώματος, των ανθοκυανινών, των ολικών φαινολών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας στα δείγματα αμέσως μετά την επεξεργασία. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, όμως, αυτές οι παράμετροι μειώνονται, το μέγεθος όμως αυτών των μεταβολών εξαρτάται επίσης από τις εφαρμοζόμενες συνθήκες.

Στα φρούτα, ορισμένες μεταβολικές διεργασίες στους ιστούς φαίνεται ότι παραμένουν ενεργές μετά από την επεξεργασία ΥΥΠ. Υπάρχει δηλαδή ικανοποιητική, αλλά όχι πλήρης αναστολή των ενζύμων. Υψηλότερες πιέσεις οδηγούν σε πιο σημαντική ενζυμική απενεργοποίηση, αλλά με κόστος σημαντικές επιπτώσεις στη μικροδομή και την υφή των ιστών. Οι συνδυασμοί ΥΥΠ με άλλες μεθόδους, όπως η ήπια παστερίωση ή η συσκευασία σε κενό, δείχνουν ότι η μικροδομή, η υφή και η περιεκτικότητα σε βιοενεργές ενώσεις μπορούν να διατηρηθούν αναλλοίωτες για αρκετό χρονικό διάστημα. Από την άλλη πλευρά, η τεχνική ΥΥΠ σε συνδυασμό με τη συσκευασία υπό κενό και την προσθήκη οργανικών οξέων επιτυγχάνουν την ενζυμική απενεργοποίηση, ενώ διατηρούν την υφή και το χρώμα στα ελάχιστα επεξεργασμένα φρούτα.

Όσον αφορά τον μικροβιακό έλεγχο των επεξεργασμένων προϊόντων, η ΥΥΠ μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του μικροβιακού φορτίου κατά περίπου 4 λογαριθμικούς κύκλους και στην επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, όπως οι χυμοί, που φυλάσσονται στους 4°C για περισσότερο από 30 ημέρες. Επιπλέον, η επεξεργασία ΥΥΠ έχει σημαντική επίδραση στη βακτηριακή βιοποικιλότητα των ροδάκινων, καθώς υπάρχει μείωση της σχετικής αφθονίας τους, υπάρχει όμως και αύξηση των βακτηριακών σπορίων κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Ένας σχετικός έλεγχος στο θέμα της βακτηριακής ανάπτυξης κατά την αποθήκευση (τις πρώτες 15 ημέρες) έχει πραγματοποιηθεί σε διάφορα φρούτα και

λαχανικά. Η ΥΥΠ φαίνεται να επηρεάζει τη βιωσιμότητα και να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη δυναμική των μικροβιακών πληθυσμών στα τρόφιμα. Για παράδειγμα, στην επιδερμίδα των φρούτων η ΥΥΠ μπορεί να εξασφαλίσει μικροβιολογικώς ασφαλή προϊόντα με ελάχιστη επίπτωση στις θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες. Σε μέτριες θερμοκρασίες, μπορεί να διατηρήσει τη μικροβιακή σταθερότητα μέχρι το τέλος περιόδου αποθήκευσης 45 ημερών (στους 4°C). Ο συνδυασμός της με CO₂ προκάλεσε μείωση των σπόρων χωρίς προσβολή στις αισθητικές και ρεολογικές ιδιότητες της κρέμας μήλου, αλλά υπήρξε ελαφρά μείωση της περιεκτικότητας σε βιταμίνη C, λόγω θερμικής αποικοδόμησης. Από την άλλη πλευρά, η επεξεργασία προϊόντων σάλτσας με ΥΥΠ θεωρείται αναποτελεσματική στην ενεργοποίηση της οξειδωσης των λιπιδίων.

Η επεξεργασία ΥΥΠ μπορεί να συνδυαστεί επιτυχώς με άλλες μεθόδους (θερμικές ή μη) και για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποστείρωση ενός προϊόντος. Συγκριτικά με τη συμβατική θερμική κατεργασία, ο συνδυασμός HPP με θερμική παστερίωση μπορεί να προκαλέσει την απενεργοποίηση βακτηρίων (π.χ. *Alicyclobacillus acidoterrestris*) σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (45-65°C), αποδίδοντας ένα φρέσκο και υψηλής ποιότητας τρόφιμο. Επίσης, η τεχνική ΥΥΠ σε συνδυασμό με το υπερκρίσιμο CO₂ σε μέτρια αυξημένη θερμοκρασία είχε επίσης θετική επίδραση. Ομοίως, η νισίνη είχε συνεργιστική δράση με την ΥΥΠ στην αδρανοποίηση των ολικών αερόβιων βακτηρίων και προσέφερε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στους χυμούς. Επιπλέον, η προ-επεξεργασία με φωτοκατάλυση TiO₂-UV πριν από την επεξεργασία ΥΥΠ μπορεί να εξασφαλίσει πλήρη αποστείρωση των υγρών τροφίμων.

Η γενικότερη μελέτη των μη θερμικών επεξεργασιών και ιδιαίτερα της επεξεργασίας ΥΥΠ οδήγησαν σε κάποια επιπλέον συμπεράσματα. Αρχικά, όπως προκύπτει και από την δοθείσα βιβλιογραφία, η μέθοδος ΥΥΠ (και άλλες μη θερμικές τεχνικές) φαίνεται να είναι "ανεξάρτητες από τη συσκευασία", δηλαδή κατά την εφαρμογή τους δεν φαίνεται να επηρεάζουν τα διαφορετικά υλικά ή τύπους συσκευασίας σε συσκευασμένα τρόφιμα. Από την άλλη πλευρά, αν και είναι γενικά αποδεκτό ότι η ΥΥΠ διαθέτει περιορισμένες επιλογές στον τομέα της συσκευασίας, η εφαρμογή της σε συσκευασμένα ροδάκινα υπό κενό έχει μελετηθεί σε κάποιο βαθμό, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι απαραίτητο να διεξαχθεί έρευνα σχετικά με το ποιες άλλες κατηγορίες τροφίμων θα μπορούσαν να επωφεληθούν από αυτόν τον συνδυασμό και ποιες άλλες επιλογές συσκευασίας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν επίσης συνδυαστικά με την ΥΥΠ, για τη διατήρηση των φυτικών προϊόντων.

Μια νέα τάση της βιομηχανίας τροφίμων είναι η ανάπτυξη νέων λειτουργικών προϊόντων και οι μη θερμικές τεχνολογίες φαίνεται να έχουν τη δυνατότητα διατήρησης των θρεπτικών συστατικών αυτών των τροφίμων. Η επεξεργασία ΥΥΠ χρησιμοποιείται στις σημερινές βιομηχανικές εφαρμογές κυρίως για την ήπια παστερίωση ευαίσθητων στη θερμότητα τροφίμων, για να διατηρηθεί η αρχική τους οργανοληπτική εμφάνιση και η θρεπτική τους αξία, όπως στην περίπτωση του γουακαμόλε, όπου το έντονο πράσινο χρώμα, η φρέσκια γεύση και οι λειτουργικές του ιδιότητες θα μπορούσαν να καταστραφούν με την εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας.

Παράλληλα, η τεχνολογία ΥΥΠ εμπλέκεται ιδιαίτερα και κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του προϊόντος. Οι αλλαγές στη δομή που προκαλούνται από την πίεση μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προϊόντων τροφίμων με μοναδικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες που μπορούν να επηρεάσουν θετικά την ανθρώπινη υγεία και που δεν μπορούν να επιτευχθούν με οποιαδήποτε συμβατική μέθοδο επεξεργασίας. Η εταιρεία Ganeden Inc., με έδρα τις Η.Π.Α., το 2014 ξεκίνησε τον πρώτο χυμό φρούτων που περιέχει προβιοτικά. Επιπλέον, το καστανό ρύζι με υψηλή περιεκτικότητα σε γ-αμινοβουτυρικό οξύ έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει λειτουργικό προϊόν και έχει προκύψει από επεξεργασία με ΥΥΠ. Τα φυσικά λειτουργικά συστατικά που εξάγονται από φαρμακευτικά βότανα, φυτά και ζώα μπορούν να συνδυαστούν με επεξεργασία ΥΥΠ.

Πρόσφατες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στις επιπτώσεις της ΥΥΠ στην υγεία και στις αλλεργιογόνες ιδιότητες των τροφίμων, καθώς η HPP φαίνεται να χειρίζεται τη λειτουργικότητα, την εκχυλιστικότητα, την αλλεργιογένεια και τη βιοδιαθεσιμότητα των μικρο-θρεπτικών στοιχείων και συστατικών σε μια ποικιλία τροφίμων. Ωστόσο, οι βασικές αρχές και οι μηχανισμοί δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί και δικαιολογούν περαιτέρω διερεύνηση. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών επεξεργασία ΥΥΠ και κατανόηση των επιπτώσεων της HPP σε διάφορες βιοενεργές ενώσεις σε λειτουργικά προϊόντα τροφίμων. Φυσικά, έχει αποδειχθεί ότι συνδυασμοί ΥΥΠ με άλλες μεθόδους, όπως η ήπια παστερίωση ή η συσκευασία σε κενό, διατηρούν το περιεχόμενο της βιοενεργής ένωσης αναλλοίωτο για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ένα άλλο ζήτημα που θα πρέπει να αφορά τους ερευνητές σε μελλοντικό στάδιο είναι να καθορίσουν τις βέλτιστες συνθήκες που θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία ΥΥΠ για κάθε κατηγορία προϊόντος (ειδική βέλτιστη θερμοκρασία, πίεση κ.λπ. ανά μέθοδο). Οι συγκεκριμένες τιμές (διαφορετικές για κάθε προϊόν) μπορούν να δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα επεξεργασίας για το προϊόν.

Από την άλλη πλευρά, αν και η βιομηχανία τροφίμων αναζητά συνεχώς τρόπους για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των καταναλωτών για ελάχιστα επεξεργασμένα τρόφιμα, ταυτόχρονα διστάζουν να εφαρμόσουν σε ευρεία κλίμακα τις καινοτόμες τεχνολογίες μη θερμικής επεξεργασίας λόγω κόστους. Καθώς οι μη θερμικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες ποσότητες τροφίμων, μέχρι στιγμής βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή κυρίως στην παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, το κόστος του εξοπλισμού εξακολουθεί να είναι αρκετά υψηλό, κι έτσι οι μικρότερες επιχειρήσεις αδυνατούν να εντάξουν τις μεθόδους αυτές στο δυναμικό τους. Βέβαια, περιθώρια για υψηλότερο κέρδος μπορούν να επιτευχθούν με την πάροδο του χρόνου μέσω της παραγωγικής διαδικασίας, και με πιθανή ελαχιστοποίηση του επενδυτικού κόστους εξοπλισμού μελλοντικά, τέτοιες μέθοδοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και σε βιομηχανίες μικρότερης κλίμακας.

Συγκεκριμένα για την ΥΥΠ, το σημερινό υψηλό κόστος επένδυσης, καθώς και η συντήρηση του σχετικού εξοπλισμού, δεν φαίνεται να δικαιολογούνται εξαιτίας της μείωσης των αναφερόμενων ενεργειακών αναγκών. Οι καταναλωτές επωφελούνται από τα ελάχιστα επεξεργασμένα προϊόντα και την ευρεία εφαρμογή, αλλά πέραν αυτού, ένα βασικό πλεονέκτημα της υψηλής πίεσης είναι η δυνατότητα εφαρμογής της στα συσκευασμένα τρόφιμα, καθιστώντας τις προσπάθειες αποτροπής της επιμόλυνσης ή της διαδικασίας ασηπτικής πλήρωσης των τροφίμων στις συσκευασίες, πλήρως απαρχαιωμένες και παρωχημένες.

Μια άλλη παράμετρος που αυξάνει το κόστος εφαρμογής της ΥΥΠ είναι ότι η παραγωγή του εξοπλισμού υπόκειται σε σημαντικά τεχνικά εμπόδια. Επομένως κι έτσι πολλές εταιρείες τροφίμων πρέπει να εισάγουν εξοπλισμό ΥΥΠ από άλλες χώρες. Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγική ικανότητα του εξοπλισμού υψηλής ενεργειακής απόδοσης έχει αυξηθεί σημαντικά. Ωστόσο, η ΥΥΠ εξακολουθεί να εκτελείται κατά παρτίδες, γεγονός που καθιστά εξαιρετικά απίθανο να θεωρηθεί ως λειτουργία παραγωγής υψηλής ταχύτητας. Αν ο χρόνος παστερίωσης κάθε παρτίδας μειωθεί για να αυξηθεί η παραγωγική ικανότητα, μπορεί η παστερίωση που θα προκύψει να είναι ανεπαρκής. Για να καθοριστούν οι συνθήκες παραγωγής των επεξεργασμένων με ΥΥΠ τροφίμων, οι κατασκευαστές, οι κυβερνητικοί οργανισμοί, τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα θα πρέπει από κοινού να αξιολογήσουν λεπτομερώς τα ανθεκτικά στην πίεση χαρακτηριστικά και τις δυναμικές παραμέτρους συγκεκριμένων μικροοργανισμών που σχετίζονται με την ασφάλεια των τροφίμων. Η δημιουργία τέτοιων βασικών δεδομένων θα διασφαλίσει τη μικροβιακή ασφάλεια και την ποιότητα των προϊόντων, ενώ τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστούν τα κριτήρια αξιολόγησης της υγιεινής και ασφάλειας τόσο για τα υπό ανάπτυξη προϊόντα ΥΥΠ όσο και για τα εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα ΥΥΠ.

Συνοψίζοντας, οι νέες μη θερμικές τεχνολογίες πρέπει να προσελκύσουν την προσοχή της βιομηχανίας τροφίμων, καθώς μπορούν να παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας και παρόλο που αυτές οι μέθοδοι επεξεργασίας απαιτούν μεγαλύτερη αρχική χρηματοοικονομική επένδυση, ανταποδίδουν με προϊόντα υψηλότερης ποιότητας και αξίας. Η εμπορευματοποίηση τροφίμων που έχουν υποστεί επεξεργασία με νέες τεχνολογίες αυξήθηκε σημαντικά την τελευταία δεκαετία στην αγορά, αλλά η θέση είναι ακόμη χαμηλή σε σύγκριση με τα προϊόντα που επεξεργάζονται οι παραδοσιακές τεχνολογίες. Οι νέες τεχνολογίες μπορούν να προσφέρουν ιδιαίτερες ευκαιρίες στις μικρές επιχειρήσεις ώστε να είναι πιο ανταγωνιστικές, εισάγοντας νέα προϊόντα στην αγορά και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Το αρχικό κόστος του εξοπλισμού είναι επί του παρόντος υψηλό, αλλά πιθανότατα θα μειωθεί σημαντικά, όταν αυτές οι τεχνολογίες εφαρμοστούν πιο διαδεδομένα. Έτσι, οι μικρομεσαίες βιομηχανίες πρέπει να είναι έτοιμες να εισαγάγουν αυτές τις νέες τεχνολογίες εάν θέλουν να είναι, όπως προαναφέραμε, ανταγωνιστικές. Η ενοίκιαση εξοπλισμού ή η επεξεργασία σε εταιρείες που προσφέρουν την υπηρεσία είναι εναλλακτικές λύσεις, ό, που το κόστος αγοράς του εξοπλισμού αποτελεί πρόβλημα.

Τέλος, είναι απαραίτητο να διευρυνθεί το φάσμα της έρευνας γύρω από αυτές τις τεχνολογίες, εξειδικεύοντας σε συγκεκριμένα προϊόντα και τεχνικές που ανταποκρίνονται σε ερωτήσεις που σχετίζονται με τη βιομηχανία (σχετικά με τις συνθήκες επεξεργασίας, τον συνδυασμό με άλλες μεθόδους κ.λπ.). Κατά συνέπεια, καθίσταται αναγκαία μια πιο εξειδικευμένη κατάρτιση των επιστημόνων επεξεργασίας τροφίμων σε μη θερμικές τεχνολογίες, καθώς θα επιτρέψει πιο αποτελεσματικές και έγκυρες εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων παγκοσμίως.

Βιβλιογραφία

1. American Heritage Stedman's Medical Dictionary, (2002), Boston, MA. Houghton Mifflin.
2. Andrés, V. Mateo-Vivaracho, L. Guillamón, E., Villanueva, M.J., Tenorio, M.D., (2016). High hydrostatic pressure treatment and storage of soy-smoothies: Colour, bioactive compounds and antioxidant capacity. *LWT - Food Science and Technology*, 69: 123-130.
3. Andrés, V., Villanueva, M.J., Tenorio, M.D., (2015). Influence of high pressure processing on microbial shelf life, sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content of milk- and soy-smoothies. *LWT - Food Science and Technology*, 65: 98-105.
4. Balasubramaniam, V. M., (2007). High Pressure Food Preservation. In: Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering. vol. null, D. Heldman, Ed., ed New York, USA: Marcel Dekker Inc., Taylor & Francis, pp. 490-496.
5. Barba, F.J., Terefe, N.S., Buckow, R., Knorr, D., Orlie, V., (2015). New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. A review. *Food Research International*, 77: 725-742.
6. Bouton, P.E., Ford, A.L., Harris, P.V., Macfarlane, J.J., O'Shea, J.M., (1977). Pressure-heat treatment of postrigor muscle: effects on tenderness. *Journal of Food Science*, 42(1): 132-135.
7. Buniowska, M., Carbonell-Capella, J.M., Frigola, A., Esteve, M.J., (2016). Bioaccessibility of bioactive compounds after non-thermal processing of an exotic fruit juice blend sweetened with *Stevia rebaudiana*. *Food Chemistry*, 221: 1834-1842.
8. Bußler, S., Ehlbeck, J., Schlüter, O., (2016). Pre-drying treatment of plant related tissues using plasma processed air: Impact on enzyme activity and quality attributes of cut apple and potato. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 40: 78-86.
9. Cao, X., Bi, X., Huang, W., Wu, J., Hu, X., Liao, X., (2012). Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative food science & emerging technologies*, 16: 181-190.
10. Carlez, A., Rasec, J.P., Richard, N., Cheftel, J.C., (1994). Bacterial growth during chilled storage of pressure treated minced meat. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 27: 48-54.
11. Casas, J., Valverde, M.T., Marín-Iñiesta, F., Calvo, L., (2012). Inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores by high pressure CO₂ in apple cream. *International Journal of Food Microbiology*, 156(1): 18-24.
12. Chen, D., Xi, H., Guo, X., Qin, Z., Pang, X., Hu, X., Liao, X., Wu, J., (2012). Comparative study of quality of cloudy pomegranate juice treated by high hydrostatic pressure and high temperature short time. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19(2013): 85-94.
13. Denoya, G.I., Nanni, M.S., Apóstolo, N.M., Vaudagna, S.R., Polenta, G.A., (2016). Biochemical and microstructural assessment of minimally processed peaches subjected

- to high-pressure processing: Implications on the freshness condition. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36: 212-220.
14. Denoya, G.I., Polenta, G.A., Apóstolo, N.M., Budde C.O., Sancho A.M., Vaudagna, S.R., (2015). Optimization of high hydrostatic pressure processing for the preservation of minimally processed peach pieces. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33: 84-93.
 15. Denoya, G.I., Vaudagna, S.R., Chamorro, V.C., Godoy, M.F., Budde, C.O., Polenta, G.A., (2017). Suitability of different varieties of peaches for producing minimally processed peaches preserved by high hydrostatic pressure and selection of process parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 78: 367-372.
 16. Denoya, G.I., Vaudagna, S.R., Polenta, G., (2014). Effect of high pressure processing and vacuum packaging on the preservation of fresh-cut peaches. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1part2): 801-806.
 17. Devlieghere, F., Vermeiren, L., Debevere, J., (2004). New preservation technologies: possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14:273-285.
 18. Elamin, W.M., Endan, J.B., Yosuf, Y.A., Samsudin, R., Ahmedov, A., (2015). High pressure processing technology and equipment evolution: A review. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(5): 75-83.
 19. Evelyn, O.M, Milani, E., Silva, F.V.M., (2017). Comparing high pressure thermal processing and thermosonication with thermal processing for the inactivation of bacteria, moulds, and yeasts spores in foods. *Journal of Food Engineering*, 214: 90-96.
 20. Evelyn, O.M, Silva, F.V.M., (2015b). Inactivation of *Byssochlamys nivea* ascospores in strawberry purée by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *International Journal of Food Microbiology*, 214: 129-136.
 21. Evelyn, O.M., Silva, F.V.M., (2015a). High pressure processing pretreatment enhanced the thermosonication inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in orange juice. *Food Control*, 62: 365-372.
 22. Farkas, D.F., (2016). A short history of research and development efforts leading to the commercialization of high-pressure processing of food. In: Balasubramaniam, V.M., Barbosa-Cánovas, Gustavo V., Lelieveld, Huub L.M. High pressure processing of food. Principles, technology and applications. Springer Science + Business Media, New York, pp. 19-36.
 23. Farr, D., (1990). High pressure technology in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 1: 4-16.
 24. Ferrari, G., Maresca, P., Ciccarone, R., (2010). The application of high hydrostatic pressure for the stabilization of functional foods: Pomegranate juice. *Journal of Food Engineering*, 100(2010): 245-253.
 25. Ferrari, G., Maresca, P., Ciccarone, R., (2011). The Effects of High Hydrostatic Pressure on the Polyphenols and Anthocyanins in Red Fruit Products. *Procedia Food Science*, 1: 847-853.
 26. Ferstl, C., Ferstl, P., (2013). High pressure processing: Insights of Technology and Regulatory Requirements. *The NFL White Paper series*, Vol.10.

27. Gabriel, A.A., (2014). Combinations of selected physical and chemical hurdles to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 in apple and orange juices. *Food Control*, 50: 722-728.
28. Galazka, V.B., Ledward, D.A., Dickinson, E., Langley, K.R., (1995). High pressure effects on emulsifying behavior of whey protein concentrate. *Journal of Food Science*, 60: 1341-1343.
29. González-Cebrino, F., Durán, R., Delgado-Adámez, J., Contador, R. Ramírez, R., (2013). Changes after high-pressure processing on physicochemical parameters, bioactive compounds, and polyphenol oxidase activity of red flesh and peel plum purée. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20: 34-41.
30. Grande Burgos, M.J., López Aguayo, M.C., Pérez Pulido, R., Gálvez, A., Lucas R., (2016). Analysis of the bacterial biodiversity of peaches under refrigerated storage after treatment by high hydrostatic pressure. *Food and Bioproducts Processing*, 102: 55-61.
31. Hao, H., Zhob, T., Koutchma, T., Wu, F., Warriner, K., (2015). High hydrostatic pressure assisted degradation of patulin in fruit and vegetable juice blends. *Food Control*, 62: 237-242.
32. Hecht, E. (1996). *Physics: Calculus*, Pacific Grove, CA, Brooks/Cole, pp. 445-450, 489-521.
33. Heinz, V., Knorr, D., (2001). Effects of high pressure on spores. In: *Ultra High Pressure of Foods*, Kluwer NY: Academic/Plenum New York, 77-113.
34. Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I., Weemaes, C., (1998). Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 9: 197-203.
35. Hernández-Carrión, M., Hernando, I., Quiles, A., (2014b). High hydrostatic pressure treatment as an alternative to pasteurization to maintain bioactive compound content and texture in red sweet pepper. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26: 76-85.
36. Hernández-Carrión, M., Hernando, I., Sotelo-Díaz, I., Quintanilla-Carvajal, M.X., Quiles, A., (2014a). Use of image analysis to evaluate the effect of high hydrostatic pressure and pasteurization as preservation treatments on the microstructure of red sweet pepper. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27: 69-78.
37. Hite, B.H., Giddings, N.J., Weakley, C.E. Jr., (1914). The effect of pressure on certain microorganisms encountered in the preservation of fruits and vegetables. *W.V.U Agricultural Experiment Station*, 146(1): 1-67.
38. Huang, H., Wu, S., Lu, J., Shyu, Y., Wang, C., (2016). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control*, 72(2017): 1-8.
39. Huang, R., Ye, M., Li, X., Ji, L., Karwe, M., Chen, H., (2016). Evaluation of high hydrostatic pressure inactivation of human norovirus on strawberries, blueberries, raspberries and in their purées. *International Journal of Food Microbiology*, 223: 17-24.
40. Huang, W., Bi, X., Zhang, X., Liao, X., Hu, X., Wu, J., (2013). Comparative study of enzymes, phenolics, carotenoids and color of apricot nectars treated by high

- hydrostatic pressure and high temperature short time. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 18: 4-82.
41. Igual, M., Sampedro, F., Martínez-Navarrete, N., Fan, X., (2012). Combined osmodehydration and high pressure processing on the enzyme stability and antioxidant capacity of a grapefruit jam. *Journal of Food Engineering*, 114(4): 514-521.
 42. Iizuka, T., Maeda, S., Shimizu, A., (2013). Removal of pesticide residue in cherry tomato by hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, 116(4): 796-800.
 43. Irwe, S., Olsson, I., (1994). Reduction of pectinesterase activity in orange juice by high pressure treatment. In: Sing, R.P., Oliveira F.A.R. Minimal processing of foods and process optimization. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 35-42.
 44. Jacobo-Velázquez, D.A., Hernández-Brenes, C., (2012). Stability of avocado paste carotenoids as affected by high hydrostatic pressure processing and storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 16: 121-128.
 45. Jayathunge, K.G.L.R., Stratakos, A.C., Cregenzán-Albertia, O., Grant, I.R., Lyng, J., Koidis, A., (2016). Enhancing the lycopene *in vitro* bioaccessibility of tomato juice synergistically applying thermal and non-thermal processing technologies. *Food Chemistry*, 221: 698-705.
 46. Jiménez-Aguilar, D.M., Escobedo-Avellaneda, Z., Martín-Belloso, O., Gutiérrez-Urbe, J., Valdez-Fragoso, A., García-García, R., Torres, J.A., Welti-Chane, J., (2015). Effect of High Hydrostatic Pressure on the Content of Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of Prickly Pears (*Opuntia ficus-indica*) Beverages, *Food Engineering Reviews*. 7(2): 198–208.
 47. Katsaros, G.I., Tsevdou, M., Panagiotou, T., Taoukis P.S., (2010). Kinetic study of high pressure microbial and enzyme inactivation and selection of pasteurization conditions for Valencia Orange Juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(6): 1119-1129.
 48. Kaushik, N., Kaur B.P., Rao, P.S., Mishra, H.N., (2013). Effect of high pressure processing on color, biochemical and microbiological characteristics of mango pulp (*Mangifera indica* cv. Amrapali). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22: 40-50.
 49. Keenan, D.F., Brunton, N., Butler, F., Wouters, R., Gormley, R., (2011a). Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purées enriched with prebiotic inclusions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(3): 261-268.
 50. Keenan, D.F., Rößle, C., Gormley, R., Butler, F., Brunton, N.P., (2011b). Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit smoothies. *LWT - Food Science and Technology*, 45(1): 50-57.
 51. Knorr, D., (1993). Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. *Food Technology*, 47: 156-161.
 52. 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. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5): 844-867.

53. Landl, A., Abadias, Sárraga, C.M., Viñas, I., Picouet, P.A., (2010). Effect of high pressure processing on the quality of acidified Granny Smith apple purée product. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4): 557-564.
54. Le Chatelier, H.L., (1884). A general statement of the laws of chemical equilibrium. *Comptes Rendus*, vol. 99, pp. 786-789.
55. Li, L., Feng, L., Yi, J., Hua, C., Chen, F., Liao, X., Wang, Z., Hu, X., (2010). High hydrostatic pressure inactivation of total aerobic bacteria, lactic acid bacteria, yeasts in sour Chinese cabbage. *International Journal of Food Microbiology*, 142(1-2): 180-4.
56. Liu, F., Wang, Y., Li, R., Bi, X., Liao, X., (2013). Effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on antioxidant activity, antioxidant compounds and color of mango nectars. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21: 35-43.
57. Liu, S., Qian Xu, Li, X., Wang, Y., Zhu, J., Ning, C., Chang, X., Meng, X., (2016a). Effects of high hydrostatic pressure on physicochemical properties, enzymes activity, and antioxidant capacities of anthocyanins extracts of wild *Lonicera caerulea* berry. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36: 48-58.
58. Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., Gao, Z., (2016). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64(2017): 23-38.
59. Mathavi, V., Sujatha, G., Bhavani Ramya, S., B. Devi, K., (2013). New trends in food processing. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(2): 176-187.
60. Medina-Meza, I.G., Barnaba, C., Villani, F., Barbosa-Canovas, G.V., (2014). Effects of thermal and high pressure treatments in color and chemical attributes of an oil-based spinach sauce. *LWT - Food Science and Technology*, 60(1): 86-94.
61. Menashi, W.P. (1968). Treatment of surfaces. *United States Patent*, 3,383,163.
62. Odriozola-Serrano, I., Oms Oliu, G., Martín-Belloso, O., Puigpinós, J. Herrero, E., (2016). Antioxidant activity of thermal or non-thermally treated strawberry and mango juices by *Saccharomyces cerevisiae* growth based assays. *LWT - Food Science and Technology*, 74: 55-61.
63. Palgan, I., Caminiti, I.M., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D.J., Cronin, D.A., Lyng, J.G., (2011). Combined effect of selected non-thermal technologies on *Escherichia coli* and *Pichia fermentans* inactivation in an apple and cranberry juice blend and on product shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 151(1): 1-6.
64. Penchalaraju, M., Shireesha, B., (2013). Preservation of foods by HPP: A review, ISSN 2321-9262(online): 30-38.
65. Perera, N., Gamage, T.V., Wakeling, L., Gamlath, G.G.S., Versteeg, C., (2009). Color and texture of apples high pressure processed in pineapple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1): 39-46.
66. Pérez-López, E., Mateos-Aparicio, I., Rupérez, P., (2016). Low molecular weight carbohydrates released from Okara by enzymatic treatment under high hydrostatic pressure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38 (Part A): 76-82.
67. Plaza, L., Sánchez-Moreno, C., Ancos, B.D., Elez-Martínez, P., Martín-Belloso, O., Cano, M.P., (2010). 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(4): 834-839.
68. Polydera, A.C., Stoforos, N.G., Taoukis, P.S., (2003). Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurized and high pressure processed reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*, 60: 21–29.
 69. Porębska, I., Sokołowska, B., Skąpska, S., Rzoska, S.J., (2016). Treatment with high hydrostatic pressure and supercritical carbon dioxide to control *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice. *Food Control*, 73(part A): 24-30.
 70. Pulido, R.P., Grande Burgos, M.J., Gálvez, A., Lucas, R., (2016). Changes in bacterial diversity of refrigerated mango pulp before and after treatment by high hydrostatic pressure. *LWT - Food Science and Technology*, 78: 289-295.
 71. Pulido, R.P., Toledo, J., Grande, M.J., Gálvez, A., Lucas, R., (2014). Analysis of the effect of high hydrostatic pressure treatment and enterocin AS-48 addition on the bacterial communities of cherimoya pulp. *International Journal of Food Microbiology*, 196: 62-69.
 72. Ramaswamy, H.S., Chen, C., Marcotte, M., (1999). Novel processing technologies in food preservation. In: Barrett DM, Somogyi LP, Ramaswamy HS. Processing fruits: science and technology. 2. Boca Raton: CRC, pp. 201–220.
 73. Ramos, B., Miller, F.A., Brandão, T.R.S., Teixeira, P., Silva, C.L.M., (2013). Fresh fruits and vegetables—an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20: 1–15.
 74. Sale, A.J.H., Gould, G.W., Hamilton, W.A., (1970). Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure. *Journal of General Microbiology*, 60: 323–334.
 75. Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D.S., Somasundram, C., (2015). Effects of thermal and non-thermal processing on phenolic compounds, antioxidant activity and sensory attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Food and Bioprocess Technology*, 8(11): 2256-2267.
 76. Shahbaz, H.M., Yoo, S., Seo, B., Ghafoor, K., Kim, J.U., Lee, D., Jiyong Park, J., (2015). Combination of TiO₂-UV photocatalysis and high hydrostatic pressure to inactivate bacterial pathogens and yeast in commercial apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 9(1): 182-190.
 77. Silva F.V.M., Tan, E.K., Farid, M., (2012). Bacterial spore inactivation at 45-65°C using high pressure processing: study of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in orange juice. *Food microbiology*, 32(1): 206-11.
 78. Stoica, M., Mihalcea, L., Borda, D., Alexe, P., (2013). Non-thermal novel food processing technologies: An overview. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 19(2), 212-217.
 79. Stratakos, A., C., Koidis, A., (2015). Suitability, efficiency and microbiological safety of novel physical technologies for the processing of ready-to-eat meals, meats and pumpable products. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6): 1283-1302.

80. Subasi, B.G., Alpas, H., (2016). Effect of high hydrostatic pressure processing and squeezing pressure on some quality properties of pomegranate juice against thermal treatment. *High Pressure Research*, 37(1): 78-92.
81. Sulaiman, A., Farid, M., Silva, F.V.M., (2016). Strawberry purée processed by thermal, high pressure, or power ultrasound: Process energy requirements and quality modeling during storage. *Food Science and Technology International*, 23(4): 293–309.
82. Timmermans, R.A.H., Mastwijk, H.C., Knol, J.J., Quataert, M.C.J., Vervoort, L., Van der Plancken, I., Hendrickx, M.E., Matser, A.M., (2011). Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice. Part I: Impact on overall quality attributes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(3): 235-243.
83. 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 Review International*, 22(4): 405-423.
84. Toledo del Árbol, J., Pérez Pulido, R., La Storia, A., Grande Burgos, M.J., Lucas, R., Ercolini, D., Gálvez, A., (2016). Microbial diversity in pitted sweet cherries (*Prunus avium* L.) as affected by High-Hydrostatic Pressure treatment. *Food Research International*, 89(1): 790-796.
85. Toledo del Árbol, J., Pérez Pulido, R., La Storia, A., Grande Burgos, M.J., Lucas, R., Ercolini, D., Gálvez, A., (2015a). Changes in microbial diversity of brined green asparagus upon treatment with high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Microbiology*, 216: 1-8.
86. Toledo del Árbol, J., Pulido, R.P., Grande Burgos, M.J., Gálvez, A., Lucas Lopez, R., (2015b). Inactivation of leuconostocs in cherimoya pulp by high hydrostatic pressure treatments applied singly or in combination with enterocin AS-48. *LWT - Food Science and Technology*, 65: 1054-1058.
87. Torres, J.A., Velazquez, G., (2004). Commercial opportunities and research challenges in the high pressure processing of foods. *Journal of Food Engineering*, 67: 95-112.
88. Uchida, R., Silva, F.V.M., (2016). *Alicyclobacillus acidoterrestris* spore inactivation by high pressure combined with mild heat: Modeling the effects of temperature and soluble solids. *Food Control*, 73(part B): 426-432.
89. Van den Berg, R. W., H. Hoogland, H. Lelieveld, and L. Van Schepdael, (2001). High Pressure Equipment Designs for Food Processing Applications. In: Hendrickx, M.E.G, Knorr, D., *Ultra High Pressure Treatments of Foods*, Springer, New York, pp. 297-313.
90. Varela-Santos E., Ochoa-Martinez A., Tabilo-Munizaga G., Reyes J.E., Pérez-Won M., Briones-Labarca V., Morales-Castro J., (2011). Effect of high hydrostatic pressure (HHP) processing on physicochemical properties, bioactive compounds and shelf-life of pomegranate juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 13: 13–22.
91. Vazquez-Gutierrez, J.L., Quiles, A., Erica Vonasek E., Jernstedt, J.A., Hernando, I., Nitin, N., Barrett, D.M., (2016). High hydrostatic pressure as a method to preserve fresh-cut Hachiya persimmons: A structural approach. *Food Science Technology International*, 22(8): 688-698.
92. Vercammen, A., Vivijs, B., Lurquin, I., Michiels, C.W., (2011). Germination and inactivation of *Bacillus coagulans* and *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores by high

- hydrostatic pressure treatment in buffer and tomato sauce. *International Journal of Food Microbiology*, 152(3): 162-7.
93. Vervoort, L., Van der Plancken, I., Grauwet, T., Rian, Timmermans, A.H., Mastwijk, H.C., Matser, A.M., Hendrickx, M.E., Loey, A.V., (2011). Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice Part II: Impact on specific chemical and biochemical quality parameters. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12: 466–477.
 94. Yadav, A.K., Singh, S.V., (2012). Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science Technology*, 51(9): 1654-1673.
 95. Yi, J., Feng, H., Bi, J., Zhou, L., Zhou, M., Cao, J., Li, J., (2016). High hydrostatic pressure induced physiological changes and physical damages in asparagus spears. *Postharvest Biology and Technology*, 118: 1-10.
 96. Yordanov, D.G., Angelova, G.V., (2010). High Pressure Processing for Food Preserving. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 24(3): 1940-1945.
 97. Yucel, U., Alpas, H., Bayindirli, A., (2010). Evaluation of high pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. *Journal of Food Engineering*, 98(2): 266-272.
 98. Zhao, L., Liu, F., Wang, S., Liao, X., (2012), Comparing the effect of high hydrostatic pressure and thermal pasteurization combined with nisin on the quality of cucumber juice drinks. *Innovative food science & emerging technologies*, 17: 27-36.
 99. Zhu, J., Wang, Y., Li, X., Li, B., Liu, S., Chang, N., Jie, D., Ning, C., Gao, H., Meng, X., (2017). Combined effect of ultrasound, heat, and pressure on *Escherichia coli* O157:H7, polyphenol oxidase activity, and anthocyanins in blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 37: 251-259.
 100. <http://www.foodsafety magazine.com/magazine-archive1/aprilmay-2014/novel-applications-of-sometimes-novel-processing-technologies>
 101. <http://www.hpptolling.com/applications>
 102. <https://www.avure-hpp-foods.com/hpp-foods/emerging-hpp-applications/>
 103. <https://www.foodqualitynews.com/Article/2013/03/18/Campden-BRI-forecasts-promise-of-cold-plasma>
 104. <https://fstjournal.org/features/28-1/cold-plasma>
 105. <https://www.foodsafety magazine.com/magazine-archive1/augustseptember-2011/atmospheric-plasma-technology-in-the-meat-industry/#Reference>
 106. <https://www.americanpiezo.com/blog/history-of-ultrasound-technology/>
 107. <http://medcraveonline.com/JNHFE/JNHFE-06-00219.pdf>
 108. <https://www.newfoodmagazine.com/article/638/product-innovation-by-high-pressure-processing/>
 109. <http://www.innovativeultrasonics.com/publications/Ultrasonic-Innovations-in-the-Food-Industry-From-the-Laboratory-to-Commercial-Production/>