



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗΝ
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΤΟΙΜΩΝ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ ΜΑΓΙΟΝΕΖΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΠΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ ANNA

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΤΑΟΥΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2016

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015 – 2016, με θέμα την επίδραση της διεργασίας Υπερυψηλής Πίεσης στην ποιότητα και τη διατηρησιμότητα έτοιμων προς κατανάλωση προϊόντων με βάση γαλακτώματα μαγιονέζας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή κο. Πέτρο Ταούκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στην ομάδα του και για την επιστημονική καθοδήγηση, που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τους διδάκτορες Φανή Τσιρώνη και Γιώργο Κατσαρό, για τη συνεργασία, την πολύτιμη καθοδήγησή, τις χρήσιμες συμβουλές για την πειραματική εργασία, αλλά και την άμεση υποστήριξή τους σε κάθε επίπεδο, συμβάλλοντας ιδιαίτερος στην ομαλή εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, για την άριστη συνεργασία και το φιλικό περιβάλλον που δημιούργησαν σε όλη την περίοδο παραμονής μου στο εργαστήριο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κα. Αγγελική Μουτσάτσου και τη διδάκτορα κα. Αλεξάνδρα Καραμπέρη για την άμεση βοήθεια και για το ενδιαφέρον που έδειξαν για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους και την οικογένεια μου που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και με ενθάρρυναν να συνεχίσω.

Περίληψη

Οι έτοιμες αλλοιφώδεις σαλάτες ανήκουν στην κατηγορία έτοιμων προς κατανάλωση τροφίμων και δεν απαιτούν περαιτέρω προετοιμασία ή μαγείρεμα. Ανάλογα με το είδος τους, αποτελούνται κυρίως από ολόκληρα ή τεμαχισμένα λαχανικά (ωμά ή μαγειρεμένα), προϊόντα ζωικής προέλευσης (τυρί, αβγά, γιαούρτι, τεμάχια προϊόντων κρέατος ή θαλασσινών κ.ά.) και διάφορες έτοιμες σάλτσες (μαγιονέζα). Η φύση των προϊόντων αυτών χαρακτηρίζεται ως ευαλλοίωτη, λόγω της μεγάλης ποικιλίας συστατικών που περιέχουν και της μη επιβολής του τελικού προϊόντος σε θερμική επεξεργασία.

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παραγωγή έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με βελτιωμένη διατηρησιμότητα, χωρίς τη χρήση πρόσθετων συντηρητικών, μέσω της τεχνολογίας Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ). Οι συνθήκες επεξεργασίας που εφαρμόστηκαν ήταν 600 MPa για 5 min. Μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης (0, 5 και 10 °C) στη διατηρησιμότητα των προϊόντων σε συνθήκες ψύξης και εξετάστηκε η επίδραση της ΥΠ στη δομή της μαγιονέζας (μέγεθος λιποσφαιρίων) για τη βελτιστοποίηση της υφής του τελικού προϊόντος. Οι παράγοντες ποιότητας που μελετήθηκαν είναι η μικροβιακή ανάπτυξη, το pH και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (χρώμα, υφή στο κουτάλι, οσμή, γεύση, συνολική εντύπωση).

Πραγματοποιήθηκαν μικροβιολογικές αναλύσεις σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα σε 2 σειρές δειγμάτων: με προσθήκη και απουσία συντηρητικού, σορβικού καλίου.

Τα δείγματα με συντηρητικό, επεξεργασμένα και μη με ΥΠ δεν παρουσίασαν μικροβιακή αλλοίωση στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Το pH των δειγμάτων παρέμεινε σε αποδεκτά επίπεδα για ικανοποιητικό διάστημα συντήρησης και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης. Οι ενέργειες ενεργοποίησης (E_A) που υπολογίστηκαν για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό κυμαίνονται στο εύρος τιμών 29.8 – 86.8 kJ/mol και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C, στο εύρος τιμών 0.002 – 0.028 d⁻¹. Η διάρκεια ζωής για τα δείγματα με συντηρητικό όπως υπολογίστηκε βάσει της μεταβολής της συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο ισούται με 189, 131 και 92 d, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C αντίστοιχα. Η διάρκεια ζωής για τα δείγματα με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ ισούται με 194, 145 και 115 d, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C αντίστοιχα.

Τα δείγματα χωρίς συντηρητικό παρουσίασαν ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Η ενέργεια ενεργοποίησης

(E_A) και ο ρυθμός ανάπτυξης k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C για την ολική μικροβιακή χλωρίδα υπολογίστηκε 133.7 kJ/mol και 0.105 d⁻¹ αντίστοιχα. Η διάρκεια ζωής όπως υπολογίστηκε βάσει της μικροβιακής ανάπτυξης ισούται με 86, 30 και 11 d σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C αντίστοιχα. Το pH των δειγμάτων παρέμεινε σε αποδεκτά επίπεδα για ικανοποιητικό διάστημα συντήρησης και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες, όμως στη θερμοκρασία συντήρησης 10 °C παρουσίασε μείωση με το χρόνο συντήρησης. Η βαθμολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων υποβαθμίστηκε με το χρόνο συντήρησης και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Οι ενέργειες ενεργοποίησης (E_A) που υπολογίστηκαν για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό κυμαίνονται στο εύρος τιμών 41.9 – 83.1 kJ/mol και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C, στο εύρος τιμών 0.011 – 0.108 d⁻¹. Η διάρκεια ζωής όπως υπολογίστηκε βάσει της μεταβολής της συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο ισούται με 61, 32 και 18 d σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C αντίστοιχα.

Τα δείγματα χωρίς συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ, δεν παρουσίασαν μικροβιακή αλλοίωση στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Το pH σε αυτή την περίπτωση ήταν υψηλότερο συγκριτικά με τις τιμές των άλλων δειγμάτων και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες, αλλά παρέμεινε σταθερό. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης. Οι ενέργειες ενεργοποίησης (E_A) που υπολογίστηκαν για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό κυμαίνονται στο εύρος τιμών 29.6 – 74.8 kJ/mol και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C, στο εύρος τιμών 0.004 – 0.053 d⁻¹. Η διάρκεια ζωής όπως υπολογίστηκε βάσει της μεταβολής της συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο ισούται με 91, 72 και 57 d σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C αντίστοιχα.

Η εφαρμογή ΥΠ σε 600 MPa για 5 min τροποποίησε την υφή των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα (το προϊόν παρουσίασε πιο συνεκτική υφή). Η μεταβολή αυτή προσεγγίστηκε με τον προσδιορισμό του αριθμού Plummit, την παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και την κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων, σε δείγματα μαγιονέζας (γαλάκτωμα). Τα δείγματα επεξεργάστηκαν με ΥΠ, σε συνθήκες 50 MPa για 1 min, 200 MPa για 1 min και 5 min και 600 MPa για 1 min και 5 min. Ο αριθμός Plummit μειώθηκε από 5.56 σε 3.48, ενώ το μέγεθος των λιποσφαιρίων αυξήθηκε και συγκεκριμένα η μέση διάμετρος Sauter κατ' όγκο ($d_{4,3}$) κυμάνθηκε από 12.61 σε 30.09 μm. Οι μεταβολές αυτές μπορούν να αποδοθούν στην αύξηση του ιξώδους του γαλακτώματος και στη συνένωση των λιποσφαιρίων αντίστοιχα.

Συνεπώς η τεχνολογία της ΥΠ μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς για τη παραγωγή προϊόντων έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με βελτιωμένη διατηρησιμότητα, χωρίς τη χρήση χημικού συντηρητικού.

Effect of High Pressure Processing on quality and shelf life of mayonnaise based ready to eat deli salads

Abstract

Deli-salads are ready-to-eat food products and they do not require further preparation or cooking. Depending on their type, they consist of whole or chopped vegetables (raw or cooked), ingredients of animal origin (cheese, eggs, yogurt, etc) and various sauces (mayonnaise). The nature of these products is characterized as highly perishable due to the wide variety of ingredients.

The aim of this thesis is the production of crabsalad, mayonnaise based with extended shelf – life, without the use of potassium sorbate, through the High Pressure technology (HP). The processing conditions employed were 600 MPa for 5 min. The effect of storage temperature (0, 5 and 10 ° C) on the shelf-life of the products was evaluated and the effect of HP on the structure of mayonnaise was investigated, so as to optimize the texture of the product. The quality factors that were studied are: the microbial growth, pH and organoleptic characteristics (color, texture, smell, odour, overall impression).

Microbiological analyzes were performed on samples of ready-to-eat crabsalad, mayonnaise based in 2 sets of experiments: with and without the addition of chemical preservative, potassium sorbate.

The samples containing preservative, did not exhibit any microbial spoilage at the studied temperatures. The samples containing preservative and were processed with HP, did not exhibit any microbial spoilage at the studied temperatures too. The pH values varied within acceptable levels and the organoleptic characteristics did not change during storage. The activation energies (E_A) varied in the range 29.8 - 86.8 kJ/mol and the degradation rates (k_{ref}) at reference temperature 4 °C varied in the range 0.002 - 0.028 d⁻¹. The shelf – life of the samples based on the overall impression was 189, 131 and 92 d, at storage temperatures 0, 5 and 10 ° C respectively. The shelf – life of the samples containing preservative and treated with HP was equal to 194, 145, and 115 d, under maintenance temperatures 0, 5 and 10 ° C respectively.

The samples without preservative exhibited growth of total microflora at the studied temperatures. The activation energy (E_A) and the degradation rate (k_{ref}) at reference temperature 4 °C was equal to 133.7 kJ/mol and 0.105 d⁻¹ respectively. The shelf – life based on microbial growth was equal to 86, 30 and 11 d at storage temperatures 0, 5

and 10 ° C respectively. The pH values varied within acceptable levels at the studied temperatures, but at the temperature 10 ° C the pH decreased during storage. The organoleptic characteristics of the samples were deteriorated at the three studied temperatures. The activation energies (E_A) varied in the range 41.9 - 83.0 kJ/mol and the degradation rates (k_{ref}) at reference temperature 4 °C varied in the range 0.011 - 0.108 d⁻¹. The shelf – life of the samples, based on the overall impression was 61, 32 and 18 d at storage temperatures of 0, 5 and 10 ° C respectively.

The samples without preservative, processed with HP did not exhibit any microbial spoilage under the studied temperatures. The pH values were higher but stable. The organoleptic characteristics were slightly changed. The activation energies (E_A) varied in the range 29.6 – 74.8 kJ/mol and the degradation rates (k_{ref}) at reference temperature varied in the range 0.004 – 0.053 d⁻¹. The shelf – life of the samples containing preservative, based on the overall was 91, 72 and 57 d, at storage temperatures 0, 5 and 10 ° C respectively.

The application of HP at 600 MPa for 5 min modified the texture of the ready – to – eat mayonnaise based crabsalad (the product showed a more consistent texture). This change was investigated by determining the number Plummit, by oil droplets observation by optical microscopy and by particle size distribution of oil droplets in the mayonnaise samples (emulsion). The samples were treated with HP at 50 MPa for 1 min, 200 MPa for 1 min and 5 min and 600 MPa for 1 min and 5 min. The number Plummit decreased from 5.56 to 3.48 while oil droplets size increased and more specifically the Sauter volume – weighted mean diameter varied in the range 12.61 to 30.09 µm. These changes can be attributed to the increase of the emulsion viscosity and to the coalescence of oil droplets respectively.

The results of the study show the potential of the application of HP for the production of deli-salads mayonnaise based with extended shelf-life without the use of chemical additives.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Γαλακτώματα	11
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Συστατικά γαλακτωμάτων	12
1.2.1 Υδατική φάση	12
1.2.2 Λιπαρή φάση.....	13
1.2.3 Γαλακτωματοποιητές.....	14
1.3 Ιδιότητες γαλακτωμάτων	15
1.3.1 Κλάσμα όγκου φάσης διασποράς	15
1.3.2 Μέγεθος σταγονιδίων	16
1.3.3 Ιδιότητες διεπιφάνειας σταγονιδίων	16
1.3.4 Φορτίο σταγονιδίων.....	17
1.3.5 Αλληλεπιδράσεις σταγονιδίων	18
1.3.6 Φυσική κατάσταση σταγονιδίων.....	18
1.3.7 Ρεολογία γαλακτωμάτων.....	19
1.4 Σταθερότητα γαλακτωμάτων.....	19
1.4.1 Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης.....	19
1.4.2 Θερμοδυναμική σταθερότητα	21
1.4.3 Κινητική σταθερότητα.....	23
Κεφάλαιο 2: Μαγιονέζα.....	27
2.1 Εισαγωγή.....	27
2.2 Σταθερότητα του γαλακτώματος.....	28
2.3 Μικροβιακή σταθερότητα.....	30
2.4 Ρεολογία μαγιονέζας.....	32
2.5 Επίδραση της παραγωγικής διαδικασίας στη ρεολογία της μαγιονέζας	33
2.5.1 Κολλοειδόμυλοι.....	33
2.5.2 Αριθμός Plummit και διαδικασία μέτρησης του στη μαγιονέζα.....	34
Κεφάλαιο 3: Έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα.....	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.2 Μικροβιακή αλλοίωση.....	37
3.2.1 Μικροβιακή ανάπτυξη στη μαγιονέζα και στη βάση σαλάτας.....	37
3.2.2 Μικροβιακή ανάπτυξη σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα.....	39
3.3 Αλλοίωση της υφής στη μαγιονέζα και στη βάση σαλάτας	41

3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα.....	42
3.4.1 Οξύτητα.....	42
3.4.2 Θερμοκρασία συντήρησης.....	43
3.4.3 Ενεργότητα νερού (a_w).....	44
3.4.4 Συντηρητικά τροφίμων.....	44
Κεφάλαιο 4: Η τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ).....	47
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Αρχές λειτουργίας της ΥΠ.....	48
4.3 Περιγραφή της διεργασίας ΥΠ.....	49
4.4 Τεχνολογία της ΥΠ.....	51
4.4.1 Εξοπλισμός της ΥΠ.....	51
4.4.2 Συστήματα επεξεργασίας τροφίμων.....	52
4.4.3 Μέσο συμπίεσης.....	53
4.4.4 Κόστος του εξοπλισμού.....	54
4.5 Παστερίωση με ΥΠ.....	54
4.6 Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς.....	55
4.7 Επίδραση της ΥΠ στα ένζυμα.....	57
4.8 Επίδραση της ΥΠ στα συστατικά των έτοιμων προς κατανάλωση σαλατών.....	58
4.8.1 Προϊόντα κρέατος, λαχανικά, ιχθυηρά.....	58
4.8.2 Dips, σάλτσες και salad – dressings.....	59
4.8.3 Επίδραση της ΥΠ στην υφή των γαλακτωμάτων.....	59
Κεφάλαιο 5: Πειραματική Διαδικασία – Υλικά και Μέθοδοι.....	61
5.1 Σκοπός.....	61
5.2 Γενική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και προετοιμασίας των δειγμάτων.....	61
5.2.1 Έτοιμη προς κατανάλωση σαλάτα (καβουροσαλάτα).....	61
5.2.2 Μαγιονέζα.....	62
5.2.3 Η μονάδα της ΥΠ.....	62
5.3 Αναλυτικές μέθοδοι.....	64
5.3.1 Μικροβιολογικές αναλύσεις.....	64
5.3.2 Προσδιορισμός τιμής pH.....	65
5.3.3 Οργανοληπτική αξιολόγηση.....	65
5.3.4 Παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο.....	66
5.3.5 Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων.....	67
5.3.6 Συσχέτιση του αριθμού Plummit και της δύναμης διείδυσης.....	67
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και συζήτηση.....	69

6.1 Μικροβιολογικές αναλύσεις σε έτοιμη προς κατανάλωση σαλάτα με βάση τη μαγιονέζα.....	69
6.2 Μέτρηση pH σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα.....	72
6.3 Οργανοληπτικός έλεγχος σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα	76
6.4 Προσδιορισμός αριθμού Pluimit σε δείγματα μαγιονέζας, παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων	105
Κεφάλαιο 7: Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων	115
Συμπεράσματα – προτάσεις	125
Βιβλιογραφία.....	127

Κεφάλαιο 1: Γαλακτώματα

1.1 Εισαγωγή

Η βιομηχανία τροφίμων στηρίζεται στις αρχές της επιστήμης και τεχνολογίας γαλακτωμάτων για τη δημιουργία ποικίλων προϊόντων τροφίμων, όπως γάλα, κρέμα, αναψυκτικά, σάλτσες, dips, επιδόρπια, dressings, μαγιονέζα, παγωτό, μαργαρίνη και βούτυρο. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να είναι γαλακτώματα στην τελική τους μορφή (π.χ. γάλα ή κρέμα) ή μπορεί να έχουν γαλακτωματοποιημένη μορφή σε κάποιο στάδιο της παρασκευής τους (π.χ. σούπα σε σκόνη ή σάλτσες) (Guzey and McClements, 2006).

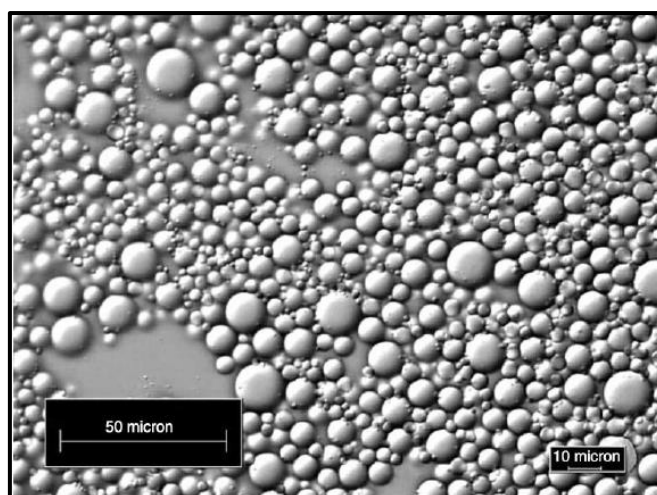
Ένα γαλάκτωμα αποτελείται από δύο μη αναμίξιμα υγρά (συνήθως έλαιο και νερό), όπου το ένα είναι διεσπαρμένο μέσα στο άλλο με τη μορφή μικρών σταγονιδίων. Το έλαιο είναι η λιπαρή, ενώ το νερό η υδατική φάση. Τα σταγονίδια αποτελούν τη διεσπαρμένη φάση, ενώ το περιβάλλον υγρό τη συνεχή. Τα περισσότερα γαλακτώματα τροφίμων αποτελούνται από πλήθος σταγονιδίων διαφορετικού μεγέθους, με μέση διάμετρο από 0.1 έως 100 μm (Dickinson, 1992). Τα γαλακτώματα συνήθως κατατάσσονται σε κατηγορίες με βάση τη θέση του ελαίου και του νερού μέσα στο σύστημα (McClements and Decker, 2000). Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες γαλακτωμάτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων: τα γαλακτώματα «έλαιο – σε – νερό» (oil – in – water, O/W) και τα γαλακτώματα «νερό – σε – έλαιο» (water – in – oil, W/O). Τα γαλακτώματα O/W αποτελούνται από σταγονίδια ελαίου διεσπαρμένα σε νερό (π.χ. γάλα ή μαγιονέζα), ενώ τα γαλακτώματα W/O αποτελούνται από σταγονίδια νερού διεσπαρμένα μέσα σε έλαιο (π.χ. μαργαρίνη ή βούτυρο) (McClements, 2010).

Τα γαλακτώματα τροφίμων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα φυσικοχημικά και οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά, όπως εμφάνιση, γεύση, υφή, χρώμα και διατηρησιμότητα. Για παράδειγμα το γάλα είναι ένα λευκό υγρό με πολύ χαμηλό ιξώδες, ενώ η μαργαρίνη είναι κίτρινη και στερεή. Η βιομηχανία τροφίμων επιλέγει προσεκτικά τα συστατικά των γαλακτωμάτων και τη διεργασία παραγωγής τους, έτσι ώστε να μπορεί να ελέγξει τα φυσικοχημικά και οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά.

Τα γαλακτώματα χαρακτηρίζονται από τρεις περιοχές με διαφορετικές ιδιότητες, οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά τους: τη διεσπαρμένη φάση (σταγονίδια), τη συνεχή φάση (περιβάλλον υγρό) και τη διεπιφάνεια διεσπαρμένης και συνεχούς φάσης (σταγονιδίων – περιβάλλοντος υγρού). Το μόρια που συμμετέχουν στο γαλάκτωμα κατανέμονται σε αυτές τις τρεις περιοχές σύμφωνα με τη συγκέντρωση και την πολικότητά τους. Τα μη πολικά και πολικά μόρια βρίσκονται στη λιπαρή και στην υδατική φάση αντίστοιχα, ενώ τα αμφιφιλικά στη διεπιφάνεια. Η λιπαρή φάση μπορεί να παρουσιάζει κάποια κρυσταλλικότητα και χημικές μεταβολές όπως

οξείδωση, η υδατική φάση να περιέχει διάφορα υδατοδιαλυτά συστατικά όπως ιόντα και άλατα και η διεπιφάνεια να αποτελείται από πρωτεΐνες και μικρού μοριακού βάρους γαλακτωματοποιητές. Τα χαρακτηριστικά αυτά συντελούν στην σταθεροποίηση ή στην αποσταθεροποίηση του συστήματος. Για να γίνουν κατανοητές οι λειτουργικές ιδιότητες του γαλακτώματος, είναι απαραίτητο να κατανοηθεί πως λειτουργεί η κάθε φάση ξεχωριστά και ως σύνολο (Dalgleish, 2006).

Αξίζει να σημειωθεί ότι μπορούν να δημιουργηθούν πολλαπλά γαλακτώματα (π.χ. έλαιο – σε – νερό – σε – έλαιο, (O/W/O), νερό – σε – έλαιο – σε – νερό, (W/O/W)). Τα γαλακτώματα αυτά είναι πολύπλοκα συστήματα, στα οποία συνυπάρχουν γαλακτώματα ελαίου – σε – νερό (O/W) και νερού – σε – έλαιο (W/O), όπου τα σταγονίδια της διεσπαρμένης φάσης περιέχουν ακόμη μικρότερα διεσπαρμένα σταγονίδια. Τα συστήματα αυτά είναι θερμοδυναμικά ασταθή και έχουν την τάση να καταρρέουν με το χρόνο. Χρησιμοποιούνται για εγκλεισμούς ενεργών συστατικών στην ιατρική, φαρμακευτική και η εφαρμογή τους στη βιομηχανία τροφίμων είναι πολλά υποσχόμενη (McClements, 2010).



Εικόνα 1.1: Γαλάκτωμα τροφίμου έλαιο – σε – νερό. Σταγονίδια ελαίου διεσπαρμένα σε νερό (McClements 2005)

1.2 Συστατικά γαλακτωμάτων

1.2.1 Υδατική φάση

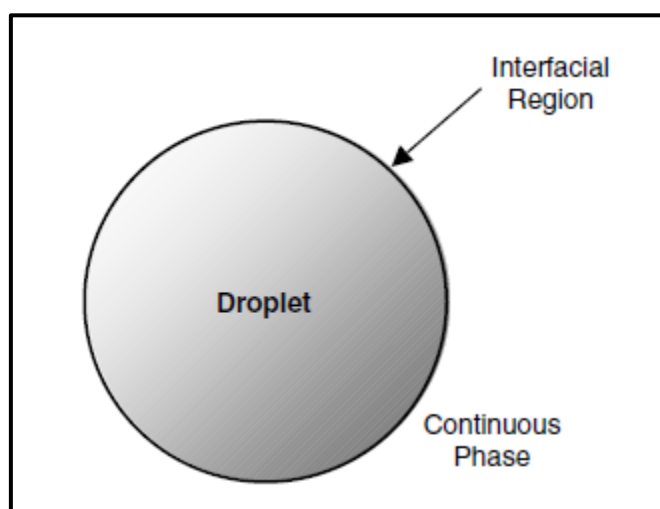
Η υδατική φάση έχει καθοριστική σημασία για τα γαλακτώματα, καθώς επηρεάζει τις φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητές τους. Οι μοριακές και δομικές ιδιότητες του νερού καθορίζουν τη διαλυτότητα, τη διαμόρφωση και τις αλληλεπιδράσεις των υπόλοιπων συστατικών που υπάρχουν στη υδατική φάση (McClements 2005; Varzakas et al., 2014).

Ο ρόλος της υδατικής φάσης, είτε ως συνεχής φάση στην περίπτωση των O/W γαλακτωμάτων, είτε ως διεσπαρμένη φάση στην περίπτωση των W/O γαλακτωμάτων, είναι κυρίως ως διαλύτης για τα υδατοδιαλυτά συστατικά (άλατα,

γαλακτωματοποιητές, πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, κτλ.). Το νερό έχει μεγάλη διεπιφανειακή τάση, λόγω της μοριακής του δομής και έντονο ιοντικό προσανατολισμό, λόγω της παρουσίας των δεσμών υδρογόνου. Τα χαρακτηριστικά αυτά εμποδίζουν το σπάσιμο της διεσπαρμένης φάσης σε μικρότερα σταγονίδια. Συνεπώς είναι απαραίτητη η χρήση γαλακτωματοποιητών, για να μειώσουν την ένταση των διεπιφανειακών δυνάμεων. Το pH, η ιοντική ισχύς και η συγκέντρωση του γαλακτωματοποιητή στην υδατική φάση επηρεάζουν το σχηματισμό και τα φυσικά χαρακτηριστικά του γαλακτώματος, μεταβάλλοντας το μέγεθος των σταγονιδίων και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους (Varzakas et al., 2014).

1.2.2 Λιπαρή φάση

Τα λίπη και τα έλαια ανήκουν στην ομάδα των ενώσεων των λιπιδίων. Τα λιπίδια εξ' ορισμού είναι διαλυτά σε οργανικούς διαλύτες, αλλά μη διαλυτά ή ελάχιστα διαλυτά στο νερό (McClements 2005; Varzakas et al., 2014). Τα λίπη κατά σύμβαση είναι στερεά σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ τα έλαια υγρά, παρ' όλα αυτά οι όροι αυτοί συγχέονται (McClements 2005). Η λιπαρή φάση των γαλακτωμάτων μπορεί να προέρχεται είτε από ζωικές, είτε από φυτικές πηγές και βρίσκεται κυρίως με τη μορφή τριγλυκεριδίων. Το έλαιο επίσης περιέχει μικρές ποσότητες διγλυκεριδίων και μονογλυκεριδίων, πολικά λιπίδια και ελεύθερα λιπαρά οξέα. Αυτά τα λιπίδια μπορεί να είναι επιφανειακά δραστικά, πιο υδατοδιαλυτά και συνήθως χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές τροφίμων. Τα λίπη και τα λιπίδια είναι ουσιώδεις θρεπτικές ενώσεις και προσδίδουν μία χαρακτηριστική αίσθηση στο στόμα σε προϊόντα όπως κρέμες, βούτυρο και τυρί. Η λιπαρή φάση λειτουργεί επίσης ως διαλύτης για τους λιπόφιλους γαλακτωματοποιητές, για τα λιποδιαλυτά θρεπτικά συστατικά και για τις αρωματικές ενώσεις (Varzakas et al., 2014).



Εικόνα 1.2: Τα συστατικά που συμμετέχουν στο σχηματισμό του γαλακτώματος κατανέμονται στη συνεχή και τη διεσπαρμένη φάση (σταγονίδια) και τη διεπιφάνεια (McClements, 2005)

1.2.3 Γαλακτωματοποιητές

Τα γαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα λόγω της θετικής ελεύθερης ενέργειας που απαιτείται, για να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής μεταξύ υδατικής και λιπαρής φάσης και λόγω της διαφορετικής πυκνότητας που παρουσιάζουν οι δύο φάσεις. Τα γαλακτώματα έχουν την τάση να διαχωρίζονται σε ένα σύστημα που αποτελείται από ένα στρώμα ελαίου (χαμηλότερη πυκνότητα), πάνω από ένα στρώμα νερού (μεγαλύτερη πυκνότητα), έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιφάνεια επαφής νερού και ελαίου. Για την παρασκευή κινητικά σταθερών γαλακτωμάτων, για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα (μερικές βδομάδες, μήνες ή χρόνια), προστίθενται χημικά συστατικά, που είναι γνωστά ως γαλακτωματοποιητές πριν το στάδιο της ομογενοποίησης. Οι γαλακτωματοποιητές είναι επιφανειοδραστικές ουσίες που προσροφώνται στην επιφάνεια των σταγονιδίων κατά τη διάρκεια της ομογενοποίησης. Μόλις προσροφηθούν στην επιφάνεια των σταγονιδίων, συμβάλλουν στην περαιτέρω διάσπαση τους σε μικρότερα και σχηματίζουν ένα προστατευτικό υμένιο, που αποτρέπει τη συσσωμάτωση τους (McClements and Decker, 2000).

Η δραστηριότητα του γαλακτωματοποιητή οφείλεται στη μοριακή του δομή. Οι γαλακτωματοποιητές είναι αμφιφιλικά μόρια που αποτελούνται από ένα υδροφιλικό και ένα υδροφοβικό τμήμα. Η παρουσία αυτών των δύο τμημάτων σε ένα ενιαίο μόριο σημαίνει, ότι το μόριο αυτό δεν είναι πλήρως διαλυτό ούτε στην υδατική, ούτε στη λιπαρή φάση του γαλακτώματος, αλλά προτιμά να τοποθετείται στη διεπιφάνεια τους. Ο γαλακτωματοποιητής στη διεπιφάνεια ελαίου – νερού μειώνει την επιφανειακή τάση και δημιουργεί απωστικές δυνάμεις, για να αποτρέψει τη συνένωση των σταγονιδίων. Η συνένωση ποτέ δεν αποτρέπεται εντελώς και κάποια στιγμή όλα τα γαλακτώματα διαχωρίζονται στα αρχικά τους συστατικά. Έτσι βασικός στόχος της βιομηχανίας τροφίμων είναι η δημιουργία γαλακτωμάτων, στα οποία δεν θα προκύπτει σημαντική συνένωση κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος (Robins, 2000).

Οι γαλακτωματοποιητές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: τις επιφανειοδραστικές ουσίες και τα αμφιφιλικά βιοπολυμερή. Ο όρος «επιφανειοδραστικές ουσίες» χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει γαλακτωματοποιητές μικρού μοριακού βάρους, που διαθέτουν μία υδρόφιλη κεφαλή, η οποία έχει υψηλή συγγένεια με την υδατική φάση, προσκολλημένη σε μία υδρόφοβη ομάδα αλυσίδων, η οποία έχει υψηλή συγγένεια με τη λιπαρή φάση. Τα χαρακτηριστικά των μικρού μοριακού βάρους γαλακτωματοποιητών καθορίζονται από τη φύση της υδρόφιλης κεφαλής και της υδρόφοβης ομάδας αλυσίδων. Η υδρόφιλη κεφαλή μπορεί να είναι ανιοντική, κατιοντική, διπολικού ιόντος ή μη ιοντική. Οι περισσότεροι γαλακτωματοποιητές μικρού μοριακού βάρους που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων είναι ανιοντικοί (λεκιθίνη, άλατα λιπαρών οξέων κ.ά.) και μη ιοντικοί (μονογλυκερίδια, οξικοί εστέρες κ.ά.). Η

υδρόφοβη ομάδα αποτελείται συνήθως από μία ή περισσότερες αλυσίδες, οι οποίες έχουν από 10 έως 20 άτομα άνθρακα η καθεμία. Στην κατηγορία των αμφιφιλικών βιοπολυμερών ανήκουν οι πρωτεΐνες (πολυμερή των αμινοξέων) και οι πολυσακχαρίτες (πολυμερή των μονοσακχαριτών). Για να μπορέσουν τα αμφιφιλικά πολυμερή να αναπτύξουν τις γαλακτωματοποιητικές τους ικανότητες, πρέπει να είναι πλήρως διαλυτά στην υδατική φάση. Για την επιλογή του κατάλληλου γαλακτωματοποιητή οι βιομηχανίες τροφίμων υπολογίζουν και συγκρίνουν τις λειτουργικές τους ιδιότητες, σε σχέση με τη διαδικασία παραγωγής και το τελικό προϊόν (McClements, 2005).

1.3 Ιδιότητες γαλακτωμάτων

1.3.1 Κλάσμα όγκου φάσης διασποράς

Η συγκέντρωση των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα καθορίζει το κόστος και συμβάλλει σημαντικά στην εμφάνιση, την υφή, τη γεύση και τη σταθερότητα του γαλακτώματος. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να προσδιορίζεται με ακρίβεια και αξιοπιστία η συγκέντρωση των σταγονιδίων στο γαλάκτωμα. Η συγκέντρωση σταγονιδίων συνήθως περιγράφεται με τον όρο κλάσμα όγκου της φάσης διασποράς (Φ), η οποία είναι ίση με τον όγκο των σταγονιδίων γαλακτώματος (VD) διαιρούμενο με το συνολικό όγκο του γαλακτώματος (VE).

$$\Phi = \frac{VD}{VE} \quad (1.3.1.1)$$

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι πιο εύχρηστο να εκφράζεται η συγκέντρωση σταγονιδίων με τον όρο κλάσμα μάζας της φάσης διασποράς (Φ_m), η οποία είναι ίση με τη μάζα των σταγονιδίων γαλακτώματος (MD) διαιρούμενη με τη συνολική μάζα του γαλακτώματος (ME).

$$\Phi_m = \frac{MD}{ME} \quad (1.3.1.2)$$

Το κλάσμα μάζας και κλάσμα όγκου συνδέονται μεταξύ τους μέσω των ακόλουθων εξισώσεων.

$$\Phi_m = \frac{\Phi \rho_2}{\rho_2 \Phi + (1 - \Phi) \rho_1} \quad (1.3.1.3)$$

$$\Phi = \frac{\Phi_m \rho_1}{\rho_1 \Phi_m + (1 - \Phi_m) \rho_2} \quad (1.3.1.4)$$

όπου ρ_1 και ρ_2 είναι οι πυκνότητες της συνεχούς και διεσπαρμένης φάσης αντίστοιχα. Όταν οι πυκνότητες των δύο φάσεων είναι ίσες, το κλάσμα μάζας είναι ισοδύναμο με το κλάσμα όγκου.

Το κλάσμα όγκου διεσπαρμένης φάσης ενός γαλακτώματος είναι συνήθως γνωστό, επειδή η συγκέντρωση των συστατικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του ελέγχεται προσεκτικά. Παρόλα αυτά, μπορεί να παρουσιαστούν τοπικές μεταβολές των τιμών του κλάσματος όγκου διεσπαρμένης φάσης στα γαλακτώματα, λόγω συσσώρευσης των σταγονιδίων στην κορυφή ή στο κάτω μέρος ενός γαλακτώματος λόγω κρεμοποίησης (creaming) ή καθίζησης (sedimentation) αντίστοιχα. Επιπλέον, το κλάσμα όγκου ενός γαλακτώματος μπορεί να ποικίλει κατά τη διάρκεια επεξεργασίας τροφίμων, όταν για παράδειγμα ένας ομογενοποιητής δεν λειτουργεί αποτελεσματικά. Συνεπώς είναι σημαντικό να προσδιορίζεται με αναλυτικές τεχνικές το κλάσμα όγκου διεσπαρμένης φάσης (McClements 2005).

1.3.2 Μέγεθος σταγονιδίων

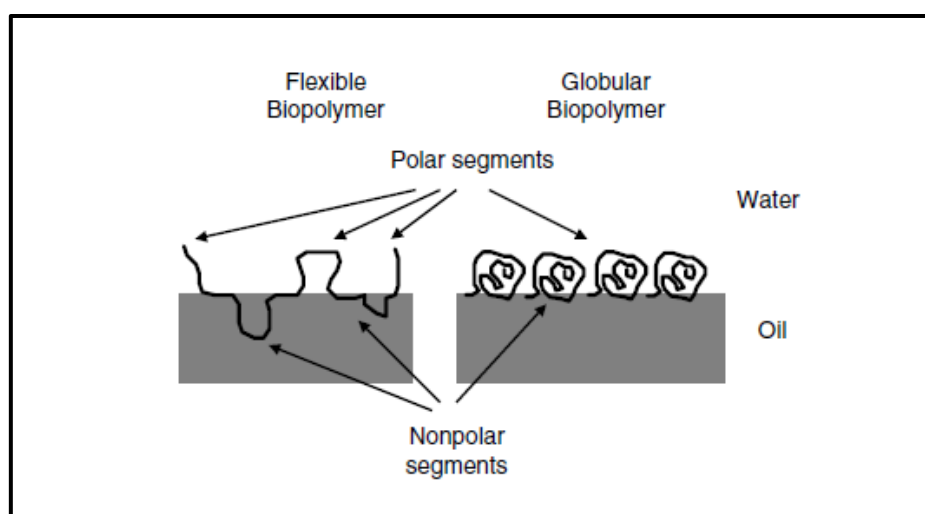
Το μέγεθος των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα έχει σημαντική επίδραση στη σταθερότητά (π.χ. βαρυτικός διαχωρισμός, κροκίδωση, συνένωση), στις οπτικές ιδιότητες (π.χ. χρώμα), στη ρεολογία (π.χ. ιξώδες) και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (π.χ. κρεμώδης αίσθηση). Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να προσδιορίζεται με ακρίβεια και αξιοπιστία το μέγεθος των σταγονιδίων στο γαλάκτωμα. Σε περίπτωση που όλα τα σταγονίδια έχουν το ίδιο μέγεθος, τότε αυτό αποτελεί γαλάκτωμα μονοδιασποράς και απαιτείται μόνο ένας αριθμός για τον χαρακτηρισμό του, η ακτίνα ή η διάμετρος των σταγονιδίων. Τα γαλακτώματα τροφίμων παρουσιάζουν μεγάλο εύρος σταγονιδίων και αποτελούν γαλακτώματα πολυδιασποράς. Τα γαλακτώματα πολυδιασποράς χαρακτηρίζονται από την κατανομή μεγέθους σταγονιδίων (McClements, 2007). Η κατανομή μεγέθους σωματιδίων μπορεί συνήθως να ελεγχθεί, μεταβάλλοντας τις συνθήκες ομογενοποίησης (π.χ. την ένταση και τη διάρκεια της ενέργειας που προσδίδεται στο σύστημα) ή τη σύσταση του συστήματος (π.χ. τη συγκέντρωση ή τον τύπο του γαλακτωματοποιητή ή την αναλογία ιξώδους της διεσπαρμένης και της συνεχούς φάσης) (McClements, 2010).

Πληροφορίες για το μέγεθος των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα μπορούν να προκύψουν μέσω πολλών αναλυτικών μεθόδων, όπως μικροσκοπία, σκέδαση φωτός, καταμέτρηση σωματιδίων και μεθόδους καθίζησης (McClements 2015).

1.3.3 Ιδιότητες διεπιφάνειας σταγονιδίων

Η διεπιφάνεια των σταγονιδίων αποτελείται από μία στενή περιοχή (1 – 50 nm) που περιβάλλει κάθε σταγονίδιο του γαλακτώματος και περιέχει ένα μίγμα ελαίου, νερού και μορίων γαλακτωματοποιητή. Πιθανώς περιέχει και άλλα είδη μορίων και ιόντων

(π.χ. μεταλλικά ιόντα, υδροφιλικούς ηλεκτρολύτες, αμφιφιλικά συστατικά). Η διεπιφανειακή περιοχή καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου του γαλακτώματος, μόνο στην περίπτωση που το μέγεθος των σταγονιδίων είναι μικρότερο από 1 μm (McClements, 2007). Παρ' όλα αυτά η διεπιφανειακή περιοχή επηρεάζει σημαντικά τις φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων, όπως η ρεολογία, η σταθερότητα και η γεύση. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι παράγοντες που καθορίζουν τη σύσταση, τη δομή, το πάχος, τη ρεολογία και το φορτίο της διεπιφάνειας. Οι ιδιότητες της διεπιφανειακής περιοχής καθορίζονται από τον τύπο, τη συγκέντρωση και τις αλληλεπιδράσεις κάθε επιφανειοδραστικού είδους που συμμετέχει σε αυτή, καθώς και από φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια και μετά το σχηματισμό του γαλακτώματος (π.χ. συμπλοκοποίηση, ανταγωνιστική προσρόφηση). Το φορτίο της διεπιφάνειας των σταγονιδίων επηρεάζει τις αλληλεπιδράσεις τους με άλλα φορτισμένα μόρια και την αντίστασή τους στη συνένωση. Το πάχος και η ρεολογία της επηρεάζουν τη σταθερότητα του γαλακτώματος έναντι στο βαρυτικό διαχωρισμό, τη συνένωση και την κροκίδωση και καθορίζει το ρυθμό εισροής και εκροής άλλων μορίων στα σταγονίδια (Dickinson, 2003).



Εικόνα 1.3: Η δομή και οι ιδιότητες της διεπιφάνειας των σταγονιδίων καθορίζονται από τη δομή των μορίων του γαλακτωματοποιητή και τις αλληλεπιδράσεις μορίων γαλακτωματοποιητή – διεπιφάνειας (McClements, 2005)

1.3.4 Φορτίο σταγονιδίων

Οι φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων διέπονται από το μέγεθος και το είδος του ηλεκτρικού φορτίου των σταγονιδίων (McClements 2015). Το φορτίο αυτό προέρχεται από την προσρόφηση μορίων στην επιφάνεια των σταγονιδίων, όπως πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, γαλακτωματοποιητές, φωσφολιπίδια και μικρά ιόντα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας των σταγονιδίων εξαρτώνται από το είδος και τη συγκέντρωση των ειδών που υπάρχουν στην επιφάνεια των σταγονιδίων, καθώς και από την ιοντική σύσταση και τις φυσικές

ιδιότητες της συνεχούς φάσης. Το φορτίο των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα είναι σημαντικό, γιατί καθορίζει τις αλληλεπιδράσεις του με άλλα φορτισμένα μόρια (π.χ. μικρά ιόντα, μακρομόρια ή κολλοειδή σωματίδια) και τη συμπεριφορά του παρουσία ηλεκτρικού πεδίου (π.χ. ηλεκτροφόρηση). Σε πολλά γαλακτώματα τροφίμων αποτρέπεται η συνένωση σταγονιδίων με χρήση ιοντικών γαλακτωματοποιητών, οι οποίοι προσροφώνται στην επιφάνεια και προκαλούν ηλεκτροστατικές απώσεις (McClements, 2007). Είναι λοιπόν σημαντικό για την επιστήμη τροφίμων να μπορεί να προβλέψει, να ελέγξει και να μετρήσει το φορτίο των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα. Για τα περισσότερα γαλακτώματα τροφίμων είναι δύσκολο να υπολογιστεί με ακρίβεια το φορτίο των σταγονιδίων λόγω της πολυπλοκότητας της σύστασης τους (McClements, 2015).

1.3.5 Αλληλεπιδράσεις σταγονιδίων

Πολλές από τις φυσικοχημικές και οργανοληπτικές ιδιότητες των γαλακτωμάτων επηρεάζονται σημαντικά από τις ελκτικές και απωστικές αλληλεπιδράσεις που ενεργούν μεταξύ των σταγονιδίων. Υπάρχουν πολλά είδη αλληλεπιδράσεων, που μπορεί να εμφανιστούν στα γαλακτώματα τροφίμων όπως οι αλληλεπιδράσεις τύπου van der Waals, ηλεκτροστατικές, υδρόφοβες. Οι αλληλεπιδράσεις ποικίλουν ως προς τη φύση τους (ελκτικές ή απωστικές), την ισχύ τους (ισχυρές ή ασθενείς) και το εύρος τους (μεγάλο ή μικρό). Οι συνολικές αλληλεπιδράσεις στα γαλακτώματα τροφίμων καθορίζονται από τη συμβολή των επιμέρους κολλοειδών αλληλεπιδράσεων που διέπουν το συγκεκριμένο σύστημα και εξαρτώνται από τη σύσταση, τη μικροδομή και το περιβάλλον του γαλακτώματος (McClements, 2015). Γενικά τα σταγονίδια τείνουν να συνενώνονται, όταν επικρατούν οι ελκτικές αλληλεπιδράσεις, ενώ τείνουν να διατηρούν την ατομική τους δομή, όταν επικρατούν οι απωστικές (McClements 2007). Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων του γαλακτώματος μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες αλλαγές στη σταθερότητα, τη ρεολογία, την εμφάνιση και τη γεύση των γαλακτωμάτων τροφίμων. Είναι σημαντικό λοιπόν να κατανοηθεί η φυσικοχημική τους προέλευση και να μελετηθούν οι ιδιότητές τους (McClements, 2015).

1.3.6 Φυσική κατάσταση σταγονιδίων

Τα σταγονίδια που απαρτίζουν τη διεσπαρμένη φάση σε ένα συμβατικό γαλάκτωμα τροφίμου είναι υγρά, αλλά σε ορισμένα συστήματα γαλακτωμάτων είναι μερικώς ή ολικώς στερεά. Για παράδειγμα σε ένα γαλάκτωμα O/W τα σταγονίδια ελαίου μπορούν να κρυσταλλοποιηθούν, μειώνοντας σημαντικά τη θερμοκρασία κάτω από το σημείο τήξης της λιπαρής φάσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία κρυστάλλωσης ενός γαλακτωματοποιημένου ελαίου, μπορεί να είναι αισθητά χαμηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη θερμοκρασία ενός «χύμα» ελαίου. Επίσης η φύση των κρυστάλλων που σχηματίζονται από ένα γαλακτωματοποιημένο έλαιο διαφέρουν από τους κρυστάλλους που σχηματίζονται από ένα «χύμα» έλαιο, λόγω

του περιορισμένου όγκου που καταλαμβάνουν τα σταγονίδια στο γαλάκτωμα. Η συγκέντρωση, η φύση και η θέση των κρυστάλλων μέσα στα σταγονίδια ελαίου σε ένα γαλάκτωμα O/W μπορεί να ελεγχθεί μέσω της προσεκτικής επιλογής του ελαίου, της θερμοκρασίας και του μεγέθους των σταγονιδίων (McClements, 2010). Η βιομηχανία τροφίμων εκμεταλλεύεται την κρυσταλλικότητα της λιπαρής φάσης, προκαλώντας ελεγχόμενη αποσταθεροποίηση του γαλακτώματος για την παραγωγή προϊόντων όπως μαργαρίνη, βούτυρο, σαντιγί και παγωτό (McClements, 2015).

1.3.7 Ρεολογία γαλακτωμάτων

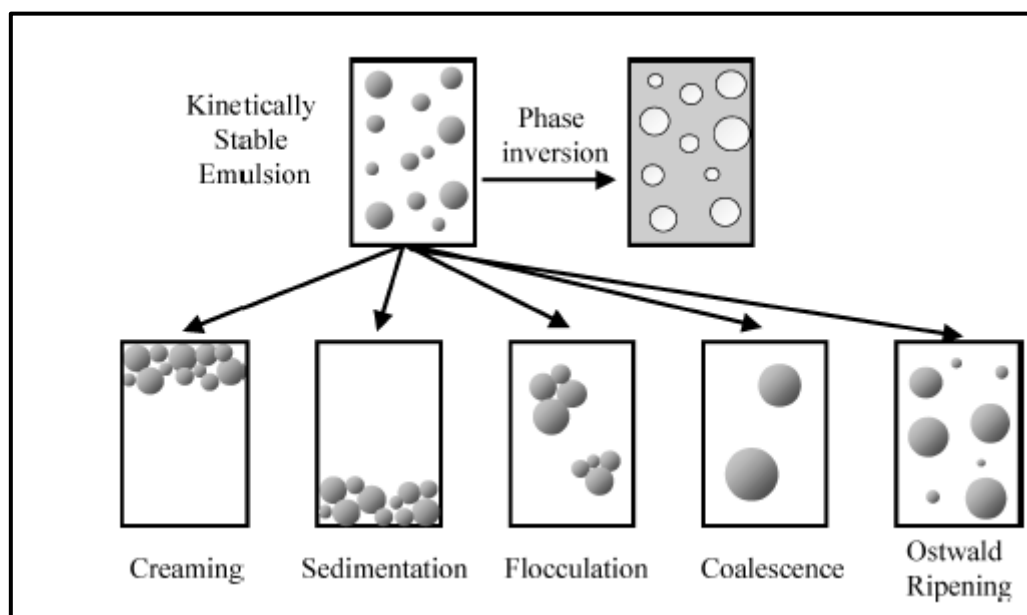
Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των γαλακτωμάτων καθορίζονται από τη σύσταση, τη δομή και τις αλληλεπιδράσεις των σταγονιδίων. Το ιξώδες των γαλακτωμάτων αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των σταγονιδίων, αρχικά σταδιακά και στη συνέχεια απότομα, όσο τα σταγονίδια «πακετάρουνται πιο στενά». Στη συγκέντρωση σταγονιδίων όπου προκύπτει το «στενό πακετάρισμα», τα γαλακτώματα αποκτούν χαρακτηριστικά στερεού σώματος, όπως ιξωδοελαστικότητα και πλαστικότητα. Η τιμή της συγκέντρωσης αυτής εξαρτάται από τη φύση των αλληλεπιδράσεων των σταγονιδίων και είναι χαμηλή όταν υπάρχουν ισχυρές ελκτικές και απωστικές αλληλεπιδράσεις στο σύστημα. Κατά το σχεδιασμό προϊόντων τροφίμων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά των σταγονιδίων, καθώς επιδρούν σημαντικά στη ρεολογία τους. Ορισμένα τρόφιμα έχουν πολύ χαμηλό ιξώδες (π.χ. ροφήματα) και η παρουσία των σταγονιδίων δεν το επηρεάζει. Στην περίπτωση όμως που τα τρόφιμα έχουν υψηλό ιξώδες (π.χ. dressings, dips, επιδόρπια) τα σταγονίδια το επηρεάζουν σημαντικά (McClements, 2010).

1.4 Σταθερότητα γαλακτωμάτων

1.4.1 Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης

Ο όρος σταθερότητα γαλακτώματος αναφέρεται στην ικανότητα του γαλακτώματος να αντιστέκεται στη μεταβολή του ιδιοτήτων του με το χρόνο: όσο πιο σταθερό είναι ένα γαλάκτωμα, τόσο πιο αργά μεταβάλλονται οι ιδιότητές του. Ένα γαλάκτωμα μπορεί να είναι μη σταθερό, λόγω διάφορων φυσικών και χημικών μεταβολών. Οι φυσικές μεταβολές συντελούν στη μεταβολή της κατανομής και της δομής των μορίων, ενώ οι χημικές στη μεταβολή του είδους των μορίων που συμμετέχουν στο γαλάκτωμα. Κρεμοποίηση, κροκίδωση, συνένωση, μερική συνένωση, αντιστροφή φάσης και ωρίμανση Ostwald είναι κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα φυσικής αποσταθεροποίησης, ενώ η οξείδωση και η υδρόλυση είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα χημικής αποσταθεροποίησης. Το χρονικό διάστημα που πρέπει ένα γαλάκτωμα να παραμένει σταθερό εξαρτάται από τη φύση του προϊόντος τροφίμου. Συχνά η βιομηχανία τροφίμων εκμεταλλεύεται την αποσταθεροποίηση των γαλακτωμάτων για την παραγωγή προϊόντων (π.χ. βούτυρο, μαργαρίνη, παγωτό). Ένας από τους βασικούς στόχους των τεχνολόγων τροφίμων είναι να καθορίσουν

τους παράγοντες που επηρεάζουν την αποσταθεροποίηση των γαλακτωμάτων, για να μπορέσουν να ερμηνεύσουν τη συμπεριφορά τους (McClements 2005).



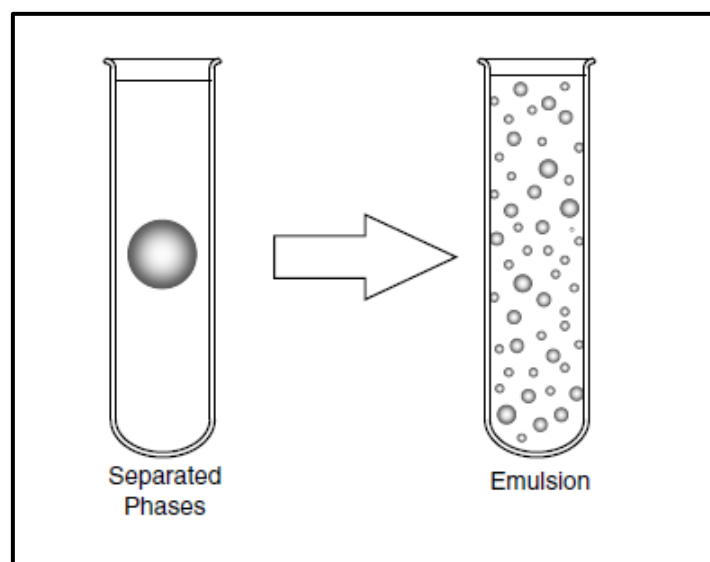
Εικόνα 1.4: Μηχανισμοί αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων (McClements 2007)

Τα σταγονίδια σε ένα γαλάκτωμα έχουν διαφορετική πυκνότητα σε σχέση με το περιβάλλον μέσο και κατά συνέπεια μία καθαρή βαρυτική δύναμη ασκείται σε αυτά. Ο **βαρυτικός διαχωρισμός** είναι η διαδικασία κατά την οποία τα σταγονίδια της διεσπαρμένης φάσης κινούνται προς τα πάνω (κρεμοποίηση) λόγω της μικρότερης πυκνότητάς τους, ή προς τα κάτω (καθίζηση), λόγω της υψηλότερης πυκνότητάς τους σε σχέση με το περιβάλλον υγρό. Έτσι, η διεσπαρμένη φάση διαχωρίζεται από το γαλάκτωμα. Τα περισσότερα εδώδεμα έλαια έχουν χαμηλότερη πυκνότητα από το νερό (στην υγρή τους μορφή) και έχουν την τάση να συσσωρεύονται στο πάνω μέρος του γαλακτώματος και το νερό στο κάτω. Έτσι στα γαλακτώματα O/W είναι πιο σύνηθες το φαινόμενο της κρεμοποίησης, ενώ W/O το φαινόμενο της καθίζησης. **Κροκίδωση** είναι η διαδικασία κατά την οποία δύο ή περισσότερα σταγονίδια συνδέονται, ώστε να σχηματισθεί ένα συσσωμάτωμα, διατηρώντας όμως την ακεραιότητά τους σε σχέση με τα άλλα σταγονίδια. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει όταν οι ελκτικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων υπερσχύουν των μεγάλου εύρους απωστικών αλληλεπιδράσεων, αλλά όχι των μικρού εύρους ελκτικών αλληλεπιδράσεων. Η κροκίδωση συμβάλει στο βαρυτικό διαχωρισμό των γαλακτωμάτων, ο οποίος μειώνει τη διάρκεια ζωής τους. Επίσης αυξάνει σημαντικά το ιξώδες και μπορεί να προκαλέσει ακόμα και σχηματισμό γέλης (gel). Η **συνένωση** είναι η διαδικασία κατά την οποία δύο ή περισσότερα σταγονίδια συγχωνεύονται για να σχηματίσουν ένα ενιαίο μεγαλύτερο σταγονίδιο. Η συνένωση προκαλεί ταχύτερο βαρυτικό διαχωρισμό, καθώς συμβάλει στην αύξηση του μεγέθους των σταγονιδίων. Η εκτεταμένη συνένωση σταγονιδίων μπορεί τελικά να οδηγήσει στο σχηματισμό μίας ξεχωριστής στοιβάδας ελαίου στην κορυφή του γαλακτώματος, η οποία είναι

γνωστή ως «oiling-off». Η **μερική συνένωση** είναι η διαδικασία κατά την οποία δύο ή περισσότερα μερικώς κρυσταλλικά σταγονίδια σε ένα O/W γαλάκτωμα συγχωνεύονται, προκειμένου να σχηματίσουν ένα ακανόνιστου σχήματος συσσωμάτωμα, λόγω της διείδυσης των στερεών κρυστάλλων από ένα σταγονίδιο στην περιοχή του υγρού ενός άλλου σταγονιδίου. Ένα άλλο φαινόμενο που αποσταθεροποιεί τα γαλακτώματα είναι η **ωρίμανση Ostwald**, κατά το οποίο τα μεγάλα σταγονίδια μεγαλώνουν σε βάρος των μικρότερων σταγονιδίων, λόγω της μεταφοράς μάζας στη διεσπαρμένη φάση από το ένα σταγονίδιο στο άλλο μέσω της συνεχούς φάσης. Η **αντιστροφή φάσης** είναι η διαδικασία κατά την οποία τα O/W γαλακτώματα μετατρέπονται σε W/O και αντίστροφα. Η βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιεί το φαινόμενο αυτό για την παραγωγή προϊόντων όπως το βούτυρο και η μαργαρίνη. Σε πολλά τρόφιμα όμως προκαλεί αλλοιώσεις στην εμφάνιση, υφή, σταθερότητα και χρώμα (McClements 2007).

1.4.2 Θερμοδυναμική σταθερότητα

Η θερμοδυναμική αστάθεια ενός γαλακτώματος προσδιορίζεται εύκολα, αν αναμιχθεί καθαρό έλαιο και καθαρό νερό και παρατηρηθεί η μεταβολή στην εμφάνιση του συστήματος με το χρόνο. Το οπτικώς αδιαφανές γαλάκτωμα, που σχηματίζεται αρχικά, καταρρέει με την πάροδο του χρόνου, έως ότου ένα στρώμα ελαίου να εμφανιστεί πάνω από ένα στρώμα νερού.



Εικόνα 1.5: Τα γαλακτώματα αποτελούν θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα λόγω αύξησης της επιφάνειας επαφής μεταξύ των φάσεων ελαίου και νερού

Η εξήγηση της θερμοδυναμικής αστάθειας μπορεί να γίνει σαφέστερη, συγκρίνοντας την ελεύθερη ενέργεια ενός συστήματος που αποτελείται από ένα έλαιο και μία υδατική φάση πριν και μετά τη γαλακτωματοποίηση. Γίνεται παραδοχή, ότι το νερό και το έλαιο έχουν όμοιες πυκνότητες, έτσι ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα κρεμοποίησης ή καθίζησης και ότι αρχικά οι δύο φάσεις είναι διαχωρισμένες (έστω

μία μεγάλη σταγόνα ελαίου μέσα στην υδατική φάση) και τελικά δημιουργείται το σύστημα του γαλακτώματος, όπου η σταγόνα είναι διεσπαρμένη μέσα στην υδατική φάση.

Στην αρχική κατάσταση η συνολική ελεύθερη ενέργεια κατά Gibbs δίνεται από τη σχέση:

$$G^i = G_o^i + G_w^i + G_I^i - TS_{config}^i \quad (1.4.2.1)$$

ενώ αντίστοιχα στην τελική, μετά τη γαλακτωματοποίηση δίνεται από τη σχέση:

$$G^f = G_o^f + G_w^f + G_I^f - TS_{config}^f \quad (1.4.2.2)$$

Όπου

- G_o , G_w , G_I : οι ελεύθερες ενέργειες Gibbs του ελαίου, του νερού και της διεπιφάνειας ελαίου – νερού αντίστοιχα,
- T : η απόλυτη θερμοκρασία
- S_{config} : η εντροπία διαμόρφωσης των σταγονιδίων στο σύστημα.

Οι ενέργειες Gibbs του νερού και του ελαίου παραμένουν σταθερές πριν και μετά την ομογενοποίηση ($G_o^i = G_o^f$ και $G_w^i = G_w^f$), επομένως η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας μεταξύ της αρχικής και τελικής κατάστασης είναι (Hunter, 1989):

$$\begin{aligned} \Delta G_{formation} &= G^f - G^i = G_I^f - G_I^i - (TS_{config}^f - TS_{config}^i) \\ &= \Delta G_I - T\Delta S_{config} \quad (1.4.2.3) \end{aligned}$$

Εξ ορισμού η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας της διεπιφάνειας μεταξύ της τελικής και αρχικής κατάστασης είναι ίση με την αύξηση της επιφάνειας επαφής μεταξύ των φάσεων ελαίου και νερού (ΔA) πολλαπλασιαζόμενη με τη διεπιφανειακή τάση (γ), δηλαδή:

$$\Delta G_I = \gamma \Delta A \quad (1.4.2.4)$$

Οπότε

$$\Delta G_I = \gamma \Delta A - T\Delta S_{config} \quad (1.4.2.5)$$

Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας διεπαφής ($\gamma \Delta A$) είναι πάντα θετική, εξαιτίας της αύξησης της επιφάνειας επαφής κατά την ομογενοποίηση και ως εκ τούτου αντιτίθεται στο σχηματισμό γαλακτώματος. Από την άλλη πλευρά ο όρος της

εντροπίας διαμόρφωσης των σταγονιδίων είναι πάντοτε αρνητικός ($-\Delta S_{config}$). Μία έκφραση για τη μεταβολή της εντροπίας διαμόρφωσης των σταγονιδίων μεταξύ της αρχικής και τελικής κατάστασης μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

$$\Delta S_{config} = -\frac{nk}{\Phi} (\Phi \ln \Phi + (1 - \Phi) \ln(1 - \Phi)) \quad (1.4.2.6)$$

Όπου

- k : η σταθερά Boltzmann
- n : ο αριθμός σταγονιδίων στο γαλάκτωμα
- Φ : το κλάσμα όγκου στη διεσπαρμένη φάση

Στα περισσότερα γαλακτώματα τροφίμων η μεταβολή της εντροπίας διαμόρφωσης των σταγονιδίων είναι πολύ μικρότερη από τη μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας διεπιφάνειας και θεωρείται αμελητέα. Η συνολική μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας Gibbs για το σχηματισμό ενός γαλακτώματος τροφίμων δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta G_{formation} = \gamma \Delta A \quad (1.4.2.7)$$

Έτσι κατά κύριο λόγο ο σχηματισμός ενός γαλακτώματος είναι μία θερμοδυναμικά ασταθής κατάσταση λόγω της αύξησης της διεπιφάνειας επαφής μετά τη γαλακτωματοποίηση. Θα πρέπει να σημειωθεί όμως πως σε κάποιες περιπτώσεις που η επιφανειακή τάση γ είναι σχετικά μικρή, τότε ο όρος της εντροπίας διαμόρφωσης των σταγονιδίων είναι συγκριτικά μεγαλύτερος από τον όρο της ελεύθερης ενέργειας διεπαφής και οδηγεί στο σχηματισμό γαλακτωμάτων θερμοδυναμικά σταθερών (μικρογαλακτώματα) (McClements 2005).

1.4.3 Κινητική σταθερότητα

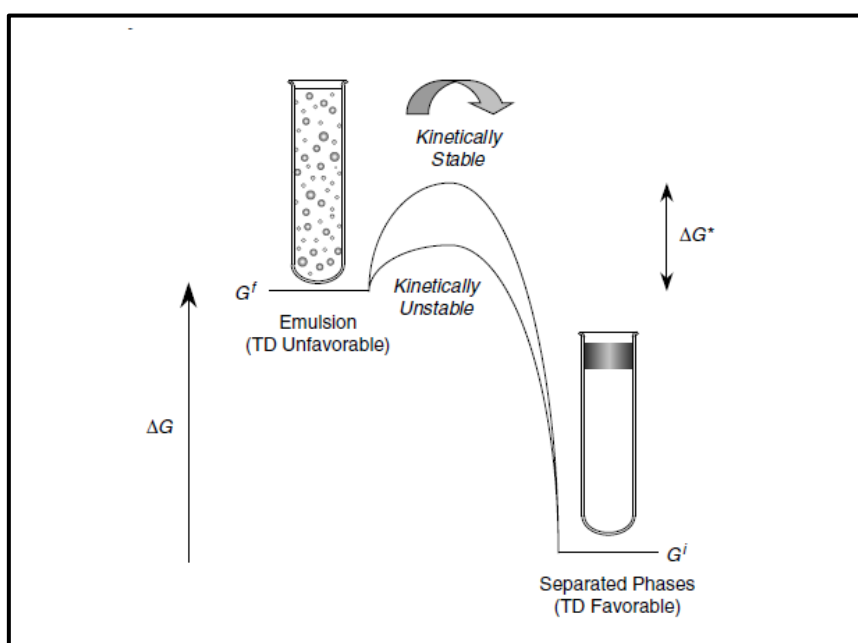
Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας (θερμοδυναμική σταθερότητα) σχετίζεται άμεσα με το σχηματισμό του γαλακτώματος και καθορίζει εάν ένα γαλάκτωμα είναι θερμοδυναμικά σταθερό ή μη. Δεν δίνει όμως καμία πληροφορία σχετικά με το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλονται οι ιδιότητες του γαλακτώματος με το χρόνο, το είδος αυτών των μεταβολών και τους φυσικούς μηχανισμούς που τις προκαλούν. Πληροφορίες για την εξάρτηση της σταθερότητας του γαλακτώματος από το χρόνο είναι σημαντικές για το σχεδιασμό προϊόντων τροφίμων, που διατηρούν τις ιδιότητες τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα και υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Για αυτό το λόγο η κινητική σταθερότητα είναι πολλές φορές πιο σημαντική από τη θερμοδυναμική.

Η έννοια της κινητικής σταθερότητας αναφέρεται στο ρυθμό μεταβολής των ιδιοτήτων των γαλακτωμάτων και αισθητοποιείται με σύγκριση της μακροπρόθεσμης

σταθερότητας δύο γαλακτωμάτων με την ίδια σύνθεση, αλλά με διαφορετικό μέγεθος σταγονιδίων. Ένα γαλάκτωμα που περιέχει μικρότερα σταγονίδια συνήθως έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (μεγαλύτερη κινητική σταθερότητα) από το αντίστοιχο γαλάκτωμα που περιέχει μεγαλύτερα σταγονίδια, παρότι τα μικρά σταγονίδια λόγω μεγαλύτερης διεπιφάνειας επαφής εμφανίζουν υψηλή θερμοδυναμική αστάθεια (ΔA).

Ένα γαλάκτωμα που είναι κινητικά σταθερό πρέπει να έχει ενέργεια ενεργοποίησης ΔG^* σημαντικά υψηλότερη από τη θερμική ενέργεια του συστήματος (kT) (Friberg, 1997). Στην πραγματικότητα τα γαλακτώματα έχουν πλήθος διαφορετικών μετασταθών καταστάσεων, με διαφορετική ενέργεια ενεργοποίησης η καθεμία. Έτσι ένα γαλάκτωμα μπορεί να μεταβεί από τη μία μετασταθή κατάσταση σε μία άλλη, μέχρι τελικά να καταλήξει στην πιο θερμοδυναμικά σταθερή. Τέτοιου είδους αλλαγές μπορούν να επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στην ποιότητα των τροφίμων που συμμετέχει το γαλάκτωμα.

Η ερμηνεία της κινητικής σταθερότητας των γαλακτωμάτων στηρίζεται στη δυναμική φύση των σταγονιδίων. Τα σταγονίδια του γαλακτώματος βρίσκονται συνεχώς σε κίνηση μέσα στο γαλάκτωμα και συγκρούονται μεταξύ τους εξαιτίας της βαρύτητας και των εφαρμοζόμενων εξωτερικών δυνάμεων. Το κατά πόσον τα σταγονίδια απομακρύνονται μεταξύ τους, παραμένουν ως έχουν ή συνενώνονται μετά από μία σύγκρουση εξαρτάται από τη φύση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους. Η κινητική σταθερότητα λοιπόν των γαλακτωμάτων καθορίζεται από τη δυναμική των σταγονιδίων και τη φύση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων.



Εικόνα 1.6: Τα γαλακτώματα είναι θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα, όμως μπορούν να μεταβούν σε μετασταθείς καταστάσεις και να είναι κινητικά σταθερά

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω όταν ανακατευτεί καθαρό έλαιο με νερό, σχηματίζεται προσωρινό γαλάκτωμα που σύντομα διαχωρίζεται στα αρχικά συστατικά του. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή ενέργεια ενεργοποίησης μεταξύ της γαλακτωποιημένης και της μη γαλακτωποιημένης κατάστασης. Για να δημιουργηθεί ένα γαλάκτωμα το οποίο να είναι κινητικά σταθερό για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, είναι απαραίτητη η χρήση ενός γαλακτωματοποιητή ή ενός τροποποιητή υφής, ο οποίος δημιουργεί μία υψηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης και αποτρέπει την αστάθεια. Ο γαλακτωματοποιητής προσροφάται στην επιφάνεια των σταγονιδίων που έχουν ήδη σχηματιστεί και δημιουργείται ένα προστατευτικό υμένιο που αποτρέπει τη συνένωση τους, ενώ ο τροποποιητής υφής αυξάνει το ιξώδες της συνεχούς φάσης ή σχηματίζει πηκτή (gel), έτσι ώστε να μειώνεται η συχνότητα συγκρούσεων των σταγονιδίων (McClements 2005).

Κεφάλαιο 2: Μαγιονέζα

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων, Ποτών και Αντικειμένων Κοινής Χρήσης (2011) Μέρος Α, Τρόφιμα και Ποτά, Άρθρο 41: Μαγιονέζα – Σάλτσες και παρεμφερή προϊόντα, «με τον όρο μαγιονέζα νοείται το προϊόν σε μορφή ομοιογενούς πολτού, που παρασκευάζεται από εδώδιμο έλαιο με προσθήκη κρόκου αυγού, μαγειρικού αλατιού, αρτυμάτων, χυμού λεμονιού ή κιτρικού οξέος και μερικές φορές ζάχαρης και ξυδιού». Σύμφωνα με τον κώδικα Codex Alimentarius (1989), Άρθρο 168, «η μαγιονέζα είναι σάλτσα, που αποτελεί γαλάκτωμα εδώδιμου φυτικού ελαίου (ή ελαίων), με συνεχή υδατική φάση που περιέχει ξύδι. Το γαλάκτωμα ελαίου – σε – νερό παράγεται από κρόκο αυγού. Η μαγιονέζα μπορεί να περιέχει επιπλέον συστατικά όπως αλάτι, ζάχαρη, μουστάρδα κ.ά.». (FAO/WHO, 2000). Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών, (CFR Title 21, Sec. 169.140) «η μαγιονέζα αποτελεί γαλακτωματοποιημένο, ημιστερεό τρόφιμο, που περιέχει φυτικό έλαιο (ή έλαια), οξικό οξύ ή/και κιτρικό οξύ και κρόκο αυγού. Η μαγιονέζα μπορεί να περιέχει επιπλέον συστατικά όπως αλάτι, μπαχαρικά κ.ά.» (FDA, 2016). Η προσθήκη οξικού οξέος (ξύδι) είναι απαραίτητη για τη σύνθεση της μαγιονέζας. Για τη μικροβιακή σταθερότητα της μαγιονέζας δεν επαρκεί το χαμηλό pH, αλλά είναι απαραίτητη παρουσία του αδιάστατου οξικού οξέος, λόγω της αντιμικροβιακής του ιδιότητας του. Η μαγιονέζα περιέχει συνήθως 70 – 80% λιπαρά και παρά το υψηλό ποσοστό ελαίου σε σχέση με το νερό, αποτελεί γαλάκτωμα ελαίου σε νερό. Το pH κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 3.5 και 4.0, το οξικό οξύ αποτελεί το επικρατέστερο οξύ και αντιπροσωπεύει το 0.29 – 0.50% του συνολικού προϊόντος και η ενεργότητα νερού (a_w) είναι περίπου 0.925. Η υδατική φάση περιέχει 9 – 11% αλάτι και 7 – 10% ζάχαρη (Smittle, 1977). Τα έλαια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως φυτικά έλαια όπως σογιέλαιο, ηλιέλαιο, βαμβακέλαιο και ελαιόλαδο. Ο κρόκος του αυγού είναι το σημαντικότερο συστατικό, λόγω της εξαιρετικής γαλακτωματοποιητικής του ικανότητας, η οποία αποδίδεται στα φωσφολιπίδια και τις λιποπρωτεΐνες που περιέχει (Ghazaei et al., 2015). Το γαλάκτωμα παρασκευάζεται με ήπια ανάμιξη του κρόκου, με το ξύδι και τα μπαχαρικά και στη συνέχεια προστίθεται και αναδεύεται αργά το έλαιο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται «στενό πακετάρισμα» της λιπαρής φάσης μέσα στην υδατική (Depree and Savage, 2001).

Η ποιότητα της μαγιονέζας καθορίζεται από τα φυσικοχημικά και οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά, δηλαδή εμφάνιση, υφή, γεύση, χρώμα και διατηρησιμότητα. Η μαγιονέζα έχει καθιερωθεί στη συνείδηση των καταναλωτών ως ένα τρόφιμο με κρεμώδη υφή και αίσθηση στο στόμα, χαρακτηριστικό υποκίτρινο χρώμα και υψηλή διατηρησιμότητα (McClements and Demetriades, 1998)

Οι απαιτήσεις των καταναλωτών για πιο «υγιεινά» τρόφιμα με μειωμένα λιπαρά, οδήγησε στην παραγωγή light μαγιονέζας. Κατά την παραγωγή μαγιονέζας μειωμένων λιπαρών αντιμετωπίζονται πρακτικά προβλήματα, σχετικά με την υφή, τη γεύση, την εμφάνιση και τη σταθερότητα του γαλακτώματος. Μείωση των λιπαρών συνεπάγεται, μείωση της λιπαρής και αύξηση της υδατικής φάσης. Η απώλεια αυτή αντισταθμίζεται με τη χρήση υποκατάστατων λιπαρών και τροποποιητών υφής, όπως τροποποιημένο άμυλο, κόμμα γκουάρ και ξανθάνη (Štern et al., 2007).

2.2 Σταθερότητα του γαλακτώματος

Σε ένα ιδανικό γαλάκτωμα τα σταγονίδια καταλαμβάνουν έως το 74% του συνολικού όγκου. Στη μαγιονέζα, το έλαιο μπορεί να καταλαμβάνει το 75% ή και περισσότερο του συνολικού όγκου. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σταγονίδια να παραμορφώνονται και να χάνουν το σφαιρικό τους σχήμα, ενώ συγχρόνως αναπτύσσονται ανάμεσα τους ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Το υψηλό ιξώδες που παρουσιάζει η μαγιονέζα συγκριτικά με άλλα γαλακτώματα αποδίδεται στους παραπάνω παράγοντες (Harrison and Cunningham, 1985).

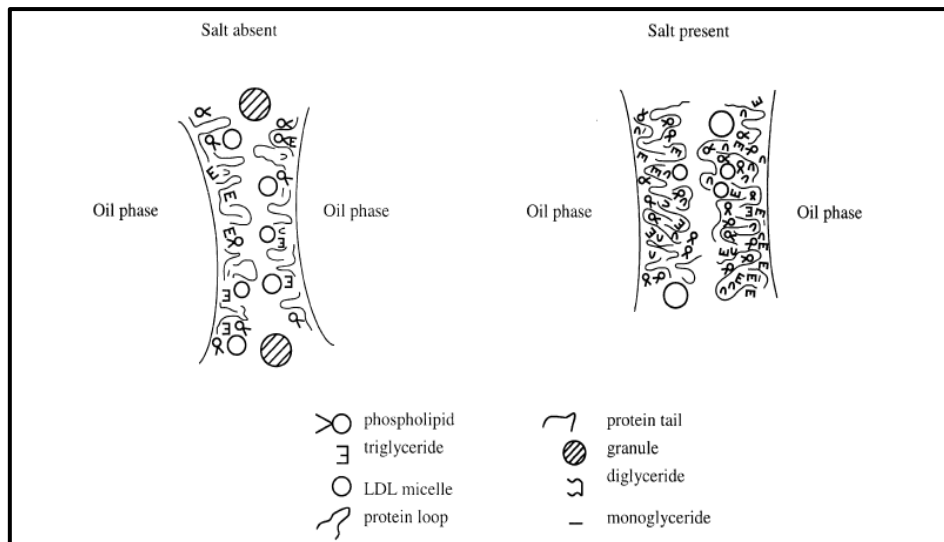
Το πόσο ισχυρές είναι οι αλληλεπιδράσεις, που αναπτύσσονται ανάμεσα στα σταγονίδια ελαίου εξαρτάται από τις αλληλεπιδράσεις van der Waals, οι οποίες εξισορροπούνται σε κάποιο βαθμό από ηλεκτροστατικές και χωρικές απωστικές δυνάμεις. Η ποιότητα του γαλακτώματος καθορίζεται από τη σωστή ισορροπία αυτών των δυνάμεων, καθώς ισχυρή έλξη προκαλεί συνένωση των σταγονιδίων, ενώ ισχυρή άπωση ολίσθηση των σταγόνων. Συνεπώς προκύπτει γαλάκτωμα χαμηλού ιξώδους και επιρρεπές στην κρεμοποίηση (creaming), καθώς τα σταγονίδια ελαίου καταλαμβάνουν τον ελάχιστο δυνατό όγκο στο σύστημα και έχουν την τάση να διαχωρίζονται από το νερό.

Η λέκιθος του αυγού αποτελεί τον πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο γαλακτωματοποιητή, λόγω της σταθερότητας και της επιθυμητής υφής που προσδίδει στο γαλάκτωμα (Depree and Savage, 2001). Η εξαιρετική γαλακτωματοποιητική ικανότητα του λέκιθου οφείλεται στα συστατικά που περιέχει, όπως φωσφολιπίδια, πρωτεΐνες και λιποπρωτεΐνες, οι οποίες συνθέτουν ένα ισχυρό μένιο γύρω από τα σταγονίδια ελαίου (Kiosseoglou and Sherman, 1983).

Το pH της μαγιονέζας έχει καθοριστικό ρόλο στη δομή του γαλακτώματος. Η ιξωδοελαστικότητα και η σταθερότητα της μαγιονέζας μεγιστοποιείται, όταν το pH είναι κοντά στο μέσο ισοηλεκτρικό σημείο των πρωτεϊνών του λέκιθου του αυγού και έτσι το φορτίο των πρωτεϊνών ελαχιστοποιείται. Σε περίπτωση που οι πρωτεΐνες στην επιφάνεια των σταγονιδίων έχουν υψηλό φορτίο, τότε εμποδίζεται η περαιτέρω προσρόφηση των πρωτεϊνών και προκύπτει ισχυρή άπωση μεταξύ των σταγονιδίων (Depree and Savage, 2001).

Η προσθήκη αλατιού μπορεί επίσης να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά της μαγιονέζας για τους εξής λόγους. Το αλάτι συμβάλει στη διάλυση των συσσωματωμάτων του λέκιθου του αυγού και δημιουργεί περισσότερα διαθέσιμα προς γαλακτωματοποίηση σωματίδια, ενώ συγχρόνως βοηθά στην εξουδετέρωση των φορτίων των πρωτεϊνών, το οποίο επιτρέπει την προσρόφηση τους στην επιφάνεια των σταγονιδίων. Έτσι ενισχύεται το υμένιο γύρω από τα σταγονίδια του ελαίου. Η εξουδετέρωση οποιασδήποτε φόρτισης εξασφαλίζει ισχυρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ των γειτονικών σταγονιδίων ελαίου. Το αλάτι μπορεί να εξισορροπήσει σε κάποιο βαθμό τιμές pH διαφορετικές από το ισοηλεκτρικό σημείο. Μεγάλη ποσότητα αλατιού μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση των πρωτεϊνών του λέκιθου του αυγού στην υδατική φάση του γαλακτώματος και να παρεμποδίσει τη γαλακτωματοποιητική τους δράση (Kiosseoglou and Sherman, 1983). Άλλα συστατικά που χρησιμοποιούνται στη μαγιονέζα μπορεί να ενισχύσουν ή να εξασθενίσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων. Η ζάχαρη τείνει να αποδυναμώσει τις αλληλεπιδράσεις, πιθανώς επικαλύπτοντας ενεργές ομάδες. Οι πρωτεΐνες του αυγού και οι φορτισμένοι υδατάνθρακες όπως καρβοξυλομεθυλική κυτταρίνη, αλληλεπιδρούν με τις πρωτεΐνες του λέκιθου του αυγού αποτελεσματικά σχηματίζοντας διασταυρώσεις μεταξύ των σταγονιδίων. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η μουστάρδα ενισχύει τη σταθερότητα του γαλακτώματος, όμως ο μηχανισμός δεν έχει αποσαφηνιστεί (Depree and Savage, 2001).

Η σταθερότητα της μαγιονέζας καθορίζεται επίσης από τις συνθήκες αποθήκευσης, τη θερμοκρασία, την ποσότητα και το είδος του ελαίου που περιέχει. Κατά την αποθήκευση, η μαγιονέζα μπορεί να αλλοιωθεί από πολλούς παράγοντες όπως φυσική αποσταθεροποίηση, χημική οξείδωση και υδρόλυση. Με την πάροδο του χρόνου το γαλάκτωμα γίνεται πιο λεπτόρευστο, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης αποσταθεροποιείται. Το μέγεθος και το σχήμα των σταγονιδίων καθορίζουν την ποιότητα του γαλακτώματος. Η κατανομή μεγέθους των σταγονιδίων αλλάζει με το χρόνο, καθώς τα σταγονίδια έχουν την τάση να συνενώνονται και να δημιουργούν άλλα σταγονίδια μεγαλύτερου μεγέθους και λιγότερα σε πλήθος. Έτσι προκύπτει διαχωρισμός των δύο φάσεων του γαλακτώματος (Karas et al., 2002). Σε συνθήκες κατάψυξης η μαγιονέζα αποσταθεροποιείται, καθώς ο γαλακτωματοποιητής μετουσιώνεται και δεν μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου. Η υδατική φάση παγώνει και διαστέλλεται, με αποτέλεσμα να προκαλείται συνένωση των σταγονιδίων ελαίου. Συγχρόνως τα σταγονίδια ελαίου κρυσταλλώνονται λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας. Η κρυστάλλωση της λιπαρής φάσης είναι από τους βασικότερους παράγοντες αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων O/W. Γαλακτώματα O/W με υψηλή περιεκτικότητα ελαίου, όπως η μαγιονέζα είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε συνθήκες κατάψυξης (Miyagawa et al., 2016).



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση των συστατικών του λέκιθου αυγού που προσροφώνται σε γειτονικές σταγόνες ελαίου (Kiosseoglou and Sherman, 1983)

Τα τρόφιμα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά, όπως η μαγιονέζα είναι ευπαθή σε αλλοίωση λόγω οξείδωσης των ακόρεστων και πολυακόρεστων λιπαρών. Η φύση της μαγιονέζας συντελεί στην έκθεση μεγάλης ποσότητας ελαίου στην υδατική φάση, η οποία μπορεί να περιέχει σημαντική ποσότητα οξυγόνου, ενώ στο στάδιο της ομογενοποίησης φυσαλίδες αέρα παγιδεύονται στο γαλάκτωμα. Η αντίσταση της μαγιονέζας στην οξείδωση, εξαρτάται από το είδος του ελαίου που χρησιμοποιείται για την παρασκευή της. Δείγματα μαγιονέζας με ιχθυέλαιο οξειδώνονται πιο γρήγορα, συγκριτικά με άλλα δείγματα με αραβοσιτέλαιο και έλαιο σόγιας. Η οξείδωση της λιπαρής φάσης υποβαθμίζει γευστικά τη μαγιονέζα (Depree and Savage, 2001).

2.3 Μικροβιακή σταθερότητα

Η μικροβιακή σταθερότητα της μαγιονέζας καθορίζεται κυρίως από τα συστατικά της. Η μαγιονέζα αποτελείται από έλαιο, αυγό και ένα μέσο οξίνισης. Ως μέσο οξίνισης στη μαγιονέζα χρησιμοποιείται το οξικό οξύ (ξύδι). Το pH του τροφίμου επηρεάζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Ο έλεγχος του pH όμως δεν επαρκεί για να διατηρηθεί η ποιότητα της μαγιονέζας. Το όξινο περιβάλλον, pH 3.5 – 4.0, μαζί με την προστατευτική δράση αδιάστατου οξέος (οξικό οξύ) εξασφαλίζει τη μικροβιακή σταθερότητα του προϊόντος. Η δράση των ασθενών οξέων διαφέρει ανάλογα το οξύ. Για παράδειγμα το κιτρικό οξύ μειώνει το pH, αλλά δεν έχει αντιμικροβιακή δράση. Σε αντίθεση το αδιάστατο οξικό οξύ αναστέλλει τη μικροβιακή ανάπτυξη. Η ποσότητα επίσης του αδιάστατου οξέος που διαλυτοποιείται στην υδατική φάση, έχει μεγάλη σημασία για τη μικροβιακή σταθερότητα, καθώς όσο οξύ «περνάει» στη λιπαρή φάση δεν έχει προστατευτική δράση (Martin et al., 2000).

Η ενεργότητα νερού της μαγιονέζας είναι 0.93 – 0.95 (Karas et al., 2002). Τα συστατικά όπως αλάτι και ζάχαρη, δεν λειτουργούν μόνο ως καρκεύματα στο τελικό

προϊόν, αλλά συμβάλλουν και στη μείωση της ενεργότητας νερού. Έτσι αποτρέπεται η μικροβιακή αλλοίωση (Ma and Boye, 2013)

Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών, η μαγιονέζα πρέπει να έχει την παρακάτω σύσταση για να είναι μικροβιολογικά σταθερή: έλαιο $\geq 65\%$, οξικό οξύ $\geq 0.25\%$, αυγό ως γαλακτωματοποιητή και τελικό pH ≤ 4.1 . Η μαγιονέζα που παρασκευάζεται από μη παστεριωμένα αυγά πρέπει να έχει τελικό pH ≤ 4.1 και να περιέχει οξικό οξύ $\geq 1.4\%$ στην υδατική φάση, ενώ το τελικό προϊόν πρέπει να αποθηκευτεί για 72 h πριν περάσει στην κατανάλωση. Ο κανονισμός αυτός υφίσταται, για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα παρουσιαστεί ανάπτυξη του μικροοργανισμού *Salmonella* spp. Για την εμπορική μαγιονέζα οι παρασκευαστές χρησιμοποιούν αποκλειστικά, παστεριωμένα αυγά σε υγρή ή κατεψυγμένη μορφή. Η παστερίωση πραγματοποιείται μεταξύ 55.6 και 63.3 °C για 3.5 έως 6.2 min, ανάλογα με τη σύνθεση του μίγματος και την προσθήκη συστατικών όπως αλάτι ή ζάχαρη (Hwang, 2010).

Παρόλο που για την παρασκευή της εμπορικής μαγιονέζας χρησιμοποιούνται παστεριωμένα αυγά, υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης μικροοργανισμών στο τελικό προϊόν, λόγω επιμόλυνσης κατά την παραγωγική διαδικασία. Η υψηλή οξύτητα (χαμηλό pH) της μαγιονέζας που προέρχεται από συστατικά όπως οξικό οξύ (ξύδι) και άλλα μέσα οξίνισης (σε μικρότερο βαθμό βέβαια γαλακτικό οξύ, κιτρικό οξύ) είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας για την επιβίωση των μικροοργανισμών. Έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες σε εμπορική μαγιονέζα με μειωμένες θερμίδες και λιπαρά (pH 3.1 – 3.9) για την επιβίωση της *E.coli* O157:H7 στους 25 °C. Αναφέρεται ότι το βακτήριο αδρανοποιείται σε τιμές pH ≤ 3.9 , συνεπώς τόσο η μαγιονέζα, όσο και οι σάλτσες μαγιονέζας έχουν μικρή πιθανότητα ανάπτυξης *E.coli* (Erickson et al., 1995). Παρόμοιες μελέτες έχουν επίσης πραγματοποιηθεί για την επιβίωση του *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp., *S. Enteritidis*, *S. aureus*, και *Y. enterocolitica*, οι οποίες έδειξαν ότι αυτοί οι παθογόνοι μικροοργανισμοί δε μπορούν να επιβιώσουν σε τέτοιου τύπου προϊόντα (Beuchat et al., 2004).

Κατά την παρασκευή μαγιονέζας χαμηλών λιπαρών, παρατηρείται αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας λόγω αύξησης της υδατικής φάσης και της παρουσίας υποκατάστατων λιπαρών, τα οποία συγκρατούν νερό για τη διατήρηση της υφής του προϊόντος. Με την αύξηση της υγρασίας, αυξάνεται ο κίνδυνος μικροβιακής αλλοίωσης και κατά συνέπεια είναι απαραίτητη η αύξηση της συγκέντρωσης του οξέος στην υδατική φάση και ο έλεγχος του pH (Liu et al., 2007).

Η μικροβιακή σταθερότητα της μαγιονέζας μπορεί επίσης να ενισχυθεί με τη χρήση συντηρητικών σε νομοθετικά θεσμοθετημένα όρια. Τα ήπια λιποφιλικά οργανικά οξέα είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα χημικά συντηρητικά σε γαλακτώματα τροφίμων. Σορβικό οξύ, βενζοϊκό οξύ και EDTA είναι ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα (Ma and Boye, 2013).

2.4 Ρεολογία μαγιονέζας

Η ρεολογική συμπεριφορά έχει ιδιαίτερη σημασία για τον ποιοτικό έλεγχο, την παραγωγική διαδικασία και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (υφή) των τροφίμων. Η ρεολογία των γαλακτωμάτων τροφίμων εξαρτάται από τις αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται στο σύστημα, οι οποίες καθορίζονται από το κλάσμα όγκου της διεσπαρμένης φάσης, τη συγκέντρωση και τη φύση του γαλακτωματοποιητή, τη χημική σύσταση της συνεχούς φάσης και τις ιδιότητες της διεπιφάνειας των σταγονιδίων. Η κατανομή μεγέθους και το σχήμα των σταγονιδίων, καθώς και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της συνεχούς φάσης έχουν επίσης ιδιαίτερη επίδραση (Partal et al., 1997). Για την κατανόηση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των τροφίμων είναι απαραίτητη η μελέτη των ρεολογικών παραμέτρων σε σταθερές συνθήκες και σε συνθήκες εξαρτώμενες από το χρόνο (Singla et al., 2013).

Τα περισσότερα τρόφιμα έχουν πολύπλοκα ρεολογικά χαρακτηριστικά και το ιξώδες τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σύσταση και την εφαρμογή τάσης. Κατά την εφαρμογή τάσης το ιξώδες μεταβάλλεται σύμφωνα με το ύψος και τη διάρκεια της εφαρμογής (B. Abu-Jdayil, 2002). Η μαγιονέζα αποτελεί ημιστερεό τρόφιμο και παρουσιάζει τάση ροής, ιξωδοελαστική συμπεριφορά και χαρακτηριστικά εξαρτώμενα από το χρόνο. Το ιξώδες της δηλαδή μειώνεται με εφαρμογή σταθερής τάσης μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (Ma and Barbosa – Canovas, 1994). Οι ρεολογικές ιδιότητες της μαγιονέζας έχουν μελετηθεί με την χρήση διαφόρων ρεολογικών τεχνικών: σταθερός ρυθμός διάτμησης – διατμητική τάση, εξαρτώμενος από το χρόνο ρυθμός διάτμησης – διατμητική τάση, αύξηση και μείωση τάσης σε σταθερό ρυθμό διάτμησης, δυναμική ιξωδοελαστική συμπεριφορά και ιξωδοελαστική συμπεριφορά ερπυσμού – υποχώρησης.

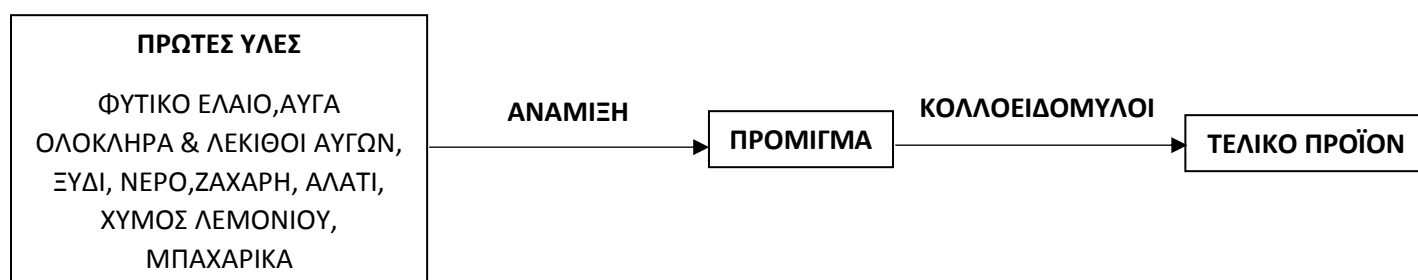
Οι απαιτήσεις των καταναλωτών για τρόφιμα με χαμηλά λιπαρά έχει οδηγήσει τη βιομηχανία τροφίμων στην ανάπτυξη πιο «υγιεινών» προϊόντων. Τα λιπαρά επηρεάζουν τα ρεολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, όπως την υφή και τη γεύση. Η διατήρηση των χαρακτηριστικών αυτών στα τρόφιμα με μειωμένα λιπαρά είναι πολύ δύσκολη. Για την παρασκευή μαγιονέζας μειωμένων λιπαρών είναι απαραίτητο να μειωθεί η λιπαρή φάση και να αυξηθεί η υδατική. Η μεταβολή αυτή στο σύστημα, συμβάλει σε αξιοσημείωτη μείωση του ιξώδους. Χρησιμοποιούνται λοιπόν υποκατάστατα λιπαρών, έτσι ώστε η υφή του τροποποιημένου προϊόντος να προσεγγίζει την υφή του αρχικού. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υποκατάστατων λιπαρών σε light μαγιονέζα, που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη σταθεροποίηση του γαλακτώματος και την αύξηση του ιξώδους, αποτελούν το τροποποιημένο άμυλο, ινουλίνη, πηκτίνη, μικροκρυσταλλική κυτταρίνη και η καραγεννάνη (Liu et al., 2007).

Ένας άλλος τρόπος παρασκευής μαγιονέζας μειωμένων λιπαρών, είναι η χρήση πολλαπλών γαλακτωμάτων και συγκεκριμένα γαλακτωμάτων water – in – oil – in –

water (W/O/W). Τα γαλακτώματα αυτά έχουν παρόμοια ρεολογικά χαρακτηριστικά με τα γαλακτώματα W/O (μαγιονέζα). Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν τις διαφορές μεταξύ της παραδοσιακής και light μαγιονέζας (DeCindio and Cacace, 1995).

Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι η προσθήκη αλάτων επηρεάζει τα ρεολογικά χαρακτηριστικά της μαγιονέζας, καθώς επιδρά στη δομή και τη λειτουργικότητα των πρωτεϊνών του αυγού (γαλακτωματοποιητής). Η προσθήκη NaCl είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους και της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς της μαγιονέζας. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην αύξηση των αλληλεπιδράσεων των σταγονιδίων και κατά συνέπεια στην αύξηση του ιξώδους της συνεχούς φάσης (Ma and Boye, 2013).

2.5 Επίδραση της παραγωγικής διαδικασίας στη ρεολογία της μαγιονέζας



Οι πρώτες ύλες αναμινύονται σε σταθερές αναλογίες και σχηματίζεται το “πρόμιγμα” μαγιονέζας. Στο πρόμιγμα αυτό τα λιποσφαίρια του γαλακτώματος είναι αρκετά μεγάλου μεγέθους. Η μαγιονέζα παίρνει την τελική μορφή της περνώντας μέσα από έναν κολλοειδείς μύλο κωνικού σχήματος, ο οποίος σπάει τα μεγάλου μεγέθους λιποσφαιρά σε μικρότερα.

Στο τελικό προϊόν γίνεται μέτρηση του αριθμού Plummit, ο οποίος είναι συνάρτηση του διακένου του μύλου κολλοειδών. Ο αριθμός Plummit αποτελεί έναν έμμεσο δείκτη της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς της μαγιονέζας και χρησιμοποιείται κατά τον ποιοτικό έλεγχο.

2.5.1 Κολλοειδείς μύλοι

Σε έναν μύλο κολλοειδών χρησιμοποιείται έντονη διάτμηση ρευστού σε ένα ρεύμα υψηλής ταχύτητας για τη διασπορά των σωματιδίων ή των σταγόνων του ρευστού με σκοπό τον σχηματισμό ενός σταθερού αιωρήματος ή γαλακτώματος. Το τελικό μέγεθος των σωματιδίων ή των σταγονιδίων είναι συνήθως μικρότερο από 5 μm. Πολλές φορές η πραγματική μείωση του μεγέθους στο μύλο είναι μικρή και η κύρια δράση του μύλου είναι η διάσπαση των ασθενώς συνδεδεμένων συσσωματωμάτων.

Τα σιρόπια, το γάλα, οι αλοιφές, ο πουρές, η μαγιονέζα, οι μπογιές και τα λίπη είναι τυπικά προϊόντα που υφίσταται αυτή την επεξεργασία.

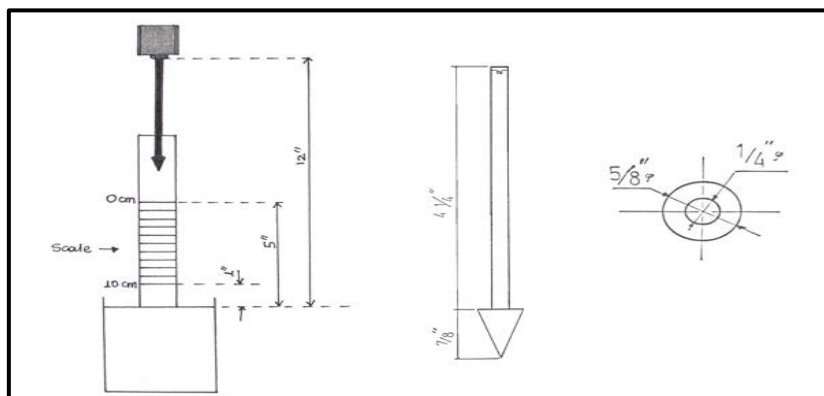
Στους περισσότερους μύλους κολλοειδών το ρευστό τροφοδοσίας αντλείται ανάμεσα σε στενά τοποθετημένες επιφάνειες, μία από τις οποίες κινείται σε σχέση με την άλλη με ταχύτητα 50 m/s ή μεγαλύτερη. Σε έναν μύλο κολλοειδών το ρευστό περνά μέσα από το στενό χώρο που υπάρχει ανάμεσα σε ένα ρώτορα και στο περίβλημά του. Τα διάκενα είναι ρυθμιζόμενα έως τα 25 μm. Οι δυναμικότητες των μύλων κολλοειδών είναι σχετικά μικρές και κυμαίνονται από 2 ή 3 L/min (30 – 50 gal/h) στους μικρούς μύλους έως 440 L/min (7000 gal/h) στους μεγαλύτερους (Τσουκαλά, 2005).

2.5.2 Αριθμός Plummit και διαδικασία μέτρησής του στη μαγιονέζα

Η μέτρηση Plummit σε μαγιονέζα επιτρέπει τον έλεγχο της υφής του προϊόντος κατά το στάδιο προετοιμασίας του. Η αρχή λειτουργία της μεθόδου είναι η εξής: το ύψος του βυθιζόμενου τμήματος ενός βέλους κατά την ελεύθερη πτώση του σε πλαστική φιάλη που περιέχει το προϊόν, εξαρτάται από την υφή του.

Οι συσκευές που απαιτούνται για μια τέτοια μέτρηση είναι οι παρακάτω:

1. Ηλεκτρική συσκευή μέτρησης Plummit E.G.F. 0027220
2. Βέλος Αλουμινίου 14,5 g
3. Πλαστική φιάλη 500 mL κωδ. 1566 Kartel της CHEMILAB



Εικόνα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση μέτρησης αριθμού Plummit και σχέδιο βέλους

Η μέτρηση λαμβάνει χώρα στις πλαστικές φιάλες. Οι φιάλες αυτές πρέπει να είναι πλήρως γεμισμένες με μαγιονέζα χωρίς κενά αέρος. Η επιφάνεια της μαγιονέζας φροντίζεται ώστε να είναι επίπεδη και οριζόντια. Η φιάλη φέρεται σε τέτοιο ύψος ώστε η άκρη του κάθετου γυάλινου κυλίνδρου μόλις να ακουμπάει στο κέντρο της φιάλης. Το βέλος αφήνεται να εκτελέσει ελεύθερη πτώση. Μετράται απευθείας στην κλίμακα το ύψος βύθισης του βέλους. Η μέτρηση αυτή είναι ο αριθμός Plummit της μαγιονέζας.

Η μέτρηση του αριθμού Plummit αποτελεί έναν εμπειρικό τρόπο ποιοτικού ελέγχου των δειγμάτων μαγιονέζας που παρασκευάζονται στην γραμμή παραγωγής, καθώς

το ύψος βύθισης του βέλους στο δείγμα εξαρτάται τόσο από το ιξώδες του, όσο και από την ελαστικότητά του (Τσουκαλά, 2005).

Κεφάλαιο 3: Έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα

3.1 Εισαγωγή

Ως deli – τύπου χαρακτηρίζονται οι σαλάτες που είναι έτοιμες προς κατανάλωση, χωρίς να απαιτείται περαιτέρω προετοιμασία ή μαγείρεμα. Ανάλογα με το είδος τους, αποτελούνται κυρίως από ολόκληρα ή τεμαχισμένα λαχανικά (ωμά ή μαγειρεμένα, τεμάχια προϊόντων κρέατος ή θαλασσινών), προϊόντα ζωικής προέλευσης (τυρί, αβγά, γιαούρτι κ.α.) και διάφορες έτοιμες σάλτσες (μαγιονέζα).

Η φύση των προϊόντων αυτών χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ευαλλοίωτη, λόγω της μεγάλης ποικιλίας συστατικών που περιέχουν και της μη επιβολής του τελικού προϊόντος σε θερμική επεξεργασία. Ο χρόνος ζωής τους περιορίζεται σε ορισμένες ημέρες. Εντούτοις, η προσθήκη συντηρητικών (σορβικό κάλιο, βενζοϊκό νάτριο), έχει αυξήσει τον χρόνο ζωής περίπου σε 60 ημέρες, σε θερμοκρασία συντήρησης 4 °C. Παράλληλα, το χαμηλό pH του περιβάλλοντος των σαλατών δρα συνεργιστικά στην διατήρηση της ποιότητας τους και εξασφαλίζει, σε ένα μεγάλο ποσοστό την ασφάλεια των προϊόντων έναντι της ανάπτυξης και της επιβίωσης παθογόνων μικροοργανισμών (Smittle, 2000).



Εικόνες 3.1, 3.2: Έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες

3.2 Μικροβιακή αλλοίωση

3.2.1 Μικροβιακή ανάπτυξη στη μαγιονέζα και στη βάση σαλάτας

Η μικροβιακή σταθερότητα της μαγιονέζας και των γαλακτωματοποιημένων dressing τύπου μαγιονέζας, έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών. Γενικά θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι το επίπεδο επιμόλυνσης κυρίως από παθογόνους μικροοργανισμούς είναι χαμηλό, ενώ οι περισσότερες αλλοιώσεις προέρχονται από ζύμες και μύκητες. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί

απενεργοποιούνται με την παρουσία μαγιονέζας και dressing τύπου μαγιονέζας. Ο ρυθμός απενεργοποίησης τους εξαρτάται από το είδος και την ικανότητα προσαρμογής του μικροοργανισμού, τον τύπο και τη συγκέντρωση του οξέος, τη θερμοκρασία συντήρησης και το pH (Smittle, 2000).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η δομή του γαλακτώματος επηρεάζει τη μικροβιακή ανάπτυξη, καθώς μπορεί να καθορίσει το περιβάλλον που γίνεται αντιληπτό από τα μικροβιακά κύτταρα. Ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών είναι πιο αργός σε ένα γαλακτωματοποιημένο μέσο, από ότι σε ένα υγρό. Η ανάπτυξή τους σε συστήματα γαλακτωμάτων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Ένας παράγοντας είναι ο περιορισμός στο χώρο, καθώς ο χώρος ανάμεσα στα σταγονίδια (1 – 2 μm) είναι όμοιος με τις διαστάσεις των βακτηριακών κυττάρων (1 – 5 μm) (Prachaiyo and McLandsborough, 2003). Έχει αποδειχθεί ότι η μικροδομή του γαλακτώματος ακινητοποιεί τα βακτήρια, τα οποία στη συνέχεια αναπτύσσουν αποικίες. Η μεταβολή του μεγέθους των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα έχει επίδραση στη μορφολογία και στο ρυθμό ανάπτυξης των βακτηρίων. Ένας άλλος παράγοντας είναι η παρουσία περιορισμένων θρεπτικών συστατικών, καθώς ο ρυθμός διάχυσης είναι πιο αργός σε ένα γαλάκτωμα, από ότι σε ένα υγρό μέσο. Ένας τρίτος παράγοντας είναι η συσσώρευση των προϊόντων του μεταβολισμού στην υδατική φάση και σε μία κρίσιμη τιμή συγκέντρωσης αναστέλλεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Ο τελευταίος παράγοντας είναι ιδιαίτερα καθοριστικός σε γαλακτώματα με υψηλή περιεκτικότητα της λιπαρής φάσης (>80% (w/v)) (Brocklehurst et al., 1995).

Η αλλοίωση της μαγιονέζας και της βάσης σαλάτας προέρχεται κυρίως από ζύμες, γαλακτικά βακτήρια και μύκητες. Οι ζύμες αποτελούν τον συνηθέστερο αλλοιογόνο μικροοργανισμό που συναντάται σε αυτά τα προϊόντα, καθώς παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση σε όξινο περιβάλλον. Ο *Zygosaccharomyces* είναι ο πιο συνηθισμένος αλλοιογόνος μικροοργανισμός σε τρόφιμα υψηλής οξύτητας, ενώ η *Pichia membranefaciens* μπορεί να επιβιώσει σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις οξικού οξέος (3%) (ICMSF, 2005).

Όσον αφορά στα γαλακτικά βακτήρια, έχουν πραγματοποιηθεί περιορισμένες μελέτες για την ανάπτυξη τους στη μαγιονέζα και στα παράγωγα προϊόντα της, καθώς δεν αποτελούν βασικό παράγοντα αλλοίωσης. Δείγματα μαγιονέζας με pH 4.4 – 4.5 και μέσο οξίνισης χυμό λεμονιού, εμβολιάστηκαν με το γαλακτικό βακτήριο *L. fructivorans* και παρουσίασαν ανάπτυξη σε θερμοκρασίες 5 και 25 °C μετά από 8 εβδομάδες. Οξικό οξύ χρησιμοποιήθηκε στη θέση του χυμού λεμονιού και παρουσιάστηκε απενεργοποίηση του βακτηρίου στους 25 °C (Roller and Covill, 2000).

Η μαγιονέζα και τα salad dressing σπάνια παρουσιάζουν ανάπτυξη μυκήτων, καθώς οι περισσότεροι μύκητες έχουν περιορισμένη αντοχή παρουσία οξικού οξέος. Γενικά

οι μύκητες δεν μπορούν να επιβιώσουν, όταν η συγκέντρωση του οξικού οξέος υπερβαίνει το 0,5%. Επίσης η περιορισμένη ποσότητα οξυγόνου που υπάρχει στις συσκευασίες αυτών των προϊόντων περιορίζει την ανάπτυξη τους (ICMSF, 2005).

3.2.2 Μικροβιακή ανάπτυξη σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα

Οι έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα αποτελούνται από 50% μαγιονέζα ή dressing μαγιονέζας και 50% από κάποιο άλλο εδώδιμο συστατικό όπως λαχανικά, κρέας και ψάρι (ή παράγωγα τους). Λόγω της παρουσίας οξικού οξέος ή άλλων μέσων οξίνισης στη μαγιονέζα, οι σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα έχουν pH 4 έως 5.5. Το ποσοστό του οξικού οξέος στην υδατική φάση του γαλακτώματος κυμαίνεται συνήθως από 0.2 έως 0.5%. Η ενεργότητα νερού αυτών των προϊόντων είναι περίπου 0.98. Η συντήρησή τους υπό συνθήκες ψύξης είναι απαραίτητη. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι είτε ωμά (π.χ. λαχανικά), είτε μαγειρεμένα (π.χ. κοτόπουλο, χοιρινό). Για τη μείωση του μικροβιακού φορτίου, τα ωμά υλικά πλένονται και μαρινάρονται σε άλμη (ICMSF, 2005).

Καθώς το ποσοστό του οξικού οξέος στην υδατική φάση των deli – salads είναι χαμηλό, τα προϊόντα αυτά είναι ευπαθή στη μικροβιακή αλλοίωση. Συνεπώς η θερμοκρασία συντήρησης είναι ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για τον έλεγχο της μικροβιακής ανάπτυξης στις σαλάτες. Η διατηρησιμότητα υπό ψύξη αυτών των προϊόντων κυμαίνεται από 2 μέχρι 8 εβδομάδες και εξαρτάται από το αρχικό μικροβιακό φορτίο, το pH, τη συγκέντρωση του οξέος, τη συγκέντρωση και τον τύπο των συντηρητικών. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες είναι οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των συστατικών και η προέλευση του μικροβιακού φορτίου. Το πιο πιθανό είναι το αρχικό μικροβιακό φορτίο να προέρχεται από τα συστατικά (π.χ. λαχανικά, κρέας), παρά από τη βάση της σαλάτας, καθώς οι πιθανότητες επιβίωσης μικροοργανισμών σε όξινες σάλτσες όπως η μαγιονέζα είναι περιορισμένες (Guentert et al., 2005). Συνεπώς η μικροβιακή ανάπτυξη καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν γύρω από τα μεμονωμένα συστατικά.

Το pH στις έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες ισορροπεί μετά από κάποιο χρονικό διάστημα συντήρησης και είναι υψηλότερο από των επιμέρους συστατικών τους (Hwang and Tamplin, 2005).

Η φύση των συστατικών σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες επηρεάζει επίσης την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα συστατικά με υψηλή θρεπτική αξία και σταθερό pH ευνοούν την ανάπτυξη. Συστατικά όπως αυγά, κρέας, ψάρι και ιχθυηρά προϊόντα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα πρωτεϊνών παρέχουν ένα πιο ευνοϊκό περιβάλλον ανάπτυξης, σε σύγκριση με συστατικά που είναι πλούσια σε υδατάνθρακες, όπως πατάτα και ζυμαρικά (Hwang, 2005).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες αποτελούν συστήματα ετερογενών προϊόντων. Συνεπώς η συμπεριφορά μικροοργανισμών ίδιου είδους και στελέχους μπορεί να ποικίλει σε διαφορετικά δείγματα σαλάτας. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αλληλεπίδραση pH, θερμοκρασίας και αντιμικροβιακών συστατικών, στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του τροφίμου και στη θέση του μικροοργανισμού σε όλο των όγκο του τροφίμου (Hwang and Marmer, 2007).

Η αλλοίωση σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα προέρχεται κυρίως από γαλακτικά βακτήρια, ζύμες και μύκητες. Η αλλοίωση εξαρτάται από το είδος της σαλάτας και τη θερμοκρασία συντήρησης. Τα γαλακτικά βακτήρια αποτελούν την πιο συνηθισμένη πηγή αλλοίωσης (Erickson et al., 1993). Η βασική πηγή γαλακτικών βακτηρίων είναι το περιβάλλον επεξεργασίας των προϊόντων και τα συστατικά που προστίθενται στη μαγιονέζα (π.χ. λαχανικά, κρέας). Τα πιο συνηθισμένα γαλακτικά βακτήρια που αναπτύσσονται σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες υπό συνθήκες ψύξης είναι τα *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus confusus*, *Lactobacillus brevis* και *Leuconostoc mesenteroides*. Η ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων στα προϊόντα αυτά, μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα, χωρίς όμως να είναι απαραίτητο, ότι θα προκληθεί αλλοίωση. Η αλλοίωση από γαλακτικά βακτήρια έχει ως αποτέλεσμα μείωση του pH, αύξηση της συγκέντρωσης οξικού και γαλακτικού οξέος και μεταβολή των οργανοληπτικών ιδιοτήτων (παραγωγή αερίων και δυσάρεστων οσμών) (ICMSF, 2005).

Πολλά είδη ζυμών έχουν συσχετιστεί με τις έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες, (*Candida inconspicua*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichosporon cutaneum*, *Z. Baillii* κ.ά.). Παρόλα αυτά έρευνες έχουν δείξει ότι στα προϊόντα αυτά αναπτύσσονται ζύμες συγκεκριμένων ειδών, όπως *Yarrowia lipolitica*, *D. Hansenii* και *P. membranefaciens* (Guerzoni et al., 2002). Η ανάπτυξη τους μπορεί να περιοριστεί με χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης και χρήση συντηρητικών (σορβικό και βενζοϊκό οξύ) (ICMSF, 2005). Η παρουσία αλατιού μπορεί να λειτουργήσει συνεργιστικά με το χαμηλό pH σε συνθήκες ψύξης (Betts et al., 2000).

Η ανάπτυξη μυκήτων σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες προέρχεται κυρίως μέσω προσμίξεων από το περιβάλλον. Για αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή και τήρηση των μέτρων ασφαλείας και υγιεινής κατά την παραγωγή και τη συσκευασία (Hathcox et al., 1995). Η ανάπτυξη τους περιορίζεται με χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης, χαμηλό pH και παρουσία οξικού οξέος. Έρευνα έδειξε μείωση ζυμών και μυκήτων κατά 2 log σε λαχανοσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα, σε συνθήκες συντήρησης 5 °C. Παρόλα αυτά μετά από συντήρηση 22 ημερών, αναπτύχθηκαν αποικίες μυκήτων στην επιφάνεια της σαλάτας, γεγονός που αποδόθηκε στη μείωση της συγκέντρωσης του οξικού οξέος στην επιφάνεια της σαλάτας λόγω εξάτμισης (Delaquis et al., 1997).

Συσκευασμένα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση αμερικάνικη σαλάτα (άσπρο λάχανο, καρότο, κρεμμύδι, μαγιονέζα, μουστάρδα κόμμι γκουάρ και ξανθάνη), με χημικά συντηρητικά (σορβικό κάλιο και βενζοϊκό νάτριο), εξετάστηκαν για την ανάπτυξη στελεχών *Bacillus cereus*. Τα αποτελέσματα έδειξαν ανάπτυξη του μικροοργανισμού σε ποσοστό 8,3% των αρχικών δειγμάτων (1 στα 12) σε επίπεδα 5×10^3 cfu/g (Valero et al., 2007). Οι έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες είναι ιδιαίτερα ευπαθείς στην ανάπτυξη του μικροοργανισμού *Listeria monocytogenes*. Έρευνες έχουν δείξει ότι deli – salads (πατατοσαλάτα, τονοσαλάτα, μακαρονοσαλάτα) και σαλάτες με θαλασσινά έχουν παρουσιάσει ανάπτυξη του μικροοργανισμού έως και $10 \log_{cfu}/g$, σε ποσοστά 2,36 και 4,70% αντίστοιχα, επί των αρχικών δειγμάτων (Hwang and Marmer, 2007). Άλλη έρευνα για τη μικροβιολογική σταθερότητα αυτών των προϊόντων έδειξε αύξηση των αερόβιων βακτηρίων, σε λαχανοσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα, περίπου κατά 2 log μετά από συντήρηση για 6 μέρες στους 5, 25 και 40 °C. Η ανάπτυξη ήταν μεγαλύτερη στις υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης. Έχουν εξεταστεί έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα, που περιείχαν πατάτα (pH 4.1 – 4.6), ζυμαρικά (pH 4.0 – 4.5) και απομίμηση καβουρόψιχα (pH 4.5 – 5.8), ως προς την ανάπτυξη ολικών αερόβιων βακτηρίων, *L. monocytogenes* και *S. Aureus*. Οι σαλάτες παρουσίασαν ανάπτυξη για τα ολικά αερόβια βακτήρια 3.0 έως 3.8 logcfu/g και για *S. aureus* 1.4 – 2.5 logcfu/g. Ο μικροοργανισμός *L. monocytogenes* δεν ανιχνεύθηκε σε κανένα δείγμα. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης επίσης δείχνουν ότι οι συνθήκες θερμοκρασίας και για τις τρεις σαλάτες και το εύρος pH για τη σαλάτα με την καβουρόψιχα καθορίζουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών (Bornemeier et al., 2003).

3.3 Αλλοίωση της υφής στη μαγιονέζα και στη βάση σαλάτας

Μαγιονέζα είναι ένα γαλάκτωμα ελαίου – σε – νερό που αποτελείται από 70 – 80% έλαιο. Κανονικά, σε ένα γαλάκτωμα, η φάση που βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα είναι η συνεχής φάση. Για τη μαγιονέζα ισχύει το αντίστροφο, γεγονός που αποδίδεται μέσω της ιδιαίτερης υφής της. Ένα τέτοιο «αφύσικο» γαλάκτωμα τείνει να είναι ασταθές και δύσκολο να παρασκευαστεί (Szczeniak, 1997).

Όπως έχει αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, η σταθερότητα της μαγιονέζας καθορίζεται από τις συνθήκες αποθήκευσης, τη θερμοκρασία, την ποσότητα και το είδος του ελαίου που περιέχει. Κατά την αποθήκευση, η μαγιονέζα μπορεί να αλλοιωθεί από πολλούς παράγοντες όπως φυσική αποσταθεροποίηση, χημική οξείδωση και υδρόλυση. Με την πάροδο του χρόνου το γαλάκτωμα γίνεται πιο λεπτόρευστο, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης αποσταθεροποιείται (Karas et al., 2002). Σε συνθήκες κατάψυξης η μαγιονέζα αποσταθεροποιείται, καθώς ο γαλακτωματοποιητής μετουσιώνεται και δεν μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια των σταγονιδίων ελαίου. Η υδατική φάση παγώνει και διαστέλλεται, με αποτέλεσμα να προκαλείται συνένωση των σταγονιδίων ελαίου. Συγχρόνως τα

σταγονίδια ελαίου κρυσταλώνονται λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας. Η κρυστάλλωση της λιπαρής φάσης είναι από του βασικότερους παράγοντες αποσταθεροποίησης γαλακτωμάτων O/W. Γαλακτώματα O/W με υψηλή περιεκτικότητα ελαίου, όπως η μαγιονέζα είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε συνθήκες κατάψυξης (Miyagawa et al., 2016).

Η βάση σαλάτας κατατάσσεται στην ευρύτερη κατηγορία «σάλτσες σαλάτας». Έχει τα χαρακτηριστικά της μαγιονέζας, μπορεί δηλαδή ο καταναλωτής να τη χειριστεί με κουτάλι. Περιέχει συνήθως 50% λιγότερο έλαιο σε σχέση με τη μαγιονέζα και η επιθυμητή υφή επιτυγχάνεται με τη χρήση ζελατινοποιημένου αμύλου και άλλων υδατανθράκων που δεσμεύουν νερό.

Τα υδροκολλοειδή κόμμεα (ξανθάνη, χαρούπι, προπυλενογλυκόλη, αλγινικό κ.ά.) χρησιμοποιούνται ως γαλακτωματοποιητές, παράγοντες πάχυνσης και ως υποκατάστατα λιπαρών σε βάσεις σαλάτας για την επίτευξη των επιθυμητών ρεολογικών χαρακτηριστικών. Γενικά, η υφή των βάσεων σαλάτας είναι αρκετά σταθερή κατά την αποθήκευση. Τυχόν αστάθειες οφείλονται σε δομικές αλλαγές του γαλακτώματος και των κόμμεων. Έχει διαπιστωθεί ότι οι μεγαλύτερες μεταβολές στην υφή, παρουσιάζονται κατά την πρώτη εβδομάδα συντήρησης, στις πιο ρευστές σάλτσες για σαλάτες, οι οποίες είναι συνήθως εμφιαλωμένες. Το προϊόν γίνεται πιο ψευδοπλαστικό και παρουσιάζει αύξηση της τάσης ροής και του δείκτη συνεκτικότητας. Οι αλλαγές αυτές αποδίδονται στη συσσώρευση της ενυδατωμένης δομής του κόμμεος ξανθάνης και στη συνένωση των σταγονιδίων ελαίου (Szczeniak, 1997).

3.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα

3.4.1 Οξύτητα

Η επίδραση της οξύτητας στους μικροοργανισμούς μπορεί να προσδιοριστεί με τρεις τρόπους, με προσδιορισμό του pH, με προσδιορισμό της επίδρασης αδιάστατων μορφών ενός οργανικού οξέος και με προσδιορισμό της επίδρασης των οργανικών οξέων. Ένα ισχυρό οξύ, όπως το HCl, παρουσία νερού διίσταται σε κατιόντα υδρογόνου (πρωτόνια, H⁺) και ανιόντα χλωρίου (Cl⁻). Τα ισχυρά οξέα παρουσία νερού διίστανται πλήρως. Σε αντίθεση τα ασθενή οξέα όπως οξικό, γαλακτικό και κιτρικό διίστανται μερικώς παρουσία νερού. Σε εργαστηριακή κλίμακα έχουν προσδιοριστεί με χρήση ισχυρών οξέων τα κατώτερα όρια pH, που επιτρέπουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Διαπιστώθηκε ανάπτυξη μικροοργανισμών μέχρι την τιμή pH 4. Οι μικροοργανισμοί που αναπτύχθηκαν ήταν οι εξής: *Salmonella* Typhi, *E. coli* O157:H7, *Yersinia enterocolitica*, *Pleisiomonas shigelloides*, *S. aureus*, and *Aeromonas hydrophila*. Τα όρια ανάπτυξης των μικροοργανισμών αυτών στα τρόφιμα θα είναι όμοια ή υψηλότερα από αυτά που έδειξε η επιστημονική μελέτη, λόγω των

αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των συστατικών των τροφίμων (αλάτι, ζάχαρη, συντηρητικά και οξέα) (Smittle, 2000).

Η αύξηση της οξύτητας στα τρόφιμα επιτυγχάνεται με μέσα οξίνισης, δηλαδή με οργανικά οξέα. Η χρήση οργανικών οξέων για την αύξηση της οξύτητας σε προϊόντα όπως η μαγιονέζα και οι βάσεις σαλάτας στηρίζεται στην απελευθέρωση πρωτονίων, η οποία εξαρτάται από τη φύση του οξέος. Τα ασθενή οξέα σε μορφή διαλύματος δίστανται και προκύπτει ισορροπία μεταξύ των αδιάστατων μορίων του οξέος και ανιόντων και πρωτονίων. Η ισορροπία εξαρτάται από την τιμή pH του διαλύτη και από την τιμή pK_a του οξέος. Τα περισσότερα οξέα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων έχουν τιμή pK_a από 3 έως 5 (Doores, 2005). Η αντιμικροβιακή δράση των οργανικών οξέων αποδίδεται στην αδιάστατη μορφή τους και συνιστάται η χρήση τους σε τρόφιμα με pH χαμηλότερο από 5. Η επιλογή του κατάλληλου μέσου οξίνισης εξαρτάται από το pH του τροφίμου την τιμή pK_a του οξέος, καθώς και από άλλους παράγοντες όπως η γεύση, η συνεργιστική δράση με αντιοξειδωτικά κ.ά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα οργανικών οξέων που χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα είναι το οξικό οξύ, το γαλακτικό οξύ και το κιτρικό οξύ (Sorrells et al., 1989).

Πίνακας 3.1: Τιμές pH αναστολής και θανάτωσης παθογόνων μικροοργανισμών, υπολογισμένες σε εργαστηριακή κλίμακα με μέσο οξίνισης οξικό οξύ (Smittle, 2000)

Μικροοργανισμός	pH αναστολής	pH θανάτωσης
<i>Salmonella Aertrycke</i>	4.9	4.5
<i>Staphylococcus aureus</i>	5.0	4.9
<i>Bacillus cereus</i>	4.9	4.9
<i>Salmonella Anatum, Tennessee, ή Senftenberg</i>	5.4	-
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	4.5 – 5.0	<3.0
<i>Y. enterocolitica</i>	5.0	4.75
<i>L. monocytogenes</i>	4.59	4.37

3.4.2 Θερμοκρασία συντήρησης

Για τη μαγιονέζα εμπορικού τύπου ως ιδανική θερμοκρασία συντήρησης, διανομής και αποθήκευσης συνιστάται η θερμοκρασία δωματίου. Σε αυτή τη θερμοκρασία επιτυγχάνεται υψηλότερη απενεργοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών, σε τρόφιμα υψηλής οξύτητας και με χαμηλό pH όπως η μαγιονέζα και τα παράγωγα

προϊόντα της (Rhee et al., 2003). Σε αυτή τη θερμοκρασία οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται σε εχθρικό περιβάλλον, χρησιμοποιούν κάθε εσωτερικό τους μηχανισμό για να διατηρήσουν την ομοιόσταση τους (δηλαδή την σταθερότητα και την ομοιογένεια στο εσωτερικό τους) (Leistner, 1995). Με αυτό τον τρόπο οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν όλη τη διαθέσιμη ενέργεια και πεθαίνουν λόγω εξάντλησης του μεταβολισμού τους (αυτό-αποστείρωση του προϊόντος). Για παράδειγμα για το μικροοργανισμό *Escherichia coli* O157:H7, έρευνες έχουν δείξει, ότι στελέχη του έχουν επιβιώσει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες ψύξης από ότι σε θερμοκρασία δωματίου σε μαγιονέζα. Λόγω του υψηλού ρυθμού απενεργοποίησης των μικροοργανισμών σε θερμοκρασία δωματίου, προτείνεται η αποθήκευση της μαγιονέζας για 48 – 72 h σε αυτές τις συνθήκες, πριν περάσει στην κατανάλωση. Παρατεταμένη βέβαια αποθήκευση σε θερμοκρασία δωματίου μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση (Smittle, 1977).

Για τις έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα συνιστάται η συντήρησή τους υπό συνθήκες ψύξης, καθώς οι εσωτερικοί μηχανισμοί αναστολής της μικροβιακής ανάπτυξης δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί, όσο στις όξυνες σάλτσες όπως η μαγιονέζα. Οι περισσότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι μεσόφιλοι, συνεπώς δεν ευνοείται η ανάπτυξη τους υπό συνθήκες ψύξης και τα προϊόντα αυτά είναι ασφαλή προς κατανάλωση. Εξαιρεση αποτελεί ο μικροοργανισμός *L. monocytogenes*, ο οποίος αναπτύσσεται έως τη θερμοκρασία -1.5 °C (ICMSF, 1996).

3.4.3 Ενεργότητα νερού (a_w)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ενεργότητα νερού σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα είναι περίπου 0.98, ενώ στη μαγιονέζα κυμαίνεται στο εύρος 0.93 – 0.95. Με την προσθήκη συστατικών όπως ζάχαρη και αλάτι μειώνεται η ποσότητα διαθέσιμου νερού για τη μικροβιακή ανάπτυξη. Ωστόσο η ποσότητα που μπορεί να προστεθεί είναι περιορισμένη για τη διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Jones, 2000). Η ελάχιστη ενεργότητα νερού στην οποία μπορούν να αναπτυχθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί *Salmonella* και *E.coli* είναι 0.94 και 0.96 αντίστοιχα (Koutsoumanis et al., 2004).

3.4.4 Συντηρητικά τροφίμων

Τα συντηρητικά ενσωματώνονται στα τρόφιμα για να αποτρέψουν τη μικροβιακή αλλοίωση κατά την αποθήκευση, διανομή και κατανάλωση. Ο ρόλος τους κυρίως είναι να επιδρούν στους μικροοργανισμούς που έχουν επιμολύνει το τρόφιμο και να τους απενεργοποιούν ή να επιβραδύνουν την ανάπτυξη τους. Με αυτόν τον τρόπο επεκτείνεται η διάρκεια ζωής των τροφίμων (Davidson, 1997).

Πίνακας 3.2 Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις σε ppm βενζοϊκού και σορβικού οξέος σε σάλτσες και σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα, στην Ευρώπη (ΕΥ, 2001)

Προϊόν	Βενζοϊκό οξύ (ΒΟ)	Σορβικό οξύ (ΣΟ)	ΒΟ + ΣΟ
Γαλακτωματοποιημένες σάλτσες με λιπαρά ≥ 60%	500	1000	1000
Γαλακτωματοποιημένες σάλτσες με λιπαρά ≤ 60%	1000	2000	2000
Μη γαλακτωματοποιημένες σάλτσες			1000
Έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες			1500
Μουστάρδα			1000

Σορβικό κάλιο

Το σορβικό κάλιο αποτελεί άλας, το οποίο προέρχεται από το ασθενές οργανικό οξύ σορβικό. Το σορβικό οξύ είναι ένα ακόρεστο οξύ και χρησιμοποιείται στα τρόφιμα ως συντηρητικό από το 1940, άλλοτε ως οξύ άλλοτε ως άλας νατρίου, καλίου ή ασβεστίου. Το σορβικό οξύ έχει τιμή pK_a 4.76 και μοριακό βάρος 112 g/mol. Η πρόσληψη και η διάχυση του σορβικού οξέος εξαρτάται από τα συστατικά του, τη δομή, το pH και την περιεχόμενη υγρασία του τροφίμου. Η δράση του εξαρτάται από το είδος του μικροοργανισμού, τις ιδιότητες του υποστρώματος και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συγκεντρώσεις 100 έως 2000 ppm στα τρόφιμα, όμως η συγκέντρωση του καθορίζεται και από το μικροβιακό φορτίο. Χρησιμοποιείται σε τρόφιμα όπως μη αλκοολούχα και αλκοολούχα ποτά, επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά, προϊόντα αρτοποιίας, μαγιονέζα, σάλτσες μαγιονέζας κ.ά. Συγκεκριμένα στη μαγιονέζα και στις σάλτσες μαγιονέζας προστίθεται σε ποσότητα 1000 έως 2000 ppm. Υψηλότερες συγκεντρώσεις χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα με υψηλό μικροβιακό φορτίο. Το σορβικό οξύ χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για την απενεργοποίηση μούχλων και μυκήτων, αλλά και ορισμένων βακτηρίων.

Παρόλο που ο μηχανισμός δράσης του σορβικού οξέος δεν έχει καθοριστεί πλήρως, είναι γνωστό ότι η δράση του εξαρτάται από το είδος των μικροοργανισμών. Το σορβικό οξύ επιδρά στις μεμβράνες και στο γενετικό υλικό του κυττάρου και αναστέλλει τη λειτουργία των ενζύμων. Έτσι αναστέλλονται οι μικροβιακές μεταβολικές λειτουργίες των κυττάρων. Εκτιμάται ότι το σορβικό οξύ αναστέλλει και

την ανάπτυξη των σπορίων, καθώς επιδρά στις μεμβράνες τους και στα ένζυμα πρωτεάσες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη τους. Τα γαλακτικά βακτήρια αντιστέκονται στη δράση του πέρα από ορισμένες εξαιρέσεις.

Όπως τα περισσότερα ασθενή οξέα, το σορβικό οξύ είναι πιο αποτελεσματικό σε χαμηλές τιμές pH, αν και παρουσιάζει κάποια αντιμικροβιακή δράση μέχρι σε ουδέτερο pH. Άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν στην αντιμικροβιακή δράση του σορβικού οξέος και των αλάτων του είναι η συσκευασία υπό κενό και η τροποποιημένη ατμόσφαιρα, η παρουσία ζάχαρης και αλατιού και τα αντιοξειδωτικά. Τα συντηρητικά αυτά συμβάλλουν επίσης στην απενεργοποίηση των μικροβιακών κυττάρων κατά την επεξεργασία τροφίμων με υπερυψηλή πίεση και θερμικές μεθόδους. Το σορβικό οξύ θεωρείται από τα λιγότερο επιβλαβή και τοξικά συντηρητικά. Μελέτες έχουν δείξει ότι δεν ευθύνεται για ανωμαλίες, καρκινογένεσεις και μεταλλάξεις. Η αποδεκτή ημερήσια ποσότητα πρόσληψης σορβικού οξέος για τον άνθρωπο είναι 25 mg/kg. Ακόμη κι αν το σορβικό οξύ αντιδράσει με άλλες ενώσεις των τροφίμων, δεν προκύπτουν τοξικά παράγωγα (Storforth et al., 2005).

Κεφάλαιο 4: Η τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ)

4.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία τροφίμων έχει ως στόχο τη μετατροπή των προϊόντων ζωικής ή φυτικής προέλευσης, σε προϊόντα σταθερά και ασφαλή για τον καταναλωτή, χωρίς να υποβαθμίζει την ποιότητά τους. Στις μέρες μας οι καταναλωτές δεν ενδιαφέρονται μόνο για τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων (όπως υφή, γεύση, σχήμα, χρώμα, άρωμα και μετάγευση), αλλά κυρίως για τη θρεπτική τους αξία και απαιτούν προϊόντα περιορισμένης, τόσο επεξεργασίας, όσο και χρήσης πρόσθετων συστατικών. Σκοπός της βιομηχανίας τροφίμων είναι η ανάπτυξη μεθόδων επεξεργασίας, οι οποίες θα διατηρούν ή θα βελτιώνουν τις οργανοληπτικές και θρεπτικές ιδιότητες των προϊόντων, θα μειώνουν τις ανεπιθύμητες μεταβολές, που προέρχονται από την επεξεργασία τους και θα αυξάνουν τη διατηρησιμότητά τους.

Οι τεχνολογίες συντήρησης τροφίμων που έχουν εφαρμοστεί εκτενώς στη βιομηχανία ποικίλουν, συμπεριλαμβάνουν φυσικές (θέρμανση, ψύξη κατάψυξη, ξήρανση και συσκευασία) και χημικές μεθόδους επεξεργασίας (μείωση του pH, χρήση συντηρητικών). Η βάση αυτών των μεθόδων είναι η μείωση της μικροβιακής ανάπτυξης και του μεταβολισμού, για να μην επιφέρονται ανεπιθύμητες χημικές μεταβολές στα τρόφιμα. Από τις προαναφερθείσες μεθόδους, η θερμική επεξεργασία είναι η πιο καθιερωμένη. Για την παραγωγή ασφαλών προς κατανάλωση προϊόντων, με αυξημένη διάρκεια ζωής, γίνεται εφαρμογή συμβατικών θερμικών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων (παστερίωση, αποστείρωση κ.ά) (Tao et al., 2014). Οι θερμικές διεργασίες παρ' όλο που έχουν μελετηθεί εκτενώς και πολλές εφαρμογές τους έχουν βελτιστοποιηθεί, προκαλούν ποιοτική υποβάθμιση του τροφίμου. Μπορούν να προκαλέσουν μετουσίωση των πρωτεϊνών, να αλλοιώσουν τη διαλυτότητα των υδατανθράκων, να ενισχύσουν το μη ενζυμικό μαύρισμα των τροφίμων μέσω της αντίδρασης Maillard και να μεταβάλλουν αρνητικά τα θερμοευαίσθητα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, όπως τη γεύση και το flavor. Η χρήση μη θερμικών τεχνολογιών διερευνάται έτσι ώστε να περιοριστεί η χρήση των θερμικών και η ποιοτική υποβάθμιση του τελικού προϊόντος.

Ο όρος μη θερμικές διεργασίες χρησιμοποιείται για να ορίσει νέες τεχνολογίες που είναι αποτελεσματικές σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από τις θερμοκρασίες θανάτωσης και σε περιπτώσεις όπου η θερμότητα δεν είναι ο κρίσιμος παράγοντας για την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών. Οι αυξημένες απαιτήσεις των καταναλωτών για φρέσκα και

ασφαλή προϊόντα, έχει αυξήσει το ενδιαφέρον για τις μη θερμικές τεχνολογίες, λόγω της ικανότητάς τους να απενεργοποιούν μικροοργανισμούς και ένζυμα στα τρόφιμα, χωρίς όμως να υποβαθμίζουν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά. Η κύρια εφαρμογή τους θεωρείται η αντικατάσταση της θερμικής παστερίωσης, καθώς και η ενσωμάτωσή τους σε άλλα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, με στόχο την αύξηση της απόδοσης (Katsaros and Taoukis, 2015).

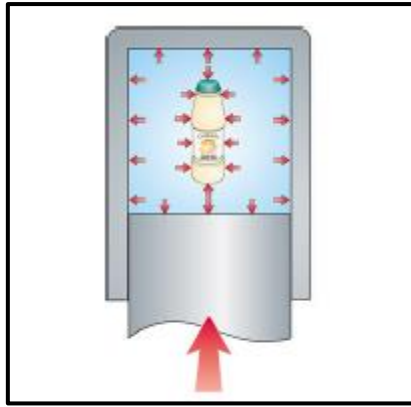
Βασικός στόχος της βιομηχανίας τροφίμων αποτελεί η αναζήτηση νέων ήπιων μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων, έναντι της συμβατικής θερμικής επεξεργασίας, που να επιτρέπουν την παραγωγή ασφαλών και υψηλής ποιότητας προϊόντων, που διατηρούν τα φυσικά τους χαρακτηριστικά (φρεσκάδα, χρώμα, γεύση κ.ά), είναι ελάχιστα επεξεργασμένα (χωρίς συντηρητικά) και έχουν αυξημένη διατηρησιμότητα. Κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων μεθόδων είναι η επεξεργασία με Υψηλή υδροστατική Πίεση (ΥΠ), Παλλόμενα Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ), υπέρηχους, ακτινοβολία, κρύο πλάσμα, ωσμωτική αφυδάτωση (Tao et al., 2014).

Η σημαντικότερη από τις προαναφερθείσες μεθόδους επεξεργασίας είναι η Υψηλή υδροστατική Πίεση, καθώς αποτελεί μη θερμική μέθοδος, που εξασφαλίζει την ασφάλεια και την ποιότητα του τροφίμου διατηρώντας τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά αναλλοίωτα. Σε πολλές περιπτώσεις τροποποιεί τις φυσικοχημικές ιδιότητες των τροφίμων, όπως την υφή και τη δομή και οδηγεί στη δημιουργία νέων προϊόντων τροφίμων.

4.2 Αρχές λειτουργίας της ΥΠ

Η Υπερυψηλή Πίεση διέπεται από τρεις βασικές αρχές, την αρχή του Le Chatelier, την ισοστατική αρχή και την αρχή της μικροσκοπικής διάταξης:

1. Με βάση την αρχή του Le Chatelier, κάθε δράση που πραγματοποιείται σε ένα σύστημα που βρίσκεται σε ισορροπία, η οποία επιφέρει μείωση του όγκου, ευνοείται με την αύξηση της πίεσης (Farkas and Hoover, 2000).
2. Με βάση την αρχή της μικροσκοπικής διάταξης, σε σταθερή θερμοκρασία, η αύξηση της πίεσης αυξάνει το βαθμό διάταξης των βιομορίων ενός δεδομένου συστατικού. Συνεπώς, η πίεση και η θερμοκρασία ασκούν ανταγωνιστικές δυνάμεις στη μοριακή δομή και τις χημικές αντιδράσεις (Balny and Masson 1993).
3. Με βάση την ισοστατική αρχή, όταν σε ένα τρόφιμο ασκείται ομοιόμορφη πίεση από κάθε κατεύθυνση, επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση και σχήμα όταν η πίεση απελευθερώνεται. Τα προϊόντα συμπιέζονται ανεξαρτήτως από το μέγεθος και τη γεωμετρία τους, καθώς η μεταφορά της πίεσης στον πυρήνα του τροφίμου δεν εξαρτάται από τη μάζα και το χρόνο (Farkas and Hoover, 2000).



Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση της Ισοστατικής Αρχής (Tao et al., 2014)

4.3 Περιγραφή της διεργασίας ΥΠ

Η διεργασία της ΥΠ αποτελεί μια μη θερμική μέθοδο επεξεργασίας τροφίμων η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε προσυσκευασμένα ή μη, υγρά και στερεά τρόφιμα. Κατά την ΥΠ μπορεί να εφαρμοστεί πίεση από 100 μέχρι 800 MPa, ενώ οι χρόνοι κατεργασίας κυμαίνονται από μερικά δευτερόλεπτα έως 20 min. Η εφαρμογή υψηλών πιέσεων έχει ως αποτέλεσμα την απενεργοποίηση μικροοργανισμών και ενζύμων, αυξάνοντας τη διατηρησιμότητα του τροφίμου και διατηρώντας τα θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά αναλλοίωτα (Farkas and Hoover, 2000). Η επεξεργασία με ΥΠ επιτρέπει την επεξεργασία τροφίμων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή ακόμη και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επιτρέπει επίσης την άμεση μετάδοση της πίεσης σε όλο το σύστημα, ανεξάρτητα από το μέγεθος και τη γεωμετρία του τροφίμου, διατηρώντας τη μορφή του και τροποποιώντας τα λειτουργικά του χαρακτηριστικά, όπως δομή και υφή, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη νέων προϊόντων ή αυξάνοντας τη λειτουργικότητα ορισμένων συστατικών (Rastogi et al., 2007).

Οι υψηλές πιέσεις αφήνουν τους ομοιοπολικούς δεσμούς σχεδόν αναλλοίωτους και επηρεάζουν τους μη – ομοιοπολικούς. Αυτό επιτρέπει την καταστροφή της μικροβιακής δραστηριότητας χωρίς να επηρεάζονται σημαντικά τα μόρια των τροφίμων, που καθορίζουν τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Καθώς η διεργασία μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα θρεπτικά συστατικά, οι φυσικές γεύσεις και τα χρώματα παραμένουν σχεδόν αναλλοίωτα, γεγονός που οδηγεί σε προϊόντα υψηλής ποιότητας. Έτσι αποφεύγεται η χρήση περαιτέρω θερμικής κατεργασίας και χημικών συντηρητικών για την επίτευξη επαρκούς διάρκειας ζωής των προϊόντων (Fellows, 2000).

Σε μια χαρακτηριστική διεργασία ΥΠ, το προϊόν συσκευάζεται υπό κενό σε εύκαμπτο περιέκτη, και τοποθετείται στο δοχείο υψηλής πίεσης, το οποίο έχει πληρωθεί με ένα

ρευστό που διαβιβάζει την πίεση. Η επιθυμητή πίεση προκύπτει από συμπίεση του ρευστού μέσω μίας αντλίας και ενός ενισχυτή και διαβιβάζεται μέσω της συσκευασίας στα ίδια τα τρόφιμα. Κατά τη διεργασία το τρόφιμο διατηρείται στην επιθυμητή πίεση και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας η πίεση απελευθερώνεται. Το επεξεργασμένο προϊόν απομακρύνεται έπειτα και αποθηκεύεται ή διανέμεται (Balasubramaniam and Farkas, 2008). Η συμπίεση κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας με ΥΠ αυξάνει τη θερμοκρασία του τροφίμου λόγω αδιαβατικής θέρμανσης περίπου 3°C ανά 100 MPa, ανάλογα με τη σύνθεσή του. Εάν το τρόφιμο περιέχει υψηλό ποσοστό λίπους, όπως το βούτυρο και οι κρέμες, τότε η θερμοκρασιακή αύξηση είναι υψηλότερη, δηλαδή 9 °C ανά 100 MPa. Τα τρόφιμα ψύχονται στην αρχική θερμοκρασία τους κατά την αποσυμπίεση, εάν και εφόσον θερμότητα δεν χάνεται ή προσδίδεται μέσω των τοιχωμάτων των δοχείων πίεσης κατά τη διάρκεια του χρόνου επεξεργασίας του τροφίμου στην εκάστοτε πίεση. Επιπλέον, σε ένα ομοιογενές σύστημα είναι απαραίτητο το τρόφιμο να βρίσκεται σε μια ομοιόμορφη αρχική θερμοκρασία, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ομοιόμορφη αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της συμπίεσης. Το δοχείο της πίεσης πρέπει να κρατείται σε θερμοκρασία ίση με την τελική θερμοκρασία του τροφίμου (αυτής λόγω αύξησης από τη συμπίεση), ώστε να διατηρούνται οι ισόθερμες συνθήκες (Rastogi et al., 2007).

Η πίεση εφαρμόζεται ισοστατικά και ομοιόμορφα σε όλες τις πλευρές του τροφίμου, ανεξαρτήτως από το μέγεθος και τη γεωμετρία του και για το λόγο αυτό το προϊόν δεν συνθλίβεται κατά τη διάρκεια της διεργασίας και διατηρεί το σχήμα του. Η διεργασία μπορεί να γίνει σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος ή και πιο χαμηλές κάτι το οποίο είναι χρήσιμο για τρόφιμα ευπαθή στη θερμότητα, καθότι διατηρούνται τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά (Rastogi 2013). Με βάση τις παραπάνω αρχές, το φαινόμενο της μεταφοράς φάσης και οι χημικές αλλαγές συνοδεύονται από μείωση του όγκου, που ευνοείται από την πίεση και αντίστροφα. Το υλικό συσκευασίας του τροφίμου πρέπει να είναι ανθεκτικό σε ένα ποσοστό αυξομείωσης όγκου περίπου 15% (Farkas and Hoover, 2001).

Επίσης μελέτες υποστηρίζουν ότι η ΥΠ προκαλεί ιοντική διάσπαση των μορίων του νερού, με αποτέλεσμα τη μείωση του pH των τροφίμων. Μελέτη της επίδρασης της ΥΠ σε χυμό μήλου έδειξε μείωση του pH κατά 0.2 μονάδες με αύξηση της επιβαλλόμενης πίεσης κατά 100 MPa. Επειδή το pH παίζει καθοριστικό ρόλο σε φαινόμενα όπως δημιουργία γέλης (gel), δραστηριότητα ενζύμων, μετουσίωση πρωτεϊνών και μικροβιακή απενεργοποίηση, οι μικροοργανισμοί γίνονται πιο ευαίσθητοι υπό συνθήκες πίεσης (Balasubramaniam et al., 2015).

Προκειμένου να σχεδιαστεί μια διεργασία ΥΠ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετές παράμετροι όπως η εφαρμοζόμενη πίεση, ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής πίεσης, ο χρόνος παραμονής του τροφίμου στην επιθυμητή πίεση, η

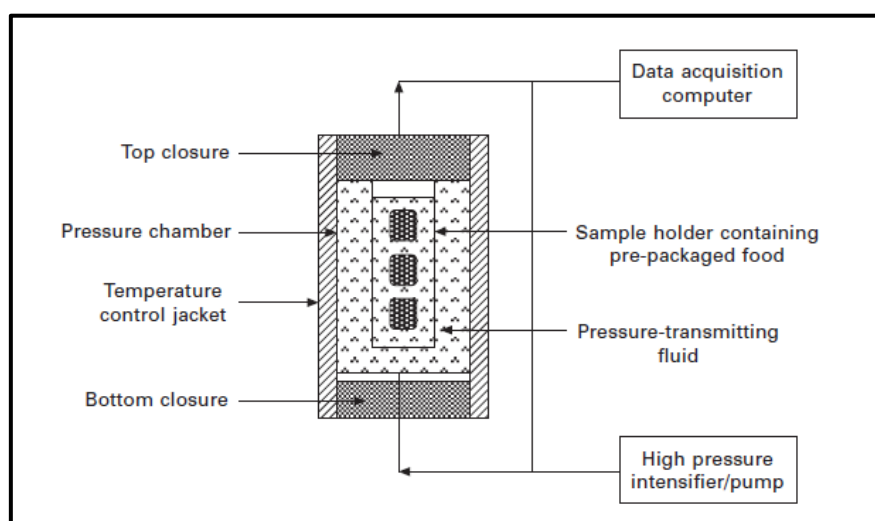
θερμοκρασία της διεργασίας, οι φυσικοχημικές ιδιότητες του προς επεξεργασία τροφίμου καθώς και το επιθυμητό αποτέλεσμα – στόχος της διεργασίας (Welti – Chanes et al., 2004).

4.4 Τεχνολογία της ΥΠ

4.4.1 Εξοπλισμός της ΥΠ

Ένα σύστημα ΥΠ αποτελείται από ένα δοχείο πίεσης και το κάλυμμά του, ένα σύστημα παραγωγής πίεσης, ένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας και ένα σύστημα διαχείρισης υλών. Μόλις το δοχείο πληρωθεί με το προς επεξεργασία τρόφιμο, σφραγίζεται και γεμίζεται με το μέσο μεταφοράς πίεσης. Ο αέρας απομακρύνεται και στη συνέχεια δημιουργείται η ΥΠ. Η ΥΠ δημιουργείται με άμεση, έμμεση συμπίεση ή θέρμανση του ρευστού πίεσης.

Κατά την άμεση συμπίεση το ρευστό μετάδοσης πίεσης στο δοχείο συμπιέζεται από ένα έμβολο μικρής διαμέτρου, το οποίο κινείται με τη βοήθεια μιας αντλίας χαμηλής πίεσης. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη γρήγορη συμπίεση. Ωστόσο επειδή πρέπει να επιτευχθεί δυναμικό σφράγισμα του εμβόλου και της εσωτερικής διαμέτρου του δοχείου, η άμεση συμπίεση εφαρμόζεται κυρίως σε μικρής διαμέτρου εργαστηριακής ή πιλοτικής κλίμακας συστήματα. Κατά την έμμεση συμπίεση το υγρό μεταφοράς της πίεσης αντλείται από μία δεξαμενή σε κλειστό δοχείο πίεσης με τη βοήθεια ενός ενισχυτή πίεσης, μέχρις ότου επιτευχθεί η επιθυμητή πίεση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στα περισσότερα βιομηχανικά συστήματα ισοστατικής πίεσης. Τέλος κατά τη θέρμανση του ρευστού πίεσης, προκαλείται διαστολή του ρευστού, με αύξηση της θερμοκρασίας για την παραγωγή πίεσης. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται συνδυασμός πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας και απαιτεί πολύ ακριβή θερμοκρασιακό έλεγχο (Palou et al., 2007).



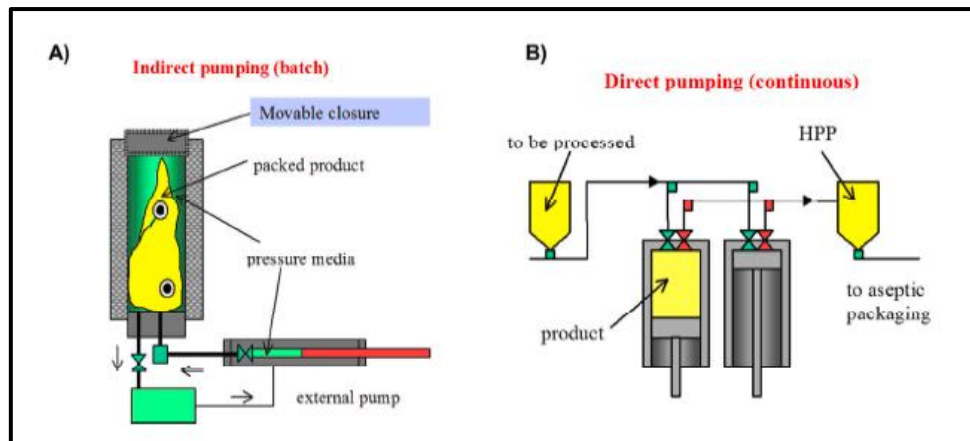
Εικόνα 4.2: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ΥΠ (Daryaei and Balasubramaniam, 2012)

Οι περισσότεροι θάλαμοι πίεσης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων έχουν κυλινδρική δομή και μπορούν να κατασκευαστούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Κατασκευάζονται συνήθως από υλικά με μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό, συνήθως μονοτμηματικά (monoblocs, κομμένα από ένα ενιαίο κομμάτι μετάλλου) κομμάτια κραμάτων του χάλυβα. Οι θάλαμοι αυτοί δεν είναι ανθεκτικοί σε πιέσεις άνω των 400 MPa. Για μεγαλύτερες πιέσεις οι θάλαμοι κατασκευάζονται από πολυστρωματικά υλικά (πυκνά παρατεταγμένοι, ομόκεντροι κύλινδροι). Έτσι μπορούν να ανταπεξέλθουν σε υψηλότερες πιέσεις και είναι ασφαλέστεροι. Ο τρίτος τρόπος κατασκευής περιλαμβάνει την περιέλιξη ανοξειδωτού χάλυβα γύρω από τον κορμό του θαλάμου πίεσης. Οι θάλαμοι αυτοί έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ακραίες τιμές πίεσης (Daryaei and Balasubramaniam, 2012).

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με μανδύες γύρω από τους θαλάμους ΥΠ. Στους μανδύες κυκλοφορεί ψυκτικό/θερμαντικό μέσο, ανάλογα με τις ανάγκες. Η μέθοδος αυτή είναι ικανοποιητική σε περιπτώσεις που απαιτείται σταθερή θερμοκρασία, ενώ σε περιπτώσεις που απαιτείται συχνή μεταβολή της θερμοκρασίας, η θερμοκρασιακή απόκριση είναι πολύ αργή και χρησιμοποιείται ένας εσωτερικός εναλλάκτης θερμότητας (Ohlsson, 2000).

4.4.2 Συστήματα επεξεργασίας τροφίμων

Τα συστήματα επεξεργασίας τροφίμων με ΥΠ μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: συστήματα επεξεργασίας συσκευασμένων τροφίμων και συστήματα επεξεργασίας «χύμα» τροφίμων (bulk). Ο όγκος των τροφίμων μειώνεται σε υψηλές πιέσεις (για παράδειγμα, ο όγκος του νερού μειώνεται κατά 15% σε πίεση 600 MPa). Συνεπώς τα συστήματα επεξεργασίας συσκευασμένων τροφίμων περιορίζουν την επιλογή συσκευασίας, καθώς πρέπει να χρησιμοποιούνται ευέλικτες συσκευασίες, που να είναι ανθεκτικές σε μικρές μεταβολές του όγκου. Οι συσκευασίες αυτές είναι συνήθως φτιαγμένες από πλαστικό ή αλουμίνιο, όμως η έρευνα συνεχίζεται για τη βελτιστοποίησή τους. Τα συστήματα διαχείρισης υλών (φόρτωση/εκφόρτωση θαλάμων) είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται σε δοχεία διαλείποντος έργου. Τα συστήματα χύμα επεξεργασίας είναι πιο απλά, καθώς χρησιμοποιούνται μόνο αντλίες, σωληνώσεις και βαλβίδες. Ο μοναδικός περιορισμός σε αυτά τα συστήματα είναι τα τρόφιμα να είναι αντλήσιμα (Ohlsson, 2000).



Εικόνα 4.3: Α) Έμμεση συμπίεση σε συστήματα διαλείπουσας λειτουργίας, Β) Άμεση συμπίεση σε συστήματα συνεχούς λειτουργίας (Rovere, 2001)

Στη βιομηχανία τροφίμων η επεξεργασία πραγματοποιείται είτε σε συστήματα διαλείπουσας ή ημισυνεχούς λειτουργίας σε δοχεία πίεσης χωρητικότητας 35 – 600 L. Το δοχείο πίεσης μπορεί να είναι τοποθετημένο κάθετα, οριζόντια ή υπό κλίση. Ο διαθέσιμος χώρος και οι περιορισμοί σε κάθε εγκατάσταση υπαγορεύουν την τοποθέτησή του. Στα συστήματα διαλείπουσας λειτουργίας τα προς επεξεργασία τρόφιμα είναι στερεά ή ρευστά, ενώ στα συστήματα ημισυνεχούς λειτουργίας είναι μόνο ρευστά (Balasubramaniam and Farkas, 2008). Στα συστήματα διαλείπουσας λειτουργίας τα τρόφιμα προσυσκευάζονται και φορτώνονται στο δοχείο, το κάλυμμα σφραγίζεται και το ρευστό μεταφοράς πίεσης αντλείται στο δοχείο, ενώ το σύστημα εκκενώνεται από αέρα. Μόλις η πίεση φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα, σταθεροποιείται και μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου διεργασίας απελευθερώνεται. Τα τρόφιμα τότε απομακρύνονται και το σύστημα φορτώνεται εκ νέου. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται από την έναρξη της συμπίεσης, μέχρι την πλήρη αποσυμπίεση αποτελεί ένα κύκλο λειτουργίας, ο οποίος αποτελεί ένα σημαντικό τεχνολογικό παράγοντα για τον προσδιορισμό της απόδοσης του συστήματος. Τα χύμα τρόφιμα (ρευστά) επεξεργάζονται σε συστήματα ημισυνεχούς λειτουργίας. Σε αντίθεση με τα συστήματα διαλείπουσας λειτουργίας, δεν είναι απαραίτητη η προσυσκευασία των τροφίμων. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από μία συστοιχία τριών ή περισσότερων δοχείων πίεσης. Η σύνδεσή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε όταν το πρώτο δοχείο εκφορτώνεται, το δεύτερο βρίσκεται στο στάδιο της συμπίεσης και το τρίτο φορτώνεται με το προϊόν. Μετά το πέρας της διεργασίας το προϊόν συσκευάζεται σε ασηπτικές συνθήκες, είτε σε γυάλινες και πλαστικές φιάλες, είτε σε χάρτινους περιέκτες (Daryaei and Balasubramaniam, 2012).

4.4.3 Μέσο συμπίεσης

Το ρευστό που μεταδίδει την πίεση στα συστήματα ΥΠ, χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την πίεση στα προσυσκευασμένα δείγματα τροφίμων. Το νερό είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μέσο συμπίεσης σε βιομηχανική κλίμακα. Σε πειραματικές διατάξεις χρησιμοποιούνται ως μέσα συμπίεσης και άλλα ρευστά, όπως γλυκερόλη, νερό και γλυκερόλη, διαλύματα βενζοϊκού νατρίου και

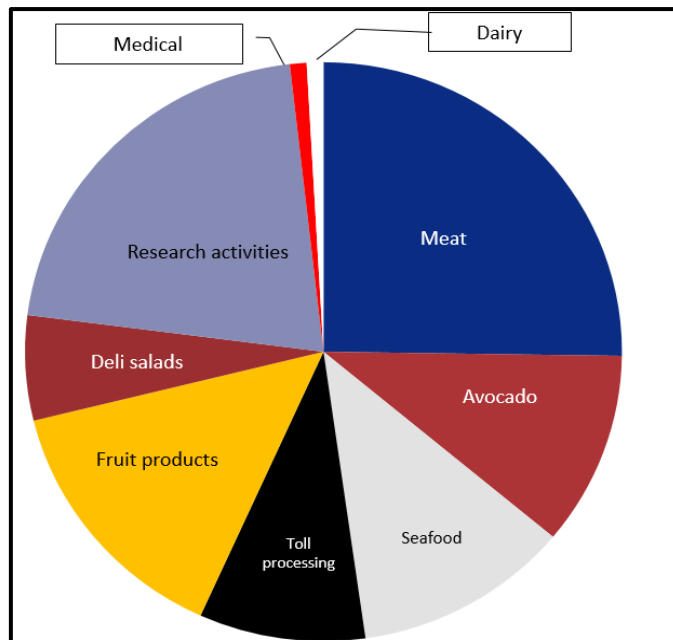
καστορέλαιο, καθώς ο εξοπλισμός, επειδή είναι χαμηλότερου κόστους σε σχέση με τον βιομηχανικό, είναι συνήθως επιρρεπής στη διάβρωση. Η επιλογή του μέσου συμπίεσης εξαρτάται από τη συμπεριφορά του υπό συνθήκες πίεσης και μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας, από το ιξώδες του και από τις λιπαντικές του ιδιότητες (Balasubramaniam et al., 2015).

4.4.4 Κόστος του εξοπλισμού

Συλλογή δεδομένων από κατασκευαστές εξοπλισμού ΥΠ εκτιμά, ότι το αρχικό κόστος επένδυσης για ένα βιομηχανικό σύστημα ΥΠ κυμαίνεται από 0.5 έως 2 εκατ. € με κόστος επεξεργασίας στα 400 MPa 0.1 – 0.2 €/ kg. Ένα σύστημα παστερίωσης χυμών με ΥΠ κοστίζει περίπου 20 φορές περισσότερο από το συμβατικό σύστημα θερμικής παστερίωσης με εναλλάκτες. Το κόστος επηρεάζεται από παράγοντες όπως τον όγκο των θαλάμων, τη μέγιστη επιθυμητή πίεση, το χρόνο και τη θερμοκρασία επεξεργασίας και το βαθμό αξιοποίησης της γραμμής. Πλήρωση των θαλάμων στο 50% του όγκου τους έχει διπλάσιο κόστος, από ότι η πλήρωση στο 85%, γεγονός που υποδεικνύει τη σημασία της μέγιστης αξιοποίησης μιας γραμμής μεγάλης κλίμακας (Ohlsson, 2000).

4.5 Παστερίωση με ΥΠ

Η ΥΠ (400 – 600 MPa) μπορεί να εφαρμοστεί ως παστερίωση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή χαμηλότερη, σε ρευστά ή στερεά τρόφιμα, όπως κρέας, σαλάτες, χυμοί και λαχανικά. Εξοπλισμός παστερίωσης με ΥΠ είναι διαθέσιμος στη βιομηχανία τροφίμων, με κάθετο ή οριζόντιο προσανατολισμό και χωρητικότητα 35 – 525 L (Balasubramaniam et al., 2015). Οι συνθήκες αυτές απενεργοποιούν ικανοποιητικά παθογόνα και αλλοιογόνα βακτήρια, ζύμες, μύκητες και ιούς (Daryaei and Balasubramaniam, 2012). Επειδή η παστερίωση τυπικά δεν απενεργοποιεί τα βακτηριακά σπόρια, είναι σημαντικό τα παστεριωμένα υπό πίεση τρόφιμα να αποθηκεύονται σε συνθήκες ψύξης. Σε αντίθεση με τη θερμική παστερίωση, στην παστερίωση με ΥΠ οι συνθήκες απενεργοποίησης των μικροοργανισμών μπορεί να μην επαρκούν για την απενεργοποίηση των ενζύμων. Συνεπώς σε περίπτωση που είναι επιθυμητή η ενζυμική απενεργοποίηση πρέπει να προηγείται ήπια θερμική επεξεργασία (Balasubramaniam et al., 2015).



Εικόνα 4.4: Εφαρμογή της ΥΠ στη βιομηχανία τροφίμων και σε άλλα πεδία (Raghubeer, 2015)

Αρκετά προϊόντα παστεριωμένα υπό πίεση έχουν εμπορευματοποιηθεί με επιτυχία παγκοσμίως. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα εξής: χυμοί φρούτων και λαχανικών (Γαλλία, Ιαπωνία, USA, UK, Πορτογαλλία, Ιταλία), πολτοποιημένο αβοκάντο (γουακαμόλε), σάλτσες και dips (USA), ζαμπόν, tapas, πουλερικά προϊόντα (Ισπανία, USA), ιχθυηρά προϊόντα, στρείδια, μύδια, χτένια, καλαμάρια και γαρίδες (Ιαπωνία, USA), διάφορα μείγματα (USA) και γιαούρτι (Ιαπωνία) (Daryaei and Balasubramaniam, 2012).

4.6 Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς

Η μικροβιακή απενεργοποίηση είναι ένας από τους κύριους στόχους της ΥΠ. Η μικροβιακή απενεργοποίηση εξαρτάται από το είδος και το πλήθος των μικροοργανισμών, από το ύψος και τη διάρκεια της πίεσης, καθώς και από τη θερμοκρασία και τη σύσταση του προς επεξεργασία τροφίμου (Aymerich et al., 2000). Η ευαισθησία των μικροοργανισμών στην πίεση μπορεί να ποικίλει μεταξύ των ειδών και μεταξύ των στελεχών του ίδιου είδους. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: σε αυτούς που είναι ευαίσθητοι στην πίεση και σε αυτούς που είναι ανθεκτικοί. Γενικά τα θετικά κατά Γκραμ βακτήρια είναι πιο ανθεκτικά στην πίεση από τα αρνητικά κατά Γκραμ, τους μύκητες και τις ζύμες. Τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην πίεση, την εμφανίζουν τα βακτηριακά σπόρια. Η ευαισθησία των μικροβιακών κυττάρων εξαρτάται από το στάδιο του κύκλου ανάπτυξης, κατά το οποίο οι οργανισμοί υποβάλλονται σε επεξεργασία ΥΠ. Τα κύτταρα στην εκθετική φάση ανάπτυξης είναι πιο ευαίσθητα στην πίεση από τα κύτταρα που βρίσκονται σε στατική φάση ανάπτυξης (Yordanov and Angelova, 2010). Τρόφιμα με υψηλά θρεπτικά συστατικά, όπως το κρέας μπορούν να ενισχύσουν την

αντίσταση των μικροοργανισμών σε υψηλές πιέσεις. Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπίδια έχουν επίσης προστατευτική δράση έναντι στην πίεση. Η χαμηλή ενεργότητα νερού, σε επίπεδα κάτω του 0.95 τείνει να αναστείλει την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών (Smelt et al., 1998).

Το ύψος και η διάρκεια της διεργασίας με ΥΠ μπορεί να επηρεάσει τη μείωση του μικροβιακού φορτίου. Αύξηση της πίεσης αυξάνει την μικροβιακή αδρανοποίηση, όμως αύξηση της διάρκειας της διεργασίας δεν είναι απαραίτητο ότι θα επιφέρει το ίδιο αποτέλεσμα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μικροβιακή απόκριση σε υψηλές πιέσεις εξαρτάται από τον τύπο του μικροοργανισμού. Για κάθε μικροοργανισμό, υπάρχει ένα επίπεδο πίεσης, πέραν του οποίου δεν ανιχνεύονται επιδράσεις με την αύξηση του χρόνου διεργασίας. Υπάρχει επίσης ένα επίπεδο πίεσης, στο οποίο αυξάνοντας τον χρόνο διεργασίας προκαλείται σημαντική μείωση του αρχικού μικροβιακού φορτίου. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ΥΠ επηρεάζει την μείωση του μικροβιακού φορτίου. Εκτιμάται ότι οι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν τη μέγιστη ανθεκτικότητα στο θερμοκρασιακό εύρος 15 – 30 °C, η οποία μειώνεται σημαντικά σε υψηλότερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες. (Cheftel et al., 1995)

Η ΥΠ έχει επίδραση στη μορφολογία, στις κυτταρικές μεμβράνες, στις βιοχημικές διεργασίες και στους γενετικούς μηχανισμούς των μικροοργανισμών. Η μείωση του μικροβιακού φορτίου είναι αποτέλεσμα αυτών αλλαγών. Η υψηλή υδροστατική πίεση μπορεί να αλλάξει τις λειτουργίες της κυτταρικής μεμβράνης, όπως την ενεργό μεταφορά ή την παθητική διαπερατότητα, με αποτέλεσμα τη διαταραχή της φυσικοχημικής ισορροπίας του κυττάρου (Yordanov and Angelova, 2010).

Τα βακτηριακά σπόρια είναι ιδιαίτερος ανθεκτικά στη πίεση και μπορεί να χρειαστούν πιέσεις άνω των 1200 MPa για την αδρανοποίηση τους (Knorr, 1995). Η αναστολή των βακτηριακών σπορίων μπορεί να επιτευχθεί σε συνδυασμό με μέτρια θέρμανση ή άλλες προκατεργασίες όπως είναι οι υπέρηχοι. Θερμοκρασιακό εύρος 90 – 121 °C σε συνδυασμό με πιέσεις από 500 – 800 MPa έχουν χρησιμοποιηθεί για την απενεργοποίηση σποριογόνων βακτηρίων όπως το *Clostridium botulinum*.

Για να εξηγηθεί η απόκριση των μικροοργανισμών σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης, έχει μελετηθεί η επίδραση υψηλής πίεσης σε διάφορα βιολογικά μόρια. Η μετουσίωση των πρωτεϊνών, η αλλαγή φάσης των λιπιδίων και η απενεργοποίηση των ενζύμων διαταράσσουν την κυτταρική μορφολογία, τους γενετικούς μηχανισμούς και τις βιοχημικές αντιδράσεις. Ωστόσο, οι μηχανισμοί που καταστρέφουν τα κύτταρα δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητοί (Yordanov and Angelova, 2010).

Microorganisms	Substrate or Suspension Media	Treatment Conditions	Decimal Reductions		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Satsuma mandarin juice	250 MPa	5 min ≈2 10 min ≈4 30 min 6		
		250 MPa	5 min ≈3 10 min ≈4 30 min >4		
			300 MPa	5 min 5	
330 MPa	10 min ≈2 20 min ≈3 30 min ≈5				
	360 MPa	5 min ≈1 10 min ≈2 20 min ≈4 30 min ≈6			
		10 mM phosphate buffer saline pH 7.0	300 MPa	10 min <1 20 min ≈1 30 min ≈2.5	
350 MPa				10 min ≈4 20 min ≈5.5 30 min ≈6.5	
	400 MPa			10 min ≈6 20 min ≈8 30 min ≈8	
			100 mM phosphate buffer pH 7.0 with 3% NaCl	103 MPa	20 min <1 40 min ≈1
138 MPa					10 min ≈1.5 20 min ≈2 30 min ≈4
	172 MPa			10 min ≈2.5 20 min ≈4.5 30 min ≈6	
<i>Salmonella typhimurium</i>				63 mM phosphate buffer pH 7.0	241 MPa
	276 MPa				
				345 MPa	10 min ≈1.8 20 min ≈2.5 30 min ≈3
	Total plate count	Fresh-cut pineapple	200 MPa		5 min 0.6
			270 MPa	5 min 1.8	
			≈4°C	15 min 1.6	
340 MPa			5 min 1.9		
≈4°C			15 min 3.0 40 min 2.1–2.9		

Εικόνα 4.5: Επίδραση της ΥΠ σε επιλεγμένους μικροοργανισμούς (Palou et al., 2007)

4.7 Επίδραση της ΥΠ στα ένζυμα

Τα ένζυμα αποτελούν μια ειδική κατηγορία πρωτεϊνών, όπου η βιολογική τους ενεργότητα οφείλεται στην ύπαρξη ενεργών θέσεων καθώς και στην τρισδιάστατη διαμόρφωση του μορίου. Ο μηχανισμός απενεργοποίησης των ενζύμων με ΥΠ βρίσκεται ακόμα υπό μελέτη, αλλά πρέπει να σχετίζεται με αντιστρεπτές ή αναντιστρεπτές αλλαγές στην πρωτεϊνική δομή. Οι αλλαγές στην δραστική θέση ή η μετουσίωση των πρωτεϊνών μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της δραστηριότητας, ή να αλλάξει τη λειτουργικότητα του ενζύμου. Στη βιβλιογραφία, τα αποτελέσματα που έχουν βρεθεί είναι αντιφατικά καθώς η ανθεκτικότητα των ενζύμων στην πίεση εξαρτάται από διάφορους ενδογενείς (π.χ τύπος του ενζύμου, προέλευση του ενζύμου, σύσταση του τροφίμου) και εξωγενείς (π.χ θερμοκρασία, κύκλος πιέσεων, χρόνος επεξεργασίας) παράγοντες. Πολλές φορές τα συστατικά του τροφίμου εμφανίζουν προστατευτικό ρόλο απέναντι στην απενεργοποίηση των ενζύμων με

πίεση. Η εφαρμογή ΥΠ οδηγεί σε αποτελεσματική μείωση της δραστηριότητας των ενζύμων που σχετίζονται με την υποβάθμιση του τροφίμου (οξειδάσες), εξασφαλίζοντας έτσι υψηλής ποιότητας σταθερά τρόφιμα. Η πίεση βέβαια σε κάποιες περιπτώσεις προκαλεί βλάβη στις μεμβράνες και διευκολύνει την επαφή του ενζύμου με το υπόστρωμα. Η προκύπτουσα αντίδραση μπορεί είτε να επιταχυνθεί ή να επιβραδυνθεί από την εφαρμογή πίεσης (Cheftel, 1992).

4.8 Επίδραση της ΥΠ στα συστατικά των έτοιμων προς κατανάλωση σαλατών

4.8.1 Προϊόντα κρέατος, λαχανικά, ιχθυηρά

Η ΥΠ χρησιμοποιείται στη βιομηχανία κρεάτων για την αύξηση της διατηρησιμότητας των προϊόντων και για την εξασφάλιση της ποιότητας των έτοιμων προς κατανάλωση προϊόντων κρέατος, με σκοπό την ασφάλεια του καταναλωτή. Η εφαρμογή της ΥΠ στο κρέας και σε προϊόντα κρέατος έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή ορισμένων χαρακτηριστικών, όπως χρώμα, υφή και υγρασία. Οι μεταβολές όμως αυτές δεν έχουν καμία αρνητική επίδραση στη θρεπτική αξία των επεξεργασμένων τροφίμων. Έτσι η ΥΠ έχει ενσωματωθεί στη βιομηχανία κρεάτων τα τελευταία είκοσι χρόνια. Η ΥΠ χρησιμοποιείται εκτενώς για την επεξεργασία έτοιμων προς κατανάλωση προϊόντων κρέατος έναντι της συμβατικής θερμικής επεξεργασίας και τα προϊόντα αυτά είναι πλήρως αποδεκτά από το καταναλωτικό κοινό (Bajonic et al., 2012).

Στήθος κατόπουλο εμβολιάστηκε με *Clostridium sporogenes*, επεξεργάστηκε σε συνθήκες πίεσης 400 – 800 MPa για 1 – 60 min και παρουσίασε μείωση του μικροβιακού φορτίου κατά 3 log (Crawford et al., 1996). Μοσχαρίσιο κρέας και ζαμπόν που επεξεργάστηκαν υπό συνθήκες 600 MPa για 6 min στους 31 °C, παρουσίασαν σημαντική μείωση αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Η διατηρησιμότητα και των δύο αυτών προϊόντων αυξήθηκε από 30 σε 120 d (Pandurangi and Balasubramaniam, 2005)

Η ΥΠ μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε λαχανικά, έναντι του ζεματίσματος, καθώς δε μεταβάλλει το οργανοληπτικά και θρεπτικά τους συστατικά. Η ΥΠ έχει εφαρμοστεί σε λαχανικά, όπως πατάτα, ντομάτα και κρεμμύδι αυξάνοντας τη διατηρησιμότητά τους. Μελέτες σε πατάτα, καρότο και φασόλια έδειξαν, ότι η επεξεργασία με ΥΠ αναστέλλει το ενζυμικό μαύρισμα (Wolti – Chanes et al., 2004). Το ένζυμο πολυφenoλοξειδάση σε αρακά απενεργοποιείται με ΥΠ, χωρίς να αλλοιωθεί η υφή του προϊόντος. Λαχανικά όπως μαρούλι, ντομάτα, σπαράγγια, κουνουπίδι και σπανάκι που επεξεργάστηκαν με ΥΠ σε συνθήκες, 200 – 400 MPa, για 30 min στους 5 °C, παρουσίασαν μείωση 2 – 4 log σε μεσοφιλικά βακτήρια, ζύμες και μύκητες (Pandurangi and Balasubramaniam, 2005).

Η ΥΠ σε ιχθυηρά προϊόντα (σαρδέλες, σκουμπί, τόνος) έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την αύξηση της διατηρησιμότητάς τους, αλλά και την τροποποίηση των χαρακτηριστικών τους, όπως ύψη και οσμή, για την παραγωγή βελτιωμένων προϊόντων. Έχει εφαρμοστεί επίσης για αποστείρωση αυγών αχινού (Welti – Chanes et al., 2004).

4.8.2 Dips, σάλτσες και salad – dressings

Προϊόντα όπως η μαγιονέζα και τα salad – dressings ενδέχεται να χρειάζονται επεξεργασία, καθώς ευνοούν την ανάπτυξη οξυ – ανθεκτικών βακτηρίων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Κατάλληλη μέθοδος για την επεξεργασία αυτών των προϊόντων είναι η ΥΠ. Υπάρχουν περιορισμένες μελέτες, που να αναφέρουν επιβίωση μικροοργανισμών σε salad – dressings και σάλτσες μετά από επεξεργασία με ΥΠ. Μεγαλύτερη ανησυχία προκαλούν salad – dressings και σάλτσες που περιέχουν τυρί. Δείγματα dressing τύπου ranch, σαλάτες French και λαχανοσαλάτα επιμολύνθηκαν με αλλοιογόνους μικροοργανισμούς *Lactobacillus fructivorans* και *Zygosachharomyces bailli*. Στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ΥΠ σε συνθήκες 500 και 800 MPa, για 10 min, σε θερμοκρασίες 25 και 50 °C. Οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί μειώθηκαν σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα στις χαμηλότερες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Άλλη έρευνα αναφέρει ότι τρία διαφορετικά δείγματα τυριών, εμβολιάστηκαν με *L. monocytogenes* και επεξεργάστηκαν σε συνθήκες 500 MPa, για 15 min, σε θερμοκρασία δωματίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών κατά 6 log (Pandurangi and Balasubramaniam, 2005).

4.8.3 Επίδραση της ΥΠ στην υφή των γαλακτωμάτων

Τα dips, οι σάλτσες και τα salad – dressings είναι γαλακτώματα τροφίμων. Τα ρεολογικά τους χαρακτηριστικά, όπως το ιξώδες μεταβάλλονται κατά την επιβολή πίεσης, λόγω μεταβολών στη δομή τους. Η θερμοκρασία της διεργασίας, το ύψος και η διάρκεια της πίεσης, το είδος του γαλακτώματος και του γαλακτωματοποιητή είναι βασικές παράμετροι για την επίδραση της μεθόδου στα γαλακτώματα. Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες, όμως δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή η συμπεριφορά των γαλακτωμάτων κατά την ΥΠ (Pandurangi and Balasubramaniam, 2005).

Σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε salad – dressings, βρέθηκε ότι αυτά που έχουν ως γαλακτωματοποιητή λέκιθο αυγού είναι τα λιγότερο σταθερά, ενώ αυτά που περιέχουν ως σταθεροποιητή κόμμα ξανθάνης είναι τα πιο σταθερά. Σε dressing τύπου ranch εφαρμογή πίεσης 600 MPa για 5 min έδειξε μείωση του ιξώδους, όμως οι καταναλωτές δεν αντιλήφθηκαν τη διαφορά στο τελικό προϊόν. Η εφαρμογή ΥΠ προκάλεσε αύξηση του μεγέθους των λιποσφαιρίων, λόγω συνένωσης τους (Waite et al., 2009). Άλλες μελέτες έδειξαν αύξηση του ιξώδους σε γαλακτώματα που περιέχουν λέκιθο αυγού ως γαλακτωματοποιητή (Anton et al., 2001). Σε πρότυπο γαλάκτωμα με ουδέτερο pH, που περιέχει καζεϊνικό νάτριο και φυστικέλαιο

εφαρμογή πίεσης 450 MPa για 30 min σε θερμοκρασία δωματίου, δεν προκάλεσε καμία μεταβολή στην κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων ή στο ιξώδες του τελικού προϊόντος (Purro et al., 2008).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται εμφανές, ότι η τεχνολογία της ΥΠ παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης προϊόντων, αυξημένης διατηρησιμότητας και περιορισμένης επεξεργασίας, που διατηρούν τα θρεπτικά και οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Συγχρόνως ο ρυθμός ζωής έχει καθιερώσει την κατανάλωση γρήγορων και έτοιμων προς κατανάλωση γευμάτων (ready – to – eat), όπως σαλάτες, σάντουιτς κ.ά. και οι καταναλωτές απαιτούν αντικατάσταση ή περιορισμένη χρήση χημικών συντηρητικών, με ήπια επεξεργασία των τροφίμων, όπως η τεχνολογία της ΥΠ.

Λόγω έλλειψης εφαρμογών της τεχνολογίας ΥΠ σε έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη εφαρμογής της σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα, με απώτερο στόχο την παραγωγή προϊόντος με βελτιωμένη διατηρησιμότητα, χωρίς τη χρήση χημικού συντηρητικού (σορβικό κάλιο) και βελτιστοποιημένη υφή.

Κεφάλαιο 5: Πειραματική Διαδικασία – Υλικά και Μέθοδοι

5.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με βελτιωμένη διατηρησιμότητα, χωρίς τη χρήση πρόσθετων συντηρητικών (σορβικό κάλιο), μέσω της τεχνολογίας Υπερυψηλής Πίεσης. Μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στη διατηρησιμότητα των προϊόντων σε συνθήκες ψύξης και εξετάστηκε η επίδραση της Υπερυψηλής Πίεσης στη δομή της μαγιονέζας (μέγεθος των λιποσφαιριών) για τη βελτιστοποίηση της υφής του τελικού προϊόντος.

5.2 Γενική περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και προετοιμασίας των δειγμάτων

5.2.1 Έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα

Τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας (πλαστικοί περιέκτες 400 g) παρελήφθησαν από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΕΜΠ. Παρελήφθησαν 50 δείγματα από κάθε παρτίδα. Η πρώτη παρτίδα περιείχε συντηρητικό (σορβικό κάλιο), ενώ η δεύτερη δεν περιείχε. Και για τις δύο παρτίδες πραγματοποιήθηκε ο ίδιος πειραματικός σχεδιασμός. Τα μισά δείγματα από κάθε παρτίδα, αφού συσκευάστηκαν με εύκαμπτους περιέκτες, πολυαιθυλενίου, υπό μερικό κενό, επεξεργάστηκαν με ΥΠ σε συνθήκες 600 MPa για 5 min στους 25 °C, ενώ τα άλλα μισά μεταφέρθηκαν σε θαλάμους συντήρησης του εργαστηρίου στους 0, 5 και 10 °C. Τα επεξεργασμένα δείγματα με ΥΠ μεταφέρθηκαν σε θαλάμους συντήρησης στις ίδιες θερμοκρασίες. Οι παράγοντες ποιότητας που μελετήθηκαν είναι η μικροβιακή ανάπτυξη, το pH και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η % σύσταση της έτοιμης προς κατανάλωσης καβουροσαλάτας δίδεται παρακάτω:

- 45% Μαγιονέζα
- 40% Απομίμηση καβουρόψιχας
- 9% Μουστάρδα
- 4% Χυμός λεμονιού
- 2% Εξαιρετικά παρθένο ελαιόλαδο
- Ζάχαρη, αλάτι, σορβικό κάλιο
- Σταθεροποιητές: τροποποιημένο άμυλο, κόμμα γκουάρ

Τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες:

1. Δείγματα με συντηρητικό, (Σ+)
2. Δείγματα χωρίς συντηρητικό, (Σ-)
3. Δείγματα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με την τεχνολογία της ΥΠ, (Σ+/ΥΠ)
4. Δείγματα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με την τεχνολογία της ΥΠ, (Σ-/ΥΠ)

5.2.2 Μαγιονέζα

Μαγιονέζα παρελήφθη από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΕΜΠ σε συσκευασία των 5 Kg. Ακολούθησε προετοιμασία των δειγμάτων μαγιονέζας για επεξεργασία με ΥΠ. Παρασκευάστηκαν κατάλληλοι περιέκτες πολυαιθυλενίου, χωρητικότητας περίπου 300 g, οι οποίοι πληρώθηκαν με το υλικό προς επεξεργασία. Τα δείγματα σφραγίστηκαν προσεκτικά με θερμοκόλληση, αφού πρώτα είχε αφαιρεθεί η μεγαλύτερη ποσότητα αέρα και οδηγήθηκαν για επεξεργασία με ΥΠ. Τα δείγματα μαγιονέζας επεξεργάστηκαν στους 25 °C, σύμφωνα με τις συνθήκες, που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.1: Συνθήκες επεξεργασίας, πίεση (MPa) και χρόνος (min), δειγμάτων μαγιονέζας με ΥΠ

Μαγιονέζα					
Πίεση (MPa)	50	200	200	600	600
Χρόνος (min)	1	1	5	1	5

Ακολούθησαν συσχέτιση του αριθμού Plummit και της δύναμης διείσδυσης, μέσω αναλυτή υφής, παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων όπως αναφέρεται παρακάτω αναλυτικά.

5.2.3 Η μονάδα της ΥΠ

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων επεξεργασίας των έτοιμων προς κατανάλωση σαλατών και μαγιονέζας με ΥΠ, χρησιμοποιήθηκε η μονάδα Food Pressure Unit FPU 1.01, της Resato International BV (Roden, Holland), η οποία αποτελεί συνιδιοκτησία του Ε.Μ.Π. και του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικών Ερευνών (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.). Η συγκεκριμένη μονάδα είναι εγκατεστημένη και λειτουργεί σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας Αγροτικών Προϊόντων του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.

Η μονάδα της υπερυψηλής πίεσης αποτελείται από δύο τύπους θαλάμων υπερυψηλής πίεσης. Ο πρώτος περιλαμβάνει μια συστοιχία 6 κυλινδρικών μικροθαλάμων (vessel) υπερυψηλής πίεσης όγκου 42 mL ο καθένας, με δυνατότητα ανεξάρτητου χειρισμού καθενός από αυτούς. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται για την συλλογή κινητικών δεδομένων των αντιδράσεων καταστροφής των παραγόντων αλλοίωσης ή υποβάθμισης των ποιοτικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών των τροφίμων κατά την επεξεργασία τους με υπερυψηλή πίεση. Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει ένα θάλαμο υπερυψηλής πίεσης όγκου 1,5 L, ο οποίος χρησιμοποιείται

για την παραγωγή και μελέτη μεγαλύτερων ποσοτήτων προϊόντων επεξεργασμένων με την τεχνολογία της υπερυψηλής πίεσης. Για την επεξεργασία δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας και μαγιονέζας χρησιμοποιήθηκε ο δεύτερος τύπος θαλάμου.



Εικόνα 5.1: Το σύστημα Υπερυψηλής Πίεσης που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα. Αριστερά βρίσκεται η μονάδα ΥΠ, στο κέντρο ο θάλαμος όγκου 1.5L και δεξιά η συστοιχία των 6 μικρότερων θαλάμων όγκου 42ml

Η συσκευή ΥΠ μπορεί να δημιουργήσει πίεση μέχρι και 1000 MPa και να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες από $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το μέσο μεταφοράς πίεσης του συστήματος είναι γλυκερόλη. Για να προστατευθούν τα δείγματα από τυχόν επιμολύνσεις, αλλά και για να αποφευχθεί διαρροή των δειγμάτων μέσα στους θαλάμους, είναι απαραίτητο τα δείγματα να συσκευάζονται με δύο υλικά συσκευασίας.

Ο έλεγχος της πίεσης του συστήματος γίνεται από πίνακα ελέγχου ενσωματωμένο στο σύστημα πίεσης, ενώ η πίεση στο συνολικό σύστημα και στον μεγάλο θάλαμο καταγράφεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω κατάλληλου λογισμικού παρεχόμενου από την εταιρεία κατασκευής του εξοπλισμού. Ο ρυθμός αύξησης της πίεσης είναι περίπου $100\text{MPa}/7\text{ sec}$ και ενώ ο χρόνος εκτόνωσης δεν ξεπερνά τα 3 sec.

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των θαλάμων χρησιμοποιείται ανεξάρτητο κύκλωμα θερμού νερού, το οποίο θερμαίνεται σε υδατόλουτρο. Το νερό κυκλοφορεί μέσα σε μανδύες που περιβάλλουν κάθε θάλαμο με τη βοήθεια φυγόκεντρης αντλίας. Το πώμα κάθε θαλάμου φέρει θερμοστοιχείο το οποίο συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή και η καταγραφή της θερμοκρασίας γίνεται μέσω κατάλληλου λογισμικού παρεχόμενου από την εταιρεία κατασκευής του εξοπλισμού.

5.3 Αναλυτικές μέθοδοι

5.3.1 Μικροβιολογικές αναλύσεις

Για τον υπολογισμό του μικροβιακού φορτίου στα δείγματα εφαρμόστηκε η μέθοδος της επιφανειακής ανάπτυξης σε τρυβλία. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο γεγονός, ότι από ένα μικροβιακό κύτταρο αναπτύσσεται μία και μόνο αποικία και συνεπώς η μέτρηση αποικιών δίνει τον αριθμό των μικροοργανισμών από τους οποίους προέρχονται.

Για τις μικροβιολογικές αναλύσεις σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για την ανάπτυξη ολικής μικροβιολογικής χλωρίδας, για ζύμες και μύκητες και για γαλακτικά βακτήρια.

Πιο συγκεκριμένα:

- Για τον έλεγχο της ολικής μικροβιακής χλωρίδας χρησιμοποιείται το μη επιλεκτικό υπόστρωμα Plate Count Agar (PCA, Merck, Darmstadt, Germany) με επώαση στους 25 °C για 72 ώρες.
- Για τον έλεγχο των ζυμών χρησιμοποιείται το επιλεκτικό υπόστρωμα Rose Bengal Chloramphenicol (RBC, Merck, Darmstadt, Germany), με επώαση στους 25 °C για 168 ώρες.
- Για τον έλεγχο των γαλακτικών βακτηρίων ακολουθήθηκε τεχνική αναερόβιας ανάπτυξης (pour plate) και χρησιμοποιήθηκε το επιλεκτικό υπόστρωμα DeMan – Rogosa – Sharpe Agar (MRS, Merck, Darmstadt, Germany), με επώαση στους 25 °C για 96 ώρες

Δειγματοληψία και τεχνική των διαδοχικών αραιώσεων

Αντιπροσωπευτικό δείγμα (10 g) φέρεται σε αποστειρωμένη πλαστική σακούλα και προστίθενται σε αυτό 90 g αποστειρωμένου διαλύματος Ringer 25% (Ringer Tablets, Merck, Darmstadt, Germany). Το μίγμα ομογενοποιείται για 1 min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, με τη βοήθεια κατάλληλου ομογενοποιητή (BagMixer®, Interscience, France). Σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 10 mL φέρονται 9 mL διαλύματος Ringer. Από το ομογενοποιημένο δείγμα λαμβάνεται 1 mL και τοποθετείται σε έναν σωλήνα και το μείγμα αναδεύεται. Από αυτόν λαμβάνεται 1 mL και φέρεται στον επόμενο σωλήνα. Κάθε αραιώση αποτελεί υποδεκαπλάσια της προηγούμενης. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθούν οι επιθυμητές αραιώσεις.

Μετά το τέλος της επίστρωσης όλων των τρυβλίων, τα τρυβλία κλείνονται, αναποδογυρίζονται, τοποθετούνται μέσα σε σακούλες και τέλος τοποθετούνται σε κλίβανο θερμοκρασίας 25°C για επώαση για 3 έως 5 μέρες. Μετά την επώαση των τρυβλίων, καταμετρούνται οι αναπτυσσόμενες αποικίες. Η μέτρηση των αποικιών πραγματοποιείται σε κατάλληλη αραιώση, ώστε να υπάρχουν 50 – 200 αποικίες ανά

τρυβλίο. Λαμβάνοντας υπόψη την αραιώση του δείγματος, υπολογίζεται ο αριθμός των μικροοργανισμών που περιέχει 1g δείγματος και μεταφράζεται σε logcfu/g.

5.3.2 Προσδιορισμός τιμής pH

Για την μέτρηση του pH χρησιμοποιείται πεχάμετρο (pH – meter 338, AMEL instruments, Milan, Italy). Για την βαθμονόμηση της συσκευής χρησιμοποιήθηκαν ρυθμιστικά διαλύματα σταθερής τιμής pH 4 και 7. Ο προσδιορισμός της τιμής του pH για τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας πραγματοποιήθηκε με εμφύσηση του ηλεκτροδίου, στο ομογενοποιημένο δείγμα που προέκυψε κατά τη δειγματοληψία στις μικροβιολογικές αναλύσεις.



Εικόνα 5.2: Πεχάμετρο (pH – meter 338, AMEL instruments, Milan, Italy)

5.3.3 Οργανοληπτική αξιολόγηση

Η οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας, επεξεργασμένων και μη με ΥΠ και σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C, πραγματοποιήθηκε από ομάδα 6 εκπαιδευμένων δοκιμαστών, με βαθμολογία σε κλίμακα αρέσκειας από 1 έως 9, με 9 να θεωρείται το άριστο. Η οργανοληπτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε χώρο που είχε προεπιλεγεί για την φωτεινότητα και την καθαρότητά του στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΕΜΠ. Για να μην επηρεάζεται η κρίση των δοκιμαστών τα ονόματα των δειγμάτων δίνονταν με τη μορφή κωδικών. Τα δείγματα εξετάστηκαν ως προς τα χαρακτηριστικά χρώμα, υφή στο κουτάλι, οσμή, γεύση και συνολική εντύπωση. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε ο αριθμός 5. Το έντυπο του οργανοληπτικού ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε κατά τις δοκιμές παρουσιάζεται παρακάτω:

ΕΝΤΥΠΟ ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΕΤΟΙΜΕΣ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΑΛΑΤΕΣ

Ημερομηνία:

Όνοματεπώνυμο δοκιμαστή:

Βαθμολόγηση χρώματος με κλίμακα 1 – 9 (1=πολύ κακό και 9=πολύ καλό).

Δείγμα:	1	2	3	4	5	6
Δοκιμαστής 1						
Δοκιμαστής 2						
Δοκιμαστής 3						

Βαθμολόγηση υφής στο κουτάλι με κλίμακα 1 – 9 (1=πολύ κακό και 9=πολύ καλό).

Δείγμα:	1	2	3	4	5	6
Δοκιμαστής 1						
Δοκιμαστής 2						
Δοκιμαστής 3						

Βαθμολόγηση οσμής με κλίμακα 1 – 9 (1=πολύ κακό και 9=πολύ καλό).

Δείγμα:	1	2	3	4	5	6
Δοκιμαστής 1						
Δοκιμαστής 2						
Δοκιμαστής 3						

Βαθμολόγηση γεύσης με κλίμακα 1 – 9 (1=πολύ κακό και 9=πολύ καλό).

Δείγμα:	1	2	3	4	5	6
Δοκιμαστής 1						
Δοκιμαστής 2						
Δοκιμαστής 3						

Βαθμολόγηση συνολικής εντύπωσης με κλίμακα 1 – 9 (1=πολύ κακό και 9=πολύ καλό).

Δείγμα:	1	2	3	4	5	6
Δοκιμαστής 1						
Δοκιμαστής 2						
Δοκιμαστής 3						

Εικόνα 5.3: Έντυπο οργανοληπτικής αξιολόγησης

5.3.4 Παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο

Τα δείγματα μαγιονέζας παρατηρήθηκαν σε μικροσκόπιο (Leica DFC295, Leica Microsystems, Germany) με αντικειμενικό φακό X100. Το μικροσκόπιο είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος διαθέτει το λογισμικό Las V4.5, από την εταιρία κατασκευής του οργάνου, το οποίο αναπαράγει στην οθόνη κάθε λειτουργία του.

Μικρή ποσότητα δείγματος μαγιονέζας τοποθετείται πάνω σε αντικειμενοφόρο πλάκα και πιέζεται ελαφρά με καλυπτρίδα. Η αντικειμενοφόρος πλάκα με το δείγμα τοποθετούνται στην τράπεζα του μικροσκοπίου και με τη βοήθεια του κοχλία εστίασης μετακινείται προς τον αντικειμενικό φακό, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί εστίαση. Μέσω του λογισμικού και ενσωματωμένης κάμερας λαμβάνονται φωτογραφίες από τα δείγματα μαγιονέζας.

5.3.5 Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων

Η κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων πραγματοποιήθηκε στη συσκευή Mastersizer Micro (Malvern Instruments Ltd., UK). Δείγματα μαγιονέζας (0,5 g) διαλύονται σε υδατικό διάλυμα 200 mL, 0,2% w/v SDS (Sodium Dodecyl Sulfate). Η ανάδευση γίνεται προσεκτικά με τη βοήθεια μίας σπαθίδας. Περίπου 40 mL από αυτό το διάλυμα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση. Η συσκευή συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος διαθέτει λογισμικό Mastersizer Micro software v2.18, από την εταιρία κατασκευής του οργάνου, το οποίο αναπαράγει στην οθόνη τα αποτελέσματα λειτουργία του. Μετά το πέρας κάθε μέτρησης λαμβάνεται γραφικά και σε μορφή πίνακα πλήρης κατανομή μεγέθους των λιποσφαιρίων.



Εικόνα 5.4: Συσκευή Mastersizer Micro (Malvern Instruments Ltd., UK)

5.3.6 Συσχέτιση του αριθμού Plummit και της δύναμης διείδυσης

Ο αριθμός Plummit της μαγιονέζας προκύπτει από το μήκος του βάρους διείδυσης ενός βέλους στην μαγιονέζα κατά την ελεύθερη πτώση του από σταθερό ύψος κάθε φορά. Με την βοήθεια του αναλυτή υφής, (Texture Analyzer, TA – XT2i, Stable Micro Systems, Godalming Surrey, UK) και με χρήση κωνικού εξαρτήματος μετρήθηκε η δύναμη που απαιτείται για την διείδυσή του σε σταθερή απόσταση από την επιφάνεια μέσα στην μαγιονέζα. Οι τιμές της δύναμης που προέκυψαν για σταθερό βάθος διείδυσης συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα μήκη που προέκυψαν με σταθερή δύναμη το βάρος του βέλους (αριθμός Plummit) για κάθε δείγμα μαγιονέζας.

Για τις μετρήσεις στον αναλυτή υφής χρησιμοποιείται κατάλληλος κυλινδρικός, μεταλλικός φορέας. Ο φορέας πληρώνεται με προσοχή με τα δείγματα μαγιονέζας, έτσι ώστε να αποφευχθεί ο εγκλωβισμός αέρα. Η επιφάνεια του δείγματος πρέπει να είναι επίπεδη. Το δείγμα αφήνεται σε ηρεμία για 15 min, πριν πραγματοποιηθεί η μέτρηση.

Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και συζήτηση

6.1 Μικροβιολογικές αναλύσεις σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα

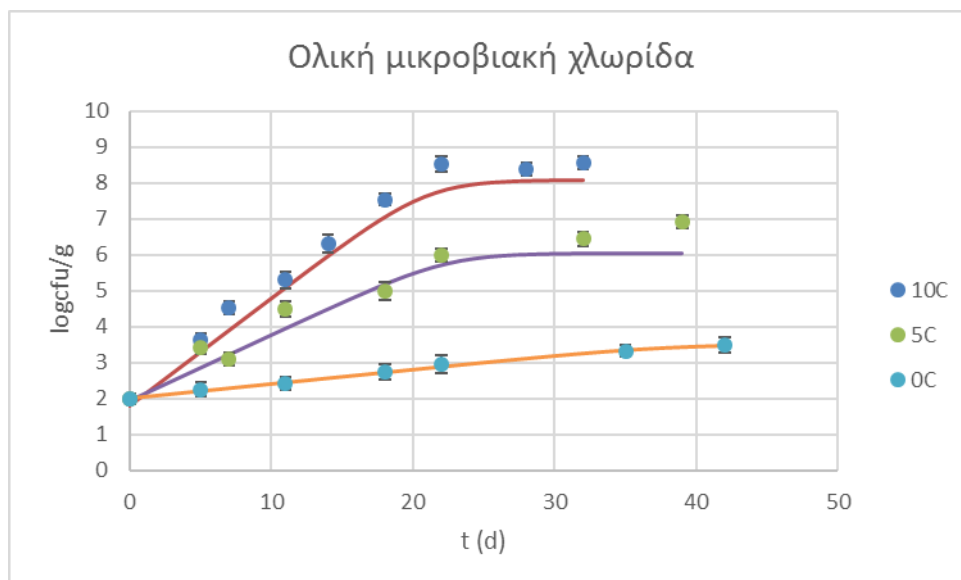
Στα δείγματα με συντηρητικό το μικροβιακό φορτίο παρέμεινε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ζύμες και οι μύκητες παρουσίασαν μικροβιακό φορτίο μικρότερο από 2 logcfu/g και τα γαλακτικά βακτήρια μικρότερο από 1 logcfu/g, μετά από 96 d συντήρησης.

Στα δείγματα χωρίς συντηρητικό παρουσιάστηκε ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης.

Το φορτίο ζυμών – μυκήτων και γαλακτικών βακτηρίων παρέμεινε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα.

Πραγματοποιήθηκε προσαρμογή του μοντέλου Baranyi στις πειραματικές μετρήσεις, από όπου προέκυψαν οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Στο διάγραμμα που ακολουθεί τα σημεία αποτελούν τις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι συνεχείς καμπύλες την προσαρμογή στο μοντέλο Baranyi.



Διάγραμμα 6.1.1: Καμπύλη ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται, ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία συντήρησης, τόσο αυξάνεται και η ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Αξίζει να

σημειωθεί ότι στους 0 °C η ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι ιδιαίτερα βραδεία και παραμένει σε χαμηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια συντήρησης.

Από την προσαρμογή των πειραματικών δεδομένων στο μοντέλο Baranyi προέκυψαν οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα που συντηρήθηκαν σε θερμοκρασίες 0, 5 και 10 °C. Οι ρυθμοί αυτοί ορίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$\log\left(\frac{N}{N_0}\right) = k \cdot t \quad (6.1.1)$$

Όπου

- N: ο αριθμός των μικροοργανισμών σε χρόνο t (logcfu/g)
- N₀: το αρχικό μικροβιακό φορτίο (logcfu/g)
- k: ο εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης του μικροοργανισμού (d⁻¹)
- t: ο χρόνος (d)

Οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης για κάθε θερμοκρασία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.1.1: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε θερμοκρασίες 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.040 ± 0.002	0.172 ± 0.021	0.313 ± 0.015
R ²	0.9951	0.9588	0.9933

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι με αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης, αυξάνεται και ο εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, δηλαδή το τρόφιμο αλλοιώνεται πιο γρήγορα.

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 6.1.1 προσαρμόστηκαν στην εξίσωση Arrhenius, με σκοπό τον υπολογισμό της ενέργειας ενεργοποίησης E_A και του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η γραμμικοποιημένη μορφή της εξίσωσης Arrhenius:

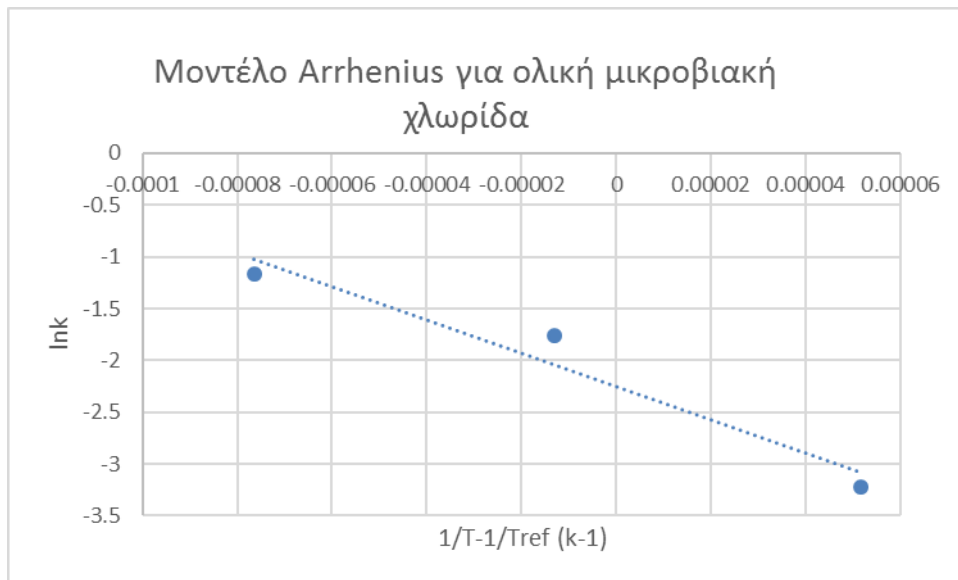
$$\ln k = \ln k_{ref} + \frac{E_A}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \quad (6.1.2)$$

Όπου

- k: η σταθερά του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών (d⁻¹)
- k_{ref}: η αντίστοιχη σταθερά στη θερμοκρασία αναφοράς (d⁻¹)
- E_A: η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol)
- R: η παγκόσμια σταθερά των αερίων (8.314 J/mol.K)

- T: η απόλυτη θερμοκρασία
Ως θερμοκρασία αναφοράς τέθηκε η τιμή 4 °C.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.1.2: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα στις θερμοκρασίες 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4\text{ °C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.1.3: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την ολική μικροβιακή χλωρίδα στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα για $T_{ref} = 4\text{ °C}$

E_A (kJ/mol)	133.7
k_{ref} (d⁻¹)	0.105
R^2	0.9471

Με χρήση των εκθετικών ρυθμών ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και της εξίσωσης 6.1.1, υπολογίζεται η διάρκεια ζωής (shelf life) των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για όλες τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης.

Σημειώνεται ότι για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό μικροβιακό φορτίο η τιμή 2 logcfu/g και ως τελικό φορτίο (όριο απόρριψης) η τιμή 6 logcfu/g. Παρόμοιες τιμές αναφέρονται και στη βιβλιογραφία (Levkane et al., 2008). Στον

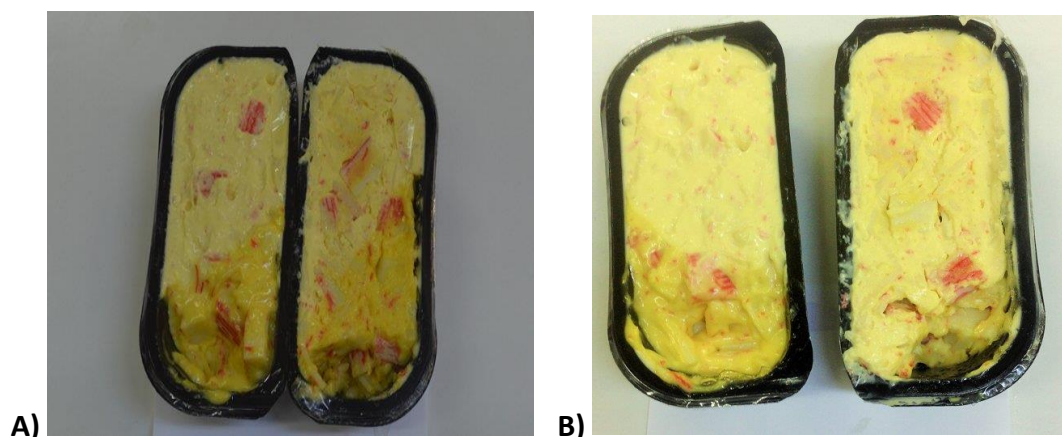
επόμενο πίνακα παρατίθεται η διάρκεια ζωής των δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης.

Πίνακας 6.1.2: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
Διάρκεια ζωής (d)	86	30	11

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.1.2 ο χρόνος ζωής των δειγμάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης.

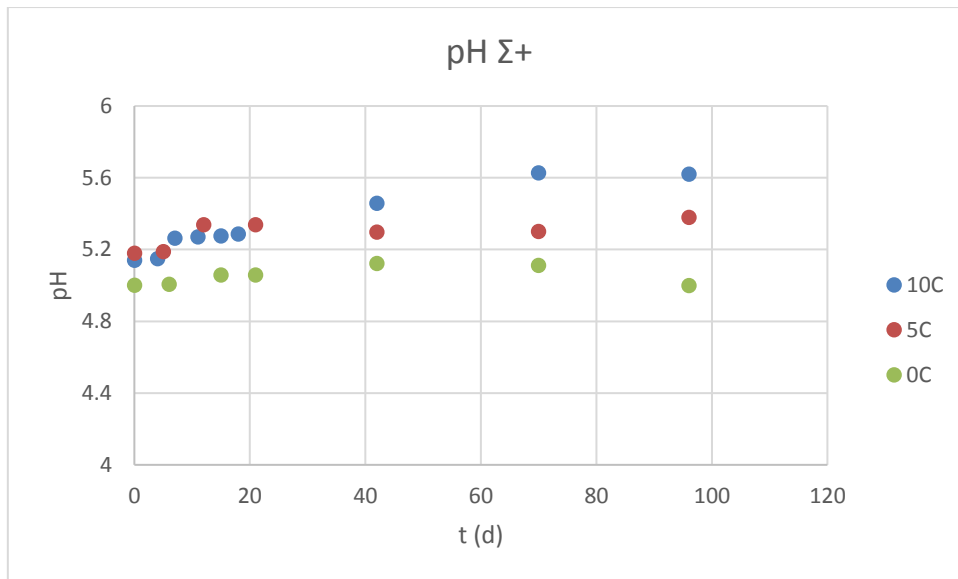
Στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ΥΠ (με και χωρίς συντηρητικό) το μικροβιακό φορτίο παρέμεινε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ζύμες και οι μύκητες παρουσίασαν μικροβιακό φορτίο μικρότερο από 2 logcfu/g και τα γαλακτικά βακτήρια μικρότερο από 1 logcfu/g, μέχρι το τέλος των πειραμάτων (96 d για τα δείγματα με συντηρητικό και 42 d για τα δείγματα χωρίς συντηρητικό).



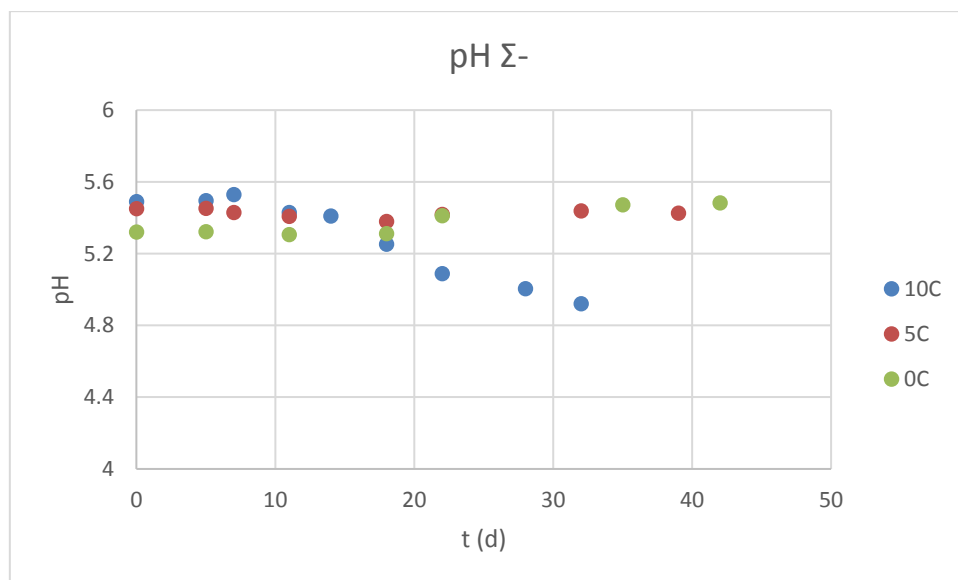
Εικόνες 6.1.1, 6.1.2: Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα κατά την έναρξη των πειραμάτων. Α) Δείγματα με συντηρητικό (σορβικό κάλιο). Αριστερά χωρίς επεξεργασία με ΥΠ και δεξιά επεξεργασμένο με ΥΠ. Β) Δείγματα χωρίς συντηρητικό. Αριστερά χωρίς επεξεργασία με ΥΠ και δεξιά επεξεργασμένο με ΥΠ.

6.2 Μέτρηση pH σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα

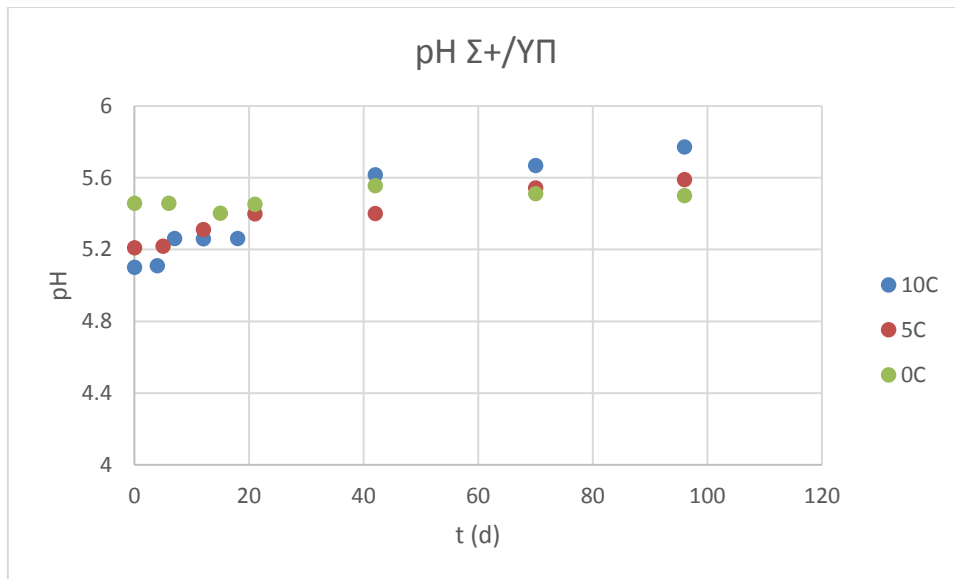
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η εξέλιξη του pH στα μελετώμενα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα.



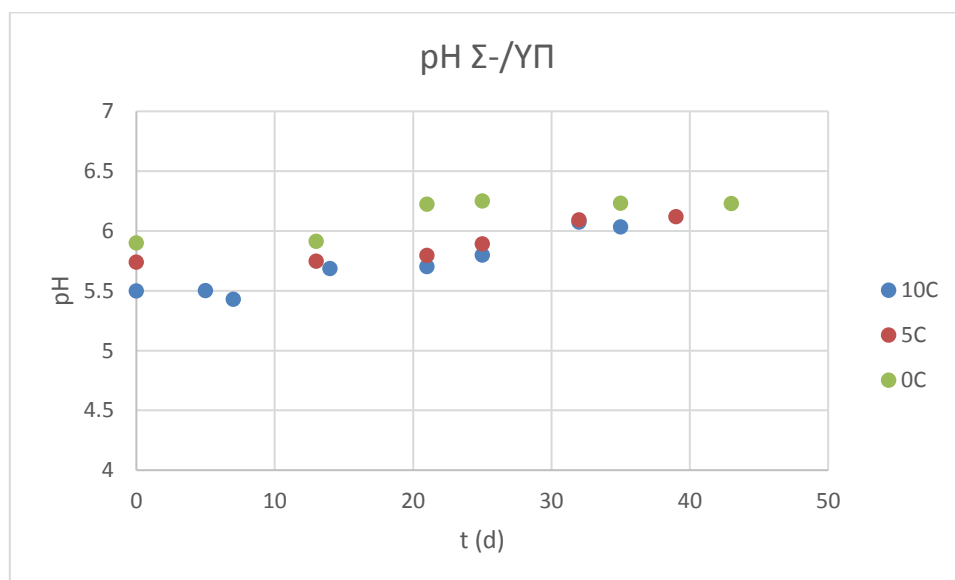
Διάγραμμα 6.2.1: Μετρήσεις pH για τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C



Διάγραμμα 6.2.2: Μετρήσεις pH για τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C



Διάγραμμα 6.2.3: Μετρήσεις pH για τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C



Διάγραμμα 6.2.4: Μετρήσεις pH για τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει, ότι το pH των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, είναι υψηλότερο από το pH της μαγιονέζας. Το pH της μαγιονέζας κυμαίνεται στο εύρος 3.5 – 4.0 (Smittle, 1977). Επίσης τα δείγματα με συντηρητικό (Σ+, Σ+/ΥΠ) παρουσιάζουν χαμηλότερο pH, σε σύγκριση με τα δείγματα χωρίς συντηρητικό (Σ-, Σ-/ΥΠ). Ως συντηρητικό χρησιμοποιείται το σορβικό κάλιο, το οποίο αποτελεί άλας του σορβικού οξέος και χρησιμοποιείται ευρέως σε τρόφιμα με χαμηλό pH (Storforth et al., 2005).

Για τα δείγματα με συντηρητικό παρατηρείται μικρή αύξηση του pH σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C, ενώ για τις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 0 °C το pH παραμένει

σχεδόν σταθερό. Οι τιμές pH για τις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 0 °C παραμένουν εντός των ορίων που αναφέρονται στην βιβλιογραφία για τις έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα, δηλαδή 4.0 – 5.5 (ICMSF, 2005). Το ίδιο ισχύει και για τη θερμοκρασία συντήρησης 10 °C, όμως μετά από 70 d οι τιμές pH υπερβαίνουν αυτό το εύρος.

Για τα δείγματα χωρίς συντηρητικό παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση του pH με το χρόνο συντήρησης σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C, ενώ για τις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 0 °C το pH παραμένει σχεδόν σταθερό. Οι τιμές pH και για τις τρεις θερμοκρασίες παραμένουν εντός των ορίων που αναφέρονται στην βιβλιογραφία (ICMSF, 2005).

Για τα δείγματα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, παρατηρείται μικρή αύξηση του pH με το χρόνο συντήρησης για τις θερμοκρασίες συντήρησης 10 και 5 °C, ενώ για τη θερμοκρασία συντήρησης 0 °C το pH παραμένει σχεδόν σταθερό. Μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη θερμοκρασία συντήρησης 10 °C. Ύστερα από σύγκριση των τιμών pH για τα δείγματα Σ+ και Σ+/ΥΠ, προκύπτει ότι η ΥΠ, έχει ως αποτέλεσμα μικρή αύξηση του pH για τη θερμοκρασία συντήρησης 0 °C, γεγονός που έρχεται σε αντιδιαστολή με τη βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία η εφαρμογή της ΥΠ επιφέρει μείωση του pH (Balasubramaniam et al., 2015). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές pH για τις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 0 °C παραμένουν εντός των ορίων που αναφέρονται στην βιβλιογραφία (ICMSF, 2005). Το ίδιο ισχύει και για τη θερμοκρασία συντήρησης 10 °C, όμως μετά από 42 d οι τιμές pH υπερβαίνουν αυτό το εύρος.

Για τα δείγματα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, παρατηρείται μικρή αύξηση του pH με το χρόνο συντήρησης, όμως τείνει να σταθεροποιηθεί και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στη θερμοκρασία συντήρησης 0 °C. Ύστερα από σύγκριση των τιμών pH για τα δείγματα Σ+ και Σ+/ΥΠ, προκύπτει ότι η ΥΠ, έχει ως αποτέλεσμα μικρή αύξηση του pH για τις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 0 °C, γεγονός που έρχεται σε αντιδιαστολή με τη βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία η εφαρμογή της ΥΠ επιφέρει μείωση του pH (Balasubramaniam et al., 2015). Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή την περίπτωση οι τιμές pH είναι λίγο υψηλότερες σε σχέση με το εύρος τιμών που αναφέρεται στη βιβλιογραφία για τις έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα, όμως παραμένουν σχεδόν σταθερές (ICMSF, 2005).

6.3 Οργανοληπτικός έλεγχος σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα

Κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, εξετάστηκε η μεταβολή των εξής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο συντήρησης: χρώμα, υφή στο κουτάλι, οσμή, γεύση και συνολική εντύπωση. Οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τις 4 κατηγορίες δειγμάτων, για τις θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C. Ένα δείγμα θεωρείται μη αποδεκτό όταν η βαθμολογία του είναι μικρότερη από 5.

Ακολουθεί προσαρμογή των αποτελεσμάτων του οργανοληπτικού ελέγχου, για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, για όλα τα δείγματα, σε μία γραμμική εξίσωση της μορφής:

$$S = S_0 - kt \quad (6.3.1)$$

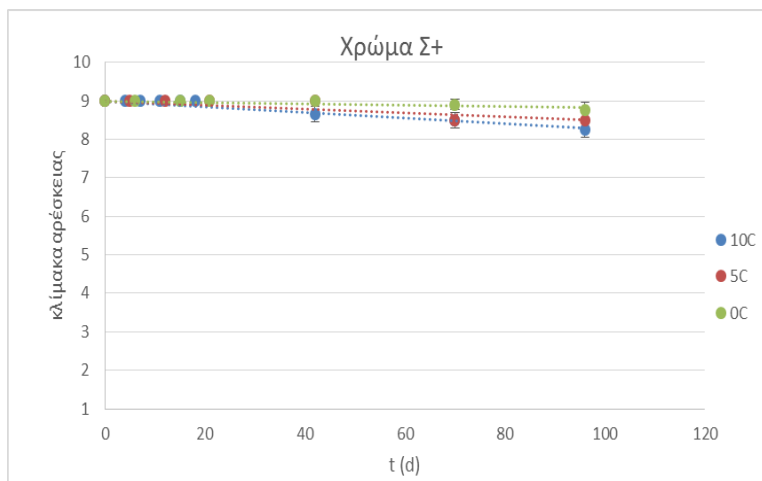
Όπου

- S : η βαθμολογία του δείγματος για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, σε κλίμακα αρέσκειας 1 – 9
- S_0 : η βαθμολογία του δείγματος για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό σε χρόνο συντήρησης 0, ($S_0=9$)
- k : ο ρυθμός μεταβολής του κάθε οργανοληπτικού χαρακτηριστικού (d^{-1})
- t : ο χρόνος συντήρησης των δειγμάτων (d)

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και υπολογίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης E_A και ο ρυθμός μεταβολής σε θερμοκρασία αναφοράς $T_{ref}=4$ °C.

Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, (Σ+)

Η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5 και 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης του χρώματος με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



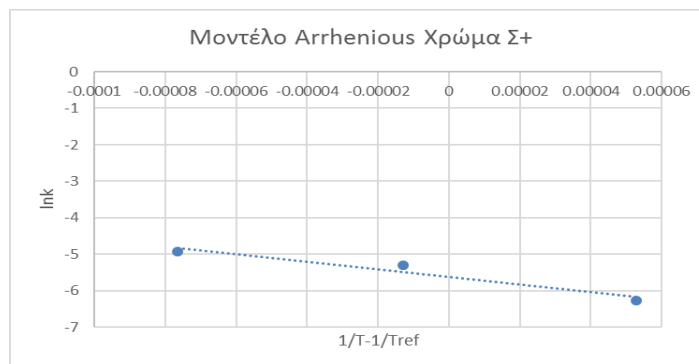
Διάγραμμα 6.3.1: Μεταβολή χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.1: Ρυθμοί μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0020±0.0005	0.0050±0.0012	0.0070±0.0006

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



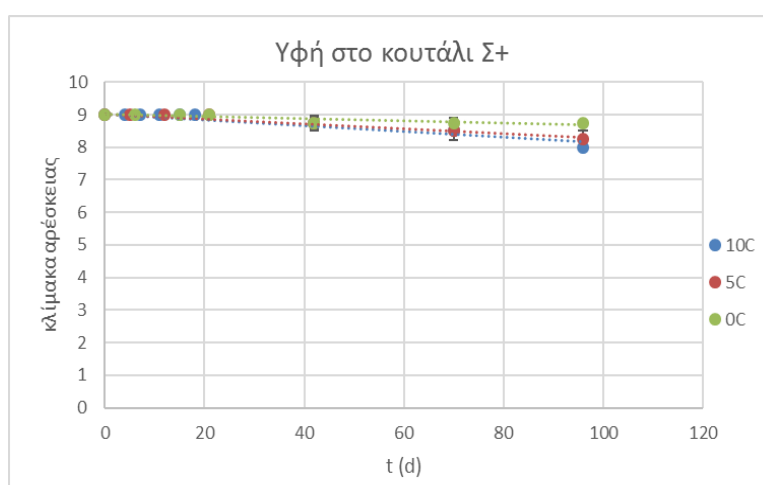
Διάγραμμα 6.3.2: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή του χρώματος και ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.2: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή χρώματος στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	86.8
k_{ref} (d ⁻¹)	0.004
R^2	0.9448

Η μεταβολή της υφής στο κουτάλι συναρτίζεται του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της υφής στο κουτάλι με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



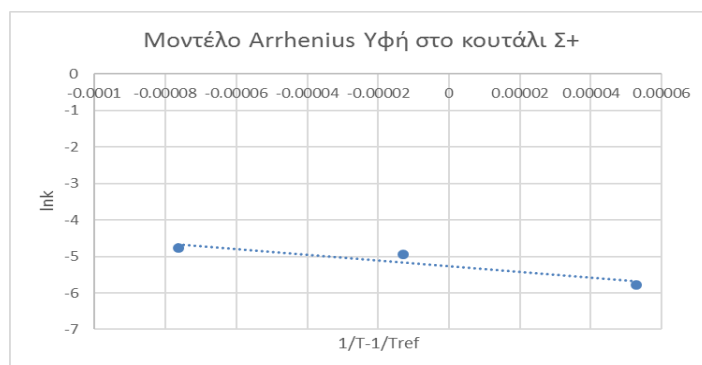
Διάγραμμα 6.3.3: Μεταβολή υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.3: Ρυθμοί μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0030±0.0008	0.0070±0.0007	0.0090±0.0009

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



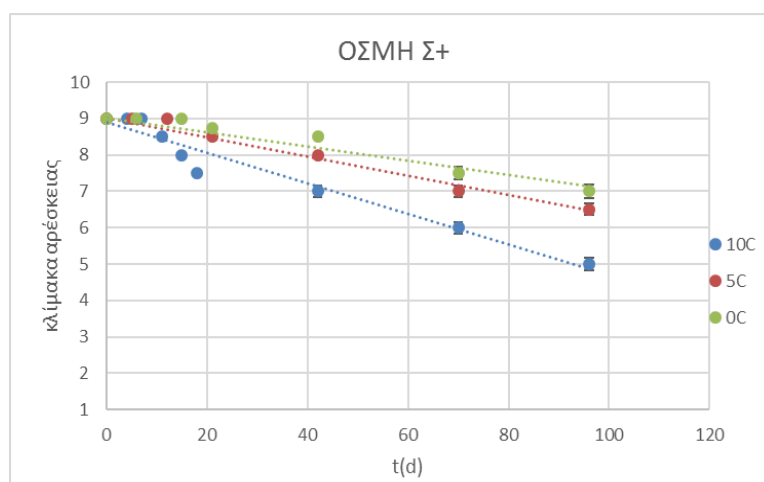
Διάγραμμα 6.3.4: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της υφής στο κουτάλι και ο ρυθμός μεταβολής της υφής στο κουτάλι k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.4: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή υφής στο κουτάλι στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	65.1
k_{ref} (d ⁻¹)	0.005
R^2	0.8855

Η μεταβολή της οσμής συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της οσμής με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



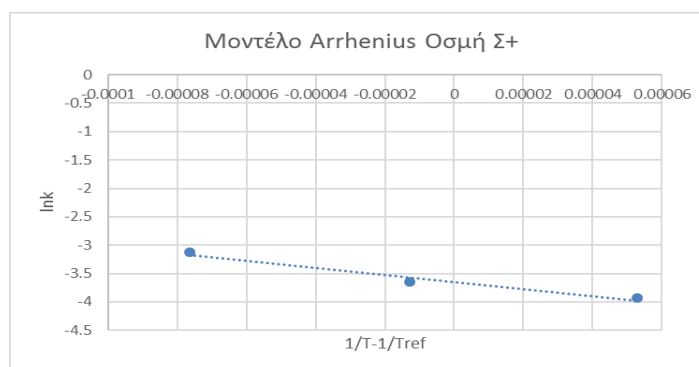
Διάγραμμα 6.3.5: Μεταβολή οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.5: Ρυθμοί μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0200±0.0019	0.0260±0.0016	0.0440±0.0035

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



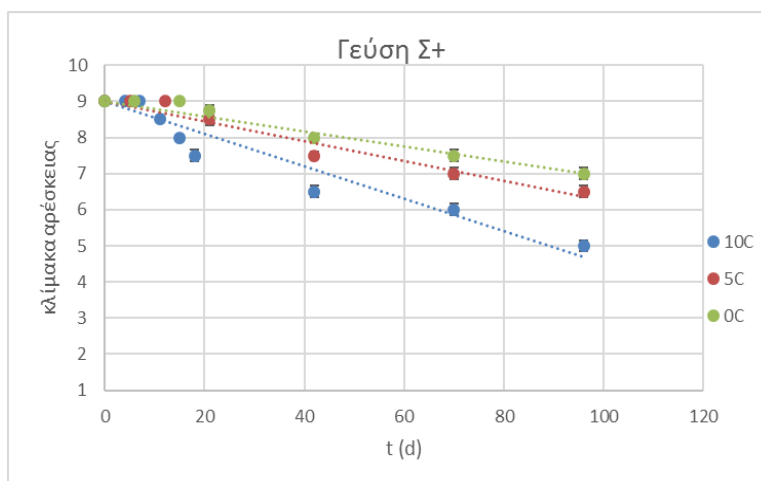
Διάγραμμα 6.3.6: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της οσμής και ο ρυθμός μεταβολής της οσμής k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.6: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή οσμής στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	51.8
k_{ref} (d ⁻¹)	0.026
R^2	0.9734

Η μεταβολή της γεύσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της γεύσης με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



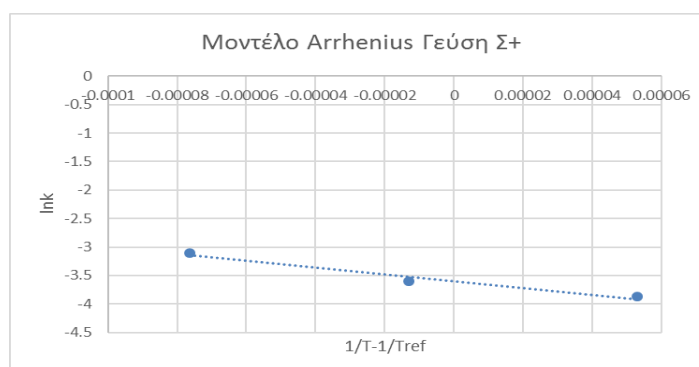
Διάγραμμα 6.3.7: Μεταβολή γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.3.7: Ρυθμοί μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0210±0.0017	0.0270±0.0026	0.0450±0.0042

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



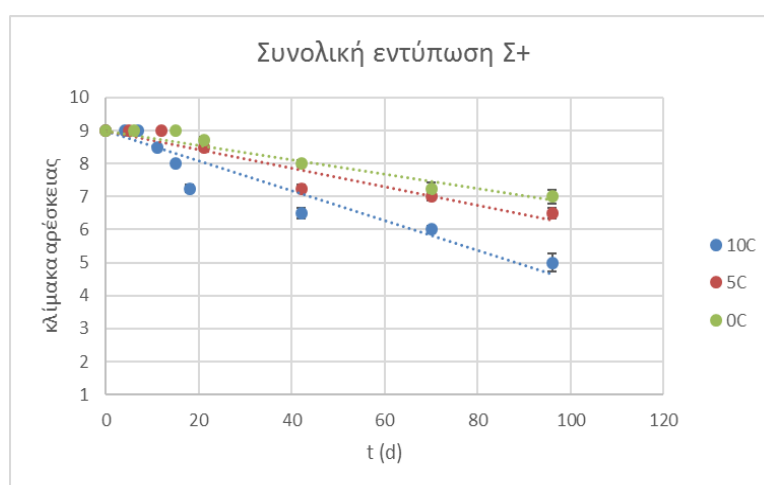
Διάγραμμα 6.3.8: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της γεύσης και ο ρυθμός μεταβολής της γεύσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.8: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή γεύσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	49.4
k_{ref} (d^{-1})	0.027
R^2	0.9667

Η μεταβολή της συνολικής εντύπωσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 $^\circ\text{C}$ φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της συνολικής εντύπωσης με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 $^\circ\text{C}$).



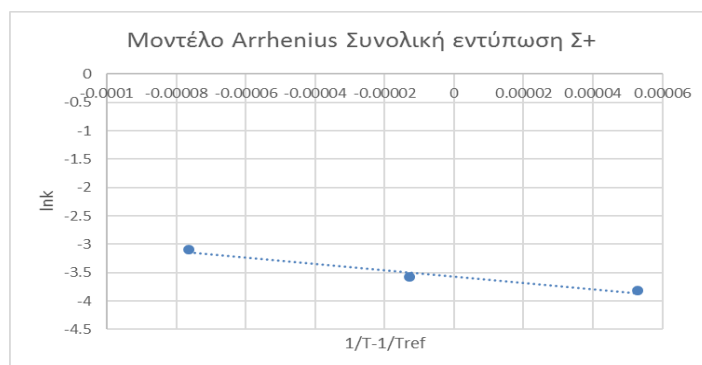
Διάγραμμα 6.3.9: Μεταβολή συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 $^\circ\text{C}$

Οι ρυθμοί μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.9: Ρυθμοί μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 $^\circ\text{C}$

Θερμοκρασία συντήρησης ($^\circ\text{C}$)	0	5	10
k (d^{-1})	0.0220 ± 0.0021	0.0280 ± 0.0036	0.0450 ± 0.0048

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.3.10: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της συνολικής εντύπωσης και ο ρυθμός μεταβολής της συνολικής εντύπωσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.10: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή συνολικής εντύπωσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	46.5
k_{ref} (d ⁻¹)	0.028
R^2	0.9649

Από τη σχέση (6.3.1) υπολογίζεται η διάρκεια ζωής (shelf life) των δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες:

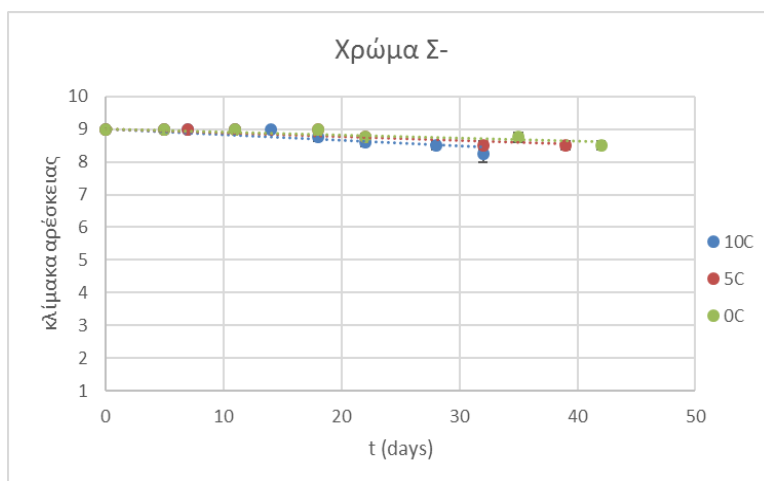
Πίνακας 6.3.11: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
Διάρκεια ζωής (d)	189	131	92

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων με συντηρητικό μεταβάλλονται με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις θερμοκρασίες. Οι ρυθμοί μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Δηλαδή τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων υποβαθμίζονται ταχύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης.

Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, (Σ-)

Η μεταβολή του χρώματος συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης του χρώματος με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



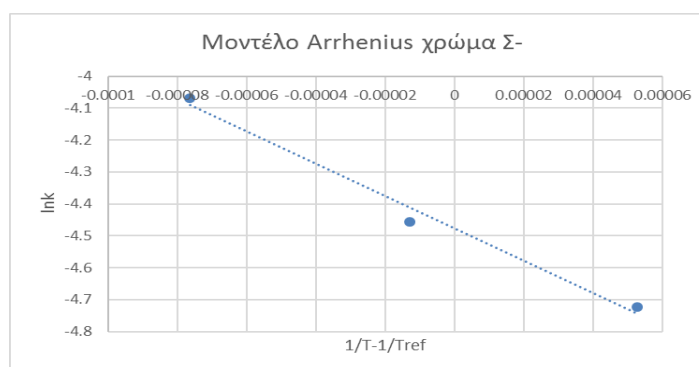
Διάγραμμα 6.3.11: Μεταβολή χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.12: Ρυθμοί μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0090±0.0025	0.0120±0.0027	0.0170±0.0037

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



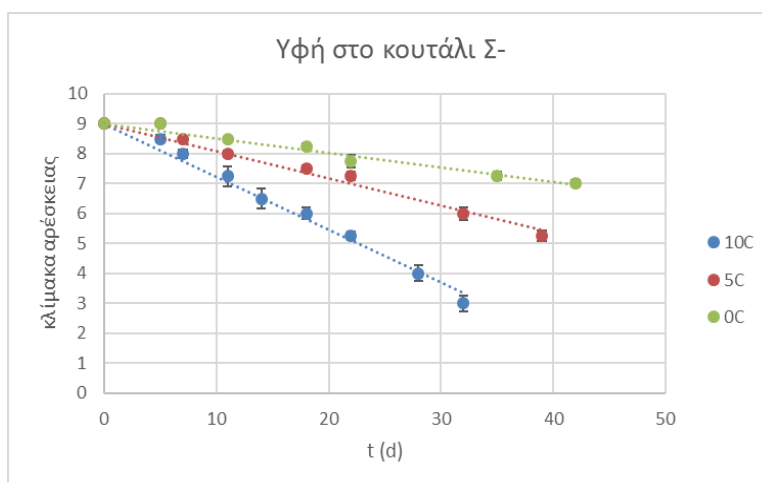
Διάγραμμα 6.3.12: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή του χρώματος και ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.13: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή χρώματος στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για $T_{ref} = 4\text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	41.9
k_{ref} (d ⁻¹)	0.011
R^2	0.9860

Η μεταβολή της υφής στο κουτάλι συναρτίζεται του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



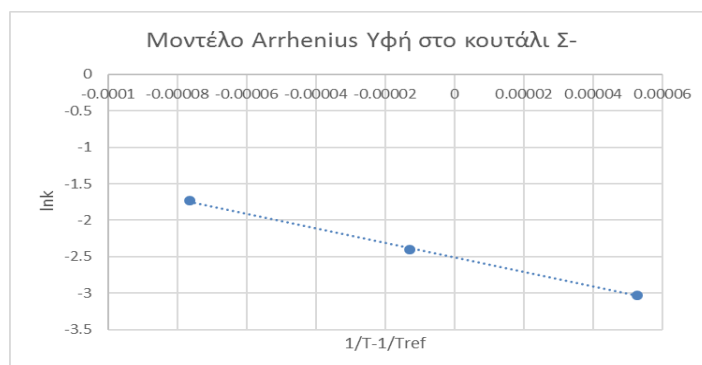
Διάγραμμα 6.3.13: Μεταβολή υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.14: Ρυθμοί μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0490±0.0036	0.0910±0.0051	0.1770±0.0057

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



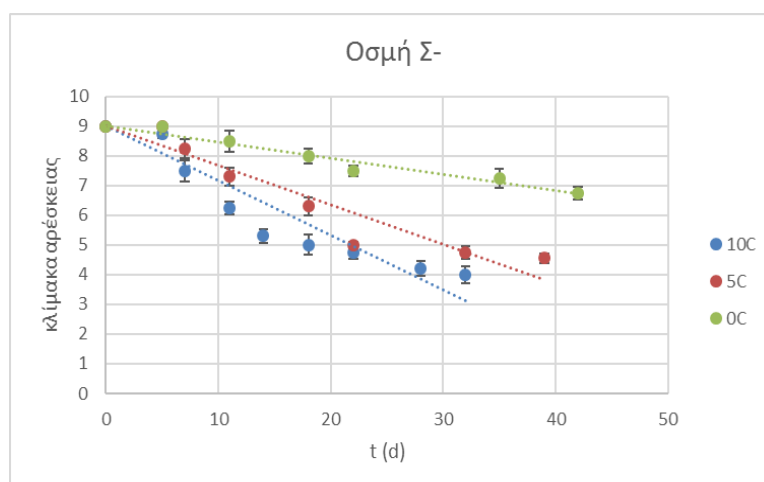
Διάγραμμα 6.3.14: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της υφής στο κουτάλι και ο ρυθμός μεταβολής της υφής στο κουτάλι k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.15: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή υφής στο κουτάλι στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	83.1
k_{ref} (d ⁻¹)	0.082
R^2	0.9991

Η μεταβολή της οσμής συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



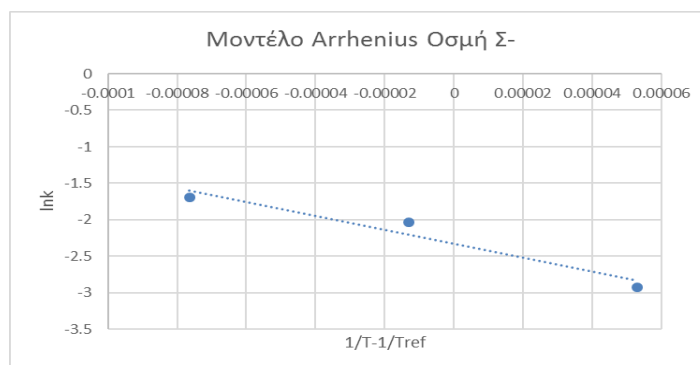
Διάγραμμα 6.3.15: Μεταβολή οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.16: Ρυθμοί μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0540±0.0052	0.1310±0.0172	0.1840±0.0227

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



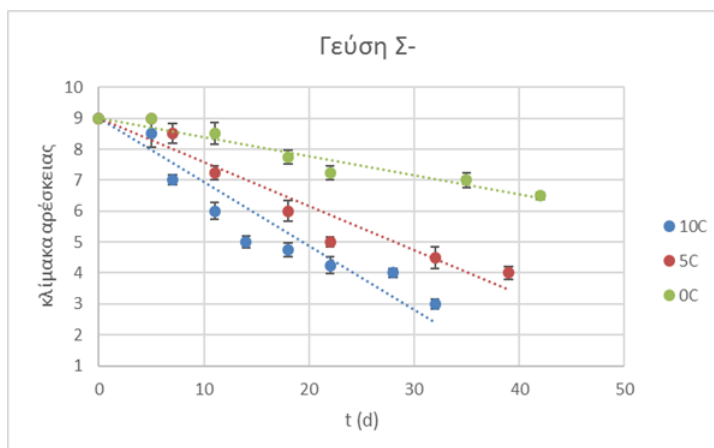
Διάγραμμα 6.3.16: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της οσμής και ο ρυθμός μεταβολής της οσμής k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.17: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή οσμής στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	79.3
k_{ref} (d ⁻¹)	0.097
R^2	0.9438

Η μεταβολή της γεύσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



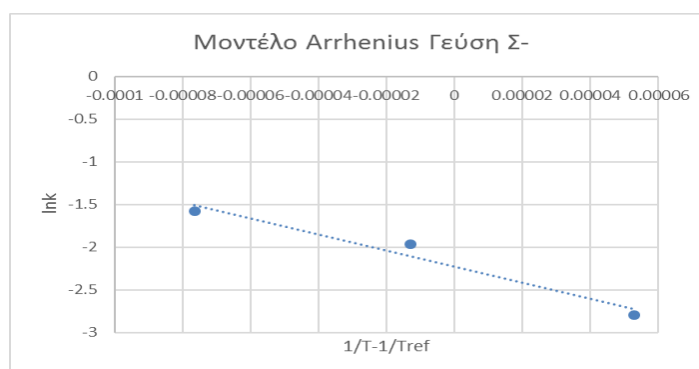
Διάγραμμα 6.3.17: Μεταβολή γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.18: Ρυθμοί μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d⁻¹)	0.0610±0.0068	0.1400±0.0161	0.2060±0.0217

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



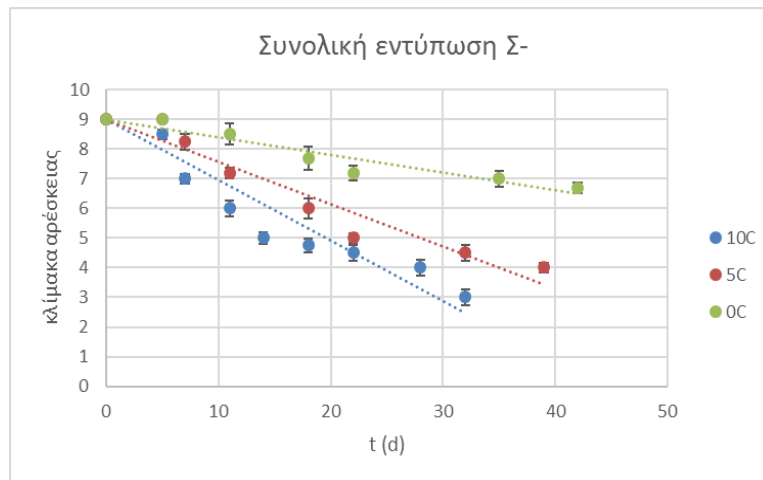
Διάγραμμα 6.3.18: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της γεύσης και ο ρυθμός μεταβολής της γεύσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.19: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή γεύσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	78.1
k_{ref} (d⁻¹)	0.108
R^2	0.9605

Η μεταβολή της συνολικής εντύπωσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



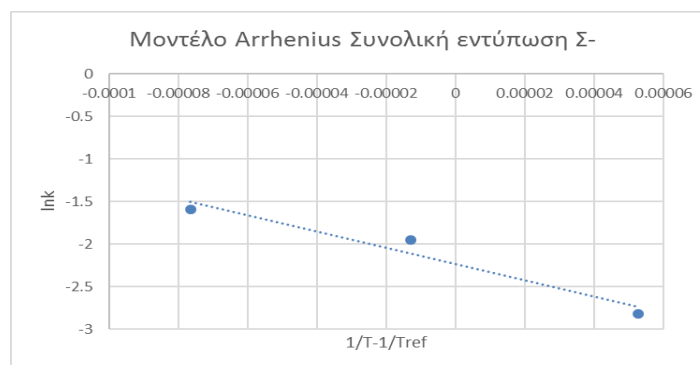
Διάγραμμα 6.3.19: Μεταβολή συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.20: Ρυθμοί μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0600±0.0080	0.1430±0.0155	0.2040±0.0214

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.3.20: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της συνολικής εντύπωσης και ο ρυθμός μεταβολής της συνολικής εντύπωσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.21: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή συνολικής εντύπωσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για $T_{ref} = 4\text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	79.3
k_{ref} (d ⁻¹)	0.107
R^2	0.9495

Από τη σχέση (6.3.1) υπολογίζεται η διάρκεια ζωής (shelf life) των δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες:

Πίνακας 6.3.22: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
Διάρκεια ζωής (d)	61	32	18

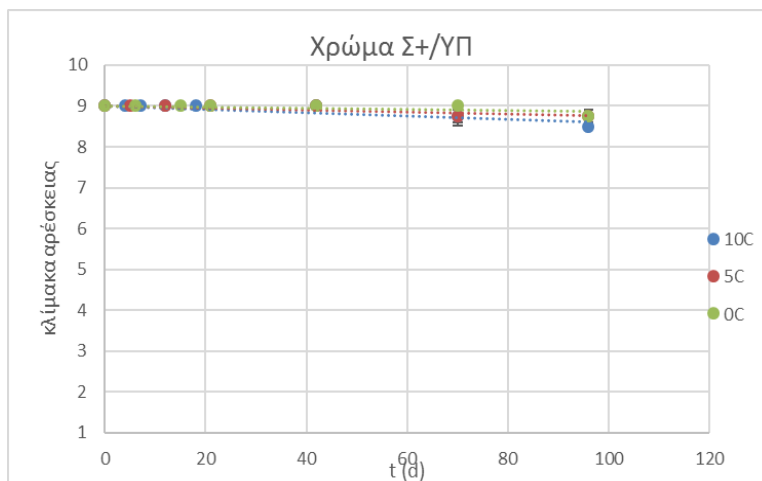
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων χωρίς συντηρητικό, παρουσιάζουν σημαντική μεταβολή με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις θερμοκρασίες. Το χρώμα είναι το μόνο οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, που παραμένει σχεδόν αναλλοίωτο με το χρόνο συντήρησης. Οι ρυθμοί μεταβολής αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Δηλαδή τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων υποβαθμίζονται ταχύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης. Από τον Πίνακα 6.3.22 εξάγεται το συμπέρασμα, ότι τα δείγματα φτάνουν σε μη αποδεκτά επίπεδα μετά από 18 d σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C, ενώ στη θερμοκρασία συντήρησης 5 °C φτάνουν σε μη αποδεκτά επίπεδα μετά από 32 d. Στη θερμοκρασία συντήρησης 0 °C παρουσιάζεται μεταβολή της συνολικής εντύπωσης, αλλά τα δείγματα παρέμειναν σε αποδεκτά επίπεδα κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων.



Εικόνες 6.3.1 – 6.3.7: Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας χωρίς συντηρητικό μετά από 0, 7, 14, 18, 22, 28 και 32 d σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C

Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, (Σ+/ΥΠ)

Η μεταβολή του χρώματος συναρτήσκει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης του χρώματος με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



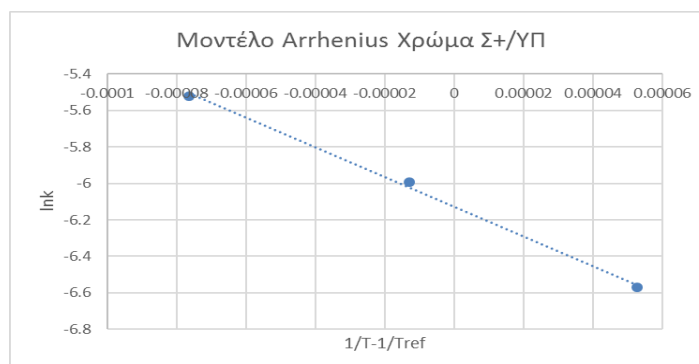
Διάγραμμα 6.3.21: Μεταβολή χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με της ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.23: Ρυθμοί μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d⁻¹)	0.0010±0.0008	0.0030±0.0006	0.0040±0.0008

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



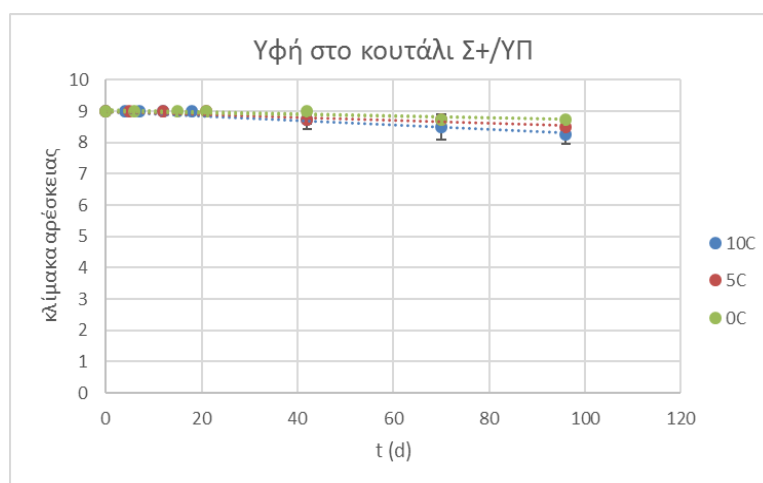
Διάγραμμα 6.3.22: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή του χρώματος και ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.24: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή χρώματος στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	67.5
k_{ref} (d ⁻¹)	0.002
R^2	0.9975

Η μεταβολή της υφής στο κουτάλι συναρτίζεται του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της υφής στο κουτάλι με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



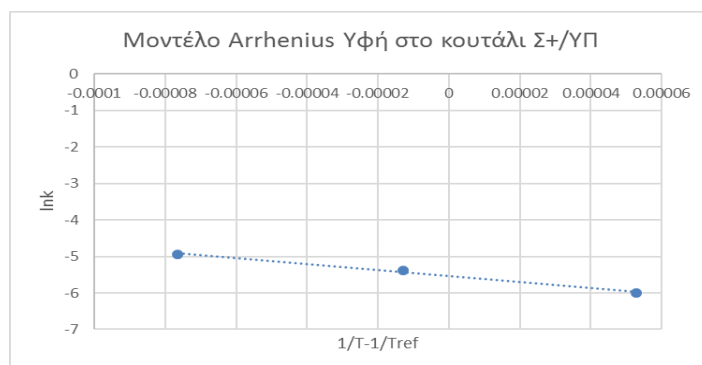
Διάγραμμα 6.3.23: Μεταβολή υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.25: Ρυθμοί μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0030±0.0007	0.0050±0.0007	0.0070±0.0005

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της υφής στο κουτάλι με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



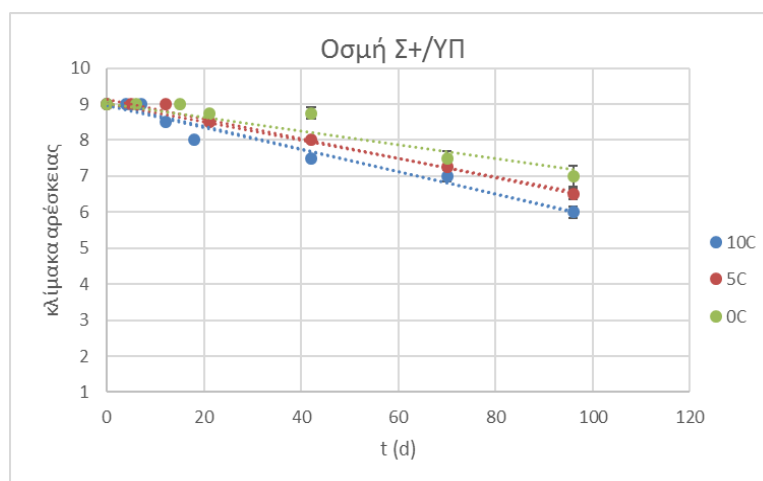
Διάγραμμα 6.3.24: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της υφής στο κουτάλι και ο ρυθμός μεταβολής της υφής στο κουτάλι k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.26: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή υφής στο κουτάλι στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	68.1
k_{ref} (d ⁻¹)	0.004
R^2	0.9940

Η μεταβολή της οσμής συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της οσμής με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



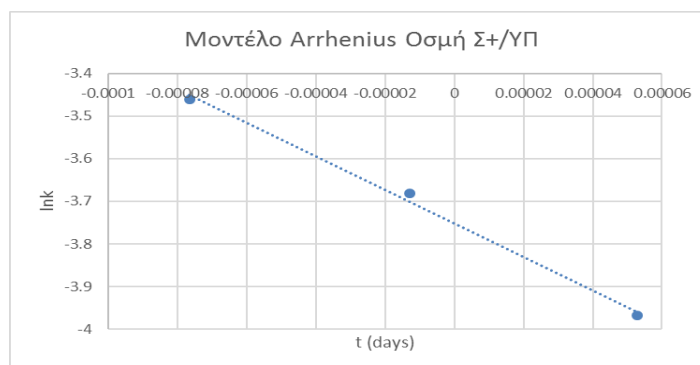
Διάγραμμα 6.3.25: Μεταβολή οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.27: Ρυθμοί μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d⁻¹)	0.0190±0.0019	0.0250±0.0016	0.0310±0.0025

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



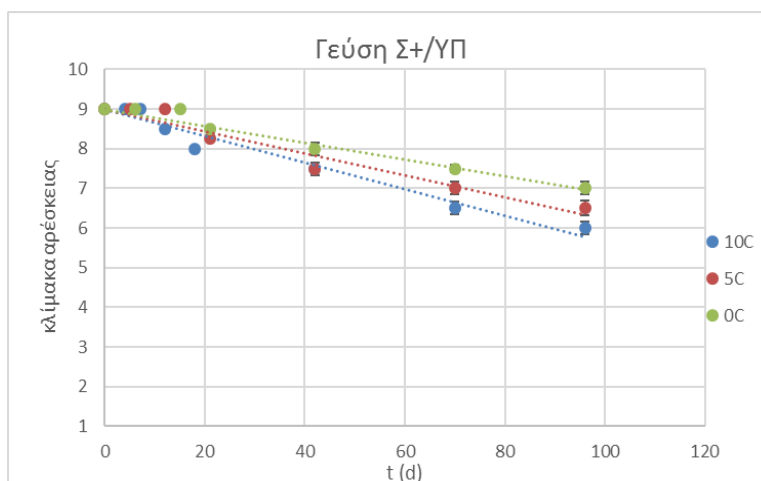
Διάγραμμα 6.3.26: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της οσμής και ο ρυθμός μεταβολής της οσμής k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.28: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή οσμής στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	32.7
k_{ref} (d⁻¹)	0.023
R^2	0.9956

Η μεταβολή της γεύσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της γεύσης με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



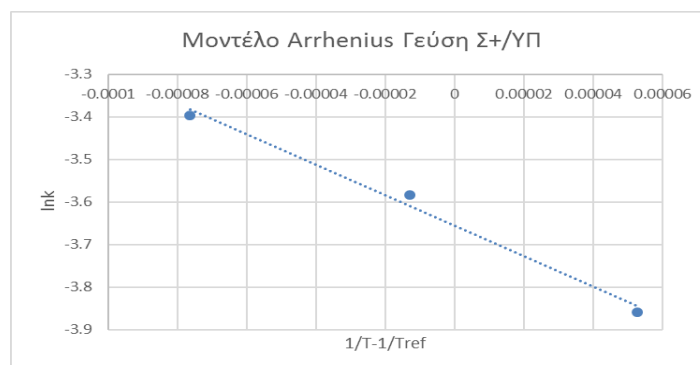
Διάγραμμα 6.3.27: Μεταβολή γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.29: Ρυθμοί μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d⁻¹)	0.0210±0.0017	0.0280±0.0028	0.0340±0.0024

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



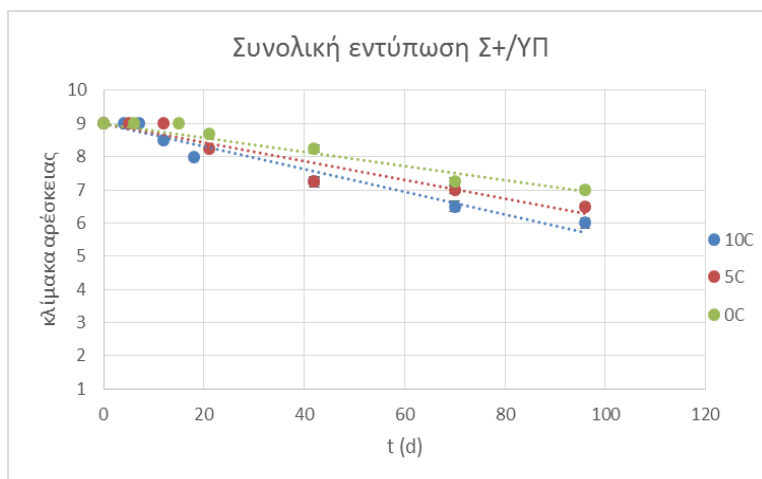
Διάγραμμα 6.3.28: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της γεύσης και ο ρυθμός μεταβολής της γεύσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.30: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή γεύσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	29.8
k_{ref} (d⁻¹)	0.026
R^2	0.9899

Η μεταβολή της συνολικής εντύπωσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της συνολικής εντύπωσης με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



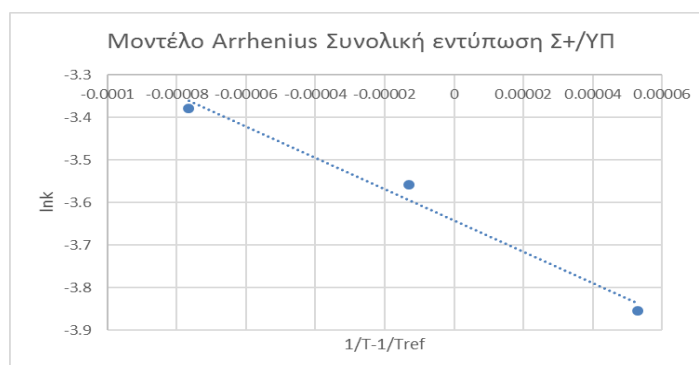
Διάγραμμα 6.3.29: Μεταβολή συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.31: Ρυθμοί μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0200±0.0020	0.0290±0.0037	0.0340±0.0028

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.3.30: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της συνολικής εντύπωσης και ο ρυθμός μεταβολής της συνολικής εντύπωσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.32: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή συνολικής εντύπωσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	34.4
k_{ref} (d ⁻¹)	0.026
R^2	0.9692

Από τη σχέση (6.3.1) υπολογίζεται η διάρκεια ζωής (shelf life) των δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες:

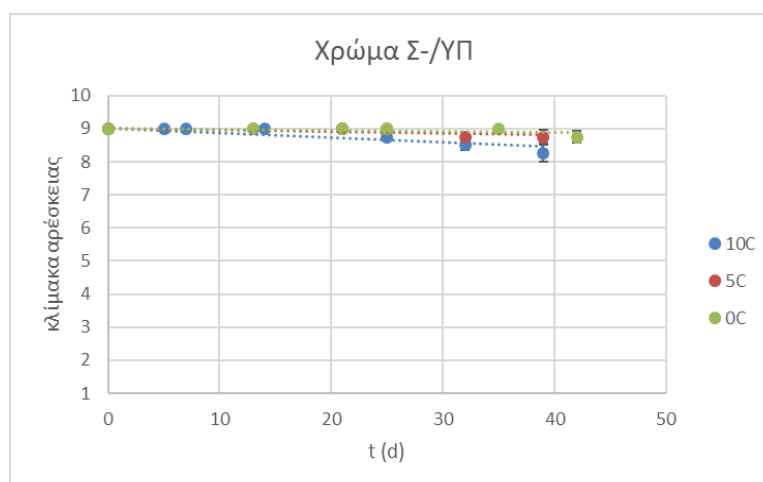
Πίνακας 6.3.33: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
Διάρκεια ζωής (d)	194	145	115

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, μεταβάλλονται με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις θερμοκρασίες. Οι ρυθμοί μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Δηλαδή τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων υποβαθμίζονται ταχύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης.

Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, (Σ-/ΥΠ)

Η μεταβολή του χρώματος συναρτήσεως του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης του χρώματος με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



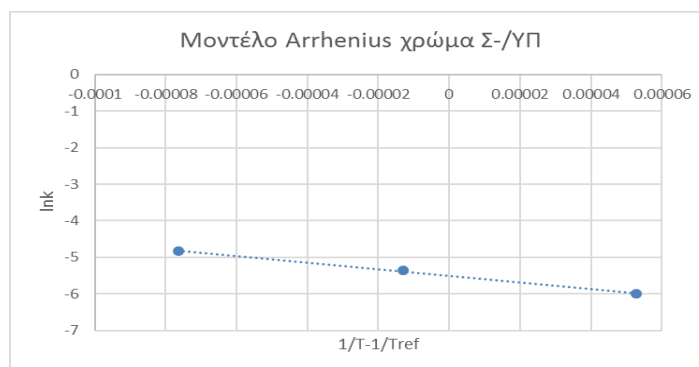
Διάγραμμα 6.3.31: Μεταβολή χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.34: Ρυθμοί μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d⁻¹)	0.0030±0.0008	0.0050±0.0007	0.0080±0.0009

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής του χρώματος για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



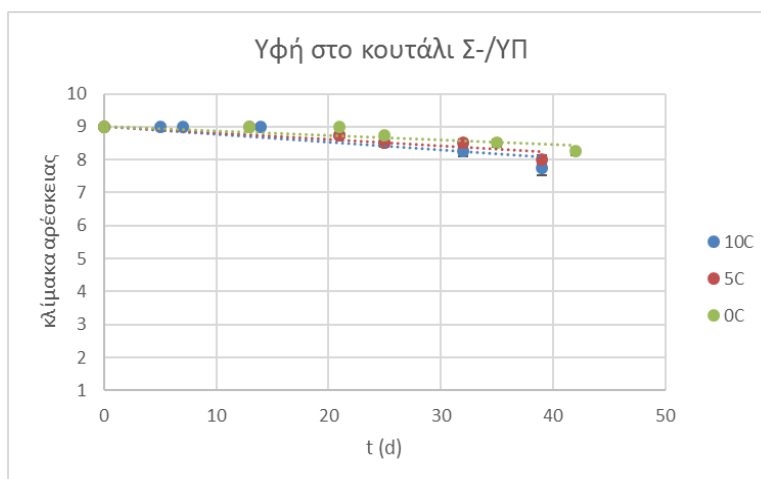
Διάγραμμα 6.3.32: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής χρώματος σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή του χρώματος και ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.35: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή χρώματος στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	74.8
k_{ref} (d⁻¹)	0.004
R^2	0.9985

Η μεταβολή της υφής στο κουτάλι συναρτίζεται του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της υφής στο κουτάλι με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



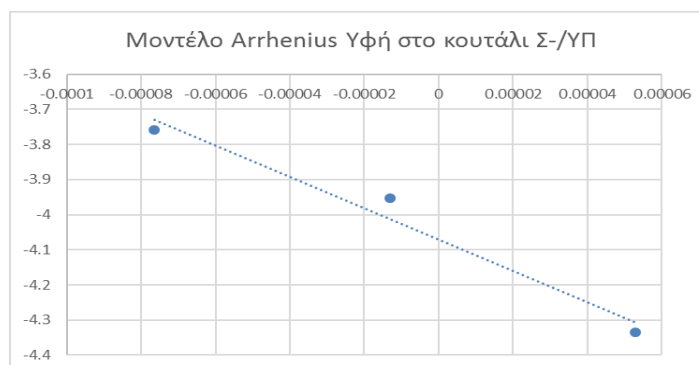
Διάγραμμα 6.3.33: Μεταβολή υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.36: Ρυθμοί μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0130±0.0048	0.0190±0.0056	0.0230±0.0050

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της υφής στο κουτάλι για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



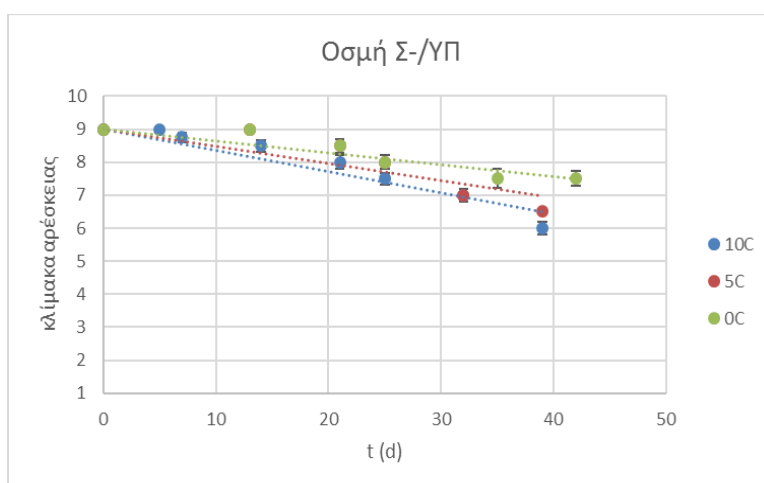
Διάγραμμα 6.3.34: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής υφής στο κουτάλι σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με την τεχνολογία της ΥΠ, συντηρημένα σε θερμοκρασίες 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της υφής στο κουτάλι και ο ρυθμός μεταβολής της υφής στο κουτάλι k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.37: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή υφής στο κουτάλι στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4\text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	37.1
k_{ref} (d ⁻¹)	0.017
R^2	0.9691

Η μεταβολή της οσμής συναρτήσκει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της οσμής με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



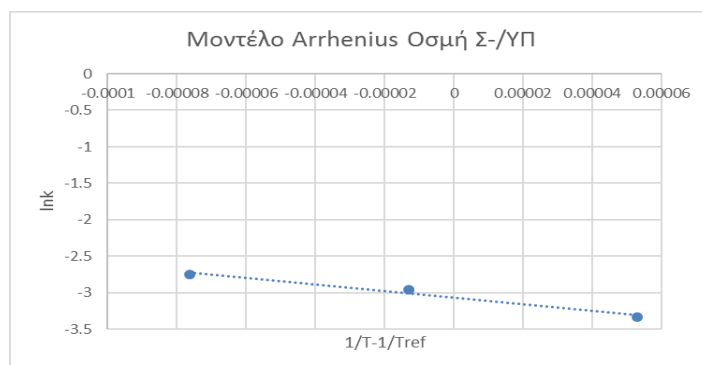
Διάγραμμα 6.3.35: Μεταβολή οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.38: Ρυθμοί μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0360±0.0067	0.0520±0.0069	0.0640±0.0032

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της οσμής για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



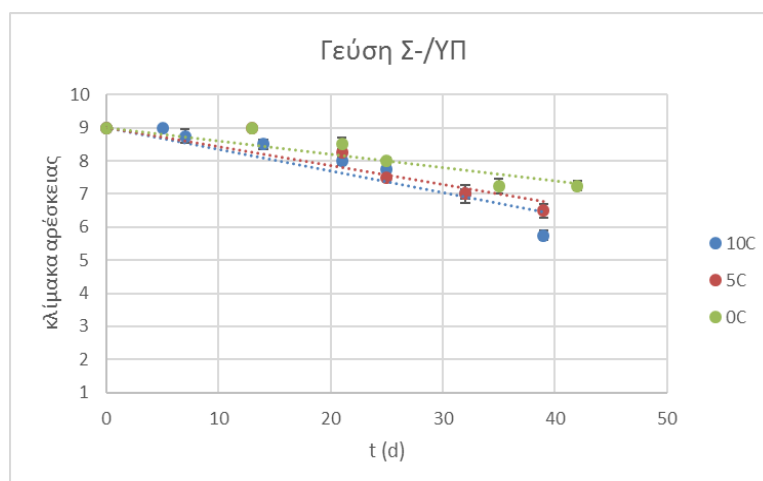
Διάγραμμα 6.3.36: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής οσμής σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της οσμής και ο ρυθμός μεταβολής της οσμής k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.39: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή οσμής στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	37.6
k_{ref} (d ⁻¹)	0.047
R^2	0.9751

Η μεταβολή της γεύσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της γεύσης με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



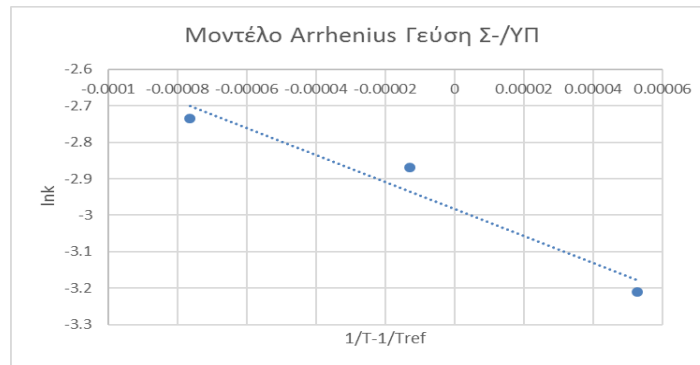
Διάγραμμα 6.3.37: Μεταβολή γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.40: Ρυθμοί μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d⁻¹)	0.0400±0.0048	0.0570±0.0074	0.0650±0.0041

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της γεύσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



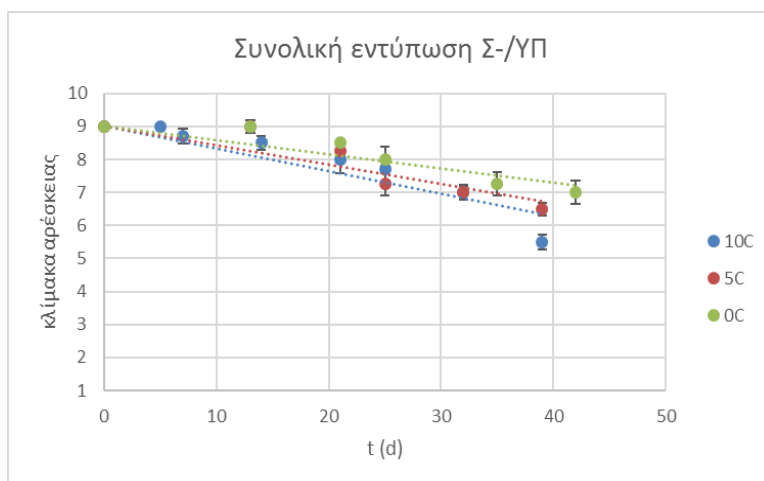
Διάγραμμα 6.3.38: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής γεύσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της γεύσης και ο ρυθμός μεταβολής της γεύσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.41: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή γεύσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4$ °C

E_A (kJ/mol)	30.7
k_{ref} (d⁻¹)	0.050
R^2	0.9441

Η μεταβολή της συνολικής εντύπωσης συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, για τις θερμοκρασίες 0, 5, 10 °C φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Παρατηρείται αργή ελάττωση της βαθμολόγησης της συνολικής εντύπωσης με το χρόνο συντήρησης, ειδικά στην υψηλότερη θερμοκρασία (10 °C).



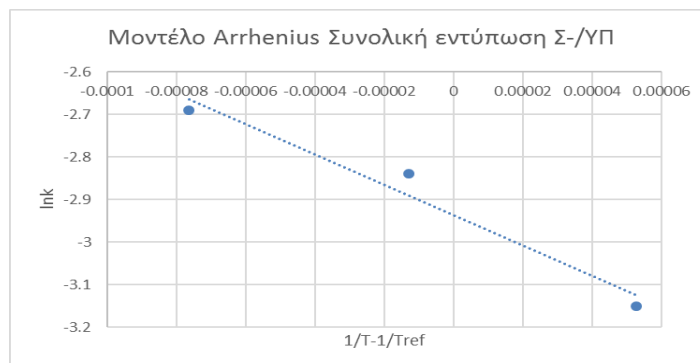
Διάγραμμα 6.3.39: Μεταβολή συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οι ρυθμοί μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.42: Ρυθμοί μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, συντηρημένα σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.0430±0.0065	0.0590±0.0073	0.0680±0.0044

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής της συνολικής εντύπωσης για τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.3.40: Εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς μεταβολής συνολικής εντύπωσης σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει η ενέργεια ενεργοποίησης E_A με βάση την μεταβολή της συνολικής εντύπωσης και ο ρυθμός μεταβολής της συνολικής εντύπωσης k_{ref} στη θερμοκρασία αναφοράς ($T_{ref} = 4$ °C). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3.43: Τιμές E_A , k_{ref} και R^2 για την μεταβολή γεύσης στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό επεξεργασμένα με ΥΠ για $T_{ref} = 4\text{ }^\circ\text{C}$

E_A (kJ/mol)	29.6
k_{ref} (d ⁻¹)	0.053
R^2	0.9629

Από τη σχέση (6.3.1) υπολογίζεται η διάρκεια ζωής (shelf life) των δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες:

Πίνακας 6.3.44: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5, 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
Διάρκεια ζωής (d)	91	72	57

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, μεταβάλλονται με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Οι ρυθμοί μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Δηλαδή τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων υποβαθμίζονται ταχύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης.



Εικόνα 6.3.8 – 6.3.13: Δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, μετά από 0, 7, 14, 25, 32 και 39 d σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C

6.4 Προσδιορισμός αριθμού Plummit σε δείγματα μαγιονέζας, παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων

Με την εφαρμογή της τεχνολογίας της ΥΠ σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, παρατηρήθηκε μεταβολή της υφής του προϊόντος (το προϊόν παρουσίασε πιο συνεκτική υφή). Η επίδρασης της ΥΠ στην υφή, προσεγγίστηκε με τον προσδιορισμό του αριθμού Plummit, την παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και την κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε δείγματα μαγιονέζας (γαλάκτωμα), επεξεργασμένα σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και χρόνου με ΥΠ.

Ο προσδιορισμός του αριθμού Plummit στα δείγματα μαγιονέζας πραγματοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5 μέσω της δύναμης διείσδυσης. Με την βοήθεια του αναλυτή υφής και με χρήση κωνικού εξαρτήματος μετρήθηκε η δύναμη που απαιτείται για την διείσδυσή του σε σταθερή απόσταση από την επιφάνεια μέσα στην μαγιονέζα. Οι τιμές της δύναμης που προέκυψαν για σταθερό βάθος διείσδυσης συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα μήκη που προέκυψαν με σταθερή δύναμη το βάρος του βέλους (αριθμός Plummit) για κάθε δείγμα μαγιονέζας. Η συσχέτιση έγινε σύμφωνα με εξίσωση που συνδέει τα δύο μεγέθη, η οποία προέκυψε από παλαιότερη διπλωματική εργασία, που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, ΕΜΠ (Τσουκαλά, 2005). Κάθε δείγμα μαγιονέζας έχει επεξεργαστεί με ΥΠ, σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και χρόνου. Η εξίσωση που συνδέει τα δύο μεγέθη και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατίθενται παρακάτω:

$$y = 0.2068 \cdot x + 2.2799 \quad (6.4.1)$$

Όπου

- y : η δύναμη διείσδυσης (N)
- x : ο αριθμός Plummit

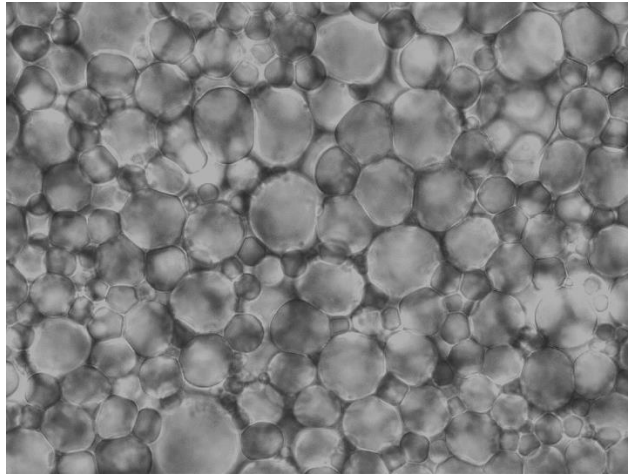
Πίνακας 6.4.1: Δύναμη Διείσδυσης και Αριθμός Plummit για δείγματα μαγιονέζας επεξεργασμένα με ΥΠ

Δείγματα Μαγιονέζας	Δύναμη Διείσδυσης (N)	Αριθμός Plummit
Χωρίς επεξεργασία	1.13	5.56
50MPa_1min	0.97	6.33
200MPa_1min	0.93	6.53
200MPa_5min	0.92	6.58
600MPa_1min	1.29	4.79
600MPa_5min	1.56	3.48

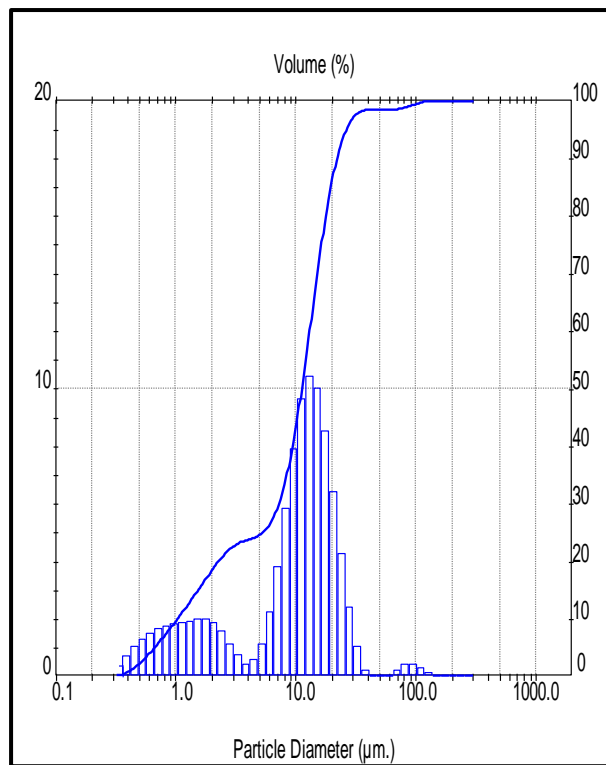
Αξίζει να σημειωθεί, ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός Plummit, η δύναμη διείσδυσης μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι το γαλάκτωμα (μαγιονέζα) γίνεται πιο λεπτόρρευστο.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι το δείγμα μαγιονέζας, χωρίς επεξεργασία ΥΠ, παρουσιάζει αριθμό Plummit 5.56 για δύναμη διείσδυσης 1.13 N. Με επιβολή πίεσης 50 MPa για 1 min παρατηρείται μικρή μείωση της δύναμης διείσδυσης και αύξηση του αριθμού Plummit. Με πίεση 200 MPa για 1 και 5 min η δύναμη διείσδυσης παραμένει σχεδόν σταθερή, καθώς και ο αριθμός Plummit. Συνεπώς το γαλάκτωμα γίνεται πιο λεπτόρρευστο υπό επεξεργασία με ΥΠ έως 200 MPa και η μεταβολή αυτή είναι ανεξάρτητη του χρόνου επεξεργασίας. Σημαντική αύξηση της πίεσης από 200 σε 600 MPa, έχει ως αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της δύναμης διείσδυσης και μείωση του αριθμού Plummit. Το φαινόμενο αυτό είναι εξαρτώμενο του χρόνου, καθώς με αύξηση της διάρκειας της επιβαλλόμενης πίεσης αυξάνεται περαιτέρω η δύναμη διείσδυσης και μειώνεται ο αριθμός Plummit. Η μεταβολή αυτή συνοδεύεται με αύξηση του ιξώδους (Τσουκαλά, 2005).

Σε κάθε δείγμα μαγιονέζας πραγματοποιήθηκε παρατήρηση λιποσφαιρίων σε οπτικό μικροσκόπιο και προσδιορισμός της κατανομής μεγέθους των λιποσφαιρίων. Παρακάτω παρατίθενται οι αντίστοιχες εικόνες και καμπύλες κατανομής για κάθε δείγμα μαγιονέζας, όπως προσδιορίστηκαν με το Mastersizer. Η κατανομή εκφράζεται μέσω του ποσοστού κατ' όγκο που καταλαμβάνουν τα λιποσφαίρια στο γαλάκτωμα, συναρτήσει της αντίστοιχης διαμέτρου. Στους αντίστοιχους πίνακες παρουσιάζονται τα μεγέθη $D_v 0.1$, $D_v 0.5$ και $D_v 0.9$, που αντιστοιχούν στη μέγιστη διάμετρο του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων. Το $d_{3.2}$ αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο Sauter κατά επιφάνεια και το $d_{4.3}$ αντιστοιχεί στη μέση διάμετρο Sauter κατ' όγκο.



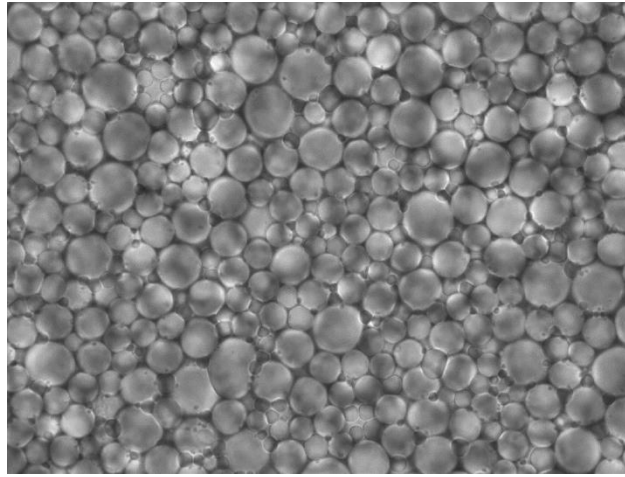
Εικόνα 6.4.1: Λιποσφαίρια σε μαγιονέζα χωρίς επεξεργασία ΥΠ



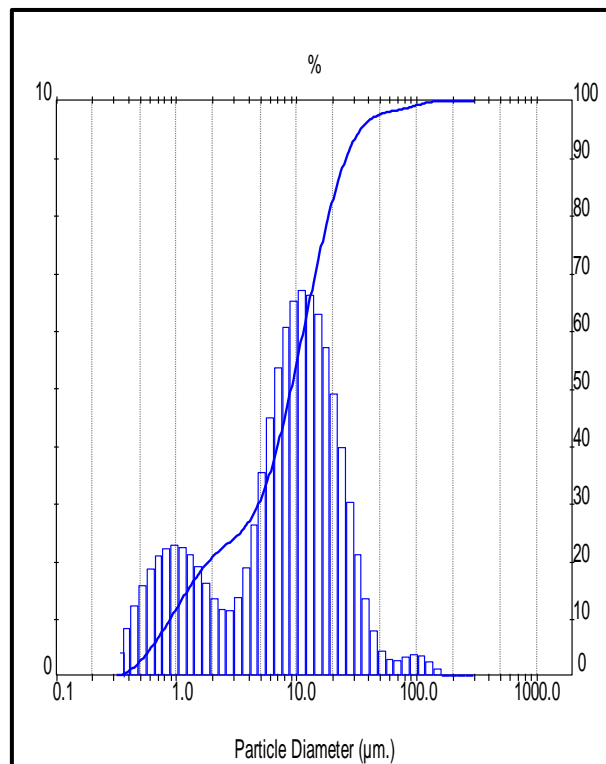
Εικόνα 6.4.2: Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε μαγιονέζα χωρίς επεξεργασία ΥΠ

Πίνακας 6.4.2: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε μαγιονέζα, χωρίς επεξεργασία με ΥΠ

D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
1.04	11.29	22.20	3.29	12.61



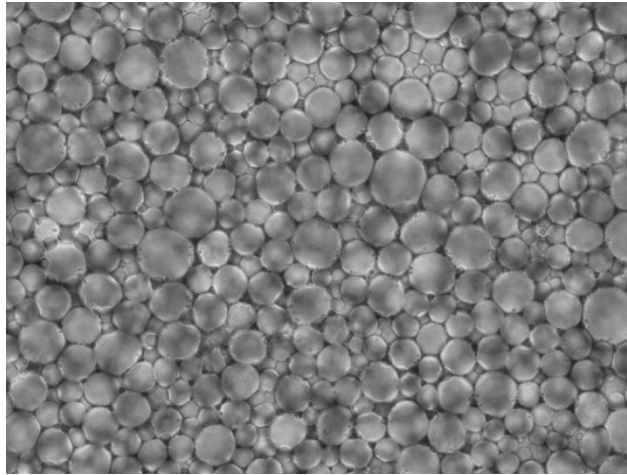
Εικόνα 6.4.3: Λιποσφαίρια σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 50 MPa για 1 min



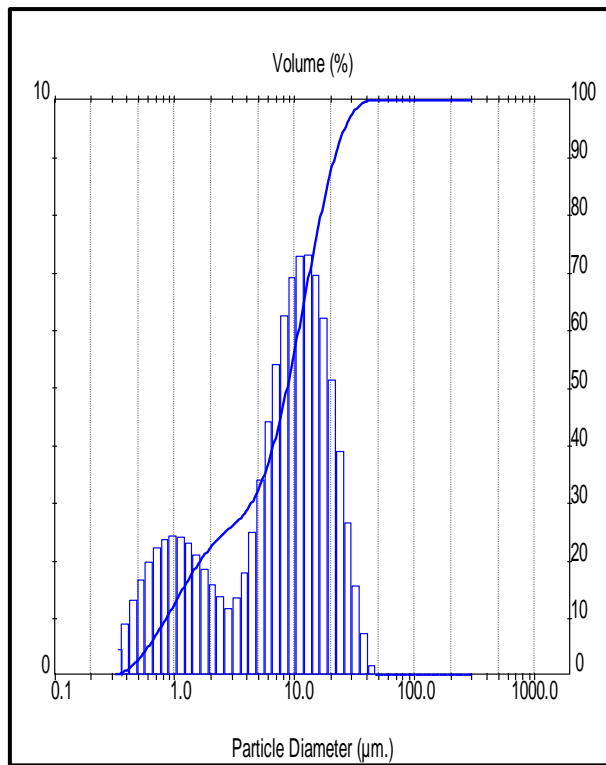
Εικόνα 6.4.4: Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 50 MPa για 1 min

Πίνακας 6.4.3: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 50 MPa για 1 min

D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
0.89	9.11	25.98	2.89	12.77



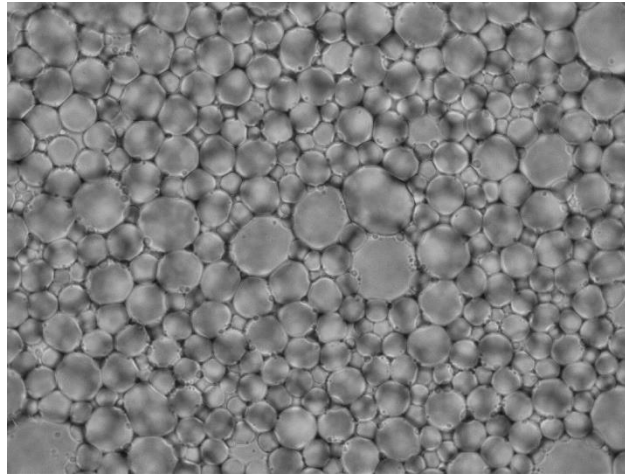
Εικόνα 6.4.5: Λιποσφαίρια σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 200 MPa για 1 min



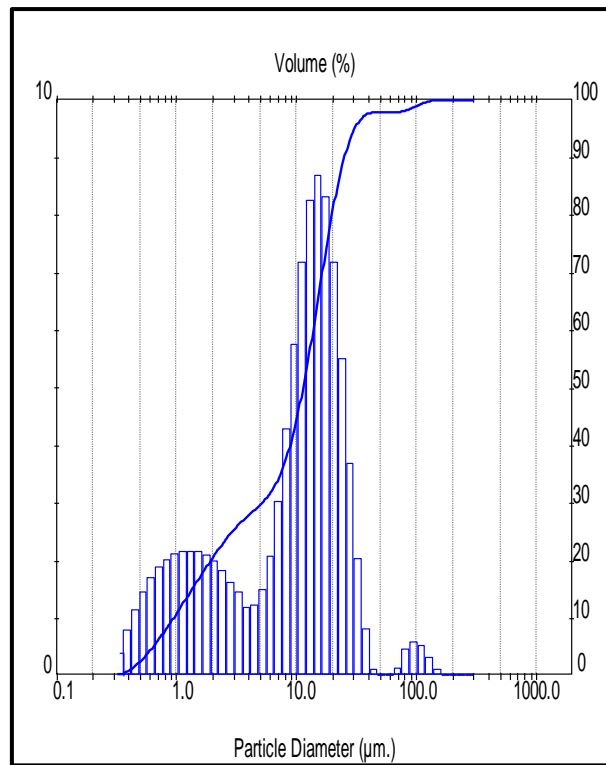
Εικόνα 6.4.6: Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 200 MPa για 1 min

Πίνακας 6.4.4: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 200 MPa για 1 min

D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
0.86	8.75	21.78	2.73	10.18



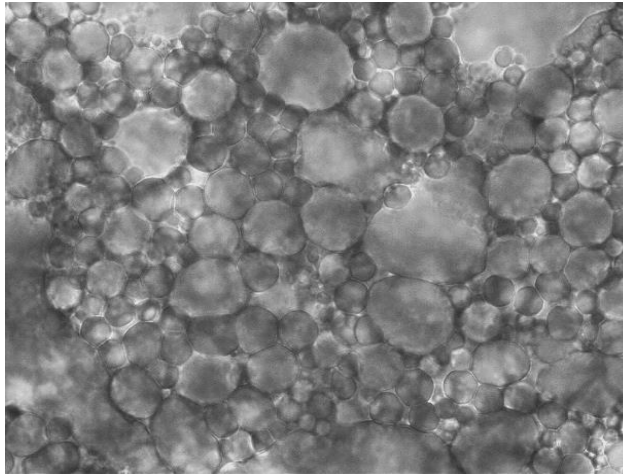
Εικόνα 6.4.7: Λιποσφαίρια σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 200 MPa για 5 min



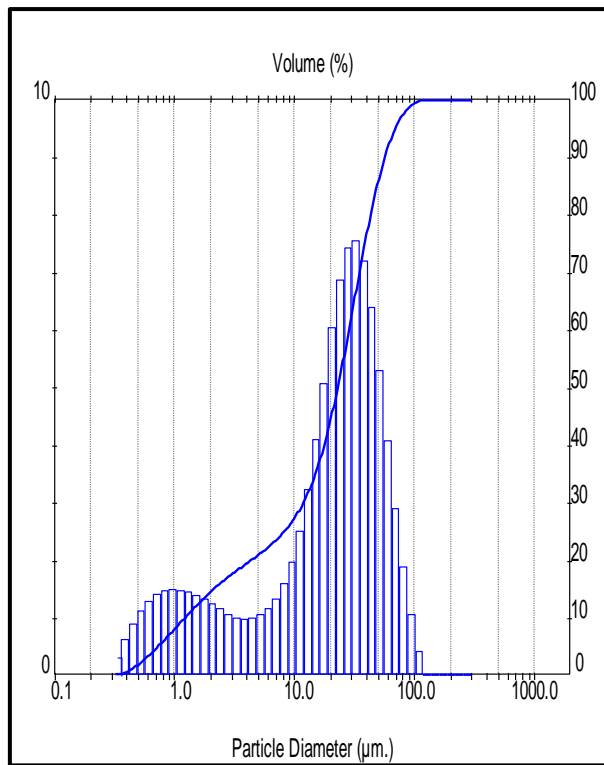
Εικόνα 6.4.8: Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 200 MPa για 5 min

Πίνακας 6.4.5: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 200 MPa για 5 min

D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
0.95	11.44	25.26	3.04	13.71



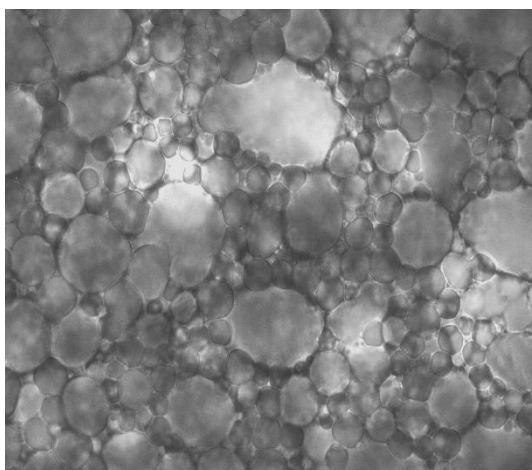
Εικόνα 6.4.9: Λιποσφαίρια σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 600 MPa για 1 min



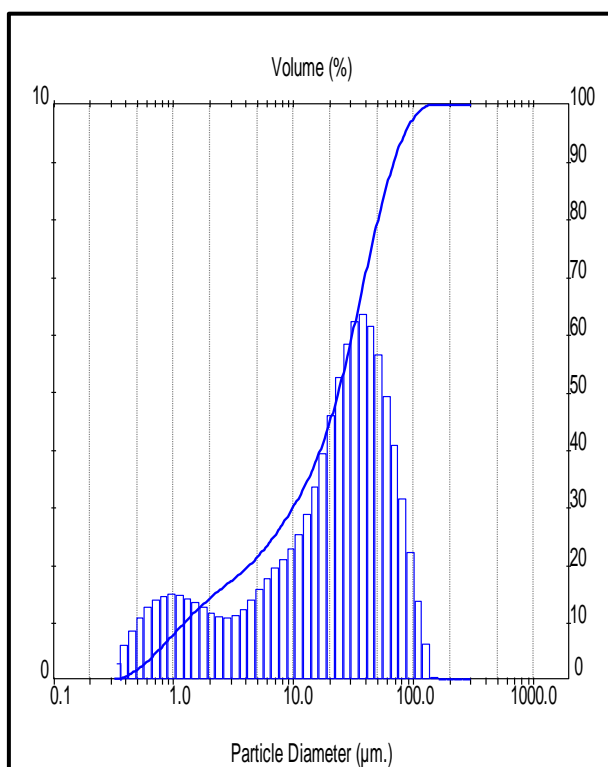
Εικόνα 6.4.10: Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 600 MPa για 1 min

Πίνακας 6.4.6: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 600 MPa για 1 min

D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
1.22	23.08	56.90	4.21	26.62



Εικόνα 6.4.11 : Λιποσφαίρια σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 600 MPa για 5 min



Εικόνα 6.4.12: Κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 600 MPa για 5 min

Πίνακας 6.4.7: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε μαγιονέζα επεξεργασμένη με ΥΠ, σε συνθήκες 600 MPa για 5 min

D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
1.24	23.83	69.02	4.25	30.09

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων για κάθε δείγμα μαγιονέζας:

Πίνακας 6.4.8: Μέγιστη διάμετρος του 10%, 50% και 90% των λιποσφαιρίων και μέση διάμετρος Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο σε δείγματα μαγιονέζας επεξεργασμένα με ΥΠ

Δείγματα μαγιονέζας	D_v 0.1 (μm)	D_v 0.5 (μm)	D_v 0.9 (μm)	d_{3.2} (μm)	d_{4.3} (μm)
Χωρίς επεξεργασία	1.04	11.29	22.20	3.29	12.61
50 MPa_1 min	0.89	9.11	25.98	2.89	12.77
200 MPa_1min	0.86	8.75	21.78	2.73	10.18
200 MPa_5min	0.95	11.44	25.26	3.04	13.71
600 MPa_1min	1.22	23.08	56.90	4.21	26.62
600 MPa_5 min	1.24	23.83	69.02	4.25	30.09

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι με την επιβολή πίεσης το μέγεθος των λιποσφαιρίων μεταβάλλεται. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από τις τιμές των μέγιστων διαμέτρων του 10, 50 και 90% των λιποσφαιρίων, όσο και από τις τιμές των μέσων διαμέτρων Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο. Συγκεκριμένα για τη μέση διάμετρο Sauter κατ' όγκο ($d_{4,3}$), παρατηρείται ότι με επιβολή πίεσης 50 MPa για 1 min προκύπτει μικρή αύξηση. Με επιβολή πίεσης 200 MPa για 1 min προκύπτει μείωση της διαμέτρου, ενώ με επιβολή ίδιας πίεσης για 5 min αύξηση. Σημαντική αύξηση της πίεσης από 200 σε 600 MPa, έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της διαμέτρου. Η αύξηση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων μπορεί να αποδοθεί στη συνένωση των λιποσφαιρίων λόγω της επιβαλλόμενης πίεσης (Waite et al., 2009).

Οι εικόνες από το οπτικό μικροσκόπιο επιβεβαιώνουν την αύξηση της διαμέτρου σε συνθήκες 200 MPa για 5 min και 600 MPa για 1 και 5 min, λόγω της επεξεργασίας με ΥΠ.

Κεφάλαιο 7: Συνολική παρουσίαση αποτελεσμάτων

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η παραγωγή προϊόντων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με βελτιωμένη διατηρησιμότητα, χωρίς τη χρήση πρόσθετων συντηρητικών (σορβικό κάλιο), με χρήση της τεχνολογίας Υπερυψηλής Πίεσης. Μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας συντήρησης στη διατηρησιμότητα των προϊόντων σε συνθήκες ψύξης και εξετάστηκε η επίδραση της Υπερυψηλής Πίεσης στη δομή της μαγιονέζας (μέγεθος των λιποσφαιρίων) για τη βελτιστοποίηση της υφής του τελικού προϊόντος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της τεχνολογίας της ΥΠ σε έτοιμη προς κατανάλωση σαλάτα με βάση τη μαγιονέζα.

Μικροβιολογικές αναλύσεις σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα

Για τις μικροβιολογικές αναλύσεις σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, πραγματοποιήθηκαν 2 σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη, το προϊόν περιείχε συντηρητικό (σορβικό κάλιο), ενώ στη δεύτερη δεν περιείχε. Τα μισά δείγματα από κάθε παρτίδα οδηγήθηκαν για επεξεργασία με ΥΠ. Ισάριθμα δείγματα, επεξεργασμένα και μη με ΥΠ, οδηγήθηκαν σε θαλάμους συντήρησης στους 0, 5 και 10 °C.

Στα δείγματα με συντηρητικό το μικροβιακό φορτίο παρέμεινε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα. Η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ζύμες και οι μύκητες παρουσίασαν μικροβιακό φορτίο μικρότερο από 2 logcfu/g και τα γαλακτικά βακτήρια μικρότερο από 1 logcfu/g, μετά από 96 d συντήρησης. Συνεπώς το συντηρητικό σορβικό κάλιο, το οποίο αποτελεί άλας του σορβικού οξέος και χρησιμοποιείται ευρέως σε τρόφιμα με χαμηλό pH, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό (Storforth et al., 2005).

Στα δείγματα χωρίς συντηρητικό παρουσιάστηκε ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης.

Το φορτίο ζυμών – μυκήτων και γαλακτικών βακτηρίων παρέμεινε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα και για τις τρεις θερμοκρασίες.

Από τις πειραματικές μετρήσεις παρατηρήθηκε, ότι η ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας είναι ταχύτερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι στους 0 °C η ανάπτυξη των μικροοργανισμών ήταν ιδιαίτερα βραδεία και παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια συντήρησης.

Ακολούθησε προσαρμογή του μοντέλου Baranyi στις πειραματικές μετρήσεις από το οποίο προέκυψαν οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα που συντηρήθηκαν στις μελετώμενες θερμοκρασίες. Παρατηρείται ότι με αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης, αυξάνεται και ο εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, με συνέπεια το τρόφιμο να αλλοιώνεται ταχύτερα.

Οι εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης για κάθε θερμοκρασία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.1: Εκθετικοί ρυθμοί ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε θερμοκρασίες 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
k (d ⁻¹)	0.040 ± 0.002	0.172 ± 0.021	0.313 ± 0.015
R ²	0.9951	0.9588	0.9933

Ακολούθησε εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius στους ρυθμούς ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με σκοπό τον υπολογισμό της ενέργειας ενεργοποίησης E_A και του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C. Η ενέργεια ενεργοποίησης υπολογίστηκε ίση με 133.7 kJ/mol και ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας ίσος με 0.105 d⁻¹.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η διάρκεια ζωής (shelf life) των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό για όλες τις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Σημειώνεται ότι το όριο απόρριψης για την ολική μικροβιακή χλωρίδα είναι 6 logcfu/g. Παρόμοιες τιμές αναφέρονται και στη βιβλιογραφία (Levkane et al., 2008). Στον επόμενο πίνακα παρατίθεται η διάρκεια ζωής των δειγμάτων στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης.

Πίνακας 7.2: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10
Διάρκεια ζωής (d)	86	30	11

Τα δεδομένα που παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνουν, ότι η αλλοίωση του τροφίμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία συντήρησης. Συγκεκριμένα στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό η ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας έφτασε σε μη αποδεκτά επίπεδα σε 11 d σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C και σε 30 d σε θερμοκρασία συντήρησης 5 °C. Επίσης επιβεβαιώνεται ότι σε θερμοκρασία 0 °C τα δείγματα παραμένουν σε αποδεκτά επίπεδα για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα συντήρησης.

Στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ΥΠ (με και χωρίς συντηρητικό) το μικροβιακό φορτίο παρέμεινε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης. Η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ζύμες και οι μύκητες παρουσίασαν μικροβιακό φορτίο μικρότερο από 2 logcfu/g και τα γαλακτικά βακτήρια μικρότερο από 1 logcfu/g μετά από 96 d συντήρησης μέχρι το τέλος των πειραμάτων (96 d για τα δείγματα με συντηρητικό και 42 d για τα δείγματα χωρίς συντηρητικό).

Μέτρηση pH σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα

Από τις μετρήσεις pH στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα επιβεβαιώθηκε, ότι τα προϊόντα αυτά έχουν υψηλότερο pH από τη μαγιονέζα, το pH της οποίας κυμαίνεται στο εύρος 3.5 – 4.0 (Smittle, 1977). Τα δείγματα με συντηρητικό (Σ+, Σ+/ΥΠ) παρουσιάζουν χαμηλότερο pH, σε σύγκριση με τα δείγματα χωρίς συντηρητικό (Σ-, Σ-/ΥΠ). Γεγονός που αποδίδεται στα χαρακτηριστικά του σορβικού καλίου, το οποίο αποτελεί άλας του σορβικού οξέος.

Οργανοληπτικός έλεγχος σε έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα

Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε για όλα τα μελετώμενα δείγματα σε θερμοκρασία συντήρησης 0, 5 και 10 °C. Κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο στα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, εξετάστηκε η μεταβολή των εξής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης: χρώμα, υφή στο κουτάλι, οσμή, γεύση και συνολική εντύπωση και όριο αποδοχής ορίστηκε η βαθμολογία 5 για τη συνολική εντύπωση.

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων με συντηρητικό μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις θερμοκρασίες. Το χρώμα και η υφή στο κουτάλι είναι τα μόνα χαρακτηριστικά που παρέμειναν σχεδόν αναλλοίωτα με το χρόνο συντήρησης. Οι ρυθμοί μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται συνοπτικά οι ρυθμοί μεταβολής για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης, καθώς και οι ενέργειες ενεργοποίησης και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C.

Πίνακας 7.3: Ρυθμοί μεταβολής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά		Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση
Ρυθμοί μεταβολής k (d^{-1}) στις θερμοκρασίες συντήρησης	0 °C	0.0020±0.0005	0.0030±0.0008	0.0200±0.0019	0.0210±0.0017	0.0220±0.0021
	5 °C	0.0050±0.0012	0.0070±0.0007	0.0260±0.0016	0.0270±0.0026	0.0280±0.0036
	10 °C	0.0070±0.0006	0.0090±0.0009	0.0440±0.0035	0.0450±0.0042	0.0450±0.0048

Πίνακας 7.4: Τιμές E_A και k_{ref} για τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση
E_A (kJ/mol)	86.8	65.1	51.8	49.4	46.5
K_{ref} (d^{-1})	0.004	0.005	0.026	0.027	0.028

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων χωρίς συντηρητικό, παρουσίασαν σημαντική μεταβολή με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις θερμοκρασίες. Το χρώμα είναι το μόνο οργανοληπτικό χαρακτηριστικό, που παραμένει σχεδόν αναλλοίωτο. Οι ρυθμοί μεταβολής αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται συνοπτικά οι ρυθμοί μεταβολής για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης, καθώς και οι ενέργειες ενεργοποίησης και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C.

Πίνακας 7.5: Ρυθμοί μεταβολής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά		Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση
Ρυθμοί μεταβολής k (d^{-1}) στις θερμοκρασίες συντήρησης	0 °C	0.0090±0.0025	0.0490±0.0036	0.0540±0.0052	0.0610±0.0068	0.0600±0.0080
	5 °C	0.0120±0.0027	0.0910±0.0051	0.1310±0.0172	0.1400±0.0161	0.1430±0.0155
	10 °C	0.0170±0.0037	0.1770±0.0057	0.1840±0.0227	0.2060±0.0217	0.2040±0.0214

Πίνακας 7.6: Τιμές E_A και k_{ref} για τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση
E_A (kJ/mol)	41.9	83.1	79.3	78.1	79.3
K_{ref} (d ⁻¹)	0.011	0.082	0.097	0.108	0.107

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις θερμοκρασίες. Το χρώμα και η υφή στο κουτάλι είναι τα μόνα χαρακτηριστικά που παρέμειναν σχεδόν αναλλοίωτα με το χρόνο συντήρησης. Οι ρυθμοί μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται συνοπτικά οι ρυθμοί μεταβολής για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης, καθώς και οι ενέργειες ενεργοποίησης και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C.

Πίνακας 7.7: Ρυθμοί μεταβολής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση	
Ρυθμοί μεταβολής k (d ⁻¹) στις θερμοκρασίες συντήρησης	0 °C	0.0010±0.0008	0.0030±0.0007	0.0190±0.0019	0.0210±0.0017	0.0200±0.0020
	5 °C	0.0030±0.0006	0.0050±0.0007	0.0250±0.0016	0.0280±0.0028	0.0290±0.0037
	10 °C	0.0040±0.0008	0.0070±0.0005	0.0310±0.0025	0.0340±0.0024	0.0340±0.0028

Πίνακας 7.8: Τιμές E_A και k_{ref} για τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, με συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση
E_A (kJ/mol)	67.5	68.1	32.7	29.8	34.4
K_{ref} (d ⁻¹)	0.002	0.004	0.023	0.026	0.026

Οι βαθμολογίες των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων χωρίς συντηρητικό, με ΥΠ, μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Παρέμειναν όμως σε υψηλά επίπεδα και αποδεκτά επίπεδα για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα και στις τρεις θερμοκρασίες. Οι ρυθμοί μεταβολής των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται συνοπτικά οι

ρυθμοί μεταβολής για κάθε οργανοληπτικό χαρακτηριστικό στις μελετώμενες θερμοκρασίες συντήρησης, καθώς και οι ενέργειες ενεργοποίησης και οι ρυθμοί μεταβολής k_{ref} σε θερμοκρασία αναφοράς 4 °C.

Πίνακας 7.9: Ρυθμοί μεταβολής οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση	
Ρυθμοί υποβάθμισης k (d^{-1}) στις θερμοκρασίες συντήρησης	0 °C	0.0030±0.0008	0.0130±0.0048	0.0360±0.0067	0.0400±0.0048	0.0430±0.0065
	5 °C	0.0050±0.0007	0.0190±0.0056	0.0520±0.0069	0.0570±0.0074	0.0590±0.0073
	10 °C	0.0080±0.0009	0.0230±0.0050	0.0640±0.0032	0.0650±0.0041	0.0680±0.0044

Πίνακας 7.10: Τιμές E_A και k_{ref} για τη μεταβολή των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα με ΥΠ, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα	Υφή στο κουτάλι	Οσμή	Γεύση	Συνολική εντύπωση
E_A (kJ/mol)	74.8	37.1	37.6	30.7	29.6
k_{ref} (d^{-1})	0.004	0.017	0.047	0.050	0.053

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συνοπτικά η διάρκεια ζωής που υπολογίστηκε μέσω του οργανοληπτικού ελέγχου για όλες τις κατηγορίες δειγμάτων και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες:

Πίνακας 7.11: Διάρκεια ζωής των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	0	5	10	
Διάρκεια ζωής (d)	Σ+	189	131	92
	Σ-	61	32	18
	Σ+/ΥΠ	194	145	115
	Σ-/ΥΠ	91	72	57

Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα επιβεβαιώνουν ότι τα δείγματα Σ+, Σ+/ΥΠ και Σ-/ΥΠ παραμένουν ιδιαίτερα σταθερά με το χρόνο συντήρησης και στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα. Η διάρκεια ζωής των δειγμάτων Σ- μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας συντήρησης. Οι τιμές διάρκειας ζωής που προέκυψαν από τον οργανοληπτικό έλεγχο είναι υψηλότερες από τις τιμές που υπολογίστηκαν βάσει της μικροβιακής ανάπτυξης, με εξαίρεση τη διάρκεια ζωής στη θερμοκρασία συντήρησης 0 °C.

Προσδιορισμός αριθμού Plummit σε δείγματα μαγιονέζας, παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων

Με την εφαρμογή της τεχνολογίας της ΥΠ σε δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, παρατηρήθηκε μεταβολή της υφής του προϊόντος (το προϊόν παρουσίασε πιο συνεκτική υφή). Η μεταβολή αυτή προσεγγίστηκε με τον προσδιορισμό του αριθμού Plummit, την παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και την κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων σε δείγματα μαγιονέζας (γαλάκτωμα), επεξεργασμένα σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και χρόνου με ΥΠ.

Παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός Plummit, η δύναμη διείδυσης μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι το γαλάκτωμα (μαγιονέζα) γίνεται πιο λεπτόρρευστο.

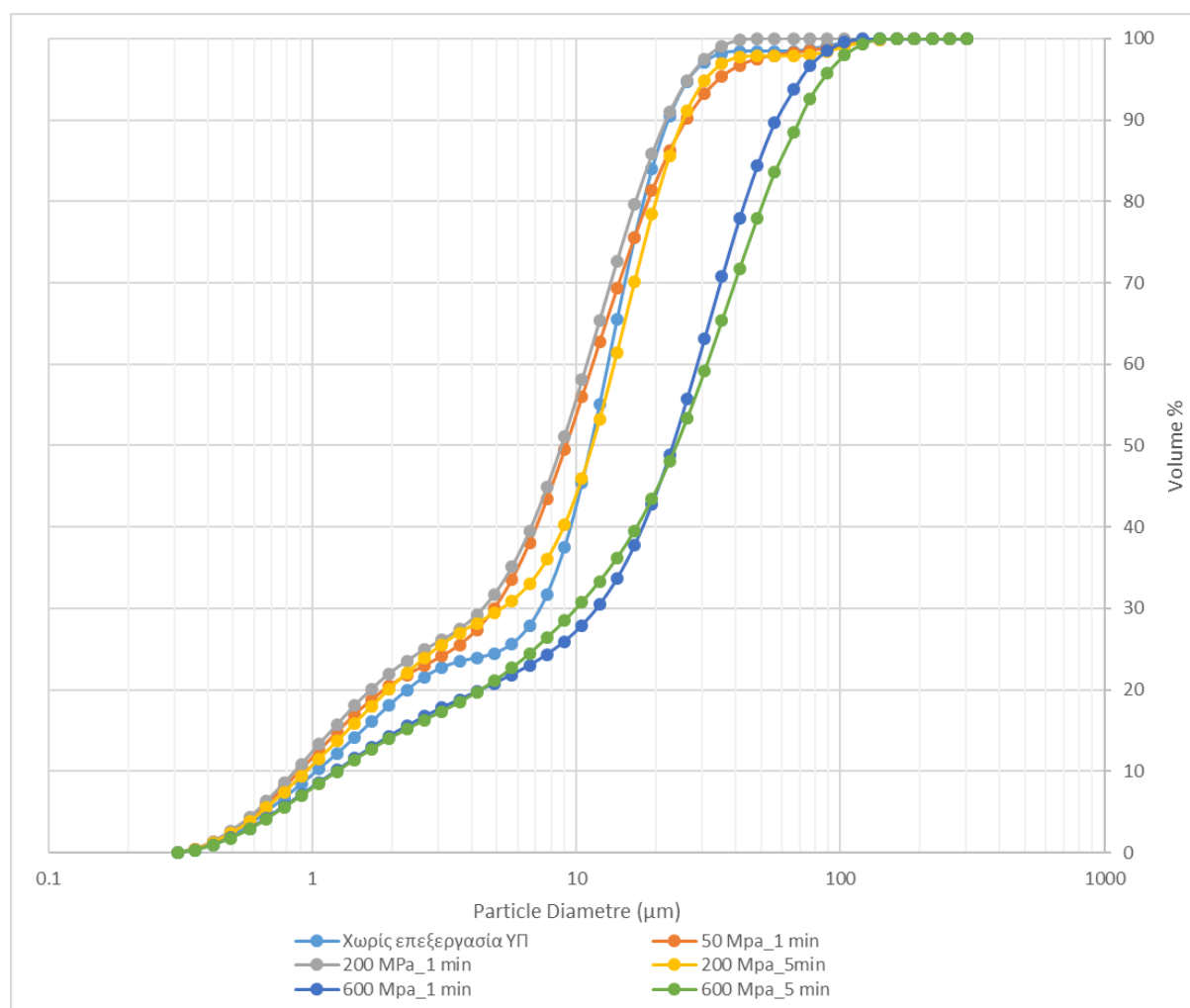
Τα αποτελέσματα της επίδρασης της ΥΠ στον αριθμό Plummit και στο μέγεθος των λιποσφαιρίων στα δείγματα μαγιονέζας επεξεργασμένα με την τεχνολογία της ΥΠ, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.12: Προσδιορισμός αριθμού Plummit και διαμέτρου λιποσφαιρίων σε δείγματα μαγιονέζας επεξεργασμένα με ΥΠ

Δείγματα μαγιονέζας	Αριθμός Plummit	Dv 0.1 (μm)	Dv 0.5 (μm)	Dv 0.9 (μm)	d _{3.2} (μm)	d _{4.3} (μm)
Χωρίς επεξεργασία	5.56	1.04	11.29	22.20	3.29	12.61
50 MPa_1 min	6.33	0.89	9.11	25.98	2.89	12.77
200 MPa_1min	6.53	0.86	8.75	21.78	2.73	10.18
200 MPa_5min	6.58	0.95	11.44	25.26	3.04	13.71
600 MPa_1min	4.79	1.22	23.08	56.90	4.21	26.62
600 MPa_5 min	3.48	1.24	23.83	69.02	4.25	30.09

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται, ότι με την επιβολή πίεσης 50 MPa για 1 min προκύπτει αύξηση του αριθμού Plummit. Με την επιβολή πίεσης 200 MPa για 1 και 5 min, ο αριθμός Plummit παραμένει σχεδόν σταθερός. Συνεπώς το γαλάκτωμα γίνεται πιο λεπτόρρευστο υπό επεξεργασία με ΥΠ έως 200 MPa και η μεταβολή αυτή είναι ανεξάρτητη του χρόνου επεξεργασίας. Σημαντική αύξηση της πίεσης από 200 σε 600 MPa, έχει ως αποτέλεσμα σημαντική μείωση του αριθμού Plummit. Το φαινόμενο αυτό είναι εξαρτώμενο του χρόνου, καθώς με αύξηση της διάρκειας της επιβαλλόμενης πίεσης μειώνεται περαιτέρω ο αριθμός Plummit. Η μεταβολή αυτή συνοδεύεται με αύξηση του ιξώδους (Τσουκαλά, 2005). Συγχρόνως με την επιβολή πίεσης το μέγεθος των λιποσφαιρίων μεταβάλλεται. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται τόσο από τις τιμές των μέγιστων διαμέτρων του 10, 50 και 90% των λιποσφαιρίων, όσο και από τις τιμές των μέσων διαμέτρων Sauter κατά επιφάνεια και κατ' όγκο. Συγκεκριμένα για τη μέση διάμετρο Sauter κατ' όγκο (d_{4,3}) παρατηρείται ότι με επιβολή πίεσης 50 MPa για 1 min προκύπτει μικρή αύξηση. Με επιβολή πίεσης 200 MPa για 1 min προκύπτει μείωση της διαμέτρου, ενώ με επιβολή

ίδιας πίεσης για 5 min αύξηση. Σημαντική αύξηση της πίεσης από 200 σε 600 MPa, έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της διαμέτρου. Η αύξηση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων μπορεί να αποδοθεί στη συνένωση των λιποσφαιρίων λόγω της επιβαλλόμενης πίεσης (Waite et al., 2009). Η μεταβολή της διαμέτρου των λιποσφαιρίων και ιδιαίτερα η απότομη αύξηση σε πίεση 600 MPa επιβεβαιώνεται και από το παρακάτω συγκεντρωτικό διάγραμμα με τις καμπύλες κατανομής μεγέθους λιποσφαιρίων για τα δείγματα μαγιονέζας:



Διάγραμμα 7.1: Καμπύλες κατανομών μεγέθους λιποσφαιρίων σε δείγματα μαγιονέζας επεξεργασμένα με ΥΠ

Με βάση τα παραπάνω παρατίθεται ο επόμενος πίνακας στον οποίο παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα δεδομένα που προέκυψαν για τη μαγιονέζα και για το τελικό προϊόν, δηλαδή την καβουροσαλάτα επεξεργασμένη με ΥΠ, χωρίς συντηρητικό στις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Λόγω περιορισμένου πλήθους δεδομένων, δεν είναι δυνατή η στατιστική επεξεργασία τους για τη συσχέτιση των μεταβολών στη μαγιονέζα και στην καβουροσαλάτα, λόγω επεξεργασίας με ΥΠ σε συνθήκες 600 MPa για 5 min. Τα δεδομένα για το μικροβιακό φορτίο και την υφή στο κουτάλι αναφέρονται στην έναρξη των πειραμάτων και ο χρόνος ζωής προκύπτει από τη μεταβολή της συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο.

Πίνακας 7.13: Δεδομένα για τη μαγιονέζα και για την καβουροσαλάτα πριν και μετά την επεξεργασία με ΥΠ

Συνθήκες (MPa/min)	Μαγιονέζα	Συνθήκες (MPa/min)	Καβουροσαλάτα		
			0 °C	5 °C	10 °C
	Αριθμός Plummit		Μικροβιακό Φορτίο		
(0/0)	5.56	(0/0)	Όριο ανίχνευσης (1 – 2 logcfu/g)		
		(600/5)	Όριο ανίχνευσης (1 – 2 logcfu/g)		
(600/5)	3.48		Βαθμολογία: Υφή στο κουτάλι		
		(0/0)	9		
	Μέγεθος Λιποσφαιρίων (μm)	(600/5)	9		
			Χρόνος Ζωής (d)		
(0/0)	12.61	(0/0)	61	32	18
(600/5)	30.09	(600/5)	91	72	57

* Τα δεδομένα για το μικροβιακό φορτίο και την υφή στο κουτάλι αναφέρονται στην έναρξη των πειραμάτων και ο χρόνος ζωής προκύπτει από τη μεταβολή της συνολικής εντύπωσης κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο

Συμπεράσματα – προτάσεις

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι τα ακόλουθα:

Τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με συντηρητικό, επεξεργασμένα και μη με την τεχνολογία της ΥΠ, δεν παρουσίασαν μικροβιακή αλλοίωση σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C. Το pH των δειγμάτων παρέμεινε εντός του εύρους τιμών που αναφέρεται στη βιβλιογραφία για ικανοποιητικό διάστημα συντήρησης και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες (ICMSF, 2005). Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης.

Τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα, χωρίς συντηρητικό παρουσίασαν ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C. Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών ήταν ταχύτερη στις υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης και έφτασε σε μη αποδεκτά επίπεδα μετά από 30 και 11 d στις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 10 °C αντίστοιχα. Το pH των δειγμάτων παρέμεινε εντός του εύρους τιμών που αναφέρεται στη βιβλιογραφία και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες (ICMSF, 2005). Το pH σε θερμοκρασία συντήρησης 10 °C, παρουσίασε σημαντική μείωση. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων υποβαθμίστηκαν με το χρόνο συντήρησης και για τις τρεις μελετώμενες θερμοκρασίες. Η ποιοτική υποβάθμιση ήταν πιο έντονη στις υψηλότερες θερμοκρασίες συντήρησης και έφτασε σε μη αποδεκτά επίπεδα μετά από 32 και 18 d στις θερμοκρασίες συντήρησης 5 και 10 °C αντίστοιχα.

Τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα χωρίς συντηρητικό, επεξεργασμένα ΥΠ δεν παρουσίασαν μικροβιακή αλλοίωση σε θερμοκρασίες συντήρησης 0, 5 και 10 °C. Συγχρόνως το pH των δειγμάτων ήταν λίγο υψηλότερο σε σχέση με το εύρος τιμών που αναφέρεται στη βιβλιογραφία, όμως παρέμεινε σχεδόν σταθερό (ICMSF, 2005). Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων μεταβλήθηκαν με αργό ρυθμό με το χρόνο συντήρησης.

Η τεχνολογία της ΥΠ μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς για τη παραγωγή προϊόντων έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας με βάση τη μαγιονέζα με βελτιωμένη διατηρησιμότητα, χωρίς τη χρήση σορβικού καλίου. Συνεπώς η ΥΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και να περιορίσει τη χρήση χημικών συντηρητικών, όπως απαιτούν οι καταναλωτές. Η εφαρμογή ΥΠ 600 MPa για 5 min σε salad – dressing με βάση τη μαγιονέζα, είχε ως αποτέλεσμα την απενεργοποίηση των αλλοιογόνων μικροοργανισμών και αύξηση του χρόνου ζωής (Waite et al., 2009).

Η εφαρμογή ΥΠ σε 600 MPa για 5 min τροποποίησε την υφή των δειγμάτων έτοιμης προς κατανάλωση καβουροσαλάτας με βάση τη μαγιονέζα (το προϊόν παρουσίασε

πιο συνεκτική υφή). Η μεταβολή αυτή προσεγγίστηκε με τον προσδιορισμό του αριθμού Plummit, την παρατήρηση λιποσφαιρίων με οπτικό μικροσκόπιο και την κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων, σε δείγματα μαγιονέζας επεξεργασμένα με ΥΠ. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεταβολή του αριθμού Plummit και του μεγέθους των λιποσφαιρίων με την επιβαλλόμενη πίεση. Πιο συγκεκριμένα ο αριθμός Plummit μειώθηκε, ενώ το μέγεθος των λιποσφαιρίων αυξήθηκε. Οι μεταβολές αυτές μπορούν αποδοθούν στην αύξηση του ιξώδους του γαλακτώματος (Τσουκαλά, 2005) και στη συνένωση των λιποσφαιρίων (Waite et al., 2009) αντίστοιχα. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται, ότι η εφαρμογή ΥΠ 450 MPa για 1 min σε πρότυπα γαλακτώματα ελαίου – σε – νερό, δεν επέφερε καμία μεταβολή στην κατανομή μεγέθους λιποσφαιρίων (Dumay et al., 1995). Εφαρμογή της ΥΠ σε salad – dressing με βάση τη μαγιονέζα είχε ως αποτέλεσμα μικρή αύξηση της διαμέτρου λόγω συνένωσης των λιποσφαιρίων (Waite et al., 2009).

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία **προτείνονται** τα ακόλουθα:

Η εφαρμογή της δεδομένης πειραματικής διαδικασίας σε άλλες έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες με βάση τη μαγιονέζα, για την παραγωγή προϊόντων βελτιωμένης διατηρησιμότητας και τροποποιημένων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, χωρίς ή την περιορισμένη χρήση χημικών συντηρητικών.

Η διερεύνηση του είδους των αλλοιογόνων μικροοργανισμών που απαρτίζουν την ολική μικροβιακή χλωρίδα στην έτοιμη προς κατανάλωση καβουροσαλάτα με βάση τη μαγιονέζα. Ο προσδιορισμός των κυρίαρχων αλλοιογόνων μικροοργανισμών είναι απαραίτητος για την κατανόηση και ερμηνεία των μεταβολών της ποιότητας και την εφαρμογή μεθόδων για την επέκταση της διατηρησιμότητας.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την επίδραση της ΥΠ στην υφή της μαγιονέζας, προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση για τις μεταβολές στη δομή της μαγιονέζας και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Στόχος θα είναι ο προσδιορισμός κατάλληλων συνθηκών επεξεργασίας με ΥΠ για την παραγωγή έτοιμων προς κατανάλωση σαλατών με βάση τη μαγιονέζα, με βέλτιστη υφή και χρόνο ζωής.

Βιβλιογραφία

1. Anton M., Chapleau N., Beaumal V., Delepine S., Lamballerie – Anton M., (2001), Effect of high-pressure treatment on rheology of oil-in-water emulsions prepared with hen egg yolk, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2,1, 9 – 21
2. Bajovic B., Bolumar T., Heinz V., (2012), «Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products», *Meat Science*, 92, 3, 280 – 289
3. Balasubramaniam V.M., Farkas D. (2008), High-pressure Food Processing, *Food Science and Technology International*, 14, 5, 413 – 418
4. Balasubramaniam V.M., Martinez-Monteagudo S.I., Gupta R., (2015), Principles and Application of High Pressure–Based Technologies in the Food Industry, *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 435 – 462
5. Balny C., Masson P., (1993), Effects of High Pressure on Proteins, *Food Reviews International*, 9, 611 – 628
6. Basim A.,J., (2002), Modelling the time-dependent rheological behavior of semisolid foodstuffs, *Journal of Food Engineering*, 57, 1, 97 – 102
7. Betts G.D., Linton P., Betteridge R. J., (2000), Synergistic effect of sodium chloride, temperature and pH on growth of a cocktail of spoilage yeasts: a research note, *Food Microbiology*, 17, 1, 47-52
8. Beuchat L.R., Rye J.H., B.B. Adler, M.D. Harrison, (2004), Death of *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* in shelf-stable, dairybased, pourable salad dressings, *Journal of Food Protection*, 69, 4, 801 – 814
9. Bolumar T., Georget E., Mathys A., (2015), High Pressure Processing (HPP) of foods and its combination with electron beam processing, In *Electron Beam Pasteurization and Complementary Food Processing Technologies*, Pillai and Shayanfar, 8, 127 – 153
10. Bornemeier V.L., Albrecht J.A ,Sumner S.S. (2003), Survey of mayonnaisebased salads for microbial safety and quality, *Food Protection Trends*, 23, 5, 387–392
11. Brocklehurst T. F., Parker M. L., Gunning P. A., Coleman H. P., Robins M. M., (1995), Growth of foodborne pathogenic bacteria in oil-in-water emulsions .2. Effect of emulsion structure on growth parameters and form of growth. *Journal of Applied Bacteriology*, 78, 6, 609-615
12. Charteris W. P., (1996), Microbiological quality assurance of edible table spreads in new product development, *Journal of the Society of Dairy Technology*, 49, 3, 87-98
13. Cheftel J.C., (1992), Effects of high hydrostatic pressure on food constituents: An Overview, *High Pressure and Biotechnology*, 195-209

14. Cheftel D.J., (1995), Review: High-pressure, microbial inactivation and food preservation, *Food Science and Technology International*, 1, 75 – 90
15. Crawford Y.J., Murano E.A., Olson D.G., Shenoy K., (1996), Use of high hydrostatic pressure and irradiation to eliminate *Clostridium sporogenes* spores in chicken breast, *Journal of Food Protection*, 59, 7, 711–715
16. Dalgleish D.G., (2006), Food emulsions – their structures and structure – forming properties, *Food Hydrocolloids*, 20, 4, 415 – 422
17. Daryaei H., Balasubramaniam V.M., (2012), Microbial decontamination of food by High Pressure Processing, *Microbial decontamination in the food industry: Novel methods and applications*, Demirci A. and Ngadi M., 371 – 395
18. Davidson P. M., (1997), Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds, *Food Microbiology: fundamentals and frontiers*, ASM Press, Washington D.C., 520-556
19. DeCindio, B., Cacace, D., (1995), Formulation and rheological characterization of reduced-calorie food emulsions, *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 4, 505 – 514
20. Delaquis P. J., Graham H.S., Hocking R., (1997), Shelf-life of coleslaw made from cabbage treated with gaseous acetic acid, *Journal of Food Processing and Preservation*, 21, 2, 129-140
21. Depree J.A., Savage G.P., (2001), Physical and flavour stability of mayonnaise, *Trends in Food Science and Technology* 12, 5, 157 – 163
22. Dickinson E., (1992), *An Introduction to Food Colloids*, Oxford University Press, Oxford, UK
23. Dickinson E., (2003), Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems, *Food Hydrocolloids*, 17, 1, 25 – 39
24. Doores S., (2005), Organic acids, Antimicrobials in food, CRC Press, Davidson M. P., Sofos N. J., Branen L., 91 – 142
25. Dumay E., Lambert C., Funtenberger S., Cheftel J.C., (1996), Effects of High Pressure on the Physico-chemical Characteristics of Dairy Creams and Model Oil/Water Emulsions, *LWT - Food Science and Technology*, 29, 7, 606–625
26. Erickson J.P., McKenna D. N., Woodruff M. A., Bloom, J. S., (1993), Fate of *Salmonella* spp, *Listeria monocytogenes*, and indigenous spoilage microorganisms in home-style salads prepared with commercial real mayonnaise or reduced calorie mayonnaise dressings, *Journal of Food Protection*, 56, 12, 1015-1021
27. Erickson J.P., Stamer J.W., M. Hayes, D.N. McKenna, L.A. Van Alstine, (1995), An assessment of *Escherichia coli* O157:H7 contamination risks in commercial mayonnaise from pasteurized eggs and environmental sources, and behavior in low-pH dressings, *Journal of Food Protection*, 58, 10, 1059 – 1064
28. EU, (2001), European Parliament and Council Directive 2001/5/EC of 12 February 2001 on food additives other than colors and sweeteners

29. FAO/WHO, (2000), Codex Alimentarius Commission, Codex Standard for Mayonnaise, 168 – 1989
30. Farkas F.D., Hoover D.G., (2000), High Pressure Processing, Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies, Journal of Food Science Special Supplement, 65, 8, 47 – 64
31. FDA, (2016), CFR (Code of Federal Regulation), Title 21, Part 169.140 Mayonnaise
32. Fellows P., (2000), Processing using Electric Fields, High Hydrostatic Pressure, light or Ultrasound, Food processing and Technology, Principles and Practice, CRC Press, second edition, Chap. 9
33. Ghazaei S., Mizani M., Piravi-Vanak Z., Alimi M., (2015), Particle size and cholesterol content of a mayonnaise formulated by OSA-modified potato starch, Food Science and Technology, Campinas, 35, 1, 150 – 156
34. Guentert A. M., Linton R.H., Luchansky, J.B., Cousin, M.A., (2005), Behavior of *Listeria monocytogenes* in pH-modified chicken salad during refrigerated storage, Journal of Environmental Health, 68, 1, 31 – 37
35. Guerzoni M.E., Vannini L., Lanciotti R., Gardini F., (2002), Optimisation of the formulation and of the technological process of egg-based products for the prevention of Salmonella enteritidis survival and growth, International Journal of Food Microbiology, 73, 2 – 3, 367 – 374
36. Guzey D., McClements D.J., (2006), Formation, stability and properties of multilayer emulsion for application in the food industry, Advances in Colloid and Interface Science, 128–130, 227 – 248
37. Harrison, L.J., Cunningham, F.E., (1985), Factors influencing the quality of mayonnaise, Journal of Food Quality, 8, 1, 1 – 20
38. Hathcox A.K., Beuchat L.R., Doyle M.P., (1995), Death of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in real mayonnaise and reduced-calorie mayonnaise dressing as influenced by initial population and storage temperature, Applied and Environmental Microbiology, 61, 12, 4172 – 4177
39. Hunter R.J., (1986), Foundations of Colloid Science, Oxford University Press, Oxford, UK
40. Hwang C.A., (2005), Effect of mayonnaise pH and storage temperature on the behavior of *Listeria monocytogenes* in ham salad and potato salad, Journal of Food Protection, 68, 8, 1628 – 1634
41. Hwang C.A., Huang L., (2010), Delicatessen Salads, Ready – to – eat Foods, Microbial Concerns and Control Measures, CRC Press, Hwang C.A., Huang L., 67
42. Hwang C.A., Tamplin, M. L., (2005), The influence of mayonnaise pH and storage temperature on the growth of *Listeria monocytogenes* in seafood salad, International Journal of Food Microbiology, 102, 3, 277 – 285

43. Hwang C.A., Marmer, B. S., (2007), Growth of *Listeria monocytogenes* in egg salad and pasta salad formulated with mayonnaise of various pH and stored at refrigerated and abuse temperatures, *Food Microbiology*, 24, 3, 211 – 218
44. ICMSF, (1996), *Listeria monocytogenes*, *Microorganisms in foods 5: Microbiological specifications of food pathogens*, Blackie Academic & Professional, London, 141 – 182
45. ICMSF, (2005), Oil- and fat-based foods, *Micro-organisms in foods 6: Microbial ecology of food commodities*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 480 – 521
46. Jones A. A., (2000), Ambient-stable sauces and pickles, *Shelf-life evaluation of foods*, second edition, Aspen Publishers, Man C.M.D. and Jones A.A., 211 – 226
47. Karas R., Skvara M., Zlender B., (2002), Sensory Quality of Standard and Light Mayonnaise during Storage, *Food Technology and Biotechnology*, 40, 2, 119 – 127
48. Katsaros G.I., Taoukis P.S., (2015), New/ Innovative Technologies, *Food Engineering Handbook: Food Process Engineering*, CRC Press, Varzakas T. and Tzia C., Chap. 15, 595 – 596
49. Kiosseoglou, V.D., Sherman, P., (1983), Influence of egg yolk lipoproteins on the rheology and stability of oil/water emulsions and mayonnaise 1. Viscoelasticity of groundnut oil-in-water emulsions and mayonnaise, *Journal of Texture Studies*, 14, 4, 397 – 417
50. Knorr D., (1995), *High Pressure Processing of Foods*, Nottingham University Press, Nottingham, 123
51. Koutsoumanis K. P., Kendall P. A., Sofos J. N., (2004), Modeling the boundaries of growth of *Salmonella typhimurium* in broth as a function of temperature, water activity, and pH, *Journal of Food Protection*, 67, 1, 53-59
52. Leistner L., (1995), *Principles and applications of hurdle technology, New methods for food preservation*, Blackie Academic and Professional, London, 1-21
53. Levkane V., Muizniece B. S., Bukalska L., (2008), Pasteurization effect to quality of salad with meat in mayonnaise, *Conference on Food Science and Technology Foodbalt*, 69 – 73
54. Liu H., Xu X. M., Guo S.D., (2007), Rheological, texture and sensory properties of Low – fat mayonnaise with different fat mimetics, *Food Science and Technology* 40, 6, 946 – 954
55. Ma L., Barbosa – Canovas G.V., (1995), Rheological Characterization of Mayonnaise. Part II: Flow and Viscoelastic Properties at Different Oil and Xanthan Gum Concentrations, *Journal of Food Engineering*, 25, 1, 409 – 425
56. Ma Z., Boye J.I., (2013), Advances in the Design and Production of Reduced-Fat and Reduced-Cholesterol Salad Dressing and Mayonnaise: A Review, *Food Bioprocess Technology*, 6, 3, 648 – 670

57. Martin J.M., Atichels, Wil, K., 2000, Mayonnaise, dressings, mustard, mayonnaise – based salads, and acid sauces, The microbiological safety and quality of food, Aspen Publishers 807 – 830
58. McClements D.J., (2005), Context and Background, Emulsion Ingredients, Emulsion Stability, Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques, Second Edition, CRC Press, Chap. 1, 4, 7
59. McClements D.J., (2007), Critical Review of Techniques and Methodologies for Characterization of Emulsion Stability, Food Science and Nutrition, 47, 7, 611 – 649
60. McClements D.J., (2010), Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components, Annual Review of Food Science and Technology, 1, 1, 241 – 269
61. McClements D.J., (2015), Context and Background, Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques, Third Edition, CRC Press, Chap. 1, 8 – 19
62. McClements D.J., Demetriades K., (1998), An Integrated Approach to the Development of Reduced-Fat Food Emulsions, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 38, 6, 511 – 536
63. McClements D.J., Decker E.A., (2000), Lipid Oxidation in Oil-in-Water Emulsions: Impact of Molecular Environment on Chemical Reactions in Heterogeneous Food Systems, Journal of Food Science, 65, 8, 1270 – 1282
64. Miyagawa Y., Ogawa T., Nakagawa K., Adachi S., (2016), Destabilization of mayonnaise induced by lipid crystallization upon freezing, Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 80, 4, 786 – 790
65. Ohlsson T, (2000), Minimal processing with non – thermal methods, Minimal Processing Technologies in the Food Industry, CRC PRESS, 34 – 61
66. Palou E., Malo L.A., Barbosa – Canovas G.V., Swanson B.G., (2007), High-Pressure Treatment in Food Preservation, Handbook of Food Preservation, Second Edition, CRC PRESS, 815 – 848
67. Pandrangi S., Balasubramaniam V.M., (2005), High-pressure Processing of Salads and Ready Meals, Emerging Technologies for food processing, Elsevier, Sun D.W., 25 – 32
68. Partal P., Guerrero A., Berjano M., Gallegosb C., (1997), Influence of Concentration and Temperature on the Flow Behavior of Oil-in-Water Emulsions Stabilized by Sucrose Palmitate, Journal of the American Oil Chemists', 74, 10, 1203 – 1212
69. Prachaiyo P., McLandsborough, L. A., (2003), Oil-in-water emulsion as a model system to study the growth of *Escherichia coli* O157:H7 in a heterogeneous food system, Journal of Food Science, 68, 3, 1018-1024
70. Puppo M.C., Beaumal V., Chapleau N., Speroni F., Lamballerie M., (2008), Physicochemical and rheological properties of soybean protein emulsions

- processed with a combined temperature/ High Pressure treatment, *Food Hydrocolloids*, 22, 6, 1079 – 1089
71. Raghubeer E., (2015), High pressure processing of ready to eat (RTE) meat and poultry. 2015 International Nonthermal Processing Workshop, 12-23 November 2015, Athens, Greece. Workshop proceedings, 103
 72. Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S., Balasubramaniam V.M., Niranjana K., Knorr D., (2007), Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, 1, 69–112
 73. Rastogi N.K., (2013), High pressure processing of dairy products, *Recent Developments in High Pressure Processing of Foods*, Springer Briefs in Food, Health and Nutrition, Hurler R.W., New York, 51 – 66
 74. Rhee M. S., Lee, S. Y., Dougherty, R. H., Kang, D. H., (2003), Antimicrobial effects of mustard flour and acetic acid against *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica* serovar *typhimurium*, *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 5, 2959-2963
 75. Robbins M.M., (2000), Lipid emulsions, *Grasas y Aceites*, 51, 26 – 34
 76. Rovere P., (2001), Industrial-Scale High Pressure Processing of Foods, *Ultra High Pressure Treatments of Foods*, Springer US, Mar E.G. and Knorr D., 251-267.
 77. Singla N., Verma P., Ghoshal G., Basu S., (2013), Steady state and time dependent rheological behaviour of mayonnaise (egg and eggless), *International Food Research Journal* 20, 4, 2009-2016
 78. Smelt J.P.P.M., (1998), Trends in Food Science and Technology, Recent advantages in the microbiology of high pressure processing, 9, 4, 152 – 158
 79. Smittle R. B., (1977), Microbiology of mayonnaise and salad dressing – Review, *Journal of Food Protection*, 40, 415 – 422
 80. Smittle, R.B., (2000), Microbiological safety of mayonnaise, salad dressings, and sauces produced in the United States: A review, *Journal of Food Protection* 63, 8, 1144 – 1153
 81. Smittle R. B., Flowers, R. S., (1982), Acid tolerant microorganisms involved in the spoilage of salad dressings, *Journal of Food Protection*, 45, 977 – 983
 82. Sorrells K.M., Enigl D.C., Hatfield J.R., (1989), Effect of pH, acidulant, time, and temperature on the growth and survival of *Listeria monocytogenes*, *Journal of Food Protection*, 52, 571 – 573
 83. Štern P., Míková K., Pokorný J., Valentová H., (2007), Effect of oil content on the rheological and textural properties of mayonnaise, *Journal of Food and Nutrition Research*, 46, 1, 1 – 8
 84. Stopforth J. D., Sofos J.N., Busta F.F., (2005), Sorbic acid and sorbates, *Antimicrobials in food*, CRC Press, Davidson M. P., Sofos N. J., Branen L, 49 – 90
 85. Szczesniak A.S., (1997), Effect of Storage on texture, *Food Storage Stability*, CRC Press, Taub I.A., Singh R.P., Chap. 8

86. Tao Y., Sun D.W., Hogan E., Kelly A.,L., (2014), High Pressure Processing of Foods: An Overview, Emerging Technologies for Food Processing, Elsevier, Sun D.W., Chap. 1, 3
87. Valero M., Hernandez-Herrero L.A., Giner M.J., (2007), Survival, isolation and characterization of a psychrotrophic *Bacillus cereus* strain from a mayonnaise-based ready-to-eat vegetable salad, Food Microbiology, 24, (7 – 8), 671–677
88. Varzakas T., Polychniatou V., Tzia C., (2015), Mixing – Emulsions, Food Engineering Handbook: Food Process Engineering, CRC Press, Varzakas T. and Tzia C., Chap. 5, 213
89. Waite J.G., Jones J.M., Turek E.J., Dunne C.P., Wright A.O., Yang T.C. S., Beckwitt R., Yousef A.E., (2009), Production of shelf – stable ranch dressing using High Pressure processing, Journal of Food Science, 74, 2, M83 – M93
90. Welti – Chanes J., Lopez – Malo A., Palou E., Bermudez D., Guerrero – Beltan J.A., Barbosa – Canovas A., (2004), Fundamentals and Applications of High Pressure Processing to Foods, Novel Food Processing Technologies, CRC Press, Cano M.P., Tapia M.S., Barbosa – Canovas G.,V., 157 – 181
91. Yordanov D.G., Angelova G.V., (2010), High Pressure Processing for Foods Preserving, Biotechnology and Biotechnological Equipment, 24, 3, 1940 – 1945
92. ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ, ΠΟΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΟΙΝΗΣ ΧΡΗΣΗΣ. ΜΕΡΟΣ Α, ΤΡΟΦΙΜΑ ΚΑΙ ΠΟΤΑ. Άρθρο 41: Μαγιονέζα – Σάλτσες και παρεμφερή προϊόντα. Έκδοση 3
93. Τσουκαλά Μ., (2005), Διπλωματική Εργασία: Μελέτη των ρεολογικών και ιξωδοελαστικών ιδιοτήτων της μαγιονέζας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ