



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων
Τομέας Σύνθεσης & Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών

Εφαρμογή καινοτόμων μη θερμικών διεργασιών για την παραγωγή
προϊόντων πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και
διάρκεια ζωής



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καραφάνταλου Ελευθερία

Επιβλέπων καθηγητής: Ταούκης Πέτρος

Αθήνα, 2023

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Πέτρο Ταούκη, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στην ομάδα του, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ουσιαστική βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους Διδάκτορες Μαρία Κατσούλη, Γεώργιο Δημόπουλο και την ΕΔΙΠ Δρ. Ευφημία Δερμεσονλούογλου για τη βοήθεια τους όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας. Η καθοδήγηση, οι συμβουλές και η υποστήριξη τους ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου.

Επίσης, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, για τις χρήσιμες υποδείξεις τους και το φιλικό περιβάλλον που δημιούργησαν από την πρώτη στιγμή της συνεργασίας μας.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη στήριξη, ενθάρρυνση και κατανόηση τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Καραφάνταλου Ελευθερία,

Αθήνα, Ιούνιος 2023

Περίληψη

Οι πατάτες αποτελούν βασικό στοιχείο της διατροφής, καθώς εκτός από την ευελιξία στις μαγειρικές παρασκευές, η υψηλή διατροφική τους αξία τις καθιστά ιδανικές για τη διατήρηση μίας ισορροπημένης διατροφής. Ωστόσο, ενώ η αναζήτηση για φρέσκα και έτοιμα προς κατανάλωση φρούτα και λαχανικά, ολοένα και αυξάνεται, λόγω των θρεπτικών συστατικών και της εύκολης χρήσης τους, οι φρεσκοκομμένες πατάτες έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Αυτό οφείλεται στην ευαισθησία που παρουσιάζουν οι πατάτες στο ενζυμικό μαύρισμα κατά την επεξεργασία τους. Το ένζυμο που είναι κυρίως υπεύθυνο για αυτή τη χρωματική αλλοίωση είναι η πολυφαινολική οξειδάση (PPO), η οποία συναντάται σε πολλούς φυτικούς ιστούς. Για την ανάσχεση του ενζυμικού μαυρίσματος σε πατάτες, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες οι οποίες είναι μεν αποτελεσματικές στην ενζυμική απενεργοποίηση, όμως είτε υποβαθμίζουν την ποιότητα τους εκθέτοντας τα προϊόντα σε υψηλές θερμοκρασίες, είτε έχουν υψηλό κόστος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης φρεσκοκομμένης πατάτας σε συνδυασμό με την υπερυψηλή πίεση (ΥΠ) ή με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ), για την παραγωγή προϊόντων πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διάρκεια ζωής. Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία μέθοδος η οποία προκαλεί τη μεταβολή της σύστασης των τροφίμων, επιτρέποντας τον εμπλουτισμό αυτών με παράγοντες ανάσχεσης της δράσης της PPO, χωρίς ποιοτική υποβάθμιση. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η υπερυψηλή πίεση είναι τεχνολογίες που αυξάνουν τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης φυτικών ιστών. Οι τεχνολογίες αυτές, συνδυάζονται συχνά με την ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς ενισχύουν τη πρόσληψη στερεών και την απώλεια υγρασίας ενώ ταυτόχρονα καθιστούν δυνατή τη διατήρηση θρεπτικών συστατικών και την αδρανοποίηση μικροοργανισμών.

Ύστερα από βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθόδων περιορισμού του ενζυμικού μαυρίσματος, στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας, της υπερυψηλής πίεσης και της προσθήκης παρεμποδιστών στην απενεργοποίηση σε εκχύλισμα PPO πατάτας. Η θερμική επεξεργασία (60, 70 και 80°C, 0-20 min) του ενζυμικού εκχυλίσματος είχε ως αποτέλεσμα την απενεργοποίηση του ενζύμου (ρυθμοί απενεργοποίησης (k) 0.061, 0.441 και 0.901 min⁻¹, αντίστοιχα). Η εξάρτηση των ρυθμών απενεργοποίησης από τη θερμοκρασία εκφράστηκε μέσω της εξίσωσης Arrhenius, από την οποία υπολογίστηκε η ενέργεια ενεργοποίησης ίση με 132.1 kJ/mol. Η υπερυψηλή πίεση εφαρμόστηκε σε πίεση 600 MPa για 0-20 min σε θερμοκρασία 20°C και η μέγιστη απενεργοποίηση του ενζύμου που επιτεύχθηκε ήταν 41% (χρόνος 5 min). Σχετικά με τη χημική παρεμπόδιση της PPO, στο ενζυμικό εκχύλισμα προστέθηκαν μεταδιθειώδες νάτριο, 4-εξυλορεσορκινόλη και ασκορβικό οξύ σε διαφορετικές συγκεντρώσεις. Τόσο το ασκορβικό οξύ, όσο και το μεταδιθειώδες νάτριο απενεργοποίησαν πλήρως τη PPO, για συγκέντρωση μεγαλύτερη από 0.5% w/w και 0.75% w/w αντίστοιχα, ενώ η 4-εξυλορεσορκινόλη δεν κατάφερε να την απενεργοποιήσει. Για την ενζυμική

παρεμπόδιση της PPO, μελετήθηκε η επίδραση του πρωτεολυτικού ενζύμου παπαΐνης, σε συγκεντρώσεις 0.1% w/w και 0.01% w/w (θερμοκρασία 45°C). Η μέγιστη παρεμπόδιση της PPO που επιτεύχθηκε ήταν 38% για το διάλυμα παπαΐνης 0.01% w/w με χρόνο επώασης 10 min και 71% για το διάλυμα παπαΐνης με 0.1% w/w με χρόνο επώασης 30 min.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας μελετήθηκε η παρεμπόδιση της PPO σε τεμαχισμένα δείγματα πατάτας με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν προηγουμένως ως οι βέλτιστες (θερμική επεξεργασία 60-80°C, υπερυψηλή πίεση 600 MPa για 5 min, εμβάπτιση σε διάλυμα 0.5% w/w ασκορβικού οξέος, 0.5% w/w μεταδιθειώδους νατρίου και 0.025% w/w 4-εξυλορεσορκινόλης συγκέντρωσης για 10 min). Ωστόσο, και στις τρεις περιπτώσεις, τα δείγματα τεμαχισμένης πατάτας παρουσίασαν σκούρο χρωματισμό κατά μήκος του ιστού τους μετά από μία ημέρα αποθήκευσης σε θερμοκρασία 4°C. Ακολούθησε μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης, ως μέθοδος ενσωμάτωσης των PPO παρεμποδιστών στον ιστό της πατάτας. Εξετάστηκε η επίδραση της σύστασης και συγκέντρωσης του ωσμωτικού διαλύματος (40-60% γλυκερόλη, 3.5-10% χλωριούχο νάτριο, 0-1.5 χλωριούχο ασβέστιο) στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της τεμαχισμένης πατάτας (χρώμα, υφή: σκληρότητα, ενεργότητα νερού) καθώς και τους δείκτες της ωσμωτικής αφυδάτωσης (απώλεια υγρασίας, WL και πρόσληψη στερεών, SG) (T=35°C, t=0-180 min). Οι συνθήκες επεξεργασίας που επιλέχθηκαν ήταν 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, χρόνος επεξεργασίας 120 min, για τις οποίες ο δείκτης αμαύρωσης BI μειώθηκε κατά 19% σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα μετά από 6 ημέρες αποθήκευσης στους 4°C και δεν σημειώθηκε σημαντική μεταβολή της σκληρότητας τους. Ακόμη, επιτεύχθηκε ενεργότητα νερού του προϊόντος 0.831 (0.985 του ανεπεξέργαστου), SG και WL 1.75 gστερεού/g αρχικού ξηρού βάρους και 3.91 gνερού/g αρχικού ξηρού βάρους αντίστοιχα. Σε αυτές τις συνθήκες, η προσθήκη των παρεμποδιστών στα δείγματα πατάτας πραγματοποιήθηκε: (α) με εμβάπτιση σε διάλυμα 0.025% w/w παπαΐνης, θερμοκρασίας 45 °C για 30 min, πριν την ωσμωτική επεξεργασία και (β) με προσθήκη 0.25% w/w ασκορβικού οξέος στο ωσμωτικό διάλυμα. Ωστόσο, ο δείκτης BI δεν μειώθηκε σημαντικά με την προσθήκη των δύο παρεμποδιστών, με τιμές 15.60, 14.41 και 14.39 για τα ανεπεξέργαστα, ωσμω-αφυδατωμένα με ασκορβικό οξύ και ωσμω-αφυδατωμένα με παπαΐνη δείγματα αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, σε δείγματα τεμαχισμένης πατάτας εφαρμόστηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ) (Ένταση 0.5-2 kV/cm, Παλμοί 0-1000) με στόχο τον προσδιορισμό των συνθηκών για τις οποίες επιτυγχάνεται ικανοποιητική κυτταρική διάρρηξη των δειγμάτων έτσι ώστε να ενισχυθούν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά τη διεργασία της ώσμωσης, χωρίς υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τεμαχισμένων πατατών. Μέσω του προσδιορισμού του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, Z, παρατηρήθηκε ότι η υψηλότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου και ο μεγαλύτερος αριθμός παλμών μειώνουν σημαντικά τη σκληρότητα του ιστού. Ενδεικτικά, η σκληρότητα των δειγμάτων ήταν ίση με 5.8, 4.8 και 3.5 N, για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5 kV/cm και 150 παλμούς, 1 kV/cm και 120 παλμούς και 2 kV/cm και 100

παλμούς αντίστοιχα (σκληρότητα 7.1 N του ανεπεξέργαστου δείγματος). Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5 kV/cm κρίθηκε ως καταλληλότερη, καθώς η κυτταρική διάρρηξη δεν επέφερε σημαντική μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων πατάτας.

Η επίδραση των ΠΗΠ στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, μελετήθηκε με εφαρμογή 0.5 kV/cm και 200-1000 παλμών σε τεμαχισμένα δείγματα πατάτας πριν την ωσμωτική κατεργασία (40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο). Ως βέλτιστες συνθήκες επεξεργασίας θεωρήθηκαν ο χρόνος επεξεργασίας 120 min και η εφαρμογή 200 παλμών. Τα ΠΗΠ αύξησαν την πρόσληψη στερεών σε όλους τους αριθμούς παλμών που εξετάστηκαν, επιβεβαιώνοντας την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας μεταξύ του τροφίμου και του ωσμωτικού διαλύματος. Με την εφαρμογή 200 παλμών, επιτεύχθηκε τιμή ενεργότητας νερού ίση με 0.832 (0.985 ενεργότητα νερού ανεπεξέργαστης πατάτας), ενώ παράλληλα δεν σημειώθηκε αρνητική επίδραση στις ποιοτικές παραμέτρους της υφής και του χρώματος, σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε κινητική μελέτη της συνεργιστικής δράσης ΠΗΠ και ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσία παρεμποδιστή (0.25% w/w ασκορβικό οξύ ή 0.025% w/w παπαΐνη) στο χρώμα των τελικών προϊόντων. Ως κατάλληλος χρόνος επεξεργασίας ορίστηκαν τα 120 min ωσμωτικής αφυδάτωσης, όπου η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ αύξησε την πρόσληψη στερεών κατά 1.0 g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους, στην περίπτωση των δειγμάτων με παπαΐνη και κατά 0.2 g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους στην ώσμωση παρουσία ασκορβικού οξέος. Στην περίπτωση των ωσμω-αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας παρουσία ασκορβικού οξέος, η προ-επεξεργασία ΠΗΠ επέφερε μείωση του δείκτη αμαύρωσης BI κατά 28.5% για την 6^η ημέρα αποθήκευσης των δειγμάτων στους 4°C. Η προσθήκη παπαΐνης δεν είχε αντίστοιχη επίδραση στη μεταβολή του χρώματος, με τον δείκτη αμαύρωσης BI των επεξεργασμένων με ΠΗΠ δειγμάτων να λαμβάνει ίδια τιμή με τα ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης χωρίς προ-επεξεργασία.

Στο επόμενο μέρος της εργασίας, εξετάστηκε η επίδραση της ΥΠ, σε δείγματα φρεσκοκομμένης πατάτας, με τιμή πίεσης 600 MPa, βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης του ενζυμικού εκχυλίσματος. Εφόσον η ΥΠ δεν ανέστειλε τη δράση της ΡΡΟ σε δείγματα τεμαχισμένης πατάτας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η μελέτη της ΥΠ εστιάστηκε στην επίδραση της στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση των πατατών. Παρατηρήθηκε ότι για όλες τις τιμές πίεσης που εφαρμόστηκαν (100, 200, 400 και 600 MPa σε θερμοκρασία 20°C για 5 min), τα δείγματα προσέλαβαν μεγαλύτερη ποσότητα στερεών και απέβαλλαν μεγαλύτερη ποσότητα υγρασίας σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα. Ως καταλληλότερες συνθήκες επιλέχθηκαν ο χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας 120 min και πίεση 400 MPa, για τις οποίες η ενεργότητα νερού των δειγμάτων έλαβε τη μικρότερη τιμή μεταξύ των δειγμάτων που υποβλήθηκαν στις άλλες τιμές πίεσης, ίση με 0.8364. Οι ποιοτικές παράμετροι της σκληρότητας και του χρώματος παρέμειναν αμετάβλητες, ενώ η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε κατά 0,89 g στερεών/g ξηρού βάρους σε σχέση με τα μη-επεξεργασμένα με ΥΠ δείγματα. Η αυξημένη πρόσληψη

στερεών ενισχύει το φυτικό ιστό με διαλυμένα συστατικά του ωσμωτικού διαλύματος, επομένως εξετάστηκε η επίδραση προσθήκης παρεμποδιστή (0.25% w/w ασκορβικό οξύ ή 0.025% w/w παπαΐνη) στη διεργασία. Καταλληλότερος χρόνος ωσμωτικής επεξεργασίας κρίθηκαν τα 120 min, για τον οποίο η ενεργότητα νερού των δειγμάτων ήταν ίση με 0.901 και ο δείκτης αμαύρωσης BI την 6^η ημέρα αποθήκευσης των δειγμάτων στους 4°C μειώθηκε με την εφαρμογή ΥΠ κατά 12% στην περίπτωση του ασκορβικού οξέος και κατά 14% στην περίπτωση της παπαΐνης.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας, μελετήθηκε η διάρκεια ζωής των μη-επεξεργασμένων, των ωσμω-αφυδατωμένων και των ωσμω-αφυδατωμένων με ΠΗΠ ή ΥΠ δειγμάτων πατάτας, σε σχέση με τη μεταβολή του χρώματος και τη μικροβιακή ανάπτυξη σε θερμοκρασία αποθήκευσης 4°C. Καταλληλότερη μέθοδος ανάσχεσης του ενζυμικού μαυρίσματος κρίθηκε ο συνδυασμός της ΥΠ ή των ΠΗΠ με την ωσμωτική αφυδάτωση παρουσία παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη) και χρόνο επεξεργασίας 120 min. Οι ανεπεξέργαστες πατάτες μετά τις 2 ημέρες αποθήκευσης ανέπτυξαν σκούρα στίγματα (δείκτης αμαύρωσης BI ίσος με 19.09), τα οποία γίνονταν πιο έντονα με τη πάροδο του χρόνου. Όσον αφορά τις ωσμω-αφυδατωμένες πατάτες είτε με ασκορβικό οξύ, είτε με παπαΐνη και προ-επεξεργασία ΥΠ, διατήρησαν ανοιχτό χρώμα έως και την 6^η ημέρα αποθήκευσης τους, με δείκτη αμαύρωσης BI ίσο με 12.81 (33% μικρότερος από των ανεπεξέργαστων) και 13.51 (26% μικρότερος από των ανεπεξέργαστων) αντίστοιχα. Η προ-επεξεργασία ΠΗΠ είχε αντίστοιχη επίδραση στη μεταβολή του χρώματος κατά την ωσμωτική αφυδάτωση δειγμάτων πατάτας με ασκορβικό οξύ, καθώς το ανοιχτό χρώμα διατηρήθηκε έως και 6 ημέρες, με δείκτη αμαύρωσης 11.27 (41% μικρότερος από των ανεπεξέργαστων). Κατά τις μικροβιολογικές αναλύσεις των δειγμάτων, παρατηρήθηκε ότι τα επεξεργασμένα δείγματα τόσο με ωσμωτική αφυδάτωση, όσο και με συνδυασμό αυτής με ΠΗΠ ή ΥΠ, δεν ανέπτυξαν μικροβιακό φορτίο (ολική μεσόφιλη χλωρίδα, ζύμες/μύκητες) στο διάστημα 6 ημερών αποθήκευσης στους 4°C. Η μικροβιακή ανάλυση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων πατάτας κατέγραψε ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας και ζυμομυκήτων μετά τις 2 ημέρες αποθήκευσης με ρυθμό ανάπτυξης 0.569 d⁻¹ και 0.390 d⁻¹ αντίστοιχα (μοντέλο Baranyi).

Συνολικά, από τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψε ότι η ωσμωτική αφυδάτωση σε συνδυασμό με τις δύο μη-θερμικές προ-επεξεργασίες, ΠΗΠ και ΥΠ, δίνει τη δυνατότητα παραγωγής φρεσκοκομμένων προϊόντων πατάτας με σημαντικά αυξημένη διάρκεια ζωής, διατηρώντας τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Application of non-thermal processes for the production of fresh-cut potato products with enhanced organoleptic characteristics and shelf life

Potatoes are a staple of the diet, as apart from their versatility in cooking, their high nutritional value makes them ideal for maintaining a balanced diet. However, while the demand for fresh and ready-to-eat fruits and vegetables is growing, due to their nutrients and easy consumption, fresh-cut potatoes have a limited shelf life. This is due to the susceptibility of potatoes to enzymatic browning during processing. The enzyme that is mainly responsible for this colour change is polyphenol oxidase (PPO), which is found in many plant tissues. Many technologies have been developed to inhibit enzymatic browning in potatoes, which are effective in enzyme inactivation, but either degrade the quality by exposing the products to high temperatures or are costly.

The aim of the present work is to study the osmotic dehydration (OD) of freshly cut potatoes in combination with high hydrostatic pressure (HHP) or pulsed electric fields (PEF) for the production of potato products with enhanced organoleptic characteristics and increased shelf life. Osmotic dehydration is a method which is able to change the composition of food, allowing them to be enriched with PPO inhibitors without any deterioration in quality. Pulsed electric fields and high pressure are technologies that increase the permeability of the cell membrane of plant tissues. These technologies, often combined with osmotic dehydration, enhance the uptake of solids and water loss while enabling nutrient retention and inactivation of microorganisms.

At first, an extensive literature review of limiting enzymatic browning was taken place to select thermal and non-thermal processes and also chemical or enzymatic inhibitors in order to investigate their effect on the inactivation of potato PPO extract. Thermal inactivation of the enzyme extract was carried out at 60, 70 and 80°C for 0-20 min. The inactivation rates (k) were estimated 0.061, 0.441 and 0.901 min^{-1} respectively, and according to the Arrhenius equation the activation energy was calculated 132.1 kJ/mol. High pressure was applied at a pressure of 600 MPa for 0-20 min at a temperature of 20°C, at which the maximum inactivation of the enzyme was 41% and was achieved at 5 min of the process. Regarding the chemical inhibition of PPO, sodium metabisulfite, 4-hexylresorcinol and ascorbic acid were added to the enzyme extract in different concentrations and the enzymatic activity was examined. Ascorbic acid at 0.5% w/w and sodium metabisulfite at 0.75% w/w completely inactivated PPO, while 4-hexylresorcinol (at 0.05% w/w) failed to inactivate it. In the case of the enzymatic inhibition of PPO, papain, a proteolytic enzyme, was studied at concentrations of 0.1% w/w and 0.01% w/w. The maximum inhibition of PPO achieved was 38% for the 0.01% w/w papain solution with an incubation time of 10 min at 45°C and 71% for the 0.1% w/w papain solution with an incubation time of 30 min at the same temperature.

In the second part of the study, based on above results, the inhibition of PPO in sliced potato samples was investigated by the aforementioned methods. More specifically, in the case of thermal inactivation the temperature range that was examined was 60-80 °C and in the case of the high pressure process the examined conditions were 600 MPa for 5 min. Additionally, the samples were immersed in a solution of ascorbic acid, sodium metabisulfite and 4-hexylresorcinol at concentrations of 0.5, 0.5 and 0.025% w/w respectively for 10 min. However, in all three cases the samples showed dark pigmentation along the tissue after one day of storage at 4°C. Thus, osmotic dehydration was proposed as a method of incorporating the inhibitors into the potato tissue. The composition of the osmotic solution (40-60% glycerol, 3.5-10% sodium chloride, 0-1.5 calcium chloride) was investigated with respect to color change, hardness, water activity of the samples, and water loss and solids gain indices. Osmotic dehydration was carried out at 35°C up to 180 min, and at various time intervals the above parameters were estimated. Based on color changes, water activity and water loss and solid gain values, the composition of osmotic solutions was selected. More specifically, 40% glycerol and 10% sodium chloride content and 120 min treatment time resulted in decreased browning index, BI, by 19% compared to untreated samples after 6 days of storage at 4°C and no significant change in hardness was observed. Furthermore, water activity of 0.831 (0.985 of untreated) and solids uptake and water loss indices of $1.75 \text{ g solids/g initial dry weight}$ and $3.91 \text{ g solids/g initial dry weight}$ were achieved, respectively.

Additionally, the osmotic solution was enriched with PPO inhibitors, in particular with ascorbic acid and papain and their effect of PPO inactivation was investigated. Based on the preliminary results, fresh cut potatoes were immersed in a solution of 0.025% w/w papain at 45 °C for 30 min before osmotic treatment, while 0.25% w/w ascorbic acid was added to the osmotic solution. Even though, both papain and ascorbic acid significantly inactivated PPO extract as it was observed in the preliminary results, the BI index of osmotically dehydrated cut potatoes did not decrease significantly. Specifically, the BI of osmo-dehydrated potatoes with ascorbic acid and papain were estimated 15.60, 14.41 respectively, while for the untreated 14.39 for the untreated.

Subsequently, pulsed electric fields (PEF) of 0.5-2 kV/cm and 0-1000 pulses were applied to fresh-cut potato samples in order to determine the intensity of the conditions for which satisfactory cell rupture of the samples is achieved, in order to enhance mass transfer phenomena during the osmotic dehydration, without deterioration the sensory characteristics of the fresh-cut potato samples. Through the determination of the cell rupture index, Z, it was observed that higher electric field intensity and higher number of pulses significantly reduced the hardness of the tissue, for instance, the hardness of the samples was calculated 5.8, 4.8 and 3.5 N for electric field intensities of 0.5 kV/cm and 150 pulses, 1 kV/cm and 120 pulses and 2 kV/cm and 100 pulses, respectively (7.1 N for the untreated potatoes). The electric field intensity of 0.5 kV/cm was

considered to be most appropriate, as cell disruption did not significantly reduce the hardness of the potato tissue.

The effect of PEF on mass transfer phenomena during osmotic dehydration was studied by applying 0.5 kV/cm and 200-1000 pulses to sliced potato samples prior to osmotic dehydration process (40% glycerol and 10% sodium chloride). Treatment time of 120 min and the application of 200 pulses were considered as optimal treatment conditions. PEF increased solids gain at all examined pulse numbers, confirming the enhancement of mass transfer phenomena between the potato sample and the osmotic solution. The application of 200 pulses, reduced the water activity of the cut potatoes at 0.832 (0.985 of the untreated potatoes), while no negative effect on the quality parameters of texture and colour was observed, compared to the untreated samples. At the optimum conditions of PEF, a kinetic study of the synergistic effect of PEF and osmotic dehydration for 120 min in the presence of an inhibitor (0.25% w/w ascorbic acid or 0.025% w/w papain) was carried out based on color change of the cut potatoes. The pre-treatment of PEF increased the solids gain by 1.0 g solids/g dry weight in the case of papain samples and by 0.2 g solids/g dry weight in the case of osmosis in the presence of ascorbic acid. In the case of the osmo-dehydrated potato samples in the presence of ascorbic acid, the pre-treatment with PEF resulted in a 28.5% reduction of the BI browning index during the 6th day of storage of the samples at 4°C. The addition of papain after the PEF pre-treatment did not significantly affect the colour of the samples, as the browning index of the PEF-treated samples was the same as the osmo-dehydrated samples in the presence of papain without pre-treatment.

In the next part of this work, the effect of the HHP on fresh-cut potato samples at a pressure value of 600 MPa was investigated based on the results of the enzyme extract study. However, HHP under these conditions did not inhibit the PPO activity, as after two days of storage of the samples at 4°C, potato tissue displayed dark pigmentation. Since HHP did not inhibit PPO on potato samples, as previously stated, the study of HHP as a pre-treatment enhancing mass transfer phenomena during osmotic dehydration of potatoes. It was observed that for all the applied pressure values (100, 200, 400 and 600 MPa at 20°C), the samples obtained higher solids uptake and water loss than the samples that weren't treated with HHP. Treatment time of 120 min and pressure of 400 MPa were chosen as the most suitable conditions, as the water activity of the samples were the lowest, 0.836, among the samples treated with the other pressure values. The quality parameters of hardness and colour remained unchanged, while the solids uptake increased by 0.89 g solids/g dry weight compared to the non-HHP treated samples. Increased solids gain indicates that the plant tissue was enhanced with soluble components of the osmotic solution, therefore the effect of adding an inhibitor (0.25% w/w ascorbic acid or 0.025% w/w papain) to the process was examined. HHP pre-treatment at 400 MPa combined with osmotic dehydration for 120 min, resulted in cut potatoes with optimum physicochemical properties as the water activity of the samples was 0.901 and the browning index, BI, was 12%

reduced in the case of ascorbic acid and 14% in the case of papain after 6 days of storage at 4°C compared to the untreated samples.

In the last part of the study, the shelf-life of untreated, osmo-dehydrated and PEF or HHP pre-treated osmo-dehydrated potato samples was studied based on colour changes and microbial growth during storage at 4°C. The combination of HHP or PEF with osmotic dehydration for 120 min in the presence of an inhibitor (ascorbic acid or papain) was considered to be the most appropriate method to inhibit enzymatic browning. Untreated potatoes after 2 days of storage developed dark spots (BI 19.09), which became more intense over time. As for the HHP pre-treated osmo-dehydrated potatoes with anti-browning agents, it was observed that the samples maintained lighter colour up to the 6th day of storage, with a browning index, BI, equal to 12.81 those with ascorbic acid (33 % lower than the BI value of untreated samples) and 13.51 those with papain (26 % lower than the BI value of untreated samples) respectively. Similar results were observed, in the case of PEF pre-treatment, as the osmotically dehydrated fresh-cut potatoes with ascorbic acid, retained lighter colour for up to 6 days (BI=11.27), compared to the untreated (41% lower than the BI value of unprocessed potatoes).

During the microbiological analysis of the samples, it was observed that both the osmo-dehydrated samples and osmo-dehydrated PEF or HHP pretreated potato samples, did not develop any microbial load (total viable count, yeasts/molds) during the 6 days of storage at 4°C. On the other hand, untreated potato samples exhibited total viable count (6 log(CFU/g) maximum load) and yeasts (3.74 log(CFU/g) maximum load) with rate 0.569 d⁻¹ and 0.390 d⁻¹ respectively (Baranyi model) after 2 days of storage.

Overall, the results of the study showed that the combination of the two non-thermal technologies, Pulsed Electric Fields and High Hydrostatic Pressure, with osmotic dehydration could lead to fresh-cut potato products with extended shelf life and enhanced organoleptic characteristics.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΠΑΤΑΤΑ ΚΑΙ ΤΟ ΕΝΖΥΜΙΚΟ ΜΑΥΡΙΣΜΑ	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Η πατάτα	1
1.3 Ενζυμικό μαύρισμα	2
1.3.1 Μηχανισμός ενζυμικού μαυρίσματος	3
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενζυμική ενεργότητα	4
1.4.1 Εκλεκτικότητα υποστρώματος	4
1.4.2 Επίδραση pH	4
1.4.3 Επίδραση θερμοκρασίας	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΛΥΦΑΙΝΟΛΙΚΗΣ ΟΞΕΙΔΑΣΗΣ (ΡΡΟ)	6
2.1 Εισαγωγή	6
2.1.1 Φυσικές μέθοδοι- Θερμική επεξεργασία	6
2.1.2 Χημικές μέθοδοι	9
2.1.3 Ενζυμικές μέθοδοι	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ	11
3.1 Εισαγωγή	11
3.1.1 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης	11
3.1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση	14
3.1.3 Ωσμωτική αφυδάτωση σε πατάτες	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΩΣΜΩΤΙΚΗ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ	18

4.1	Εισαγωγή	18
4.2	Υπέρηχοι	18
4.3	Υπερυψηλή Πίεση (ΥΠ)	20
4.3.1	Αρχή λειτουργίας της ΥΠ	20
4.3.2	Εξοπλισμός της διεργασίας Υπερυψηλής Πίεσης	21
4.3.3	Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς	22
4.3.4	Επίδραση της ΥΠ στα ένζυμα και στη κυτταρική μεμβράνη	23
4.3.5	Επίδραση ΥΠ σε πατάτες	24
4.4	Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ)	25
4.4.1	Αρχή λειτουργίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων	25
4.4.2	Εξοπλισμός των ΠΗΠ	25
4.4.3	Παράμετροι λειτουργίας	27
4.4.4	Επίδραση στη κυτταρική μεμβράνη-Ηλεκτροδιάτρηση	29
4.4.5	Επίδραση ΠΗΠ στις πατάτες	31
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	34
5.1	Εισαγωγή	34
5.2	Πειραματικός σχεδιασμός	35
5.2.1	Μέτρηση ενζυμικής ενεργότητας πολυφαινολικής οξειδάσης (ΡΡΟ) πατάτας και παρεμπόδιση της δράσης της	35
5.2.2	Μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης της πατάτας	36
5.2.3	Μελέτης της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στις πατάτες	38
5.2.4	Μελέτη της εφαρμογής της υπερυψηλής πίεσης	40
5.2.5	Επίδραση ΥΠ στην ενζυμική ενεργότητα	40
5.2.6	Επίδραση ΥΠ στην ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας	41
5.2.7	Μελέτη της διατηρησιμότητας ωσμω-αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας	42

5.3	Αναλυτικές μέθοδοι	43
5.3.1	Μέτρηση στερεού υπολείμματος και περιεχόμενου νερού	43
5.3.2	Μέτρηση pH	43
5.3.3	Μέτρηση ενεργότητας νερού	43
5.3.4	Μέτρηση χρώματος	44
5.3.5	Προσδιορισμός υφής	45
5.3.6	Εκχύλιση και προσδιορισμός ενεργότητας της πολυφαινολικής οξειδάσης PPO	46
5.3.7	Χημική και ενζυμική παρεμπόδιση της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO)	47
5.3.8	Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου	48
5.4	Επεξεργασία αποτελεσμάτων	49
5.4.1	Κινητικό μοντέλο μεταβολής ενζυμικής ενεργότητας PPO	49
5.4.2	Απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών	50
5.4.3	Υπολογισμός συντελεστών διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση	50
5.4.4	Κινητικό μοντέλο υποβάθμισης της πατάτας	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ		53
6.1	Εισαγωγή	53
6.2	Μελέτη ενζυμικού εκχυλίσματος PPO πατάτας	53
6.2.1	Προσδιορισμός ενεργότητας PPO πατάτας	53
6.2.2	Παρεμπόδιση-Απενεργοποίηση PPO πατάτας	54
6.3	Μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πατάτες	59
6.3.1	Επιλογή σύστασης ωσμωτικού διαλύματος	59
6.3.2	Προσθήκη παρεμποδιστή στο ωσμωτικό διάλυμα	65
6.4	Μελέτη της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) σε πατάτες	72
6.4.1	Προσδιορισμός έντασης ηλεκτρικού πεδίου	72

6.4.2 Προσδιορισμός αριθμού παλμών ΠΗΠ- Μελέτη ΠΗΠ ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης	74
6.5 Μελέτη της εφαρμογής υπερυψηλής πίεσης σε πατάτες	87
6.5.1 Προσδιορισμός πίεσης και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης	88
6.5.2 Επίδραση ΥΠ στην ενίσχυση φαινομένων μεταφοράς μάζας παρεμποδιστή	93
6.6 Σύγκριση της επίδρασης των μη-θερμικών επεξεργασιών (ΠΗΠ, ΥΠ) στην ποιότητα και διατηρησιμότητα της ωσμο-αφυδατωμένης πατάτας	100
6.6.1 Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος	101
6.6.2 Μικροβιακή ανάπτυξη	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	131

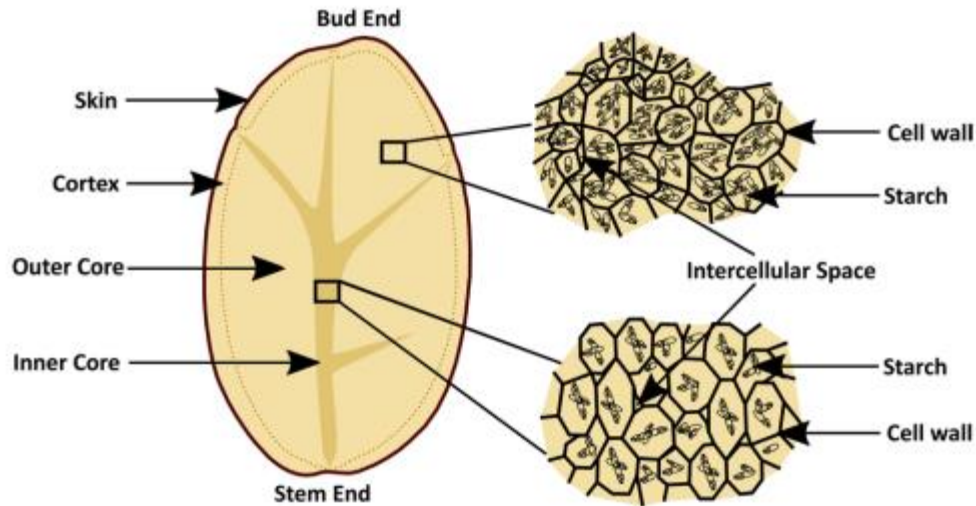
Κεφάλαιο 1: Η πατάτα και το ενζυμικό μαύρισμα

1.1 Εισαγωγή

Οι πατάτες αποτελούν βασικό στοιχείο της διατροφής, καθώς εκτός από την ευελιξία στις μαγειρικές παρασκευές, η υψηλή διατροφική τους αξία τις καθιστά ιδανικές για τη διατήρηση μίας ισορροπημένης διατροφής. Με την πατάτα να αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς επιλογές των καταναλωτών, κατά κύριο λόγο βρίσκονται στην αγορά σε συνθήκες κατάψυξης, είτε απλώς τεμαχισμένες, είτε προτηγανισμένες. Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή, η αναζήτηση για φρούτα και λαχανικά τα οποία αφενός συνδυάζουν τα φρέσκα και θρεπτικά συστατικά, και αφετέρου είναι έτοιμα προς κατανάλωση ολόενα και αυξάνεται. Όμως, οι διεργασίες που απαιτούνται για τον συνδυασμό της φρεσκάδας και της ευκολίας, όπως το ξεφλούδισμα και το κόψιμο, αλλοιώνουν την ακεραιότητα των φυτικών ιστών. Η σημαντικότερη συνέπεια της αλλοίωσης αυτής στην φρεσκοκομμένη πατάτα είναι το ενζυμικό μαύρισμα, το οποίο υποβαθμίζει την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής της.

1.2 Η πατάτα

Η πατάτα είναι μια κονδυλώδης καλλιέργεια που παράγεται από ένα πολυετές φυτό, το *Solanum tuberosum*, το οποίο ανήκει στην οικογένεια των Στρυχνοειδών (*Solanaceae*) (Ezekiel et al., 2013). Η ευρεία χρήση της σε συνδυασμό με την υψηλή διατροφική της αξία, έχουν καταστήσει την παραγωγή της ως την τρίτη σημαντικότερη παγκοσμίως (Naeem et al., 2023). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία, στην Ευρώπη παράγονται 55 εκατομμύρια τόνοι ετησίως και η ελληνική παραγωγή είναι ίση με 316 χιλιάδες τόνους (Eurostat, 2021). Ειδικότερα, οι πατάτες είναι πλούσιες σε βασικά μακροθρεπτικά συστατικά, όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπαρά οξέα και σάκχαρα. Επιπλέον, αποτελούνται από μικροθρεπτικά συστατικά, δηλαδή σημαντικά μέταλλα όπως κάλιο, φώσφορο, ασβέστιο και μαγνήσιο, και βιοδραστικές ενώσεις, όπως οι βιταμίνες C, E και B (φολικό οξύ, νιασίνη, ριβοφλαβίνη, θειαμίνη), καροτενοειδή και φαινολικές ενώσεις (φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, ανθοκυανίνες) (J. Singh & Kaur, 2016).



Εικόνα 1.1. Σχηματική απεικόνιση των χαρακτηριστικών του εσωτερικού και του εξωτερικού πυρήνα των κυττάρων ενός κονδύλου πατάτας (Biswas & Barma, 2020)

Στη χώρα μας, οι πατάτες Νάξου ξεχωρίζουν στην ελληνική αγορά, με το νησί της Νάξου να γίνεται το επίσημο κέντρο παραγωγής πατατόσπορου στην Ελλάδα τη δεκαετία του 1950. Από το 1959, η πατάτα Νάξου ανήκει στον κατάλογο των υποχρεωτικώς προστατευόμενων από το κράτος προϊόντων, και από το 2011 είναι καταχωρημένη ως Προστατευόμενης Γεωγραφικής Ένδειξης (προϊόν Π.Γ.Ε.). Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που την ξεχωρίζουν είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία (μεγαλύτερη του 18%) και η μικρή περιεκτικότητα σε σάκχαρα (<1%)(Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011).

1.3 Ενζυμικό μαύρισμα

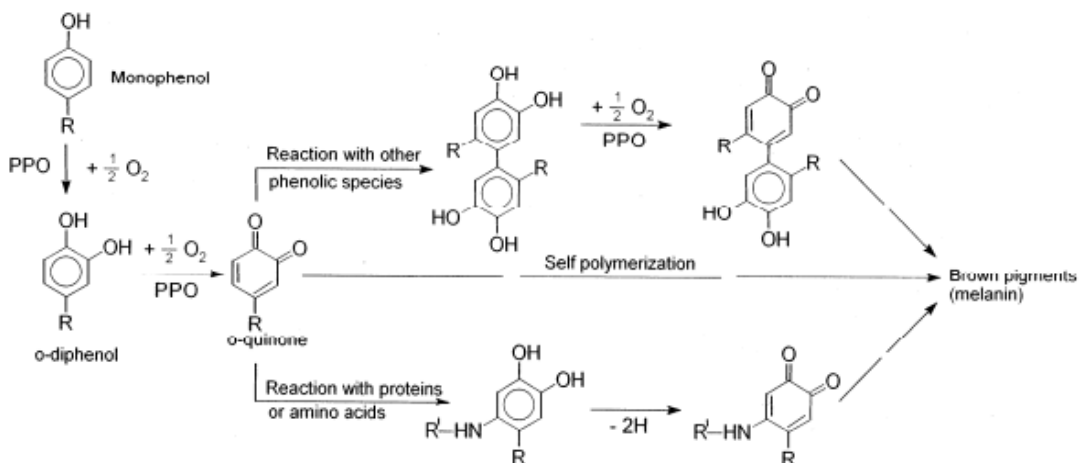
Η αλλαγή που παρατηρείται στο χρώμα των τραυματισμένων φρούτων και λαχανικών οφείλεται στην ενζυμικά καταλυόμενη οξείδωση των φαινολικών ουσιών που βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα των φυτικών κυττάρων, σε σκουρόχρωμες πολυμερείς ενώσεις, τις μελανίνες. Η δράση καταλύεται από τις πολυφαινολικές οξειδάσες (PPOs) που βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα των φυτικών κυττάρων. Πρόκειται για μία ομάδα πρωτεϊνών χαλκού, οι οποίες καταλύοντας την οξείδωση των φαινολικών σε κινόνες, είναι υπεύθυνες για το σκούρο χρώμα που παρατηρείται στα φρούτα και λαχανικά που έχουν τραυματιστεί κατά την επεξεργασία(

κόψιμο, ξεφλούδισμα) ή κατά την αποθήκευσή τους (Sabarre & Yagonia-Lobarbio, 2021). Γενικά, η παρουσία της PPO στους φυτικούς ιστούς συμβάλλει στον αμυντικό μηχανισμό κατά των φυτοφάγων εντόμων και των παθογόνων μικροοργανισμών που βρίσκονται στους φυτικούς ιστούς (Shahriar, 2014).

Όσον αφορά τις πατάτες, κύριο αίτιο μαυρίσματος είναι το υψηλό ποσοστό αμινοξέων, ειδικότερα της τυροσίνης, τα οποία αντιδρούν με τις κινόνες που έχουν παραχθεί (Dong et al., 2021; González et al., 2020).

1.3.1 Μηχανισμός ενζυμικού μαυρίσματος

Η ικανότητα της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO) να οξειδώνει φαινολικές ενώσεις, αποτελεί τη βάση του μηχανισμού δράσης της. Ως αποτέλεσμα του τραυματισμού των φυτικών ιστών, οι φαινολικές ουσίες εκτίθενται στον αέρα, επιτρέποντας την οξείδωσή τους σε κινόνες. Παράλληλα δρα η PPO, καθώς απελευθερώνεται από τα πλαστίδια λόγω της διατάραξης των κυττάρων και έρχεται σε επαφή με τις φαινολικές ενώσεις (Glagoleva et al., 2020). Ο μηχανισμός δράσης της PPO, εμπεριέχει δύο αντιδράσεις, οι οποίες χρησιμοποιούν το οξυγόνο τόσο σαν οξειδωτικό όσο και σαν συν-υπόστρωμα (Sabarre & Yagonia-Lobarbio, 2021). Το ενεργό κέντρο της PPO αποτελείται από δύο άτομα χαλκού και οι αντιδράσεις που καταλύει είναι: η υδροξυλίωση των μονοφαινολών σε ορθο-διφαινόλες (δράση μονοφαινολάσης ή κρεζολάσης) και η οξείδωση ορθο-διφαινολών σε ορθο-κινόνες (δράση διφαινολάσης ή κατεχολάσης). Στη συνέχεια, ακολουθεί είτε πολυμερισμός των κινονών είτε η αντίδρασή τους με αμινοξέα ή πρωτεΐνες και σχηματίζονται μελανίνες, χρωστικές υψηλής μοριακής μάζας και σκούρου χρώματος (Εικόνα 1.2) (Queiroz et al., 2008).



Εικόνα 1.2. Αντίδραση ενζυμικού μαυρίσματος καταλυόμενη από την PPO (Gacche et al., 2006)

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την ενζυμική ενεργότητα

1.4.1 Εκλεκτικότητα υποστρώματος

Τα κύρια υποστρώματα της PPO είναι κυρίως οι φαινολικές ενώσεις, των οποίων οι συγκεντρώσεις διαφέρουν ανάλογα την φυτική πηγή. Η καταλυτική δραστηριότητα του ενζύμου εξαρτάται από τον αριθμό των ομάδων υδροξυλίου, την θέση τους στον βενζολικό δακτύλιο του υποστρώματος και τη φύση της πλευρικής αλυσίδας (Yoruk & Marshall, 2003). Συγκεκριμένα, η PPO πατάτας είναι ενεργή σε κατεχόλη, καφεϊκό και χλωρογενικό οξύ (Li et al., 2018), ενώ η ενεργότητα της είναι υψηλότερη στο εξωτερικό της πατάτας, συμπεριλαμβανομένης της φλούδας και του ιστού 1 έως 2 mm κάτω από αυτή (Thygesen et al., 1995).

1.4.2 Επίδραση pH

Η ενεργότητα των ενζύμων επηρεάζεται άμεσα από το pH του περιβάλλοντος που βρίσκονται. Οι ενεργότητες των περισσότερων ενζύμων παρουσιάζουν μια καμπύλη σε σχήμα καμπάνας, η οποία αυξάνεται ξεκινώντας από το 0, σε έντονα όξινες συνθήκες για να φτάσει σε μια τιμή και στη συνέχεια μειώνεται έως το 0 καθώς το pH γίνεται έντονα αλκαλικό (Jukanti, 2017). Η τρισδιάστατη δομή του ενζύμου, καθώς και η κατάσταση πρωτονίωσης των λειτουργικών ομάδων των αμινοξέων και των συμπαραγόντων που συμμετέχουν στην ενζυμική αντίδραση, επηρεάζουν τη συμπεριφορά του. Ενώ η πρωτονίωση μπορεί να αντιστραφεί, η μη-αντιστρέψιμη μετουσίωση της πρωτεΐνης, μπορεί να μειώσει την δράση του ενζύμου

(Bisswanger, 2014). Όσον αφορά την κινητική συμπεριφορά της PPO, έχει αναφερθεί ότι μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα τις αλλαγές διαμόρφωσης του ενζύμου που προκαλούνται από το pH (Jukanti, 2017). Σχετικές έρευνες, αναφέρουν ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές βέλτιστες τιμές pH, λόγω της παρουσίας δύο διαφορετικών καταστάσεων ιονισμού του συμπλόκου ενζύμου-υποστρώματος, λόγω δύο σταθερών διάσπασης οξέων ή δύο διαφορετικών ισομορφών της PPO στο εκχύλισμα (Jukanti, 2017; Yoruk & Marshall, 2003). Συγκεκριμένα, με υπόστρωμα χλωρογενικό οξύ/τριπ-βουτυλική αλκοόλη, η ενεργότητα του ενζύμου ήταν υψηλότερη στις περιοχές pH 4,5-5,0 και 6,0-6,5 (Jukanti, 2017). Επιπλέον, με χρήση κατεχόλης, ως βέλτιστο pH βρέθηκε η τιμή 6,5 (Li et al., 2018).

1.4.3 Επίδραση θερμοκρασίας

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ενεργότητα των ενζύμων προσομοιάζει με την επίδραση του pH, δηλαδή με αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση της ενεργότητας έως να φτάσει τη μέγιστη τιμή και στη συνέχεια να μειωθεί. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στις εξής αντίρροπες δυνάμεις: (α) η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την ταχύτητα χημικής αντίδρασης δύο έως τρεις φορές κάθε 10°C [ισχύει για τις ενζυμικές αντιδράσεις] και (β) η αποσταθεροποίηση της θερμοευαίσθητης τρισδιάστατης δομής του ενζύμου σε υψηλότερη θερμοκρασία προκαλεί μετουσίωση και μείωση της ταχύτητας αντίδρασης (Jukanti, 2017). Επίσης, η μεταβολή της θερμοκρασίας μπορεί να επηρεάσει τη διαλυτότητα του οξυγόνου, το οποίο είναι απαραίτητο για την καταλυτική δράση της PPO (Jukanti, 2017; Yoruk & Marshall, 2003). Στην περίπτωση της πατάτας, χρησιμοποιώντας κατεχόλη ως υπόστρωμα, η βέλτιστη θερμοκρασία δράσης της PPO είναι 40°C (Jukanti, 2017; Li et al., 2018).

Κεφάλαιο 2: Απενεργοποίηση πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO)

2.1 Εισαγωγή

Η χρωματική αλλοίωση των φρούτων και λαχανικών αποτελεί κεντρικό αντικείμενο μελέτης, καθώς πρόκειται για ένα βασικό παράγοντα της απώλειας ποιότητάς τους. Οι μελέτες επικεντρώνονται στην απενεργοποίηση ή παρεμπόδιση της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO), καθώς η καταλυτική δράση της είναι υπεύθυνη για το χαρακτηριστικό μαύρισμα που συναντάται κατά τον χειρισμό φυτικών ιστών. Οι πατάτες είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στους καταναλωτές και καλλιεργούνται ευρέως, όμως ο σκούρος χρωματισμός του ιστού είναι η κυριότερη παράμετρος υποβάθμισης της ποιότητας των φρέσκων πατατών. Για τον λόγο αυτό, η επιστημονική έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μεθόδων οι οποίες παρεμποδίζουν το ενζυμικό μαύρισμα διατηρώντας τις διατροφικές και οργανοληπτικές ιδιότητες της πατάτας ενώ ταυτόχρονα αυξάνουν την διάρκεια ζωής της.

Η προσέγγιση για την πρόληψη του ενζυμικού μαυρίσματος και τη συντήρηση τροφίμων διακρίνεται σε φυσικές, χημικές και ενζυμικές μεθόδους. Η πιο συμβατική φυσική μέθοδος είναι η θερμική επεξεργασία, όμως η χρήση θερμότητας συνήθως συνεπάγεται τη καταστροφή των θερμοευαίσθητων θρεπτικών συστατικών και την αλλοίωση της γεύσης, του χρώματος και της υφή των προϊόντων. Για την αποφυγή αυτών, ευρέως χρησιμοποιούμενες είναι οι χημικές και ενίοτε οι ενζυμικές μέθοδοι.

2.1.1 Φυσικές μέθοδοι- Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία είναι η παλαιότερη και καθιερωμένη τεχνική για τη σταθεροποίηση και τη συντήρηση των τροφίμων, καθώς η θερμότητα αδρανοποιεί τα μικρόβια και μετουσιώνει τα αλλοιούμενα ένζυμα. Η επεξεργασία πραγματοποιείται τόσο σε ολόκληρα ή κομμένα κομμάτια λαχανικών, όσο και σε χυμούς και πολτούς. Ανάλογα με το φρούτο/λαχανικό, η έκθεση σε 70°C έως 100 °C αδρανοποιεί μερικώς ή πλήρως την PPO (Marques Silva & Sulaiman, 2019).

2.1.1.1 Ζεμάτισμα

Το ζεμάτισμα είναι η επεξεργασία που πραγματοποιείται στα φρούτα/λαχανικά με κύριο στόχο την αδρανοποίηση των ενζύμων τα οποία είναι υπεύθυνα για τις αντιδράσεις υποβάθμισης της ποιότητας τους. Καθώς ορισμένα ένζυμα μπορούν να είναι ενεργά σε ακραίες θερμοκρασίες και

να αλλοιώνουν τα προϊόντα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, το ζεμάτισμα πραγματοποιείται συνήθως ως προ επεξεργασία σε τεχνικές όπως η κατάψυξη και η ξήρανση. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος ζεματίσματος είναι η εμβάπτιση σε ζεστό νερό, καθώς είναι απλή (70 έως 100 °C για μερικά λεπτά) και έχει μικρό λειτουργικό κόστος (Marques Silva & Sulaiman, 2019). Παρ' όλα αυτά, το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η απώλεια υδατοδιαλυτών θρεπτικών συστατικών, τα οποία μπορούν να διαρρεύσουν από το φυτικό ιστό (Xiao et al., 2017). Με στόχο την μείωση της απώλειας αυτής και την αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας της επεξεργασίας, έχουν αναπτυχθεί οι παρακάτω καινοτόμες μέθοδοι ζεματίσματος.

Πρόσκρουση θερμού αέρα υψηλής υγρασίας

Η μέθοδος της πρόσκρουσης θερμού αέρα υψηλής υγρασίας συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας ατμού με αυτή της πρόσκρουσης, έχοντας ως αποτέλεσμα μία ομοιόμορφη και γρήγορη επεξεργασία, χωρίς υγρά απόβλητα. Συγκριτικά με τη μέθοδο που χρησιμοποιεί υπέρθερμο ατμό, σύμφωνα με τους Xiao et al. (2014), η προκείμενη μέθοδος έχει υψηλότερο ρυθμό μεταφοράς θερμότητας.

Ζεμάτισμα με μικροκύματα

Η θέρμανση με μικροκύματα λειτουργεί με τον εξής τρόπο: τα λαχανικά/φρούτα απορροφούν ενέργεια από τα μικροκύματα -με μήκη κύματος που κυμαίνονται από 1mm έως 1m και αντίστοιχες συχνότητες από 300 MHz έως 300 GHz- και τη μετατρέπουν σε θερμότητα. Αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου της διηλεκτρικής θέρμανσης, που προκαλείται από την περιστροφή του μοριακού διπόλου και την ανάδευση των φορτισμένων ιόντων, μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο υψηλής συχνότητας. Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η θέρμανση πραγματοποιείται σε όλη την επιφάνεια του προϊόντος με γρήγορο ρυθμό, συνεπώς δε σημειώνεται σημαντική απώλεια θρεπτικών συστατικών (Xiao et al., 2017). Συγκεκριμένα, οι Gunes και Bayındırlı (1993), κατέγραψαν ότι διατηρείται μεγαλύτερο ποσοστό ασκορβικού οξέος στα φασόλια, στον αρακά και στα καρότα όταν χρησιμοποιούνται μικροκύματα έναντι νερού κατά το ζεμάτισμα.

Ωμική θέρμανση

Γνωστή και ως θέρμανση με ηλεκτρική αντίσταση, η ωμική θέρμανση βασίζεται στην ηλεκτρική αντίσταση του τροφίμου στο ρεύμα που προκαλείται. Έτσι, παράγεται θερμότητα με γρήγορο ρυθμό η οποία κατανέμεται ομοιόμορφα (Leizerson & Shimonì, 2005).

Ζεμάτισμα με υπέρυθρη ακτινοβολία

Η υπέρυθρη θέρμανση παράγεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εμπίπτει μεταξύ των ορατών φωτεινών κυμάτων (0.38-0.78 μm) και των μικροκυμάτων (1-1000 mm). Συγκεκριμένα, η ακτινοβολία διεισδύει στην επιφάνεια του τροφίμου προκαλώντας τη δόνηση των μορίων του, παράγοντας θερμότητα (Rastogi, 2012).

Σύμφωνα με την μελέτη που διεξήχθη σχετικά με τη χρήση καινοτόμων μεθόδων θερμικής επεξεργασίας σε πατάτες, καταγράφεται ότι για τις πατάτες που χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία μικροκυμάτων και υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα τελικά προϊόντα είχαν καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με το συμβατικό ζεμάτισμα (Okonkwo et al., 2022).

2.1.1.2 Ξήρανση με θερμό αέρα

Οι μέθοδοι ξήρανσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις φυσικές και τις μηχανικές. Η φυσική μέθοδος ξήρανσης χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την απομάκρυνση της υγρασίας από τα τρόφιμα. Πρόκειται για μία αναξιόπιστη μέθοδο λόγω της εξάρτησης της από τις καιρικές συνθήκες και την υψηλή πιθανότητα επιμόλυνσης των προϊόντων καθώς είναι εκτεθειμένα. Αντιθέτως, η τεχνητή μέθοδος ξήρανσης προτιμάται περισσότερο από τη φυσική μέθοδο ξήρανσης λόγω του ταχύτερου ρυθμού ξήρανσης και της αποδοτικότητας στην απομάκρυνση μεγάλων ποσοτήτων υγρασίας από τα προϊόντα (Toshniwal, 2013).

Η μηχανική μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι η συμβατική ξήρανση με θερμό αέρα. Κατά της διάρκεια της επεξεργασίας, πραγματοποιούνται ταυτόχρονα μεταφορά μάζας και θερμότητας: (α) μεταφορά ενέργειας σε μορφή θερμότητας από το θερμό αέρα και (β) μεταφορά της εσωτερικής υγρασίας στην επιφάνεια του τροφίμου και επιφανειακή εξάτμιση

της λόγω της θερμότητας. Η διεργασία εξαρτάται από τη θερμοκρασία ξήρανσης, την ταχύτητα του αέρα, το πάχος του τροφίμου και την σχετική υγρασία του μέσου ξήρανσης (Zhang et al., 2022). Άλλες μέθοδοι ξήρανσης που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία τροφίμων είναι η ξήρανση με μικροκύματα, με ψεκασμό, σε τύμπανο, σε κλίβανο, η λυοφυλίωση και η ρευστοποιημένη κλίνη (Adeyeye et al., 2022; Inyang et al., 2017).

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, οι μηχανικές μέθοδοι ξήρανσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, είτε έχουν πολύ υψηλό κόστος εξοπλισμού, είτε απαιτούν μεγάλη ποσότητα ενέργειας, οπότε δεν εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα. Επιπλέον, η εφαρμογή υψηλής θερμοκρασία οδηγεί στην υποβάθμιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος και απώλεια θρεπτικών συστατικών (Inyang et al., 2017).

2.1.2 Χημικές μέθοδοι

Οι χημικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως για την αναστολή της PPO και την πρόληψη του ενζυμικού μαυρίσματος σε μια σειρά από τρόφιμα. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν την εφαρμογή συγκεκριμένων χημικών ενώσεων ή επεξεργασιών που παρεμβαίνουν στην ενζυμική αντίδραση που είναι υπεύθυνη για το μαύρισμα. Στοχεύοντας το ένζυμο PPO ή την ίδια την αντίδραση μαυρίσματος, οι μέθοδοι αυτές συμβάλλουν στη διατήρηση της εμφάνισης, της γεύσης και της διάρκειας ζωής των τροφίμων.

Μία από τις κύριες προσεγγίσεις για την αναστολή του ενζυμικού μαυρίσματος είναι η οξίνιση. Οι παράγοντες οξίνισης, όπως το κιτρικό οξύ, το ασκορβικό οξύ και η γλουταθειόνη μπορούν να καταστείλουν την δραστηριότητα της PPO μειώνοντας το pH, επιβραδύνοντας έτσι τη διαδικασία μαυρίσματος (Moon et al., 2020).

Μια άλλη αποτελεσματική στρατηγική περιλαμβάνει τη χρήση θειούχων παραγόντων, όπως διοξείδιο του θείου ή θειούχες ενώσεις. Ο αναγωγικός παράγοντας, το θειικό άλας, και τα παράγωγά του δρουν ως μη αναστρέψιμοι αναστολείς της PPO. Πιο συγκεκριμένα, η θειώδης ρίζα, προσδένεται με μία ομάδα σουλφυδρυλίου στο κέντρο ενεργό κέντρο της PPO, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της (Moon et al., 2020; Nirmal et al., 2015). Ιδιαίτερα αποτελεσματικός παρεμποδιστής είναι το μεταδιθειώδες νάτριο, το οποίο ακόμη και σε μικρές

συγκεντρώσεις της τάξεως των 100mg/L μειώνει σημαντικά την καταλυτική δράση της PPO (Arlette A. N'Guessan et al., 2018).

Οι χηλικοί παράγοντες, όπως το κιτρικό και το οξαλικό οξύ είναι σε θέση να καταστείλουν τη δραστηριότητα της PPO διότι μπορούν να δεσμεύσουν το χαλκό που βρίσκεται στη δομή της PPO (B. Singh et al., 2018).

Ευρέως χρησιμοποιούμενοι για την καταστολή του μαυρίσματος είναι οι αντιοξειδωτικοί παράγοντες. Μπορούν να αντιδράσουν με το οξυγόνο και να καταστείλουν την έναρξη του μαυρίσματος ενώ ταυτόχρονα είναι σε θέση να δεσμεύσουν τα ενδιάμεσα προϊόντα, αποτρέποντας έτσι τον σχηματισμό μελανίνης μέσω της αλυσιδωτής αντίδρασης (Lindley, 1998). Το ασκορβικό οξύ χρησιμοποιείται πολύ συχνά από τη βιομηχανία τροφίμων για την αντιμετώπιση του μαυρίσματος. Η δράση του αποδίδεται στην ικανότητα του να ανάγει τις σχηματιζόμενες κινόνες στις πρόδρομες διφαινόλες τους, πριν την έναρξη των δευτερογενών αντιδράσεων που ευθύνονται για το χαρακτηριστικό μαύρισμα των προϊόντων (Arias et al., 2007; Moon et al., 2020).

2.1.3 Ενζυμικές μέθοδοι

Οι πρωτεάσες, ένζυμα υπεύθυνα για την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών, μπορούν να βοηθήσουν στην αναστολή της PPO. Ο μηχανισμός που έχει προταθεί, με τον οποίο οι πρωτεάσες αναστέλλουν την PPO, είναι η αποικοδόμηση του ίδιου του ενζύμου. Οι πρωτεάσες μπορούν να διασπάσουν τους πεπτιδικούς δεσμούς εντός της πρωτεΐνης PPO με υδρόλυση, οδηγώντας στη διάσπαση της δομής του ενζύμου. Η αποικοδόμηση αυτή μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια της δραστηριότητας της PPO, συνεπώς στην παρεμπόδιση του ενζυμικού μαυρίσματος. Οι πρωτεάσες που έχουν εξεταστεί μέχρι σήμερα είναι οι εξής: η βρωμελαΐνη από ανανά, η παπαΐνη από παπάγια και η φικίνη από σύκα. Σύμφωνα με έρευνα που μελέτησε την ικανότητα αναστολής της PPO σε δείγματα πατάτας, η φικίνη και η παπαΐνη είχαν ικανοποιητική δράση σε θερμοκρασία 4°C (Laurila et al., 1998; Taoukis et al., 1989).

Κεφάλαιο 3: Ωσμωτική αφυδάτωση

3.1 Εισαγωγή

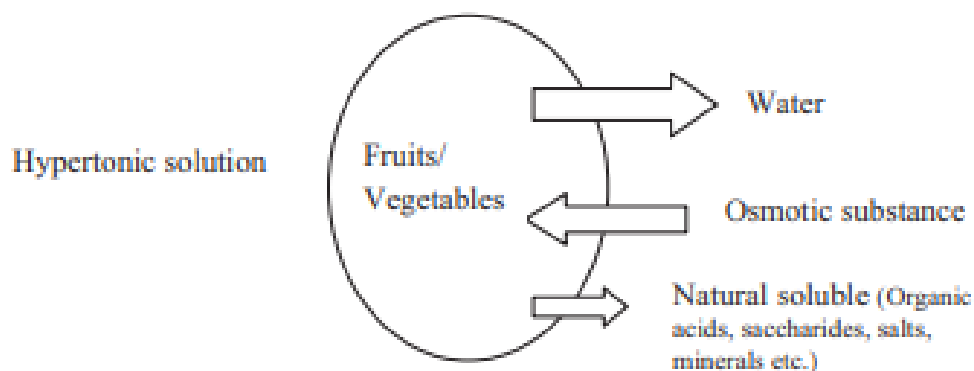
Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική συντήρησης τροφίμων, η οποία βασίζεται στην απομάκρυνση της υγρασίας από τα τρόφιμα. Σημαντική πτυχή της διεργασίας είναι η αμφίδρομη μεταφορά μάζας από και προς το ωσμωτικό διάλυμα. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα της ενσωμάτωσης επιθυμητών ουσιών στο προϊόν, με στόχο την βελτίωση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών. Η ωσμωτική κατεργασία έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι δεν εκθέτει τα τρόφιμα σε υψηλή θερμοκρασία, δίνοντας τη δυνατότητα διατήρησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους. Επιπλέον, μετά την επεξεργασία η τιμή ενεργότητας νερού των τροφίμων έχει μειωθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε να επιβραδύνεται η μικροβιολογική ανάπτυξη, αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τους κατά την συντήρηση.

3.1.1 Μηχανισμός ωσμωτικής αφυδάτωσης

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία τεχνική συντήρησης τροφίμων που περιλαμβάνει τη μερική απομάκρυνση νερού μέσω διάχυσης, με εμβάπτιση σε ένα υπερτονικό διάλυμα. Η τεχνική αυτή είναι συνδυασμός της διαδικασίας αφυδάτωσης και εμποτισμού, κατά την οποία κινητήρια δύναμη για την απομάκρυνση νερού είναι η διαφορά ωσμωτικής πίεσης. Κύρια προϋπόθεση της ώσμωσης είναι η διατήρηση μικρότερης τιμής ενεργότητας νερού του υπερτονικού διαλύματος σε σχέση με αυτή του τροφίμου (Ramya & Jain, 2017). Κατά την διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης λαμβάνουν χώρα τα εξής φαινόμενα μεταφοράς μάζας (Akbarian et al., 2014; Ramya & Jain, 2017):

- Διάχυση του νερού από το τρόφιμο στο διάλυμα αρχικά με ταχύτερο ρυθμό και με αργό ρυθμό στη συνέχεια.
- Μεταφορά διαλυμένης ουσίας από το υπερτονικό διάλυμα στο εσωτερικό των κυττάρων του τροφίμου.
- Εκροή διαλυμένων ουσιών του αρχικού προϊόντος, όπως αναγωγικά σάκχαρα, βιταμίνες κ.α προς το διάλυμα, τα οποία επηρεάζουν τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

Λόγω της διαφοράς συγκέντρωσης μεταξύ των κυττάρων και του υπερτονικού διαλύματος, τα κύτταρα του πρώτου στρώματος του υλικού αρχίζουν να συρρικνώνονται λόγω της απώλειας νερού. Στη συνέχεια, λόγω της διαφοράς που δημιουργήθηκε στην ποσότητα νερού μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης στρώσης κυττάρων, τα κύτταρα της δεύτερης στρώσης αντλούν το νερό στη πρώτη και τα ίδια συρρικνώνονται. Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ακολούθως η συρρίκνωση του ιστού πραγματοποιούνται ταυτόχρονα ξεκινώντας από την επιφάνεια προς το κέντρο του υλικού. Οι δύο αυτές διεργασίες συμβαίνουν συναρτήσει του χρόνου της διεργασίας της ώσμωσης έως το τέλος όπου τα κύτταρα στο κέντρο αποβάλλουν το νερό και η διαδικασία μεταφοράς μάζας εξισορροπείται (Phisut, 2012).



Εικόνα 3.1. Φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε φρούτα και λαχανικά κατά τη διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (Ramya & Jain, 2017)

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μια διαδικασία κατά την οποία η μάζα μεταφέρεται από δύο αντίθετες ροές μέσω μιας μεμβράνης. Η κινητική της μεταφοράς μάζας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, του χρόνου επεξεργασίας, και της συγκέντρωσης και σύνθεσης του ωσμωτικού διαλύματος. Κατά τη διαδικασία αυτή, δύο σημαντικά μεγέθη που μας δίνουν πληροφορίες είναι η απώλεια υγρασίας (Water Loss-WL) και η πρόσληψη στερεών (Solid Gain-SG) και υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \quad (3.1)$$

$$SG = \frac{m - m_0}{m_0} \quad (3.2)$$

όπου M_0 : αρχικό βάρος του δείγματος πριν την ωσμωτική αφυδάτωση, M : βάρος μετά την ώσμωση, m : ξηρό βάρος του δείγματος μετά την ώσμωση και m_0 : αρχικό ξηρό βάρος χωρίς την ώσμωση.

Για τη συσχέτιση της απώλειας νερού (WL) και της πρόσληψης στερεών (SG) με τις παραμέτρους της ωσμωτικής αφυδάτωσης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εμπειρικά ή ημι-εμπειρικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να προσεγγίσουν τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης είτε από μακροσκοπική είτε από μικροσκοπική προοπτική. Ορισμένα από αυτά είναι εξειδικευμένα και μπορούν να εφαρμοστούν σε ακανόνιστα σχήματα, ενώ άλλα μοντέλα λειτουργούν με ορισμένες παραδοχές όπως η γεωμετρία των δειγμάτων, οι τιμές ισορροπίας, η συρρίκνωση του δείγματος και η αντίσταση του διαλύματος. Η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη στερεών αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την αξιολόγηση της διαδικασίας, ωστόσο πληροφορίες όπως το είδος του ιστού, το δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης και το δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης είναι σημαντικές για την εκτίμηση του ρυθμού των δύο αυτών παραμέτρων (Mebatsion et al., 2008; Ochoa-Martínez & Ayala-Arante, 2007).

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μοντέλο βασίζεται στον 2^ο νόμο του Fick, το οποίο περιγράφει τον μηχανισμό διάχυσης κατά τη διάρκεια της ώσμωσης και υπολογίζει τους συντελεστές διάχυσης μέσω αναλυτικών λύσεων (Azuara et al., 1992). Ο μηχανισμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε μη μόνιμη κατάσταση περιγράφεται από την εξίσωση (3.3):

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dz^2} \quad (3.3)$$

Όπου C : συνολική ποσότητα της διαλυμένης ουσίας στο φρούτο τη χρονική στιγμή t , t : ο χρόνος (min), D : συντελεστής διάχυσης και z : χαρακτηριστική απόσταση που εξαρτάται από τη γεωμετρία του τροφίμου.

3.1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν την ωσμωτική αφυδάτωση

Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι μία δυναμική διεργασία και τα χαρακτηριστικά του προϊόντος μπορούν να μεταβληθούν με τον έλεγχο της θερμοκρασίας, της μάζας της διαλυμένης ουσίας, την αναλογία υλικού και ωσμωτικού διαλύματος και του χρόνου ώσμωσης ώστε η διαδικασία να γίνει ταχύτερη (Chavan & Amagowicz, 2012).

Θερμοκρασία

Μία από τις σημαντικότερες μεταβλητές που επηρεάζουν την κινητική της μεταφοράς μάζας κατά τη διάρκεια της ώσμωσης είναι η θερμοκρασία (Alakali et al, 2006; Rafiq Khan, 2012). Σύμφωνα με τον Phisut (2012), η υψηλή θερμοκρασία μειώνει το ιξώδες του ωσμωτικού διαλύματος και συνεπώς της εξωτερικής αντίστασης στη μεταφορά μάζας, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών. Παρ' όλα αυτά, η θερμοκρασία δεν συνιστάται να υπερβαίνει τους 60°C, λόγω της θερμικής ευαισθησίας των κυτταρικών τοιχωμάτων (Akbarian et al., 2014).

Σύσταση και συγκέντρωση ωσμωτικού διαλύματος

Η επιλογή του ωσμωτικού μέσου αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη διεργασία της ώσμωσης, καθώς επηρεάζει άμεσα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Με βάση τη βιβλιογραφία, χρησιμοποιούνται διαλύματα γλυκερόλης, σορβιτόλης, γλυκόζης και φρουκτόζης. Επιπλέον, μέρος του ωσμωτικού διαλύματος μπορούν να αποτελέσουν ουσίες πλήρως αναμίξιμες και διαλυτές στο νερό, όπως το χλωριούχο νάτριο, χλωριούχο ασβέστιο και σάκχαρα. Τα μόρια με χαμηλό μοριακό βάρος, διεισδύουν ευκολότερα στα φυτικά κύτταρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια χαμηλού μοριακού βάρους, μπορούν να διαπεράσουν τα κύτταρα σε αντίθεση με τα μόρια υψηλού μοριακού βάρους. Συνεπώς, η απώλεια νερού ευνοείται από τα μόρια υψηλού μοριακού βάρους (Akbarian et al., 2014; Phisut, 2012). Ακόμη, σημαντική παράμετρο για τη διεργασία τη ώσμωσης αποτελεί η συγκέντρωση του ωσμωτικού διαλύματος, καθώς όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση τόσο μεγαλύτερη η απώλεια υγρασίας και η πρόσληψη στερεών. Γεγονός που αποδόθηκε από τον Tortoe (2010) στην ενεργότητα του νερού η οποία μειώνεται με αύξηση της συγκέντρωσης. Γενικά, για να επιτευχθεί υψηλότερος

λόγος απώλεια νερού/πρόσληψη στερεών και μείωση της διείσδυσης κατά την ώσμωση, είναι σύνηθες ο συνδυασμός μειγμάτων σακχαρόζης και άλατος σε διαφορετικές αναλογίες (Λάζος & Λάζου, 2016).

Ανάδευση ωσμωτικού διαλύματος

Η ανάδευση μπορεί να ενισχύσει τη μεταφορά μάζας, καθώς περιορίζει την αντίσταση στη μεταφορά και αποτρέπει το σχηματισμό αραιωμένου διαλύματος γύρω από το δείγμα. Παράλληλα, η συνεχής κίνηση αποτρέπει την επίπλευση των δειγμάτων, όμως, η ανάδευση πρέπει να έχει ήπιο ρυθμό για την αποφυγή τραυματισμού του φυτικού ιστού (Phisut, 2012).

Αναλογία δείγματος προς ποσότητα ωσμωτικού διαλύματος

Η αναλογία δείγματος ανά όγκο ωσμωτικού διαλύματος, επηρεάζει τον ρυθμό απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών και πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αποφευχθεί η αραιώση του υπερτονικού διαλύματος καθώς εξέρχεται νερό από το δείγμα. Ως βέλτιστη αναλογία δείγματος/διαλύματος αναφέρεται το 1:3 ή το 1:5 (Ramya & Jain, 2017).

3.1.3 Ωσμωτική αφυδάτωση σε πατάτες

Οι φρεσκοκομμένες πατάτες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες και υφίστανται ταχεία υποβάθμιση της ποιότητας τους λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, περίπου 75-85% του βάρους τους. Κύριοι υπεύθυνοι για την υποβάθμιση αυτή είναι το ενζυμικό μαύρισμα της κομμένης επιφάνειας, το οποίο συνοδεύεται από μικροβιακή αλλοίωση (Akbarian et al., 2014; Rashid et al., 2021). Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται η ελάχιστη τιμή ενεργότητας νερού, a_w , για την ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών που οφείλονται για την υποβάθμιση της ποιότητας των φρούτων και των λαχανικών. Η ωσμωτική αφυδάτωση είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της περιεκτικότητας σε νερό, χωρίς να επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά των φρέσκων προϊόντων. Λόγω της συνεχούς εμβάπτισης του προϊόντος στο ωσμωτικό μέσο, ο φυτικός ιστός δεν εκτίθεται σε οξυγόνο, επομένως προστατεύεται από το ενζυμικό μαύρισμα, και παράλληλα οι πρωτεΐνες της πατάτας δεν μετουσιώνονται (Akbarian et al., 2014; Hawa et

al., 2020). Σύμφωνα με τον Tortoe (2010), τα σάκχαρα που περιέχονται στο ωσμωτικό διάλυμα, αφενός παρεμποδίζουν τη δράση της PPO και αφετέρου προλαμβάνουν την απώλεια των πτητικών ενώσεων κατά την περαιτέρω επεξεργασία των τροφίμων (Tortoe, 2010). Σημαντικό πλεονέκτημα της διεργασίας είναι ότι χάρη στην αμφίδρομη μεταφορά μάζας, στο διάλυμα μπορούν να προστεθούν ουσίες, όπως αντιοξειδωτικά που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι οποίες ενσωματώνονται στο προϊόν, με στόχο να περιορίσουν το ενζυμικό μαύρισμα.

Πίνακας 3.1. Εφαρμογές ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πατάτες

Τρόφιμο	Ωσμωτικό διάλυμα	Αναλογία διάλυμα:τρόφιμο	T (°)	Βιβλιογραφική αναφορά
Πατάτες	Μαλτοδεξτρίνη, χλωριούχο νάτριο	40	20-45	(Goula et al., 2017)
Πατάτες	40-75% σακχαρόζη	-	50-70	(Agarry & Yusuf, 2008)
Πατάτες	10-18% χλωριούχο νάτριο	20	25-55	(Khin et al., 2006)

Ακόμη, τα προϊόντα μετά την ωσμωτική επεξεργασία έχουν υψηλότερη σταθερότητα κατά την συντήρησή τους, λόγω της χαμηλής ενεργότητας του νερού. Έτσι, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών που παράγουν τοξίνες στα τρόφιμα είναι χαμηλή, σε αντίθεση με τα ανεπεξέργαστα (Akbarian et al., 2014; Sharma et al., 1991). Βέβαια, η ωσμωτική αφυδάτωση συχνά εφαρμόζεται ως προ-κατεργασία άλλων μεθόδων συντήρησης, προκειμένου να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος, εφόσον από μόνη της δεν οδηγεί σε σταθερό προϊόν.

Πίνακας 3.2. Ελάχιστες τιμές ενεργότητας νερού, a_w , για την ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών σε φρούτα και λαχανικά (Dilbaghi & Sharma, 2007)

	Ελάχιστη ενεργότητα νερού, a_w	Παραδείγματα
Περισσότερα βακτήρια	0.91	<i>Salmonella spp.</i> , <i>Clostridium botulinum</i>
Περισσότερες ζύμες	0.88	<i>Torulopsis spp.</i>
Περισσότεροι μύκητες	0.80	<i>Aspergillus flavus</i>
Αλόφιλα βακτήρια	0.75	<i>Walleimia sebi</i>
Ξηρόφιλοι μύκητες	0.65	<i>Aspergillus echinulatas</i>
Οσμόφιλα	0.60	<i>Saccharomyces bisporus</i>

Κεφάλαιο 4: Τεχνικές ενίσχυσης των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

4.1 Εισαγωγή

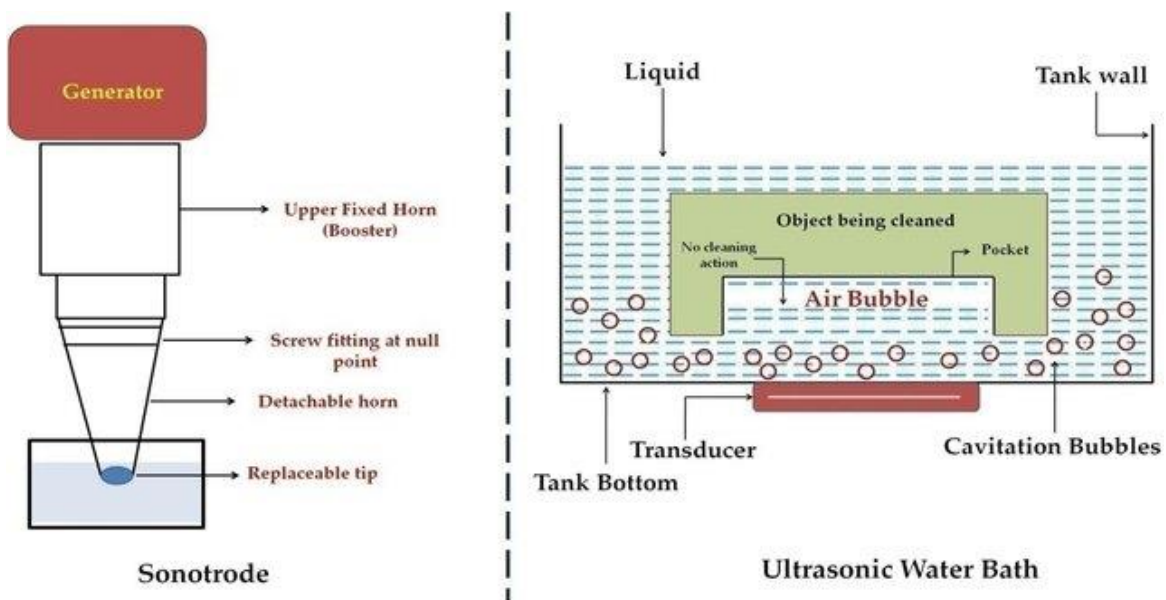
Οι διεργασίες μεταφοράς μάζας είναι ιδιαίτερα σημαντικές στη βιομηχανία τροφίμων, με σκοπό την παραλαβή μίας δεδομένης ουσίας ή την ενσωμάτωση ουσιών στο προϊόν. Ειδικότερα στην επεξεργασία φυτικών κυττάρων, οι κυτταρικές μεμβράνες που τα περικλείουν, δρουν σαν φραγμοί στις διαδικασίες διάχυσης, οι οποίοι ελέγχουν τη μεταφορά ουσιών από το εσωτερικό του κυττάρου προς το εξωτερικό περιβάλλον και το αντίστροφο. Επομένως, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι συνδυαστικά ως προ-επεξεργασίες με διεργασίες αφυδάτωσης, με στόχο την αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης, ενισχύοντας έτσι τα φαινόμενα μεταφορά μάζας (Janositz et al., 2011). Μερικές από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται είναι η εφαρμογή κενού, οι υπέρηχοι, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η υπερυψηλή πίεση. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις δύο τελευταίες, την διεργασία της υπερυψηλής πίεσης και των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, καθώς πρόκειται για μη θερμικές διεργασίες, οι οποίες διατηρούν τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Ακόμη, υπό συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας για την περίπτωση της Υπερυψηλής Πίεσης, και έντασης ηλεκτρικού πεδίου για την περίπτωση των Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων, επιτυγχάνεται μικροβιακή αδρανοποίηση.

4.2 Υπέρηχοι

Η ενίσχυση της μεταφοράς μάζας με την τεχνολογία των υπερήχων έχει αποδοθεί σε διάφορους μηχανισμούς, εκ των οποίων κάποιοι έχουν άμεση και άλλοι έμμεση επίδραση (Εικόνα 4.1). Η άμεση επίδραση σχετίζεται με το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Όταν τα υπερηχητικά κύματα (συχνότητας μεγαλύτερης των 20 kHz) διαπερνούν το προϊόν, προκαλείται ταχεία εναλλασσόμενη συστολή και διαστολή της μήτρας ιστού, που συμπιέζεται και απελευθερώνεται επανειλημμένα (de la Fuente-Blanco et al., 2006; Fan et al., 2021; Yao et al., 2009). Το φαινόμενο αυτό διατηρεί τους πόρους ανεμπόδιστους, διευκολύνοντας τη μεταφορά μάζας, ενώ ταυτόχρονα προωθεί τη μεταφορά λόγω της άντλησης. Η έμμεση επίδραση σχετίζεται με το

φαινόμενο της ακουστικής σπηλαιώσης. Η υψηλή συχνότητα οδηγεί σε ανάπτυξη μικρών φυσαλίδων στο υγρό, οι οποίες δημιουργούν τοπικές διακυμάνσεις πίεσης και θερμοκρασίας, σχηματίζοντας κοιλότητες στο κυτταρικό τοίχωμα και αυξάνοντας την διαπερατότητα (Fan et al., 2021).

Οι έρευνες της χρήσης υπερήχων στα τρόφιμα, έχουν καταγράψει μόνο την έμμεση επίδραση τους σε αυτά (Miano et al., 2016). Εκτός από την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας, η χρήση υπερήχων αυξάνει την διάρκεια ζωής του τροφίμου και επηρεάζει την ενζυμική δραστηριότητα. Ωστόσο, λόγω της διάρρηξης των μοριακών δομών, ευνοείται η επαφή των ενζύμων με τα υποστρώματα. Μελέτες που χρησιμοποίησαν δείγματα πατάτας, κατέγραψαν ότι ενώ παρατηρήθηκε μείωση στην ενεργότητα της PPO τις πρώτες 4 μέρες, στη συνέχεια αυξήθηκε ξανά και δεν σημειώθηκε κάποια διαφορά στην εξέλιξη του ενζυμικού μαυρίσματος. Ταυτόχρονα, η επεξεργασία προκάλεσε φθορά στα κύτταρα των δειγμάτων (Amaral et al., 2015; Rashid et al., 2021).



Εικόνα 4.1. Εξοπλισμοί τεχνολογίας υπερήχων(Ahmad et al., 2023)

4.3 Υπερυψηλή Πίεση (ΥΠ)

4.3.1 Αρχή λειτουργίας της ΥΠ

Η υπερυψηλή πίεση είναι μια μη θερμική τεχνική επεξεργασίας που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων, καθώς διατηρεί την οργανοληπτική, ποιοτική και θρεπτική ακεραιότητα του τελικού προϊόντος. Η βασική αρχή λειτουργίας της ΥΠ συνίσταται στην υποβολή του τροφίμου σε μεγάλη υδροστατική πίεση (100-1000 MPa), για ελεγχόμενο χρονικό διάστημα (1-20 min) και θερμοκρασία. Μπορεί να εφαρμοστεί σε συσκευασμένα ή μη συσκευασμένα προϊόντα, υγρής ή στερεής μορφής. Οι κύριοι στόχοι της εφαρμογής ΥΠ, είναι η αδρανοποίηση μικροοργανισμών και ενζύμων και η αύξηση του ρυθμού μεταφοράς μάζας. Η αύξηση αυτή, επιτυγχάνεται λόγω της αυξημένης διαπερατότητας της κυτταρικού τοιχώματος που έχει προκληθεί από την διάρρηξη των κυτταρικών τοιχωμάτων μέσω της εφαρμογής ΥΠ σε αυτά. Η ΥΠ λειτουργεί σύμφωνα με τις εξής αρχές (V. M. B. Balasubramaniam et al., 2015):

I. Αρχή Le Chatelier

Η αρχή αυτή αφορά τις αλλαγές στην ισορροπία λόγω της πίεσης που εφαρμόζεται. Υποστηρίζει ότι κάθε φαινόμενο (αλλαγή φάσης, αλλαγή μοριακής διαμόρφωσης, χημική αντίδραση) που συνοδεύεται από μείωση του όγκου γίνεται εντονότερο με αύξηση της πίεσης. Όταν η ισορροπία ενός συστήματος διαταράσσεται, η ισορροπία μετατοπίζεται προς τη κατεύθυνση που τείνει να μειώσει την μεταβολή που προκλήθηκε. Έτσι, στην περίπτωση της ΥΠ όπου η πίεση αυξάνεται, ο όγκος του περιεχομένου της δεξαμενής επεξεργασίας μειώνεται.

II. Ισοστατική Αρχή

Η αρχή της ισοστατικότητας αναφέρει ότι η εφαρμογή της πίεσης γίνεται ομοιόμορφα και ακαριαία στο τρόφιμο, ανεξαρτήτως του σχήματος και του μεγέθους του. Ακόμη, ο χρόνος επεξεργασίας είναι ανεξάρτητος από τα χαρακτηριστικά του τροφίμου και όταν πάψει να ασκείται πίεση, το τρόφιμο θα επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.

III. Αρχή της μικροσκοπικής διάταξης

Η αρχή της μικροσκοπικής διάταξης, αφορά την επίδραση της πίεσης στις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις. Σε σταθερή θερμοκρασία, η αύξηση της πίεσης αυξάνει τον βαθμό διάταξης των μορίων μίας ουσίας. Σύμφωνα με αυτή την αρχή, η πίεση περιορίζει την περιστροφική, τη δονητική και τη μεταφορική κίνηση, αυξάνοντας έτσι την μοριακή τάξη. Συνεπώς, ασκούνται ανταγωνιστικές δυνάμεις στη μοριακή δομή και τις χημικές αντιδράσεις από την πίεση και τη θερμοκρασία (Balny & Masson, 1993).

4.3.2 Εξοπλισμός της διεργασίας Υπερυψηλής Πίεσης

Ένα τυπικό σύστημα ΥΠ αποτελείται από τα εξής:

α) ένα κυλινδρικό δοχείο πίεσης με πώμα, στο οποίο εισάγονται τα προς επεξεργασία τρόφιμα

β) μία μονάδα ανάπτυξης πίεσης

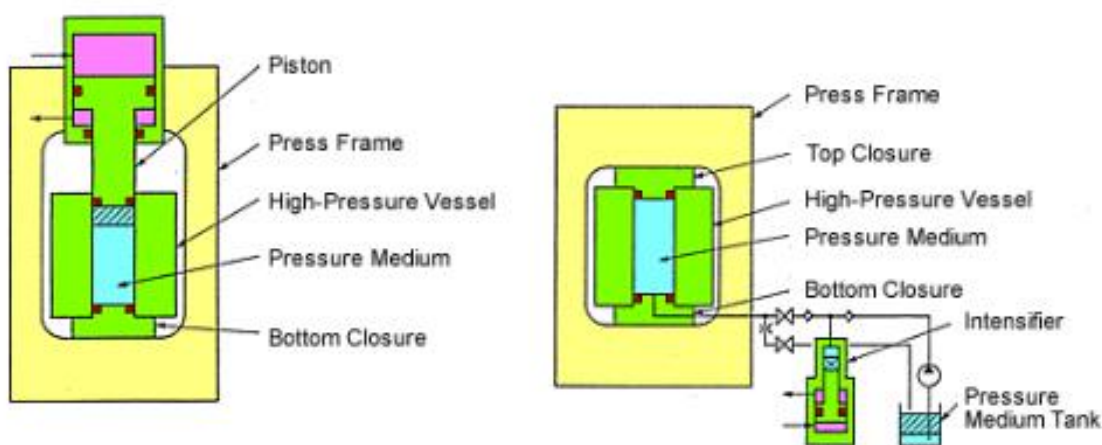
γ) ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας

δ) ένα σύστημα ελέγχου του συστήματος

Σε εργαστηριακή κλίμακα, τα δοχεία πίεσης έχουν όγκους από 0.1 έως 2 L, σε πιλοτική κλίμακα 10-25 L και σε βιομηχανική κλίμακα, ο όγκος των δοχείων συστημάτων ασυνεχούς λειτουργίας φτάνει έως και 600 L. Τα δοχεία ΥΠ είναι κατασκευασμένα από χάλυβα (για αποφυγή διάβρωσης) υψηλής αντοχής εφελκυσμού, ώστε να αντέχουν πιέσεις πάνω από 400 MPa και συνήθως σφραγίζονται με καπάκια με διακοπτόμενη ή συνεχή σπείρα για εύκολο άνοιγμα και κλείσιμο. Κατά τη λειτουργία, ως μέσο διάδοσης της πίεσης χρησιμοποιείται υγρό, νερό ή έλαιο, και αφού έχει αφαιρεθεί όλος ο αέρας, η παραγωγή της πίεσης μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεσα, έμμεσα ή με διαστολή του μέσου διάδοσης. Στην περίπτωση της άμεσης συμπίεσης, για τη συμπίεση χρησιμοποιείται ένα έμβολο, το οποίο κατευθύνεται από μία αντλία χαμηλής πίεσης. Η άμεση συμπίεση δεν βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα, λόγω του κινδύνου ανεπαρκούς στεγανοποίησης μεταξύ του εμβόλου και της εσωτερικής επιφάνειας του δοχείου. Στην περίπτωση της έμμεσης συμπίεσης, η οποία εφαρμόζεται στις περισσότερες μονάδες ΥΠ, το μέσο διάδοσης αντλείται από μία δεξαμενή προς το δοχείο πίεσης, έως την επίτευξη της

επιθυμητής πίεσης (Εικόνα 4.2) (V. M. Balasubramaniam & Farkas, 2008; Chawla et al., 2011). Στην τρίτη μέθοδο, πραγματοποιείται διαστολή του μέσου διάδοσης με την αύξηση της θερμοκρασίας, προς την ανάπτυξη πίεσης (Ohlsson & Bengtsson, 2002).

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, όταν απαιτείται σταθερή θερμοκρασία, χρησιμοποιείται ένας μανδύας, ο οποίος περιέχει στο εσωτερικό του ψυκτικό ή θερμαντικό μέσο και περιβάλλει το δοχείο πίεσεως. Εάν η διεργασία απαιτεί συχνή μεταβολή της θερμοκρασίας, τοποθετείται ένας εναλλάκτης θερμότητας στο εσωτερικό του δοχείου.



Εικόνα 4.2. Σύστημα Υπερυψηλής Πίεσης. Η αριστερή εικόνα απεικονίζει την άμεση συμπίεση και η δεξιά εικόνα την έμμεση συμπίεση

(<https://www.kobelco.co.jp/english/products/ip/technology/food.html> ,2023)

4.3.3 Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς

Η τεχνολογία της ΥΠ, βρίσκει κυρίως εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων ως μέθοδος καταστροφής του μικροβιακού πληθυσμού, με στόχο την αύξηση του χρόνου ζωής τους. Η αδρανοποίηση μικροοργανισμών επηρεάζεται από ένα συνδυασμό αλλαγών στις φυσικές ιδιότητες των λιπιδίων της μεμβράνης, αλλαγών της χημικής ισορροπίας που τροποποιούν το εσωτερικό pH, και αλλαγές στο ρυθμό συγκεκριμένων φυσιολογικών λειτουργιών που προκαλούν μη αναστρέψιμη ή θανατηφόρα βλάβη στα κύτταρα (Molina-Gutierrez et al., 2002). Συγκεκριμένα, η εφαρμογή χαμηλών πιέσεων οδηγεί σε αντιστρεπτές αλλαγές της μορφολογίας των κυττάρων των μικροοργανισμών, σε αντίθεση με τις υψηλότερες πιέσεις όπου η κυτταρική μεμβράνη έχει διαρρηχθεί και οι αλλαγές δεν αντιστρέφονται (Αλεξανδράκης, 2015). Ωστόσο, ο

κάθε μικροοργανισμός έχει διαφορετική ευαισθησία στην ΥΠ, η οποία εξαρτάται από τις παραμέτρους της επεξεργασίας (χρόνος, πίεση και θερμοκρασία), από το είδος και τη φάση ανάπτυξη του μικροοργανισμού, το στέλεχος και το μέσο στο οποίο αναπτύσσεται (V. M. Balasubramaniam et al., 2016). Τα σπόρια, όπως το *Clostridium botulinum* και τα *Bacillus spp*, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά και για την απενεργοποίηση τους χρησιμοποιείται υψηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με την ΥΠ. Εκτός από τα σπόρια, η ΥΠ επιτυγχάνει σημαντική μείωση του μικροβιακού πληθυσμού για τα βλαστικά κύτταρα σε πιέσεις 400-600 MPa και θερμοκρασία περιβάλλοντος (Rendueles et al., 2011).

4.3.4 Επίδραση της ΥΠ στα ένζυμα και στη κυτταρική μεμβράνη

Η απενεργοποίηση ενζύμων από την εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης είναι ένα σύνθετο φαινόμενο το οποίο περιλαμβάνει τον σχηματισμό ή/και την διάσπαση αλληλεπιδράσεων και την αλλαγή της εγγενούς δομής των ενζύμων. Σε συνθήκες υψηλής πίεσης, ο μηχανισμός αδρανοποίησης των ενζύμων, προσομοιάζει την μετουσίωση των πρωτεϊνών. Η πίεση μπορεί να προκαλέσει αναστρέψιμη ή μη αναστρέψιμη και μερική ή πλήρη αναδίπλωση της πρωτεϊνικής αλυσίδας, αλλάζοντας την δομή του ενεργού κέντρο. Γενικά, η πρωτογενής δομή του ενζύμου, η οποία αποτελείται από ομοιοπολικούς δεσμούς, μένει ανεπηρέαστη, ενώ η δευτεροταγής, μπορεί να μεταβληθεί σε πίεση μεγαλύτερη των 700 MPa. Αντιθέτως, η ΥΠ επηρεάζει την τριτοταγή και τεταρτοταγή δομή, συνεπώς και το ενεργό κέντρο του ενζύμου, τροποποιώντας τους δεσμούς υδρογόνου και τις ηλεκτροστατικές και υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις. Έτσι, η δραστηριότητα του ενζύμου αλλάζει καθώς η εξειδίκευση του σχετίζεται άμεσα με την σύνδεση του με το υπόστρωμα (Chakraborty et al., 2014). Ωστόσο, η εφαρμογή πίεσης, εκτός από απενεργοποίηση, μπορεί να προκαλέσει σταθεροποίηση ή αύξηση της δραστηριότητας των ενζύμων και εξαρτάται σημαντικά από το είδος του ενζύμου και τις παραμέτρους επεξεργασίας (Αλεξανδράκης, 2015).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή της ΥΠ προκαλεί μεταβολές στη δομή του κυτταρικού τοιχώματος. Μετά την επεξεργασία, η κυτταρική μεμβράνη των φυτικών ιστών είναι περισσότερο διαπερατή, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός μεταφοράς μάζας (Rastogi et al., 2002).

4.3.5 Επίδραση ΥΠ σε πατάτες

Μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικά είδη πατάτας (Rooster και Maris Piper), έδειξε ότι η επεξεργασία ΥΠ, αναστέλλει ή καθυστερεί σημαντικά την μικροβιακή ανάπτυξη, χωρίς υποβάθμιση της ποιότητάς τους. Συγκεκριμένα, στις φρεσκοκομμένες πατάτες που επεξεργαστήκαν σε 600 MPa, για 3 λεπτά και σε θερμοκρασία 10.6°C, απενεργοποιήθηκαν πλήρως τα βακτήρια *Enterobacteriaceae*, ενώ είχε σημαντική μείωση στις ζύμες και τους μύκητες. Επιπλέον, το συνολικό φαινολικό περιεχόμενο και η αντιοξειδωτική δράση δεν μεταβλήθηκαν από την ΥΠ, διατηρώντας έτσι τη θρεπτική ακεραιότητα της πατάτας (Tsikrika et al., 2021).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η βασική αλλαγή που παρατηρείται στις φρέσκιες, κομμένες πατάτες είναι το ενζυμικό μαύρισμα που καταλύεται από την ΡΡΟ. Αρκετές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην χρήση ΥΠ, με στόχο την παρεμπόδιση της δράσης της ΡΡΟ, όμως τα αποτελέσματα διαφέρουν ανάλογα με το προϊόν που ερευνάται. Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ενδεικτικών μελετών. Η μελέτη των Van Buggenhout et al., (2006) που εξέτασαν την επίδραση της ΥΠ σε ΡΡΟ πατάτας, καταγράφει ότι η επεξεργασία για 13 min σε πιέσεις 100-500 MPa και θερμοκρασία 20°C, δεν απενεργοποίησε την ΡΡΟ. Αντίθετα, οι Tsikrika et al., (2021) με συνθήκες επεξεργασίας 600 MPa, 3 min και μέγιστη θερμοκρασία 10.6°C παρατήρησαν ότι η ΡΡΟ απενεργοποιήθηκε κατά 47-69%, ανάλογα την ποικιλία της πατάτας.

Πίνακας 4.1. Μελέτες της επίδρασης της ΥΠ στη δράση της πολυφαινολικής οξειδάσης (ΡΡΟ)

Τρόφιμο	Συνθήκες επεξεργασίας ΥΠ	Επίδραση στο ένζυμο	Βιβλιογραφική αναφορά
Πατάτες	Θερμοκρασία 20°C, 100-500 MPa, 13 min	Καθόλου απενεργοποίηση	(Van Buggenhout et al., 2006)
Πατάτες	Θερμοκρασία 10.6 °C, 600 MPa, 3 min	47-69% απενεργοποίηση	(Tsikrika et al., 2021)
Δαμάσκηνο	Αρχική θερμοκρασία 10 °C, 400 & 600 MPa, 7 min	Καθόλου απενεργοποίηση & αύξηση δραστηριότητας	(González-Cebrino et al., 2012)
Πράσινη Πιπεριά	Θερμοκρασία δωματίου, 100 & 200 MPa, 10 & 20 min	50% απενεργοποίηση	(Castro et al., 2008)

Η χρήση της ΥΠ συχνά συνδυάζεται με άλλες μεθόδους, όπως είναι η ξήρανση ή ωσμωτική αφυδάτωση. Στόχος της προ-επεξεργασίας με ΥΠ, είναι η διάρρηξη των κυττάρων που οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού απομάκρυνσης υγρασίας και μεταφοράς μάζας. Σύμφωνα με τους Hidangmayum et al., (2023), η επεξεργασία με ΥΠ, μείωσε το χρόνο ξήρανσης παντζαριού κατά 20%. Όσον αφορά τις πατάτες, οι Dourado et al., (2019) παρατήρησαν ότι η ΥΠ είχε ως αποτέλεσμα το άνοιγμα της δομής των ιστών, την βελτίωση της απορρόφησης των κυττάρων και την ενίσχυση της διάχυσης, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των διατροφικών και λειτουργικών ιδιοτήτων της πατάτας. Ακόμη, τη συνεργιστική επίδραση της ΥΠ και της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πατάτες μελέτησαν οι (Rastogi et al., 2000). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι λόγω της κυτταρικής διάρρηξης που προκάλεσε η υψηλή πίεση (400 MPa), η περιεκτικότητα σε υγρασία μειώθηκε και ταυτόχρονα αυξήθηκε η πρόσληψη στερεών σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα.

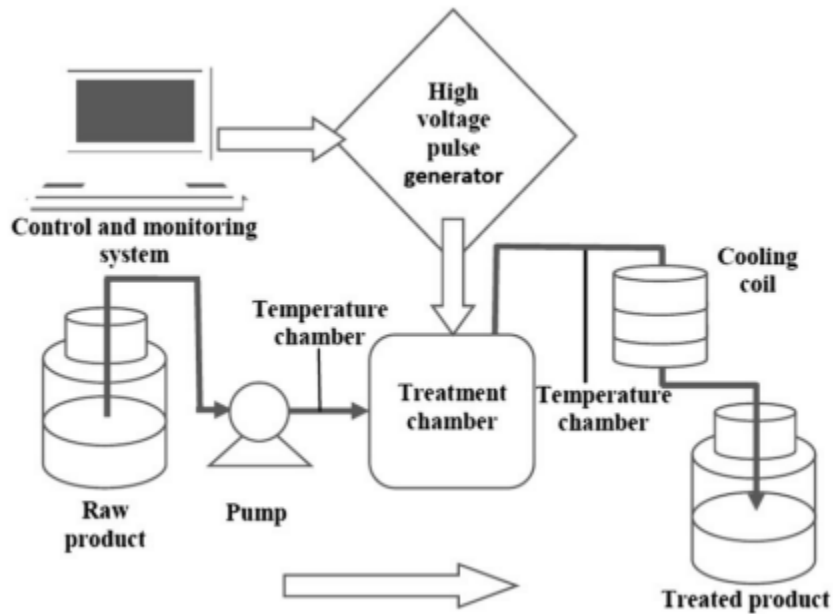
4.4 Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ)

4.4.1 Αρχή λειτουργίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

Η τεχνολογία των ΠΗΠ είναι μία μη θερμική επεξεργασία η οποία επιτυγχάνει την διάρρηξη των κυτταρικών μεμβρανών, χωρίς να υποβαθμίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Η αρχή λειτουργίας των ΠΗΠ βασίζεται στην εφαρμογή επαναλαμβανόμενων παλμών υψηλής τάσης (0.1-80 kV/cm) και πολύ μικρής διάρκειας (μs-ms) (Ranjha et al., 2021). Τα τρόφιμα, είναι σε θέση να μεταφέρουν ηλεκτρισμό, λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που τους προσδίδουν τα ιόντα που περιέχουν. Έτσι, όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, το ρεύμα μεταφέρεται σε κάθε σημείο του τροφίμου, λόγω των φορτισμένων μορίων (Zhang et al., 1995).

4.4.2 Εξοπλισμός των ΠΗΠ

Το σύστημα ΠΗΠ αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη: τη γεννήτρια παλμών υψηλής τάσης, μία συστοιχία πυκνωτών, ένα θάλαμο επεξεργασίας, ένα σύστημα ελέγχου της διεργασίας και έναν διακόπτη υψηλής τάσης (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3. Διάγραμμα ροής συστήματος επεξεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Mohamed & Eissa, 2012)

Προκειμένου να δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο στο τρόφιμο, αποθηκεύεται ενέργεια στον πυκνωτή και εκτονώνεται στο θάλαμο επεξεργασίας όπου βρίσκεται το δείγμα. Η φόρτιση του πυκνωτή πραγματοποιείται από τη γεννήτρια παλμών, η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Η ενέργεια που συσσωρεύεται στη συστοιχία πυκνωτών εκφορτίζεται στιγμιαία, μέσω των ηλεκτροδίων, χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος είναι ανοιχτός κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Εάν η τάση του πυκνωτή δεν είναι επαρκής, αυξάνεται μέσω ενός μετασχηματιστή παλμών. Απαραίτητα επίσης για το σύστημα είναι πρόσθετα εξαρτήματα όπως ένα σύστημα ψύξης του θαλάμου και αισθητήρες των συνθηκών (υψηλής τάσης και ρεύματος) (Barbosa-Canovas et al., 1999; Mohamed & Eissa, 2012).

Ένα από τα σημαντικότερα μέρη του συστήματος, είναι ο θάλαμος επεξεργασίας, ο οποίος αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, το ένα έχει υψηλή τάση ενώ το άλλο γείωση, τα οποία

διαχωρίζονται από μονωτικό υλικό. Γενικά, οι θάλαμοι κατατάσσονται σε διαλείποντος και συνεχούς έργου, με τους τελευταίους να χρησιμοποιούνται σε βιομηχανική κλίμακα, για επεξεργασία μεγάλων όγκων, κυρίως υγρών τροφίμων. Οι θάλαμοι διαλείποντος έργου χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακή κλίμακα και είναι κατάλληλοι για επεξεργασία στερεών τροφίμων και μικρών όγκων. Οι θάλαμοι αυτοί, επιτρέπουν τον έλεγχο των παραμέτρων της επεξεργασίας, δηλαδή της θερμοκρασίας, της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, του αριθμού των παλμών και της ειδικής ενέργειας (Kempkes & Munderville, 2017). Ο σχεδιασμός του θαλάμου επεξεργασία (γεωμετρία, διαστάσεις, απόσταση ηλεκτροδίων) ποικίλλει ανάλογα με τη διεργασία. Οι κυριότεροι σχεδιασμοί των θαλάμων είναι οι σχηματισμοί με παράλληλα ηλεκτρόδια, οι συγγραμμικοί και οι ομοαξονικοί σχηματισμοί (Toerfl et al., 2014).

4.4.3 Παράμετροι λειτουργίας

Η διεργασία των ΠΗΠ χαρακτηρίζεται από τις εξής παραμέτρους: την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E), το χρόνο επεξεργασίας (t), το σχήμα και το εύρος του παλμού (τ), τον αριθμό των παλμών (n), τη συχνότητα επανάληψης παλμών (f) και την ειδική ενέργεια του παλμού (W). Από αυτές, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο χρόνος επεξεργασίας είναι οι καθοριστικές παράμετροι για την ένταση της επεξεργασίας.

Ένταση του ηλεκτρικού πεδίου

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αναφέρεται στην ένταση του πεδίου στο θάλαμο επεξεργασίας. Επηρεάζεται από τη τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, τη γεωμετρία του θαλάμου επεξεργασίας και τις διηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού που βρίσκεται ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια. Για παράλληλα ηλεκτρόδια, το ηλεκτρικό πεδίο είναι ομοιογενές και η τιμή της έντασης μπορεί να υπολογισθεί από το πηλίκο της τάσης (V) που μετρείται στα άκρα των ηλεκτροδίων προς την απόσταση (d) των ηλεκτροδίων (Εξίσωση 4.1) (Raso et al., 2016):

$$E = \frac{V}{d} \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

Χρόνος επεξεργασίας:

Ο χρόνος επεξεργασίας εξαρτάται από το γινόμενο της διάρκειας του παλμού (τ) και τον αριθμό των παλμών (n). Σημειώνεται ότι η αύξηση του αριθμού των παλμών συνεπάγεται αύξηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας, ενώ η αύξηση της διάρκειας τους, αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος (Εξίσωση 4.2).

$$t = n * \tau \text{ (Εξίσωση 4.2)}$$

Σχήμα και εύρος του παλμού

Τα σχήματα παλμών που χρησιμοποιούνται συνηθώς είναι είτε ο ορθογώνιος είτε ο εκθετικός παλμός. Οι εκθετικοί παλμοί χαρακτηρίζονται από ταχεία αύξηση έως την επιθυμητή τιμή τάσης και έπειτα τη μείωση προς το μηδέν. Το εύρος τους ορίζεται ως ο απαιτούμενος χρόνος που χρειάζεται για την μείωση της τάσης στο 37% της μέγιστης τιμής της. Αυτού του είδους οι παλμοί χρησιμοποιούνται συχνά, λόγω της εύκολης δημιουργίας και τροποποίησης τους. Στην περίπτωση των ορθογώνιων παλμών, η διάρκεια ορίζεται ως χρόνος για τον οποίο διατηρείται η τάση στη μέγιστη τιμή της. Έτσι, εξαιτίας της σταθερότητας της τάσης, οι συγκεκριμένοι παλμοί έχουν καλύτερη ενεργειακή απόδοση και χρησιμοποιούνται ευρέως, παρόλο της δυσκολίας παραγωγής τους (Leadley & William, 2006).

Συχνότητα επανάληψης των παλμών

Η συχνότητα επανάληψης των παλμών είναι ο αριθμός των παλμών που εφαρμόζονται ανά μονάδα χρόνου, με μονάδα μέτρησης τα Hz (αριθμός παλμών/s). Η συχνότητα του παλμού καθορίζει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, που δέχεται το τρόφιμο στο θάλαμο επεξεργασίας ανά μονάδα χρόνου. Πρόκειται για μία σημαντική παράμετρο της διεργασίας, διότι λόγω του φαινομένου Joule, αυτή η ποσότητα ενέργειας, επηρεάζει την αύξηση της θερμοκρασίας του τροφίμου (Raso et al., 2016).

Ειδική ενέργεια του παλμού

Η ειδική ενέργεια εκφράζεται συνήθως σε kJ/kg και προσδιορίζει την ηλεκτρική ενέργεια που προσλαμβάνει το τρόφιμο στο θάλαμο επεξεργασίας ανά παλμό. Πρόκειται για μία ολοκληρωμένη παράμετρο, η οποία εξαρτάται από τις διαστάσεις και την αγωγιμότητα του δείγματος, και από το σχήμα του παλμού. Η ειδική ενέργεια υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση (Εξίσωση 4.3):

$$W = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} V(t) * I(t) dt \quad (\text{Εξίσωση 4.3})$$

όπου m : μάζα του δείγματος, $V(t)$: τάση στα άκρα του θαλάμου επεξεργασίας, $I(t)$: το ρεύμα που διαπερνά το θάλαμο τη χρονική στιγμή t

Η συνολική ειδική ενέργεια, $W\tau$, (Εξίσωση 4.4) μπορεί να υπολογιστεί από το γινόμενο της ειδικής ενέργειας ανά παλμό, W , και του αριθμού παλμών, n :

$$W\tau = W * n \quad (\text{Εξίσωση 4.4})$$

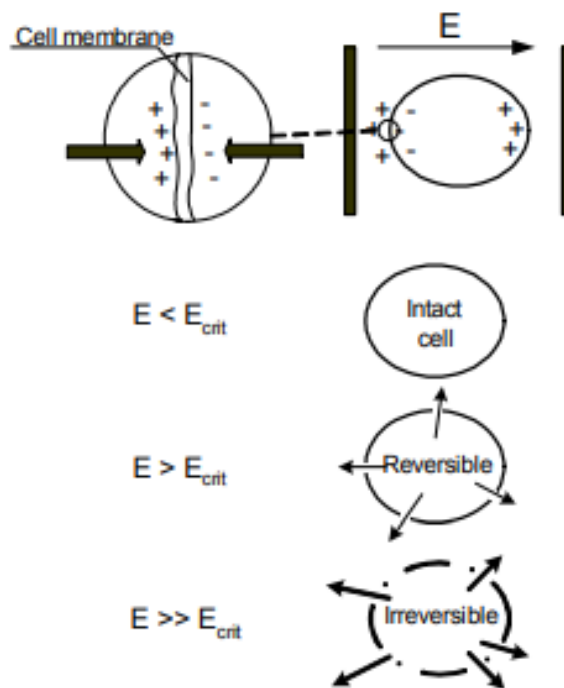
4.4.4 Επίδραση στη κυτταρική μεμβράνη-Ηλεκτροδιάτρηση

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία που εφαρμόζονται σε βιολογικά κύτταρα (φυτικά ή ζωικά) επηρεάζουν κυρίως τη δομή των κυτταρικών μεμβρανών τοπικά και συμβάλλουν στην ανάπτυξη πόρων. Η διαδικασία αυτή, η οποία ονομάζεται ηλεκτροδιάτρηση, αυξάνει σημαντικά τη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών, οι οποίες είτε προσωρινά είτε μόνιμα χάνουν την ημιπερατότητά τους (Dr. Siemer et al., 2018).

Όταν τα κύτταρα εκτίθενται σε ηλεκτρικούς παλμούς υψηλής τάσης, η λιπιδική διπλοστοιβάδα και οι πρωτεΐνες στις κυτταρικές μεμβράνες αποσταθεροποιούνται στιγμιαία. Σύμφωνα με τον (Saulis, 2010) η διαδικασία της έκθεσης του κυττάρου περιγράφεται σε τέσσερα βήματα: (α) αύξηση του διαμεμβρανικού δυναμικού της μεμβράνης, (β) δημιουργία μικρών υδρόφιλων πόρων, (γ) αύξηση αριθμού και μεγέθους πόρων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και (δ) αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία, η ηλεκτροδιάτρηση μπορεί να είναι αντιστρεπτή, δηλαδή το

κύτταρο μπορεί να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση, ή μη αντιστρεπτή, με αποτέλεσμα τη διαρροή ενδοκυτταρικών ενώσεων από το εσωτερικό του κυττάρου (Εικόνα 4.4).

Η αναστρεψιμότητα του φαινομένου της ηλεκτροδιάτρησης εξαρτάται από την τιμή του ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται. Οι πόροι που σχηματίζονται κατά την επεξεργασία, είναι αποτέλεσμα ενός διαμεμβρανικού δυναμικού το οποίο δημιουργείται από την εφαρμογή μίας κρίσιμης τιμής ηλεκτρικού πεδίου. Για τιμές μεγαλύτερες της κρίσιμης, η ηλεκτροδιάτρηση είναι μη αντιστρεπτή, με αποτέλεσμα την αποσύνθεση της μεμβράνης. Μη αναστρέψιμη ηλεκτροδιάτρηση απαιτείται για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών και την ενίσχυση της μεταφοράς μάζας. Όταν εφαρμόζεται εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο το οποίο δεν ξεπερνά την κρίσιμη τιμή, η κυτταρική μεμβράνη δεν χάνει τη λειτουργικότητά της και μπορεί να επιστρέψει στην αρχική της κατάσταση (Saulis, 2010; Törpfl, 2006).



Εικόνα 4.4. Σχηματική απεικόνιση της διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης κατά την έκθεση της σε ηλεκτρικό πεδίο (Törpfl, 2006)

Για την ποσοτικοποίηση του βαθμού διάρρηξης των κυττάρων λόγω των ΠΗΠ, έχει ορισθεί ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης Z , ο οποίος ισούται με τον λόγο των κατεστραμμένων κύτταρων λόγω των ΠΗΠ προς το συνολικό αριθμό των κυττάρων. Η τιμή του κυμαίνεται από 0, για άθικτη κυτταρική μεμβράνη, έως 1, για πλήρως διαπερατή μεμβράνη και υπολογίζεται με βάση τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του δείγματος πριν και μετά την επεξεργασία με ΠΗΠ. Έτσι, ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση 4.5 (Ruértolas et al., 2012):

$$Z = \frac{Kl' - Kl}{Kl^d - Kl} \text{ (Εξίσωση 4.5)}$$

Όπου Kl , Kl' και Kl^d είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα των μη επεξεργασμένων, των επεξεργασμένων και των πλήρως κατεστραμμένων δειγμάτων, αντίστοιχα, μετρούμενη σε πεδίο χαμηλής συχνότητας (1-10 kHz).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή των ΠΗΠ επηρεάζει τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης των τροφίμων, αυξάνοντας τη μεταφορά μάζας στα επεξεργασμένα προϊόντα. Για το λόγο αυτό, η τεχνολογία ΠΗΠ εφαρμόζεται επιτυχώς ως προ- επεξεργασία διάφορων μεθόδων, με κύριες αυτές της ξήρανσης και της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ιδιαίτερα, κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, σύμφωνα με τους (Osae et al., 2020), σημειώνεται μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας και μεταφορά μάζας στα προϊόντα που είχε προηγηθεί επεξεργασία με ΠΗΠ. Αρκετές μελέτες έχουν εξετάσει τα ΠΗΠ σαν προ-επεξεργασία σε διάφορα φρούτα και λαχανικά όπως ακτινίδια, φράουλες, μήλα, καρότα, μπανάνες και πιπεριές. Σε όλες αυτές τις μελέτες, κατέγραψαν ότι τα ΠΗΠ επιδρούν θετικά στην ώσμωση, αυξάνοντας την απώλεια υγρασίας και πρόσληψη στερεών στο τελικό προϊόν (Ade-Omowaye et al., 2002; Amami et al., 2014; Dermesonliouoglou et al., 2016a; Tylewicz et al., 2017).

4.4.5 Επίδραση ΠΗΠ στις πατάτες

Όσον αφορά τις πατάτες, λόγω του μεγάλου μεγέθους των κυττάρων τους, τα ΠΗΠ μεταβάλλουν γρήγορα τη δομή τους (Dougado et al., 2019). Έρευνα που διεξήχθη από τους (Arenaló et al., 2004), έδειξε ότι η επεξεργασία με ΠΗΠ, αύξησε τον συντελεστή διάχυσης κατά 40%, ως αποτέλεσμα της κυτταρικής διάρρηξης που προκλήθηκε. Ακόμη, τα δείγματα πατάτας που

έχουν επεξεργαστεί με ΠΗΠ, σε συνθήκες $E=2.5 \text{ kV/cm}$, $n=20$, απαιτούν μικρότερο χρόνο ξήρανσης λόγω της βελτιωμένης διάχυσης του ενδοκυτταρικού υγρού από τον ιστό (Arevalo et al., 2004). Εκτός της επίδρασης στο χρόνο ξήρανσης, οι Lebonka et al., (2007), μελέτησαν την επίδραση των ΠΗΠ στη θερμοκρασία ξήρανσης και κατέγραψαν πως με επεξεργασία σε μέτριες εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου ($E = 300\text{--}400 \text{ V/cm}$), η θερμοκρασία ξήρανσης μπορεί να μειωθεί στους 20°C , συγκριτικά με το εύρος των $30\text{--}70^\circ\text{C}$ (Lebonka et al., 2007).

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα της προ-επεξεργασίας με ΠΗΠ είναι η μειωμένη πρόσληψη ποσότητας λαδιού κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το τηγάνισμα. Σύμφωνα με τους Bouchon & Pyle (2006), αυτό συμβαίνει λόγω της λείας και ομοιόμορφης εξωτερικής επιφάνειας που έχουν αποκτήσει οι πατάτες που έχουν επεξεργαστεί με ΠΗΠ, συγκριτικά με την τραχιά επιφάνεια των ανεπεξεργαστων.

Η χρήση των ΠΗΠ στη βιομηχανία επεξεργασίας πατάτας έχει σημειώσει σημαντική αύξηση την τελευταία δεκαετία. Η εφαρμογή τους ως προ-επεξεργασία αποτελεί πλέον ένα τυπικό στάδιο της διεργασίας παραγωγής τηγανητών πατατών καθώς διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα. Αρχικά, η αυξημένη διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών καθιστά τις πατάτες πιο εύκαμπτες, μειώνοντας τόσο τη θραύση τους κατά την κοπή όσο και την απώλεια αμύλου κατά την μετέπειτα επεξεργασία, με αποτέλεσμα την αύξηση της δυναμικότητας. Ακόμη, η επεξεργασία με ΠΗΠ, δίνει τη δυνατότητα παραγωγής πατατών καλύτερου σχήματος και ομοιόμορφου χρώματος μετά το τηγάνισμα. Σημαντικά πλεονεκτήματα για τη βιομηχανία αποτελούν η κατά 40% λιγότερη δύναμη που απαιτείται για την κοπή τους και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (Fauster et al., 2020).



Εικόνα 4.5. Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στη βιομηχανία παραγωγής προϊόντων πατάτας (<https://elea-technology.com/pef-advantage-belt/>, 2023)

Κεφάλαιο 5: Υλικά και Μέθοδοι

5.1 Εισαγωγή

Τα φρεσκοκομμένα τρόφιμα είναι ιδιαίτερα δημοφιλή τα τελευταία χρόνια, λόγω της διατήρησης των ποιοτικών και θρεπτικών χαρακτηριστικών τους και της εύκολης διαχείρισης τους. Την ίδια στιγμή, οι πατάτες αποτελούν βασικό συστατικό της καθημερινής διατροφής, καθώς συνδυάζουν την ευχάριστη γεύση, την πληθώρα μαγειρικών παρασκευών και την υψηλή διατροφική αξία. Ωστόσο, οι φρεσκοκομμένες πατάτες έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής σε περιβάλλον ψυγείου εξαιτίας της ευαισθησίας που παρουσιάζουν στο ενζυμικό μαύρισμα. Αυτή η χρωματική αλλοίωση, οφείλεται στην πολυφαινολική οξειδάση (PPO), ένα ένζυμο που συναντάται σε πολλούς φυτικούς ιστούς.

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ανάσχεση του ενζυμικού μαυρίσματος σε τεμαχισμένες πατάτες, περιλαμβάνουν είτε την έκθεση των προϊόντων σε υψηλές θερμοκρασίες (ζεμάτισμα), οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα τους, είτε έχουν υψηλό κόστος (ψυχρό πλάσμα). Επομένως είναι αναγκαία η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την αναστολή της δράσης της PPO, με στόχο την αύξηση της διατηρησιμότητας τους.

Μία μέθοδος αντιμετώπισης, είναι ο εμπλουτισμός των προϊόντων πατάτας με παράγοντες ανάσχεσης του ενζυμικού μαυρίσματος. Αυτό είναι εφικτό μέσω της ωσμωτικής αφυδάτωσης, η οποία προκαλεί τη μεταβολή της σύστασης των τροφίμων μέσω ταυτόχρονης πρόσληψης στερεών και απώλειας υγρασίας, ενισχύοντας ή διατηρώντας αναλλοίωτη τη ποιότητα τους.

Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η υπερυψηλή πίεση είναι καινοτόμες μη-θερμικές τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων, που καθιστούν δυνατή τη διατήρηση της διατροφικής αξίας των τροφίμων και την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών. Συχνά στη βιβλιογραφία, μελετάται η συνδυαστική δράση των δύο τεχνολογιών με την ωσμωτική αφυδάτωση, καθώς η προ-επεξεργασία με αυτές ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η παραγωγή προϊόντων πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διάρκεια ζωής. Ειδικότερα, μελετήθηκαν πιθανοί παράγοντες ανάσχεσης της δράσης της PPO και η επίδραση της ενσωμάτωσης αυτών μέσω της ωσμωτικής κατεργασίας. Επιπλέον, αναζητήθηκαν οι κατάλληλες συνθήκες επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και υπερυψηλή πίεση. Οι δύο τεχνολογίες

μελετήθηκαν ξεχωριστά ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας και κατά συνέπεια της ποιότητας των τελικών προϊόντων.

5.2 Πειραματικός σχεδιασμός

Η πειραματική διαδικασία της παρούσας διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε πέντε πειραματικά μέρη. Στο πρώτο μέρος μελετάται η ενζυμική ενεργότητα της πολυφαινολικής οξειδάσης και τεχνικές απενεργοποίησης ή ανάσχεσης της δράσης της. Οι τεχνικές που εξετάζονται είναι: η θερμική, η χημική, η ενζυμική και η επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση (ΥΠ). Το δεύτερο μέρος αφορά τη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης των τεμαχισμένων πατατών και την επιλογή των παραμέτρων της διεργασίας. Στο τρίτο μέρος μελετώνται οι συνθήκες επεξεργασίας και η επίδραση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ), στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της πατάτας. Ακόμη, μελετάται η διεργασία των ΠΗΠ ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης με σκοπό την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας και τη βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του δείγματος. Στο τέταρτο μέρος μελετάται η τεχνολογία της υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ) στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της πατάτας και διερευνάται η κατάλληλη τιμή πίεσης της διεργασίας για την απενεργοποίηση της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO). Επιπλέον, η ωσμωτική αφυδάτωση συνδυάζεται με την ΥΠ ως προ-κατεργασία, με στόχο την βελτίωση του τελικού προϊόντος, ενισχύοντας τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Στο πέμπτο και τελευταίο μέρος, εξετάζεται η επίδραση των μη-θερμικών τεχνολογιών στις ωσμω-αφυδατωμένες πατάτες, με βάση την αλλαγή του χρώματος και τη μικροβιακή ανάπτυξη, για τον προσδιορισμό της διατηρησιμότητας τους, συγκριτικά με τις ανεπεξέργαστες πατάτες.

5.2.1 Μέτρηση ενζυμικής ενεργότητας πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO) πατάτας και παρεμπόδιση της δράσης της

Στο πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας προσδιορίστηκε η ενζυμική ενεργότητα της PPO, χρησιμοποιώντας φλούδα από πατάτες, καθώς συμπεριλαμβανομένου του ιστού 1 έως 2 mm κάτω από αυτή, η ενεργότητα είναι υψηλότερη στην εξωτερική επιφάνεια (Thygesen et al.,

1995). Οι πατάτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ελληνικής παραγωγής, από το νησί της Νάξου, ποικιλίας *Sprunta*. Τα φρούτα τοποθετήθηκαν σε σκιερό και δροσερό περιβάλλον, μέσης θερμοκρασίας 15°C. Αφού πρώτα το ένζυμο είχε απομονωθεί, για τον προσδιορισμό της ενζυμικής ενεργότητας της PPO, εξετάστηκαν διάφοροι μέθοδοι απενεργοποίησης της δράσης της, όπως θερμική και χημική απενεργοποίηση και η χρήση υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ). Κατά την θερμική επεξεργασία, μελετήθηκαν οι θερμοκρασίες των 60, 70 και 80°C με χρόνο επεξεργασίας έως 20 λεπτά. Για την χημική μέθοδο ανάσχεσης της δράσης του ενζύμου, μελετήθηκαν τρεις παρεμποδιστές, το ασκορβικό οξύ, η 4-εξυλορεσορκινόλη και το μεταδιθειώδες νάτριο, σε συγκέντρωση μεταξύ 0.25-2% w/w, 0.125-0.05% w/w και 0.01-1% w/w αντίστοιχα, με στόχο την εύρεση της κατάλληλης συγκέντρωσης για τον καθένα. Όσον αφορά την ενζυμική μέθοδο απενεργοποίησης της PPO, μελετήθηκε ένα πρωτεολυτικό ένζυμο, η παπαΐνη, σε συγκεντρώσεις 0.1% w/w και 0.01 % w/w και εξετάστηκε η δράση της κατά της PPO, ως προς τον χρόνο επώασης των δύο διαλυμάτων παπαΐνης στους 45°C. Τέλος, έγινε μελέτη της επίδρασης της ΥΠ στην ενζυμική ενεργότητα της εκχυλίσματος PPO, σε πίεση 600 MPa για 0-20 min στους 20°C. Η διεργασία απενεργοποίησης της PPO με ΥΠ περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 5.2.5. Σε όλα τα δείγματα μετρήθηκε η ενζυμική ενεργότητα της PPO μετά την επεξεργασία. Με βάση τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων, έγινε ο προσδιορισμός των βέλτιστων συγκεντρώσεων παρεμποδιστών και συνθηκών επεξεργασίας για την μετέπειτα εφαρμογή τους σε τεμαχισμένες πατάτες.

5.2.2 Μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης της πατάτας

Η μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης αποτελείται από δύο πειράματα, τον προσδιορισμό των κατάλληλων βασικών συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος και την επίδραση προσθήκης παρεμποδιστή στην ανάπτυξη ενζυμικού μαυρίσματος των δειγμάτων πατάτας. Κατά τον σχεδιασμό του πρώτου πειράματος, εξετάστηκαν ωσμωτικά διαλύματα διαφορετικών συστάσεων, με κύριο στόχο τη διατήρηση ή βελτίωση της ποιότητας (χρώμα, σκληρότητα) και τη μείωση της ενεργότητας νερού του τελικού προϊόντος. Με βάση έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, τα ωσμωτικά διαλύματα αποτελούνται από γλυκερόλη, χλωριούχο νάτριο, νερό και/ή χλωριούχο ασβέστιο (Dermesonlouoglou et al., 2016).

Η γλυκερόλη περιλαμβάνεται συχνά σε ωσμωτικά διαλύματα, χάρη στην ικανότητα της να ελαττώνει την ενεργότητα νερού του τροφίμου, αποτρέποντας έτσι την μικροβιακή ανάπτυξη κατά την αποθήκευση (Herson et al., 2018). Το χλωριούχο νάτριο αυξάνει την απόδοση της ωσμωτικής αφυδάτωσης και εξισορροπεί τη γλυκύτητα που προσδίδει στις πατάτες η γλυκερόλη (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007). Η προσθήκη του χλωριούχου ασβεστίου ενισχύει τη δομή του κυτταρικού τοιχώματος οδηγώντας σε προϊόν υψηλότερης σκληρότητας (Udomkun et al., 2014) .

Η αναλογία τροφίμου ανά όγκο διαλύματος που επιλέχθηκε είναι 1:5 και η θερμοκρασία επεξεργασία οι 35°C (Dermesonliouoglou et al., 2019). Η επιλογή της σύστασης του ωσμωτικού διαλύματος έγινε μεταξύ των παρακάτω:

- 60% γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο, 1.5% χλωριούχο ασβέστιο και 35% νερό
- 40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο και 50% νερό

Πραγματοποιήθηκε κινητική μελέτη της ωσμωτικής διεργασίας για χρόνο 3 ωρών, ενώ λήψη δείγματος έγινε για τους χρόνους 0, 30, 60, 120 και 180 min. Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς το χρώμα, την ενεργότητα νερού, τη σκληρότητα, την απώλεια νερού (WL) και τη πρόσληψη στερεών (SG). Τα δείγματα μετά την επεξεργασία, αποθηκεύτηκαν σε συσκευασίες πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου σε θερμοκρασία 4°C (Sanyo MIR 153, Sanyo Electric, Japan) με σκοπό τη μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων έως την ανίχνευση σκούρου χρωματισμού, μέσω του δείκτη αμαύρωσης BI, ο οποίος περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

Η σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος που επιλέχθηκε ήταν 40% κ.β γλυκερόλη, 10% κ.β χλωριούχο νάτριο και 50% κ.β νερό, καθώς βελτιώθηκε το τελικό χρώμα των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα, ενώ ταυτόχρονα παρέμειναν αναλλοίωτα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων πατάτας.

Έχοντας επιλέξει την κατάλληλη σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος, εξετάζεται η επίδραση παρεμποδιστών του ενζυμικού μαυρίσματος συνδυαστικά με τη διεργασία της ώσμωσης. Πιο αναλυτικά, επαναλαμβάνεται η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης για 3 ώρες στις ίδιες συνθήκες, προσθέτοντας στο διάλυμα 0.25% w/w ασκορβικό οξύ. Παράλληλα, εξετάζεται η

επίδραση του πρωτεολυτικού ενζύμου, παπαΐνη, εμβαπτίζοντας τα δείγματα πατάτας σε διάλυμα παπαΐνης 0.025% w/w, σε θερμοκρασία 45°C για 30 min και στη συνέχεια ακολουθεί η ώσμωση στις συνθήκες που επιλέχθηκαν προηγουμένως. Και στις δύο περιπτώσεις, τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν όπως προηγουμένως (χρώμα, ενεργότητα νερού, σκληρότητα, απώλεια νερού (WL) και πρόσληψη στερεών (SG), με βασικό κριτήριο τη μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων. Τα δείγματα αποθηκεύονται σε συσκευασίες πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου, σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας 4°C (Sanjo MIR 153, Sanjo Electric, Japan) και αναλύονται σε καθημερινή βάση ως προς το χρώμα, έως και την ημέρα εμφάνισης μαυρίσματος, μέσω του δείκτη αμαύρωσης BI.

5.2.3 Μελέτης της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στις πατάτες

Στόχος της επεξεργασίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) είναι η ενίσχυση της μεταφοράς μάζας λόγω της διάρρηξης της κυτταρικής μεμβράνης. Για το λόγο αυτό, συχνά συνδυάζεται με διεργασίες ξήρανσης και αφυδάτωσης. Σε αυτό το μέρος του πειραματικού σχεδιασμού, μελετήθηκαν οι συνθήκες των ΠΗΠ σε δείγματα πατάτας, ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση διαπερατότητας της μεμβράνης, χωρίς ποιοτική υποβάθμιση των ιστών.

Συνθήκες επεξεργασίας

Οι συνθήκες της επεξεργασίας που πρέπει να προσδιοριστούν είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο αριθμός των παλμών. Τα πειράματα διεξάχθηκαν σε μονάδα πιλοτικής κλίμακας (Elcrack-5kW, DIL, Quakenbruck, Γερμανία), η οποία αποτελείται από ένα δοχείο επεξεργασίας όγκου 400 mL και διαστάσεων 80x100x50 mm, όπου 80 mm είναι η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων. Στο δοχείο αυτό, τοποθετούνται τα δείγματα πατάτας και προστίθεται νερό βρύσης έως τελικό όγκο 300 mL.

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Για τον προσδιορισμό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου εξετάστηκε ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης, Z, σε πεδίο έντασης 0.5, 1 και 2 kV/cm και αριθμό παλμών 0-500, 0-340 και 0-120 αντίστοιχα. Ο δείκτης Z λαμβάνει τιμές από 0 – 1, όπου η τιμή της μονάδας υποδηλώνει τη

μέγιστη διάρρηξη των κυττάρων. Για τον προσδιορισμό του, πραγματοποιούταν μέτρηση της αγωγιμότητας σε συχνότητα 1 kHz και 1 MHz, με τη συσκευή HI- 99300. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, το πλάτος του παλμού ήταν ίσο με 15 μ s και η συχνότητα 20 Hz. Μετά την επεξεργασία, προσδιορίστηκε η σκληρότητα των δειγμάτων και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, επιλέχθηκε η κατάλληλη ένταση ηλεκτρικού πεδίου.

Αριθμός παλμών

Ο κατάλληλος αριθμός παλμών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων μελετήθηκε με βάση την επίδραση τους στην κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης δειγμάτων πατάτας. Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5 kV/cm, η οποία επιλέχθηκε στο προηγούμενο πείραμα, και αριθμό παλμών 200-100.

Μετά την επεξεργασία ΠΗΠ σε αυτές τις συνθήκες, τα δείγματα πατάτας (20-25 g με διαστάσεις 4x1x1) τοποθετούνται σε ωσμωτικό διάλυμα μέσα σε γυάλινα δοχεία, που αποτελούνται από 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, για 3 ώρες και θερμοκρασία 35°C. Λαμβάνονται δείγματα σε χρόνο επεξεργασίας 0, 60, 120 και 180 min και αναλύονται ως προς το χρώμα, τη σκληρότητα, την ενεργότητα νερού, την απώλεια νερού (WL) και πρόσληψη στερεών (SG). Τα δείγματα αποθηκεύονται στους 4°C, στις ίδιες συσκευασίες με αυτές του προηγούμενου πειράματος (πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου), όπου παρακολουθείται η αλλαγή του χρώματος τους καθημερινά μέσω του δείκτη αμαύρωσης BI, έως και την εμφάνιση μαυρίσματος και βάσει των αποτελεσμάτων επιλέγεται ο κατάλληλος αριθμός παλμών.

Προσθήκη παρεμποδιστή

Με τις συνθήκες επεξεργασίας που επιλέχθηκαν (0.5 kV/cm και 200 παλμοί), μελετάται η επίδραση των ΠΗΠ στην πρόσληψη παρεμποδιστή. Αρχικά, τα δείγματα πατάτας επεξεργάζονται με ΠΗΠ και στη συνέχεια 20-25 g τεμαχισμένων δειγμάτων πατάτας με διαστάσεις 4x1x1, εμβαπτίζονται σε διάλυμα παπαΐνης 0.025% w/w, σε θερμοκρασία 45°C για 30 min. Έπειτα ακολουθεί η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης (40% γλυκερόλη, 10%

χλωριούχο νάτριο). Παράλληλα, 20-25 g πατάτας τοποθετήθηκαν σε ωσμωτικά διαλύματα 35°C παρουσία ασκορβικού οξέος (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο, 0.25% ασκορβικό οξύ). Και στις δύο περιπτώσεις, τα δείγματα απομακρύνονται από το ωσμωτικό διάλυμα σε χρόνο 0, 60, 120 και 180 min και αναλύονται ως προς τις ίδιες παραμέτρους με το προηγούμενο πείραμα (χρώμα, σκληρότητα, ενεργότητα νερού, απώλεια νερού (WL) και πρόσληψη στερεών(SG)). Αντίστοιχα, αποθηκεύονται σε σταθερή θερμοκρασία 4°C σε συσκευασίες πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου, για την καθημερινή παρακολούθηση του χρώματος τους μέσω του δείκτη αμαύρωσης BI, για τον προσδιορισμό του κατάλληλου χρόνου ώσμωσης.

5.2.4 Μελέτη της εφαρμογής της υπερυψηλής πίεσης

Η υπερυψηλή πίεση (ΥΠ) είναι μία διεργασία η οποία χρησιμοποιείται τόσο για μικροβιακή και ενζυμική απενεργοποίηση, όσο και για ενίσχυση φαινομένων μεταφοράς μάζας. Το παρόν πειραματικό μέρος, χωρίζεται σε δύο υποενότητες. Στη πρώτη υποενότητα μελετήθηκε η επίδραση της ΥΠ στην ενζυμική ενεργότητα ενζυμικού εκχυλίσματος ΡΡΟ και σε δείγματα τεμαχισμένης πατάτας. Κατά τη δεύτερη υποενότητα έγινε μελέτη της ΥΠ ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με στόχο την ενίσχυση μεταφοράς μάζας.

Τα πειράματα με υπερυψηλή πίεση πραγματοποιήθηκαν στη μονάδα Food Pressure Unit FPU 1.01 (Resato International BV, Roden, Holland), η οποία αποτελεί συνιδιοκτησία της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π και του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικών Ερευνών ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (πρώην ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.). Ο εξοπλισμός της μονάδας αποτελείται από ένα σύστημα υπερυψηλής πίεσης συνδεδεμένο με δύο θαλάμους δοχείων πίεσης.

5.2.5 Επίδραση ΥΠ στην ενζυμική ενεργότητα

Για τη μελέτη της επίδρασης της ΥΠ στην ενζυμική ενεργότητα της ΡΡΟ, χρησιμοποιήθηκε ένας θάλαμος ο οποίος περιλαμβάνει μια συστοιχία έξι κυλινδρικών δοχείων πίεσεως, όγκου 42 mL, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα. Αφού έχει απομονωθεί το ένζυμο από τις πατάτες, τοποθετείται σε ειδική για τη προκειμένη επεξεργασία συσκευασία και σφραγίζεται με θερμοκόλληση ώστε να μην υπάρξει διαρροή. Οι συνθήκες επεξεργασίας που εφαρμόστηκαν ήταν 600 MPa για 0-20 min σε θερμοκρασία 20°C. Στα χρονικά διαστήματα 5, 10 και 20 min,

εκτονώνεται η πίεση, τα δείγματα αφαιρούνται από τα δοχεία επεξεργασίας και στη συνέχεια μετριέται η ενζυμική ενεργότητα της ΡΡΟ.

Η μελέτη απενεργοποίησης της ΡΡΟ σε τεμαχισμένα δείγματα πατάτας, πραγματοποιήθηκε στο δεύτερο θάλαμο επεξεργασίας της μονάδας, ο οποίος έχει χωρητικότητα 1.5 L. Τα δείγματα πατάτας (4x1x1), τοποθετήθηκαν στις ίδιες ειδικές συσκευασίες και αφού προστέθηκε νερό βρύσης, ακολούθησε η επεξεργασία τους σε πίεση 600 MPa. Η συσκευασία των δειγμάτων, μετά την αφαίρεση της από το δοχείο πίεσης, παρέμεινε σφραγισμένη, για την αποφυγή έκθεσης των δειγμάτων σε οξυγόνο. Στη συνέχεια, απομακρύνθηκαν από τη συσκευασία στην οποία επεξεργάστηκαν, έγινε ανάλυση του χρώματος τους και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία 4°C σε συσκευασία πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου.

5.2.6 Επίδραση ΥΠ στην ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας

Κατά τη δεύτερη υποενοότητα μελετήθηκε η επίδραση της ΥΠ στην κινητική της ωσμωτικής αφυδάτωσης των δειγμάτων πατάτας. Αρχικά, διερευνήθηκε η βέλτιστη τιμή πίεσης της επεξεργασίας. Οι συνθήκες που εφαρμόστηκαν στο πείραμα ήταν τα 100, 200, 400 και 600 MPa σε θερμοκρασία 20°C. Τα δείγματα πατάτας (4x1x1), σφραγίστηκαν σε ειδική συσκευασία παρουσία νερού και εφαρμόσθηκε στο επεξεργαζόμενο δείγμα η επιθυμητή τιμή πίεσης. Μετά την εκτόνωση της πίεσης του δοχείου επεξεργασίας, αφαιρέθηκε η συσκευασία από αυτό και στη συνέχεια τα δείγματα εμβαπτίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα 35°C (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο). Λαμβάνονται δείγματα κάθε μία ώρα από την έναρξη της ώσμωσης, δηλαδή τις χρονικές στιγμές 0, 60, 120 και 180 min. Έπειτα, τα δείγματα απομακρύνονται από το ωσμωτικό διάλυμα και αναλύονται ως προς τις ίδιες παραμέτρους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δηλαδή το χρώμα, τη σκληρότητα, την ενεργότητα νερού, την πρόσληψη στερεών (SG) και την απώλεια νερού (WL). Αποθηκεύονται σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 4°C σε συσκευασίες πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου και αναλύονται ως προς το χρώμα μέσω του δείκτη αμαύρωσης BI, μέχρι την εμφάνιση σκούρου χρωματισμού για την επιλογή της κατάλληλης τιμής πίεσης της επεξεργασίας ΥΠ.

Προσθήκη παρεμποδιστή

Με τις συνθήκες επεξεργασίας που επιλέχθηκαν (400 MPa, 20° C), πραγματοποιείται η επίδραση της ΥΠ σε ωσμο-αφυδατωμένες πατάτες διαστάσεων 4x1x1 παρουσία παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ, παπαΐνη). Μετά την εφαρμογή ΥΠ, από τα επεξεργασμένα δείγματα λαμβάνονται 20-25 g (4 πατάτες με διαστάσεις 4x1x1) και τοποθετούνται σε ωσμωτικά διαλύματα 35°C (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο) που περιέχουν 0.25% w/v ασκορβικό οξύ. Ακόμη, ίδια ποσότητα δειγμάτων εμβαπτίζονται αρχικά σε διαλύματα παπαΐνης 0.025% w/w, σε θερμοκρασία 45°C για 30 min και στη συνέχεια σε ωσμωτικά διαλύματα (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο). Σε προεπιλεγμένα χρονικά διαστήματα (0, 60, 120 και 180 min), τα δείγματα απομακρύνονται από το ωσμωτικό διάλυμα και ακολουθείται η ίδια σειρά αναλύσεων με το προηγούμενο πείραμα (χρώμα, σκληρότητα, ενεργότητα νερού, πρόσληψη στερεών (SG) και απώλεια νερού (WL)). Τέλος, συσκευάζονται σε συσκευασίες πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου, αποθηκεύονται σε θερμοκρασία 4°C και παρακολουθείται το χρώμα τους συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης και του χρόνου ώσμωσης, μέσω του δείκτη BI.

5.2.7 Μελέτη της διατηρησιμότητας ωσμο-αφυδατωμένων δειγμάτων πατάτας

Η μελέτη διατηρησιμότητας πραγματοποιήθηκε σε ανεπεξέργαστα, επεξεργασμένα με ωσμωτική αφυδάτωση και σε ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας με προ-επεξεργασία ΠΗΠ ή ΥΠ. Η επεξεργασία με τις μη-θερμικές τεχνολογίες πραγματοποιήθηκε στις συνθήκες επεξεργασίας που επιλέχθηκαν από τα προηγούμενα πειράματα για τη κάθε μία. Μετά την επεξεργασία τους, 15 g δείγματος πατάτας (από την κάθε διεργασία) συσκευάστηκαν σε συσκευασίες πολυστρωματικού υλικού πολυπροπυλενίου-πολυαιθυλενίου και τοποθετήθηκαν σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 4°C. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, πραγματοποιήθηκε μέτρηση χρώματος, μικροβιακού φορτίου (ολικό μικροβιακό φορτίο, ζυμομύκητες και μύκητες) και pH.

5.3 Αναλυτικές μέθοδοι

5.3.1 Μέτρηση στερεού υπολείμματος και περιεχόμενου νερού

Ο προσδιορισμός του περιεχόμενου νερού και του στερεού των δειγμάτων πατάτας, πραγματοποιήθηκε με τη ζύγιση τους πριν και μετά την επεξεργασία. Έπειτα, το δείγμα τοποθετείται για 24 ώρες σε κλίβανο σταθερής θερμοκρασίας 110 °C (WTB BINDER 7200, Type C53, Tuttlingen, Germany) και ζυγίζεται εκ νέου.

5.3.2 Μέτρηση pH

Η μέτρηση του πραγματοποιείται με ηλεκτρονικό pH-μετρο (pHmeter 338, AMEL Instruments, Milan, Italy) (Εικόνα 5.1). Για τον προσδιορισμό του pH των δειγμάτων του πειράματος μικροβιακής ανάλυσης, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πατάτες ομογενοποιημένες με ορό Ringer, σε αναλογία δείγματος υγρού 1:10.



Εικόνα 5.1. Συσκευή μέτρησης pH, AMEL pHmeter 338

5.3.3 Μέτρηση ενεργότητας νερού

Η ενεργότητα νερού των δειγμάτων, προσδιορίστηκε μέσω της συσκευής Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA (Εικόνα 5.2). Μικρή ποσότητα δείγματος τοποθετείται σε πλαστικό μετρητή και εισάγεται στον μετρητή. Η αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου οργάνου βασίζεται στη μέτρηση του σημείου δρόσου. Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού γίνεται μέσω μίας υπέρυθρης ακτίνας που εστιάζει σε έναν μικρό καθρέπτη και καθορίζει την ακριβή θερμοκρασία δρόσου του δείγματος, η οποία μεταφράζεται ενεργότητα νερού. Η τιμή της ενεργότητας καταγράφεται στο όργανο όταν επιτευχθεί ισορροπία ατμών.



Εικόνα 5.2. Συσκευή μέτρησης ενεργότητας νερού (Aqua lab 4TEV, Decagon Devices, USA)

5.3.4 Μέτρηση χρώματος

Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν με το ψηφιακό χρωματόμετρο Eye One (GretagMacbeth) (Εικόνα 5.3) και χρωματική κλίμακα την CIELAB με χρωματικούς δείκτες τους L, a b. Ο πρώτος δείκτης, το L, εκφράζει τη φωτεινότητα του δείγματος, το a την ερυθρότητα και το b είναι η παράμετρος του κίτρινου χρώματος. Στην περίπτωση του a, παίρνοντας θετικές τιμές προσδιορίζει το κόκκινο χρώμα, ενώ με αρνητικές τιμές προσδιορίζει το πράσινο χρώμα. Όσον αφορά τη παράμετρο b, όταν παίρνει αρνητικές τιμές προσδιορίζει το μπλε χρώμα, ενώ όταν παίρνει θετικές τιμές προσδιορίζει το κίτρινο χρώμα.

Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων επαναλαμβάνονται τρεις φορές και πραγματοποιούνται σε αντιπροσωπευτικά σημεία πάνω στην επιφάνεια τους. Οι δείκτες L, a και b χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη αμαύρωσης BI με χρήση της παρακάτω εξίσωσης (Εξίσωση 5.1) (Buera et al., 1987; Hirschler, 2012):

$$BI = \frac{100 \left(\frac{(a + 1.75 * L)}{(5.645 * L + a - 0.3012 * b)} - 0.31 \right)}{0.17} \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$



Εικόνα 5.3. Συσκευή μέτρησης χρώματος Eye One (GretagMacbeth)

5.3.5 Προσδιορισμός υφής

Για την μέτρηση σκληρότητας των δειγμάτων πατάτας χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA.XT2i Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) (Εικόνα 5.4). Τα δείγματα επεξεργάζονται με κατάλληλο στέλεχος, στην προκειμένη περίπτωση κοπίδι, η μέτρηση γίνεται σε αντιπροσωπευτικό σημείο της τεμαχισμένης πατάτας και επαναλαμβάνεται τρεις φορές. Οι παράμετροι της επεξεργασίας είναι η ταχύτητα μέτρησης και το βάθος καθόδου κοπής, οι οποίες ισούνται με 1.00 mm/sec και 4.00 mm αντίστοιχα.



Εικόνα 5.4. Αναλυτής υφής TA.XT2i Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK)

5.3.6 Εκχύλιση και προσδιορισμός ενεργότητας της πολυφαινολικής οξειδάσης PPO

Η εκχύλιση της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO) πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την μελέτη των Fang et al., (2007) και των Mukherejee et al., (2012) με μερικές τροποποιήσεις. Πατάτες Νάξου, ποικιλίας Sprunta, πλύθηκαν με νερό για την απομάκρυνση υπολειμμάτων λάσπης και ξεφλουδίστηκαν. Στη συνέχεια, οι φλούδες αλέστηκαν με πολυκόφτη (Izzy Multi 550) και 6 g αλεσμένης φλούδας ομογενοποιήθηκαν με 12 mL ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικού νατρίου 0,2 M (pH 6,5) που περιείχε 4% (v/v) PVP, 1% (v/v) Triton X 100 και 1% SDS. Η ομογενοποίηση διεξήχθη για 20 λεπτά σε θερμοκρασία 10 °C και έπειτα το ομογενοποίημα φυγοκεντρήθηκε σε 10000 g για 15 λεπτά στους 20 °C. Μετά τη φυγοκέντρηση, απομονώθηκε η διαυγής στρώση, αφού προηγουμένως πέρασε μέσα από φίλτρο 0.45 μm (Chromafil PVDF-45/25, Macherey-Nagel, Germany).

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας της PPO, χρησιμοποιήθηκαν 100 μL από το εκχύλισμα της PPO, τα οποία αραιώθηκαν σε 3 mL ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικού νατρίου 0,05 M (pH 6,5) που περιείχε 0.07 M συγκέντρωση κατεχόλης. Η μεταβολή της απορρόφησης στο τελικό διάλυμα μετρήθηκε στα 420 nm για 3 λεπτά, με το φασματοφωτόμετρο Double Beam

Spectrophotometer U-2900 (HITACHI). Από το γράφημα της απορρόφησης συναρτήσει του χρόνου αντίδρασης (Διάγραμμα Π.1), απομονώνεται το γραμμικό μέρος και υπολογίζεται η αντίστοιχη κλίση (Διάγραμμα Π.2). Για τον υπολογισμό της ενεργότητας του ενζύμου, ένα Unit PPO είναι ίσο με τη μεταβολή της απορρόφησης κατά 0.001 , ανά λεπτό και ανά mL διαλύματος ενζύμου (Mukherjee et al., 2012).

5.3.7 Χημική και ενζυμική παρεμπόδιση της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO)

Για την χημική απενεργοποίηση της PPO εξετάστηκαν οι εξής παράγοντες ανάσχεσης της δράσης της: μεταδιθειώδες νάτριο, ασκορβικό οξύ και 4-εξυλορεσορκινόλη. Δημιουργήθηκαν διαλύματα 0.5% w/w μεταδιθειώδους νατρίου, 2% w/w ασκορβικού οξέος και 0.05% w/w 4-εξυλορεσορκινόλης. Από το κάθε διάλυμα, λαμβάνονται 20 μ L και αραιώνονται σε 3 mL ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικού νατρίου 0,05 M (pH 6,5) που περιείχε 0.07 M συγκέντρωση κατεχόλης και 80 μ L εκχυλίσματος PPO. Στη συνέχεια, όπως και στο πείραμα προσδιορισμού της ενεργότητας, καταγράφεται η μεταβολή της απορρόφησης στα 420 nm για 3 λεπτά και προσδιορίζεται η εναπομένουσα ενεργότητα PPO μέσω της κλίσης του γραμμικού μέρους της μεταβολής. Τα τρία διαλύματα παρεμποδιστών αραιώνονται διαδοχικά και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία προσδιορισμού της εναπομένουσας ενεργότητας, για τη δημιουργία γραφήματος συσχέτισης της συγκέντρωσης παρεμποδιστή και την ενεργότητα της PPO. Οι συγκεντρώσεις διαλυμάτων παρεμποδιστών που εξετάστηκαν ήταν:

- Ασκορβικό οξύ: 2% w/w, 1% w/w, 0.75% w/w, 0.5% w/w, 0.4% w/w και 0.25% w/w
- Μεταδιθειώδες νάτριο: 1% w/w, 0.5% w/w, 0.25% w/w, 0.1% w/w και 0.01% w/w
- 4-εξυλορεσορκινόλη: 0.05% w/w, 0.025% w/w και 0.01% w/w

Για την ενζυμική απενεργοποίηση της PPO εξετάστηκε η δράση του πρωτεολυτικού ενζύμου παπαΐνη, σε δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις 0.1% w/w και 0.01% w/w, ως προς τον χρόνο επώασης τους. Αφού δημιουργήθηκαν τα διαλύματα, χωρίστηκαν σε γυάλινους δοκιμαστικούς σωλήνες, οι οποίοι πωματίστηκαν και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο 45°C. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα (5, 10, 30 60 min), λαμβάνονται 20 μ L από το διάλυμα παρεμποδιστή και αραιώνονται σε 3 mL ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικού νατρίου 0,05 M (pH 6,5) που

περιείχε 0.07 M συγκέντρωση κατεχόλης και 80 μL εκχυλίσματος PPO. Στη συνέχεια, προσδιορίζεται η εναπομένουσα ενεργότητα της PPO μέσω φωτομέτρησης στα 420 nm, όπως προηγουμένως, με στόχο την επιλογή της κατάλληλης συγκέντρωσης παπαΐνης και του βέλτιστου χρόνου επώασης.

5.3.8 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου

Για τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου στα δείγματα εφαρμόστηκε η μέθοδος της επιφανειακής ανάπτυξης σε τρυβλία. Η μέθοδος στηρίζεται στο ότι κάθε αποικία που εμφανίζεται στο τρυβλίο αντιστοιχεί σε ένα κύτταρο, συνεπώς ο αριθμός των αποικιών αντιστοιχεί στον αριθμό των μικροοργανισμών από τον οποίο προήλθαν. Κατά τη διάρκεια του πειράματος όλες οι διαδικασίες, δειγματοληψία, προετοιμασία αραιώσεων και επίστρωσης των τρυβλίων πραγματοποιούνται σε ασηπτικές συνθήκες σε αυτόκλειστο (Laminar Air Flow Controller, Sanyo).

Η προετοιμασία διαδοχικών αραιώσεων και η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν ως εξής:

Δειγματοληψία

Σε αποστειρωμένη σακούλα τοποθετούνται 10g πατάτας με αποστειρωμένη λαβίδα. Στη σακούλα προστίθεται ορός Ringer μέχρι τελικό όγκο 100 mL, δηλαδή αναλογία 1:10 δείγματος ανά ορό. Στη συνέχεια, το περιεχόμενο της σακούλας ομογενοποιείται στη συσκευή Stomacher.

Διαδοχικές αραιώσεις

Η πρώτη αραιώση γίνεται μέσα στη σακούλα όπως περιγράφεται παραπάνω. Η επόμενη διαδοχική αραιώση (2^η), γίνεται με προσθήκη 1 mL από τη σακούλα σε σωλήνα ο οποίος περιέχει 9mL ορού Ringer. Από το σωλήνα αυτό, λαμβάνεται 1 mL και φέρεται σε άλλο σωλήνα με 9 mL ορού Ringer, προς δημιουργία της 3^{ης} αραιώσης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως την επίτευξη της επιθυμητής αραιώσης.

Οι μικροοργανισμοί που μετρήθηκαν ήταν η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ζύμες και οι μύκητες και μόνο οι μύκητες. Πρόκειται για αερόβιες καλλιέργειες οι οποίες μετρήθηκαν με το υπόστρωμα Plate Count Agar (PCA, Biolife, Μιλάνο, Ιταλία), Rose bengal Chloramphenicol Agar

(RBC, Sigma-Aldrich, Σεντ Λούις, ΗΠΑ) και Potato Dextrose Agar (PDA, Neogen, Λάνσινγκ, ΗΠΑ) αντίστοιχα.

Σε κάθε τρυβλίο περιέχονται 10-15 mL αποστειρωμένου υποστρώματος, το οποίο αφήνεται να σταθεροποιηθεί. Έπειτα, πάνω σε αυτό απλώνεται ποσότητα 100 mL δείγματος με αποστειρωμένο στυλεό. Μετά την επίστρωση των τρυβλίων, αφήνονται να επώασουν σε θερμοκρασία 30°C για 2-3 ημέρες, μετά τις οποίες μετρούνται οι αποικίες που έχουν αναπτυχθεί σε κάθε τρυβλίο.

5.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

5.4.1 Κινητικό μοντέλο μεταβολής ενζυμικής ενεργότητας PPO

Το εκχύλισμα του ενζύμου, τοποθετείται σε κυψελίδα με διάλυμα κατεχόλης και ακολουθεί φωτομέτρηση στα 420 nm για 3 λεπτά. Η μεταβολή της ενζυμικής ενεργότητας ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης:

$$\frac{A}{A_0} = e^{-k_{ppo} * t} \quad (\text{Εξίσωση 5.2})$$

Όπου A: η απορρόφηση του δείγματος τη χρονική στιγμή μέτρησης t και A₀: η απορρόφηση για χρόνο t=0.

Από το διάγραμμα μεταβολής ενζυμικής ενεργότητας συναρτήσει του χρόνου για κάθε δείγμα, προκύπτει η σταθερά του ρυθμού απενεργοποίησης, k_{ppo}, του ενζύμου.

Η σταθερού του ρυθμού απενεργοποίησης συσχετίζεται με τη θερμοκρασία επεξεργασίας μέσω της εξίσωσης Arrhenius (Εξίσωση 5.3).

$$k = k_0 * \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

Η οποία γράφεται με αναφορά σε κάποια θερμοκρασία όπως φαίνεται στην Εξίσωση 5.4 που ακολουθεί:

$$k = k_{ref} * \exp\left[-\frac{E_a}{RT}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right] \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

Όπου k_{ref} : σταθερά ρυθμού στη θερμοκρασία αναφοράς T_{ref} , E_a : ενέργεια ενεργοποίησης (kJ/mol) και R : παγκόσμια σταθερά αερίων ίση με 8.314 J/(molK)

5.4.2 Απώλεια νερού και πρόσληψη στερεών

Κατά την ωσμωτική αφυδάτωση προσδιορίζονται η απώλεια νερού (WL), δηλαδή η ποσότητα νερού που απομακρύνεται από το τρόφιμο και η πρόσληψη στερεών (SG), που δείχνει την ποσότητα στερεών που εισέρχονται στο τρόφιμο. Ο υπολογισμός τους γίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$WL = \frac{(M_o - m_o) - (M - m)}{m_o} \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

$$SG = \frac{m - m_o}{m_o} \quad (\text{Εξίσωση 5.5})$$

όπου M_o : αρχικό βάρος του δείγματος πριν την ωσμωτική αφυδάτωση, M : βάρος μετά την ώσμωση, m : ξηρό βάρος του δείγματος μετά την ώσμωση και m_o : αρχικό ξηρό βάρος χωρίς την ώσμωση.

5.4.3 Υπολογισμός συντελεστών διάχυσης κατά την ωσμωτική αφυδάτωση

Για την μαθηματική περιγραφή της ωσμωτικής αφυδάτωσης, χρησιμοποιείται ο 2^{ος} νόμος του Fick, ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σε συνθήκες μη μόνιμης κατάστασης.

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dz^2} \quad (\text{Εξίσωση 5.6})$$

Όπου C : συνολική ποσότητα της διαλυμένης ουσίας στο φρούτο τη χρονική στιγμή t , t : ο χρόνος (min), D : συντελεστής διάχυσης και z : χαρακτηριστική απόσταση που εξαρτάται από τη γεωμετρία του τροφίμου.

Για την περιγραφή της κινητικής της ωσμωτικής αφυδάτωσης των τεμαχισμένων πατατών σε διαστάσεις 4x1x1, τα δείγματα προσεγγίζονται ως άπειρη πλάκα, με τις παραδοχές ότι: α)

αμελητέα εξωτερική αντίσταση σε μεταφορά μάζας, β) ομοιόμορφη κατανομή αρχικής υγρασίας και γ) δεν σημειώνεται συρρίκνωση κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Από το μαθηματικό μοντέλο, η περιεχόμενη υγρασία (MR) και τα περιεχόμενα στερεά (SR) σε σχέση με το χρόνο εκφράζονται ως εξής (Crank, 1975):

$$MR = \frac{wt - w^\infty}{w_0 - w^\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\left(n + \frac{1}{2}\right)^2 * \pi^2 * F_{ow}\right] \quad (\text{Εξίσωση 5.7})$$

$$MR = \frac{st - s^\infty}{s_0 - s^\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\left(n + \frac{1}{2}\right)^2 * \pi^2 * F_{os}\right] \quad (\text{Εξίσωση 5.8})$$

όπου w και s : περιεχόμενη υγρασία και περιεχόμενα στερεά συστατικά αντίστοιχα, o , t και ∞ : συγκεντρώσεις αρχικά, σε τυχαία χρονική στιγμή και στην ισορροπία αντίστοιχα, F_{ow} και F_{os} : οι αριθμοί Fourier για τη διάχυση της υγρασίας και των στερεών αντίστοιχα και ισχύει:

$$F_{ow} = \frac{D_{ew}}{l^2} t \quad (\text{Εξίσωση 5.9})$$

$$F_{os} = \frac{D_{es}}{l^2} t \quad (\text{Εξίσωση 5.10})$$

όπου D_{ew} και D_{es} : δραστικοί συντελεστές διάχυσης της υγρασίας και των στερεών αντίστοιχα, t : χρόνος εμφάνισης των δειγμάτων στο ωσμωτικό διάλυμα και l : μισό του πάχους του δείγματος.

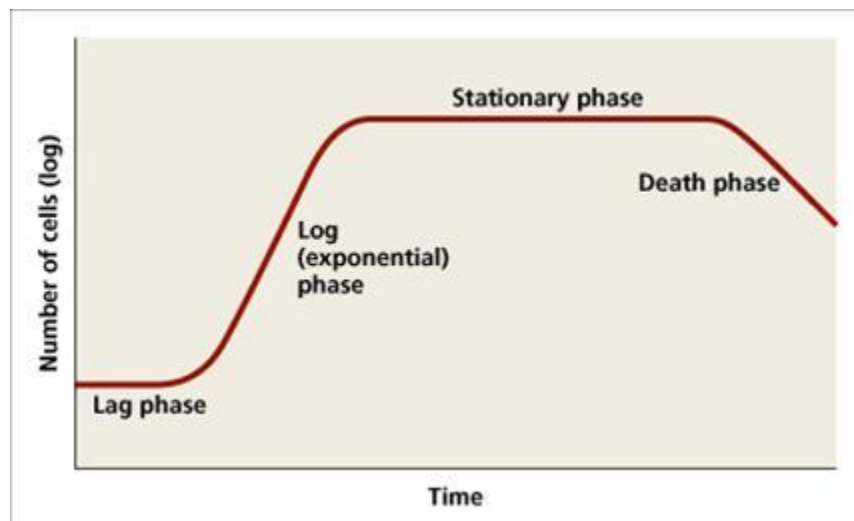
Ο υπολογισμός των F_{ow} και F_{os} γίνεται συναρτήσει των τιμών MR και SR και απεικονίζονται γραφικά σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του χρόνου t , συμπεριλαμβάνοντας τις τιμές μέχρι τον πέμπτο όρο. Ο υπολογισμός των συντελεστών διάχυσης D_{ew} και D_{es} πραγματοποιείται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

5.4.4 Κινητικό μοντέλο υποβάθμισης της πατάτας

Η μικροβιολογική αλλοίωση των δειγμάτων πατάτας αναλύεται με το μοντέλο Baranyi και Roberts (Baranyi & Roberts, 1994).

Η καμπύλη του μοντέλου είναι σιγμοειδής και περιλαμβάνει την λανθάνουσα φάση, την εκθετική φάση και τη φάση στασιμότητας όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5.

Ο ρυθμός ανάπτυξης του μικροβιακού φορτίου υπολογίζεται στην εκθετική φάση ανάπτυξης και υπολογίζεται μέσω του προγράμματος DMfit software (IFR, Institute of Food Research, Reading, UK), στο οποίο προσαρμόζονται οι μετρήσεις.



Εικόνα 5.5. Τυπική καμπύλη μικροβιακής ανάπτυξης

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των διεργασιών που αναλύθηκαν στη προηγούμενη ενότητα. Αρχικά, μελετάται η ενεργότητα της PPO σε ενζυμικό εκχύλισμα, με στόχο την εύρεση των κατάλληλων τεχνικών απενεργοποίησης της. Με τα δεδομένα αυτά, διερευνώνται οι κατάλληλες συνθήκες επεξεργασίας των δειγμάτων πατάτας με ωσμωτική αφυδάτωση και ο συνδυασμός της με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και υπερυψηλή πίεση. Η αξιολόγηση των παραμέτρων της κάθε διεργασίας πραγματοποιείται με κριτήριο την βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της πατάτας, το χρώμα και την υφή, ενώ ταυτόχρονα προσδιορίζονται οι δείκτες πρόσληψης στερεών, απώλειας υγρασίας και ενεργότητας νερού. Τέλος, γίνεται σύγκριση της επίδρασης των επεξεργασιών υπερυψηλής πίεσης και παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, στην ποιότητα της ωσμω-αφυδατωμένης πατάτας μέσω του μικροβιακού φορτίου και του δείκτη αμαύρωσης συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης.

6.2 Μελέτη ενζυμικού εκχυλίσματος PPO πατάτας

6.2.1 Προσδιορισμός ενεργότητας PPO πατάτας

Στο Διάγραμμα Π.2 στο Παράρτημα φαίνεται η γραμμική αύξηση της απορρόφησης σε σχέση με το χρόνο. Μετά από τα 30 δευτερόλεπτα, η τιμή της απορρόφησης έχει σταθεροποιηθεί. Έτσι, από την κλίση του διαγράμματος, η οποία είναι ίση με 0.0106 (1/s), γίνεται ο προσδιορισμός της ενεργότητας της PPO, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 5.3.6.

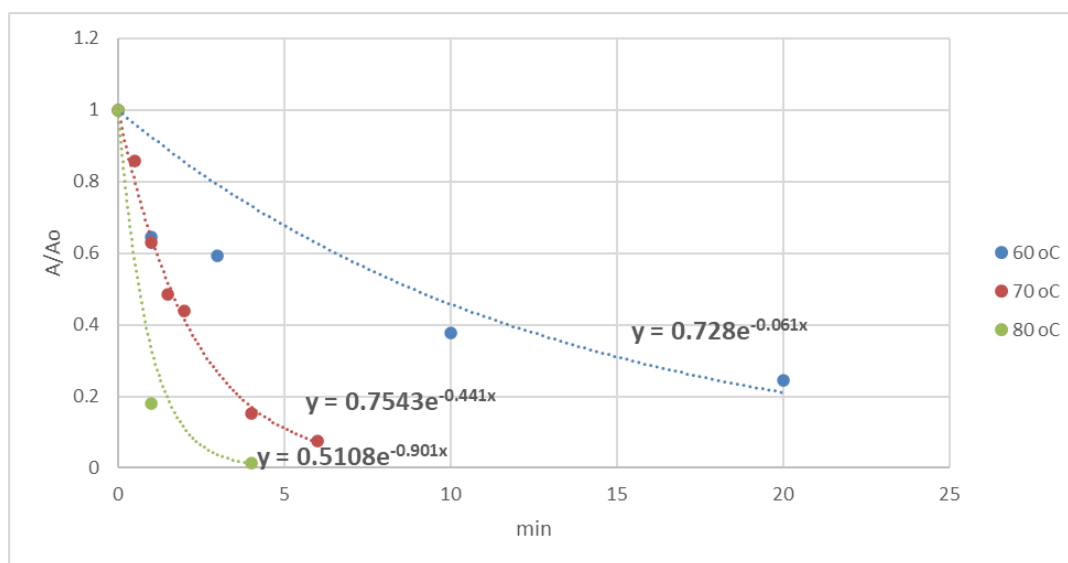
$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = 0.0106 \left(\frac{1}{s}\right) = 0.6360 \left(\frac{1}{\text{min}}\right) = 6.360 \left(\frac{1}{\text{min} * \text{mL}}\right)$$

$$\text{Ενεργότητα PPO} = \frac{6.360 \left(\frac{1}{\text{min} * \text{mL}}\right)}{0.001} = 6360 \text{ Units/mL εκχυλίσματος}$$

6.2.2 Παρεμπόδιση-Απενεργοποίηση PPO πατάτας

6.2.2.1 Θερμική απενεργοποίηση

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μεταβολής της ενζυμικής ενεργότητας της PPO σε συνάρτηση με το χρόνο, για δείγματα εκχυλίσματος ενζύμου επεξεργασμένα σε θερμοκρασίες 60, 70 και 80°C. Η μεταβολή της ενεργότητας της PPO ορίζεται ως η εναπομένουσα ενεργότητα της PPO (A) ως προς την αρχική ενεργότητα της PPO, σε χρόνο $t=0(A_0)$, (A/A_0) .



Διάγραμμα 6.1. Μεταβολή της ενζυμικής ενεργότητας της PPO σε σχέση με το χρόνο, για θερμοκρασίες επεξεργασίας 60, 70 και 80 °C

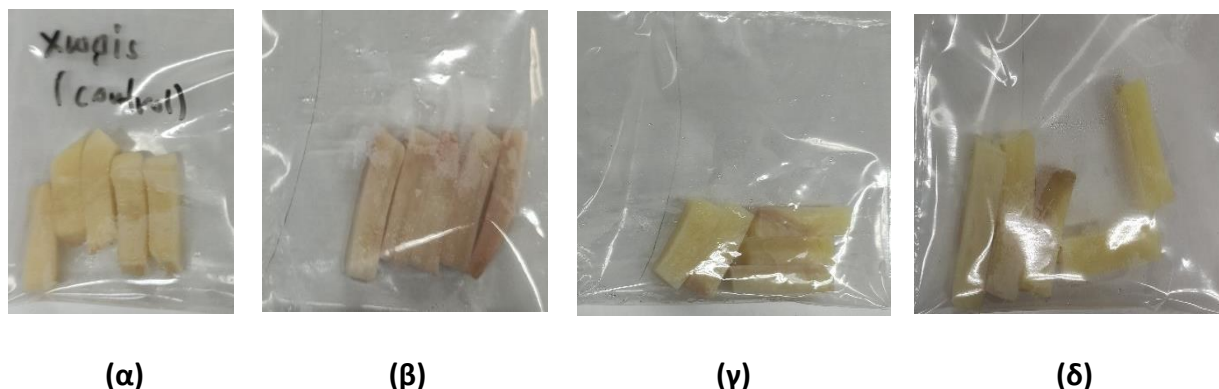
Στον Πίνακα (6.1) παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών απενεργοποίησης σύμφωνα με την Εξίσωση 5.2.

Πίνακας 6.1. Σταθερές ρυθμού απενεργοποίησης για τη μεταβολή της ενζυμικής ενεργότητας της PPO πατάτας, σε εκχύλισμα ενζύμου για θερμοκρασίες επεξεργασίας 60, 70 και 80 °C

Θερμοκρασία (°C)	Σταθερά απενεργοποίησης k_{pp0} (1/min)	R^2
60	0.061	0.828
70	0.441	0.993
80	0.901	0.961
Ea (kJ/mol)	132.1	

Παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας συμβάλλει στην αύξηση του ρυθμού απενεργοποίησης του ενζύμου, όπως επιβεβαιώνεται και βιβλιογραφικά (Huang et al., 2019). Η ενέργεια ενεργοποίησης υπολογίζεται μέσω της γραμμικοποιημένης εξίσωσης Arrhenius, μέσω των ρυθμών ανάπτυξης του Πίνακα 6.1, με θερμοκρασία αναφοράς 65°C και ρυθμό ανάπτυξης στη θερμοκρασία αυτή ίσο με $k_{ref}=0.166 \text{ min}^{-1}$ (Εξίσωση 5.4).

Ωστόσο, η θερμική επεξεργασία των δειγμάτων πατάτας στις ίδιες θερμοκρασίες, 60, 70 και 80 °C για 20, 6 και 8 min αντίστοιχα, δεν ήταν επιτυχής. Όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 6.1), η έκθεση των δειγμάτων σε υψηλές θερμοκρασίας μείωσε τα οργανοληπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά τους (χρώμα, υφή), χωρίς να περιορίσει το ενζυμικό μαύρισμα.

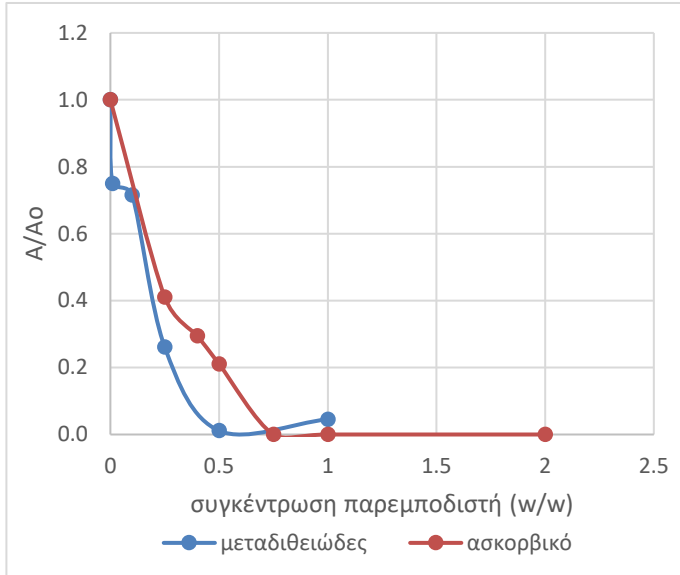


Εικόνα 6.1. Τεμαχισμένες πατάτες ανεπεξεργαστες **(α)** και τεμαχισμένες πατάτες αμέσως μετά τη θερμική επεξεργασία σε θερμοκρασία **(β)** 60°C, **(γ)** 70 °C και **(δ)** 80 °C

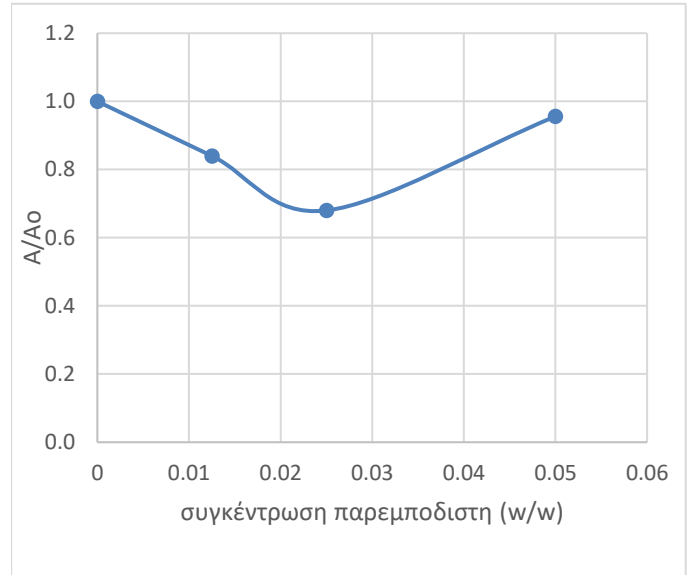
6.2.2.2 Επιλογή παρεμποδιστή της PPO

Εξετάστηκαν με βάση τη βιβλιογραφία οι εξής παρεμποδιστές (Arlette A. N'Guessan et al., 2018; Moon et al., 2020; Taoukis et al., 1989): μεταδιθειώδες νάτριο, ασκορβικό οξύ, 4-εξυλορεσορκινόλη και παπαΐνη. Για τους 3 πρώτους μετρήθηκε η ενεργότητα της PPO σε διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμάτων, ενώ για την παπαΐνη μετρήθηκε η ενεργότητα σε διάφορες χρονικές στιγμές χρόνου επώασης του πρωτεολυτικού ενζύμου στους 45°C εντός της 1 ώρας. Στα Διαγράμματα 6.2 και 6.3 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της εναπομένουσας

ενεργότητας PPO (A/A_0) σε σχέση με τη συγκέντρωση του παρεμποδιστή και του χρόνου επώασης. Η εναπομένουσα ενεργότητα υπολογίζεται σε σχέση με την αρχική ενεργότητα του δείγματος για $t=0$, A_0 .

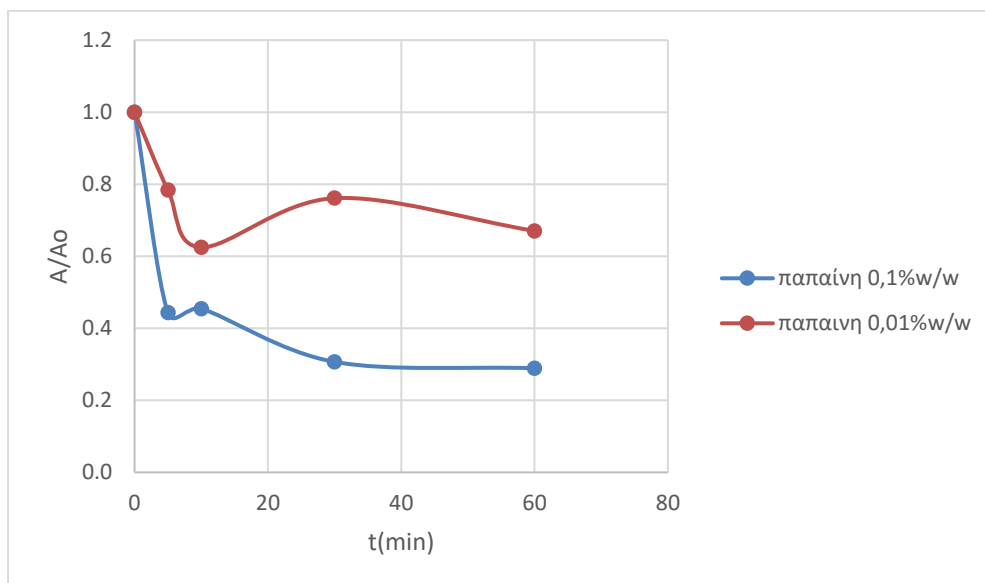


(α)



(β)

Διάγραμμα 6.2. Εναπομένουσα ενζυμική ενεργότητα της PPO (A/A_0) σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του αντίστοιχου παρεμποδιστή, **(α)** παρεμποδιστές μεταδιθειώδες νάτριο, ασκορβικό οξύ και **(β)** 4-εξυλορεσορκινόλη



Διάγραμμα 6.3. Εναπομένουσα ενζυμική ενεργότητα της PPO (A/A₀) συναρτήσει του χρόνου επώασης του διαλύματος παπαΐνης (0.01% w/w και 0.1% w/w) σε θερμοκρασία 45°C

Από το Διάγραμμα 6.2 φαίνεται ότι για συγκέντρωση μεγαλύτερη από 0.5% w/w για το μεταδιθειώδες νάτριο και 0.75% w/w για το ασκορβικό οξύ, επιτυγχάνεται πλήρης παρεμπόδιση του ενζύμου. Αντίθετα, η 4-εξυλορσορκινόλη δεν είχε αντίστοιχη συμπεριφορά καθώς η αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος δεν κατάφερε να απενεργοποιήσει το ένζυμο. Επιπλέον, από το Διάγραμμα 6.3 παρατηρείται ότι το πυκνότερο διάλυμα παπαΐνης (0.1% w/w) παρεμποδίζει αποτελεσματικότερα το ένζυμο, με μείωση της ενεργότητας κατά 71%. Ακόμη, ο χρόνος επώασης του πρωτεολυτικού ενζύμου φαίνεται να επηρεάζει τη δράση του μέχρι τα πρώτα 30 λεπτά καθώς στη συνέχεια η ενεργότητα είναι σχεδόν σταθερή.

Με βάση αυτών των αποτελεσμάτων, μελετήθηκε η εμβάπτιση τεμαχισμένων πατατών για χρόνο 10 λεπτών, σε διάλυμα μεταδιθειώδους νατρίου 0.5% w/w, 4-εξυλορσορκινόλης 0.025% w/w και ασκορβικού οξέος 0.5% w/w. Στόχος της επεξεργασίας είναι η ενσωμάτωση του παρεμποδιστή στον ιστό της πατάτας και η ανάσχεση του ενζυμικού μαυρίσματος. Στην Εικόνα 6.2 απεικονίζονται τα δισκία πατάτας 1 ημέρα μετά την εμβάπτιση τους σε διάλυμα παρεμποδιστή και συντήρησης στους 4°C.

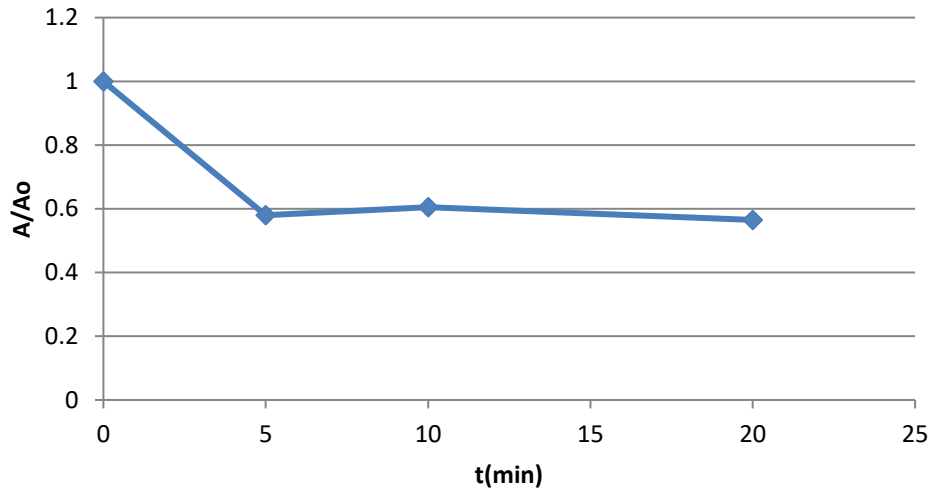


(α) **(β)** **(γ)**
Εικόνα 6.2 Δισκία πατάτας 1 ημέρα μετά την εμβάπτιση τους σε διάλυμα (α) μεταδιθειώδους νατρίου 0.5% w/w, (β) 4-εξυλορεσορκινόλης 0.025% w/w και (γ) ασκορβικού οξέος 0.5% w/w και συντήρησής τους στους 4 °C.

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, η εμβάπτιση των δειγμάτων πατάτας σε διάλυμα παρεμποδιστή (μεταδιθειώδες νάτριο, ασκορβικό οξύ και 4-εξυλορεσορκινόλη), δεν αποτέλεσε μέθοδο ανάσχεσης του ενζυμικού μαυρίσματος. Έτσι, στο επόμενο κεφάλαιο θα μελετηθεί εκτενώς η ωσμωτική αφυδάτωση, κατά την οποία οι ουσίες του διαλύματος μπορούν να εισέλθουν στον ιστό του τροφίμου, λόγω της διαφοράς ωσμωτικής πίεσης μεταξύ τους.

6.2.2.3 Απενεργοποίηση με χρήση ΥΠ

Στη συνέχεια, έγινε δοκιμή απενεργοποίησης του ενζύμου PPO με εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ). Οι συνθήκες επεξεργασίας του εκχυλίσματος ήταν 600 MPa, σε θερμοκρασία δωματίου (20°C) και χρόνο επεξεργασίας 5, 10 και 20 λεπτά. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μέτρησης της εναπομένουσας ενζυμικής ενεργότητας (A/A₀) συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας ΥΠ.



Διάγραμμα 6.4. Εναπομένουσα ενζυμική ενεργότητα της PPO (A/A₀) ενζυμικού εκχυλίσματος συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας της υπερυψηλής πίεσης, για πίεση 600 MPa και θερμοκρασία δωματίου (20°C)

Από το Διάγραμμα 6.4 φαίνεται ότι για τις συγκεκριμένες συνθήκες της διεργασίας, 600 MPa και 20 λεπτά, επιτυγχάνεται απενεργοποίηση της PPO κατά 41%, σε 5 λεπτά επεξεργασίας. Όπως παρατηρείται, η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας, δεν επιδρά περαιτέρω στην ενεργότητα του ενζύμου, καθώς μετά τα 5 λεπτά έχει σταθεροποιηθεί. Παρόμοια μελέτη διεξήγαγαν και οι Van Buggenhout et al., (2006) σε ενζυμικό εκχύλισμα πατάτας, αλλά και κομμάτια πατάτας, με αντίστοιχα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, μελέτησαν την ΥΠ σε πιέσεις 100-500 MPa στο θερμοκρασιακό εύρος -26°C έως 20°C, για 13 λεπτά. Παρατήρησαν ότι η μέγιστη απενεργοποίηση της PPO στο εκχύλισμα ενζύμου ήταν 40% και επιτεύχθηκε με συνδυασμό 500 MPa και -26°C.

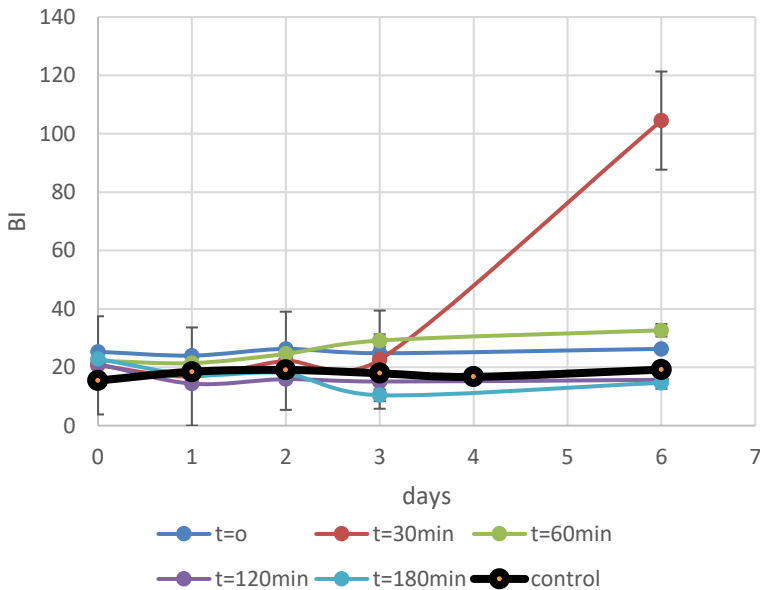
6.3 Μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε πατάτες

6.3.1 Επιλογή σύστασης ωσμωτικού διαλύματος

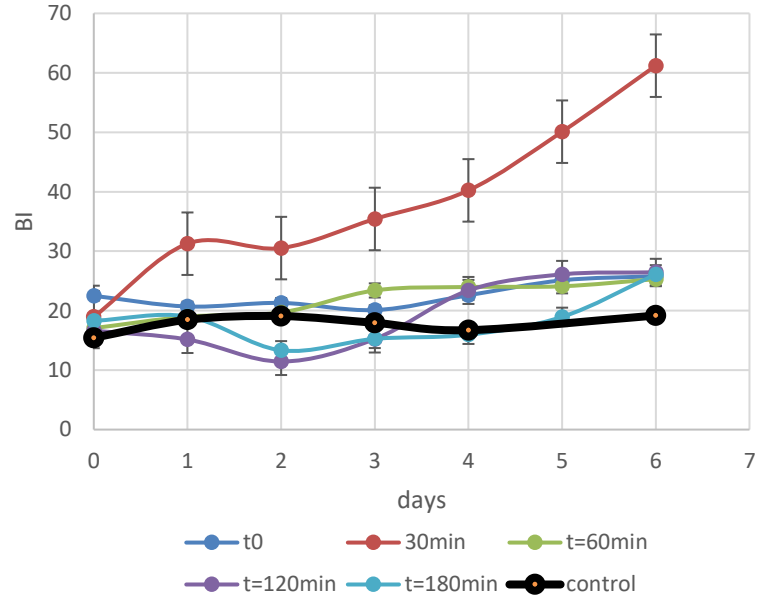
Για τη μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης των φρέσκο-κομμένων πατατών έγιναν πειράματα με ωσμωτικά διαλύματα διαφορετικής σύστασης. Τα δύο διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν περιείχαν τα εξής:

- α) 40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο
- β) 60% γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο

Βασικοί δείκτες για την σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι η μεταβολή του χρώματος και της υφής των δειγμάτων, η ενεργότητα νερού (a_w), η απώλεια νερού (WL) και η πρόσληψη στερεών (SG).



(α)



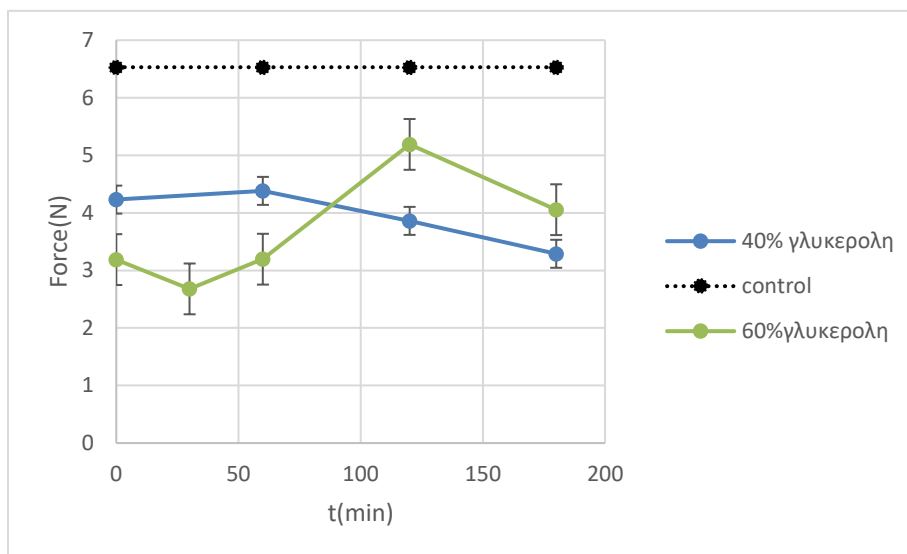
(β)

Διάγραμμα 6.5. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI σε συνάρτηση με τις ημέρες

αποθήκευσης στους 4°C και το χρόνο ώσμωσης και τις ημέρες αποθήκευσης στους 4°C **(α)** σε ωσμωτικό διάλυμα συγκέντρωσης 40% σε γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, **(β)** σε ωσμωτικό διάλυμα συγκέντρωσης 60% σε γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο

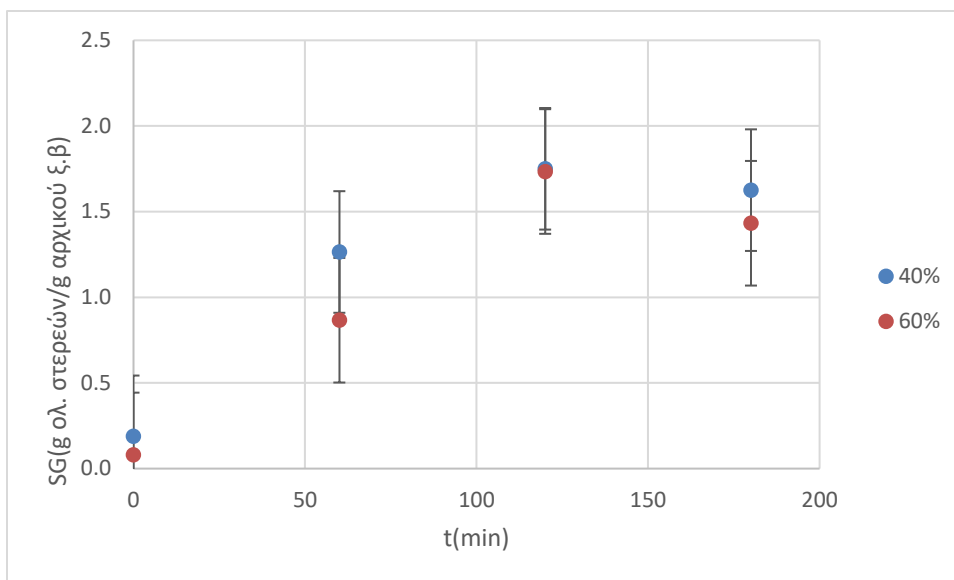
Από το Διάγραμμα 6.5 όπου παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI (Εξίσωση 5.1) σε συνάρτηση με το χρόνο ώσμωσης και τις ημέρες αποθήκευσης στους 4°C, παρατηρείται ότι στην (α) περίπτωση όπου το ωσμωτικό διάλυμα επεξεργασίας αποτελείται από 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, ο δείκτης αμαύρωσης παραμένει μικρότερος από το ανεπεξέργαστο δείγμα, (control) έως και 8 ημέρες μετά την επεξεργασία όταν αυτή διαρκεί 2 και 3 ώρες. Αντίθετα, στην (β) περίπτωση όπου το ωσμωτικό διάλυμα επεξεργασίας αποτελείται από 60% γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο, φαίνεται ότι την 3^η ημέρα αποθήκευσης μετά την επεξεργασία, το χρώμα όλων των δειγμάτων είναι παρόμοιο με του ανεπεξέργαστου (control), ενώ στη συνέχεια το μαύρισμα γίνεται εντονότερο.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.6) φαίνεται η σκληρότητα των δειγμάτων μετά την επεξεργασία, σε σχέση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης.



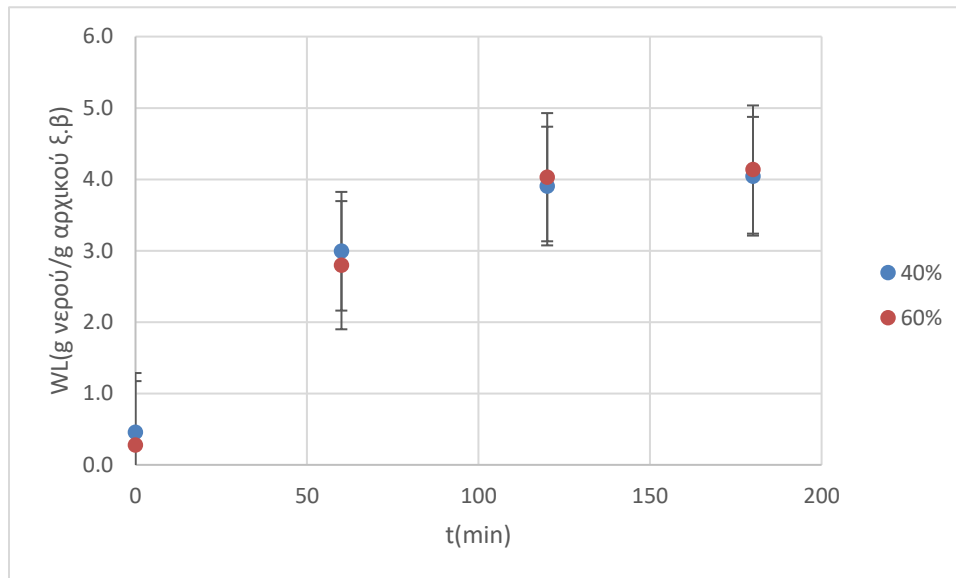
Διάγραμμα 6.6. Μεταβολή της σκληρότητας (Force, N) των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ωσμωτικό διάλυμα: 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, σε 60% σε γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο. Ανεπεξεργαστο δείγμα (.....)

Παρατηρώντας τη σκληρότητα των δειγμάτων σε σχέση με τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης του παραπάνω διαγράμματος φαίνεται (Διάγραμμα 6.6) ότι η σκληρότητα των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν στο διάλυμα που περιείχε 40% γλυκερόλη έχει πτωτική τάση, ενώ για εκείνα που επεξεργάστηκαν στο διάλυμα με 60% γλυκερόλη φαίνεται ότι μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Συγκεκριμένα, στην αρχή η σκληρότητα των δειγμάτων μειώνεται και στη συνέχεια παρουσιάζει αύξηση, λόγω της πρόσληψης χλωριούχου ασβεστίου (Moreira et al., 2021).



Διάγραμμα 6.7. Μεταβολή της πρόσληψης ολικών στερεών (SG, g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης. Οσμωτικό διάλυμα: 40% σε γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, και σε 60% σε γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο

Στο Διάγραμμα 6.7 παρουσιάζεται η μεταβολή της πρόσληψης στερεών σε σχέση με το χρόνο ώσμωσης. Τα στερεά που προσλαμβάνονται από τα δείγματα αφορούν τη μεταφορά της γλυκερόλης και των αλάτων στο εσωτερικό τους. Όπως φαίνεται και για τα δύο ωσμωτικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν, η πρόσληψη στερεών αυξάνεται με τη πάροδο του χρόνου έως και τα πρώτα 120 λεπτά της επεξεργασίας, όπου σημειώνεται η μέγιστη πρόσληψη. Μεταξύ των δύο διαλυμάτων, η επεξεργασία με 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, επιτυγχάνει υψηλότερη πρόσληψη στερεών σε όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας σε σχέση με το διάλυμα 60% γλυκερόλης, 3.5% χλωριούχου νατρίου και 1.5% χλωριούχου ασβεστίου.

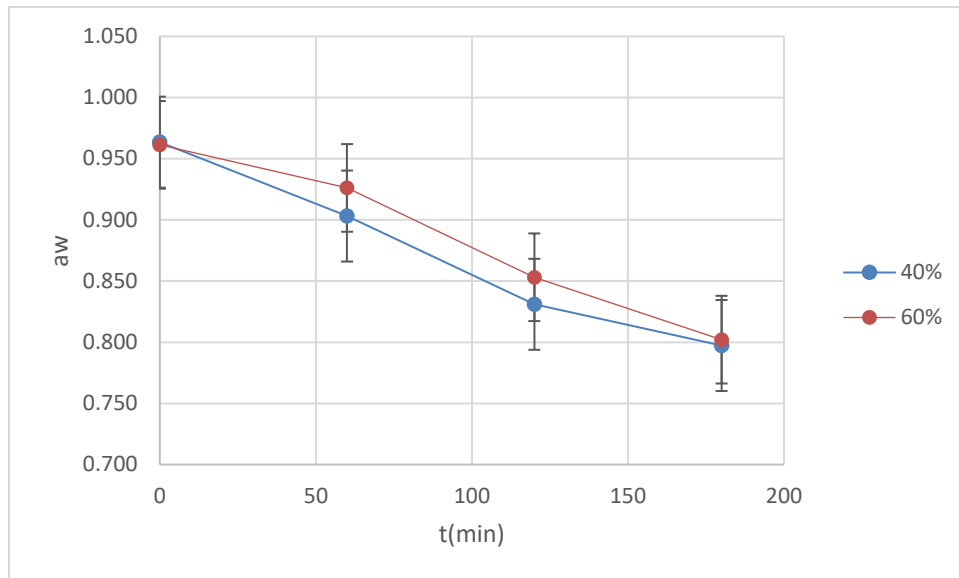


Διάγραμμα 6.8. Μεταβολή της απώλειας νερού (WL, g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ωσμωτικό διάλυμα: 40% σε γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, και σε 60% σε γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο

Όσον αφορά την απώλεια νερού, όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τη μεταβολή της απώλειας νερού (g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης για τα διαλύματα διαφορετικών συγκεντρώσεων, η απώλεια υγρασίας αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου επεξεργασίας. Στην αρχή της εμβάπτισης, ο ρυθμός απομάκρυνσης νερού ήταν υψηλός λόγω της ισχυρής ωσμωτικής κινητήριας δύναμης μεταξύ του πυκνού διαλύματος και του φρέσκου δείγματος.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι μετά την 1 ώρα επεξεργασίας, η απώλεια νερού έχει σχεδόν σταθεροποιηθεί. Αυτό σύμφωνα με έρευνες, οφείλεται στην κατακράτηση των στερεών που έχουν προσληφθεί στην επιφανειακή στρώση του δείγματος, μειώνοντας έτσι τη διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ δείγματος-διαλύματος. Συνεπώς, δημιουργείται μια πρόσθετη αντίσταση στην ανταλλαγή μάζας, η οποία μειώνει το ποσοστό απώλειας νερού (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007).

Η αρχική ενεργότητα νερού των ανεπεξεργαστων δειγμάτων πατάτας ήταν κατά μέσο όρο ίση με 0.985. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η μείωση της ενεργότητας νερού κατά την ωσμωτική επεξεργασία στα δύο διαφορετικά διαλύματα.



Διάγραμμα 6.9. Ενεργότητα νερού (a_w) δειγμάτων πατάτας συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ωσμωτικό διάλυμα: 40% σε γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, και σε 60% σε γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο

Όπως ήταν αναμενόμενο, η ενεργότητα νερού των δειγμάτων μειώνεται με την αύξηση του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης και για τα δύο διαλύματα που εξετάστηκαν. Προκύπτει ότι η ενεργότητα νερού παρουσιάζει σημαντική μείωση μετά την 1 ώρα επεξεργασίας και το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση σε γλυκερόλη και μεγαλύτερη συγκέντρωση σε αλάτι (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο), προκάλεσε μεγαλύτερη μεταβολή της ενεργότητας νερού. Η αποτελεσματικότερη μείωση της ενεργότητας νερού οφείλεται κατά κύριο λόγο στο χλωριούχο νάτριο, του οποίου η αύξηση της συγκέντρωσης έχει μεγαλύτερη επίδραση στην μείωση της ενεργότητας νερού, συγκριτικά με την αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκερόλης (Nguyen Van Long et al., 2017).

Στόχος της εξέτασης των συνθηκών της ωσμωτικής κατεργασίας είναι η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών επεξεργασίας ως προς τη σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος. Βασικό κριτήριο επιλογής είναι να μην μεταβάλλονται σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δείγματος (χρώμα, υφή), ενώ ταυτόχρονα η διεργασία να επιδρά στην πρόσληψη στερεών, την απώλεια υγρασίας και την ενεργότητα νερού. Έτσι, μεταξύ των δύο διαλυμάτων που εξετάστηκαν,

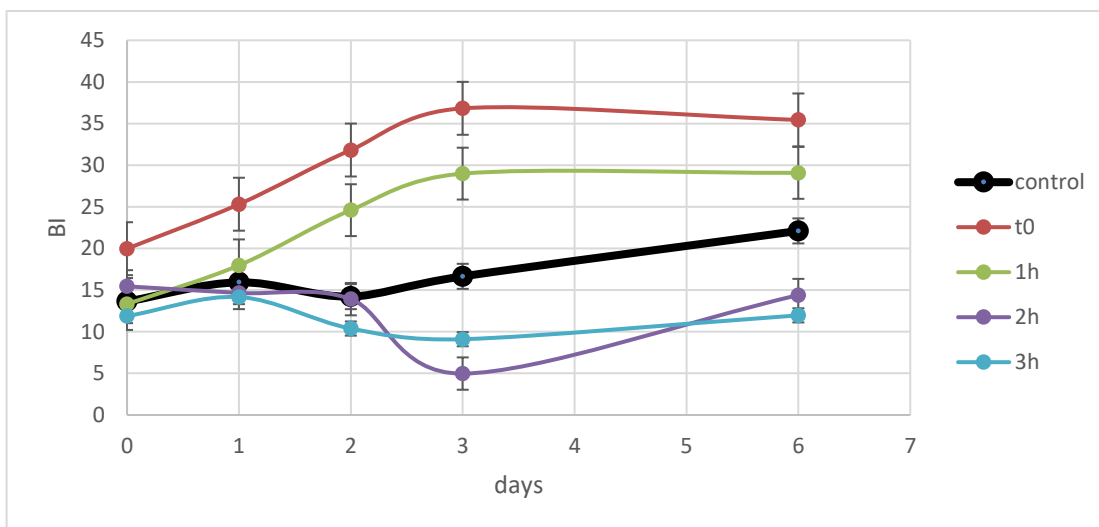
επιλέγεται η εξής σύσταση για περαιτέρω διερεύνηση: 40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο. Η επεξεργασία στο συγκεκριμένο ωσμωτικό διάλυμα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της ενεργότητας νερού από 0.985 αρχική τιμή σε 0.831 και 0.797, για 2 και 3 ώρες εμβάπτισης αντίστοιχα. Επιπλέον, μειώθηκε σημαντικά η τιμή του δείκτη αμαύρωσης BI (15.60 και 14.67 με 2 και 3 ώρες ώσμωσης αντίστοιχα έναντι BI=19.18 του ανεπεξέργαστου) σε διάστημα 6 ημερών σε περιβάλλον συντήρησης 4°C και επιτεύχθηκαν υψηλοί δείκτες απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών. Βέβαια, κυριότερη παράμετρος υποβάθμισης ποιότητας της πατάτας, είναι το χρώμα, εφόσον λόγω της ΡΡΟ εμφανίζονται σκουρόχρωμα στίγματα. Για αυτό το λόγο, στη συνέχεια θα μελετηθεί η επίδραση της προσθήκης παρεμποδιστή στο ωσμωτικό διάλυμα.

6.3.2 Προσθήκη παρεμποδιστή στο ωσμωτικό διάλυμα

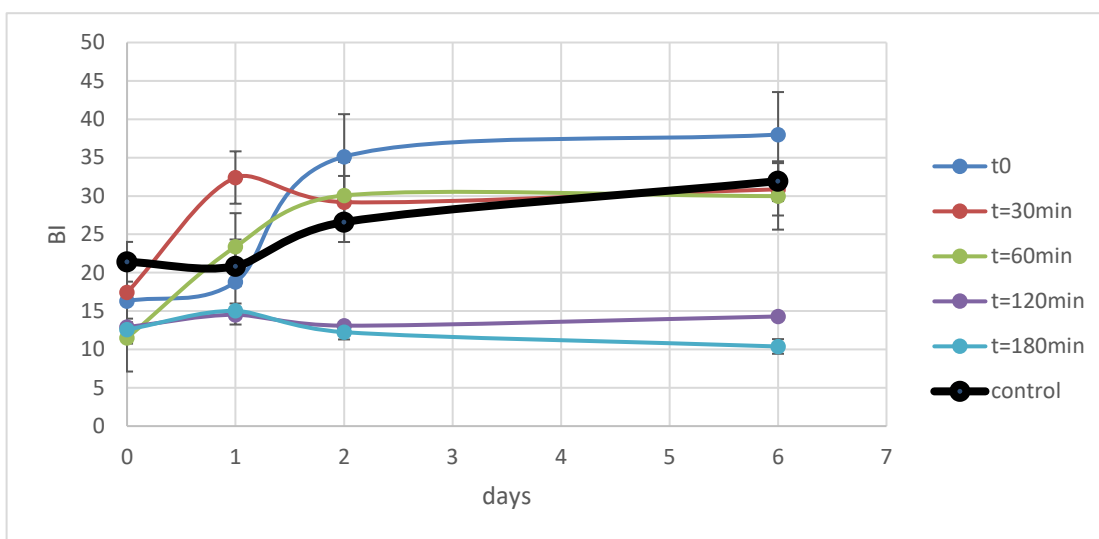
Με βάση τη μελέτη που έγινε στο υποκεφάλαιο 6.2.2 για την επίδραση των παρεμποδιστών στην ενεργότητα της ΡΡΟ στο ενζυμικό εκχύλισμα, προστέθηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα οι εξής παρεμποδιστές: ασκορβικό οξύ και παπαΐνη σε συγκεντρώσεις 1%w/w και 0.1%w/w αντίστοιχα. Για την επίτευξη της μέγιστης δράσης της παπαΐνης, τα δείγματα πατάτας εμβάπτιστηκαν στο διάλυμα της πριν την ώσμωση, για 30 min και θερμοκρασία 45°C.

Σημειώνεται ότι επειδή η παρεμπόδιση μετρήθηκε στο εκχύλισμα ενζύμου ΡΡΟ, για την εύρεση της απαιτούμενης συγκέντρωσης του παρεμποδιστή στο ωσμωτικό διάλυμα, πρέπει να τηρηθεί η ίδια αναλογία μεταξύ του ενζύμου και του παρεμποδιστή. Η αναγωγή πραγματοποιήθηκε με βάση τα Units/g πατάτας και στις δύο περιπτώσεις. Έτσι, οι παρεμποδιστές που προστέθηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα και οι συγκεντρώσεις τους είναι:

- Ασκορβικό οξύ, 0.25% w/w
- Παπαΐνη 0.025% w/w



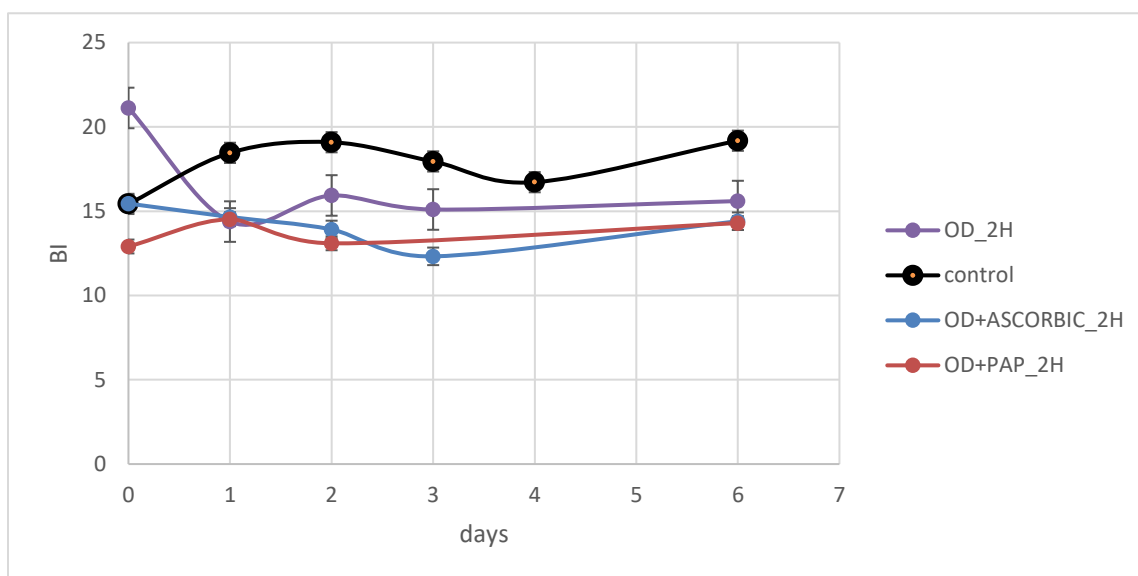
Διάγραμμα 6.10. Μεταβολή δείκτη αμαύρωσης BI των δειγμάτων, συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4 °C, για τους διαφορετικούς χρόνους ωσμωτικής επεξεργασίας σε διάλυμα που περιέχει ασκορβικό οξύ (0-3 ώρες)



Διάγραμμα 6.11. Μεταβολή δείκτη αμαύρωσης BI των δειγμάτων, συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4 °C, για τους διαφορετικούς χρόνους ωσμωτικής επεξεργασίας σε διάλυμα που περιέχει παπαΐνη (0-3 ώρες)

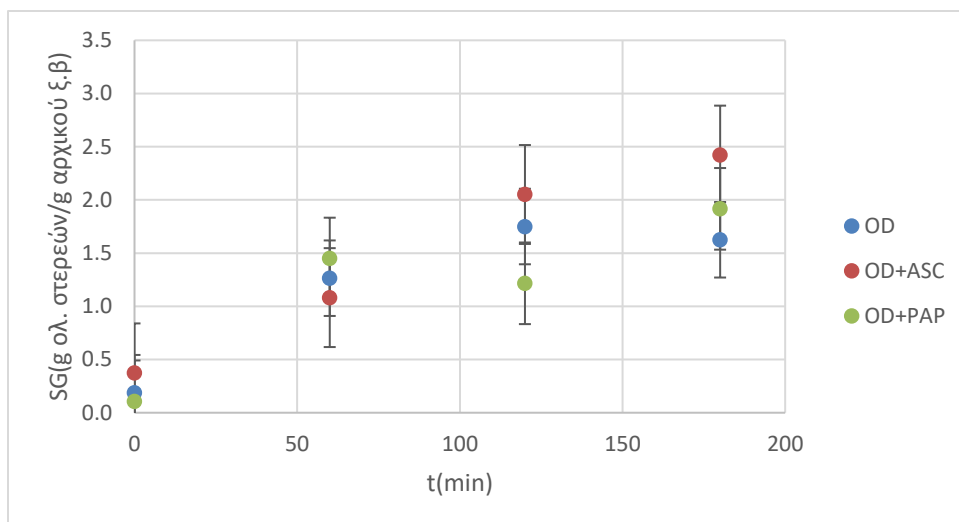
Από τα Διαγράμματα 6.10 και 6.11 φαίνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις εμφάνισης των δειγμάτων σε ωσμωτικά διαλύματα που συμπεριλαμβάνουν παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ, παπαΐνη), ο δείκτης μαυρίσματος BI παραμένει σημαντικά μικρότερος από τα ανεπεξέργαστα δείγματα (control), για χρόνο επεξεργασία 2 και 3 ώρες. Βέβαια, η σύγκριση των συγκεκριμένων

δειγμάτων, είναι σκόπιμο να γίνει με τα δείγματα που έχουν εμβαπτιστεί σε ωσμωτικό διάλυμα χωρίς ποσότητα παρεμποδιστή, ώστε να βρεθεί η επίδραση αυτών στη δράση της ΡΡΟ. Δηλαδή, εάν έχουν ενσωματωθεί στα δείγματα πατάτας κατά την ωσμωτική κατεργασία. Επιπλέον, είναι σημαντική η επιλογή του χρόνου επεξεργασίας, τόσο για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών των δειγμάτων, αλλά και για να αποτελεί μία συμφέρουσα διεργασία. Συνεπώς, για την αξιολόγηση της διεργασίας, μεταξύ των 2 και 3 ωρών επεξεργασίας, που είναι η διάρκεια στην οποία σημειώθηκε βελτίωση του τελικού χρώματος των δειγμάτων, επιλέγονται οι 2 ώρες. Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI των δειγμάτων που έχουν επεξεργαστεί για 2 ώρες στο ωσμωτικό διάλυμα, συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης τους στους 4°C.



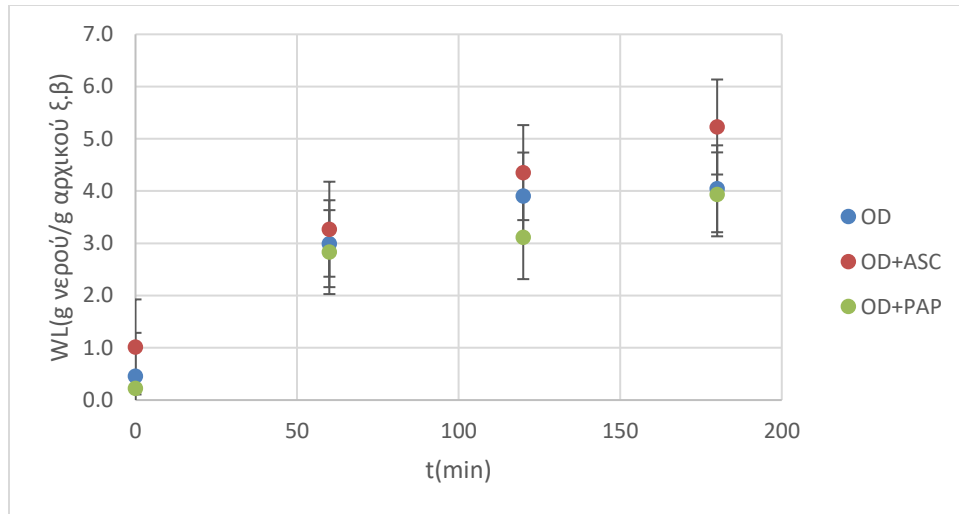
Διάγραμμα 6.12. Μεταβολή δείκτη μαυρίσματος BI των δειγμάτων, συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4 °C, για χρόνο ωσμωτικής επεξεργασίας 2 ωρών. Δείγματα: ανεπεξέργαστα (control), ωσμω-αφυδατωμένα (OD_2H), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASCORBIC_2H) και ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP_2H)

Φαίνεται λοιπόν, ότι η προσθήκη παρεμποδιστή στο ωσμωτικό διάλυμα, είχε μικρή επίδραση στη μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI, συναρτήσει του χρόνου.



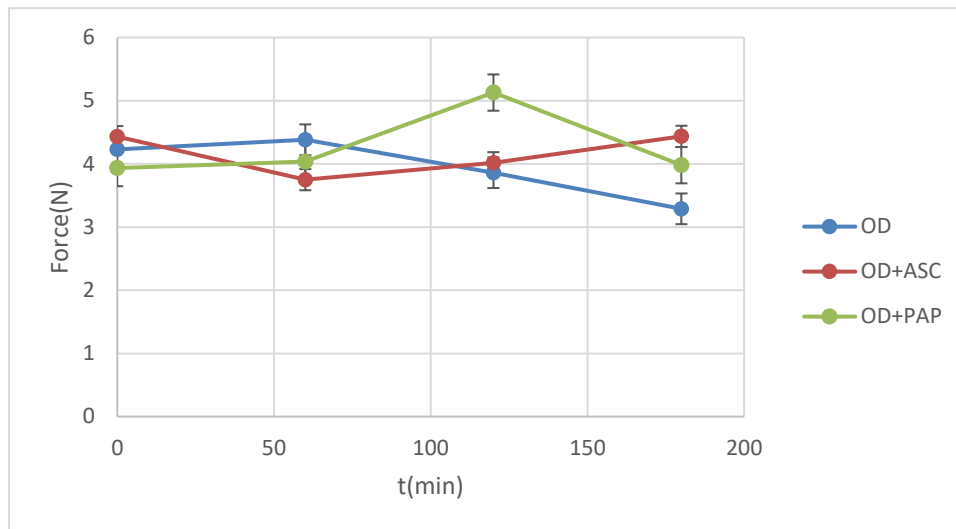
Διάγραμμα 6.13. Μεταβολή πρόσληψης στερεών των δειγμάτων (SG, g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους) σε διαλύματα με και χωρίς παρεμποδιστή, συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής κατεργασίας. Δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα (OD), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC) και ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP)

Στο Διάγραμμα 6.13 παρουσιάζεται η μεταβολή πρόσληψης στερεών των δειγμάτων σε διαλύματα με και χωρίς παρεμποδιστή, συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής κατεργασίας. Φαίνεται η αναμενόμενη συνεχής αύξηση της ποσότητας στερεών που προσλαμβάνεται με την πάροδο του χρόνου, όμως δεν υπάρχει σταθερή διαφορά μεταξύ της προσλαμβανόμενης ποσότητας των δειγμάτων που εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα με και χωρίς παρεμποδιστή. Ωστόσο, παρατηρείται, ότι στο τέλος της επεξεργασίας, τα δείγματα έχουν προσλάβει μεγαλύτερη ποσότητα στερεών κατά την επεξεργασία σε διαλύματα που περιείχαν ασκορβικό οξύ/παπαΐνη.



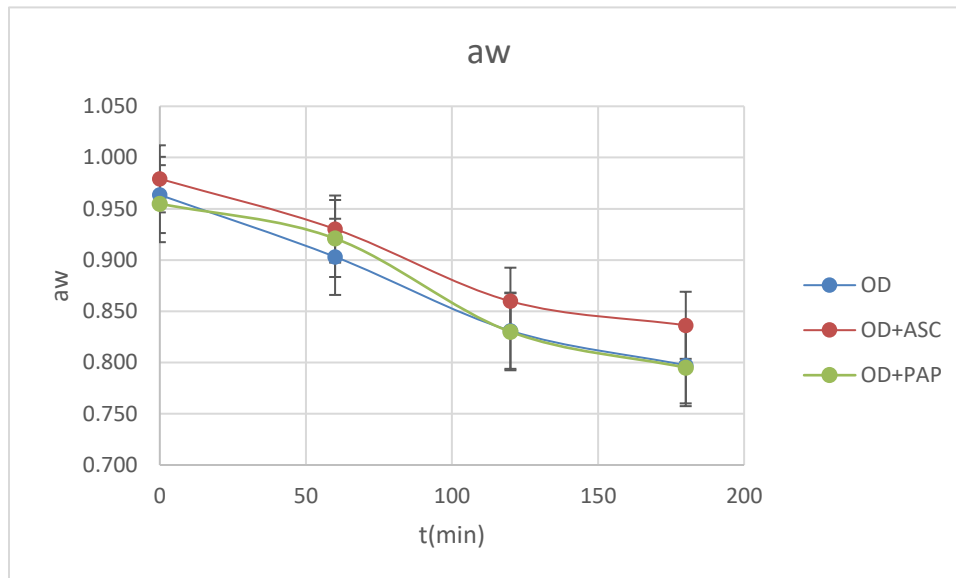
Διάγραμμα 6.14. Μεταβολή απώλειας νερού νερού (WL, g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) των δειγμάτων σε διαλύματα με και χωρίς παρεμποδιστή, συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής κατεργασίας Δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα (OD), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC) και ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP)

Αντίστοιχα, από το Διάγραμμα 6.14 εξάγεται το συμπέρασμα ότι με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η απώλεια υγρασίας από όλα τα δείγματα (επεξεργασία με και χωρίς παρεμποδιστή). Συγκεκριμένα, οι πατάτες που εμβαπτίστηκαν στο ωσμωτικό διάλυμα που περιείχε ασκορβικό οξύ, σημειώνουν υψηλότερο ποσοστό απώλειας υγρασίας από την αρχή της διεργασίας, ενώ αντίθετα αυτές που επεξεργάστηκαν σε διάλυμα με παπαΐνη, το χαμηλότερο. Αυτό πιθανώς οφείλεται σε ποσότητα παπαΐνης που λόγω του μοριακού της βάρους, βρίσκεται στο επιφανειακό στρώμα των δειγμάτων, εμποδίζοντας τη μεταφορά μάζας (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007).



Διάγραμμα 6.15. Σκληρότητα δειγμάτων (Force, N) σε διαλύματα με και χωρίς παρεμποδιστή, συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής κατεργασίας. Δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα (OD), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC) και ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP)

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 6.15 που απεικονίζει τη σκληρότητα των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας, η σκληρότητα των δειγμάτων δεν φαίνεται να μεταβάλλεται σημαντικά κατά την ωσμωτική αφυδάτωση και στις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Μετά τις δύο ώρες επεξεργασίας, η σκληρότητα εκείνων που εμβαπτίστηκαν στο διάλυμα με ασκορβικό οξύ, είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή των δειγμάτων που εμβαπτίστηκαν στο διάλυμα που περιείχε μόνο γλυκερόλη και χλωριούχο νάτριο. Η αύξηση αυτή, είναι ανάλογη της πρόσληψης στερεών των δειγμάτων που αναλύθηκε παραπάνω.



Διάγραμμα 6.16. Μεταβολή ενεργότητας νερού των δειγμάτων σε διαλύματα με και χωρίς παρεμποδιστή, συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής κατεργασίας. Δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα (OD), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC) και ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP)

Όσον αφορά την ενεργότητα νερού των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου επεξεργασίας, παρατηρείται συνεχής μείωση με τη πάροδο του χρόνου (Διάγραμμα 6.16). Μεταξύ των δειγμάτων, οι τιμές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα, με τη μεγαλύτερη διαφορά να επιτυγχάνεται στις 3 ώρες επεξεργασίας, με τη τιμή των ωσμω-αφυδατωμένων δειγμάτων σε διάλυμα με ασκορβικό να είναι μεγαλύτερη κατά 4%.

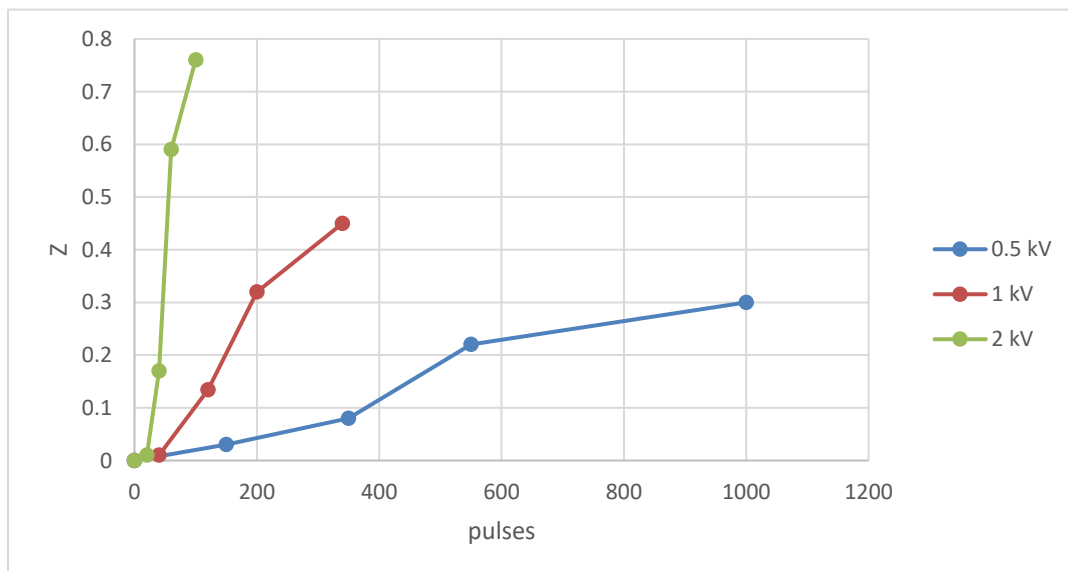
Η εξέταση της προσθήκης παρεμποδιστών στο ωσμωτικό διάλυμα, έχει στόχο την εξέταση της επίδρασης του παρεμποδιστή στην απενεργοποίηση της PPO, για περαιτέρω βελτίωση του τελικού χρώματος των δειγμάτων πατάτας. Όπως σχολιάστηκε ανωτέρω, τόσο το ασκορβικό οξύ όσο και η παπαΐνη, δεν βελτίωσαν σημαντικά το χρώμα των δειγμάτων πατάτας σε σχέση με τα ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα που εμβάπτιστηκαν σε διάλυμα που περιείχε μόνο τα βασικά συστατικά, γλυκερόλη και χλωριούχο νάτριο. Δηλαδή, η ποσότητα παρεμποδιστή που εισήχθη στα δείγματα δεν ήταν αρκετή ώστε να αναστείλει περαιτέρω τη PPO σε σημαντικό βαθμό (μείωση του δείκτη BI κατά 7.8%), όμως η προσθήκη τους βελτίωσε το δείκτη απώλειας νερού, πρόσληψης στερεών και μείωσε την ενεργότητα νερού των δειγμάτων. Έτσι, στη συνέχεια θα

επανεξεταστεί η δράση τους κατά της ΡΡΟ, καθώς θα μελετηθεί ο συνδυασμός της ωσμωτικής αφυδάτωσης με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και την υπερυψηλή πίεση, τα οποία ενισχύουν τη μεταφορά μάζας.

6.4 Μελέτη της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) σε πατάτες

6.4.1 Προσδιορισμός έντασης ηλεκτρικού πεδίου

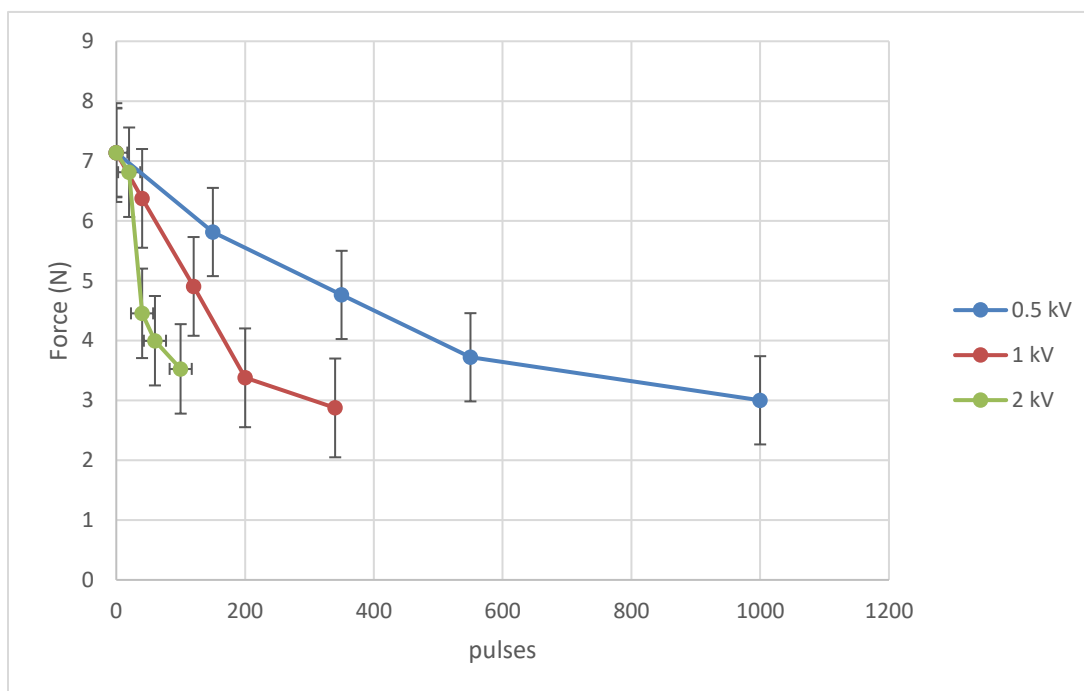
Για τη μελέτη της επίδρασης των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων σε δείγματα τεμαχισμένης πατάτας, μελετήθηκε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο αριθμός των παλμών. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για την εύρεση της κατάλληλης τιμής έντασης ηλεκτρικού πεδίου, γίνεται με τον προσδιορισμό αρχικά του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης και στη συνέχεια της σκληρότητας των δειγμάτων. Ο συνδυασμός των δύο, εξασφαλίζει την εύρεση της τιμής έντασης ηλεκτρικού πεδίου, η οποία επιτυγχάνει ικανοποιητική διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης και διατηρεί τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της πατάτας. Για τη μελέτη της μεταβολής του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης εφαρμόστηκε πεδίο έντασης 0.5, 1.0 και 2.0 kV/cm.



Διάγραμμα 6.17. Μεταβολή του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης Z με μεταβολή των παλμών κατά την εφαρμογή πεδίου έντασης 0.5, 1.0 και 2.0 kV/cm σε δείγματα τεμαχισμένης πατάτας

Τα αποτελέσματα της μελέτης, σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.17, έδειξαν ότι με την αύξηση του αριθμού παλμών και της έντασης ηλεκτρικού πεδίου, σημειώνεται αύξηση του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης. Επίσης, παρατηρείται ότι για ένταση ηλεκτρικού πεδίου ίση με 0.5 kV/cm, ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης σταθεροποιείται για περισσότερους από 500 παλμούς, ενώ για τους τρεις μικρότερους αριθμούς παλμών που εφαρμόστηκαν για την κάθε τιμή έντασης, ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

Συνεπώς, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της σκληρότητας των δειγμάτων μετά την επεξεργασία τους στις τρεις διαφορετικές εντάσεις ηλεκτρικών πεδίων και το εύρος των παλμών. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 6.18).



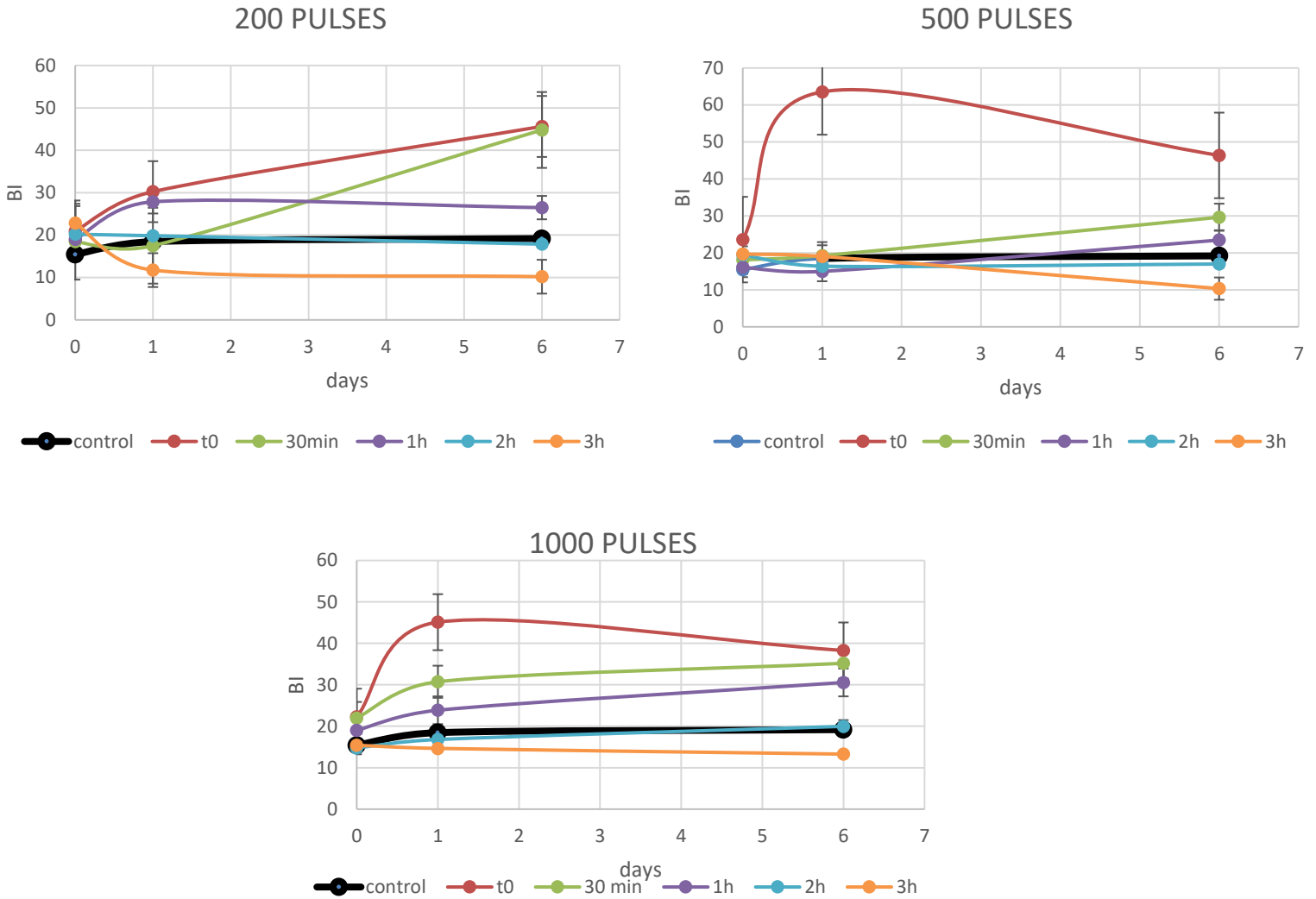
Διάγραμμα 6.18. Μεταβολή της σκληρότητα των δειγμάτων πατάτας (Force, N) συναρτήσει των παλμών κατά την εφαρμογή πεδίου έντασης 0.5, 1.0 και 2.0 kV/cm

Από το Διάγραμμα 6.18, στο οποίο απεικονίζεται η μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων, κατά την εφαρμογή διαφορετικών εντάσεων ηλεκτρικών πεδίων και αριθμού παλμών, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η εφαρμογή των υψηλότερων εντάσεων, 1 και 2 kV/cm, μειώνει απότομα τη σκληρότητα των δειγμάτων, ακόμη και σε χαμηλές τιμές παλμών.

Η διατήρηση της ποιότητας των πατατών, είναι σημαντικός παράγοντας για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, έδειξαν ότι η υψηλότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου και ο μεγαλύτερος αριθμός παλμών αυξάνουν μεν το δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, αλλά μειώνουν σημαντικά την σκληρότητα του ιστού, εφόσον διαρρηγνύεται η δομή των κυττάρων του. Ταυτόχρονα, η χαμηλή ένταση είναι ενεργειακά, συνεπώς και οικονομικά, αποδοτικότερη, καθώς η ειδική ενέργεια, είναι ανάλογη του αριθμού των παλμών και του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Έτσι, επιλέγεται η χαμηλότερη τιμή έντασης ηλεκτρικού πεδίου, 0.5 kV/cm.

6.4.2 Προσδιορισμός αριθμού παλμών ΠΗΠ- Μελέτη ΠΗΠ ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης

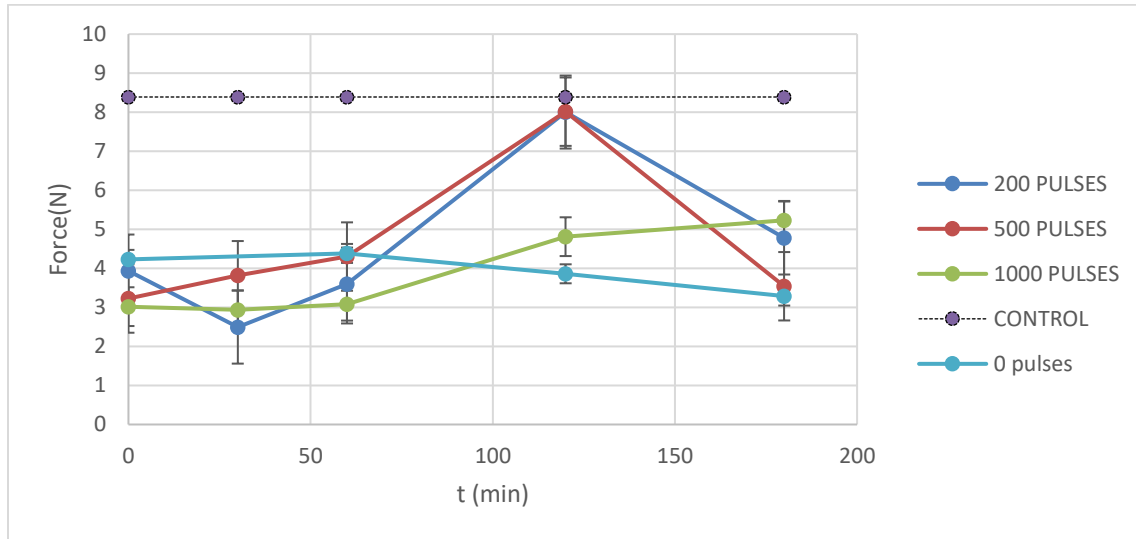
Για τον τελικό προσδιορισμό των συνθηκών των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, μελετήθηκε η επίδραση τους κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Μέσω αυτής της μελέτης, επιλέχθηκε ο κατάλληλος αριθμός παλμών, σε σταθερή ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5 kV/cm. Η σύσταση του ωσμωτικού διαλύματος επιλέχθηκε προηγουμένως και είναι: 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο. Οι αριθμοί παλμών που εξετάστηκαν (200, 500 και 1000 παλμοί) επιλέχθηκαν βάσει των αποτελεσμάτων τα οποία συσχετίζουν τον δείκτη κυτταρικής διάρρηξης με τους παλμούς και τη σκληρότητα των δειγμάτων.



Διάγραμμα 6.19. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI σε σχέση με τις ημέρες αποθήκευσης των δειγμάτων στους 4 °C και το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 200 παλμών (πάνω αριστερά), 500 παλμών (πάνω δεξιά) και 1000 παλμών (κάτω)

Στα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 6.19) απεικονίζεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI των δειγμάτων σε σχέση με τις ημέρες αποθήκευσης τους στους 4 °C, για τους 3 διαφορετικούς αριθμούς παλμών (200, 500 και 1000 παλμοί) και το χρόνο ωσμωτικής επεξεργασίας. Παρατηρείται ότι με προ-επεξεργασία ΠΗΠ με εφαρμογή 0.5 kV/cm, 200 και 500 παλμών, τα ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα για 2 και 3 ώρες έχουν βελτιωμένο χρώμα σε σχέση με τα ανεπεξεργαστα (χωρίς ΠΗΠ και ώσμωση), καθώς επιτυγχάνεται μικρότερη τιμή του δείκτη

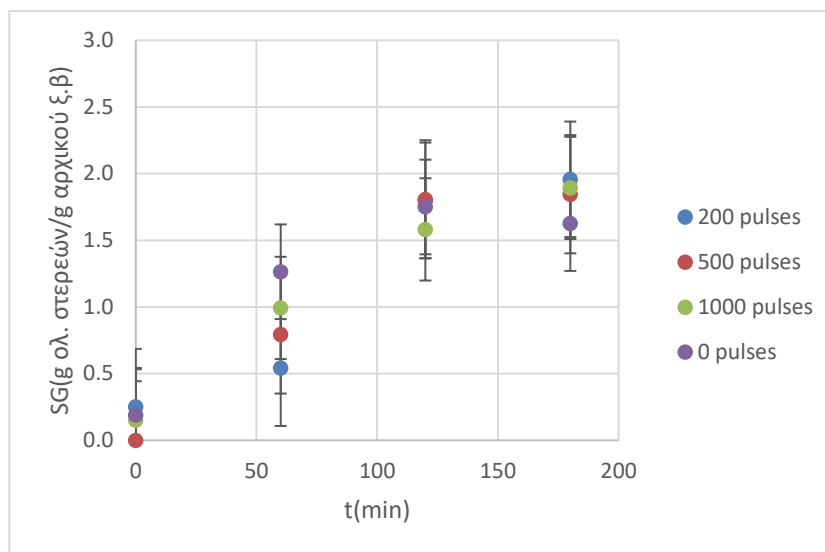
αμαύρωσης ΒΙ. Αντιθέτως, η εφαρμογή 1000 παλμών, είχε βελτίωση του χρώματος μόνο στα δείγματα που παρέμειναν στο ωσμωτικό διάλυμα για 3 ώρες.



Διάγραμμα 6.20. Σκληρότητα δειγμάτων πατάτας (Force, N) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0, 200, 500 και 1000 παλμών σε ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα.

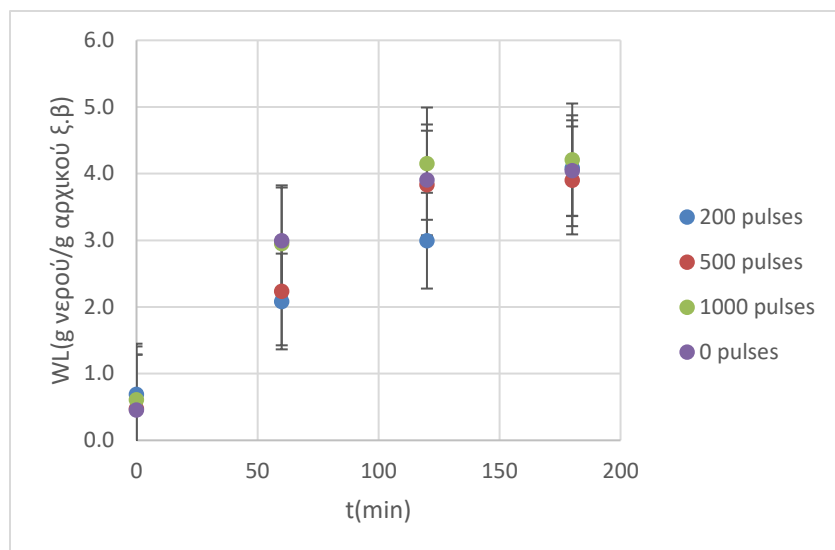
Ανεπεξέργαστο δείγμα (control): —●—

Στο Διάγραμμα 6.20 παρουσιάζεται η μεταβολή της σκληρότητας σε συνάρτηση με το χρόνο επεξεργασίας και τον αριθμό των παλμών. Παρατηρείται ότι τόσο για τους 200, όσο και για τους 500 παλμούς, η σκληρότητα των δειγμάτων αυξάνεται έως τις 2 ώρες, όπου και παρουσιάζει τη μέγιστη και κοντινή στα ανεπεξέργαστα δείγματα τιμή. Η διαφορά της σκληρότητας μεταξύ των τελευταίων και των ωσμω-αφυδατωμένων με προ-επεξεργασία ΠΗΠ με 200 και 500 παλμούς, είναι 4.5%. Αντιθέτως, με την εφαρμογή 1000 παλμών, ενώ παρατηρείται αύξηση της με τη πάροδο του χρόνου επεξεργασίας, η σκληρότητα είναι σημαντικά χαμηλότερη από τα ανεπεξέργαστα δείγματα. Ωστόσο, και για τις 3 αριθμούς παλμών, η σκληρότητα των δειγμάτων πατάτας αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής αφυδάτωσης συγκριτικά με αυτές που δεν επεξεργάστηκαν με ΠΗΠ.



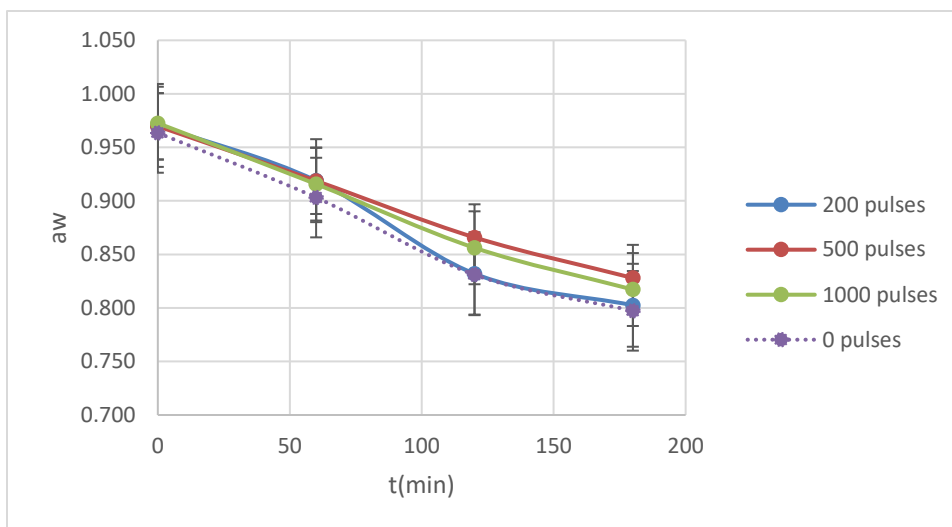
Διάγραμμα 6.21. Μεταβολή της πρόσληψης στερεών (SG, g ολικών στερεών/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0 (χωρίς ΠΗΠ), 200, 500 και 1000 παλμών

Το Διάγραμμα 6.21 παρουσιάζει τη μεταβολή της πρόσληψης στερεών με την πάροδο του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, σε σχέση με τον αριθμό των παλμών. Όπως φαίνεται, η αύξηση πρόσληψης στερεών στα επεξεργασμένα δείγματα με ΠΗΠ σημειώνεται μετά την μία ώρα. Συγκεκριμένα, στις δύο ώρες ώσμωσης έχει προσληφθεί ίδια ποσότητα στερεών από τις πατάτες που εφαρμόστηκαν 200 και 500 παλμοί, και μεγαλύτερη από αυτήν των ανεπεξεργαστων δειγμάτων. Για τις τρεις ώρες ωσμωτικής επεξεργασίας, η εφαρμογή ΠΗΠ για κάθε αριθμό παλμών οδήγησε σε αυξημένη πρόσληψη στερεών, υποδεικνύοντας έτσι την ενίσχυση της μεταφοράς μάζας λόγω της προ-επεξεργασίας.



Διάγραμμα 6.22. Μεταβολή της απώλειας υγρασίας (WL, g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0 (χωρίς ΠΗΠ), 200, 500 και 1000 παλμών

Στο Διάγραμμα 6.22 απεικονίζεται η μεταβολή της απώλειας υγρασίας συναρτήσει του αριθμού παλμών, κατά τη διαδικασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Από αυτό, φαίνεται πως μετά το πέρας των 120 λεπτών, η διεργασία τείνει προς την ισορροπία. Επιπλέον, τα δείγματα που δέχτηκαν 1000 παλμούς κατά την επεξεργασία με ΠΗΠ, σημειώνουν μεν μεγαλύτερη απώλεια υγρασίας, αλλά αρκετά κοντινή με τα υπόλοιπα δείγματα. Αυτό επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης της μεμβράνης σε σχέση με τον αριθμό των παλμών, σύμφωνα με τα οποία δεν μεταβάλλεται σημαντικά με εφαρμογή περισσότερων παλμών.



Διάγραμμα 6.23. Μεταβολή της ενεργότητας νερού συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0, 200, 500 και 1000 παλμών

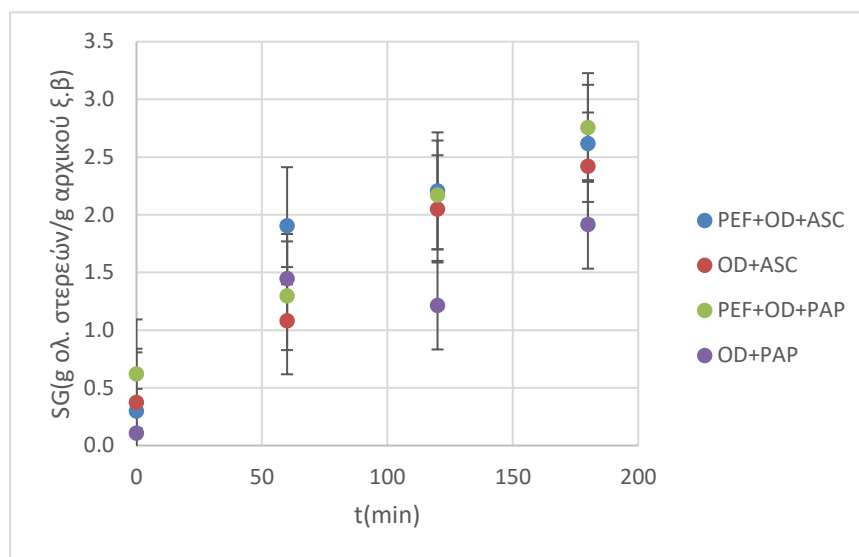
Όπως φαίνεται από τη μεταβολή της ενεργότητας νερού κατά τη διάρκεια της ωσμωτικής κατεργασίας ανάμεσα στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με διαφορετικό αριθμό παλμών, σε κάθε περίπτωση μειώνεται σημαντικά. Για αρχική ενεργότητα νερού των ανεπεξεργαστων δειγμάτων 0.985, η τιμή μετά την επεξεργασία ΠΗΠ για όλους τους αριθμούς παλμών που εφαρμόστηκαν είναι μικρότερη από 0.830.

Για τον προσδιορισμό του κατάλληλου αριθμού παλμών της προ-επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα του πειράματος με βάση την πρόσληψη στερεών, την απώλεια υγρασίας, την ενεργότητα νερού, την σκληρότητα και τη μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων. Οι βασικότερες παράμετροι από αυτές, είναι η πρόσληψη στερεών, η μεταβολή του χρώματος και η σκληρότητα, καθώς η εφαρμογή των ΠΗΠ έχει στόχο την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας, χωρίς την υποβάθμιση ποιότητας της πατάτας. Σχετικά με το δείκτη αμαύρωσης BI, με εφαρμογή 200 και 500 παλμών, οι 2 και 3 ώρες ώσμωσης βελτιώνουν το χρώμα των δειγμάτων, ενώ για 1000 παλμούς, βελτίωση παρατηρήθηκε μόνο στις 3 ώρες. Παράλληλα, η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε σε σχέση με τις ανεπεξεργαστες με ΠΗΠ πατάτες και ήταν σχεδόν ίδια για τους 200 και 500 παλμούς στις 2 ώρες ωσμωτικής επεξεργασίας. Όσον αφορά τις υπόλοιπες παραμέτρους, για χρόνο ωσμωτικής επεξεργασίας ίσο με 2 ώρες, ο οποίος είναι ο μικρότερος

δυνατός ώστε να πληρούνται τα βασικά κριτήρια της τεχνολογίας ΠΗΠ, η εφαρμογή 200 και 500 παλμών διπλασίασε τη σκληρότητα των δειγμάτων σε σχέση με τις πατάτες που δεν υποβλήθηκαν σε παλμικό ηλεκτρικό πεδίο. Σχετικά με την ενεργότητα νερού, τα αποτελέσματα έδειξαν πως η μικρότερη τιμή επετεύχθη με την εφαρμογή 200 παλμών, ίση με 0.832. Επιπλέον, ο μικρότερος αριθμός παλμών αντιστοιχεί σε χαμηλή τιμή ειδικής ενέργειας, μειώνοντας έτσι το κόστος της επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Ενδεικτικά, η ειδική ενέργεια για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5 kV/cm και αριθμό παλμών 200, 500 και 1000 παλμούς είναι ίση με 0.02, 0.05 και 0.1 kJ/kg.

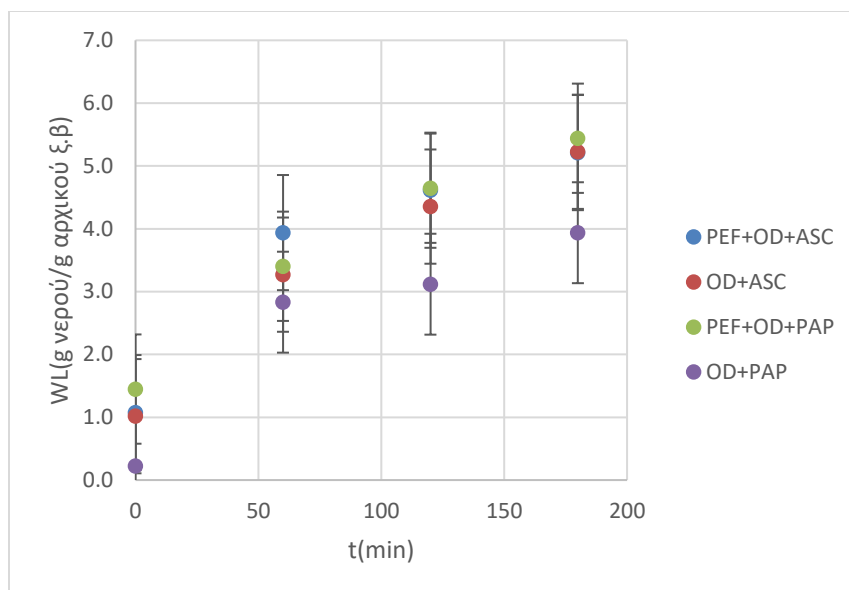
Έτσι, οι κατάλληλες συνθήκες της προ-επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία για ένταση ηλεκτρικού πεδίου ίση με 0.5 kV/cm είναι οι 200 παλμοί και οι 2 ώρες ως χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης. Με τα δεδομένα που αναλύθηκαν παραπάνω, στη συνέχεια μελετάται η επίδραση των ΠΗΠ στη μεταφορά μάζας, σε ωσμωτικό διάλυμα που περιέχει παρεμποδιστή της δράσης της πολυφαινολικής οξειδάσης και επανεξετάζεται ο χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης.

6.4.2.1 Επίδραση ΠΗΠ και παρεμποδιστή στην ενίσχυση φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση



Διάγραμμα 6.24. Μεταβολή της πρόσληψης στερεών (SG, g ολικών στερεών/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσία παρεμποδιστή για τα δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+PAP)

Στο Διάγραμμα 6.24, όπου απεικονίζεται η μεταβολή της πρόσληψης στερεών συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, επιβεβαιώνεται η ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας λόγω της προ-επεξεργασίας με ΠΗΠ. Μετά από ώρα ώσμωσης, η διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης μέσω των ΠΗΠ, βοηθά στην πρόσληψη μεγαλύτερης ποσότητας στερεών και στις δύο περιπτώσεις που μελετήθηκαν, σε σχέση με τα δείγματα χωρίς προ-κατεργασία. Δηλαδή, οι παρεμποδιστές είναι σε θέση να εισχωρήσουν σε μεγαλύτερο ποσοστό στον ιστό της πατάτας.

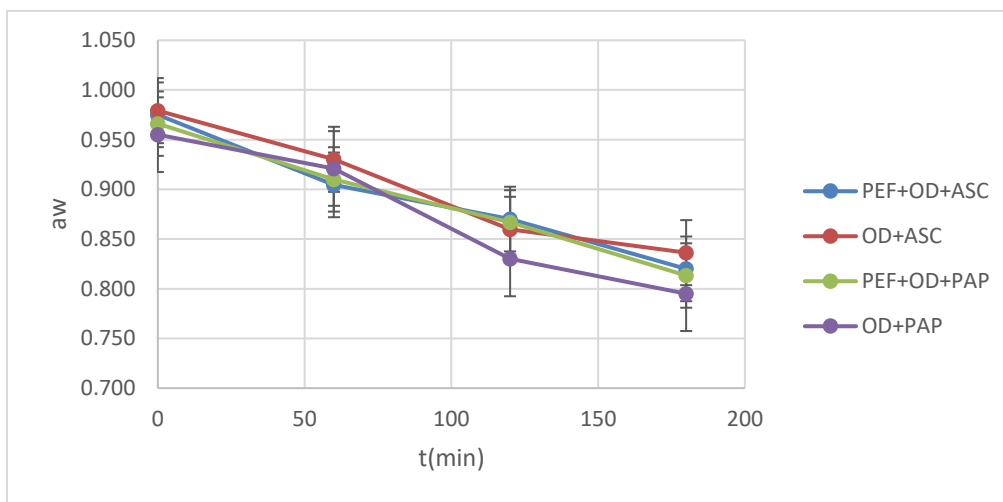


Διάγραμμα 6.25. Μεταβολή της απώλειας υγρασίας των δειγμάτων(WL, g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσία παρεμποδιστή για τα δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+PAP)

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.25 όπου παρουσιάζεται η μεταβολή της απώλειας υγρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης και την προ-επεξεργασία με ΠΗΠ, φαίνεται ότι στην περίπτωση του ασκορβικού οξέος, η απώλεια υγρασίας παρουσιάζει αύξηση κατά 7% για τις 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε σχέση με το ανεπεξεργαστο με ΠΗΠ δείγμα. Στην περίπτωση που εφαρμόστηκαν παλμικά ηλεκτρικά πεδία για το δείγμα που είναι εμπλουτισμένο με παπαΐνη, η απώλεια υγρασίας αυξάνεται κατά 49% και 37% για τις 2 και 3 ώρες ώσμωσης αντίστοιχα.

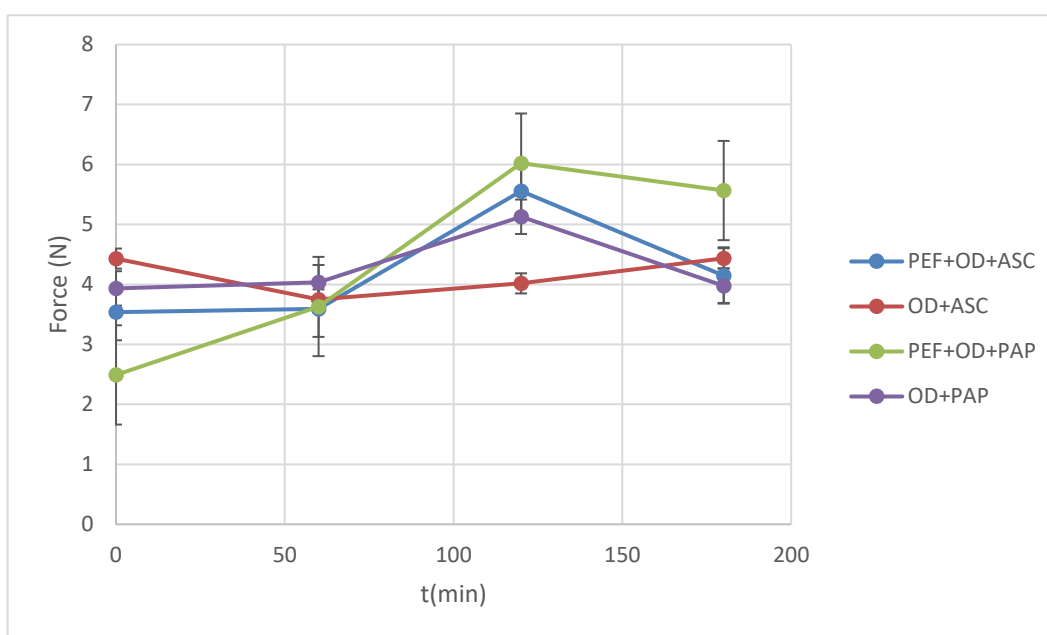
Την επίδραση των ΠΗΠ στα φαινόμενα μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, έχουν μελετήσει οι Dermesonliouoglou et al., (2016) σε ακτινίδια. Τα αποτελέσματα της μελέτης, συνάδουν με όσα αναλύθηκαν παραπάνω για τα δείγματα πατάτας, δηλαδή η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ, αυξάνει τόσο την πρόσληψη στερεών, όσο και την απώλεια υγρασίας.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές απώλειας υγρασίας και της πρόσληψης στερεών από τα δείγματα πατάτας, προσδιορίστηκαν οι συντελεστές διάχυσης του νερού και των στερεών σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Fick, μέσω των εξισώσεων 5.7, 5.8, 5.9 και 5.10. Οι δύο συντελεστές υπολογίστηκαν για τα ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας με παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη) και με προ-κατεργασία με ΠΗΠ στις συνθήκες που επιλέχθηκαν (0.5 kV/cm και 200 παλμοί). Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στα διαγράμματα 6.24 και 6.25, οι τιμές πρόσληψης στερεών και απώλειας νερού αντίστοιχα, είχαν διαφορές μικρής τάξεως μεταξύ των διάφορων επεξεργασιών. Επιπλέον, για τον υπολογισμό των συντελεστών, η καταλληλότερη προσέγγιση του σχήματος των δειγμάτων, είναι αυτή της άπειρης πλάκας, δηλαδή δεν συμπεριλαμβάνονται όλες οι επιφάνειες τους. Ακόμη στις τρεις ώρες διεργασίας, τόσο η πρόσληψη στερεών όσο και η απώλεια νερού, δεν έχουν φτάσει σε ισορροπία. Λόγω αυτών, στη προκειμένη περίπτωση οι συντελεστές διάχυσης μεταξύ των διεργασιών, δεν αποτυπώνουν με ακρίβεια τις διαφορές των φαινομένων διάχυσης. Οι τιμές που υπολογίστηκαν σε όλες τις περιπτώσεις είναι ίσες με $Des=1.8 \cdot 10^{-10} - 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ και $Dew=1.7 \cdot 10^{-10} - 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, όπου Des είναι ο συντελεστής πρόσληψης στερεών και Dew είναι ο συντελεστής διάχυσης νερού, και δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.



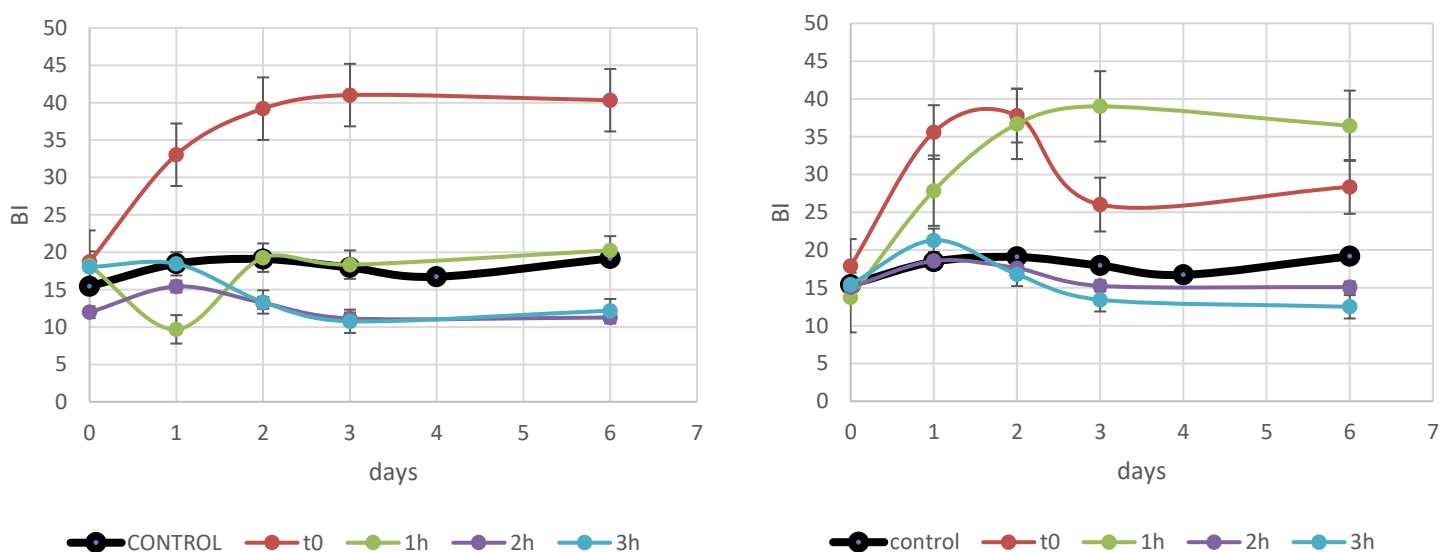
Διάγραμμα 6.26. Μεταβολή της ενεργότητας νερού (a_w) των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσία παρεμποδιστή για τα δείγματα: ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+ASC), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+PAP)

Η ενεργότητα νερού των δειγμάτων μετά την εφαρμογή ΠΗΠ, ακολουθεί την αντίστοιχη φθίνουσα τάση με τα ανεπεξέργαστα με ΠΗΠ δείγματα, με τις τιμές ενεργότητας νερού να είναι μικρότερες από 0.8700 μετά τις 2 ώρες επεξεργασίας (Διάγραμμα 6.26). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα ΠΗΠ, μπορεί να αυξήσουν σε μικρό βαθμό την ενεργότητα νερού των δειγμάτων σε σύγκριση με την ανεπεξέργαστες πατάτες, καθώς η εφαρμογή τους περιλαμβάνει την παραμονή των δειγμάτων σε νερό. Συγκεκριμένα, η ενεργότητα νερού μιας πατάτας που έχει μόλις επεξεργαστεί με ΠΗΠ είναι 0.990 ενώ της ανεπεξέργαστης 0.985. Ωστόσο, όπως επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα, μετά την ωσμωτική αφυδάτωση, επιτυγχάνονται εξίσου χαμηλές τιμές ενεργότητας νερού, οι οποίες δεν επιτρέπουν την μικροβιακή ανάπτυξη (Dilbaghi & Sharma, 2007).



Διάγραμμα 6.27. Μεταβολή της σκληρότητας (Force, N) των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσία παρεμποδιστή για τα δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+PAP)

Η σκληρότητα των δειγμάτων πατάτας μετά την επεξεργασία, είναι σημαντική παράμετρος αξιολόγησης, καθώς επηρεάζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Στο Διάγραμμα 6.27, απεικονίζεται η μεταβολή της σκληρότητας των δειγμάτων σε σχέση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης και την εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. Στις δύο ώρες επεξεργασίας, στην περίπτωση των ωσμω-αφυδατωμένων δειγμάτων με παπαΐνη, η διαφορά μεταξύ των προ-επεξεργασμένων και μη, είναι ίση με 17.43%. Αντίστοιχα, στη περίπτωση του ωσμωτικού διαλύματος με ασκορβικό οξύ, η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ αύξησε τη σκληρότητα τους κατά 38.30%, αντικατοπτρίζοντας τη μεγαλύτερη ποσότητα στερεών που προσλήφθηκε κατά την διεργασία.

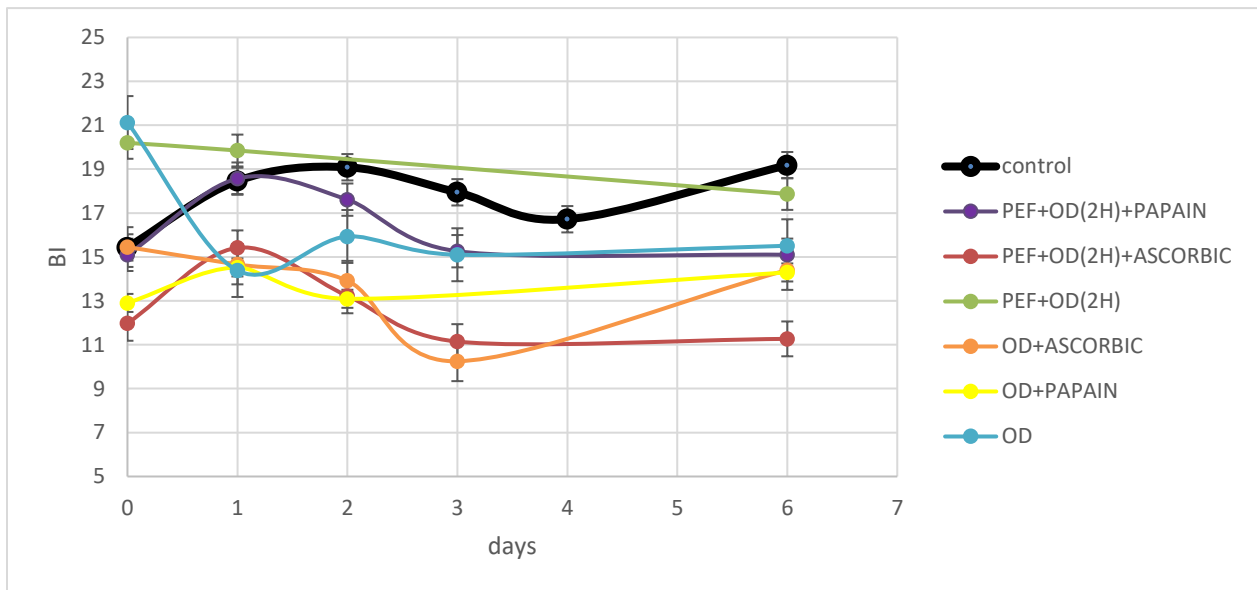


Διάγραμμα 6.28. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI σε σχέση με τις ημέρες συντήρησης των δειγμάτων στους 4 °C και τον χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης (0-3h) σε διάλυμα που περιλαμβάνει ασκορβικό οξύ(αριστερά) και παπαΐνη (δεξιά) μετά από την επεξεργασία ΠΗΠ

Στο Διάγραμμα 6.28 απεικονίζεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4 °C, σε δείγματα πατάτας τα οποία επεξεργάστηκαν με ΠΗΠ και στη συνέχεια εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα που περιέχει παρεμποδιστή. Φαίνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις παρεμποδιστών, ασκορβικό οξύ και παπαΐνη, χαμηλότερος δείκτης αμαύρωσης σε διάστημα 6 ημερών, συγκριτικά με τα ανεπεξεργαστα δείγματα, παρατηρείται για 2 και 3 ώρες ωσμωτικής επεξεργασίας.

Σύγκριση μεθόδων επεξεργασίας (μόνο ωσμωτική αφυδάτωση και συνδυασμός με ΠΗΠ)

Το Διάγραμμα 6.29, απεικονίζει την επίδραση όλων των μεθόδων επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα ενότητα για τη βελτίωση του τελικού χρώματος των δειγμάτων πατάτας. Συγκεκριμένα, φαίνεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4 °C, για τα δείγματα που έχουν ωσμο-αφυδατωθεί για 2 ώρες και είτε έχουν προ-επεξεργαστεί με ΠΗΠ, είτε εμβαπτίστηκαν απευθείας σε διάλυμα με ή χωρίς παρουσία παρεμποδιστή.



Διάγραμμα 6.29. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI σε σχέση με τις ημέρες συντήρησης στους 4 °C, για 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης, για τα δείγματα: ανεπεξέργαστα(control), ωσμο-αφυδατωμένα (OD), ωσμο-αφυδατωμένα με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASCORBIC), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAPAIN), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+ASCORBIC), ωσμο-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΠΗΠ (PEF+OD+PAPAIN)

Παρατηρείται ότι η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ ενίσχυσε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας παρεμποδιστή στα δείγματα τα οποία εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα το οποίο περιείχε ασκορβικό οξύ. Ο δείκτης αμαύρωσης BI των εν λόγω δειγμάτων, είναι κατά 70% μικρότερος σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα (control) και κατά 28.5% μικρότερος συγκριτικά με τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στο ίδιο ωσμωτικό διάλυμα με ασκορβικό οξύ, χωρίς την προ-

επεξεργασία με ΠΗΠ. Από την άλλη πλευρά, φαίνεται ότι η επιβολή των δειγμάτων σε παλμικό ηλεκτρικό πεδίο η οποία ακολουθείται από ώσμωση παρουσία παπαΐνης, δεν βελτίωσε περαιτέρω το χρώμα του τελικού δείγματος πατάτας. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην μερική παρεμπόδιση της ΡΡΟ από την παπαΐνη (κατά 70%), όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα του κεφαλαίου 6.2.2, σε αντίθεση με την πλήρη απενεργοποίηση του ενζύμου με χρήση ασκορβικού οξέος.

6.5 Μελέτη της εφαρμογής υπερυψηλής πίεσης σε πατάτες

Στο υποκεφάλαιο 6.2.2.3, μελετήθηκε η επίδραση της υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ) σε εκχύλισμα της ΡΡΟ πατάτας και η μεγαλύτερη παρεμπόδιση που επετεύχθη ήταν 38% με εφαρμογή 600 MPa, για 5 λεπτά. Η δοκιμή που πραγματοποιήθηκε σε δείγματα πατάτας για τον περιορισμό του ενζυμικού μαυρίσματος, στις ίδιες συνθήκες, δεν είχε επιτυχή αποτελέσματα. Στην Εικόνα 6.3 φαίνεται η εξέλιξη του ενζυμικού μαυρίσματος σε πατάτες που έχουν επεξεργαστεί με υπερυψηλή πίεση 600 MPa, για 5 λεπτά, σε θερμοκρασία δωματίου, μετά από 3 ημέρες αποθήκευσης στους 4 °C.



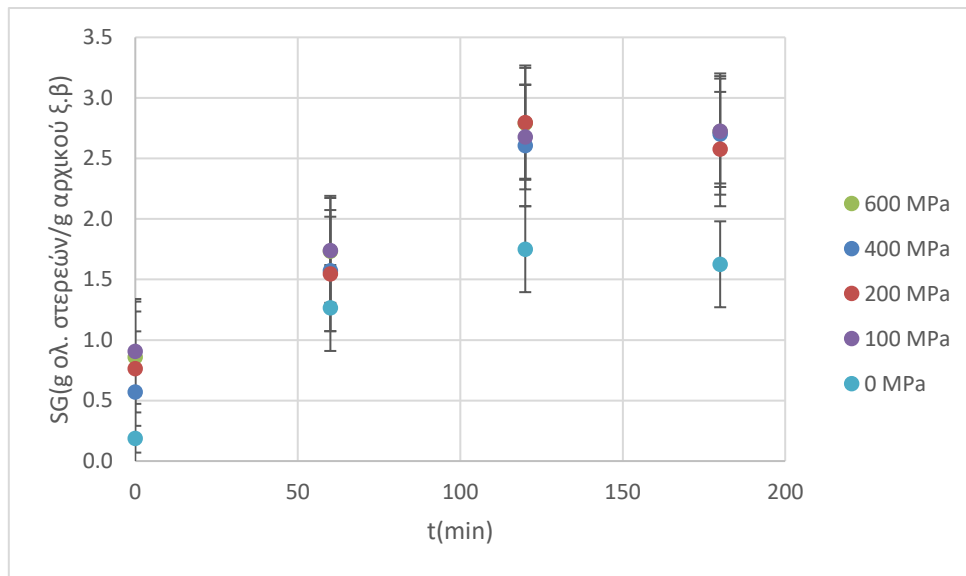
Εικόνα 6.3 Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος τεμαχισμένων πατατών οι οποίες έχουν επεξεργαστεί με υπερυψηλή πίεση 600 MPa, για 5 λεπτά, σε θερμοκρασία δωματίου, μετά από 3 ημέρες αποθήκευσης στους 4 °C. Η αριστερή εικόνα απεικονίζει την 1^η ημέρα αποθήκευσης και η δεξιά εικόνα την 3^η ημέρα αποθήκευσης

Φαίνεται λοιπόν, ότι η διεργασία της ΥΠ στις συγκεκριμένες συνθήκες, δεν ενδείκνυται για την παρεμπόδιση της ΡΡΟ πατάτας. Σύμφωνα με έρευνα της ΥΠ ως μέθοδος απενεργοποίησης της ΡΡΟ σε κομμάτια πατάτας, η επεξεργασία σε πίεση 100-500 MPa, θερμοκρασία 20°C και χρόνο επεξεργασίας 13 λεπτά, δεν οδήγησε σε απενεργοποίηση του ενζύμου (Van Buggenhout et al., 2006).

Έτσι, στη συνέχεια η ΥΠ αντιμετωπίζεται ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, με στόχο την ενίσχυση φαινομένων μεταφοράς μάζας, καθώς η τεχνολογία αυξάνει την διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης των ιστών.

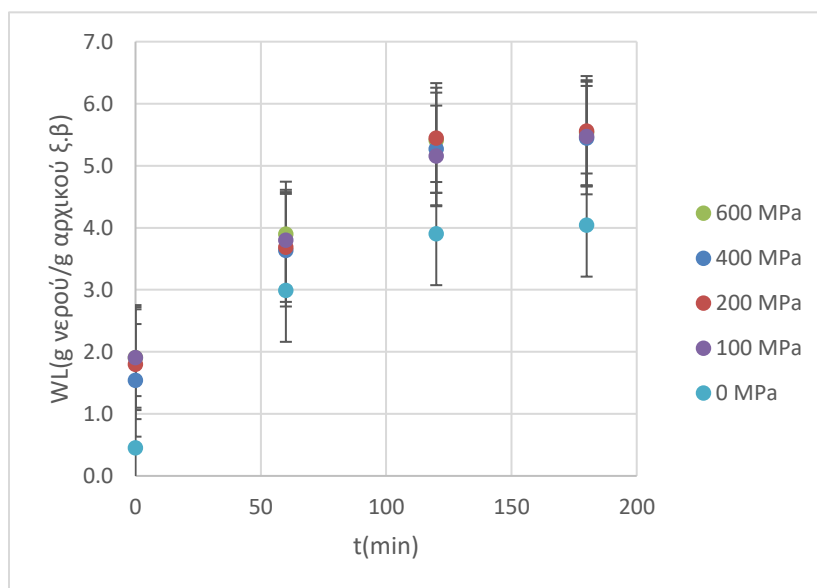
6.5.1 Προσδιορισμός πίεσης και χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης

Για τη μελέτη της τεχνολογίας υπερευψηλής πίεσης (ΥΠ) ως προ-επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, επεξεργάστηκαν τεμαχισμένες πατάτες σε πίεση 100, 200, 400 και 600 MPa και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το ωσμωτικό διάλυμα έχει τη σύσταση που επιλέχθηκε σε προηγούμενη ενότητα, 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο.



Διάγραμμα 6.30. Μεταβολή της πρόσληψης στερεών (SG, g ολικών στερεών/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0 (χωρίς ΥΠ), 100, 200, 400 και 600 MPa κατά την προ-επεξεργασία με υπερευψηλή πίεση

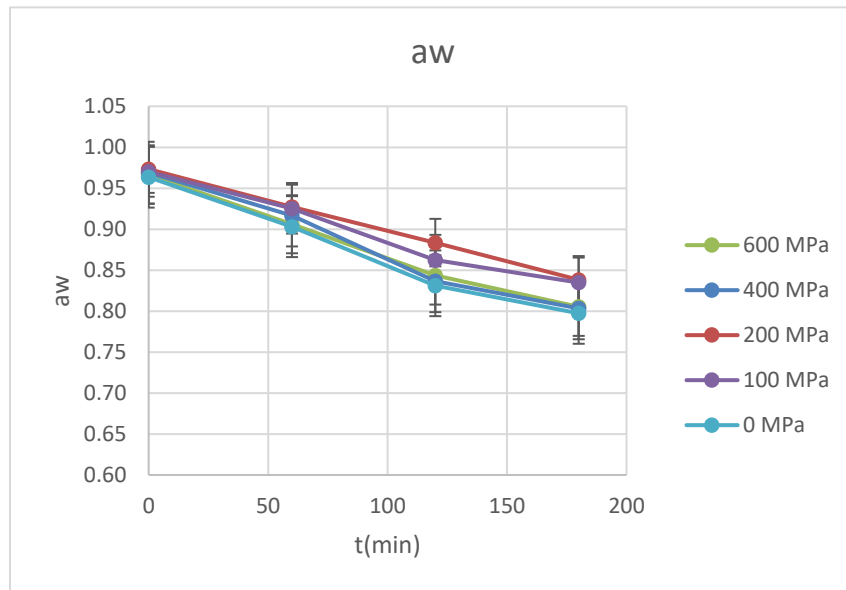
Στο Διάγραμμα 6.30 απεικονίζεται η μεταβολή της πρόσληψης στερεών σε σχέση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης, για τις διάφορες τιμές πιέσεων που εφαρμόστηκαν (100, 200, 400 και 600 MPa). Όπως φαίνεται, με εφαρμογή ΥΠ, η πρόσληψη στερεών αυξάνεται για κάθε τιμή πίεσης με τη πάροδο του χρόνου αφυδάτωσης και τείνει να σταθεροποιηθεί μετά τα 120 λεπτά της επεξεργασίας. Σημαντική αύξηση πρόσληψης σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα, σημειώνεται στις 2 ώρες ώσμωσης, όπου η διαφορά κυμαίνεται στο 53%. Επίσης, παρατηρείται ότι τα δείγματα πατάτας, προσλαμβάνουν κοντινές ποσότητες στερεών από τις 2 ώρες και μετά για κάθε τιμή πίεσης που εφαρμόστηκε.



Διάγραμμα 6.31. Μεταβολή της απώλειας υγρασίας(WL, g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0 (χωρίς ΥΠ), 100, 200, 400 και 600 MPa κατά την προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση

Τα αποτελέσματα της μεταβολής της απώλειας υγρασίας των δειγμάτων πατάτας σε συνάρτηση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης και της πίεσης που εφαρμόστηκε κατά την ΥΠ, είναι αντίστοιχα με αυτά της πρόσληψης στερεών, όπως παρατηρείται από το Διάγραμμα 6.31. Η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης για κάθε τιμή πίεσης, οδηγεί σε αύξηση της απώλειας υγρασίας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, συγκριτικά με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα. Η απώλεια υγρασίας φαίνεται να σταθεροποιείται μετά τις 2 ώρες επεξεργασίας και κυμαίνεται στις ίδιες

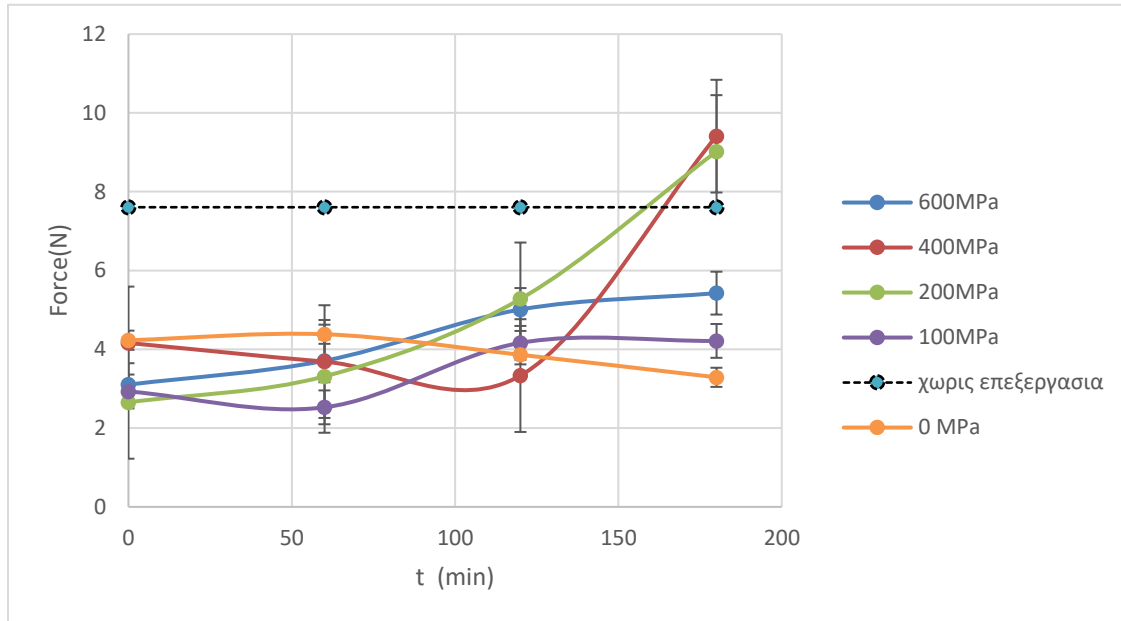
τιμές για όλα τα δείγματα. Ενδεικτικά, στις 2 ώρες ώσμωσης οι πατάτες που έχουν προ-επεξεργαστεί με ΥΠ, αποβάλουν κατά 36% περισσότερη υγρασία σε σχέση με αυτές που εμβαπτίστηκαν απευθείας σε ωσμωτικό διάλυμα.



Διάγραμμα 6.32. Μεταβολή της ενεργότητας νερού (a_w) των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0 (χωρίς ΥΠ), 100, 200, 400 και 600 MPa κατά την προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση

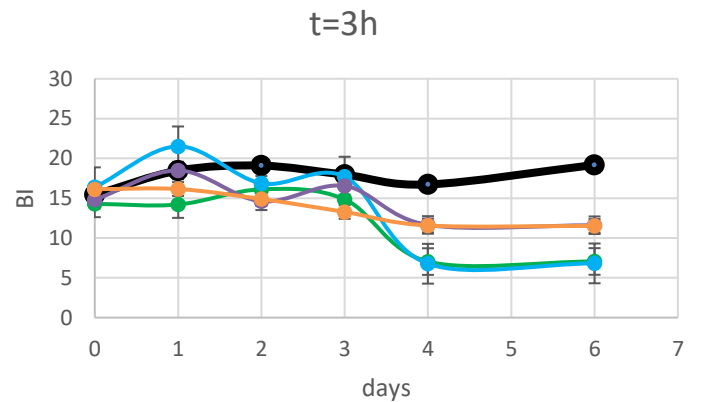
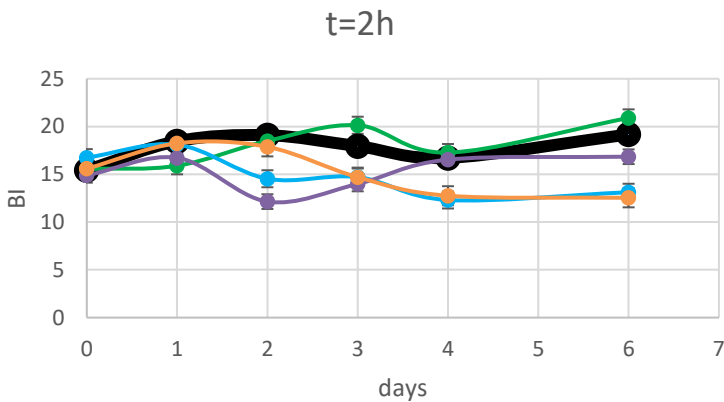
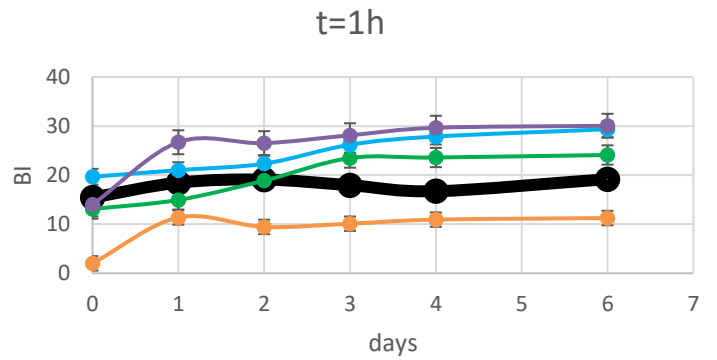
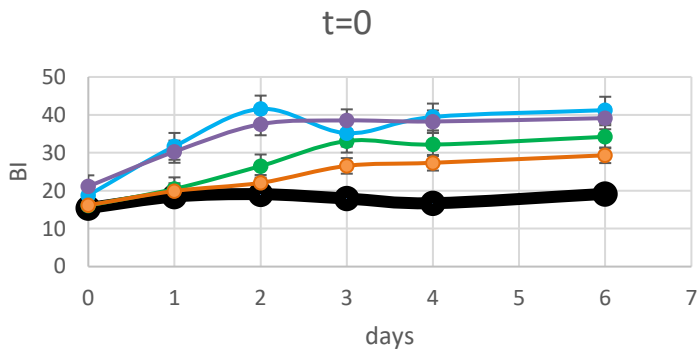
Στο Διάγραμμα 6.32 φαίνεται γραφικά η μεταβολή της ενεργότητας νερού των δειγμάτων σε σχέση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης και την πίεση που εφαρμόζεται κατά την ΥΠ. Παρατηρείται ότι με την εφαρμογή ΥΠ, η ενεργότητα νερού των δειγμάτων βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με αυτά που δεν έχουν προ-επεξεργαστεί. Η χαμηλότερη τιμή ενεργότητας νερού μετά την ΥΠ επιτυγχάνεται με άσκηση 400 MPa και είναι ίση με 0.836 και 0.803 για 2 και 3 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης αντίστοιχα. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι παρόμοιες τιμές ενεργότητας νερού μεταξύ των δειγμάτων με και χωρίς προ-επεξεργασία με ΥΠ, πιθανώς οφείλεται στην παραμονή των δειγμάτων σε υδατικό περιβάλλον για εκτεταμένο χρονικό διάστημα, πριν την ωσμωτική αφυδάτωση. Βέβαια, η ενεργότητα νερού όλων των δειγμάτων από τις 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης και ύστερα, έχει ικανοποιητικά χαμηλή τιμή ώστε να αποτρέπεται η

μικροβιακή ανάπτυξη (μικρότερη από 0.950) σύμφωνα με τον Οργανισμό Ελέγχου Φαρμάκων και Τροφίμων, FDA (2011) .



Διάγραμμα 6.33. Μεταβολή της σκληρότητας (Force, N) των δειγμάτων συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης, με εφαρμογή 0 (χωρίς ΥΠ), 100, 200, 400 και 600 MPa κατά την προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση

Από το Διάγραμμα 6.33, το οποίο απεικονίζει τη μεταβολή της σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης και της πίεσης που εφαρμόστηκε κατά την προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση, παρατηρείται ότι για τα 200 και 400 MPa, και 3 ώρες επεξεργασίας, τα δείγματα πατάτας είναι σκληρότερα από τις ανεπεξέργαστες πατάτες. Επίσης, όπως φαίνεται η σκληρότητα αυξάνεται με εφαρμογή ΥΠ μετά τις 2 ώρες επεξεργασίας, ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης ποσότητας στερεών που έχουν εισέλθει στα δείγματα, ενώ των δειγμάτων που έχουν μόνο ωσμω-αφυδατωθεί, μειώνεται με την αύξηση του χρόνου.



Διάγραμμα 6.34. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI των δειγμάτων πατάτας συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4°C και της πίεσης που εφαρμόστηκε κατά την προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση για στιγμιαίο χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης (πάνω αριστερά), για 1 ώρα (πάνω δεξιά), για 2 ώρες (κάτω αριστερά) και 3 ώρες (κάτω δεξιά)

Στα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 6.34) φαίνεται η μεταβολή του δείκτη μαυρίσματος BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4°C και της πίεσης που εφαρμόστηκε στα δείγματα κατά την προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση για τους διαφορετικούς χρόνους ωσμωτικής αφυδάτωσης (0, 1, 2 και 3 ώρες). Όπως φαίνεται, για την μία ώρα ωσμωτικής αφυδάτωσης, μικρότερος δείκτης BI, σε σχέση με τις ανεπεξέργαστες πατάτες (control), σημειώνεται μόνο στη

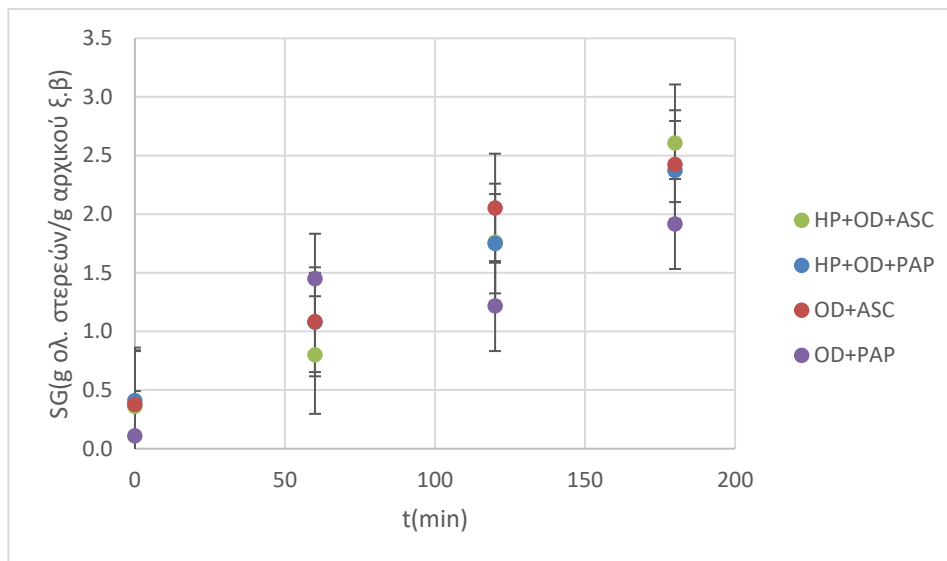
περίπτωση όπου κατά την ΥΠ ασκούνται 600 MPa. Για χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης ίσο με 3 ώρες, η εφαρμογή ΥΠ βελτιώνει το χρώμα των δειγμάτων (μικρότερος δείκτης BI) για όλες τις τιμές πίεσης. Στην περίπτωση για την οποία η ωσμωτική επεξεργασία έχει διάρκεια 2 ώρες, βελτίωση του χρώματος παρατηρείται με την εφαρμογή των 200, 400 και 600 MPa.

Η εύρεση των κατάλληλων συνθηκών προ-επεξεργασίας με ΥΠ, δηλαδή του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης και της τιμής της πίεσης, γίνεται με τα εξής βασικά κριτήρια: (α) η ΥΠ είναι σημαντικό να μην αυξάνει τον ρυθμό του ενζυμικού μαυρίσματος και (β) να ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν παραπάνω, η ΥΠ οδηγεί σε αυξημένο ποσοστό πρόσληψης στερεών (κατά 53%) και απώλειας υγρασίας (κατά 36%) σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα, για όλες τις τιμές πίεσης. Επιπλέον, η σκληρότητα των δειγμάτων ενισχύθηκε με την εφαρμογή ΥΠ μετά τις 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης σε αντίθεση με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα, κυρίως για τα 200 και 400 MPa. Στη μελέτη του δείκτη BI συναρτήσεως των ημερών αποθήκευσης των δειγμάτων πατάτας στους 4°C, παρατηρήθηκε ότι μείωση του δείκτη αμαύρωσης BI σημειώθηκε όταν ο χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης και η τιμή της πίεσης της ΥΠ ήταν: 1 ώρα και πίεση 600 MPa, 2 ώρες και πίεση 200, 400 και 600 MPa, και 3 ώρες για όλες τις τιμές πιέσεων. Συνεπώς, για εξοικονόμηση ενέργειας της διεργασίας, ο χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης επιλέγεται μεταξύ της 1 και των 2 ωρών. Η τελική επιλογή γίνεται με βάση την ενεργότητα νερού των δειγμάτων τη δεδομένη χρονική στιγμή. Για μία ώρα ωσμωτικής αφυδάτωσης, η ενεργότητα νερού του δείγματος των 600 MPa είναι 0.906, ενώ για τις δύο ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης, το δείγμα με προ-επεξεργασία ΥΠ με 400 MPa έχει τη μικρότερη τιμή ενεργότητας νερού μεταξύ των άλλων, ίση με 0.836. Έτσι, οι συνθήκες που επιλέχθηκαν τελικώς είναι οι 2 ώρες ως χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης και τα 400 MPa ως προ-επεξεργασία με ΥΠ.

6.5.2 Επίδραση ΥΠ στην ενίσχυση φαινομένων μεταφοράς μάζας παρεμποδιστή

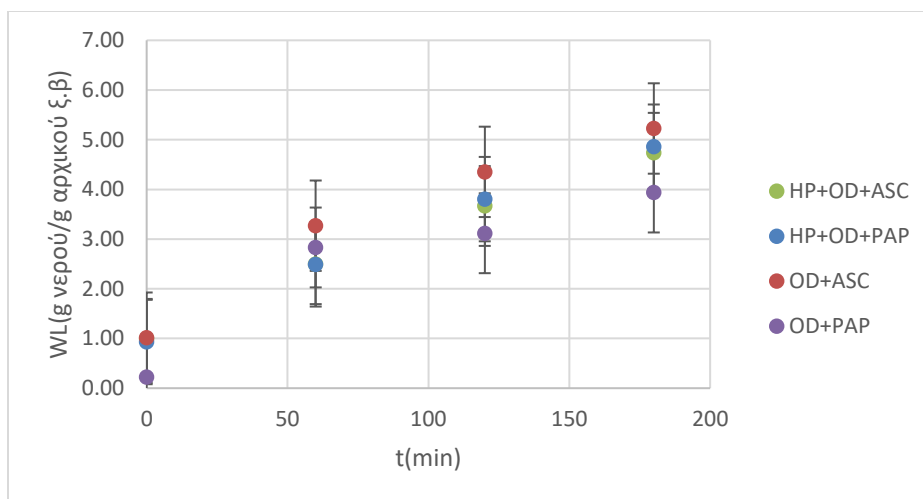
Από όσα αναλύθηκαν παραπάνω, επιβεβαιώνεται ότι η ΥΠ ενισχύει τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, καθώς τα δείγματα πατάτας προσλαμβάνουν μεγαλύτερη ποσότητα στερεών και

αποβάλλουν περισσότερη υγρασία μετά την προ-επεξεργασία. Η τιμή πίεσης που επιλέχθηκε ως κατάλληλη είναι τα 400 MPa και ο χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης (χωρίς παρεμποδιστή) είναι 2 ώρες. Στη συνέχεια επανεξετάζετε ο χρόνος ωσμωτικής αφυδάτωσης, με την προσθήκη ασκορβικού οξέος ή παπαΐνης κατά την επεξεργασία.



Διάγραμμα 6.35. Μεταβολή της πρόσληψης στερεών (SG, g ολικών στερεών/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+PAP)

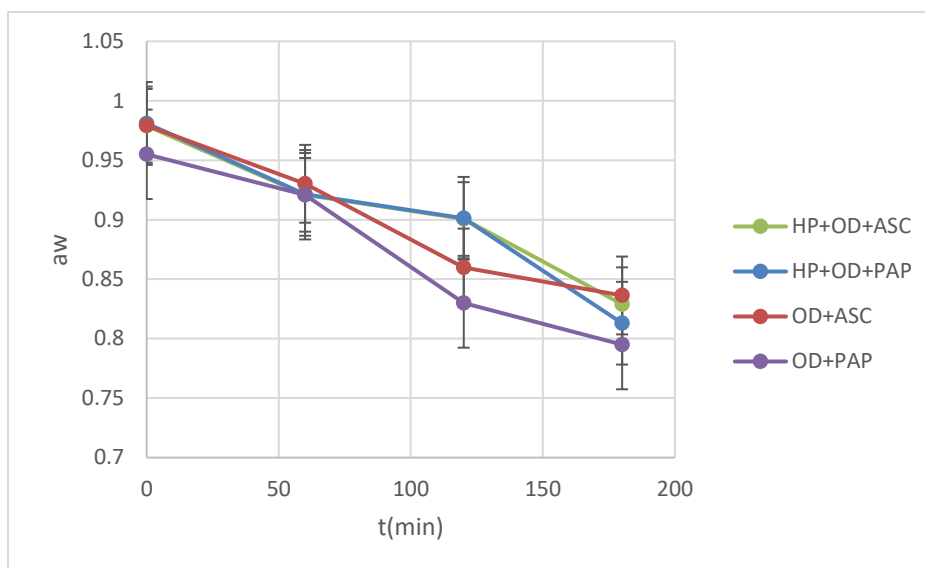
Στο Διάγραμμα 6.35 απεικονίζεται η μεταβολή της πρόσληψης στερεών σε σχέση με το χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης για ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας που είτε επεξεργάστηκαν αρχικά με ΥΠ, είτε εμβαπτίστηκαν απευθείας σε διάλυμα που περιείχε παρεμποδιστή της ΡΡΟ (ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη). Φαίνεται ότι, για τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν σε ωσμωτικό διάλυμα με ασκορβικό οξύ, μετά τις 2 ώρες επεξεργασίας σημειώνεται αύξηση πρόσληψης στερεών λόγω της ΥΠ. Στην περίπτωση προσθήκης παπαΐνης, αυξάνεται σημαντικά η πρόσληψη στερεών με την επεξεργασία ΥΠ, με αύξηση κατά 43.4%, στις 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης.



Διάγραμμα 6.36. Μεταβολή της απώλειας νερού (WL, g νερού/g αρχικού ξηρού βάρους) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+PAP)

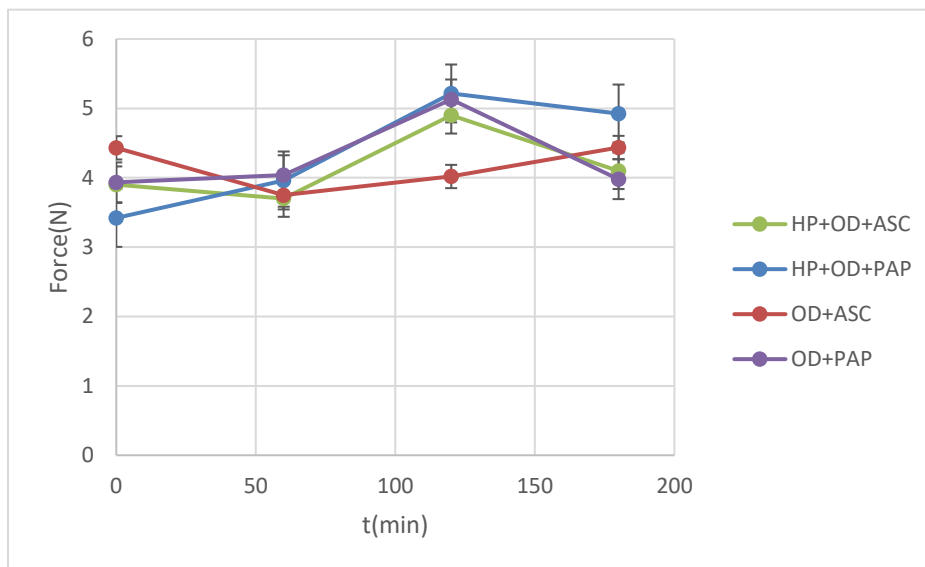
Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 6.36, η απώλεια υγρασίας μετά τα 60 πρώτα λεπτά της ωσμωτικής επεξεργασίας, τείνει να σταθεροποιηθεί. Παρατηρείται ότι μεταξύ των δειγμάτων που εμβάπτιστηκαν σε διάλυμα παπαΐνης, η εφαρμογή ΥΠ σημειώνει αύξηση της απώλειας νερού κατά 45.2% και 23.4% στις 2 και 3 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης αντίστοιχα.

Ο προσδιορισμός των συντελεστών διάχυσης του νερού και των στερεών σύμφωνα με τον 2^ο νόμο του Fick, οδήγησε σε αποτελέσματα όμοια με το πείραμα της επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω των παραδοχών που αναφέρθηκαν προηγουμένως και πραγματοποιούνται για τον υπολογισμό τους. Οι τιμές των συντελεστών που υπολογίστηκαν για τα ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας με παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη) και με προ-κατεργασία με ΥΠ με 400 MPa είναι οι εξής: Des=1.7*10⁻¹⁰ -1.9*10⁻¹⁰ m²/s και Dew=1.8*10⁻¹⁰ -2.0*10⁻¹⁰ m²/s, όπου Des είναι ο συντελεστής πρόσληψης στερεών και Dew είναι ο συντελεστής διάχυσης νερού.



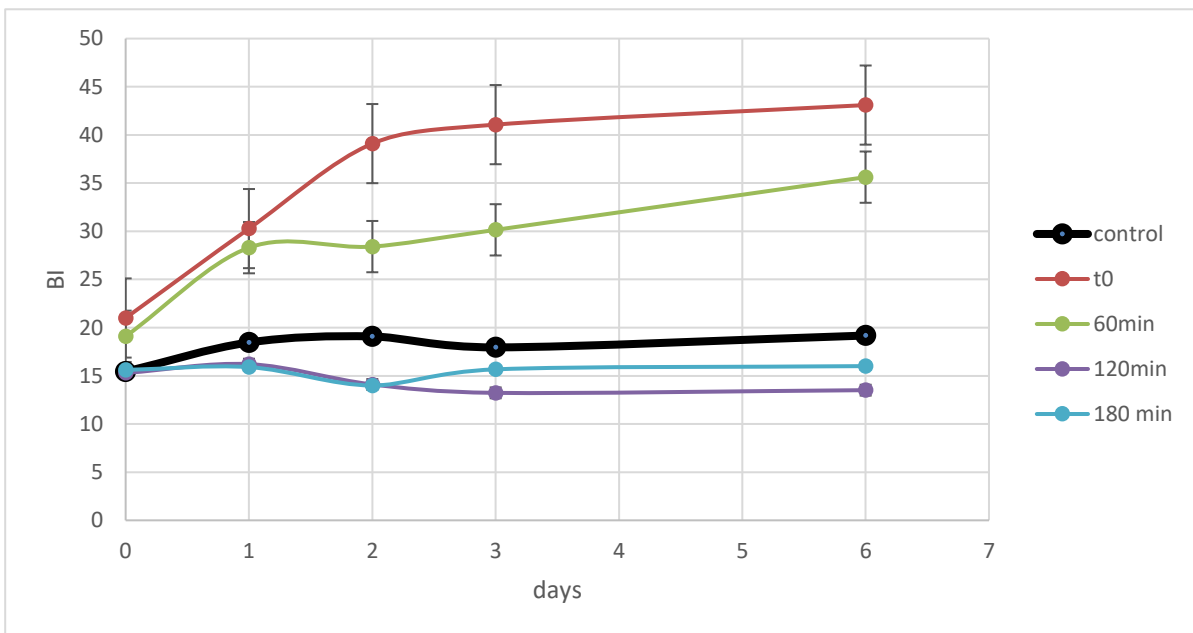
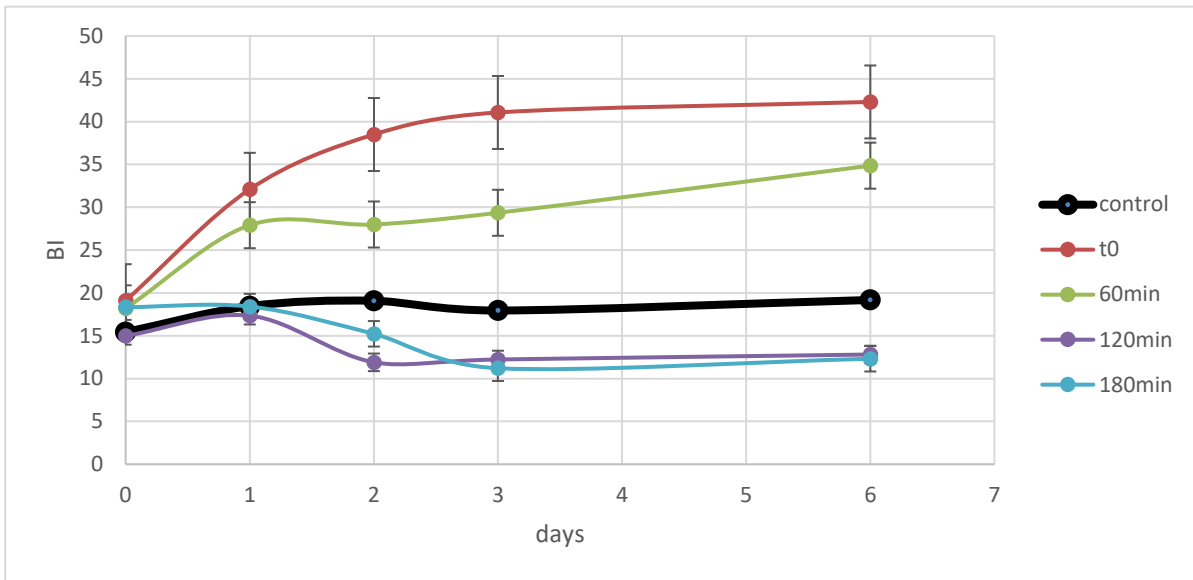
Διάγραμμα 6.37. Μεταβολή της ενεργότητας νερού (a_w) συναρτήσει του χρόνου ώσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα: ώσμο-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ώσμο-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ώσμο-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+ASC), ώσμο-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+PAP)

Η μεταβολή της ενεργότητας νερού συναρτήσει του χρόνου ώσμωτικής αφυδάτωσης για τα δείγματα πατάτας που μελετήθηκαν φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.37). Παρατηρείται ότι μέχρι τις 2 ώρες ώσμωσης δεν υπάρχει σαφής τάση των αποτελεσμάτων. Στις 3 ώρες επεξεργασίας, η ΥΠ μείωσε σε μικρό βαθμό την ενεργότητα νερού των δειγμάτων με ασκορβικό οξύ, ενώ δεν είχε την ίδια επίδραση στα δείγματα με παπαΐνη. Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, η απώλεια υγρασίας συμβαδίζει με τη διαβάθμιση που παρουσιάζουν οι τιμές ενεργότητας νερού μεταξύ των δειγμάτων. Ωστόσο σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, η ενεργότητα νερού των δειγμάτων βρίσκεται σε ασφαλές εύρος τιμών, δηλαδή μικρότερη από 0.950 μετά τα πρώτα 60 λεπτά της επεξεργασίας.



Διάγραμμα 6.38. Μεταβολή της σκληρότητας (Force, N) συναρτήσει του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης σε δείγματα: ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος (OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης (OD+PAP), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία ασκορβικού οξέος με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+ASC), ωσμω-αφυδατωμένα παρουσία παπαΐνης με προ-επεξεργασία ΥΠ (HP+OD+PAP)

Προηγουμένως, μελετήθηκε η επίδραση της ΥΠ στη σκληρότητα δειγμάτων πατάτας που ωσμω-αφυδατώθηκαν απουσία παρεμποδιστή και παρατηρήθηκε αύξηση της σκληρότητας τους για χρόνο μεγαλύτερο των 2 ωρών. Αντίστοιχη τάση παρατηρείται όταν προστίθεται στο ωσμωτικό διάλυμα με ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη. Πιο συγκεκριμένα, στις 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης, η ΥΠ οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας των δειγμάτων και στις δύο περιπτώσεις παρεμποδιστών. Τα δύο αυτά δείγματα έχουν μικρή διαφορά σκληρότητας μεταξύ τους, το οποίο είναι αναμενόμενο λόγω της ίδιου ποσοστού στερεών που προσέλαβαν, όπως καταγράφεται στο Διάγραμμα 6.35.



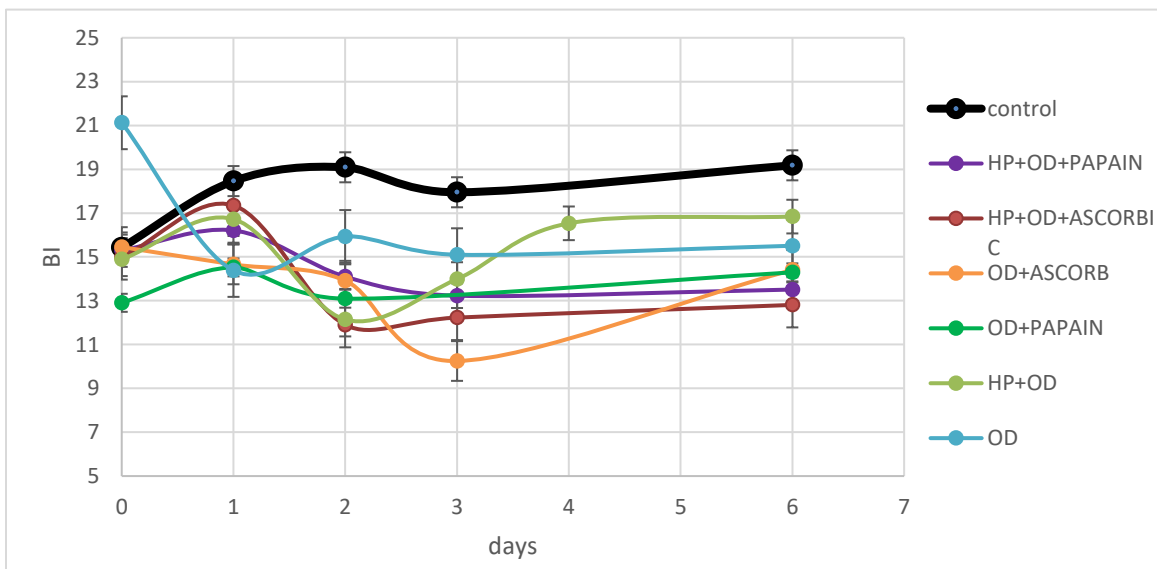
Διάγραμμα 6.39. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4°C και του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης (0-180 min) παρουσία ασκορβικού οξέος (πάνω) ή παπαΐνης (κάτω) για δείγματα που έχουν προ-επεξεργαστεί με ΥΠ

Στα παραπάνω διαγράμματα (Διάγραμμα 6.39) απεικονίζεται η μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων πατάτας που έχουν επεξεργαστεί με ΥΠ, μέσω του δείκτη BI, συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4°C και του χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης παρουσία παρεμποδιστή. Παρατηρείται ότι για ωσμωτική αφυδάτωση 2 και 3 ωρών, σημειώνεται μείωση του δείκτη

αμαύρωσης BI και στις δύο περιπτώσεις παρεμποδιστών, σε σύγκριση με τις ανεπεξέργαστες πατάτες. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της παπαΐνης ο δείκτης BI είναι μικρότερος κατά 18.5% για επεξεργασία 2 ωρών, από αυτόν της επεξεργασίας 3 ωρών, για τις 6 ημέρες αποθήκευσης των δειγμάτων. Όσον αφορά τα δείγματα που ωσμο-αφυδατώθηκαν με ασκορβικό οξύ, επιτυγχάνεται πολύ κοντινή τιμή BI μεταξύ του χρόνου επεξεργασίας 2 και 3 ωρών. Συνεπώς, με επανεξέταση του κατάλληλου χρόνου ωσμωτικής αφυδάτωσης με ενσωμάτωση παρεμποδιστή, επιλέγονται οι 2 ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης. Βασικό κριτήριο επιλογής είναι η διατήρηση του χρώματος των δειγμάτων πατάτας για όσο τον δυνατόν περισσότερες ημέρες, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο διεργασίας, σε συνδυασμό με την βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων.

Παρακάτω ακολουθεί η συνολική εκτίμηση της προ-επεξεργασίας υπερυψηλής πίεσης σε σχέση με τη μεταβολή του χρώματος, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων πατάτας (Διάγραμμα 6.40).

Σύγκριση μεθόδων επεξεργασίας (ωσμωτική αφυδάτωση και συνδυασμός με ΥΠ)



Διάγραμμα 6.40. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4°C των δειγμάτων για χρόνο ωσμωτικής αφυδάτωσης 2 ώρες. Δείγματα: ανεπεξέργαστες (control), ωσμο-αφυδατωμένες (OD), ΥΠ και ωσμο-αφυδατωμένες (HP+OD), ωσμο-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ (OD+ASCORB), ωσμο-αφυδατωμένες με παπαΐνη (OD+PAPAIN), ΥΠ και ωσμο-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ (HP+OD+ASCORBIC) και ΥΠ και ωσμο-αφυδατωμένες με παπαΐνη (HP+OD+PAPAIN)

Στο Διάγραμμα 6.41 απεικονίζεται η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης των δειγμάτων που έχουν επεξεργαστεί για 2 ώρες κατά την ωσμωτική αφυδάτωση. Όπως φαίνεται, η ΥΠ βελτίωσε το χρώμα των δειγμάτων έως και 6 μέρες μετά την επεξεργασία τους. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι σε αυτό το διάστημα, οι υψηλότερες τιμές του δείκτη BI, δηλαδή το πιο σκούρο χρώμα, καταγράφεται για τα δείγματα που έχουν ωσμο-αφυδατωθεί (με ή χωρίς προ-επεξεργασία ΥΠ) χωρίς παρουσία παρεμποδιστή στο διάλυμα. Αντιθέτως, οι χαμηλότερες τιμές ένδειξης σκούρου χρώματος επιτυγχάνονται στα ωσμο-αφυδατωμένα με προ-επεξεργασία ΥΠ δείγματα, παρουσία ασκορβικού οξέος ή παπαΐνης. Παράλληλα, στην περίπτωση που τα δείγματα δεν έχουν επεξεργαστεί με ΥΠ, αλλά το ωσμωτικό διάλυμα ήταν εμπλουτισμένο με έναν από τους δύο παρεμποδιστές, οι τιμές του BI βρίσκονται μεταξύ των δύο ακραίων περιπτώσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Επιβεβαιώνεται λοιπόν, ότι με τη προ-επεξεργασία υπερυψηλής πίεσης, ενισχύονται τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, με την ενσωμάτωση μεγαλύτερης ποσότητας παρεμποδιστή στις πατάτες η οποία οδηγεί στη βελτίωση του χρώματός τους.

6.6 Σύγκριση της επίδρασης των μη-θερμικών επεξεργασιών (ΠΗΠ, ΥΠ) στην ποιότητα και διατηρησιμότητα της ωσμο-αφυδατωμένης πατάτας

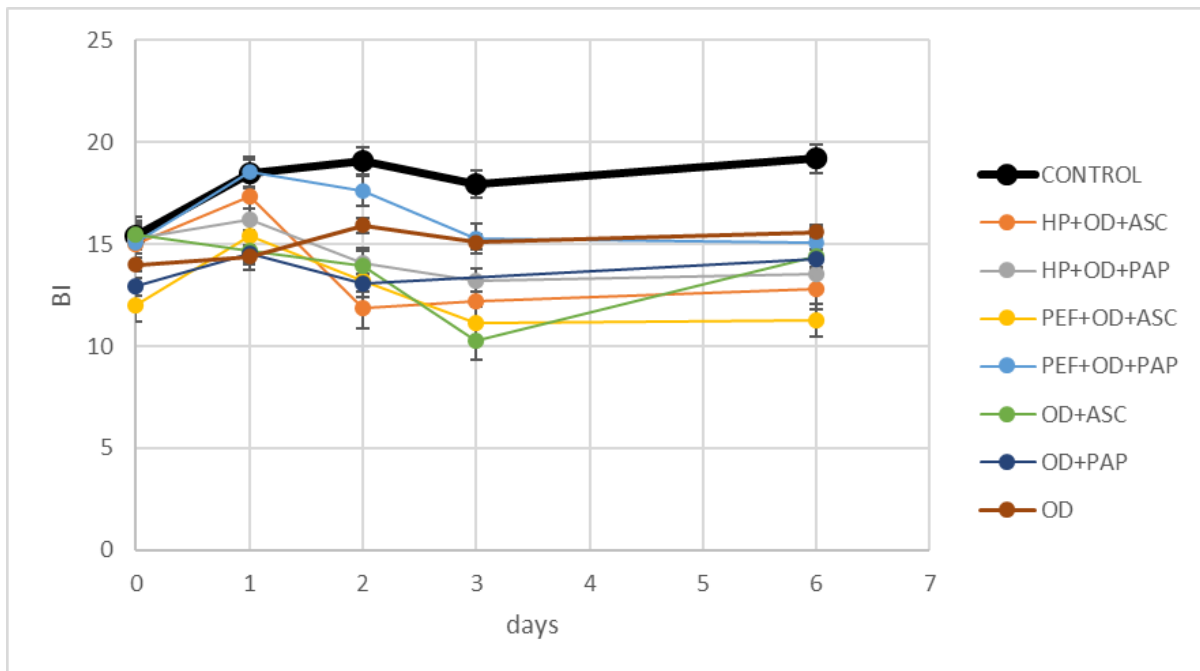
Στις προηγούμενες ενότητες πραγματοποιήθηκε η κινητική μελέτη της ωσμωτικής αφυδάτωσης δειγμάτων τεμαχισμένης πατάτας με διαφορετικά συστατικά, τα οποία αποτελούν παράγοντες ανάσχεσης του ενζυμικού μαυρίσματος. Παράλληλα, μελετήθηκε η χρήση μη-θερμικών τεχνολογιών, όπως αυτή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) και της υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ), με στόχο την ενίσχυση της ποιότητας και διατηρησιμότητας των τελικών προϊόντων. Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται η διατηρησιμότητα των δειγμάτων πατάτας που έχουν επεξεργαστεί ως εξής:

- Ωσμωτική αφυδάτωση με χρόνο επεξεργασίας 2 ώρες σε θερμοκρασία 35°C (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο, με ή χωρίς παρουσία 0.25% w/w ασκορβικό οξύ ή 0.025% w/w παπαΐνη)

- Προ-επεξεργασία με ΠΗΠ (0.5 kV/cm και 200 παλμοί) και ωσμωτική αφυδάτωση για 2 ώρες σε θερμοκρασία 35°C (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο, με ή χωρίς παρουσία 0.25% w/w ασκορβικό οξύ ή 0.025% w/w παπαΐνη)
- Προ-επεξεργασία με ΥΠ (400MPa) και ωσμωτική αφυδάτωση για 2 ώρες σε θερμοκρασία 35°C (40% γλυκερόλη, 10% χλωριούχο νάτριο, με ή χωρίς παρουσία 0.25% w/w ασκορβικό οξύ ή 0.025% w/w παπαΐνη)
- Ανεπεξέργαστα (control)

Στο τελευταίο κεφάλαιο, ελέγχεται η διατηρησιμότητα των ανεπεξέργαστων, ωσμο-αφυδατωμένων και ωσμο-αφυδατωμένων με προ-επεξεργασία ΠΗΠ ή ΥΠ δειγμάτων μέσω του δείκτη αμαύρωσης BI και του μικροβιακού φορτίου συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης, ώστε να εξασφαλιστεί πως το τελικό προϊόν έχει αποδεκτό χρώμα και την ίδια στιγμή είναι ασφαλές προς κατανάλωση.

6.6.1 Μεταβολή ενζυμικού μαυρίσματος



Διάγραμμα 6.41. Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης BI συναρτήσει των ημερών αποθήκευσης στους 4°C των ωσμο-αφυδατωμένων παρεμποδιστή δειγμάτων παρουσία και ωσμο-αφυδατωμένα μετά από επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία ή υπερυψηλή πίεση. Δείγματα: ανεπεξέργαστες (control), ωσμο-αφυδατωμένες (OD), ωσμο-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ (OD+ASC), ωσμο-αφυδατωμένες με παπαΐνη (OD+PAP), ΠΗΠ και ωσμο-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ (PEF+OD+ASC), ΠΗΠ και ωσμο-αφυδατωμένες με παπαΐνη (PEF+OD+PAP), ΥΠ και ωσμο-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ (HP+OD+ASC) και ΥΠ και ωσμο-αφυδατωμένες με παπαΐνη (HP+OD+PAP)

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 6.41, κατά την αποθήκευση των δειγμάτων πατάτας παρατηρείται ότι τα ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα που έχουν προ-επεξεργαστεί με παλμικά ηλεκτρικά πεδία ή υπερυψηλή πίεση και στη συνέχεια εμβαπτίστηκαν για 2 ώρες σε ωσμωτικό διάλυμα που περιείχε ασκορβικό οξύ, επιτυγχάνουν την μικρότερη τιμή του δείκτη BI, δηλαδή πιο ανοιχτό χρώμα, μεταξύ των άλλων. Συγκεκριμένα, η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ μείωσε το δείκτη BI κατά 27.9%, και η προ-επεξεργασία με ΥΠ κατά 12.5% σε σχέση με τα δείγματα που έχουν μόνο ωσμο-αφυδατωθεί. Αντίστοιχα, παρατηρείται ότι στην περίπτωση των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με παπαΐνη, η ΥΠ ενίσχυσε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, προσλαμβάνοντας μεγαλύτερη ποσότητα στερεών, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, βελτιώνοντας περαιτέρω το χρώμα του τελικού προϊόντος.

Επίσης, από το παραπάνω συγκεντρωτικό διάγραμμα, ενώ φαίνεται ότι οι διαφορές στις τιμές του δείκτη αμαύρωσης BI των επεξεργασμένων δειγμάτων είναι μικρές, η διαφορά στο τελικό χρώμα της πατάτας είναι διακριτή. Όπως αναφέρθηκε στο 5^ο κεφάλαιο, η ποικιλία πατάτας που χρησιμοποιήθηκε είναι η Sprunta, η οποία είναι μία από τις πιο ευάλωτες στο μαύρισμα ποικιλίες (Cantos et al., 2002). Έτσι, για έναν τόσο ευαίσθητο ιστό όπως αυτός της συγκεκριμένη ποικιλίας, οι διαφορές που επιτεύχθηκαν με την επεξεργασία των δύο μη-θερμικών τεχνολογιών έχουν σημαντική επίδραση στο χρώμα του. Στην Εικόνα 6.4 απεικονίζονται οι ωσμο-αφυδατωμένες πατάτες μετά από 6 ημέρες συντήρησης στους 4 °C και στην Εικόνα 6.5 η μεταβολή του χρώματος των ανεπεξεργαστων πατατών συναρτήσει των ημερών συντήρησης στους 4°C.



(a)control



(b)OD



(c) OD+ASC



(d) OD+PAP



(e) PEF+OD+ASC



(f) PEF+OD+PAP



(g) HP+OD

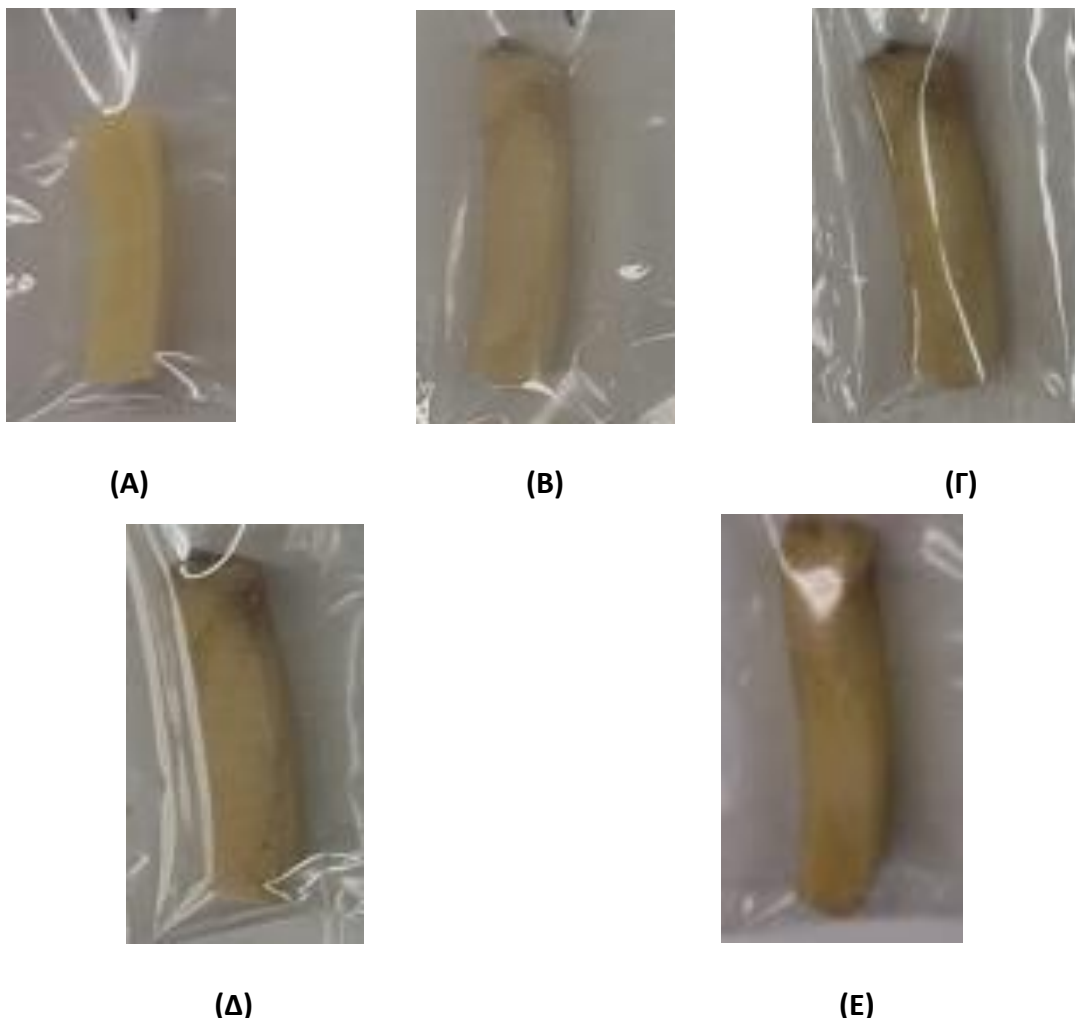


(h) HP+OD+ASC



(i)HP+OD+PAP

Εικόνα 6.4. Τεμαχισμένες πατάτες μετά από 6 ημέρες αποθήκευσης στους 4 °C. Στην εικόνα **(a)** ανεπεξέργαστες, **(b)** ωσμω-αφυδατωμένες, **(c)** ωσμω-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ, **(d)** ωσμω-αφυδατωμένες με παπαΐνη, **(e)** ΠΗΠ και ωσμω-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ, **(f)** ΠΗΠ και ωσμω-αφυδατωμένες με παπαΐνη, **(g)** ΥΠ και ωσμω-αφυδατωμένες, **(h)** ΥΠ και ωσμω-αφυδατωμένες με ασκορβικό οξύ και **(i)** ΥΠ και ωσμω-αφυδατωμένες με παπαΐνη



Εικόνα 6.5. Τεμαχισμένες ανεπεξέργαστες πατάτες **(Α)** 1^η ημέρα συντήρησης, **(Β)** 2^η ημέρα συντήρησης, **(Γ)** 3^η ημέρα συντήρησης, **(Δ)** 4^η ημέρα συντήρησης και **(Ε)** 5^η ημέρα συντήρησης στους 4°C

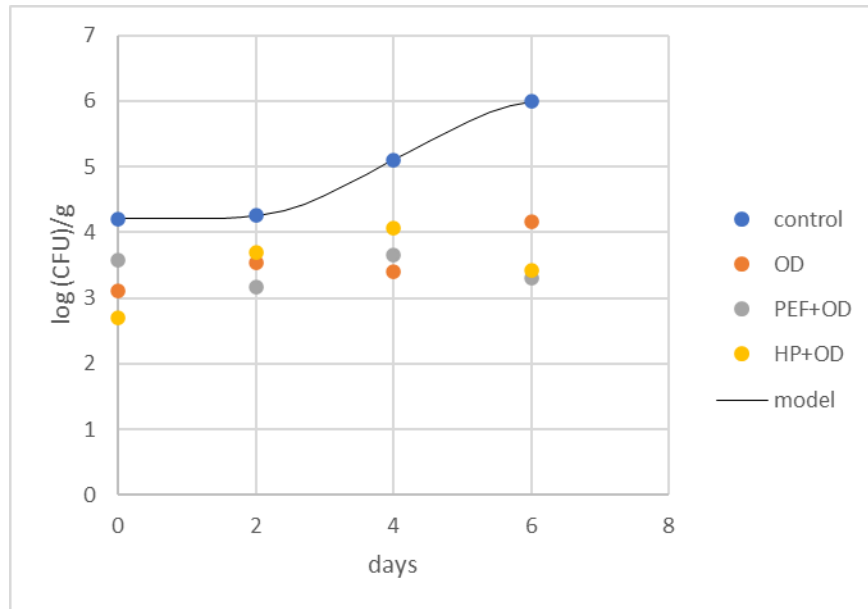
Φαίνεται λοιπόν, από την Εικόνα 6.4, πως μεταξύ των επεξεργασιών που εφαρμόστηκαν στις τεμαχισμένες πατάτες, στις περιπτώσεις που υπήρξε προ-επεξεργασία με ΠΗΠ και στη συνέχεια ακολούθησε ωσμωτική αφυδάτωση παρουσία ασκορβικού οξέος ή παπαΐνης, το χρώμα των δειγμάτων έως και την 6^η ημέρα αποθήκευσης είναι πιο ανοιχτό, σε σχέση τόσο με το ανεπεξέργαστα αλλά και με τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκε παρεμποδιστής χωρίς ΠΗΠ. Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και στην περίπτωση της προ-επεξεργασία με ΥΠ και ώσμωση των δειγμάτων παρουσία ασκορβικού οξέος. Οι πατάτες γενικά, είναι ένας ιστός που μαυρίζει ανομοιόμορφα. Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 6.5), οι ανεπεξέργαστες πατάτες τη 2^η μέρα μέρα εμφανίζουν κάποια μαύρα σημεία, τα οποία όπως

παρατηρείται από την επόμενη μέρα αποθήκευσης και ύστερα, είναι πιο σκούρα και καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια. Ωστόσο, από το Διάγραμμα 6.41, φαίνεται ότι η τιμή του δείκτη αμαύρωσης BI του ανεπεξέργαστου δείγματος είναι σταθερή μετά την 2^η μέρα αποθήκευσης, με διαφορά 0.5% σε σχέση με την 6^η μέρα αποθήκευσης. Η αστοχία του δείκτη BI να αντικατοπτρίζει τη χρωματική διαφορά μεταξύ των ημερών, προκύπτει λόγω της ανομοιομορφίας του μαυρίσματος, παρόλο που οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε τρία σημεία κατά μήκος του ιστού. Για το λόγο αυτό, ο οπτικός έλεγχος είναι χρήσιμος για πιο εύστοχη παρακολούθηση της επεξεργασίας. Οι ερευνητές Cantos et al., (2002) σε μελέτη σχετικά με το ενζυμικό μαύρισμα της πατάτας, λόγω της ιδιαιτερότητας του ιστού, αξιολόγησαν την εξέλιξη χρώματος τόσο μέσω του δείκτη BI, όσο και με οργανοληπτικό έλεγχο και πράγματι σημειώθηκαν διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων.

6.6.2 Μικροβιακή ανάπτυξη

Κατά τη διάρκεια των μικροβιολογικών αναλύσεων μελετήθηκε η ανάπτυξη του ολικού μικροβιακού φορτίου, των ζυμών και μυκήτων. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα τα οποία προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Baranyi με τη χρήση του προγράμματος DMfit software (IFR, Institute of Food Research, Reading, UK) και υπολογίστηκαν οι σταθερές ανάπτυξης όπου ήταν δυνατό.

6.6.2.1 Ολικό μικροβιακό φορτίο



Διάγραμμα 6.42. Ανάπτυξη του ολικού μικροβιακού φορτίου συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασία 4°C, σε ανεπεξέργαστα και ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα με ή χωρίς προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση και παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Τα δεδομένα έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Baranyi

Το παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.42) παρουσιάζει τη μεταβολή του ολικού μικροβιακού φορτίου συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης στους 4°C, για ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα με ή χωρίς προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση και παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις των επεξεργασμένων δειγμάτων δεν υπάρχει ανάπτυξη μικροβιακής χλωρίδας κατά τις 6 ημέρες αποθήκευσης, με το φορτίο να παραμένει σχεδόν σταθερό. Αντίθετα, στα ανεπεξέργαστα δείγματα παρατηρείται ότι η ανάπτυξη τις 2 πρώτες ημέρες βρίσκεται στην λανθάνουσα φάση, και για το υπόλοιπο διάστημα αποθήκευσης στην εκθετική, με τελική τιμή φορτίου 6 log(CFU)/g και ρυθμό ανάπτυξης $k=0.569 \text{ d}^{-1}$.

6.6.2.2 Ζύμες και μύκητες

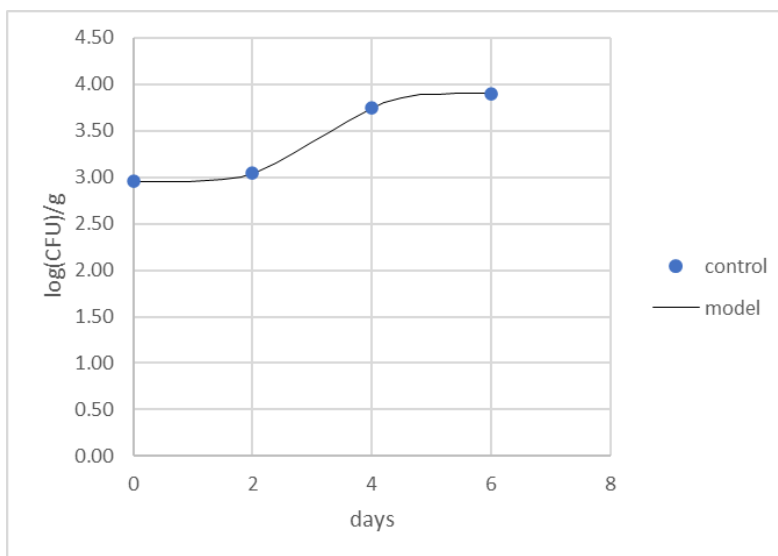
Ο μικροβιακός έλεγχος ανάπτυξης ζυμών και μυκήτων πραγματοποιήθηκε με χρήση δύο υποστρωμάτων, όπως αναλύθηκε στην ενότητα 5.3.8. Με το πρώτο υπόστρωμα (RBC), μετρούνται οι ζύμες και οι μύκητες, ενώ με το δεύτερο (PDA), καταγράφεται η ανάπτυξη μόνο μυκήτων. Ο τελικός πληθυσμός ζυμών και μυκήτων και οι σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης στους 4°C, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2. Σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης (k, d^{-1}), και ο τελικός πληθυσμός ($N_{max}, \text{Log (Cfu)/g}$) για την ανάπτυξη ζυμών και μυκήτων για ανεπεξέργαστα και ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα με ή χωρίς προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση και παλμικά ηλεκτρικά πεδία τα οποία έχουν αποθηκευτεί στους 4°C, όπως προέκυψαν από την προσαρμογή του μοντέλου Baranyi στα πειραματικά δεδομένα

	Nmax Log (Cfu)/g	k (d⁻¹)
CONTROL	3.74	0.39
OD	ND	-
PEF+OD	ND	-
OH+OD	ND	-

ND: NOT DETECTED- ΔΕΝ ΑΝΙΧΝΕΥΕΤΑΙ

Όπως φαίνεται, στα επεξεργασμένα δείγματα (ωσμο-αφυδατωμένα και ωσμο-αφυδατωμένα με ΠΗΠ ή ΥΠ) δεν ανιχνεύθηκαν ζύμες και μύκητες κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων στους 4°C. Στην περίπτωση του ανεπεξέργαστου δείγματος, υπάρχει ανάπτυξη ζυμομυκήτων μετά τις 2 ημέρες αποθήκευσης, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6.43, με τελική τιμή φορτίου 3.74 log (Cfu)/g).



Διάγραμμα 6.43. Ανάπτυξη των ζυμών και μυκήτων συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασία 4°C, σε ανεπεξεργαστα δείγματα. Τα δεδομένα έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Baranyi

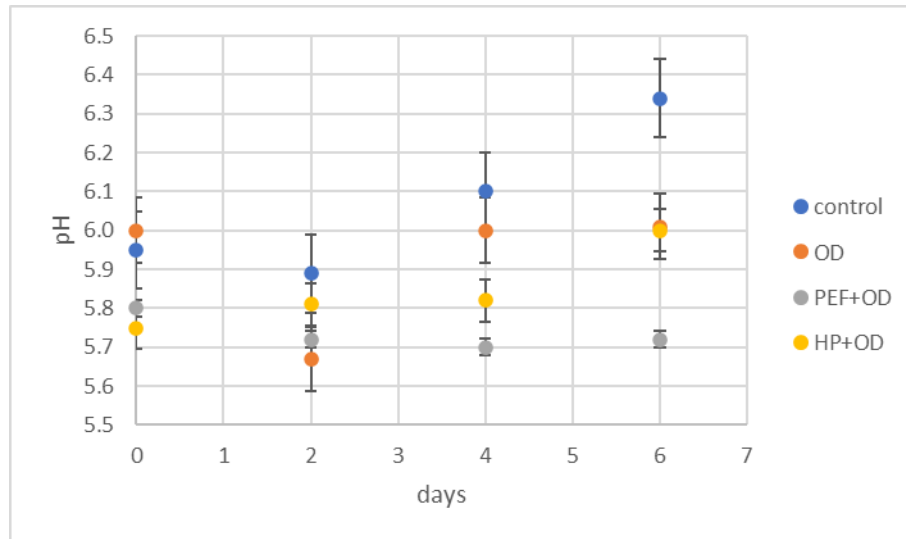
Αντίστοιχα, στον Πίνακα 6.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα ανάπτυξης μυκήτων σε ανεπεξεργαστα και ωσμο-αφυδατωμένα με ή χωρίς επεξεργασίας δείγματα. Τόσο στα ανεπεξεργαστα όσο και στα ωσμο-αφυδατωμένα με ή χωρίς προ-επεξεργασία δείγματα πατάτας δεν ανιχνεύθηκε ανάπτυξη για διάστημα αποθήκευσης 6 ημερών στους 4°C.

Πίνακας 6.3. Σταθερές των ρυθμών ανάπτυξης (k, d^{-1}), και ο τελικός πληθυσμός (N_{max} , Log (Cfu)/g) για την ανάπτυξη μυκήτων για ανεπεξεργαστα και ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα με ή χωρίς προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση και παλμικά ηλεκτρικά πεδία τα οποία έχουν αποθηκευτεί στους 4°C

	Nmax (Log (Cfu)/g)	k(d⁻¹)
control	ND	-
OD	ND	-
PEF+OD	ND	-
HP+OD	ND	-

ND: NOT DETECTED- ΔΕΝ ΑΝΙΧΝΕΥΕΤΑΙ

6.6.2.3 Μεταβολή του pH



Διάγραμμα 6.44. Μεταβολή του pH συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασία 4°C, σε ανεπεξέργαστα δείγματα και ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα με ή χωρίς προ-επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση και παλμικά ηλεκτρικά πεδία

Στο παραπάνω διάγραμμα (Διάγραμμα 6.44) απεικονίζεται η μεταβολή του pH συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασία 4°C, σε ανεπεξέργαστα δείγματα και ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα. Το pH είναι μία ακόμη παράμετρος που προσδιορίζεται κατά την διατήρηση των τροφίμων, καθώς αύξηση του pH υποδεικνύει μικροβιακή ανάπτυξη (Jay & Loessner, 2005). Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι στην περίπτωση των ανεπεξέργαστων δειγμάτων, το pH μεταβάλλεται αυξητικά, με μέγιστη τιμή 6.34.

Όσον αφορά τα δείγματα που έχουν επεξεργαστεί, όπως ήταν αναμενόμενο εφόσον δεν ανιχνεύθηκε σε κανένα υπόστρωμα ανάπτυξη, η τιμή του pH δεν παρουσιάζει μεταβολή, με το εύρος των τιμών και στις τρεις περιπτώσεις (ώσμωση, ΠΗΠ και ώσμωση, ΥΠ και ώσμωση) να κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 5.7-6.0.

Κεφάλαιο 7: Σύνοψη αποτελεσμάτων-Συμπεράσματα

Ως ένα από τα πιο αγαπημένα και μαγειρικά ευέλικτα συστατικά, οι πατάτες αποτελούν κύρια επιλογή των καταναλωτών. Ωστόσο, η ευαισθησία των φρεσκοκομμένων πατατών στην ενζυμική αμαύρωση, η οποία καταλύεται από την πολυφαινολική οξειδάση (PPO), έρχεται σε αντίθεση με τις καταναλωτικές ανάγκες της εποχής για προ-συσκευασμένα φρέσκα φρούτα και λαχανικά.

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτέλεσε ο εμπλουτισμός των φρεσκοκομμένων πατατών με παράγοντες ανασχεσης της δράσης της PPO, για την παραγωγή προϊόντων πατάτας με ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και αυξημένη διατηρησιμότητα. Ειδικότερα, μελετήθηκε η διεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης σε τεμαχισμένες πατάτες και ο συνδυασμός αυτής με μη-θερμικές τεχνολογίες, όπως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ) και η υπερυψηλή πίεση (ΥΠ), οι οποίες ενισχύουν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, διατηρώντας τα θρεπτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας, μελετήθηκε η ενζυμική δραστικότητα του εκχυλίσματος πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO) πατάτας. Προσδιορίστηκε η δραστικότητα της PPO από φλούδες πατάτας, ίση με 6360 Units/mL εκχυλίσματος και μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας, της υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ) και της χρήσης (χημικού ή ενζυμικού) παρεμποδιστή στη δραστικότητα του ενζύμου. Η χρήση της φλούδας από την πατάτα για τον προσδιορισμό της ενεργότητας, επιλέχθηκε με βάση τη βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία η ενεργότητα της PPO είναι υψηλότερη στη φλούδα και 1-2 mm κάτω από αυτή (Thygesen et al., 1995). Η θερμική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 60, 70 και 80°C για 0-20 min και προέκυψε πως με αύξηση της θερμοκρασίας, επιτυγχάνεται αύξηση του ρυθμού απενεργοποίησης του ενζύμου. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός απενεργοποίησης ήταν ίσος με 0.061, 0.441 και 0.901 min⁻¹ για θερμοκρασίες 60, 70 και 80°C, αντίστοιχα. Μέσω της εξίσωσης Arrhenius, προσδιορίστηκε η εξάρτηση των ρυθμών απενεργοποίησης από τη θερμοκρασία της θερμικής επεξεργασίας και υπολογίστηκε η τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης ίση με E_a=132.1 kJ/mol. Όσον αφορά την επίδραση της ΥΠ στο ενζυμικό εκχύλισμα PPO, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία 600 MPa και 0-20 min, όπου η μέγιστη απενεργοποίηση του ενζύμου που

καταγράφηκε ήταν 38%,για χρόνο επεξεργασίας 5 min. Σχετικά με τη χημική μέθοδο απενεργοποίησης της PPO, μελετήθηκαν τρεις παρεμποδιστές, το ασκορβικό οξύ, η 4-εξυλορεσορκινόλη και το μεταδιθειώδες νάτριο, σε συγκέντρωση μεταξύ 0.25-2% w/w, 0.0125-0.05% w/w και 0.01-1% w/w, αντίστοιχα. Καλύτεροι παρεμποδιστές αποδείχτηκαν το ασκορβικό οξύ και το μεταδιθειώδες νάτριο για συγκέντρωση μεγαλύτερη από 0.5% w/w και 0.75% w/w αντίστοιχα, με τους οποίους επιτεύχθηκε πλήρης απενεργοποίηση της PPO, ενώ η 4-εξυλορεσορκινόλη δεν κατάφερε να την απενεργοποιήσει. Για την ενζυμική μέθοδο ανάσχεσης της δράσης της PPO, μελετήθηκε το πρωτεολυτικό ένζυμο παπαΐνη σε συγκεντρώσεις 0.1% w/w και 0.01% w/w ως προς την επίδραση του χρόνου επώασης (0-60min) της σε θερμοκρασία 45°C. Από το πείραμα αυτό, προέκυψε ότι το πυκνότερο διάλυμα παπαΐνης, 0.1% w/w, παρεμποδίζει αποτελεσματικότερα τη δράση του ενζύμου, με μείωση της ενεργότητας της PPO κατά 71%. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη απενεργοποίηση στις δύο συγκεντρώσεις διαλυμάτων, 0.1% w/w και 0.01% w/w, επιτεύχθηκε με επώαση για 30 και 10 min, αντίστοιχα, επομένως ο μεγαλύτερος χρόνος επώασης δεν ενισχύει τη δράση του πρωτεολυτικού ενζύμου.

Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, στο δεύτερο μέρος της εργασίας, μελετήθηκε η επίδραση των ίδιων τεχνικών παρεμπόδισης της PPO σε φρεσκοκομμένες πατάτες. Η θερμική επεξεργασία (60, 70 και 80 °C) και η υπερυψηλή πίεση (600 MPa, 5min), δεν ήταν αποτελεσματικές καθώς την ίδια ημέρα για την περίπτωση της θερμικής τεχνολογίας, και την επόμενη ημέρα για την ΥΠ, οι πατάτες εμφάνισαν σκουρόχρωμα στίγματα. Αντίστοιχα αποτελέσματα κατέγραψαν και οι Van Buggenhout et al., (2006), οι οποίοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για χρόνο επεξεργασίας 13 min, πιέσεις 100-500 MPa και θερμοκρασία 20°C, δεν απενεργοποιήθηκε η PPO. Ακόμη, με βάση τη βέλτιστη συγκέντρωση παρεμποδιστή, τεμαχισμένες πατάτες εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα ασκορβικού οξέος, μεταδιθειώθους νατρίου και 4-εξυλορεσορκινόλης συγκέντρωσης 0.5, 0.5 και 0.025% w/w αντίστοιχα για 10 min, όμως η μέθοδος δεν ανέστειλε τη δράση της PPO, καθώς τα δείγματα πατάτας μαύρισαν μετά από μία ημέρα αποθήκευσης στους 4°C.

Κατά συνέπεια, στη συνέχεια μελετήθηκε η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης ως μέθοδος ενσωμάτωσης των παρεμποδιστών PPO στο τρόφιμο, κατά την οποία οι ουσίες του διαλύματος

μπορούν να εισέλθουν στον ιστό του τροφίμου, λόγω της διαφοράς ωσμωτικής πίεσης που δημιουργείται μεταξύ του δείγματος και του ωσμωτικού διαλύματος. Για να επιλεγεί η καταλληλότερη σύσταση ωσμωτικού διαλύματος, πραγματοποιήθηκε προκαταρκτικό πείραμα στο οποίο εξετάστηκε η επίδραση της ωσμωτικής αφυδάτωσης στις πατάτες σε διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας (40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο ή 60% γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο για χρόνο επεξεργασία 0-180 min και θερμοκρασία 35°C) ως προς τη μεταβολή του χρώματος, τη σκληρότητα, την ενεργότητα νερού των δειγμάτων και τους δείκτες απώλειας νερού και πρόσληψης στερεών. Η βασικότερη παράμετρος επιλογής μεταξύ των δύο διαλυμάτων, ήταν η μεταβολή του χρώματος, εφόσον πρόκειται για το κύριο αίτιο υποβάθμισης της ποιότητας των τεμαχισμένων πατατών. Μεταξύ των δυο ωσμωτικών διαλυμάτων, στα δείγματα πατάτας που επεξεργάστηκαν στο διάλυμα με 60% γλυκερόλη, 3.5% χλωριούχο νάτριο και 1.5% χλωριούχο ασβέστιο, η ανάπτυξη ενζυμικού μαυρίσματος ήταν παρεμφερής με των ανεπεξέργαστων. Συγκεκριμένα, μετά από 3 ημέρες αποθήκευσης στους 4°C, ο δείκτης αμαύρωσης BI ήταν ίσος με 17.1 για τα ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα και 17.9 για τα ανεπεξέργαστα. Αντίθετα, τα δείγματα που ωσμω-αφυδατώθηκαν για 120 και 180 min σε διάλυμα με 40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο, διατήρησαν σχεδόν σταθερή τιμή δείκτη αμαύρωσης BI, ίση με 15.90, μετά από 6 ημέρες αποθήκευσης στους 4°C (BI=19.18 ανεπεξέργαστων δειγμάτων την 6^η ημέρα αποθήκευσης). Με βάση την έρευνα των Amin et al., (2020), η διαφορετική μεταβολή του χρώματος μεταξύ των δύο διαλυμάτων, αποδίδεται στην μεγαλύτερη συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου. Το ανιόν χλωρίου του άλατος, προσδένεται στο ενεργό κέντρο της PPO, παρεμποδίζοντας τη δράση της (Tortoe et al., 2007). Συνεπώς, οι συνθήκες που επιλέχθηκαν ως πιο κατάλληλες ήταν η περιεκτικότητα 40% σε γλυκερόλη και ο χρόνος επεξεργασίας 120 min, με τιμή ενεργότητας νερού των δειγμάτων πατάτας μικρότερη κατά 15.6% σε σχέση με τις ανεπεξέργαστες πατάτες (από 0.985 του ανεπεξέργαστου σε 0.831 του ωσμω-αφυδατωμένου).

Ο εμπλουτισμός του τροφίμου με παράγοντες ανάσχεσης της δράσης της PPO μελετήθηκε βάσει των αποτελεσμάτων του πρώτου πειραματικού μέρους. Πιο συγκεκριμένα, για τις συνθήκες ώσμωσης που επιλέχθηκαν (40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο), εξετάστηκε το ασκορβικό οξύ και η παπαΐνη σε συγκέντρωση 0.25% w/w και 0.025% w/w αντίστοιχα, για την

οποία η ποσότητα παρεμποδιστή και ενζύμου βρίσκονται στην ίδια αναλογία με αυτή του πειράματος του ενζυμικού εκχυλίσματος. Στην περίπτωση του πρωτεολυτικού ενζύμου, του οποίου η δράση εξαρτάται από τον χρόνο επώασης του, τα δείγματα πατάτας πριν την ωσμωτική κατεργασία εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα παπαΐνης 0.025% w/w, σε θερμοκρασία 45 °C για 30 min. Η διεργασία της ώσμωσης για 120-180 min, τόσο στην περίπτωση του ασκορβικού οξέος, όσο και της παπαΐνης, μείωσε σημαντικά τον δείκτη αμαύρωσης BI, βελτίωσε δηλαδή το χρώμα των δειγμάτων μετά από 6 ημέρες, συγκριτικά με τα ανεπεξεργαστα δείγματα πατάτας. Ωστόσο, η ποσότητα παρεμποδιστή που ενσωματώθηκε στα δείγματα κατά την επεξεργασία της ωσμωτικής αφυδάτωσης, δεν είχε σημαντική επίδραση στην μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων. Για χρόνο επεξεργασία 120 min, οι τιμές του δείκτη αμαύρωσης BI μεταξύ των ωσμω-αφυδατωμένων δειγμάτων με και χωρίς παρεμποδιστή ήταν πολύ κοντινές. Ενδεικτικά, ο δείκτης αμαύρωσης BI ήταν ίσος με 15.30, 14.50 και 14.60 για τα ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα χωρίς παρεμποδιστή, παρουσία ασκορβικού οξέος και παπαΐνης αντίστοιχα.

Για το λόγο αυτό, στο τρίτο μέρος της εργασίας μελετήθηκε η συνεργιστική δράση της ωσμωτικής αφυδάτωσης (40% γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο) και των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ), τα οποία αποτελούν μια μέθοδο ενίσχυσης των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Για την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών πραγματοποιήθηκε πείραμα μέτρησης του δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, Z, για πεδίο έντασης 0.5, 1.0 και 2.0 kV/cm σε διαφορετικούς αριθμούς παλμών. Για την επιλογή της βέλτιστης έντασης ηλεκτρικού πεδίου, προσδιορίστηκε η σκληρότητα των δειγμάτων μετά την επεξεργασία με ΠΗΠ. Η προκείμενη διερεύνηση οδήγησε στο συμπέρασμα πως η υψηλότερη ένταση ηλεκτρικού πεδίου και ο μεγαλύτερος αριθμός παλμών αυξάνουν μεν τον δείκτη κυτταρικής διάρρηξης, αλλά μειώνουν σημαντικά τη σκληρότητα του ιστού. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι για ένταση ηλεκτρικού πεδίου ίση με 0.5 kV/cm, ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης σταθεροποιείται για περισσότερους από 400 παλμούς (Z=0.3), ενώ για τους μικρότερους αριθμούς παλμών που εφαρμόστηκαν για την κάθε τιμή έντασης (0-350 παλμοί για 0.5 kV/cm, 0-120 παλμοί για 1.0 kV/cm και 0-40 παλμοί για 2.0 kV/cm) ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα (Z=0.25-0.30). Επιπλέον, για τους αντίστοιχους αριθμούς παλμών, η σκληρότητα των

δειγμάτων είναι ίση με 5.8 N, 4.8 N και 4.4 N για ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5, 1.0 και 2.0 kV/cm αντίστοιχα.

Επομένως, για την εφαρμογή των ΠΗΠ, επιλέχθηκε το χαμηλότερο πεδίο έντασης, 0.5 kV/cm, καθώς σε αυτή τη συνθήκη η σκληρότητα των δειγμάτων πατάτας είχε τη μικρότερη μεταβολή και επετεύχθη ικανοποιητικό ποσοστό διάρρηξης.

Έχοντας επιλέξει την βέλτιστη ένταση ηλεκτρικού πεδίου (0.5 kV/cm) μελετήθηκε η επίδραση των ΠΗΠ στα φαινόμενα μεταφορά μάζας κατά την ωσμωτική κατεργασία σε δείγματα πατάτας, με εφαρμογή 200-1000 παλμών. Ανεξαρτήτως του αριθμού παλμών (200, 500, 1000), η εφαρμογή των ΠΗΠ παρουσίασε αυξημένη πρόσληψη στερεών σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα κατά την ώσμωση. Όσον αφορά την ενεργότητα νερού των δειγμάτων, η μικρότερη τιμή καταγράφηκε μετά την εφαρμογή 200 παλμών, ίση με 0.830 και 0.810 σε χρόνο επεξεργασίας 120 και 180 min αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η εφαρμογή 200 και 500 παλμών πριν την ωσμωτική επεξεργασία που διήρκησε 120 και 180 min, βελτίωσε σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα διατηρήθηκε το χρώμα των φρέσκο-κομμένων πατατών έως και 6 ημέρες μετά την αποθήκευση στους 4°C σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα δείγματα. Ενώ αντιθέτως για 1000 παλμούς, το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε μόνο για χρόνο ώσμωσης 180 min. Έτσι, ως καταλληλότερες συνθήκες της προ-επεξεργασίας με παλμικά ηλεκτρικά πεδία επιλέχθηκαν η εφαρμογή 200 παλμών, με ένταση ηλεκτρικού πεδίου 0.5 kV/cm και χρόνο επεξεργασίας 120 min.

Στις συνθήκες αυτές, η πρόσληψη στερεών ήταν 1.81 gστερεού/gαρχικού ξηρού βάρους, μεγαλύτερη κατά 10% από τα ανεπεξέργαστα με ΠΗΠ δείγματα. Η αυξημένη πρόσληψη στερεών επιβεβαιώνει την επίδραση των ΠΗΠ στην ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, επομένως στη συνέχεια εξετάζεται ο εμπλουτισμός του τροφίμου με ποσότητα 0.025% w/w παπαΐνη ή 0.25% w/w ασκορβικό οξύ, όπως στο δεύτερο μέρος της εργασίας, σε δείγματα πατάτας μετά την επεξεργασία ΠΗΠ. Ως κατάλληλος χρόνος επεξεργασίας επιλέχθηκαν τα 120 min ωσμωτικής αφυδάτωσης και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μεταξύ των ωσμω-αφυδατωμένων δειγμάτων παρουσία παρεμποδιστή με ή χωρίς προ-επεξεργασία ΠΗΠ. Τα ΠΗΠ ενίσχυσαν τη μεταφορά μάζας κατά την ώσμωση, καθώς σε χρόνο επεξεργασίας 120 min η πρόσληψη στερεών αυξήθηκε κατά 0.95 gστερεού/gαρχικού ξηρού

βάρους στην περίπτωση των δειγμάτων με παπαΐνη και κατά 0.20 g στερεού/g αρχικού ξηρού βάρους στην ώσμωση παρουσία ασκορβικού οξέος. Επιπλέον, η σκληρότητα των δειγμάτων πατάτας παρουσίασε αύξηση για τα πρώτα 180 min ώσμωσης, όπου έφτασε την μέγιστη τιμή της, με τα δείγματα που έχουν προ-επεξεργαστεί με ΠΗΠ να είναι σκληρότερα κατά 38.30% και 17.43% για την ώσμωση με ασκορβικό και παπαΐνη αντίστοιχα. Η επίδραση των ΠΗΠ στη μεταβολή του χρώματος, αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο αξιολόγησης της επίδρασης του παρεμποδιστή. Σημαντική μείωση του δείκτη αμαύρωσης BI σημειώθηκε στην περίπτωση του ασκορβικού οξέος, με τον δείκτη BI των δειγμάτων μικρότερο κατά 28.5% συγκριτικά με τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν στο ίδιο ωσμωτικό διάλυμα με ασκορβικό οξύ, χωρίς την προ-επεξεργασία με ΠΗΠ. Ωστόσο, στην περίπτωση της παπαΐνης, παρά την αυξημένη πρόσληψη στερεών που προκλήθηκε λόγω των ΠΗΠ, δεν σημειώθηκε περαιτέρω μείωση του δείκτη αμαύρωσης BI των τελικών δειγμάτων. Δηλαδή, η προ-επεξεργασία με ΠΗΠ ενίσχυσε τη πρόσληψη παραγόντων ανάσχεσης ενάντια της δράσης της ΡΡΟ από δείγματα πατάτας κατά την ωσμωτική αφυδάτωση, με το ασκορβικό οξύ να βελτιώνει σημαντικά το τελικό χρώμα τους, σε αντίθεση με την προσθήκη παπαΐνης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην μερική παρεμπόδιση της ΡΡΟ (κατά 70%) από την παπαΐνη σε αντίθεση με την πλήρη απενεργοποίηση του ενζύμου με χρήση ασκορβικού οξέος που παρατηρήθηκε στο πρώτο μέρος της εργασίας. Παρόλο που η προ-επεξεργασία ΠΗΠ είχε επίδραση στη μεταφορά μάζας, όπως διαπιστώθηκε μέσω της μεταβολής του χρώματος, τα αποτελέσματα αυτά δεν αντικατοπτρίζονται στον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης στερεών και νερού μέσω του 2^{ου} νόμου του Fick. Οι τιμές των συντελεστών που υπολογίστηκαν στις περιπτώσεις με και χωρίς προ-επεξεργασία ΠΗΠ είναι ίσες με $Des=1.8 \cdot 10^{-10} - 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ και $Dew=1.7 \cdot 10^{-10} - 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, όπου Des είναι ο συντελεστής πρόσληψης στερεών και Dew είναι ο συντελεστής διάχυσης νερού. Η αστοχία αυτή, οφείλεται αφενός στην προσέγγιση του σχήματος των δειγμάτων ως άπειρη πλάκα, δηλαδή δεν συμπεριλαμβάνονται όλες οι επιφάνειες τους, και αφετέρου στην μη-επίτευξη ισορροπίας της πρόσληψης στερεών και απώλειας νερού στις τρεις ώρες ωσμωτικής αφυδάτωσης που μελετήθηκαν.

Στο τέταρτο μέρος της εργασίας, μελετήθηκε η επίδραση της υπερυψηλής πίεσης (ΥΠ) σε ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα φρεσκοκομμένης πατάτας. Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο μέρος της

εργασίας, η ΥΠ δεν ήταν ικανή να αναστείλει τη δράση της ΡΡΟ σε δείγματα πατάτας με πίεση 600 MPa. Συνεπώς, η ΥΠ μελετήθηκε σε συνδυασμό με την ωσμωτική αφυδάτωση, με στόχο την ενίσχυση των φαινομένων μεταφοράς μάζας. Τα δείγματα πατάτας υποβλήθηκαν σε πίεση 100, 200, 400 και 600 MPa σε θερμοκρασία 20°C και στη συνέχεια ωσμο-αφυδατώθηκαν σε διάλυμα περιεκτικότητας 40% σε γλυκερόλη και 10% χλωριούχο νάτριο για 0-180 min. Η εφαρμογή ΥΠ είχε ως συνέπεια την αύξηση πρόσληψης στερεών και απώλειας υγρασίας ανεξαρτήτως της τιμής πίεσης, σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα. Ως καταλληλότερες συνθήκες επιλέχθηκαν ο χρόνος επεξεργασίας 120 min και πίεση 400 MPa. Στις συνθήκες αυτές, η ενεργότητα νερού των δειγμάτων έλαβε τη μικρότερη τιμή μεταξύ των άλλων και ίση με 0.8364, ενώ οι ποιοτικοί παράμετροι της σκληρότητας και του χρώματος δεν παρουσίασαν αρνητικές μεταβολές. Επιπλέον, τα στερεά που προσλήφθηκαν από τα δείγματα ήταν ίδιας τάξεως (2.61-2.80 gστερεού/gαρχικού ξηρού βάρους) για όλες τις τιμές πίεσης, με τα 400 MPa να επιτυγχάνουν κατά 0.89 gστερεού/gαρχικού ξηρού βάρους μεγαλύτερη τιμή από τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα.

Η αυξημένη πρόσληψη στερεών έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του φυτικού ιστού της πατάτας με τα συστατικά του ωσμωτικού διαλύματος, επομένως μελετήθηκε η επίδραση προσθήκης παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη) στη διεργασία ΥΠ και ωσμωτικής αφυδάτωσης. Ακολουθώντας και σε αυτήν την περίπτωση, την ίδια διαδικασία με το δεύτερο μέρος της εργασίας (εμβάπτιση σε διάλυμα 0.025% w/w παπαΐνης για 30 min σε θερμοκρασία 45° C πριν την ώσμωση ή προσθήκη 0.25%w/w ασκορβικό οξύ στο ωσμωτικό διάλυμα), ως κατάλληλος χρόνος επεξεργασίας επιλέχθηκαν τα 120 min ωσμωτικής αφυδάτωσης. Σε αυτόν το χρόνο επεξεργασίας, ο δείκτης αμαύρωσης BI μειώθηκε με την εφαρμογή ΥΠ κατά 12% στην περίπτωση του ασκορβικού οξέος και κατά 14% στην περίπτωση της παπαΐνης, σε σχέση με τα ανεπεξέργαστα με ΥΠ δείγματα τα οποία είχαν ωσμο-αφυδατωθεί με τους αντίστοιχους παρεμποδιστές. Συνεπώς, η μεγαλύτερη πρόσληψη στερεών που επετεύχθη με την ΥΠ, είχε επίδραση στην ποσότητα παρεμποδιστών που προσλήφθηκαν από τα δείγματα πατάτας, αποτέλεσμα που αποτυπώθηκε και στο χρώμα του τελικού προϊόντος κατά την αποθήκευση υπό ψύξη. Ομοίως με τον προσδιορισμό των συντελεστών διάχυσης στην περίπτωση των ΠΗΠ, η μαθηματική περιγραφή των πειραματικών δεδομένων για τη μεταφορά νερού και στερεών μέσω του 2^{ου} νόμου του Fick, δεν αποτύπωσε με ακρίβεια τη διαφορά στα φαινόμενα διάχυσης

με και χωρίς ΥΠ, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω των παραδοχών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι τιμές των συντελεστών που υπολογίστηκαν για τα ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα πατάτας με παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη) και με προ-κατεργασία με ΥΠ με 400 MPa είναι οι εξής: $Des=1.7 \cdot 10^{-10} - 1.9 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ και $Dew=1.8 \cdot 10^{-10} - 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, όπου Des είναι ο συντελεστής πρόσληψης στερεών και Dew είναι ο συντελεστής διάχυσης νερού.

Στο πέμπτο και τελευταίο μέρος της παρούσας εργασίας, μελετήθηκε η διατηρησιμότητα των ανεπεξέργαστων, ωσμω-αφυδατωμένων και ωσμω-αφυδατωμένων με προ-επεξεργασία με ΠΗΠ ή ΥΠ δειγμάτων πατάτας, ως προς τη μεταβολή του χρώματος και την μικροβιακή ανάπτυξη σε θερμοκρασία αποθήκευσης 4°C. Οι ανεπεξέργαστες πατάτες μετά τις 2 ημέρες αποθήκευσης, εμφανίζουν κατά μήκος του ιστού τους κάποια μαύρα σημεία τα οποία γίνονται πιο σκούρα με την πάροδο του χρόνου. Ο συνδυασμός της ΥΠ ή των ΠΗΠ με την ωσμωτική αφυδάτωση παρουσία παρεμποδιστή (ασκορβικό οξύ, παπαΐνη) και χρόνο επεξεργασίας 120 min, κρίθηκε ως η καταλληλότερη μέθοδος ανάσχεσης του ενζυμικού μαυρίσματος καθώς επιτεύχθηκαν οι χαμηλότερες τιμές δείκτη BI. Δηλαδή, η εφαρμογή των δύο μη-θερμικών τεχνολογιών, ενίσχυσε τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας, αυξάνοντας τη ποσότητα παρεμποδιστή που προσλαμβάνουν τα δείγματα πατάτας, βελτιώνοντας τελικά το χρώμα τους. Τα δείγματα για τα οποία καταγράφηκαν οι μικρότερες τιμές δείκτη BI, δηλαδή όσα επεξεργάστηκαν με ΠΗΠ και ασκορβικό οξύ ή ΥΠ και είτε ασκορβικό οξύ είτε παπαΐνη, έχουν ανοιχτό χρώμα έως και τις 6 ημέρες αποθήκευσης. Ενδεικτικά, την 6^η ημέρα αποθήκευσης των δειγμάτων, για τις ωσμω-αφυδατωμένες πατάτες με προ-επεξεργασία ΥΠ και ασκορβικό οξύ ή παπαΐνη ο δείκτης BI είναι ίσος με 12.81 και 13.51 αντίστοιχα (BI=19.18 των ανεπεξέργαστων δειγμάτων). Αντίστοιχα, η προ-επεξεργασία ΠΗΠ σε ωσμω-αφυδατωμένα δείγματα με ασκορβικό οξύ, μείωσε τον δείκτη BI κατά 41% σε σχέση με τις ανεπεξέργαστες πατάτες (BI=19.18 των ανεπεξέργαστων, BI=11.27 των ωσμω-αφυδατωμένων με ασκορβικό οξύ και προ-επεξεργασία ΠΗΠ).

Τέλος, η μελέτη της διατηρησιμότητας των δειγμάτων ολοκληρώθηκε με τον έλεγχο της μικροβιακής ανάπτυξης και την μεταβολή του pH των δειγμάτων πατάτας. Όσον αφορά επεξεργασμένα δείγματα τόσο με ωσμωτική αφυδάτωση, όσο και ο συνδυασμός αυτής με ΠΗΠ

ή ΥΠ, δεν ανιχνεύθηκε μικροβιακό φορτίο (ολική μικροβιακή χλωρίδα, ζύμες/μύκητες) στο διάστημα 6 ημερών αποθήκευσης στους 4°C. Αντίθετα, στα ανεπεξέργαστα δείγματα σημειώθηκε ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας και ζυμομυκήτων μετά τις 2 ημέρες αποθήκευσης. Ο ρυθμός ανάπτυξης υπολογίστηκε από τη μαθηματική περιγραφή των δεδομένων μέσω του μοντέλου Baranyi και ήταν ίσος με 0.569 d⁻¹ για την ολική μικροβιακή χλωρίδα και 0.390 d⁻¹ για τους ζυμομύκητες. Η μεταβολή του pH ακολούθησε την τάση της μικροβιακής ανάπτυξης, δηλαδή στα ανεπεξέργαστα δείγματα το pH μεταβάλλεται αυξητικά (από αρχική τιμή 5.86 σε τελική 6.34), ενώ στα ωσμο-αφυδατωμένα δείγματα με ή χωρίς προ-επεξεργασία ΠΗΠ και ΥΠ, το pH παρέμεινε σταθερό, όπως και το μικροβιακό φορτίο των δειγμάτων αυτών.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η συνδυαστική εφαρμογή της ωσμωτικής αφυδάτωσης με χρήση κατάλληλων ΡΡΟ παρεμποδιστών τεμαχισμένων δειγμάτων πατάτας τόσο με τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία όσο και με την υπερυψηλή πίεση, αποτελεί μέθοδο ανάσχεσης της ενζυμικής αμαύρωσης και αύξησης της διατηρησιμότητας τους σε συνθήκες ψύξης. Η μη-θερμικές τεχνολογίες ενίσχυσαν τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας στερεών με αποτέλεσμα την καλύτερη ενσωμάτωση των παρεμποδιστών στις πατάτες και ανέστειλαν τη μικροβιακή ανάπτυξη. Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, οι πατάτες Νάξου ανήκουν στα προϊόντα Προστατευόμενης Γεωγραφικής Ένδειξης (Π.Γ.Ε) και ξεχωρίζουν στην ελληνική αγορά, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Με την εφαρμογή ωσμωτικής αφυδάτωσης με παρεμποδιστές (ασκορβικό οξύ/παπαΐνη) και προ-επεξεργασία με ΥΠ ή ΠΗΠ, μπορούν να αυξηθούν οι εξαγωγές τους από το νησί της Νάξου σε μακρινούς προορισμούς, εφόσον οι τεμαχισμένες πατάτες μετά την επεξεργασία διατηρούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους (χρώμα, υφή, θρεπτικά συστατικά) και είναι ασφαλείς προς κατανάλωση έως και 6 ημέρες σε θερμοκρασία ψύξης 4°C.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία *προτείνονται* τα ακόλουθα:

- Μελέτη της φυσικοχημικής συμπεριφοράς (όπως πρόσληψη ελαίου κατά το τηγάνισμα) και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των ωσμο-αφυδατωμένων (όπως γεύση,

υφή, μετάγευση, συνολική οργανοληπτική αποδοχή) με προ-επεξεργασία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ή υπερυψηλής πίεσης μετά τη μαγειρική αξιοποίηση τους (όπως τηγάνισμα), σε σύγκριση με τις ανεπεξέργαστες πατάτες.

- Ακριβής προσδιορισμός ποσότητας παρεμποδιστή της PPO και των συστατικών του ωσμωτικού διαλύματος (γλυκερόλης) που προσέλαβαν τα δείγματα μετά την ωσμωτική αφυδάτωση με ή χωρίς προ-επεξεργασία, μέσω ενόργανων μεθόδων
- Μελέτη προσθήκης εναλλακτικών παρεμποδιστών της PPO στο ωσμωτικό διάλυμα, όπως προϊόντα της αντίδρασης Maillard, φυσικά εκχυλίσματα όπως από πράσινο τσάι, σκόρδο, καθώς και συνδυασμός τους
- Μελέτη αξιοποίησης και επαναχρησιμοποίησης του ωσμωτικού διαλύματος και ανάλυση κύκλου ζωής (LCA) της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης στη βιομηχανία φρούτων και λαχανικών
- Εκτίμηση του κόστους της συνολικής διεργασίας (ΠΗΠ και ωσμωτική αφυδάτωση, ΥΠ και ωσμωτική αφυδάτωση)

Βιβλιογραφία

- Ade-Omowaye, B. I. O., Rastogi, N. K., Angersbach, A., & Knorr, D. (2002). Osmotic dehydration of bell peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. *Journal of Food Engineering*, 54(1), 35–43. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00183-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00183-2)
- Adeyeye, S. A. O., Ashaolu, T. J., & Babu, A. S. (2022). Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*, Of. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2537>
- Agarry, S. E., & Yusuf, R. O. (2008). *Mass transfer in osmotic dehydration of potato: A mathematical model approach. Dynamics of Aerosols emitted from Household products View project Fates of selected organic and inorganic pollutants in the environment View project*. <https://www.researchgate.net/publication/333173123>
- Ahmad, F., Mohammad, Z., Zaidi, S., & Ibrahim, S. A. (2023). A comprehensive review on the application of ultrasound for the preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Process Engineering*.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N., & Moayedi, F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 4(1), 42–57. <https://doi.org/10.12692/ijb/4.1.42-57>
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A. B., & Vorobiev, E. (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 26(1), 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.10.002>
- Amaral, R. D. A., Benedetti, B. C., Pujola, M., Achaerandio, I., & Bachelli, M. L. B. (2015). Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage. *Food Engineering Reviews*, 7(2), 176–184. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9091-x>
- Amin, M., Sternberg, G., Vallejo, L., Maxey, R., Wong, W. H., & Daily, Z. (2020). *Sodium Chloride Is a Competitive Inhibitor of Polyphenol Oxidase*.
- Arevalo, P., Ngadi, M. O., Bazhal, M. I., & Raghavan, G. S. V. (2004). Impact of Pulsed Electric Fields on the Dehydration and Physical Properties of Apple and Potato Slices. *Drying Technology*, 22(5), 1233–1246. <https://doi.org/10.1081/DRT-120038589>
- Arias, E., González, J., Oria, R., & Lopez-Buesa, P. (2007). Ascorbic Acid and 4-Hexylresorcinol Effects on Pear PPO and PPO Catalyzed Browning Reaction. *Journal of Food Science*, 72(8), C422–C429. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00484.x>

- Arlette A. N'Guessan, Olivier K. Kouadio, & Jean T. Gonnety. (2018). Effect of Chemical and Thermal Treatments on Browning Inhibition of Senescent Plantain (*Musa paradisiaca*) Puree for Semolinas Preparation. *American Journal of Biochemistry*, 75–84.
- Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H. S., & Beristain, C. I. (1992). Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. *International Journal of Food Science & Technology*, 27(4), 409–418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x>
- Balasubramaniam, V. M. B., Martínez-Monteagudo, S. I., & Gupta, R. (2015). Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. In *Annual Review of Food Science and Technology* (Vol. 6, pp. 435–462). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015539>
- Balasubramaniam, V. M., & Farkas, D. (2008). High-pressure Food Processing. *Food Science and Technology International*, 14(5), 413–418. <https://doi.org/10.1177/1082013208098812>
- Balasubramaniam, V. M., Gustavo, V., Barbosa-Canovas, & Levievel, H. L. m. (2016). *High Pressure Processing of Food. Food Engineering Series*.
- Balny, C., & Masson, P. (1993). Effects of High Pressure on Proteins. *Food Reviews Internationa*, 9, 611–628.
- Baranyi, J., & Roberts, T. A. (1994). A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International Journal of Food Microbiology*, 23(3–4), 277–294. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)90157-0)
- Barbosa-Canovas, G. V., Gongora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., & Swanson, B. G. (1999). Design of PEF Processing Equipment. In *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields* (pp. 20–26).
- Bisswanger, H. (2014). Enzyme assays. *Perspectives in Science*, 1(1–6), 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2014.02.005>
- Biswas, S., & Barma, S. (2020). A large-scale optical microscopy image dataset of potato tuber for deep learning based plant cell assessment. *Scientific Data*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00706-9>
- Bouchon, P. B., & Pyle, D. L. (2006). Studying Oil Absorption in Restructured Potato Chips. *Journal of Food Science*, 69(3), 115–122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13363.x>
- Buera, M. D. P., Chirife, J., Resnik, S. L., & Wetzler, G. (1987). Nonenzymatic browning in liquid model systems of high water activity: kinetics of color changes due to Maillard's reaction between different single sugars and glycine and comparison with caramelization browning. *Journal of Food Science*, 52(4), 1063–1067.

- Cantos, E., Tudela, J. A., Gil, M. I., & Espín, J. C. (2002). Phenolic Compounds and Related Enzymes Are Not Rate-Limiting in Browning Development of Fresh-Cut Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 3015–3023. <https://doi.org/10.1021/jf0116350>
- Castro, S. M., Saraiva, J. A., Lopes-da-Silva, J. A., Delgadillo, I., Loey, A. Van, Smout, C., & Hendrickx, M. (2008). Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 107(4), 1436–1449. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.074>
- Chakraborty, S., Kaushik, N., Rao, P. S., & Mishra, H. N. (2014). High-pressure inactivation of enzymes: A review on its recent applications on fruit purees and juices. In *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* (Vol. 13, Issue 4, pp. 578–596). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12071>
- Chavan, U. D., & Amarowicz, R. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2). <https://doi.org/10.5539/jfr.v1n2p202>
- Chawla, R., Patil, G. R., & Singh, A. K. (2011). High hydrostatic pressure technology in dairy processing: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 260–268.
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (1st ed.). Oxford University Press.
- de la Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523–e527. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2006.05.181>
- Dermesonlouoglou, E. K., Pantelaiaki, K., Andreou, V., Katsaros, G. J., & Taoukis, P. S. (2019). Osmotic pretreatment for the production of novel dehydrated tomatoes and cucumbers. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(7). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13968>
- Dermesonlouoglou, E., Zachariou, I., Andreou, V., & Taoukis, P. S. (2016). Effect of pulsed electric fields on mass transfer and quality of osmotically dehydrated kiwifruit. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 535–544.
- Dilbaghi, N., & Sharma, S. (2007). *Dilbaghi, N., & Sharma, S. (2007). Food spoilage, food infections and intoxications caused by microorganisms and methods for their detection.*
- Dong, T., Cao, Y., Li, G., Zhu, Z., Zhang, S., Jiang, C. Z., & Wang, Q. (2021). A novel aspartic protease inhibitor inhibits the enzymatic browning of potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111353>

- Dourado, C., Pinto, C., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Delgadillo, I., & Saraiva, J. A. (2019). Innovative non-thermal technologies affecting potato tuber and fried potato quality. *Trends in Food Science & Technology*, *88*, 274–289. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.015>
- Dr. Siemer, C., Dr. Töpf, S., Witt, J., & Ostermeier, R. (2018). *Use of Pulsed Electric Fields (PEF) in the Food Industry*.
- Eren, İ., & Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, *79*(1), 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.069>
- Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato - a review. *Food Research International*, *50*(2), 487–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.025>
- Fan, K., Wu, J., & Chen, L. (2021). Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *80*, 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105838>
- FANG, C., WANG, C., XIONG, Y. L., & POMPER, K. W. (2007). Extraction and characterization of Polyphenol Oxidase in pawpaw (*Asimina Triloba*) fruit. *Journal of Food Biochemistry*, *31*(5), 603–620. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00133.x>
- Fauster, T., Ostermeier, R., Scheibelberger, R., & Jäger, H. (2020). Pulsed Electric Field (PEF) Application in the Potato Industry. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 253–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00013-5>
- Gacche, R. N., Shete, A. M., Dhole, N. A., & Ghole, S. (2006). Reversible inhibition of polyphenol oxidase from apple using L-cysteine. In *Indian Journal of Chemical Technology* (Vol. 13).
- Glagoleva, A. Y., Shoeva, O. Y., & Khlestkina, E. K. (2020). Melanin Pigment in Plants: Current Knowledge and Future Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00770>
- González, M. N., Massa, G. A., Andersson, M., Turesson, H., Olsson, N., Fält, A. S., Storani, L., Décima Oneto, C. A., Hofvander, P., & Feingold, S. E. (2020). Reduced Enzymatic Browning in Potato Tubers by Specific Editing of a Polyphenol Oxidase Gene via Ribonucleoprotein Complexes Delivery of the CRISPR/Cas9 System. *Frontiers in Plant Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01649>
- González-Cebrino, F., García-Parra, J., Contador, R., Tabla, R., & Ramírez, R. (2012). Effect of High-Pressure Processing and Thermal Treatment on Quality Attributes and Nutritional Compounds of “Songold” Plum Purée. *Journal of Food Science*, *77*(8), C866–C873. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02799.x>

- Goula, A. M., Kokolaki, M., & Daftsiou, E. (2017). Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioprocess Processing*, 105, 157–170. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.008>
- Hawa, L. C., Khoirunnida, F. L., & Sumarlan, S. H. (2020). Drying kinetics and physical changes of osmotically pretreated potato (*Solanum tuberosum* L.) slice. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 475(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/475/1/012007>
- Herson, M. R., Hamilton, K., White, J., Alexander, D., Poniatowski, S., O'Connor, A. J., & Werkmeister, J. A. (2018). Interaction of preservation methods and radiation sterilization in human skin processing, with particular insight on the impact of the final water content and collagen disruption. Part I: process validation, water activity and collagen changes in tissues cryopreserved or processed using 50, 85 or 98% glycerol solutions. *Cell and Tissue Banking*, 19(2), 215–227. <https://doi.org/10.1007/s10561-018-9694-1>
- Hidangmayum, K. S., Swami Hulle, N. R., & Rao, P. S. (2023). Effect of high pressure pretreatment on the drying characteristics of the beetroot (*Beta vulgaris*) cubes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100493. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100493>
- Hirschler, R. (2012). Whiteness, Yellowness, and Browning in Food Colorimetry: A Critical Review. In JL Caivano & Buera MP EE (Eds.), *Color in Food: Technological and Psychophysical Aspects* (1st ed., pp. 93–104).
- Huang, Z., Zhou, Q., Wu, W., Wan, J., & Jiang, A. (2019). Thermal kinetics of enzyme inactivation, color changes, and allicin degradation of garlic under blanching treatments. *Journal of Food Process Engineering*, 42(3), e12991. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12991>
- Inyang, U., Etuk, B. R., Oboh, I., & Etuk, B. (2017). of Food Nutrition and Safety Drying and the Different Techniques Environmental View project Production of ethanol from corn starch using different yeast. View project International Journal of Food Nutrition and Safety, 2017, 8(1): 45-72 International Journal of Food Nutrition and Safety Drying and the Different Techniques. In *International Journal of Food Nutrition and Safety* (Vol. 8, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/356187901>
- Janositz, A., Noack, A.-K., & Knorr, D. (2011). Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1939–1945.
- Jay, J. M., & Loessner, M. J. (2005). Microbiological analysis of foods. In *Modern Food Microbiology* (7th ed.). Springer.

- Jukanti, A. (2017). Physicochemical Properties of Polyphenol Oxidases. In *Polyphenol Oxidases (PPOs) in Plants* (pp. 33–56). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5747-2_3
- Kempkes, M., & Munderville, M. (2017). PULSED ELECTRIC FIELDS (PEF) PROCESSING OF FRUIT AND VEGETABLES . *2017 IEEE 21st International Conference on Pulsed Power (PPC)*.
- Khin, M. M., Zhou, W., & Perera, C. O. (2006). A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 77(1), 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.050>
- Laurila, E., Kervinen, R., & Ahvenainen, R. (1998). The inhibition of enzymatic browning in minimally processed vegetables and fruits. *Postharvest News and Information* , 9, 53N-66N.
- Leadley, C. E., & William, A. (2006). Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies. In J. G. Brennan (Ed.), *Food Processing Handbook* (2nd ed., pp. 201–231). WILEY – VCH.
- Lebovka, N. I., Shynkaryk, N. V., & Vorobiev, E. (2007). Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 606–613. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.032>
- Leizeron, S., & Shimoni, E. (2005). Effect of ultrahigh-temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(9), 3519–3524. <https://doi.org/10.1021/jf0481204>
- Li, L., Wu, M., Zhao, M., Guo, M., & Liu, H. (2018). Enzymatic properties on browning of fresh-cut potato. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 397(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/397/1/012116>
- Lindley, M. G. (1998). The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 9(8–9), 336–340. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00050-8)
- Marques Silva, F. V., & Sulaiman, A. (2019). Polyphenoloxidase in Fruit and Vegetables: Inactivation by Thermal and Non-thermal Processes. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 287–301). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21636-3>
- Mebatsion, H. K., Verboven, P., Ho, Q. T., Verlinden, B. E., & Nicolai, B. M. (2008). Modelling fruit (micro)structures, why and how? *Trends in Food Science & Technology*, 19(2), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.10.003>
- Miano, A. C., Ibarz, A., & Augusto, P. E. D. (2016). Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 413–419. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.10.020>

- Mohamed, M. E. A., & Eissa, A. H. A. (2012). Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology. In *Structure and Function of Food Engineering*. InTech. <https://doi.org/10.5772/48678>
- Molina-Gutierrez, A., Stippl, V., Delgado, A., Ganzle, M. G., & Vogel, R. F. (2002). In Situ Determination of the Intracellular pH of *Lactococcus lactis* and *Lactobacillus plantarum* during Pressure Treatment. *Applied and Environmental Microbiology*, *68*, 4399–4406.
- Moon, K. M., Kwon, E. Bin, Lee, B., & Kim, C. Y. (2020). Recent Trends in Controlling the Enzymatic Browning of Fruit and Vegetable Products. In *Molecules* (Vol. 25, Issue 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>
- Moreira, R. G., Da Silva, P. F., & Zheng, T. (2021). Calcium chloride impregnation of potato slices using ultrasound to reduce oil absorption during frying. *Journal of Food Process Engineering*, *44*(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13578>
- MUKHERJEE, S., BANDYOPADHAYAY, B., BASAK, B., MANDAL, N., DEY, A., & MONDAL, B. (2012). An Improved Method of Optimizing the Extraction of Polyphenol Oxidase from Potato (*Solanum tuberosum* L.) Peel. *Notulae Scientia Biologicae*, *4*(1), 98–107. <https://doi.org/10.15835/nsb417186>
- Mukherjee, S., Bandyopadhyay, B., Basak, B., Mandal, N., Dey, A., & Mondal, B. (2012). An Improved Method of Optimizing the Extraction of Polyphenol Oxidase from Potato (*Solanum tuberosum* L.) Peel. *Notulae Scientia Biologicae*, *4*(1), 98–107. <https://doi.org/10.15835/nsb417186>
- Naeem, M., Maqbool, A., & Aksoy, E. (2023). Potato taxonomy and wild relatives. In *Potato Production Worldwide* (pp. 19–55). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822925-5.00003-7>
- Nguyen Van Long, N., Rigalma, K., Coroller, L., Dadure, R., Debaets, S., Mounier, J., & Vasseur, V. (2017). Modelling the effect of water activity reduction by sodium chloride or glycerol on conidial germination and radial growth of filamentous fungi encountered in dairy foods. *Food Microbiology*, *68*, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.06.014>
- Nirmal, N. P., Benjakul, S., Ahmad, M., Arfat, Y. A., & Panichayupakaranant, P. (2015). Undesirable Enzymatic Browning in Crustaceans: Causative Effects and Its Inhibition by Phenolic Compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *55*(14), 1992–2003. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.755148>
- Ochoa-Martínez, C. I., & Ayala-Aponte, A. A. (2007). Prediction of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of apples using neural networks. *LWT - Food Science and Technology*, *40*(4), 638–645. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.03.013>

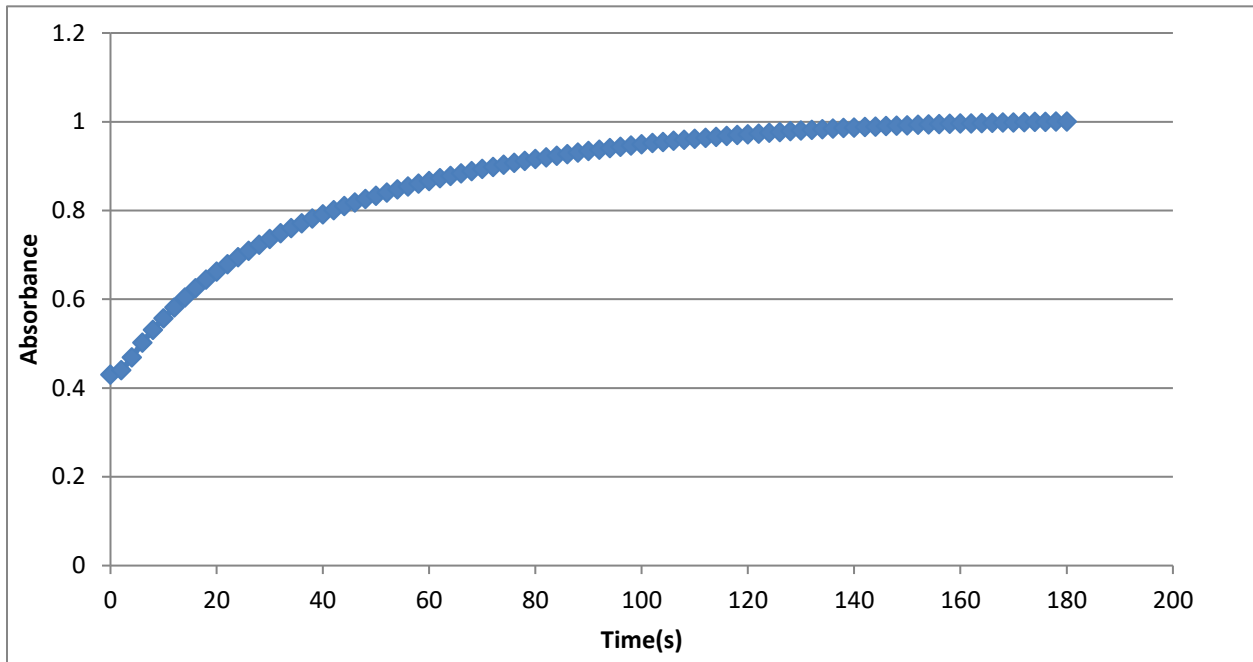
- Ohlsson, T., & Bengtsson, N. (2002). Minimal processing of foods with non-thermal methods. In *Minimal Processing Technologies in the Food Industries* (pp. 34–60). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781855736795.24>
- Okonkwo, C. E., Moses, O. I., Nwonuma, C., Abiola, T., Benjamin, B. O., Folorunsho, J. O., Olaniran, A. F., & Pan, Z. (2022). Infrared and Microwave as a dry blanching tool for Irish potato: Product quality, cell integrity, and artificial neural networks (ANNs) modeling of enzyme inactivation kinetic. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103010>
- Osae, R., Essilfie, G., Alolga, R. N., Akaba, S., Song, X., Owusu-Ansah, P., & Zhou, C. (2020). Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(6), 2585–2599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10284>
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. In *International Food Research Journal* (Vol. 19, Issue 1).
- Puértolas, E., Luengo, E., Álvarez, I., & Raso, J. (2012). Improving Mass Transfer to Soften Tissues by Pulsed Electric Fields: Fundamentals and Applications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3(1), 263–282. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101208>
- Queiroz, C., Mendes Lopes, M. L., Fialho, E., & Valente-Mesquita, V. L. (2008). Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control. *Food Reviews International*, 24(4), 361–375. <https://doi.org/10.1080/87559120802089332>
- Ramya, V., & Jain, N. K. (2017). A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach. In *Journal of Food Process Engineering* (Vol. 40, Issue 3). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12440>
- Ranjha, M. M. A. N., Kanwal, R., Shafique, B., Arshad, R. N., Irfan, S., Kieliszek, M., Kowalczewski, P. Ł., Irfan, M., Khalid, M. Z., Roobab, U., & Aadil, R. M. (2021). A critical review on pulsed electric field: A novel technology for the extraction of phytoconstituents. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26164893>
- Rashid, M. H., Khan, M. R., Roobab, U., Rajoka, M. S. R., Inam-ur-Raheem, M., Anwar, R., Ahmed, W., Jahan, M., Ijaz, M. R. A., Asghar, M. M., Shabbir, M. A., & Aadil, R. M. (2021). Enhancing the shelf stability of fresh-cut potatoes via chemical and nonthermal treatments. In *Journal of Food Processing and Preservation* (Vol. 45, Issue 6). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15582>
- Raso, J., Frey, W., Ferrari, G., Pataro, G., Knorr, D., Teissie, J., & Miklavčič, D. (2016). Recommendations guidelines on the key information to be reported in studies of application of PEF technology in food

- and biotechnological processes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 312–321.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.003>
- Rastogi, N. K. (2012). Recent trends and developments in infrared heating in food processing. In *Critical reviews in food science and nutrition* (Vol. 52, Issue 9, pp. 737–760).
<https://doi.org/10.1080/10408398.2010.508138>
- Rastogi, N. K., Angersbach, A., & Knorr, D. (2000). Synergistic effect of high hydrostatic pressure pretreatment and osmotic stress on mass transfer during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 45(1), 25–31. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00037-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00037-6)
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 48–59.
- Rendueles, E., Omer, M. K., Alvseike, O., Alonso-Calleja, C., Capita, R., & Prieto, M. (2011). Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT - Food Science and Technology*, 44(5), 1251–1260. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.001>
- Sabarre, D. C., & Yagonia-Lobarbio, C. F. (2021). Extraction and characterization of polyphenol oxidase from plant materials: A review. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 8(2), 83–95.
<https://doi.org/10.30491/jabr.2021.255549.1308>
- Saulis, G. (2010). Electroporation of cell membranes: The fundamental effects of pulsed electric fields in food processing. *Food Engineering Reviews*, 2(2), 52–73. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9023-3>
- Shahriar, S. (2014). Effect of Anti Browning Agents on Partial Purified Polyphenol Oxidase of Hawthorn(*Crataegus* Spp. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(8), 2472–2482.
- Sharma, R. C., Joshi, V. K., Chopra, S. K., & Lal, B. B. (1991). Application of osmosis-osmocanning of apple rings. *Journal of Food Science and Technology*, 28, 86–88.
- Singh, B., Suri, K., Shevkani, K., Kaur, A., Kaur, A., & Singh, N. (2018). Enzymatic Browning of Fruit and Vegetables: A Review. In *Enzymes in Food Technology* (pp. 63–78). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-1933-4_4
- Singh, J., & Kaur, L. (2016). *Advances in Potato Chemistry and Technology* (2nd ed.). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2013-0-13578-7>
- Taoukis, P., Labuza, T., Lin, S., & Lillemo, J. (1989). Inhibition of enzymatic browning. *Patent WO 89/11227*.

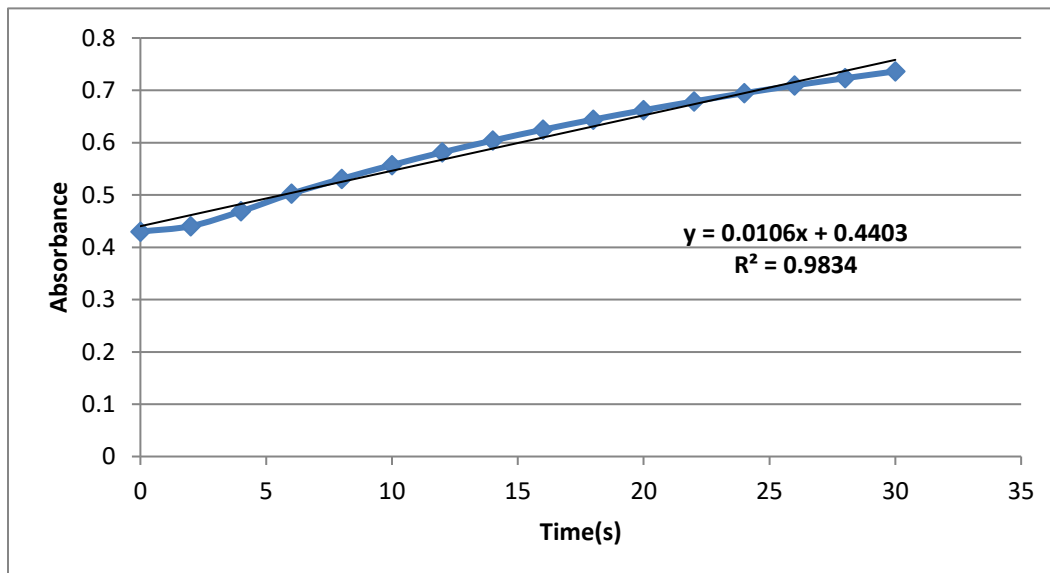
- Thygesen, P. W., Dry, L. B., & Robinson, S. P. (1995). Polyphenol Oxidase in Potato' A Multigene Family That Exhibits Differential Expression Patterns. In *Plant Physiol* (Vol. 109). <https://academic.oup.com/plphys/article/109/2/525/6069929>
- Toepfl, S., Siemer, C., Saldaña-Navarro, G., & Heinz, V. (2014). Overview of Pulsed Electric Fields Processing for Food. In *Emerging Technologies for Food Processing* (pp. 93–114). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00006-1>
- Töpfl, S. (2006). *Pulsed Electric Fields (PEF) for Permeabilization of Cell Membranes in Food-and Bioprocessing-Applications, Process and Equipment Design and Cost Analysis*.
- Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4(6), 303–324. <http://www.academicjournals.org/ajfs>
- Tortoe, C., Orchard, J., & Beezer, A. (2007). Prevention of enzymatic browning of apple cylinders using different solutions. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(12), 1475–1481. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01367.x>
- Toshniwal, U. and K. S. R. (2013). A Review Paper on Solar Dryer. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3, 896–902.
- Tsikrika, K., Walsh, D., Joseph, A., Burgess, C. M., & Rai, D. K. (2021). High-pressure processing and ultrasonication of minimally processed potatoes: Effect on the colour, microbial counts, and bioactive compounds. *Molecules*, 26(9). <https://doi.org/10.3390/molecules26092614>
- Tylewicz, U., Tappi, S., Mannozi, C., Romani, S., Dellarosa, N., Laghi, L., Ragni, L., Rocculi, P., & Dalla Rosa, M. (2017). Effect of pulsed electric field (PEF) pre-treatment coupled with osmotic dehydration on physico-chemical characteristics of organic strawberries. *Journal of Food Engineering*, 213, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.028>
- Udomkun, P., Mahayothee, B., Nagle, M., & Müller, J. (2014). Effects of calcium chloride and calcium lactate applications with osmotic pretreatment on physicochemical aspects and consumer acceptances of dried papaya. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1122–1131. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12408>
- Van Buggenhout, S., Messagie, I., Van der Plancken, I., & Hendrickx, M. (2006). Influence of high-pressure-low-temperature treatments on fruit and vegetable quality related enzymes. *European Food Research and Technology*, 223, 475–485.
- Xiao, H. W., Bai, J. W., Sun, D. W., & Gao, Z. J. (2014). The application of superheated steam impingement blanching (SSIB) in agricultural products processing - A review. *Journal of Food Engineering*, 132, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.01.032>

- Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao, Z. J., & Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. In *Information Processing in Agriculture* (Vol. 4, Issue 2, pp. 101–127). China Agricultural University. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>
- Yao, Y., Zhang, W., & Liu, S. (2009). Feasibility study on power ultrasound for regeneration of silica gel—A potential desiccant used in air-conditioning system. *Applied Energy*, 86(11), 2394–2400. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.001>
- Yoruk, R., & Marshall, M. R. (2003). *PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND FUNCTION OF PLANT POLYPHENOL OXIDASE: A REVIEW*.
- Zhang, Q. H., Barbosa-Cánovas, G. V., & Swanson, B. G. (1995). Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 261–281.
- Zhang, W.-P., Yang, X.-H., Mujumdar, A. S., Ju, H.-Y., & Xiao, H.-W. (2022). The influence mechanism and control strategy of relative humidity on hot air drying of fruits and vegetables: a review. *Drying Technology*, 40(11), 2217–2234. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1943669>
- Αλεξανδράκης, Ζ. (2015). *Μελέτη βιοχημικών, καταλυτικών και δομικών μεταβολών φυτικών ενζύμων σε συνθήκες υπερυψηλής πίεσης* [Διδακτορική Διατριβή]. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΚ) αριθ. 510/2006 ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ «ΠΑΤΑΤΑ ΝΑΞΟΥ» (PATATA NAXOU), Pub. L. No. EK: EL-PGI-0005-0708-27.06.2008 (2011).
- Λάζος, Ε. Σ., & Λάζου, Α. Ε. (2016). *Επεξεργασία Τροφίμων 2, Διεργασίες συντηρήσεως με φυσικοχημικές, βιολογικές, νέες & αναδυόμενες τεχνολογίες*. Εκδόσεις Παπαζήση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Διάγραμμα Π1. Απορρόφηση συναρτήσει του χρόνου. Φωτομέτρηση στα 420 nm ενζυμικού εκχυλίσματος ΡΡΟ και ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικού νατρίου 0.05 Μ που περιέχει κατεχόλη 0.07 Μ



Διάγραμμα Π2. Γραμμικό κομμάτι μέτρησης απορρόφησης συναρτήσει του χρόνου. Φωτομέτρηση στα 420 nm ενζυμικού εκχυλίσματος ΡΡΟ και ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικού νατρίου 0.05 Μ που περιέχει κατεχόλη 0.07 Μ