



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στυλιανού Μπολτσή

Εφαρμογή του Επιταχυνόμενου Ελέγχου
Διατηρησιμότητας (ASLT) σε προϊόντα κρέατος
επεξεργασμένων με Υψηλή Υδροστατική Πίεση

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Μαρία Γιαννακούρου,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2024

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με την επίβλεψη της αναπληρώτριας καθηγήτριας Ε.Μ.Π Μαρίας Γιαννακούρου, την οποία ευχαριστώ για την καθοδήγηση και την βοήθεια που μου προσέφερε. Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή του Επιταχυνόμενου Ελέγχου Διατηρησιμότητας (ASLT) σε προϊόντα κρέατος επεξεργασμένων με Υψηλή Υδροστατική Πίεση.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας τροφίμων και τους συμφοιτητές μου για την υπομονή, την υποστήριξη, τις συμβουλές και την βοήθεια τους, ιδίως την Αθηνά Τζιμάνη και την Μαρία Τσεβδού που ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Περίληψη

Τα κρεατοσκευάσματα είναι μια ευρεία κατηγορία τροφίμων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, ιδιότητες και χρήσεις. Τα κρεατοσκευάσματα είναι ευαλλοίωτα, κυρίως λόγω της μικροβιακής υποβάθμισης. Πέρα από τις κλασικές μεθόδους επεξεργασίας οι οποίες αποσκοπούν στη διατήρηση της ασφάλειας και της ποιότητας των κρεατοσκευασμάτων, οι βιομηχανίες τροφίμων στρέφονται σε νέες μεθόδους επεξεργασίας όπως η επεξεργασία με υπερυψηλή υδροστατική πίεση (HPP) ώστε να βελτιωθούν κυρίως τα ποιοτικά/οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κρεατοσκευασμάτων και να παραταθεί η διατηρησιμότητά τους, χωρίς να τεθεί σε κίνδυνο η ασφάλειά τους. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός της διατηρησιμότητας πέντε διαφορετικών κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας σε φέτες, τα δύο εκ των οποίων έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερυψηλή υδροστατική πίεση (HPP), με εφαρμογή Επιταχυνόμενου Ελέγχου Διατηρησιμότητας (ASLT). Μέσω του ελέγχου διατηρησιμότητας, εξετάζεται η επίδραση της επεξεργασίας HPP στη διατηρησιμότητα των κρεατοσκευασμάτων καθώς και η επίδραση της συσκευασίας, της σύστασης και της μεθόδου θερμικής επεξεργασίας τους.

Τα δείγματα που εξετάστηκαν είναι η βραστή γαλοπούλα (επεξεργασμένη με HPP και μη), η ψητή γαλοπούλα (επεξεργασμένη με HPP και μη) και η γαλοπούλα τύπου Horeca (η οποία δεν είναι επεξεργασμένη με HPP). Κατά την διάρκεια των πειραμάτων, τα δείγματα ήταν αποθηκευμένα σε (4) σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας, στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C. Επιπλέον, το δείγμα Horeca αποθηκεύτηκε και σε μεταβαλλόμενες (δυναμικές) συνθήκες θερμοκρασίας με σκοπό την επαλήθευση των κινητικών μοντέλων που θα προκύψουν από τα ισοθερμοκρασιακά πειράματα.

Σε όλα τα δείγματα έγιναν πειράματα για τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου (το οποίο αποτελείται από διαφορετικούς μικροοργανισμούς), του pH, της ενεργότητας του νερού (a_w), του χρώματος, και της οξειδωσης των λιπαρών (με την μέθοδο TBARS). Επιπλέον πραγματοποιήθηκε ανάλυση υφής όλων των δειγμάτων.

Στα πειράματα προσδιορισμού του μικροβιακού φορτίου πέρα από την ολική μικροβιακή χλωρίδα, εξετάστηκαν και οι μικροοργανισμοί *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta*, τα γαλακτικά βακτήρια και τα Enterobacteriaceae. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων (πέρα από την ολική μικροβιακή χλωρίδα) στα βραστά και ψητά δείγματα τα οποία δεν ήταν επεξεργασμένα με HPP μόνο τα γαλακτικά βακτήρια και ο *Brochothrix thermosphacta* πέρασαν το όριο ανίχνευσης, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα μόνο τα γαλακτικά βακτήρια πέρασαν το όριο αυτό. Για την περιγραφή της μικροβιακής ανάπτυξης, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Baranyi και προσδιορίστηκαν οι παράμετροι των εκθετικών ρυθμών ανάπτυξης των μικροοργανισμών μ_{max} (d^{-1}) και της διάρκειας της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d).

Επιπλέον από τα πειραματικά αποτελέσματα της μεταβολής του pH υπολογίστηκε ο ρυθμός εκθετικής μείωσής του, k (d^{-1}), με την χρήση του μοντέλου Gompertz τεσσάρων παραμέτρων.

Το μοντέλο Arrhenius εφαρμόστηκε στα δεδομένα της ανάπτυξης των μικροβίων και της μεταβολής του pH, με σκοπό την αποτύπωση της επίδρασης της μεταβολής θερμοκρασίας, και υπολογίστηκαν οι $\mu_{max,ref}$ (d^{-1}), k_{ref} (d^{-1}) (θερμοκρασία αναφοράς $T_{ref}=4^{\circ}C$), και E_a των δευτερογενών μοντέλων.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης, η ενεργότητα του νερού, η υφή, το χρώμα και η οξειδωση των λιπαρών δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές, ανεξαρτήτως σύστασης δείγματος και θερμοκρασίας αποθήκευσης.

Η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης οδήγησε στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών σε όλα τα δείγματα (με εξαίρεση τον *Brochothrix thermosphacta* στο βραστό δείγμα μη επεξεργασμένο με HPP). Επίσης η αύξηση της

θερμοκρασίας οδήγησε σε μείωση της διατηρησιμότητας και σε αύξηση του απόλυτου ρυθμού μείωσης του pH.

Η διατηρησιμότητα των δειγμάτων υπολογίστηκε με βάση τη μικροβιακή ανάπτυξη με τη χρήση του μοντέλου Baranyi. Τα ανώτατα όρια της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών ώστε το προϊόν να καταστεί ακατάλληλο είναι τα 8 logCFU/g δείγματος για την ολική μικροβιακή χλωρίδα και τα 7 logCFU/g για τα γαλακτικά βακτήρια. Στο βραστό δείγμα μη επεξεργασμένο με HPP η διατηρησιμότητα βρέθηκε ίση με 35 ημέρες στους 4°C, 19 στους 8°C, 10 ημέρες στους 12°C και 8 ημέρες στους 18°C. Στο βραστό δείγμα επεξεργασμένο με HPP η ολική μικροβιακή χλωρίδα δεν ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης κατά την διάρκεια των πειραμάτων στους 4°C, ενώ η διατηρησιμότητα βρέθηκε ίση με 50 ημέρες, 30 ημέρες και 19 ημέρες στους 8°C, 12°C και 18°C αντίστοιχα. Στο δείγμα της ψητής γαλοπούλας μη επεξεργασμένης με HPP η διατηρησιμότητα βρέθηκε ίση με 39 ημέρες, 15 ημέρες, 7 ημέρες και 4 ημέρες στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C αντίστοιχα. Στο δείγμα της ψητής γαλοπούλας επεξεργασμένης με HPP η ολική μικροβιακή χλωρίδα επίσης δεν ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης κατά την διάρκεια των πειραμάτων στους 4°C ενώ η διατηρησιμότητα βρέθηκε ίση με 52 ημέρες, 30 ημέρες και 12 ημέρες στους 8°C, 12°C και 18°C αντίστοιχα. Τέλος το δείγμα Horeca παρουσίασε τη μικρότερη διατηρησιμότητα σε σύγκριση με όλα τα δείγματα ίση με 18 ημέρες, 9 ημέρες, 6 ημέρες και 3 ημέρες στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C αντίστοιχα.

Για την επικύρωση του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στα ισοθερμοκρασιακά πειράματα, πραγματοποιήθηκε και ένα πείραμα σε μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες για το δείγμα Horeca γαλοπούλας. Στο δείγμα αυτό εξετάστηκαν όλες οι παράμετροι που μελετήθηκαν και στα υπόλοιπα δείγματα. Με βάση το θερμοκρασιακό προφίλ του πειράματος υπολογίστηκε η δραστική θερμοκρασία αποθήκευσης T_{eff} και βρέθηκε ίση με 3.7°C. Το πείραμα αυτό επαλήθευσε την εγκυρότητα του μαθηματικού μοντέλου, καθώς οι τιμές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας/γαλακτικών βακτηρίων, του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH και της διατηρησιμότητας που υπολογίστηκαν δεν απέχουν περισσότερο από 5% από τις αντίστοιχες πειραματικές.

Συμπερασματικά, η HPP αποδείχθηκε ικανή να επεκτείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας τα οποία μελετήθηκαν και δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά τις αρχικές τιμές της ενεργότητας του νερού, της υφής, του χρώματος και της οξείδωσης των λιπαρών των δειγμάτων ούτε τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι παράμετροι μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία και το χρόνο. Το δείγμα Horeca είχε τη μικρότερη διατηρησιμότητα και προτείνεται η λήψη πρόσθετων μέτρων (π.χ επεξεργασία με HPP) κατά τη διαδικασία παρασκευής του για την παράτασή της. Τα προρρητικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κρίνονται ως αξιόπιστα, εφόσον επαληθεύτηκαν και σε μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες. Τέλος, πέρα από τον τρόπο επεξεργασίας, και η σύσταση των δειγμάτων φαίνεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην αλλοίωση και την μικροβιακή τους χλωρίδα.

Application of Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) meat products treated with High Hydrostatic Pressure

Abstract

Meat products are a broad category of foods with different characteristics, properties and uses. Meat products are perishable, mainly due to microbial deterioration. In addition to traditional processing methods aimed at maintaining the safety and quality of meat products, the food industry is turning to new processing methods such as high hydrostatic pressure (HPP) to improve the quality/organoleptic characteristics of meat products and to extend their shelf life without compromising their safety. The aim of this thesis is to calculate the shelf life of five different sliced turkey meat products, two of which have been treated with ultra-high hydrostatic pressure (HPP) by applying Accelerated Shelf Life Testing (ASLT). Through shelf life testing, the effect of HPP treatment on the shelf life of the meat products and the effect of packaging, composition and heat treatment method are examined.

The samples tested include boiled turkey (HPP treated and non-HPP treated), roasted turkey (HPP treated and non-HP treated) and Horeca turkey (which is not HPP treated). During the experiments, samples were stored at 4°C, 8°C, 12°C and 18°C. The Horeca samples were also stored under varying (dynamic) temperature conditions in order to verify the kinetic models that were derived from the experiments.

All samples were subjected to experiments to determine their microbial load (which consists of different microorganisms), pH, water activity (a_w), colour, and lipid oxidation (using the TBARs method). In addition, texture analysis experiments were performed on all samples.

In addition to the total microbial flora, the microorganisms *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta*, lactic acid bacteria and Enterobacteriaceae were also measured. During the experiments (in addition to the total microbiota) in the boiled and roasted samples that were not treated with HPP only lactic acid bacteria and *Brochothrix thermosphacta* surpassed the detection limit, while in the other samples only lactic acid bacteria surpassed the detection limit. The Baranyi model was used to find the constants of the exponential growth rates of microorganisms μ_{max} (d^{-1}) and the duration of the latent growth phase λ (d).

From the experimental results of pH change, the rate of its exponential decrease, k (d^{-1}), was calculated using the four-parameter Gompertz model.

The Arrhenius model was applied to the microbial growth and pH change data to describe the effect of temperature, and the values $\mu_{max,ref}$ (d^{-1}), k_{ref} (d^{-1}) (at a reference temperature $T_{ref}=4^\circ C$) and E_a of the samples were calculated.

During the experiments, water activity, texture, colour and lipid oxidation did not show significant changes irrespective of sample and storage temperature.

Increasing the storage temperature led to an increase in the growth rate of microorganisms in all samples (with the exception of *Brochothrix thermosphacta* in the boiled sample that was not treated with HPP). Also, increasing the storage temperature led to a decrease in shelf life and an increase in the absolute rate of pH reduction in all samples.

The shelf life of the samples was calculated based on their microbial growth using the Baranyi model. The maximum concentration limits of microorganisms to render the product unfit for consumption are 8 logCFU/g sample for total microbial flora and 7 logCFU/g for lactic bacteria. In the boiled samples not treated with HPP the shelf life was found to be equal to 35 days at 4°C, 19 at 8°C, 10 days at 12°C and 8 days at 18°C. In the boiled sample treated with HPP the total microbial flora did not exceed the detection limit during the experiments at 4°C, while the shelf life was found equal to 50 days, 30 days and 19 days at 8°C, 12°C and 18°C respectively. In the sample of roast turkey not treated with HPP the shelf life was found equal to 39 days, 15 days, 7 days and 4 days at 4°C, 8°C, 12°C and 18°C respectively. In the sample of roast turkey treated with HPP the total microbial flora also did not exceed the detection limit during the experiments at 4°C while the shelf life was found equal to 52 days, 30 days and 12 days at 8°C, 12°C and 18°C respectively. Finally, the Horeca sample exhibited the lowest shelf life among all the samples equal to 18 days, 9 days, 6 days and 3 days at 4°C, 8°C, 12°C and 18°C respectively.

To validate the mathematical model used in the isothermal experiments, a non-isothermal experiment was also conducted for the Horeca turkey sample. Based on the temperature profile of the experiment, the effective storage temperature T_{eff} was calculated and found to be equal to 3.7°C. This experiment verified the validity of the mathematical model as the calculated values of the exponential growth rate of total microbial flora/lactic acid bacteria, exponential pH reduction rate and shelf life were not more than 5% away from the experimental ones.

HPP proved capable of significantly extending the shelf life of the studied turkey meat products and did not appear to significantly affect the initial values of water activity, texture, color and fat oxidation of the samples nor the way these parameters changed with temperature and time. The Horeca sample had the lowest shelf life and it is suggested that additional measures (e.g. HPP treatment) be taken during the manufacturing process to prolong its shelf life. The predictive models that were calculated can be considered reliable, especially the Horeca sample model which was also verified by the non-isothermal experiment. Finally, the composition of the samples seems to have a significant impact on their spoilage and microbial flora.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο: Κρεατοσκευάσματα	10
1.1 Εισαγωγή	10
1.2 Κατηγοριοποίηση των κρεατοσκευασμάτων	10
1.2.1 Είδος του κρέατος	10
1.2.2 Μικροβιολογική σταθερότητα του τελικού προϊόντος	11
1.2.3 Μορφή της α' ύλης	11
1.2.4 Μέθοδος επεξεργασίας	12
1.3 Διατηρησιμότητα (διάρκεια ζωής) κρεατοσκευασμάτων	12
1.3.1 Μικροβιολογία κρεατοσκευασμάτων	12
1.3.2 Παθογόνοι μικροοργανισμοί	13
1.3.3 Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί	16
1.3.4 Μη μικροβιολογική αλλοίωση κρεατοσκευασμάτων:	18
1.3.5 Μέθοδος επεξεργασίας κρεατοσκευασμάτων	21
1.3.6 Συνθήκες αποθήκευσης κρεατοσκευασμάτων	29
Κεφάλαιο 2ο: Παρασκεύασμα Γαλοπούλας σε Φέτες- Παραγωγική Διαδικασία	32
2.1 Εισαγωγή	32
2.2 Παραγωγική διαδικασία	32
2.2.1 Περιγραφή διαδικασίας	32
2.2.2 Άλεση	34
2.2.3 Ανάμειξη	35
2.2.4 Ομογενοποίηση	36
2.2.5 Σχηματισμός προϊόντος	37
2.2.6 Θερμική επεξεργασία	37
2.2.7 Ψύξη	38
2.2.8 Τεμαχισμός σε φέτες	39
2.2.9 Συσκευασία	40
2.2.10 Υπερυψηλή πίεση (High Pressure Processing)	40
2.2.11 Αποθήκευση και διανομή	41
2.3 Συσκευασία	42
2.3.1 Διαδικασία συσκευασίας	42
2.3.2 Επίδραση της συσκευασίας στην αλλοίωση	44
2.3.3 Υλικά συσκευασίας	45
Κεφάλαιο 3ο: Επεξεργασία με Υπερυψηλή Πίεση-High Pressure Processing	47
3.1 Εισαγωγή	47
3.2 Αρχές της μεθόδου	47
3.3 Περιγραφή της μεθόδου	48
3.3.1 Η διεργασία	48
3.3.2 Ο Εξοπλισμός	49
3.4 Επίδραση της HPP στην μικροβιολογία των τροφίμων	51
3.4.1 Εισαγωγή	51
3.4.2 Μηχανισμός απενεργοποίησης	51
3.4.3 Επίδραση στα βλαστικά βακτήρια	51

3.4.4 Επίδραση στα βακτηριακά σπόρια	52
3.4.5 Επίδραση σε ζύμες και μύκητες	52
3.4.6 Επίδραση στα παράσιτα	52
3.4.7 Επίδραση στους ιούς	52
3.4.8 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της HPP	53
3.5 Είδη τροφίμων που μπορούν να επεξεργαστούν με HPP	53
3.6 Επίδραση της HPP στην χημεία και την ποιότητα των τροφίμων	55
3.6.1 Εισαγωγή	55
3.6.2 Πρωτεΐνες	55
3.6.3 Ένζυμα	56
3.6.4 Βιταμίνες	56
3.6.5 Επίδραση της HPP σε κρεατοσκευάσματα	56
Κεφάλαιο 4^ο: Μελέτη Διατηρησιμότητας - Προρρητική	
Μικροβιολογία	59
4.1 Εισαγωγή	59
4.2 Κινητική ανάπτυξης μικροοργανισμών	59
4.2.1 Φάση ανάπτυξης μικροοργανισμών	59
4.2.2 Κινητικά μοντέλα ανάπτυξης μικροοργανισμών (πρωτογενή)	61
4.3 Μοντέλα επίδρασης της θερμοκρασίας (δευτερογενή)	64
4.3.1 Εξίσωση Arrhenius	64
4.3.2 Μοντέλο της τετραγωνικής ρίζας	64
4.4 Επεξεργασία δεδομένων της παρούσας εργασίας	65
Κεφάλαιο 5^ο: Πειραματικός Σχεδιασμός- Υλικά και Μέθοδοι	66
5.1 Εισαγωγή	66
5.2 Αναλυτική περιγραφή των δειγμάτων	67
5.3 Μελέτη αλλοίωσης κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας	68
5.3.1 Μέτρηση μικροβιακού φορτίου	68
5.3.2 Μέτρηση pH	70
5.3.3 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού (a_w)	70
5.3.4 Ανάλυση υφής	71
5.3.5 Προσδιορισμός χρώματος	73
5.3.6 Προσδιορισμός οξείδωσης λιπαρών (TBARs)	74
5.4 Πειράματα δυναμικών συνθηκών για την επικύρωση του προρρητικού μοντέλου δειγμάτων Horeca	75
Κεφάλαιο 6^ο: Αποτελέσματα και Συζήτηση	76
6.1 Εισαγωγή	76
6.2 Αποτελέσματα μέτρησης μικροβιακού φορτίου	76
6.2.1 Ολική μικροβιακή χλωρίδα	77
6.2.2 Μοντέλο Arrhenius για την ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας	84
6.2.3 Γαλακτικά βακτήρια (LAB)	87
6.2.4 Μοντέλο Arrhenius για την ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων	93
6.2.5 <i>Brochothrix thermosphacta</i>	97
6.2.6 Μοντέλο Arrhenius για τον <i>Brochothrix thermosphacta</i>	100
6.2.7 Προσδιορισμός διατηρησιμότητας δειγμάτων	101
6.3 Αποτελέσματα μέτρησης pH	106
6.3.1 Μοντέλο Arrhenius για τη μεταβολή του pH	111

6.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού ενεργότητας νερού (a_w)	114
6.5 Αποτελέσματα ανάλυσης υφής	117
6.6 Αποτελέσματα προσδιορισμού χρώματος	121
6.7 Αποτελέσματα προσδιορισμού οξείδωσης λιπαρών (TBARs)	125
6.9 Φαινόμενα αλλοίωσης που δεν αποτυπώθηκαν ποσοτικά στις πειραματικές μετρήσεις	129
6.10 Επαλήθευση προρρητικού μοντέλου Horeca σε μεταβαλλόμενες συνθήκες θερμοκρασίας	130
Κεφάλαιο 7 ^ο : Συμπεράσματα και Προτάσεις	134
Βιβλιογραφία	137

Κεφάλαιο 1ο: Κρεατοσκευάσματα

1.1 Εισαγωγή

Τα κρεατοσκευάσματα είναι μια κατηγορία τροφίμων που παράγονται από κρέας ζώων το οποίο υποβάλλεται σε διάφορες μεθόδους επεξεργασίας, όπως πάστωμα, κάπνισμα, ξήρανση ή άλλες τεχνικές. Μπορούν να καταναλωθούν με διάφορους τρόπους όπως παραδείγματος χάρι ως σνακ, να προστίθενται σε σάντουιτς, σαλάτες, και πίτσες, και να χρησιμοποιούνται ως συστατικά σε πολλές συνταγές. Περιλαμβάνουν προϊόντα όπως το σαλάμι, τα λουκάνικα, το καπνιστό μπέικον και πολλά άλλα.

Αποτελούνται κυρίως από κρέας ζώων (ολόκληρα κομμάτια ή και αλεσμένο), όπως χοιρινό, βοδινό, πουλερικά ή άλλα είδη, ανάλογα με το είδος του προϊόντος και μπορεί να περιλαμβάνουν επιπλέον συστατικά όπως μπαχαρικά, αλάτι, ζάχαρη και άλλες πρόσθετες ύλες που προσδίδουν γεύση, αρώματα, και προστασία από την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Οι ακριβείς συστάσεις των κρεατοσκευασμάτων μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το είδος και τη μέθοδο παρασκευής που χρησιμοποιείται καθώς υπάρχει πληθώρα προϊόντων.

Επιπλέον, έχουν μεγάλη ποικιλομορφία και διαφορετικές ιδιότητες ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους και τον σκοπό που εξυπηρετούν. Για παράδειγμα, προϊόντα όπως το σαλάμι είναι σχεδιασμένα για μακροχρόνια αποθήκευση και διατηρούνται σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ άλλα χρειάζεται να καταναλώνονται σχετικά άμεσα (π.χ., λουκάνικα) ή μπορούν να διατηρηθούν στην ψύξη για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ., γαλοπούλα σε φέτες).

Διαφέρουν επίσης σημαντικά μεταξύ τους όσον αφορά στην ποιότητα και την τιμή τους. Προϊόντα όπως το προσούτο τείνουν να είναι αρκετά ακριβά λόγω της ποιότητας του κρέατος και της διάρκειας της ωρίμανσης του, ενώ τα μορφοποιημένα κρεατοσκευάσματα είναι συνήθως πιο οικονομικά καθώς παρασκευάζονται εύκολα και από φτηνά κομμάτια κρέατος.

Συνολικά τα κρεατοσκευάσματα αποτελούν μία σημαντική κατηγορία τροφίμων λόγω της πληθώρας των επιλογών και των χρήσεων που προσφέρουν αλλά και λόγω του ότι συμβάλουν στην μείωση της σπατάλης τροφίμων καθώς συχνά παράγονται από αναξιοποίητα κομμάτια κρέατος.

1.2 Κατηγοριοποίηση των κρεατοσκευασμάτων

Γενικά, υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες κρεατοσκευασμάτων και προϊόντων κρέατος, αυτά που αποτελούνται από ολόκληρους μυς και εκείνα στα οποία το κρέας έχει με κάποιο τρόπο μειωθεί σε μέγεθος μέσω κοπής, άλεσης ή έχει τεμαχιστεί με άλλο τρόπο. Στην προκειμένη περίπτωση όμως θα κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το είδος του κρέατος, την μικροβιολογική σταθερότητα του τελικού προϊόντος, την μορφή του και την μέθοδο επεξεργασίας.

1.2.1 Είδος του κρέατος

Συχνά τα κρεατοσκευάσματα κατηγοριοποιούνται με βάση το είδος του κρέατος από το οποίο αποτελούνται. Οι πιο συχνές ζωικές πηγές κρέατος είναι το χοιρινό, το βοδινό

και τα πουλερικά (κυρίως το κοτόπουλο και η γαλοπούλα), αρκετές φορές όμως χρησιμοποιούνται και πιο εξωτικά κρέατα, όπως παραδείγματος χάριν το κρέας της καμήλας στον παστουρμά, αλλά και μίξη κρεάτων για προϊόντα όπως κάποια λουκάνικα.

Η επιλογή συγκεκριμένων κρεάτων για κάποια προϊόντα επηρεάζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων, όπως η γεύση, η υφή, η διαθεσιμότητα, το κόστος και οι προτιμήσεις των καταναλωτών. Τα κρέατα έχουν διαφορετικές γεύσεις και περιεκτικότητες σε λίπος. Για παράδειγμα, το χοιρινό κρέας λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς του σε λίπος χρησιμοποιείται συχνά για μπέικον και λουκάνικα. Τα πιο άπαχα κρέατα, όπως το κοτόπουλο ή η γαλοπούλα, χρησιμοποιούνται σε προϊόντα όπου είναι επιθυμητή μια πιο ήπια γεύση και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά.

Ακόμα η διαθεσιμότητα ορισμένων κρεάτων σε μια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να επηρεάσει τη χρήση τους σε διάφορα προϊόντα. Το κόστος είναι επίσης ένας καθοριστικός παράγοντας καθώς για την παραγωγή πιο οικονομικών προϊόντων χρησιμοποιούνται συχνά φτηνά ή αναξιοποίητα κομμάτια κρέατος.

Τέλος οι προτιμήσεις των καταναλωτών και η ζήτηση στην αγορά παίζουν σημαντικό ρόλο. Εάν ένα συγκεκριμένο κρεατοσκεύασμα γίνει δημοφιλές λόγω γεύσης, της χρησιμότητας ή χαμηλού κόστους του, αυτό μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή περισσότερων προϊόντων με αυτό το είδος κρέατος (Hui ,2012).

1.2.2 Μικροβιολογική σταθερότητα του τελικού προϊόντος

Τα κρεατοσκευάσματα μπορεί να είναι μικροβιολογικά σταθερά (shelf-stable) ή όχι. Αυτό εξαρτάται από την συνολική επεξεργασία τους και από την επιθυμητή τελική χρήση του προϊόντος.

Ως μικροβιολογικά σταθερά θεωρούνται τα κρεατοσκευάσματα τα οποία συντηρούνται σε θερμοκρασία δωματίου χωρίς να αλλοιωθούν ή να καταστούν επικίνδυνα. Από την άλλη τα μικροβιολογικά ασταθή κρεατοσκευάσματα πρέπει να διατηρούνται στο ψυγείο (ή να καταψύχονται) μέχρι την κατανάλωση, ώστε να αποτρέπεται η ανάπτυξη τόσο παθογόνων όσο και αλλοιογόνων μικροοργανισμών.

Γενικά οι μόνες κατηγορίες σταθερών κρεατοσκευασμάτων είναι τα αποξηραμένα και τα κονσερβοποιημένα προϊόντα. Όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες θεωρούνται μικροβιολογικά ασταθείς (Hui, 2012).

1.2.3 Μορφή της α' ύλης

Για την παραγωγή κρεατοσκευασμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας ολόκληρος μυσ ή να σχηματιστεί ένα νέο προϊόν από τεμάχια κρέατος ή αλεσμένο κρέας.

Οι βασικές κατηγορίες προϊόντων από τεμαχισμένο κρέας είναι τα λουκάνικα και τα μορφοποιημένα προϊόντα. Τα λουκάνικα αποτελούν μια μεγάλη κατηγορία τεμαχισμένων προϊόντων κρέατος, με μοναδικό κοινό χαρακτηριστικό τους ότι το κρέας αλέθεται και προστίθεται αλάτι. Τα μορφοποιημένα προϊόντα είναι γενικά τεμαχισμένο κρέας, στο οποίο έχει δοθεί συγκεκριμένο σχήμα ή μέγεθος με τη χρήση μηχανικών μέσων. Τόσο για την παραγωγή λουκάνικων όσο και για τα μορφοποιημένα προϊόντα το κρέας μπορεί να είναι αλεσμένο, τεμαχισμένο ή ομογενοποιημένο.

Όσον αφορά στα προϊόντα ολόκληρων μυών υπάρχει μια μεγάλη γκάμα σκευασμάτων τα οποία δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθούν το ίδιο εύκολα, όμως κάποια από τα βασικά προϊόντα είναι το ζαμπόν, το μπέικον και τα αποξηραμένα, τρυφεροποιημένα και προμαγειρεμένα κρέατα (Hui ,2012).

1.2.4 Μέθοδος επεξεργασίας

Η μέθοδος επεξεργασίας που θα επιλεγεί για την παρασκευή των κρεατοσκευασμάτων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα το είδος του κρέατος και τον τελικό σκοπό του προϊόντος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πολλά προϊόντα κρέατος μπορεί να υποβάλλονται σε συνδυασμό μεθόδων επεξεργασίας. Μπορούν επίσης να είναι παστά ή μη παστά, όπου τα παστά κρέατα έχουν εκτεθεί σε αλάτι και κάποιου είδους παράγοντες ωρίμανσης (curing agents), συνήθως νιτρώδη ή νιτρικά άλατα, ενώ τα μη παστά προϊόντα να μην έχουν αλλοιωθεί από την αρχική τους κατάσταση, αλλά δεν τους έχουν προστεθεί συστατικά ωρίμανσης. Για τα μη παστά κρέατα χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές επεξεργασίας που τους προσδώσουν αξία, όπως η τρυφεροποίηση (tenderization), η έγχυση φρέσκου κρέατος (injection), το προμαγείρεμα, η προπαρασκευή/ μαρινάρισμα και πολλές άλλες (Hui, 2012).

1.3 Διατηρησιμότητα (διάρκεια ζωής) κρεατοσκευασμάτων

Η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί υπό κατάλληλες συνθήκες διατηρώντας την προβλεπόμενη ποιότητα και την ασφάλειά του. Είναι ένα μέτρο ποσοτικοποίησης του πόσο καιρό μπορεί να παραμείνει ένα προϊόν ασφαλές για κατανάλωση και να διατηρήσει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του, όπως η γεύση, η υφή, το χρώμα και το θρεπτικό περιεχόμενο.

Η διατηρησιμότητα των κρεατοσκευασμάτων επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες. Οι βασικότεροι είναι η μέθοδος επεξεργασίας και η σύσταση του προϊόντος (η περιεκτικότητα σε λίπος, τα επιπρόσθετα συστατικά του κτλ.), οι συνθήκες αποθήκευσης του, η μικροβιακή δραστηριότητα του, οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται σε αυτό και η συσκευασία του (ο ρόλος της συσκευασίας στην διατηρησιμότητα θα εξεταστεί ξεχωριστά σε μετέπειτα κεφάλαιο) (Hardin, 2016).

1.3.1 Μικροβιολογία κρεατοσκευασμάτων

Οι μικροοργανισμοί μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη διατηρησιμότητα των προϊόντων κρέατος προκαλώντας αλλοίωση και θέτοντας ενδεχομένως κινδύνους για την υγεία των καταναλωτών. Η επιρροή των μικροοργανισμών στη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων σχετίζεται κυρίως με την ικανότητά τους να πολλαπλασιάζονται και να παράγουν ένζυμα που μπορούν να αλλοιώσουν το κρέας (με την προϋπόθεσή ότι έχουν ληφθεί τα κατάλληλα μέτρα για την εξουδετέρωση των παθογόνων μικροοργανισμών κατά την επεξεργασία).

Τα προϊόντα κρέατος είναι ευάλωτα στην ανάπτυξη μικροοργανισμών καθώς είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι αναγκαία για την ανάπτυξη τους, πολλά από αυτά έχουν υψηλή περιεκτικότητά σε υγρασία και υψηλή ενεργότητα νερού και το pH τους συνήθως είναι κοντά στο ουδέτερο.

Οι βιολογικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τα προϊόντα κρέατος περιλαμβάνουν παθογόνα βακτήρια, ιούς και παράσιτα, με τα βακτήρια να αποτελούν τον πιο άμεσο κίνδυνο και έτσι το μεγαλύτερο σημείο ενδιαφέροντος. Τα πιο συνήθη παθογόνα βακτήρια είναι η *Salmonella*, ο *Staphylococcus aureus*, το *Clostridium botulinum*, το *Clostridium perfringens*, το *Escherichia coli* (τα παθογόνα στελέχη του) και η *Listeria monocytogenes*. Από την άλλη οι κυριότεροι ιοί είναι ο ιός της ηπατίτιδας Α και ο νοροϊός και τα παράσιτα είναι τα *Toxoplasma gondii*, *Sarcocystis* spp., *Trichinella* spp. και *Taenia* spp.

Τέλος η βιοποικιλότητα των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση στα προϊόντα κρέατος είναι παρόμοια υψηλή με εκείνη του νωπού κρέατος. Έτσι, οι

Pseudomonas και τα συναφή γένη, *Enterobacteriaceae*, *B.thermosphacta*, *Micrococcaceae*, *Bacillus* και *Clostridium*, ζύμες και μούχλες, και LAB (κυρίως *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Weissella* και *Carnobacterium* και λιγότερο συχνά *Aerococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus* και *Pediococcus*) μπορεί να είναι όλοι μεταξύ της αρχικής χλωρίδας. Τόσο ο αριθμός όσο και οι τύποι αυτών των μικροοργανισμών στο τρόφιμο επηρεάζονται από τη μικροβιολογική ποιότητα των πρώτων υλών και την υγιεινή των εγκαταστάσεων. Στη συνέχεια, οι συνθήκες αποθήκευσης σε συνδυασμό με τη σύσταση του προϊόντος ευνοούν ορισμένα μικρόβια αλλοίωσης και επηρεάζουν τον ρυθμό ανάπτυξης και τη δραστηριότητά τους (Doyle et al., 2013).

1.3.2 Παθογόνοι μικροοργανισμοί

1.3.2.1 *Salmonella* spp.

Η σαλμονέλα είναι ένα γένος προαιρετικά αναερόβιων και αρνητικών κατά Gram ραβδοειδών βακτηρίων που ανήκουν στην οικογένεια *Enterobacteriaceae*. Είναι μεσόφιλη και αναπτύσσεται βέλτιστα στους 37°C, όμως είναι ανθεκτικοί μικροοργανισμοί που μπορούν να προσαρμοστούν σε συνθήκες θερμοκρασίας και pH πέρα από το φυσιολογικό εύρος ανάπτυξής τους, δημιουργώντας μεγάλες κινδύνους για την ασφάλεια των τροφίμων. Ενώ είναι μεσόφιλη, ορισμένα στελέχη σαλμονέλας μπορούν να αναπτυχθούν σε αυξημένες θερμοκρασίες έως και 54°C και άλλα μπορούν να αναπτυχθούν σε τρόφιμα που αποθηκεύονται στους 2°C έως 4°C. Μπορεί να βρεθεί σε διάφορα προϊόντα κρέατος, συμπεριλαμβανομένων των πουλερικών, του βοείου και του χοιρινού κρέατος. Αποτελεί κοινή αιτία τροφικών δηλητηριάσεων και τα διάφορα είδη σαλμονέλας μπορούν να προκαλέσουν μια σειρά συμπτωμάτων στον άνθρωπο.

Η μόλυνση από σαλμονέλα σε προϊόντα κρέατος δεν μεταβάλλει συνήθως την εμφάνιση, τη γεύση ή την οσμή του τροφίμου. Συνήθως υπάρχει σε τόσο χαμηλούς αριθμούς που δεν προκαλεί αισθητή αλλοίωση. Στους ανθρώπους, η μόλυνση από σαλμονέλα, γνωστή ως σαλμονέλωση, μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά συμπτωμάτων, όπως διάρροια, κοιλιακές κράμπες, πυρετό, ναυτία και εμετό. Τα συμπτώματα εμφανίζονται συνήθως 6 έως 72 ώρες μετά την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων. Η σοβαρότητα της ασθένειας μπορεί να είναι από ήπια έως σοβαρή και μπορεί να απαιτεί ιατρική φροντίδα, ιδίως σε ευάλωτους πληθυσμούς, όπως μικρά παιδιά, ηλικιωμένους και άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα.

Ενώ το μαγείρεμα και ο σωστός χειρισμός των τροφίμων μπορούν να σκοτώσουν αποτελεσματικά τη σαλμονέλα, η πρόληψη της μόλυνσης εξαρχής μέσω ασφαλών πρακτικών χειρισμού των τροφίμων είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση του κινδύνου σαλμονέλωσης (Doyle et al., 2013).

1.3.2.2 *Staphylococcus aureus*

Ο άνθρωπος αποτελεί την κύρια πηγή για τους σταφυλόκοκκους που εμπλέκονται σε ανθρώπινες ασθένειες, συμπεριλαμβανομένου του *S.aureus*. Ο *S.aureus* μπορεί δυνητικά να βρεθεί σε διάφορα προϊόντα κρέατος, καθώς μπορεί να επιμολύνει τα προϊόντα κρέατος κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, του χειρισμού ή μέσω διασταυρούμενης μόλυνσης από μολυσμένους χειριστές τροφίμων. Ο *S.aureus* είναι θετικός κατά Gram, προαιρετικά αναερόβιος, μεσόφιλος μικροοργανισμός ο οποίος μπορεί να πολλαπλασιαστεί γρήγορα σε ορισμένες συνθήκες, ιδίως όταν τα τρόφιμα παραμένουν σε θερμοκρασία δωματίου για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Με την κατανάλωση τροφίμων μολυσμένα με *S.aureus*, οι θερμικά σταθερές τοξίνες που παράγονται από αυτό μπορούν να οδηγήσουν σε τροφική δηλητηρίαση. Τα συμπτώματα αναπτύσσονται συνήθως γρήγορα, εντός λίγων ωρών από την κατανάλωση μολυσμένου τροφίμου, και μπορεί να περιλαμβάνουν ναυτία, εμετό, κοιλιακές κράμπες, διάρροια και μερικές φορές πυρετό. Η ασθένεια είναι γενικά ήπια, με τα συμπτώματα να υποχωρούν συνήθως μέσα σε μία ή δύο ημέρες. Οι σοβαρές περιπτώσεις είναι σπάνιες και εμφανίζονται συνήθως σε άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα.

Ενώ ο *S.aureus* είναι σχετικά κοινός στο περιβάλλον και μπορεί να υπάρχει σε διάφορα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των προϊόντων κρέατος, η πρόληψη της τροφικής δηλητηρίασης που προκαλείται από αυτό το βακτήριο περιλαμβάνει κυρίως τον κατάλληλο χειρισμό, την αποθήκευση και τις πρακτικές υγιεινής των τροφίμων. Το μαγείρεμα σε κατάλληλες θερμοκρασίες και ο ασφαλής χειρισμός των τροφίμων μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του κινδύνου τροφικής δηλητηρίασης από *S.aureus* (Doyle et al., 2013).

1.3.2.3 *Clostridium botulinum*

Το *Clostridium botulinum* είναι ένα θετικό κατά Gram, αναερόβιο, μεσόφιλο βακτήριο που έχει την δυνατότητα να σχηματίζει σπόρια. Είναι γνωστό για την ικανότητά του να παράγει τοξίνη της αλλαντίασης, μία από τις πιο ισχυρές βακτηριακές τοξίνες. Σε σπάνιες περιπτώσεις, μπορεί δυνητικά να βρεθεί σε κονσερβοποιημένα προϊόντα κρέατος, ιδίως εάν κονσερβοποιήθηκαν ερασιτεχνικά ή εάν υπήρξε πρόβλημα στην βιομηχανική διαδικασία κονσερβοποίησης.

Όταν καταναλωθεί τοξίνη της αλλαντίασης, μπορεί να οδηγήσει σε αλλαντίαση, μια σοβαρή και δυνητικά απειλητική για τη ζωή ασθένεια. Τα συμπτώματα της αλλαντίασης μπορεί να περιλαμβάνουν μυϊκή αδυναμία, διπλωπία, δυσκολία στην ομιλία και την κατάποση και παράλυση. Σε σοβαρές περιπτώσεις, μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστική ανεπάρκεια και θάνατο. Η αλλαντίαση είναι επείγον ιατρικό περιστατικό και απαιτείται άμεση θεραπεία με αντιτοξίνη και εντατική φροντίδα.

Για την πρόληψη της αλλαντίασης είναι σημαντικό να ακολουθούνται οι κατάλληλες τεχνικές συντήρησης και κονσερβοποίησης τροφίμων. Τα κονσερβοποιημένα τρόφιμα του εμπορίου είναι γενικά ασφαλή, καθώς υποβάλλονται σε αυστηρό ποιοτικό έλεγχο για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει τοξίνη αλλαντίασης. Η ψύξη και η σωστή αποθήκευση μπορούν επίσης να αποτρέψουν την ανάπτυξη του *Clostridium botulinum* και την παραγωγή της τοξίνης του (Hui, 2006).

1.3.2.4 *Clostridium perfringens*

Το *Clostridium perfringens* είναι ένα κοινό βακτήριο που βρίσκεται σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως το έδαφος, τα λύματα και τα έντερα ζώων και ανθρώπων. Είναι βακτήριο θετικό κατά Gram, αναερόβιο, μεσόφιλο και έχει την δυνατότητα να σχηματίζει σπόρια. Συνδέεται συχνά με τροφιμογενείς ασθένειες, ιδίως όταν τα τρόφιμα προετοιμάζονται ή αποθηκεύονται ακατάλληλα. Τα τρόφιμα συνήθως μολύνονται με *Clostridium perfringens* λόγω ακατάλληλου χειρισμού.

Η κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν *Clostridium perfringens* και τις τοξίνες του μπορεί να οδηγήσει σε έναν τύπο τροφικής δηλητηρίασης. Τα συμπτώματα αναπτύσσονται συνήθως εντός 6 έως 24 ωρών μετά την κατανάλωση μολυσμένου τροφίμου και μπορεί να περιλαμβάνουν κοιλιακές κράμπες, διάρροια και μερικές φορές ναυτία. Η ασθένεια είναι γενικά ήπια με τα συμπτώματα να υποχωρούν συνήθως εντός 24 έως 48 ωρών.

Οι σωστές πρακτικές χειρισμού τροφίμων κατά την παραγωγή, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγιεινής, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον κίνδυνο τροφικής δηλητηρίασης από *Clostridium perfringens* (Doyle et al., 2013).

1.3.2.5 *Escherichia coli*

Τα *Escherichia coli* (*E. coli*) είναι μια ποικιλόμορφη ομάδα βακτηρίων, τα οποία βρίσκονται στο έντερο του ανθρώπου και των ζώων. Ορισμένα στελέχη του είναι αβλαβή ενώ άλλα μπορεί να είναι παθογόνα και να προκαλέσουν ασθένειες. Τα παθογόνα *E. coli*, ιδίως το *E. coli* O157:H7, μπορεί να βρεθεί σε διάφορα κρεατοσκευάσματα. Είναι αρνητικά κατά Gram, μεσόφιλα και προαιρετικά αναερόβια. Η μόλυνση μπορεί να συμβεί κατά τη διαδικασία σφαγής των ζώων, μέσω επιμόλυνσης κατά την επεξεργασία ή εάν το κρέας δεν επεξεργαστεί θερμικά σε ασφαλή θερμοκρασία.

Η κατανάλωση τροφίμων μολυσμένων με παθογόνο *E. coli* μπορεί να οδηγήσει σε γαστρεντερικές ασθένειες. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν διάρροια (συχνά αιματηρή), κοιλιακές κράμπες, ναυτία και εμετό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να εξελιχθεί σε μια πιο σοβαρή κατάσταση που ονομάζεται αιμολυτικό ουραιμικό σύνδρομο (HUS), το οποίο μπορεί να προκαλέσει νεφρική ανεπάρκεια και άλλες σοβαρές επιπλοκές. Τα μικρά παιδιά, οι ηλικιωμένοι και τα άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο σοβαρής ασθένειας.

Η εξάλειψη του παθογόνου *E. coli* στα προϊόντα κρέατος είναι σημαντική για την ασφάλεια των τροφίμων. Η θερμική επεξεργασία των προϊόντων κρέατος σε ασφαλείς θερμοκρασίες είναι ζωτικής σημασίας για να σκοτωθούν τυχόν παθογόνα βακτήρια *E. coli* και να καταστούν τα τρόφιμα ασφαλή για κατανάλωση, η πρόληψη της μόλυνσης μέσω ασφαλών πρακτικών χειρισμού των τροφίμων είναι εξίσου σημαντική. Η σωστή υγιεινή και η αποφυγή της επιμόλυνσης αποτελούν βασικά βήματα για τη μείωση του κινδύνου τροφικών δηλητηριάσεων που σχετίζονται με το *E. coli* (James M et al., 2005).

1.3.2.6 *Listeria monocytogenes*

Η *Listeria monocytogenes* είναι ένα παθογόνο βακτήριο που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο, ιδίως σε ευάλωτους πληθυσμούς. Είναι θετική κατά Gram, μεσόφιλη και προαιρετικά αναερόβια. Μπορεί να βρεθεί σε μια σειρά προϊόντων κρέατος, συμπεριλαμβανομένων των αλλαντικών (π.χ. ζαμπόν, γαλοπούλα, roast beef), των χοτ ντογκ, των πατέ και άλλων. Μπορεί επίσης να υπάρχει σε ωμό κρέας, ιδίως όταν μολυσμένες επιφάνειες ή εξοπλισμός έρχονται σε επαφή με το αυτό.

Σε υγιή άτομα, η λοίμωξη από λιστέρια (λιστερίωση) μπορεί να οδηγήσει σε ήπια συμπτώματα, όπως πυρετός, μυϊκοί πόνοι και γαστρεντερικές διαταραχές. Ωστόσο, μπορεί να είναι πιο σοβαρή σε ορισμένες περιπτώσεις. Οι ευάλωτοι πληθυσμοί, συμπεριλαμβανομένων των εγκύων γυναικών, των ηλικιωμένων, των βρεφών και των ατόμων με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα, διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο σοβαρής ασθένειας. Η λιστερίωση μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπλοκές, συμπεριλαμβανομένης της σηψαιμίας (μόλυνση του αίματος) και της μηνιγγιτίδας (μόλυνση των μεμβρανών που περιβάλλουν τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό).

Η *Listeria monocytogenes* μπορεί να είναι δύσκολο να ελεγχθεί λόγω της ικανότητάς της να αναπτύσσεται σε θερμοκρασίες ψύξης και της ανθεκτικότητάς της σε

ορισμένες μεθόδους συντήρησης τροφίμων. Ως εκ τούτου, οι αυστηρές πρακτικές ασφάλειας των τροφίμων, ιδίως όσον αφορά την ψύξη και τον χειρισμό των έτοιμων προς κατανάλωση τροφίμων, είναι σημαντική για τη μείωση του κινδύνου μόλυνσης από *Listeria* και την λιστερίωση (Hui, 2006).

1.3.2.7 Ιοί

Οι ιοί είναι σχετικά σπάνιοι στα κρεατοσκευάσματα σε σύγκριση με τα βακτήρια και οι περισσότερες τροφιμογενείς ασθένειες που σχετίζονται με το κρέας προκαλούνται από βακτήρια. Οι ιοί που έχουν αναφερθεί ότι προκαλούν τροφιμογενείς ασθένειες περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την ηπατίτιδα Α, τον νοροϊό, τον ροταϊό, τους αστροϊούς και τους εντεροϊούς. Η μετάδοση αυτών των ιών συμβαίνει κατά κόρον λόγω της ανεπαρκούς θερμικής επεξεργασίας των τροφίμων, της επιμόλυνσης πριν από την κατανάλωση και την κακή υγιεινή. Τα πιο συνηθισμένα συμπτώματα αυτών των ιών περιλαμβάνουν γαστρεντερικές διαταραχές (ναυτία, εμετό κτλ.), πυρετό και κόπωση. Οι ιοί αποτελούν μικρότερη απειλή σε σχέση με τα παθογόνα βακτήρια στα κρεατοσκευάσματα, καθώς η θέρμανση των τροφίμων σε θερμοκρασίες πάνω από τους 60°C (140°F) μπορεί να αδρανοποιήσει αποτελεσματικά τους περισσότερους τροφιμογενείς ιούς.

1.3.2.8 Παράσιτα

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα κυριότερα παράσιτα είναι τα *Toxoplasma gondii*, *Sarcocystis* spp., *Trichinella* spp. και *Taenia* spp. Η σοβαρότητα των συμπτωμάτων ποικίλλει και σε ορισμένες περιπτώσεις οι λοιμώξεις μπορεί να προκαλέσουν ήπια συμπτώματα (προβλήματα στο γαστρεντερικό, συμπτώματα που μοιάζουν με την γρίπη, και πόνο στους μύες και τα κόκαλα) ή ακόμη και να είναι ασυμπτωματικές, ιδίως σε υγιή άτομα με ισχυρό ανοσοποιητικό σύστημα. Τα άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα μπορεί να εμφανίσουν πιο σοβαρά συμπτώματα, συμπεριλαμβανομένων νευρολογικών συμπτωμάτων και σοβαρών αλλεργικών αντιδράσεων. Οι μέθοδοι πρόληψης των παρασιτικών λοιμώξεων από προϊόντα κρέατος είναι κυρίως το σωστό μαγείρεμα και οι ασφαλείς πρακτικές χειρισμού των τροφίμων. Επιπλέον, η κατάψυξη του κρέατος σε κατάλληλες θερμοκρασίες για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα μπορεί να σκοτώσει ορισμένα παράσιτα. Η προσθήκη αλατιού (παστό κρέας) μπορεί επίσης να αδρανοποιήσει τα παράσιτα στα κρεατοσκευάσματα.

1.3.3 Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί

Τα βακτήρια αλλοίωσης που προσβάλλουν τα προϊόντα κρέατος μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του κρέατος, τις μεθόδους επεξεργασίας, την σύνθεση του προϊόντος, την συσκευασία (αερόβια ή αναερόβια), την θερμοκρασία και τις συνθήκες αποθήκευσης, όμως τα μικρόβια που εμπλέκονται συχνότερα στην αλλοίωση του κρέατος είναι τα *Pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae*, *B. thermosphacta* και Lactic Acid Bacteria (LAB).

1.3.3.1 *Pseudomonas* spp.

Το βακτηριακό γένος *Pseudomonas* περιλαμβάνει μια ομάδα αρνητικών κατά Gram, υποχρεωτικά αερόβιων και μη σπορογόνων βακτηρίων. Είναι οι πιο κοινοί ψυχρότροφοι οργανισμοί αλλοίωσης, και μπορούν να αναπτυχθούν σε αερόβια αποθηκευμένα τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό και ουδέτερο pH, ιδίως σε κρέας και προϊόντα κρέατος.

Το γένος *Pseudomonas* είναι ένα από τα πιο ποικιλόμορφα οικολογικά είδη και απαντώνται σε φυσικά ενδιαίτηματα, όπως το έδαφος, το γλυκό νερό και το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι *Pseudomonas* ευδοκιμούν σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 4°C έως 21°C, γεγονός που τους καθιστά κοινή ανησυχία για τα ευπαθή τρόφιμα που αποθηκεύονται σε ψυγεία.

Το γένος *Pseudomonas* αλλοιώνει ένα ευρύ φάσμα τροφίμων, μεταξύ των οποίων και το κρέας (νωπό κρέας και τα προϊόντα κρέατος). Η ικανότητά τους να προκαλούν αλλοίωση των πρωτεϊνούχων τροφίμων οφείλεται εν μέρει στην ικανότητά τους να παράγουν πρωτεάσες και λιπάσες για την αποικοδόμηση πρωτεϊνών και λιπαρών. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αλλαγές στην υφή του προϊόντος, την απελευθέρωση δυσάρεστων οσμών και το σχηματισμό γλίτσας στην επιφάνεια του κρέατος.

Μπορούν να μολύνουν τα κρεατοσκευάσματα κατά τη διάρκεια της παραγωγής και της διανομής. Συνήθεις πηγές μόλυνσης είναι η επαφή με τα χέρια και τα σκεύη των χειριστών τροφίμων, η επιμόλυνση από άλλα μολυσμένα τρόφιμα ή επιφάνειες και η έκθεση στον αέρα και το νερό κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, ιδίως εάν δεν υπάρχει επαρκής υγιεινή και καθαριότητα (Raposo et al., 2017).

1.3.3.2 Enterobacteriaceae

Τα Enterobacteriaceae είναι μια οικογένεια αρνητικών κατά Gram, μη σπορογόνων και ως επί το πλείστον ψυχροτροφικών βακτηρίων που μπορούν δυνητικά να αλλοιώσουν τα προϊόντα κρέατος. Τα Enterobacteriaceae είναι κυρίως προαιρετικά αναερόβια, που σημαίνει ότι έχουν την ικανότητα να αναπτύσσονται τόσο παρουσία όσο και απουσία οξυγόνου. Δεν είναι όλα τα στελέχη τους αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί και μερικά από αυτά μπορεί να είναι ακόμη και παθογόνα. Η δυνατότητα τους να αλλοιώσουν εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των στελεχών που υπάρχουν στο τρόφιμο και των συνθηκών στις οποίες αναπτύσσονται.

Μπορούν να παράξουν δυσάρεστες γεύσεις και οσμές σε προϊόντα κρέατος, οι οποίες μπορεί να είναι ξινές ή σάπιες, λόγω της μεταβολικής τους δραστηριότητας. Μπορούν επίσης να διασπάσουν τις πρωτεΐνες και τα λίπη στο κρέας, οδηγώντας σε ανεπιθύμητες αλλαγές στην υφή των προϊόντων, όπως το μαλάκωμα του κρέατος και η δημιουργία γλίτσας.

Τα Enterobacteriaceae δεν είναι εγγενή στο κρέας και μπορούν να εισαχθούν στα προϊόντα κρέατος μόνο μέσω επιμόλυνσης λόγω κακών πρακτικών υγιεινής κατά την επεξεργασία, το χειρισμό και την κατανάλωση (Blackburn, 2006).

1.3.3.3 *B. thermosphacta*

Ο *Brochothrix thermosphacta* είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους οργανισμούς αλλοίωσης των νωπών και παστών κρεάτων. Πρόκειται για ένα θετικό κατά Gram, ψυχρότροφο, ζυμωτικό βακτήριο που είναι προαιρετικά αναερόβιο και μπορεί να γίνει το κυρίαρχο είδος αλλοίωσης των συσκευασμένων σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MAP) και σε κενό συσκευασμένων κρεάτων όταν υπάρχει επαρκές οξυγόνο.

Η αλλοίωση από *B. thermosphacta* χαρακτηρίζεται από οσμές που θυμίζουν τυρί ή βούτυρο ή από ξινές οσμές και όχι από σήψη. Το βακτήριο μεταβολίζει τα αμινοξέα των τροφίμων, ιδίως αυτά που βρίσκονται στο κρέας και τα ψάρια. Η μεταβολική δραστηριότητα του έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεταβολικών υποπροϊόντων, όπως το γαλακτικό οξύ και η αιθανόλη, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν δυσάρεστες γεύσεις και οσμές. Η αλλοιωτική δράση του προκαλεί επίσης αλλαγές στην υφή και αποχρωματισμό του προϊόντος.

Ο *Brochothrix thermosphacta* μπορεί να εισέλθει στα προϊόντα κρέατος μέσω

διαφόρων οδών, κυρίως κατά τα στάδια της επεξεργασίας και του χειρισμού όπως και οι υπόλοιποι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί ειδικά όταν το ωμό κρέας που χρησιμοποιείται είναι ήδη μολυσμένο (Russo et al., 2006).

1.3.3.4 Lactic Acid Bacteria

Τα LAB είναι κυρίως θετικά κατά Gram βακτήρια που δεν σχηματίζουν σπόρια. Τα LAB μπορούν να αλλοιώσουν το κρέας μέσω διαφόρων μηχανισμών και η ανάπτυξη και η δραστηριότητά τους επηρεάζεται από συγκεκριμένες συνθήκες. Επίσης τα LAB θεωρούνται γενικά προαιρετικά αναερόβια. Σε αναερόβιες συνθήκες τα LAB συμβάλλουν κυρίως στην ζύμωση γαλακτικού οξέος. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, μετατρέπουν τα σάκχαρα σε γαλακτικό οξύ. Με την παρουσία οξυγόνου μπορούν να μεταβούν σε αερόβια αναπνοή, ωστόσο δεν είναι τόσο αποτελεσματικά σε αερόβιες συνθήκες και συνήθως προτιμούν περιορισμένο διαθέσιμο οξυγόνο. Οι συσκευασίες τροφίμων που έχουν ως αποτέλεσμα την χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο, όπως οι συσκευασίες κενού ή τροποποιημένης ατμόσφαιρας, το χαμηλό pH και η χαμηλή θερμοκρασία είναι οι πιο συνηθισμένοι παράγοντες που κάνουν τα LAB την κύρια αλλοιογόνο βακτηριακή ομάδα στα κρεατοσκευάσματα.

Αν και το LAB ως επί το πλείστον ζυμώνει τα σάκχαρα σε γαλακτικό οξύ, μπορεί να αλλοιώσει το κρέας μέσω διαφόρων μηχανισμών και γεύσεις που προσομοιάζουν το τυρί και όξινες γεύσεις είναι συνήθως οι πρώτες αλλαγές που σχετίζονται με την αλλοίωση από LAB στο κρέας και τα κρεατοσκευάσματα. Οι αλλαγές στη γεύση συνήθως συνοδεύονται από αλλαγές στην οσμή, το χρώμα και το σχηματισμό αερίων. Ο σχηματισμός αερίων αποδίδεται στην παραγωγή CO₂ κατά τη διάρκεια της αλλοίωσης. Οι όξινες οσμές, οι γεύσεις και η αλλαγή χρώματος προκαλούνται από τη συσσώρευση τελικών προϊόντων που σχηματίζονται από την μεταβολική δραστηριότητα των LAB. Τα LAB μπορούν επίσης να αλλάξουν την υφή του κρέατος διασπώντας τις πρωτεΐνες του, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε μια μαλακωμένη ή γλοιώδη υφή, συμβάλλοντας περαιτέρω στην αλλοίωση.

Τέλος τα LAB στα κρεατοσκευάσματα μπορούν να προέρχονται από διάφορες πηγές καθώς μπορεί να υπάρχουν εκ φύσεως στην επιφάνεια του κρέατος του ζώου που χρησιμοποιείται για αυτά, στον εξοπλισμού επεξεργασίας ή στον αέρα στην εγκατάσταση επεξεργασίας (Blackburn, 2006).

1.3.4 Μη μικροβιολογική αλλοίωση κρεατοσκευασμάτων:

Η μη μικροβιακή αλλοίωση στα κρεατοσκευάσματα αναφέρεται στην αλλοίωση τους η οποία δεν προκύπτει από τη δραστηριότητα μικροοργανισμών όπως τα βακτήρια, η μούχλα ή οι ζύμες. Αυτό το είδος αλλοίωσης συμβαίνει κυρίως λόγω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο τρόφιμο κατά την αποθήκευση. Οι σημαντικότεροι τύποι μη μικροβιακής αλλοίωσης των προϊόντων κρέατος είναι η οξειδωση των λιπαρών και η αυτολυτική αλλοίωση.

1.3.4.1 Οξείδωση λιπαρών

Η οξείδωση των λιπαρών είναι η κύρια μη μικροβιακή αιτία υποβάθμισης της ποιότητας του κρέατος και των προϊόντων κρέατος, καθώς τα λιπαρά είναι ευαίσθητα στην οξείδωση. Οι αντιδράσεις οξείδωσης αρχίζουν από την σφαγή του ζώου και συνεχίζονται προοδευτικά μέχρι την κατανάλωση του τελικού προϊόντος και, ως εκ τούτου, όλες οι ενδιάμεσες διεργασίες (χειρισμός, επεξεργασία και αποθήκευση) πρέπει να ελέγχονται

προσεκτικά προκειμένου αυτές να αποφευχθούν. Οι αρνητικές επιπτώσεις της οξειδωσης των λιπαρών περιλαμβάνουν αλλαγές στο χρώμα, την υφή και την δημιουργία χαλασμένης/ξινής ή και σάπιας οσμής και γεύσης, γεγονός που επηρεάζει την αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές.

Η οξείδωση των λιπαρών είναι μια πολύ σύνθετη διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει πολλαπλούς μηχανισμούς που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Συνοπτικά τα ακόρεστα λιπαρά οξέα αντιδρούν με το μοριακό οξυγόνο μέσω ενός μηχανισμού ελεύθερων ριζών. Από την αντίδραση αυτή παράγονται υδροϋπεροξειδία που είναι τα πρώτα προϊόντα οξειδωσης. Σε αντίθεση με άλλα προϊόντα που προέρχονται από λιπίδια, τα υδροϋπεροξειδία είναι άοσμα και δεν προσδίδουν άρωμα. Ωστόσο, οι ενώσεις αυτές είναι εξαιρετικά ασταθείς, με αποτέλεσμα να αποσυντίθενται γρήγορα και να δημιουργείται μεγάλος αριθμός δευτερογενών ενώσεων που περιλαμβάνουν υδρογονάνθρακες, αλδεΐδες, κετόνες, αλκοόλες, εστέρες και οξέα, οι οποίες προκαλούν την εμφάνιση οσμών και γεύσεων στο κρέας. Μεταξύ όλων των ενώσεων που προέρχονται από διαδικασίες οξειδωσης, οι αλδεΐδες θεωρούνται τα σημαντικότερα προϊόντα διάσπασης και οι μεγαλύτεροι συντελεστές των πτητικών αρωμάτων στο κρέας. Η πτυχή αυτή σχετίζεται με το γεγονός ότι έχουν χαμηλό κατώφλι οσμής και ότι υπάρχουν σε σημαντικές ποσότητες στα προϊόντα που υπέστησαν διεργασίες οξειδωσης. Εκτός από τη συμβολή τους στο άρωμα και την γεύση του κρέατος, οι αλδεΐδες είναι επίσης σημαντικές επειδή αντιδρούν με τις πρωτεΐνες προκαλώντας τροποποιήσεις που επιφέρουν αλλαγές στις θρεπτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του.

Τα λιπαρά μπορούν να οξειδωθούν με τρεις κύριους τρόπους, την αυτοοξειδωση, την ενζυμικά καταλυόμενη οξείδωση και τη φωτοοξειδωση. Η αυτοοξειδωση είναι η σημαντικότερη διαδικασία οξειδωσης των λιπαρών στο κρέας καθώς είναι η κύρια διαδικασία με την οποία τα ακόρεστα λιπαρά οξέα και το οξυγόνο αλληλεπιδρούν και προκαλούν οξειδωτική αλλοίωση του κρέατος και των προϊόντων του. Οι μηχανισμοί ενζυμικής οξειδωσης και φωτοοξειδωσης διαφέρουν από την αυτοοξειδωση μόνο στο σχηματισμό υδροϋπεροξειδίων, κατά τη φάση έναρξης (Domínguez et al. 2019).

1.3.4.1.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την οξείδωση των λιπαρών

Οι αντιδράσεις οξειδωσης των λιπαρών επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες, τόσο ενδογενείς (όπως η σύνθεση του κρέατος) όσο και εξωγενείς (όπως οι συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης των κρεατοσκευασμάτων), οι οποίοι μπορούν να προωθήσουν ή να αναστείλουν τις οξειδωτικές αντιδράσεις.

Όσον αφορά στις ενδογενείς παραμέτρους, η σύνθεση των λιπαρών οξέων είναι μία από τις σημαντικότερες, καθώς αποτελεί το κύριο υπόστρωμα για την ανάπτυξη της οξειδωσης των λιπαρών. Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε άλλες προοξειδωτικές ενώσεις, όπως οι αιμοπρωτεΐνες, τα μέταλλα, τα προοξειδωτικά ένζυμα ή οι αντιοξειδωτικές ενώσεις, όπως οι βιταμίνες, τα αντιοξειδωτικά ένζυμα ή τα πεπτίδια, είναι καθοριστικοί παράγοντες για την ανάπτυξη των οξειδωτικών διεργασιών.

Από την άλλη πλευρά, οι συνθήκες αποθήκευσης είναι υψηλής σημασίας στην προώθηση της οξειδωσης των λιπαρών. Διάφοροι παράγοντες, όπως η θερμοκρασία ή η παρουσία φωτός και οξυγόνου κατά την αποθήκευση, αυξάνουν τις οξειδωτικές διεργασίες. Παρομοίως, ορισμένα στάδια της επεξεργασίας του κρέατος προάγουν επίσης την οξείδωση. Διεργασίες όπως ο τεμαχισμός, η αφαίρεση των οστών, η άλεση ή το μαγείρεμα επιταχύνουν την οξείδωση των λιπαρών. Γενικά, όλες οι διεργασίες προκαλούν διάσπαση της μεμβράνης των μυών, η οποία προάγει τις οξειδωτικές αντιδράσεις. Επιπλέον, η χρήση άλλων συστατικών (αντιοξειδωτικών ή προοξειδωτικών) στις συνθέσεις

κρεατοσκευασμάτων επηρεάζει επίσης τη διαδικασία οξείδωσης (Domínguez et al. 2019).

1.3.4.1.2 Μέθοδοι παρεμπόδισης της οξείδωσης των λιπαρών

Η οξείδωση των λιπαρών μπορεί να ανασταλεί με διάφορες μεθόδους οι οποίες αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της έκθεσης των λιπαρών στο οξυγόνο και τις ελεύθερες ρίζες, οι οποίες είναι οι κύριες αιτίες της οξείδωσης τους.

Η κύρια στρατηγική που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία κρέατος για την αναστολή της οξείδωσης των λιπαρών είναι η προσθήκη αντιοξειδωτικών στο κρέας και τα κρεατοσκευάσματα. Τα συνήθη αντιοξειδωτικά που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τις τοκοφερόλες (βιταμίνη E), το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) και τα συνθετικά αντιοξειδωτικά. Χημικοί παράγοντες, όπως το κιτρικό οξύ, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη δέσμευση ιόντων μετάλλων όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, τα οποία μπορούν να καταλύσουν την οξείδωση των λιπαρών.

Η κατάλληλη συσκευασία είναι επίσης σημαντική για την αναστολή της οξείδωσης των λιπαρών. Συσκευασίες όπως οι σφραγισμένες υπό κενό συσκευασίες ή οι συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP), μπορούν να αποτρέψουν την επαφή του οξυγόνου με το προϊόν. Οι συσκευασίες που αφαιρούν ή μειώνουν το κενό διάστημα (κενό χώρο) στο εσωτερικό τους περιορίζουν επίσης την έκθεση του προϊόντος στο οξυγόνο. Επιπλέον, δεδομένου ότι η έκθεση στο φως, ιδίως στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV), μπορεί να προωθήσει την οξείδωση των λιπαρών, οι αδιαφανείς συσκευασίες ή συσκευασίες που προστατεύουν από τις ακτίνες UV μπορεί να βοηθήσουν στην αναστολή της οξείδωσης.

Τέλος, η μερική υδρογόνωση των ακόρεστων λιπαρών μπορεί να αυξήσει τη σταθερότητα και την αντοχή τους στην οξείδωση. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή έχει γίνει λιγότερο δημοφιλής λόγω του σχηματισμού τρανς λιπαρών, τα οποία συνδέονται με κινδύνους για την υγεία (Hui, 2006).

1.3.4.2 Αυτολυτική αλλοίωση

Η αυτολυτική αλλοίωση του κρέατος είναι ένας τύπος αλλοίωσης που συμβαίνει λόγω της δράσης ενζύμων που υπάρχουν φυσικά στον ιστό του κρέατος. Τα ένζυμα μετά τη σφαγή του ζώου ενεργοποιούνται και μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές στην υφή, τη γεύση και τη συνολική ποιότητα του κρέατος. Τα ένζυμα έχουν την ικανότητα να συνδυάζονται χημικά με άλλες οργανικές ενώσεις και να λειτουργούν ως καταλύτες για χημικές αντιδράσεις που τελικά καταλήγουν στην αυτοαλλοίωση του κρέατος. Κατά τη διαδικασία της αυτόλυσης, οι σύνθετες ενώσεις (υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες) των ιστών διασπώνται σε απλούστερες με αποτέλεσμα το κρέας να μαλακώνει και να αποχρωματίζεται. Αυτές οι μεταβολές της αυτόλυσης περιλαμβάνουν την πρωτεόλυση και την υδρόλυση των λιπαρών, οι οποίες αποτελούν προϋπόθεση για τη μικροβιακή αλλοίωση.

Τα κύρια ένζυμα που ευθύνονται για την αυτολυτική ενζυμική αλλοίωση του κρέατος περιλαμβάνουν τις πρωτεάσες (ένζυμα που διασπών τις πρωτεΐνες), τις λιπάσες (ένζυμα που διασπών τα λίπη) και άλλα ένζυμα που συμμετέχουν σε διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις. Οι πρωτεάσες στον ιστό του κρέατος μπορούν να προκαλέσουν τη διάσπαση των πρωτεϊνών, οδηγώντας σε μαλάκωμα του κρέατος και αλλαγές στην υφή του. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα το υπερβολικό μαλάκωμα, το οποίο είναι συνήθως ανεπιθύμητο.

Η ενζυμική δραστηριότητα μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ανάπτυξη δυσάρεστων γεύσεων και οσμών στο κρέας. Αυτό μπορεί να προκύψει από τη διάσπαση αμινοξέων και άλλων ενώσεων, οδηγώντας στην απελευθέρωση πτητικών ουσιών που επηρεάζουν τη

γεύση και το άρωμα. Μπορεί επιπλέον να προκαλέσει όπως ήδη αναφέρθηκε αλλαγές στο χρώμα του κρέατος. Για παράδειγμα, η οξειδωση της μυοσφαιρίνης, μιας χρωστικής ουσίας στο κρέας, μπορεί να οδηγήσει σε αποχρωματισμό, ο οποίος επιφέρει συχνά μια καστανή ή γκριζωπή εμφάνιση.

Αν και η ενζυμική δραστηριότητα είναι ως επί το πλείστον ανεπιθύμητη, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επιθυμητή η ελεγχόμενη ενζυμική δραστηριότητα. Η ξηρή ωρίμανση (dry aging) και η υγρή ωρίμανση (wet aging) είναι διεργασίες που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της γεύσης και της τρυφερότητας ορισμένων κομματιών κρέατος, επιτρέποντας στα ένζυμα να διασπάσουν τις μυϊκές ίνες με την πάροδο του χρόνου. Οι διαδικασίες αυτές παρακολουθούνται προσεκτικά για την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών γεύσης και υφής.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι η έκταση της αυτολυτικής ενζυμικής αλλοίωσης στο επεξεργασμένο κρέας μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος της επεξεργασίας, το συγκεκριμένο προϊόν και οι μέθοδοι συντήρησης που χρησιμοποιούνται. Σε πολλές περιπτώσεις, η αυτολυτική ενζυμική αλλοίωση είναι λιγότερο εμφανής στα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος σε σύγκριση με τα νωπά ή ελάχιστα επεξεργασμένα κρέατα, καθώς τα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος συνήθως υφίστανται διάφορες επεξεργασίες, όπως η ωρίμανση, το κάπνισμα, το μαγείρεμα και η άλεση, που μπορούν να μετουσιώσουν και να αδρανοποιήσουν τα ένζυμα. Επίσης, πολλά επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος περιέχουν πρόσθετα συστατικά και συντηρητικά, όπως παράγοντες ωρίμανσης (π.χ. νιτρώδη και νιτρικά άλατα καθώς τα νιτρώδη που σχηματίζονται όταν ανάγονται από την δράση των μικροβίων είναι σε θέση να δεσμεύουν το οξυγόνο σε μία ζύμη κρέατος, αντιδρώντας χημικά προς την αντίστροφη κατεύθυνση για να σχηματίσουν νιτρικά, αποτρέποντας έτσι τις οξειδωτικές διεργασίες (ταγγισμός) (Honikel 2008)), αντιοξειδωτικά και ρυθμιστές του pH που μπορούν να αναστείλουν την ενζυμική δραστηριότητα.

Τέλος για να αποφευχθεί η αυτολυτική ενζυμική αλλοίωση των κρεατοσκευασμάτων λαμβάνονται συνήθως μέτρα για τον έλεγχο της ενζυμικής δραστηριότητας, όπως ταχεία ψύξη του κρέατος μετά τη σφαγή για την επιβράδυνση των ενζυμικών αντιδράσεων, καθώς και κατάλληλες πρακτικές αποθήκευσης και χειρισμού (Ghaly et al., 2011).

1.3.5 Μέθοδος επεξεργασίας κρεατοσκευασμάτων

Η επεξεργασία των κρεατοσκευασμάτων έχει εμφανή επίδραση στην διατηρησιμότητά τους. Ανάλογα με τον βαθμό της επεξεργασίας του προϊόντος και την προσθήκη ή μη πρόσθετων υλικών διαμορφώνονται το pH και η ενεργότητα νερού (a_w) του προϊόντος, που αποτελούν δύο από τους πιο σημαντικούς ενδογενείς παράγοντες διατηρησιμότητας των κρεατοσκευασμάτων.

1.3.5.1 Επίδραση της μεθόδου επεξεργασίας

Διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με την επεξεργασία του κρέατος μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων. Όσον αφορά τις μεθόδους επεξεργασίας που αποσκοπούν στην επέκταση της διάρκειας ζωής, οι πιο συνηθισμένες είναι η θερμική επεξεργασία (μαγείρεμα), η ξήρανση, η ζύμωση, το κάπνισμα, η ωρίμανση (curing) και η επεξεργασία με υψηλή υδροστατική πίεση (HPP). Αυτές οι μέθοδοι μπορούν ακόμη και να συνδυαστούν μεταξύ τους ή με την προσθήκη πρόσθετων (η χρήση πρόσθετων ουσιών θα εξεταστεί αργότερα) για καλύτερα αποτελέσματα. Επιπλέον μπορούν να βελτιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των κρεατοσκευασμάτων,

επίδραση που δεν θα εξεταστεί στην παρούσα μελέτη.

Η ωρίμανση του κρέατος πραγματοποιείται με την προσθήκη αλάτων με ή χωρίς νιτρώδη ή/και νιτρικά κατά την παρασκευή προϊόντων κρέατος. Η επίδραση της προσθήκης αλάτων θα εξεταστεί στην συνέχεια, όμως είναι βασικό να αναφερθεί ότι ο κύριος τρόπος με τον οποίο βοηθούν στην αύξηση της διατηρησιμότητας των κρεατοσκευασμάτων είναι με την μείωση της ενεργότητας του νερού τους.

Τα ζυμωμένα κρεατοσκευάσματα είναι συνήθως διάφορες ποικιλίες από λουκάνικα, τα οποία αποτελούνται από ένα μείγμα από κιμά, λίπος, παράγοντες ωρίμανσης, κάποια πηγή υδατανθράκων και μπαχαρικά που γεμίζονται σε ζωικά έντερα και αφήνονται για ζύμωση. Οι υδατάνθρακες χρησιμεύουν ως πηγές ενέργειας για τα ήδη υπάρχοντα μικρόβια ή την προστιθέμενη καλλιέργεια ζύμωσης. Οι παραλλαγές στον τύπο και την ποσότητα των πρώτων υλών καθώς και οι συνθήκες ζύμωσης οδηγούν σε μεγάλη ποικιλομορφία όσον αφορά την κυρίαρχη μικροβιακή χλωρίδα. Όταν τα λουκάνικα γεμίζονται με φρέσκο ακατέργαστο κρέας η μικροβιακή τους χλωρίδα κυριαρχείται κυρίως από μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο ωμό κρέας και τα έντερα. Και σε αυτή την περίπτωση η μείωση του pH και της ενεργότητας του νερού που προκύπτουν κατά την ζύμωση είναι οι βασικές παράμετροι που αυξάνουν την διατηρησιμότητα, μαζί όμως με το γεγονός ότι οι ωφέλιμες καλλιέργειες ανταγωνίζονται τους αλλοιογόνους και παθογόνους μικροοργανισμούς (Toldrá, 2010).

Η ξήρανση του κρέατος είναι μια μέθοδος συντήρησης που βασίζεται στην αφαίρεση της υγρασίας από το κρέας. Τα προϊόντα κρέατος συνήθως αποξηραίνονται είτε με την χρήση αέρα σε αεριζόμενους χώρους (δωμάτια ξήρανσης) κρεμασμένα σε κατάλληλα πλαίσια, όπου η ροή, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα ελέγχονται για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροβίων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, ή αποξηραίνονται σε μηχανικούς ξηραντήρες ειδικά σχεδιασμένους για την ξήρανση τροφίμων (η ροή του αέρα, η θερμοκρασία και η υγρασία μπορούν επίσης να ελεγχθούν). Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης οι υδρατμοί εγκαταλείπουν το επιφανειακό στρώμα του προϊόντος εάν η ενεργότητα του νερού του επιφανειακού στρώματος είναι υψηλότερη από τη σχετική υγρασία του αέρα γύρω από το προϊόν. Καθώς η υγρασία μετακινείται από το ένα στρώμα του προϊόντος στο άλλο, συνεχίζει να απελευθερώνεται από την επιφάνεια του κρέατος. Αυτή η απώλεια υγρασίας οδηγεί τελικά σε μείωση της ενεργότητας του νερού. Έτσι, για άλλη μια φορά το κύριο στοιχείο που αυξάνει την διάρκεια ζωής είναι η μείωση της ενεργότητας του νερού (Hui, 2012).

Το κάπνισμα χρησιμοποιείται παραδοσιακά για την προσθήκη γεύσης και την διατήρηση του κρέατος μέσω της έκθεσης του στον καπνό που παράγεται από την καύση ξύλου. Βιομηχανικά το κρέας καπνίζεται συνήθως μέσα σε θαλάμους καπνίσματος, όπου ένα συνεχές ρεύμα θερμού καπνού μαγειρεύει και ξηραίνει τα προϊόντα. Η διάρκεια ζωής των καπνιστών κρεάτων εξαρτάται από το χρόνο και τη θερμοκρασία θέρμανσης κατά τη διάρκεια της διεργασίας, από τη μείωση της ενεργότητας του νερού και από την αντιβακτηριακή και αντιοξειδωτική δράση ορισμένων συστατικών του καπνού. Έτσι, η συντηρητική δράση του καπνίσματος σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα της θερμικής επεξεργασίας, της απώλειας νερού κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της σύνθεσης και την ποσότητα του καπνού που εναποτίθεται στο κρέας (Toldrá, 2010).

Ο μεγαλύτερος σκοπός της θερμικής επεξεργασίας των προϊόντων κρέατος, είτε αυτή γίνεται με το ψήσιμο, τον βρασμό, το κάπνισμα ή την κονσερβοποίηση, είναι η βελτίωση της διάρκειας ζωής τους. Η θερμική επεξεργασία, καταστρέφει σημαντικό αριθμό μικροοργανισμών και βελτιώνει τη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων (με την προϋπόθεση ότι αυτά δεν μολύνονται ξανά μετά την επεξεργασία) μειώνει την περιεκτικότητα του ωμού κρέατος σε νερό, ιδίως στην επιφάνεια του, το οποία με τη σειρά του μειώνει την ενεργότητα του νερού και επίσης παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους και

ακόμη αδρανοποιεί τα ενδογενή πρωτεολυτικά ένζυμα και αποτρέπει την ανάπτυξη δύσοσμων αρωμάτων που οφείλονται στην πρωτεόλυση (Hui, 2012).

Η HPP έχει ως κύριο στόχο την καταστροφή/αδρανοποίηση παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών σε ήδη συσκευασμένα προϊόντα. Ο μηχανισμός χρήσης της και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας θα εξεταστούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος είναι πλέον εμφανές ότι πέρα από την θερμική θανάτωση των μικροοργανισμών που προκύπτει κατά την επεξεργασία οι σημαντικότερες παράμετροι που επηρεάζονται στα κρεατοσκευάσματα είναι το pH και η ενεργότητα του νερού.

1.3.5.2 Επίδραση του pH

Οι επιπτώσεις του pH, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι καθοριστικές στη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων επηρεάζοντας κυρίως τη μικροβιακή ανάπτυξη, τη δραστηριότητα των ενζύμων και τη συνολική ποιότητα των προϊόντων.

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται καλύτερα σε τιμές pH γύρω στο 7,0 (6,6-7,5), ενώ λίγοι αναπτύσσονται κάτω του 4. Τα βακτήρια τείνουν να αναπτύσσονται σε πιο στενά όρια pH από ό,τι οι μούχλες και οι ζύμες, με τα παθογόνα βακτήρια να έχουν τα πιο στενά όρια. Με την μείωση του pH στα κρεατοσκευάσματα είναι δυνατό να ανασταλεί η ανάπτυξη πολλών βακτηρίων αλλοίωσης, όπως τα είδη *Pseudomonas* και *Enterobacter*, καθώς και την ανάπτυξη παθογόνων βακτηρίων όπως η *Salmonella* και το *E. coli*, μειώνοντας τον κίνδυνο τροφιμογενών ασθενειών που σχετίζονται με την κατανάλωση κρέατος. Η αναστολή είναι εφικτή καθώς το χαμηλό pH επηρεάζει τη λειτουργία των ενζύμων των κυττάρων και τη μεταφορά θρεπτικών συστατικών στο κύτταρο. Όμως είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι βακτήρια όπως τα αλλοιογόνα γαλακτικά βακτήρια και κάποια παθογόνα βακτήρια σαν την *Listeria* έχουν την δυνατότητα να συνεχίσουν να λειτουργούν και να πολλαπλασιάζονται ακόμα και σε πιο όξινα περιβάλλοντα. Από την άλλη πλευρά, ένα σχεδόν ουδέτερο pH μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μικροβίων, κυρίως των γαλακτικών βακτηρίων, του *Brochothrix thermosphacta* και παθογόνων μικροοργανισμών όπως το *Clostridium botulinum* και ο *S.aureus* (Blackburn, 2006). Όσον αφορά στο αλκαλικό pH, οι υψηλότερες τιμές pH (12-13) μπορεί να είναι καταστροφικές για τους μικροοργανισμούς, αλλά δεν υπάρχουν αλκαλικά προϊόντα κρέατος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ένζυμα του κρέατος (που δεν έχουν απενεργοποιηθεί μέσω της επεξεργασίας), όπως οι πρωτεάσες και οι λιπάσες, μπορούν να διασπάσουν τις πρωτεΐνες και τα λίπη, οδηγώντας σε ανεπιθύμητες αλλαγές στην υφή και τη γεύση των προϊόντων κρέατος. Τα ένζυμα επηρεάζονται από τη μεταβολή της τιμής του pH. Κάθε ένζυμο έχει επίσης μια τιμή pH στην οποία λειτουργεί με μέγιστη αποτελεσματικότητα. Εάν το pH είναι χαμηλότερο ή υψηλότερο από το βέλτιστο, η δραστηριότητα του ενζύμου μειώνεται έως ότου σταματήσει να λειτουργεί. Δεδομένου ότι τα ένζυμα του κρέατος λειτουργούν καλύτερα σε υψηλότερες τιμές pH, ένα χαμηλότερο pH μπορεί να επιβραδύνει τις ενζυμικές αντιδράσεις, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ποιότητας του κρέατος και στην παράταση της διάρκειας ζωής του.

Το pH επηρεάζει επίσης το χρώμα και την υφή των προϊόντων κρέατος. Στα κρεατοσκευάσματα τα οποία δεν περιέχουν ουσίες που δεσμεύουν την μυοσφαιρίνη τα χαμηλά επίπεδα pH μπορούν να οδηγήσουν σε πιο έντονο κόκκινο χρώμα, λόγω της σταθεροποίησης της μυοσφαιρίνης, και σε πιο σταθερή υφή, η οποία μπορεί να είναι επιθυμητή σε ορισμένες περιπτώσεις (Andrés-Bello et al., 2013).

Έτσι είναι εμφανές ότι οι χαμηλότερες τιμές pH είναι ωφέλιμες για τα κρεατοσκευάσματα, όμως όσον αφορά στη μικροβιακή ασφάλεια τους, το χαμηλό pH δεν επαρκεί και πρέπει να συνοδεύεται από περαιτέρω διαδικασίες οι οποίες αποσκοπούν στην

θανάτωση των μικροοργανισμών. Επιπλέον το τελικό pH των κρεατοσκευασμάτων καθορίζεται από τους παρασκευαστές έχοντας κατά νου, πέρα από την μικροβιακή ασφάλεια και την διατήρηση τις ποιότητας τους, τον τελικό σκοπό των προϊόντων και τις προσδοκίες των καταναλωτών.

1.3.5.3 Επίδραση της ενεργότητας νερού (a_w)

Η ενεργότητα του νερού (a_w) είναι ένας ακόμη κρίσιμος παράγοντας της διάρκειας ζωής των κρεατοσκευασμάτων, κυρίως επειδή επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και τη δράση των ενζύμων.

Γενικά, τα βακτήρια απαιτούν υψηλότερες τιμές a_w για την ανάπτυξή τους από τους μύκητες, με τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια να έχουν υψηλότερες απαιτήσεις από τα θετικά κατά Gram. Τα περισσότερα βακτήρια που προκαλούν αλλοίωση δεν αναπτύσσονται κάτω από $a_w = 0,91$, ενώ οι μύκητες που προκαλούν αλλοίωση μπορούν να αναπτυχθούν σε τιμές μόλις 0,80. Όσον αφορά τα παθογόνα βακτήρια στα τρόφιμα, ο *Staphylococcus aureus* μπορεί να αναπτυχθεί σε τιμές όσο χαμηλά όσο $a_w=0,86$, ενώ το *Clostridium botulinum* δεν αναπτύσσεται κάτω από $a_w=0,94$. Ακριβώς όπως οι ζύμες και οι μούχλες αναπτύσσονται σε μεγαλύτερο εύρος pH από ό,τι τα βακτήρια, το ίδιο ισχύει και για την a_w . Η χαμηλότερη τιμή για τα τροφιμογενών βακτηρίων είναι 0,75 για τα αλατόφιλα, ενώ οι ξηρόφιλες μούχλες και οι ωσμόφιλες ζύμες μπορούν να αναπτύσσονται σε τιμές a_w 0,65 και 0,61, αντίστοιχα. Έτσι, τα προϊόντα κρέατος με υψηλή ενεργότητα νερού έχουν συνθήκες που είναι καταλληλότερες για την ανάπτυξη παθογόνων και αλλοιογόνων οργανισμών (Ghaly et al., 2011).

Όπως και με το pH, τα ένζυμα έχουν ένα βέλτιστο εύρος a_w το οποίο συνήθως είναι σχετικά υψηλό καθώς τα ένζυμα χρειάζονται συνήθως νερό ως μέσο για τις καταλυτικές τους αντιδράσεις. Η μείωση της a_w από το βέλτιστο εύρος οδηγεί σε μείωση της ενζυμικής δραστηριότητας. Επιπλέον πολύ χαμηλά επίπεδα ενεργότητας νερού, μπορεί να οδηγήσουν στη μετουσίωση των ενζύμων, κατά την οποία τα ένζυμα καθίστανται ανενεργά.

Ως εκ τούτου, ο έλεγχος της ενεργότητας του νερού μέσω μεθόδων όπως η ξήρανση, η ωρίμανση κ.α μπορεί να μειώσει τη μικροβιακή ανάπτυξη, και να παρεμποδίσει την ενζυμική δραστηριότητα παρατείνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων. Και πάλι η επιθυμητή ενεργότητα νερού ενός προϊόντος αποφασίζεται με βάση και άλλους παράγοντες πέρα από την διατηρησιμότητα όπως η τελική χρήση του προϊόντος και οι προσδοκίες του καταναλωτή.

1.3.5.4 Πρόσθετες ύλες στα κρεατοσκευάσματα

Οι πρόσθετες ύλες εκτός κρέατος που χρησιμοποιούνται συνήθως σε κρεατοσκευάσματα έχουν ως σκοπό τη βελτίωση διαφόρων χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος, όπως η υφή, η γεύση, η διατηρησιμότητα και η ασφάλεια. Τα πιο συνηθισμένα είναι το αλάτι, οι παράγοντες ωρίμανσης, τα φωσφορικά άλατα, τα αντιοξειδωτικά, οι συνδετικοί παράγοντες κρέατος (binders), οι ενισχυτές γεύσης, τα συντηρητικά, οι χρωστικές και τα μέσα οξίνισης και οι γαλακτωματοποιητές.

1.3.5.4.1 Αλάτι

Το αλάτι είναι ένα σημαντικό και πανταχού παρόν συστατικό στα προϊόντα κρέατος. Δρα ως ενισχυτικό γεύσης ενισχύοντας τις αλμυρές και τις umami γεύσεις, κάνοντας τα κρεατοσκευάσματα πιο νόστιμα και ελκυστικά. Επιπλέον, βελτιώνει την υφή τους αυξάνοντας την ικανότητα δέσμευσης του νερού, με αποτέλεσμα το κρέας να γίνεται

πιο ζουμερό και τρυφερό, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό στα βαριά επεξεργασμένα προϊόντα.

Το αλάτι δρα επίσης ως φυσικό συντηρητικό, αναστέλλοντας την ανάπτυξη μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση, παρατείνοντας τη διατηρησιμότητα των προϊόντων. Συμβάλλει επίσης στην ενίσχυση του χρώματος στα αλλαντικά και τα επεξεργασμένα κρέατα, δημιουργώντας ροζ ή κόκκινες αποχρώσεις. Όσον αφορά την ασφάλεια, το αλάτι επίσης συμβάλλει στον έλεγχο της ανάπτυξης επιβλαβών μικροοργανισμών σε προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση ή παλαίωση.

Αν και το αλάτι είναι πολύ χρήσιμο, συνδέεται με ορισμένους κινδύνους για την υγεία και καθώς οι καταναλωτές γίνονται όλο και πιο συνειδητοποιημένοι ως προς την υγεία τους, οι κατασκευαστές τροφίμων προσπαθούν να περιορίσουν τη χρήση του. Παρόλα αυτά, παραμένει απαραίτητο για την επίτευξη της επιθυμητής γεύσης, υφής και ποιότητας σε διάφορα κρεατοσκευάσματα (Hui, 2012).

1.3.5.4.2 Παράγοντες ωρίμανσης

Οι παράγοντες ωρίμανσης, όπως το νιτρώδες νάτριο και το νιτρικό νάτριο, χρησιμοποιούνται στα κρεατοσκευάσματα προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η ποιότητα τους.

Μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη επιβλαβών και αλλοιογόνων μικροοργανισμών μέσω της δέσμευσης νερού και της μείωσης της a_w , ιδιαίτερα του *Clostridium botulinum*, του οποίου η δράση έχει ήδη περιγραφεί.

Εκτός από την ασφάλεια, οι παράγοντες ωρίμανσης συμβάλλουν σημαντικά στην ελκυστική εμφάνιση αυτών των προϊόντων. Είναι υπεύθυνοι για το χαρακτηριστικό ροζ ή κόκκινο χρώμα που παρατηρείται στα αλλαντικά. Αυτό το χρώμα οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων ωρίμανσης και της μυοσφαιρίνης του κρέατος, της χρωστικής ουσίας που είναι υπεύθυνη για το φυσικό χρώμα του κρέατος. Οι παράγοντες ωρίμανσης, ιδίως τα νιτρώδη, αντιδρούν με τη μυοσφαιρίνη σχηματίζοντας νιτροσομυοσφαιρίνη, η οποία έχει ροζ ή κόκκινο χρώμα, ανάλογα με τη συγκέντρωσή της και τις συγκεκριμένες συνθήκες επεξεργασίας.

Επιπλέον, οι παράγοντες ωρίμανσης προσδίδουν μια ξεχωριστή γεύση στα αλλαντικά, η οποία τα ξεχωρίζει από τα νωπά κρέατα. Αυτή η γεύση είναι αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων μεταξύ των παραγόντων ωρίμανσης και των πρωτεϊνών, των λιπαρών και άλλων συστατικών του κρέατος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ωρίμανσης. Οι παράγοντες ωρίμανσης, ιδίως το νιτρώδες νάτριο, αντιδρούν με τα αμινοξέα του κρέατος, σχηματίζοντας νιτροζώδεις ενώσεις. Αυτές οι ενώσεις, όπως οι νιτροζαμίνες, είναι υπεύθυνες για τη χαρακτηριστική γεύση των αλλαντικών (Hui, 2012).

Όμως οι παράγοντες ωρίμανσης, ιδίως τα νιτρώδη και νιτρικά άλατα, μπορεί να αποτελούν κίνδυνο για την υγεία. Τα υψηλά επίπεδα νιτρικών και νιτρωδών στη διατροφή έχουν συσχετιστεί με διάφορους πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Η αύξηση των ειδών αζώτου που είναι διαθέσιμα για να συμμετάσχουν σε αντιδράσεις, που προκύπτει από την παρουσία νιτρικών και νιτρωδών, μπορεί να οδηγήσει σε νιτροστικό στρες. Η διαδικασία αυτή μπορεί να προκαλέσει βλάβες στις κυτταρικές δομές, συμπεριλαμβανομένων των λιπιδίων, των μεμβρανών, των πρωτεϊνών και του DNA. Επιπλέον μελέτες έχουν δείξει αντιφατικές αλλά πιθανές συσχετίσεις μεταξύ της πρόσληψης νιτρικών και νιτρωδών από την διατροφή και αυξημένου σχετικού κινδύνου εμφάνισης διαφόρων ειδών καρκίνου. Ο σχηματισμός νιτροζαμινών από νιτρικά και νιτρώδη, ιδίως στα επεξεργασμένα κρέατα, έχει προκαλέσει ανησυχία λόγω των πιθανών καρκινογόνων επιδράσεών τους. Έτσι η χρήση τους ρυθμίζεται από τον νόμο και οι παρασκευαστές τροφίμων πρέπει να διασφαλίζουν ότι υπάρχουν σε ασφαλείς και κατάλληλες συγκεντρώσεις στα προϊόντα (Karwowska et al., 2020).

1.3.5.4.3 Φωσφορικά άλατα

Τα φωσφορικά άλατα χρησιμοποιούνται συχνά σε κρεατοσκευάσματα και μία από τις κύριες λειτουργίες τους είναι η ενίσχυση της κατακράτησης νερού στο κρέας. Αυξάνοντας την ικανότητα δέσμευσης του νερού από τις πρωτεΐνες του κρέατος, τα φωσφορικά άλατα βοηθούν τα προϊόντα κρέατος να συγκρατούν περισσότερη υγρασία κατά την επεξεργασία και το μαγείρεμα. Αυτό οδηγεί σε ένα πιο ζουμερό προϊόν, το οποίο είναι ιδιαίτερος επιθυμητό σε προϊόντα όπως τα λουκάνικα και άλλα επεξεργασμένα κρέατα.

Επιπλέον, τα φωσφορικά άλατα παίζουν καθοριστικό ρόλο στη βελτίωση της υφής των προϊόντων κρέατος. Μπορούν να αποτρέψουν τη μετουσίωση των πρωτεϊνών του κρέατος, εξασφαλίζοντας ότι οι πρωτεΐνες διατηρούν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια πιο ομαλή και ομοιόμορφη υφή.

Ακόμα, παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος εμποδίζοντας την οξείδωση των λιπαρών στο κρέας. Τα φωσφορικά άλατα είναι συνήθως αλκαλικά και αυξάνοντας το pH του κρέατος, δημιουργούν ένα αλκαλικό περιβάλλον όπου οι αντιδράσεις οξείδωσης πραγματοποιούνται πιο αργά. Επίσης έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν μεταλλικά ιόντα όπως ο σίδηρος και ο χαλκός, τα οποία μπορούν να καταλύσουν την οξείδωση των λιπαρών, καθιστώντας τα λιγότερο διαθέσιμα για αντιδράσεις οξείδωσης και άλλους μηχανισμούς.

Συνολικά, η χρήση φωσφορικών αλάτων στα προϊόντα κρέατος βοηθάει στην επίτευξη της επιθυμητής υφής και της παράτασης της διάρκειας ζωής. Όπως όμως όλα τα πρόσθετα τα οποία αναφέρθηκαν ως τώρα, η χρήση τους πρέπει να ρυθμίζεται για λόγους υγείας (Hui, 2012).

1.3.5.4.4 Αντιοξειδωτικά

Τα αντιοξειδωτικά παίζουν καθοριστικό ρόλο στην πρόληψη ή την καθυστέρηση της οξείδωσης των λιπαρών στο κρέας, μια διαδικασία που μπορεί να οδηγήσει σε δυσάρεστες γεύσεις, τάγγισμα και υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος. Ο ρόλος τους έχει ήδη εξεταστεί σε προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου.

1.3.5.4.5 Συνδετικοί παράγοντες

Οι συνδετικοί παράγοντες χρησιμοποιούνται συνήθως στα προϊόντα κρέατος για να βελτιώσουν πρώτα και κύρια την υφή τους αυξάνοντας την ικανότητα τους να δεσμεύουν νερό. Αυτό σημαίνει ότι το κρέας που έχει υποστεί επεξεργασία με συνδετικές ουσίες μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία κατά την επεξεργασία και το μαγείρεμα. Επιπλέον, οι συνδετικοί παράγοντες βοηθούν στη δημιουργία μιας πιο ομαλής και ομοιόμορφης υφής στα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε προϊόντα όπου είναι επιθυμητή μια σταθερή υφή, όπως σε γαλακτωματοποιημένα προϊόντα σαν τα χοτ ντογκ και τα παριζάκια.

Ακόμα, οι συνδετικοί παράγοντες μπορούν να δώσουν βάρος στα προϊόντα κρέατος με λιγότερο ακριβά συστατικά. Με την ενσωμάτωση πρόσθετων συστατικών στο προϊόν, οι κατασκευαστές μπορούν να μειώσουν το κόστος παραγωγής χωρίς να υποβαθμίσουν την ποιότητα του, κάτι ιδιαίτερα που είναι χρήσιμο στην παραγωγή ορισμένων προϊόντων όπως κεφτέδες, τα ρολό και ορισμένα λουκάνικα.

Οι συνδετικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα κρέατος περιλαμβάνουν μια σειρά από συστατικά που επιλέγονται με βάση το συγκεκριμένο προϊόν και τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του. Ορισμένα από τα πιο κοινά συνδετικά

περιλαμβάνουν ψίχουλα ψωμιού, δημητριακά, άμυλα , αυγά, γάλα σε σκόνη, ζελατίνη, πουρέ λαχανικών και υδροκολλοειδή όπως η καραγενάνη, η κόμμι ξανθάνης ή η κόμμι γκουάρ.

1.3.5.4.6 Ενισχυτικά γεύσης

Τα ενισχυτικά γεύσης χρησιμοποιούνται στα προϊόντα κρέατος προκειμένου να εντείνουν τη γεύση τους, κάνοντας τα έτσι πιο ελκυστικά για τους καταναλωτές. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος και τα αλλαντικά, όπου η διαδικασία ωρίμανσης και τα άλλα συστατικά τους μπορούν μερικές φορές να μειώσουν τη φυσική γεύση του κρέατος.

Επιπλέον, οι ενισχυτές γεύσης μπορούν να συμβάλουν στην μείωση της διακύμανσης της γεύσης από παρτίδα σε παρτίδα προϊόντων καθώς κάνουν την γεύση τους πιο ομοιόμορφη. Η μεταβλητότητα στη γεύση του κρέατος που μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες όπως η διατροφή των ζώων και οι συνθήκες επεξεργασίας του μπορεί να μετριαστεί με την προσεκτική χρήση αυτών των πρόσθετων.

Ακόμη, τα βελτιωτικά γεύσης μπορούν να επικαλύψουν τυχόν ανεπιθύμητες γεύσεις που μπορεί να αναπτυχθούν κατά την επεξεργασία ή την αποθήκευση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις όπου οι μέθοδοι συντήρησης, όπως η ωρίμανση ή το κάπνισμα, μπορεί να εισάγουν χαρακτηριστικές αλλά δυνητικά υπερβολικές ή ανεπιθύμητες γεύσεις.

Τέλος, οι πιο συνηθισμένοι που χρησιμοποιούνται σε προϊόντα κρέατος είναι το γλουταμινικό μονονάτριο (MSG), τα εκχυλίσματα ζύμης, οι αρωματικές ουσίες καπνού, τα εκχυλίσματα μανιταριών, διάφορα μυρωδικά και μπαχαρικά και διάφορες σάλτσες (π.χ. σάλτσα σόγιας).

1.3.5.4.7 Συντηρητικά

Η κύρια χρήση των συντηρητικών στα προϊόντα κρέατος είναι η παρεμπόδιση της ανάπτυξης μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ζυμών, μούχλας και παθογόνων μικροοργανισμών, που μπορούν να οδηγήσουν σε αλλοίωση και τροφιογενείς ασθένειες. Μπορούν επίσης να αναστείλουν την οξείδωση των λιπών και τις ενζυματικές αντιδράσεις.

Τα πιο συνηθισμένα συντηρητικά περιλαμβάνουν το νιτρώδες και το νιτρικό νάτριο, το αλάτι, τα αντιοξειδωτικά όπως το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) και οι τοκοφερόλες (βιταμίνη E), το γαλακτικό και το διαξικό νάτριο, το BHA (βουτυλιωμένη υδροξυανισόλη) και το BHT (βουτυλιωμένο υδροξυτολουόλιο) και τα θειώδη άλατα.

Οι δράσεις των περισσότερων από αυτά έχουν αναφερθεί προηγουμένως. Τα BHA και BHT είναι συνθετικά αντιοξειδωτικά που συμβάλλουν στην πρόληψη της οξειδωτικής αλλοίωσης. Το γαλακτικό και το διακετικό νάτριο χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό. Το γαλακτικό νάτριο συμβάλλει στη μείωση της ενεργότητας του νερού, ενώ το διακετικό νάτριο δρα ως αντιμικροβιακός παράγοντας. Τέλος, τα θειώδη άλατα, όπως το θειώδες νάτριο και το δισουλφικό νάτριο, έχουν αντιμικροβιακές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται σε ορισμένα προϊόντα κρέατος. Ωστόσο, καθώς τα θειώδη συνδέονται με αλλεργίες, υπόκεινται σε κανονισμούς σχετικά με τη χρήση τους (Guerrero-Legarreta et al., 2010).

1.3.5.4.8 Χρωστικές ουσίες

Οι χρωστικές ουσίες χρησιμοποιούνται στα προϊόντα κρέατος κυρίως για την βελτίωση της όψης τους. Το χρώμα του κρέατος χρησιμεύει ως σημαντικός δείκτης της φρεσκάδας και της ποιότητας του. Οι ζωντανές, κοκκινωπές-ροζ αποχρώσεις στα

κρεατοσκευάσματα συχνά συνδέονται με τη φρεσκάδα και είναι γενικά πιο επιθυμητές. Ωστόσο, το φυσικό χρώμα του κρέατος μπορεί να υποστεί αλλαγές κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της επεξεργασίας, που έχει ως αποτέλεσμα μια λιγότερο ελκυστική εμφάνιση. Οι χρωστικές ουσίες αντιμετωπίζουν αυτά τα ζητήματα αποκαθιστώντας ή εντείνοντας τις επιθυμητές αποχρώσεις του χρώματος. Επιπλέον, καθώς το χρώμα του κρέατος μπορεί να διαφέρει λόγω παραγόντων όπως η διατροφή των ζώων και οι συνθήκες επεξεργασίας, οι χρωστικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση της διακύμανσης μεταξύ των προϊόντων.

Οι πιο συνηθισμένες χρωστικές που χρησιμοποιούνται στα προϊόντα κρέατος περιλαμβάνουν την καρμίνη, την ελαιορητήνη πάπρικας, το νιτρώδες και νιτρικό νάτριο, το χρώμα караμέλας, τον κουρκουμά και την караμελωμένη ζάχαρη. Αυτές οι χρωστικές ουσίες επιλέγονται με βάση την ικανότητά τους να παρέχουν το επιθυμητό χρώμα, κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο ή καφέ, στα προϊόντα κρέατος.

1.3.5.4.9 Μέσα οξίνισης

Τα συνήθη μέσα οξίνισης που χρησιμοποιούνται στα κρεατοσκευάσματα περιλαμβάνουν το κιτρικό, το γαλακτικό, το οξικό και το φωσφορικό οξύ. Οι ουσίες αυτές δημιουργούν ένα όξινο περιβάλλον στα προϊόντα κρέατος, καθιστώντας το λιγότερο φιλικό στην ανάπτυξη επιβλαβών μικροοργανισμών. Η οξύτητα που εισάγεται από αυτά συμβάλλει επίσης στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων κρέατος επιβραδύνοντας την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση.

Οι ουσίες οξίνισης μπορούν επίσης να βελτιώσουν συνολικά την γεύση των κρεατοσκευασμάτων, καθώς συμβάλλουν σε μια ευχάριστη όξινη γεύση, η οποία μπορεί να συμπληρώσει και να εξισορροπήσει άλλες γεύσεις στο προϊόν, καθιστώντας το πιο ελκυστικό για τους καταναλωτές.

Μπορούν επίσης να επηρεάσουν την υφή των προϊόντων κρέατος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορούν να βοηθήσουν στο μαλάκωμα του κρέατος, διασπώντας τους συνδετικούς ιστούς του.

Τα οξέα παρέχουν επιπλέον ένα μέσο για τη ρύθμιση και τον έλεγχο του pH των κρεατοσκευασμάτων, το οποίο είναι αναγκαίο για τη διασφάλιση της επιθυμητής υφής, εμφάνισης και συνολικής ποιότητας του τελικού προϊόντος. Τέλος, ορισμένα από αυτά, όπως το κιτρικό οξύ, μπορούν ακόμη και να βοηθήσουν στη σταθεροποίηση και διατήρηση του χρώματος των προϊόντων κρέατος (Hui, 2012).

1.3.5.4.10 Γαλακτωματοποιητές

Οι γαλακτωματοποιητές είναι ιδιαίτερος χρήσιμοι στα αλεσμένα και γαλακτωματοποιημένα προϊόντα κρέατος. Βελτιώνουν τη συνολική ποιότητα, την υφή και την εμφάνιση αυτών των προϊόντων. Παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σταθεροποίηση του γαλακτώματος λίπους σε νερό.

Οι γαλακτωματοποιητές έχουν ένα υδρόφιλο και ένα υδρόφοβο άκρο. Αυτή η μοριακή δομή τους επιτρέπει να αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα με τα μόρια λίπους και νερού. Όταν οι γαλακτωματοποιητές προστίθενται σε ένα μείγμα κρέατος, προσανατολίζονται στη διεπιφάνεια μεταξύ σταγονιδίων λίπους και νερού, σχηματίζοντας ένα προστατευτικό στρώμα γύρω από τα σφαιρίδια λίπους. Αυτό το προστατευτικό στρώμα σταθεροποιεί τα σταγονίδια λίπους, εμποδίζοντάς τα να συνενωθούν ή να διαχωριστούν από τη φάση του νερού. Ως αποτέλεσμα, το λίπος παραμένει ομοιόμορφα αιωρούμενο μέσα στο νερό, δημιουργώντας μια ομαλή και ομοιόμορφη υφή στο προϊόν κρέατος.

Ακόμη συμμετέχουν στην ομοιόμορφη κατανομή των συστατικών. Οι γαλακτωματοποιητές συμβάλλουν στη διασφάλιση της ομοιόμορφης διασποράς των διαφόρων συστατικών, συμπεριλαμβανομένων των καρυκευμάτων, των αρωμάτων και των παραγόντων ωρίμανσης, σε όλο το προϊόν. Αυτή η ομοιόμορφη κατανομή οδηγεί σε σταθερή γεύση και χρώμα στο τελικό προϊόν (Guerrero-Legarreta et al., 2010).

1.3.6 Συνθήκες αποθήκευσης κρεατοσκευασμάτων

Οι συνθήκες αποθήκευσης παίζουν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό της διάρκειας ζωής των κρεατοσκευασμάτων. Η πιο σημαντική παράμετρος αποθήκευσης όσον αφορά τη διάρκεια ζωής είναι η θερμοκρασία, όμως επηρεάζεται και από άλλες παραμέτρους, όπως η έκθεση στο φως και η υγρασία του αποθηκευτικού χώρου.

1.3.6.1 Θερμοκρασία αποθήκευσης

Η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι μια σημαντική παράμετρος όσον αφορά τη διάρκεια ζωής όλων των τροφίμων. Στα κρεατοσκευάσματα, η θερμοκρασία αποθήκευσης επηρεάζει κυρίως τον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών, την ενζυμική δράση και τον ρυθμό των οξειδωτικών αντιδράσεων των λιπαρών.

Η μικροβιακή ανάπτυξη και δράση επηρεάζεται κυρίως από την θερμοκρασία. Η θερμοκρασία επηρεάζει την ενζυμική και μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών, επηρεάζοντας δυνητικά και τη διάρκεια της φάσης υστέρησης τους, τον ρυθμό ανάπτυξης τους (τόσο το μέγεθος τους όσο και τον αριθμό των κυττάρων) και τις μολυσματικές ιδιότητες των οργανισμών. Κατά κανόνα η μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες συνεπάγεται μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών στα τρόφιμα ή ακόμα και πλήρης παρεμπόδιση της. Όμως η μικροβιακή χλωρίδα στα προϊόντα κρέατος περιλαμβάνει τόσο παθογόνους όσο και αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς οι οποίοι ως επί το πλείστον ανήκουν στις ψυχρότροφες (μπορούν να αναπτυχθούν και σε θερμοκρασίες κάτω των 10°C) και μεσόφιλες (δεν αναπτύσσονται σε χαμηλές θερμοκρασίες αλλά ταυτοχρόνως δεν εξουδετερώνονται κατά την ψύξη) ομάδες μικροοργανισμών. Αυτό σημαίνει ότι, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως αυτές που επιτυγχάνονται κατά την ψύξη (περίπου 0-4°C), επιβραδύνουν τη μικροβιακή ανάπτυξη, δεν τη σταματούν. Συγκεκριμένα οι ψυχρότροφοι μικροοργανισμοί μπορούν ακόμη να αναπτυχθούν κατά την ψύξη ενώ οι μεσόφιλοι όχι, καθώς όμως η ψύξη δεν τους σκοτώνει, αυτοί παραμένουν στο τρόφιμο και έχουν την δυνατότητα να αναπτυχθούν εάν εμφανιστούν οι κατάλληλες συνθήκες (μια αύξηση της θερμοκρασίας). Από την άλλη πλευρά η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από την θερμοκρασία ψύξης, ακόμα και κατά λίγους βαθμούς, μπορεί να αυξήσει σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης αυτών των μικροοργανισμών.

Ο ρυθμός της οξείδωσης των λιπαρών όπως γενικά οι ρυθμοί των χημικών αντιδράσεων είναι ευθέως ανάλογος της θερμοκρασίας, όπως περιγράφεται από την εξίσωση Arrhenius. Έτσι καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία αποθήκευσης, αυξάνεται και ο ρυθμός οξείδωσης των λιπαρών στα προϊόντα κρέατος, οι επιπτώσεις της οποίας έχει ήδη αναφερθεί. Σε θερμοκρασίες ψύξης ο ρυθμός της οξείδωσης επιβραδύνεται, αλλά επίσης δεν αναστέλλεται πλήρως.

Με ανάλογη λογική και η ενζυμική δραστηριότητα επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Τα ένζυμα λειτουργούν βέλτιστα σε κάποιο θερμοκρασιακό εύρος με τα περισσότερα από αυτά, συμπεριλαμβανομένων και των ενζύμων που απαντώνται στο κρέας, να “προτιμούν” θερμοκρασίες κοντά στους 37-40°C. Έτσι σε θερμοκρασίες ψύξης

επιβραδύνεται σημαντικά η ενζυμική δράση.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση έχουν αρνητικές επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος. Οι διακυμάνσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την επαναλαμβανόμενη αύξηση και μείωση των θερμοκρασιών αποθήκευσης, μπορούν να οδηγήσουν σε διάφορες αρνητικές επιπτώσεις που επηρεάζουν την ποιότητα και την ασφάλεια του κρέατος, καθώς δημιουργούν συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη μικροβίων και την οξειδωση των λιπαρών. Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αποθήκευσης μπορούν να υπάρξουν σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού των κρεατοσκευασμάτων και είναι πραγματικά σημαντικό για την διατήρηση της ασφάλειας και της ποιότητας τους οι παρασκευαστές, οι προμηθευτές και οι καταναλωτές να διασφαλίζουν τις σωστές συνθήκες αποθήκευσης για αυτά.

1.3.6.2 Έκθεση στο φως

Η έκθεση στο φως, ιδίως στην υπεριώδη ακτινοβολία, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος προκαλώντας χημικές αντιδράσεις, αλλαγές στο χρώμα και αλλοιώσεις στην υφή.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το φως μπορεί να προκαλέσει φωτοοξειδωση στα κρεατοσκευάσματα. Αυτή η χημική αντίδραση που προκαλεί την οξειδωση των λιπαρών και των πρωτεϊνών του κρέατος, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία αλλοιωμένων γεύσεων, οσμών και την υποβάθμιση της συνολικής ποιότητας. Στα προϊόντα κρέατος που δεν περιέχουν νιτρώδη και νιτρικά άλατα το φως μπορεί επίσης να συμβάλει στην οξειδωση της μυοσφαιρίνης που οδηγεί σε χρωματικές αλλαγές.

Η παρατεταμένη έκθεση στο φως μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αλλαγές στην υφή των κρεατοσκευασμάτων. Όταν τα κρεατοσκευάσματα βρίσκονται εκτεθειμένα στο φως για μεγάλα χρονικά διαστήματα το εξωτερικό τους μπορεί να γίνει πιο σκληρό και ξερό και να σχηματιστεί σε αυτό κρούστα (αφορά την έκθεση σε δυνατό φως όπως τα φώτα προβολής προϊόντων στο σούπερ μάρκετ). Αυτό μπορεί να τα καταστήσει μη ελκυστικά σε υφή και εμφάνιση.

Για να περιοριστούν οι επιπτώσεις της έκθεσης στο φως, τα κρεατοσκευάσματα είναι καλύτερο να αποθηκεύονται σε δροσερό και σκοτεινό περιβάλλον και σε αδιαφανείς συσκευασίες που εμποδίζουν το φως. Σε χώρους λιανικής πώλησης, ο χρόνος έκθεσης των προϊόντων κρέατος στο φως, ιδίως εάν δεν είναι συσκευασμένα με αδιαφανή υλικά, θα πρέπει να περιορίζεται (Bekbölet, 1990).

1.3.6.3 Υγρασία

Η υγρασία του χώρου αποθήκευσης μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων. Η έκθεση του προϊόντος στις περιβαλλοντικές συνθήκες ,μεταξύ των οποίων και η υγρασία, εξαρτάται από την συσκευασία του, καθώς αυτή μπορεί να επιτρέπει την εισροή ή εκροή υγρασίας. Στην περίπτωση που το προϊόν έχει την δυνατότητα να προσροφά υγρασία από το περιβάλλον του ή να απορρίπτει υγρασία σε αυτό, προβλήματα μπορεί να προκύψουν τόσο όταν η υγρασία αποθηκευτικού χώρου είναι χαμηλή όσο και όταν είναι υψηλή (σε σχέση με την υγρασία του προϊόντος).

Η χαμηλή υγρασία αποθηκευτικού χώρου συνήθως προκαλεί μη μικροβιακή αλλοίωση ή υποβάθμιση των προϊόντων κρέατος . Η χαμηλή υγρασία κατά την ψύξη μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια υγρασίας στο κρεατοσκεύασμα, αφυδατώνοντας και συρρικνώνοντας το, μειώνοντας έτσι το βάρος και την ποιότητα του προϊόντος. Η απώλεια υγρασίας μπορεί επίσης να επιφέρει αλλαγές στην υφή, κάνοντας το κρέας πιο σκληρό.

Από την άλλη πλευρά η υψηλή υγρασία αποθηκευτικού χώρου οδηγεί στην προσρόφιση υγρασίας από το προϊόν. Η αύξηση της υγρασίας (η οποία συνήθως συνοδεύεται με αυξημένη ενεργότητα νερού) στο κρεατοσκεύασμα μπορεί να προωθήσει την ανάπτυξη μικροβίων, καθώς η παρουσία υπερβολικής υγρασίας παρέχει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη μικροοργανισμών οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση και τροφιογενή νοσήματα, μειώνοντας ενδεχομένως τη διάρκεια ζωής τους. Επιπλέον η υπερβολική υγρασία μπορεί να προωθήσει τις αντιδράσεις οξείδωσης των λιπαρών, οδηγώντας στην ανάπτυξη δυσάρεστων γεύσεων και οσμών.

Κεφάλαιο 2ο: Παρασκεύασμα Γαλοπούλας σε Φέτες- Παραγωγική Διαδικασία

2.1 Εισαγωγή

Η παραγωγή προϊόντων κρέατος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει διάφορα στάδια από το αγρόκτημα μέχρι το τραπέζι (farm to fork) το καθένα εκ των οποίων επηρεάζει την τελική ποιότητα του προϊόντος.

Η διαδικασία αρχίζει από τις φάρμες των ζώων. Τα ζώα συνήθως εκτρέφονται, μεγαλώνουν και μεταχειρίζονται προσεκτικά για να διασφαλιστεί η υγεία και η ευημερία τους. Παράγοντες όπως η διατροφή, οι συνθήκες διαβίωσης και η ιατρική περίθαλψη τους παρακολουθούνται στενά για την εξασφάλιση της υψηλής ποιότητας του παραγόμενου κρέατος.

Μόλις τα ζώα φτάσουν στην επιθυμητή ηλικία και μέγεθος, μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας (σφαγεία). Σε αυτές τις εγκαταστάσεις, τα ζώα θανατώνονται, σφάζονται και τα σώματά τους προετοιμάζονται για περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό περιλαμβάνει την αφαίρεση των μη βρώσιμων κομματιών τους και την κοπή τους σε πρωταρχικά κομμάτια.

Μετά την αρχική επεξεργασία το κρέας μεταποιείται περαιτέρω σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων. Διαφορετικά τεμάχια και τύποι κρέατος χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένα προϊόντα. Κατά τη διαδικασία μεταποίησης συχνά προστίθεται μια μεγάλη γκάμα μπαχαρικών, καρυκευμάτων και άλλων συστατικών για την ενίσχυση της γεύσης.

Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος συσκευάζονται και τελικά διανέμονται σε παντοπωλεία, εστιατόρια και άλλα σημεία λιανικής πώλησης.

2.2 Παραγωγική διαδικασία

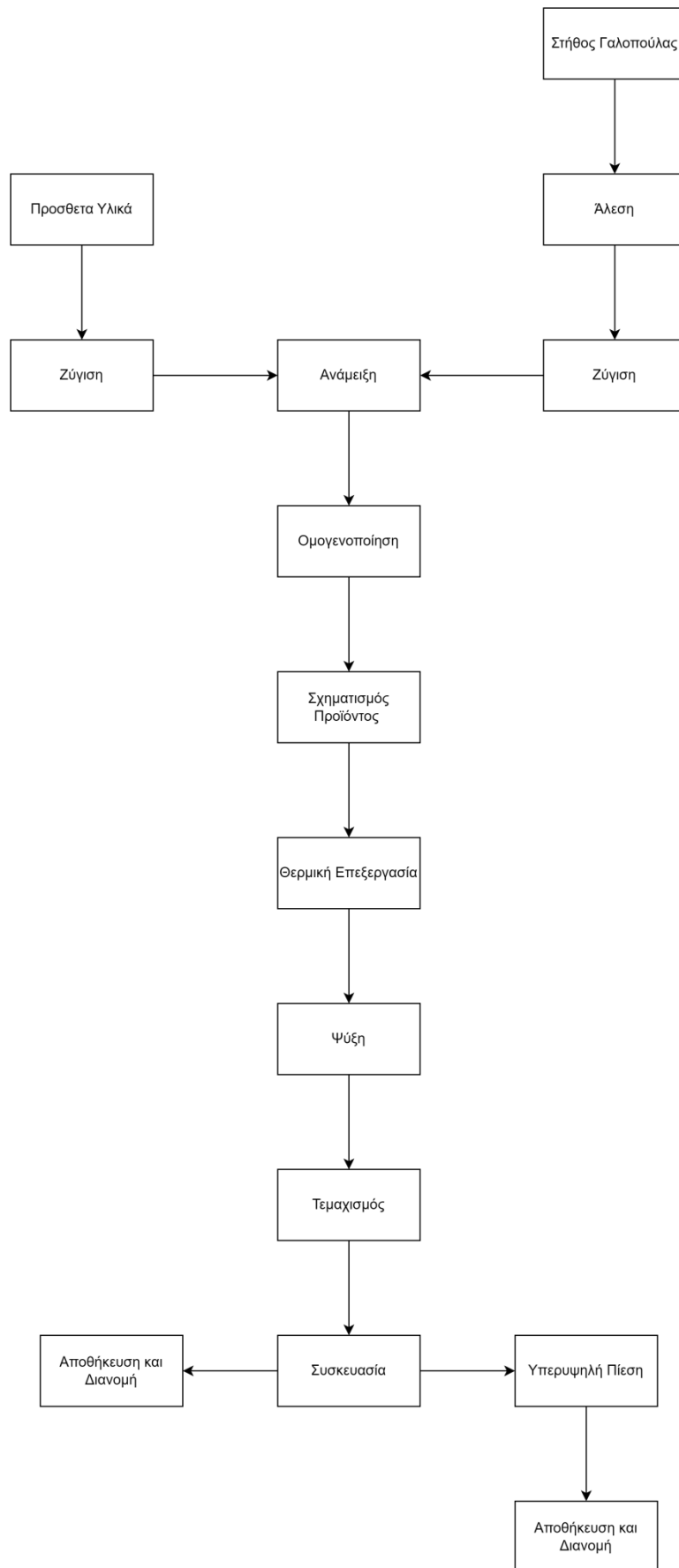
Όσον αφορά στην παραγωγική διαδικασία κρεατοσκευάσματος γαλοπούλας σε φέτες θα δοθεί έμφαση στην παραγωγική διαδικασία του συγκεκριμένου τελικού προϊόντος με αφετηρία την παραγωγή του κρέατος που χρησιμοποιείται.

2.2.1 Περιγραφή διαδικασίας

Η παραγωγή του κρεατοσκευάσματος γαλοπούλας σε φέτες μπορεί να διαφέρει ελαφρώς ανάλογα π.χ. την συνταγή του προϊόντος όμως η γενική διαδικασία παραγωγής παραμένει η ίδια.

Αρχικά, στήθος γαλοπούλας αλέθεται και ζυγίζεται η ποσότητα κρέατος που χρειάζεται για την παρτίδα. Ζυγίζονται επίσης τα απαραίτητα για το προϊόν πρόσθετα και ύστερα το αλεσμένο κρέας αναμειγνύεται μαζί τους. Το μείγμα ομογενοποιείται, του προσδίδεται το κατάλληλο σχήμα (τετράγωνη, στρογγυλή ή οβάλ φρατζόλα) και επεξεργάζεται θερμικά (μαγειρεύεται). Μετέπειτα το προϊόν ψύχεται, τεμαχίζεται σε φέτες και συσκευάζεται στην προδιαγεγραμμένη συσκευασία του. Τελικά το συσκευασμένο προϊόν μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία με υψηλή υδροστατική πίεση ή απλώς να αποθηκευτεί και να παραδοθεί (Sams,2001).

Το κάθε στάδιο της παραγωγής έχει συγκεκριμένο σκοπό και επηρεάζει διαφορετικά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την διατηρησιμότητα του τελικού προϊόντος. Τα επιμέρους στάδια περιγράφονται αναλυτικά στην παρακάτω ενότητα:



Εικόνα 2.1 Διάγραμμα ροής διεργασίας

2.2.2 Άλεση

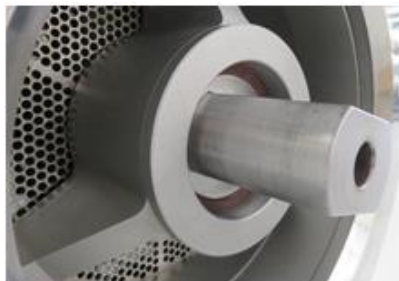
Η άλεση είναι ίσως η πιο συνηθισμένη μέθοδος μείωσης του μεγέθους των κομματιών του κρέατος. Σε αυτή τη διαδικασία, το κρέας περνάει με πίεση μέσα από μια πλάκα άλεσης που μπορεί να έχει ανοίγματα διαφορετικού μεγέθους. Ένας κοχλίας χρησιμοποιείται για την μεταφορά της ενέργειας που απαιτείται για να ωθήσει το κρέας μέσω κινούμενων λεπίδων και μιας πλάκας άλεσης.

Η άλεση του κρέατος βοηθάει και στην καλύτερη ανάμειξη του με τα πρόσθετα υλικά, οπότε είναι αναγκαίο στάδιο πριν την ομογενοποίηση του προϊόντος.

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η συσσώρευση θερμότητας, ιδίως στην περιοχή της κεφαλής όπου το κρέας ωθείται υπό πίεση, οι λεπίδες πρέπει να διατηρούνται αιχμηρές και η πλάκα άλεσης πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση (π.χ. να μην έχει φθαρεί). Επιπλέον, ο κοχλίας θα πρέπει να εφαρμόζει στο σύστημα με ακρίβεια.

Στην περίπτωση που παρατηρηθεί ανομοιομορφία στο μέγεθος του κρέατος που εξέρχεται από τον μύλο, η μηχανή πρέπει να σταματήσει και να απομακρυνθεί τυχόν παγιδευμένος συνδετικός ιστός (ή οποιοδήποτε άλλο εμπόδιο) πίσω από την πλάκα. Ορισμένα από τα νέα σχέδια μύλων άλεσης διαθέτουν ένα σύστημα συνεχούς συλλογής και απομάκρυνσης εμποδίων μέσα από ένα άνοιγμα στο κέντρο της πλάκας, ενώ άλλα εξαναγκάζουν τα σκληρά σωματίδια στο εξωτερικό της πλάκας.

Για την αύξηση της απόδοσης της άλεσης, ορισμένοι μύλοι διαθέτουν πολλαπλά σερτ λεπίδων και πλακών. Το μέγεθος και ο αριθμός των λεπίδων, καθώς και τα ανοίγματα των πλακών, μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με τον απαιτούμενο βαθμό άλεσης. Εάν απαιτείται μεγάλος βαθμός μείωσης του μεγέθους (όπως στην περίπτωση του κρεατοσκευάσματος γαλοπούλας), το κρέας αλέθεται πρώτα μέσω μιας πλάκας με μεγάλο άνοιγμα και στη συνέχεια μέσω μιας πλάκας με μικρότερες οπές (Barbut, 2002).



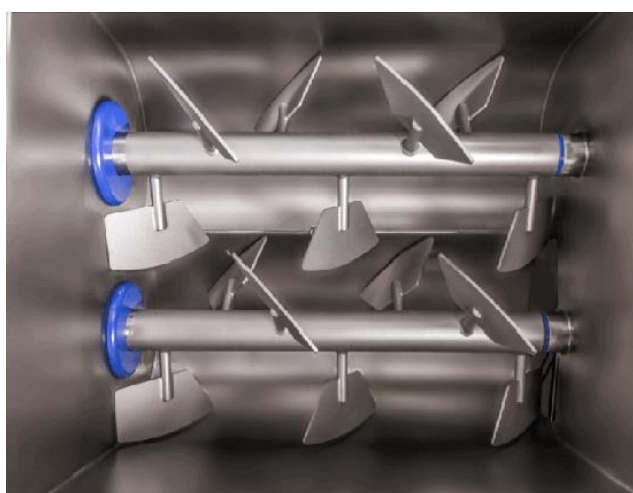
Εικόνα 2.2 Παράδειγμα μηχανής άλεσης κρέατος
Μηχανή άλεσης κρέατος (αριστερά)
Βάση για τις λεπίδες και πλάκα άλεσης (πάνω δεξιά)
Κοχλίας μεταφοράς κρέατος (κάτω δεξιά)
Ιδιοκτησία της Pacific Food Machinery, Αυστραλία

2.2.3 Ανάμειξη

Η ανάμειξη είναι ένα άλλο πολύ σημαντικό βήμα στην παραγωγή προϊόντων κρέατος. Χρησιμοποιείται κυρίως για την ομοιομορφία του προϊόντος και την ανάμειξη των συστατικών, εκτός από κρέας (π.χ. αλάτι, μπαχαρικά) μέσα στο μείγμα του κρέατος, αλλά μπορεί επίσης να βοηθήσει στην εξαγωγή των αλατοδιαλυτών πρωτεϊνών από τον μυ, παρέχοντας μηχανική ανάδευση και ενισχύοντας την απορρόφηση του διαλύματος άλμης στη δομή του μυός (όταν χρησιμοποιείται άλμη).

Τα μίξερ χρησιμοποιούν “κουπιά” ή λεπίδες τοποθετημένα σε έναν οριζόντιο άξονα για την ανάμειξη του κρέατος μέσα σε έναν θάλαμο. Για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ανάμειξη με οποιονδήποτε μίξερ, η ανάμειξη πρέπει να ελέγχεται με ακρίβεια (κάτι που μπορεί να γίνει π.χ. με τη χρήση χρωστικής τροφίμων ή μικρών κομματιών πάγου που τοποθετούνται σε μία ή μερικές γωνίες του μίξερ). Για να διασφαλιστεί η σωστή ανάμειξη, το μίξερ θα πρέπει να γεμίζει μόνο μέχρι την κορυφή των λεπίδων. Θα πρέπει επίσης να αποφεύγεται η υπερβολική ανάμειξη, διότι μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολικό διαχωρισμό των μυϊκών ινών.

Τα αλεσμένα προϊόντα αναμειγνύονται σε μίξερ μετά την άλεση του ακατέργαστου κρέατος στο επιθυμητό μέγεθος και επιπλέον, τα ομογενοποιημένα κρεατοσκευάσματα συνήθως αναμειγνύονται πριν από την ομογενοποίηση. Αυτό εξασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή όλων των συστατικών (τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για το γαλάκτωμα) (Barbut, 2002).



*Εικόνα 2.3 Παράδειγμα μηχανής ανάδευσης με “κουπιά”
Μηχανή ανάδευσης (αριστερά)
Κουπιά (paddles) (δεξιά)
Ιδιοκτησία της LAKIDIS SA FOOD MACHINERY, Ελλάδα*

2.2.4 Ομογενοποίηση

Σε αυτό το στάδιο, το προϊόν κόβεται και αναμιγνύεται με τη χρήση λεπίδων υψηλής ταχύτητας για το σχηματισμό γαλακτώματος. Το λίπος, οι μύες και ο συνδετικός ιστός του κρεατοσκευάσματος μειώνονται σημαντικά σε μέγεθος και οι μυοϊνδιακές πρωτεΐνες διαλύονται στη συνεχή φάση για να σχηματίσουν ένα γαλάκτωμα λίπους σε νερό στο οποίο οι μυοϊνδιακές πρωτεΐνες όπως η ακτίνη, η μυοσίνη και η ακτομυοσίνη ενεργούν ως γαλακτωματοποιημένοι παράγοντες. Είναι σημαντικό κατά τη διεργασία να παρακολουθείται η θερμοκρασία της ζύμης και ανάδευσης και να διατηρείται κάτω από 10 με 12° C για να αποφεύγεται η τήξη των σφαιριδίων του λίπους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό και τη σταθερότητα της ζύμης περιλαμβάνουν, πέρα από τη θερμοκρασία κατά το σχηματισμό του γαλακτώματος, το μέγεθος των σωματιδίων του λίπους σε αυτό, το pH, την συγκέντρωση και τον τύπο της διαλυτής πρωτεΐνης και το ιξώδες της ζύμης (Toldrá, 2010).



*Εικόνα 2.4 Παράδειγμα μηχανής ομογενοποίησης
Μηχανή ομογενοποίησης (αριστερά), Λεπίδα της μηχανής (δεξιά)
Ιδιοκτησία VER Food Solutions, Κίνα*

2.2.5 Σχηματισμός προϊόντος

Ο σχηματισμός του προϊόντος γίνεται με τη χρήση μηχανών διαμόρφωσης (forming machines). Η μηχανή διαμόρφωσης είναι πρακτικά μια πρέσα με διαφορετικά καλούπια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση οποιουδήποτε επιθυμητού σχήματος. Το κρέας τροφοδοτείται από μια άνω χοάνη, είτε με την βοήθεια της βαρύτητας είτε με έναν κοχλία, και γεμίζει ένα καλούπι με το επιθυμητό σχήμα. Η πλάκα του καλουπιού είναι συνήθως κατασκευασμένη από πλαστικό ή μέταλλο και μπορεί να έχει μία μόνο κοιλότητα ή πολλαπλές κοιλότητες για τον σχηματισμό των προϊόντων. Μόλις το καλούπι γεμίσει, υπάρχει ένας μηχανισμός που το αδειάζει από το πλέον σχηματισμένο προϊόν (Barbut, 2002).



*Εικόνα 2.5 Παράδειγμα μηχανής σχηματισμού
Ιδιοκτησία της UltraSource LLC, ΗΠΑ*

2.2.6 Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον μπορεί να γίνει με βρασμό, τη χρήση ατμού ή με θερμό αέρα.

Οι φούρνοι θερμού αέρα, μέσα στους οποίους μπορεί να καπνίζεται ή όχι το προϊόν, είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος θερμικής επεξεργασίας προϊόντων παρόμοιων με τα λουκάνικα (όπως το κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας). Τα κρεατοσκευάσματα τοποθετούνται σε ένα θάλαμο και θερμαίνονται μέσω της θερμότητας που παράγεται από έναν καυστήρα αερίου, ένα ηλεκτρικό στοιχείο ή ένα θερμικό υγρό. Η ποσότητα της υγρασίας στον αέρα, η ροή του αέρα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του προϊόντος και του αέρα, το μέγεθος του προϊόντος και η χωρητικότητα του φούρνου είναι μερικοί από τους κύριους παράγοντες που καθορίζουν το ρυθμό θέρμανσης.

Το μαγείρεμα με τη χρήση νερού, είτε με το βρασμό του προϊόντος είτε με την χρήση ατμού, είναι ένας ταχύτερος τρόπος θερμικής επεξεργασίας του κρεατοσκευάσματος σε σύγκριση με τον θερμό αέρα. Τα υδατόλουτρα και τα ατμόλουτρα είναι ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιείται συχνότερα για αυτό τον σκοπό. Στην περίπτωση αυτή, το προϊόν πρέπει να είναι σφραγισμένο με περιβλήμα το οποίο παρεμποδίζει την εισχώρηση υγρασίας σε αυτό (Barbut, 2002).

Το προϊόν πρέπει να θερμαίνεται σε εσωτερική θερμοκρασία 68,3 έως 73,9 °C για να μετουσιωθεί ή να "σταθεροποιηθεί" η μυοϊνώδης πρωτεΐνη, προκαλώντας το σχηματισμό ενός "πηκτώματος κρέατος" που εγκλωβίζει το λίπος και το νερό σε μια στερεοποιημένη μήτρα. Η θερμική επεξεργασία ακολουθεί συνήθως ένα "σταδιακό πρόγραμμα" έως ότου επιτευχθεί η τελική θερμοκρασία-στόχος (Sams, 2001). Ο χρόνος θερμικής επεξεργασίας του προϊόντος διαφέρει ανάλογα την μέθοδο της επεξεργασίας, το

σχήμα και το μέγεθος του.



*Εικόνα 2.6 Παράδειγμα εργοστασιακού φούρνου
Ιδιοκτησία της Marlen, ΗΠΑ*

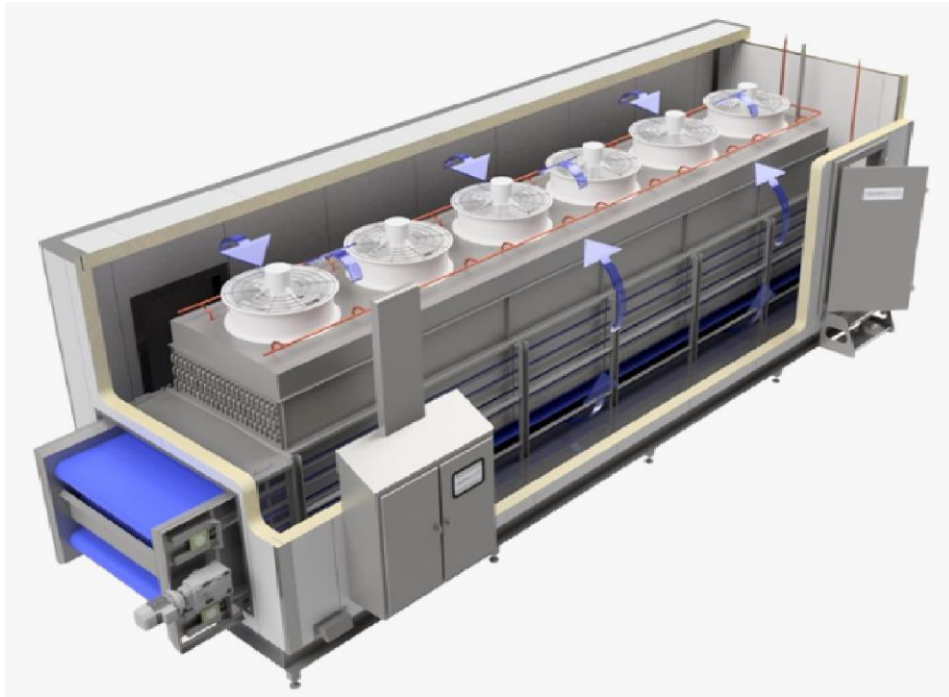
2.2.7 Ψύξη

Μετά τη θερμική επεξεργασία, τα προϊόντα κρέατος βρίσκονται σε αυξημένη θερμοκρασία. Είναι σημαντικό τα προϊόντα αυτά να ψύχονται γρήγορα για να μειωθεί ο χρόνος παραμονής τους στο εύρος θερμοκρασιών 4°C έως 60°C όπου μπορεί να εμφανιστεί ταχεία ανάπτυξη βακτηρίων.

Τα ζεστά προϊόντα κρέατος μεταφέρονται σε καθορισμένο χώρο ψύξης εντός της βιομηχανικής εγκατάστασης. Η περιοχή αυτή είναι εξοπλισμένη με συστήματα ψύξης. Στο βιομηχανικό περιβάλλον χρησιμοποιούνται διάφοροι εξοπλισμοί ψύξης, όπως ψυκτικές κρύου αέρα (ψύξη του προϊόντος με την χρήση ρεύματος ψυχρού αέρα), ψυκτικοί θάλαμοι (ειδικοί χώροι ψύξης που χρησιμοποιούνται για τη σταδιακή ψύξη των προϊόντων) ή σήραγγες ψύξης (συστήματα ψύξης με ελεγχόμενο περιβάλλον που χρησιμοποιούν ρεύματα αέρα ή έναν συνδυασμό αέρα και σταγονιδίων νερού για την ταχεία μείωση της θερμοκρασίας των τροφίμων καθώς αυτά κινούνται κατά μήκος του μάντα μεταφοράς). Τα μηχανήματα αυτά έχουν σχεδιαστεί για να μειώνουν γρήγορα τη θερμοκρασία του προϊόντος. Αισθητήρες θερμοκρασίας και συστήματα παρακολούθησης χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των εσωτερικών και εξωτερικών θερμοκρασιών των προϊόντων κρέατος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ψύξης (Barbut, 2002).

Για να σταθεροποιηθεί το πήκτωμα που σχηματίζεται, η θερμοκρασία του προϊόντος πρέπει να μειωθεί γρήγορα κάτω από τους 37,8°C και στη συνέχεια να ψυχθεί κάτω από τους 4,4°C πριν από τη συσκευασία (Sams, 2001).

Η διάρκεια της διαδικασίας ψύξης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με παράγοντες όπως το μέγεθος, το πάχος και η πυκνότητα του προϊόντος. Ωστόσο, ο στόχος είναι να ψυχθεί το προϊόν σε ασφαλή θερμοκρασία αποθήκευσης ή συσκευασίας το συντομότερο δυνατό.



*Εικόνα 2.7 Παράδειγμα μονάδας ψύξης με αέρα
Ιδιοκτησία της Starfrost Ltd, Ηνωμένο Βασίλειο*

2.2.8 Τεμαχισμός σε φέτες

Ο τεμαχισμός του προϊόντος σε φέτες γίνεται με την χρήση ειδικών τεμαχιστικών μηχανών. Τοποθετώντας τις “φρατζόλες” του κρεατοσκευάσματος στην μηχανή υπό γωνία αυτή με την χρήση μιας μεγάλης κυκλικής λεπίδας τεμαχίζει το προϊόν σε κομμάτια προκαθορισμένου πάχους. Η μηχανή έχει την δυνατότητα να στοιβάζει ένα προκαθορισμένο αριθμό από φέτες με τέτοιο τρόπο ώστε να στοιβάζεται ένα συγκεκριμένο βάρος προϊόντος. Οι στοίβες μετά τον τεμαχισμό, τοποθετούνται σε μεταφορικό ιμάντα και μεταφέρονται σε αυτόματο σταθμό ζύγισης. Οι στοίβες που έχουν υπερβολικό ή ελλιπές βάρος αποσύρονται αυτόματα από τη ροή παραγωγής και το λάθος διορθώνεται χειροκίνητα. Επιπλέον το μηχάνημα τεμαχισμού μπορεί να προγραμματιστεί για να στοιβάζει προϊόντα διαφορετικής διαμέτρου με ή χωρίς την εισαγωγή διαχωριστικού χαρτιού/μεμβράνης μεταξύ των επιμέρους φετών ή στοιβών. Ακόμη, ορισμένες μηχανές μπορούν να αυτοδιορθώνουν τις διακυμάνσεις του βάρους μέσω ενός μηχανισμού ελέγχου που αυξάνει/μειώνει το πάχος των φετών. Αυτό καθίσταται δυνατό λόγω της συνεχούς παρακολούθησης του βάρους. Τέλος συνήθως ο τεμαχισμός του προϊόντος συνδυάζεται με την συσκευασία του.



*Εικόνα 2.8 Παράδειγμα μηχανής τεμαχισμού
Ιδιοκτησία της Jinan Hibest Machinery co. Ltd, Κίνα*

2.2.9 Συσκευασία

Τα κρεατοσκευάσματα συσκευάζονται πριν την επεξεργασία με υπερυψηλή πίεση. Η συσκευασία χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του προϊόντος από την επαναμόλυνση και για να διατηρηθεί η φυσική ακεραιότητα του προϊόντος. Μπορεί όμως να βρει χρήση επίσης ως εργαλείο μάρκετινγκ (π.χ. να περιλαμβάνει διαφημίσεις), κ.λπ. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη και μέθοδοι συσκευασίας κρεατοσκευασμάτων, όμως στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται συσκευασία υπό κενό (vacuum packaging) και εφραπτομένη συσκευασία (vacuum skin packaging). Η διαδικασία της συσκευασίας θα περιγραφεί σε επόμενο τμήμα του κεφαλαίου.

2.2.10 Υπερυψηλή πίεση (High Pressure Processing)

Σε αυτό το στάδιο, τα κρεατοσκευάσματα αρχικά τοποθετούνται σε καλάθια και στη συνέχεια φορτώνονται στη μηχανή επεξεργασίας υψηλής πίεσης. Η μηχανή αυτή διαθέτει ένα δοχείο υψηλής πίεσης το οποίο είναι ικανό να αντέχει ακραίες πιέσεις. Στη μηχανή, η πίεση αυξάνεται ταχύτατα με την εισαγωγή υδροστατικής πίεσης στο δοχείο. Η πίεση εφαρμόζεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το προϊόν, συμπεριλαμβανομένου του κρέατος και της συσκευασίας του. Η πίεση διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, που συνήθως κυμαίνεται από μερικά έως αρκετά λεπτά. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία HPP, η πίεση απελευθερώνεται και οι συσκευασίες αφαιρούνται από τη μηχανή HPP. Οι επιδράσεις της HPP στο προϊόν θα αναλυθούν σε άλλο κεφάλαιο.



*Εικόνα 2.9 Παράδειγμα μονάδας επεξεργασίας με υπερυψηλή πίεση
Ιδιοκτησία της Hiperbaric SA, Ισπανία*

2.2.11 Αποθήκευση και διανομή

Μετά και το τελικό στάδιο επεξεργασίας τα προϊόντα αποθηκεύονται υπό ψύξη μέχρι την διανομή τους. Η αποθήκευση και διανομή μετά την παραγωγή είναι καθοριστικές για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας του προϊόντος.

Η διάρκεια αποθήκευσης των κρεατοσκευασμάτων στο εργοστάσιο εξαρτάται από τον τύπο του προϊόντος. Τα μη κατεψυγμένα και μη μικροβιολογικά σταθερά προϊόντα, όπως το κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας, έχουν μικρότερη διάρκεια αποθήκευσης σε σχέση με τα κατεψυγμένα ή μικροβιολογικά σταθερά προϊόντα που μπορούν να αποθηκευτούν για αρκετούς μήνες. Οι εγκαταστάσεις ψύξης του εργοστασίου διατηρούν το προϊόν σε θερμοκρασίες συνήθως μεταξύ -2°C και 0°C για να εμποδίσουν την ανάπτυξη βακτηρίων και να επιβραδύνουν οξειδωτικές αντιδράσεις που μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση.

Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης πρέπει να διενεργούνται τακτικές επιθεωρήσεις και ποιοτικοί έλεγχοι προκειμένου να διασφαλίζεται ότι τα αποθηκευμένα προϊόντα κρέατος πληρούν τα πρότυπα ασφάλειας και ποιότητας. Αυτό περιλαμβάνει την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της κατάστασης του προϊόντος. Εάν διαπιστωθεί ότι κάποιο προϊόν είναι αλλοιωμένο ή έχει διατηρηθεί μετά το πέρας της ημερομηνίας λήξης του, απομακρύνεται και απορρίπτεται κατάλληλα για να αποφευχθεί οποιαδήποτε μόλυνση ή κίνδυνος για την υγεία.

Μόλις τα προϊόντα κρέατος είναι έτοιμα για διανομή, φορτώνονται σε φορτηγά ψυγεία ή εμπορευματοκιβώτια για τη διατήρηση της ψυκτικής αλυσίδας και τη διατήρηση της ακεραιότητας του προϊόντος. Οι διαδρομές και τα χρονοδιαγράμματα διανομής πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά, ώστε να διασφαλίζεται η έγκαιρη παράδοση στους λιανοπωλητές, τους χονδρέμπορους ή άλλους πελάτες. Κατά τη διάρκεια της διανομής, οι κατάλληλες πρακτικές χειρισμού είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή διασταυρούμενης μόλυνσης και τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων.

2.3 Συσκευασία

Στα προϊόντα τα οποία μελετήθηκαν χρησιμοποιούνται, όπως ήδη αναφέρθηκε, συσκευασία υπό κενό (vacuum packaging) και εφαπτομένη συσκευασία (vacuum skin packaging). Ενώ και τα δύο είδη συσκευασίας περιλαμβάνουν τη δημιουργία κενού (η εφαπτόμενη συσκευασία είναι ένα είδος συσκευασίας υπό κενό), διαφέρουν ως προς τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την συσκευασία και τις συγκεκριμένες εφαρμογές για τις οποίες είναι κατάλληλα.

2.3.1 Διαδικασία συσκευασίας

Η διαδικασία της συσκευασίας των κρεατοσκευασμάτων διαφέρει ανάλογα τον τύπο της συσκευασίας και την μηχανή συσκευασίας που χρησιμοποιείται. Όσον αφορά την συσκευασία υπό κενό οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μηχανές είναι οι μηχανές θαλάμου κενού και οι μηχανές κενού με ακροφύσιο. Στην εφαπτόμενη συσκευασία τα μηχανήματα τα οποία χρησιμοποιούνται λειτουργούν με πανομοιότυπο τρόπο.

Τα βασικά μέρη στις μηχανές συσκευασίας κενού με ακροφύσιο είναι ο θάλαμος της μηχανής, το ακροφύσιο που λειτουργεί ως αντλία κενού και ο μηχανισμός σφράγισης. Αρχικά το προϊόν, το οποίο εμπεριέχεται σε μία εύκαμπτη σακούλα φτιαγμένη από πολλαπλές στρώσεις του κατάλληλου πολυμερούς, τοποθετείται στην επιφάνεια της μηχανής. Κατά τη λειτουργία της, το ακροφύσιο τοποθετείται στη σακούλα και της αφαιρεί όλο τον περιεχόμενο αέρα. Τελικά η σακούλα σφραγίζεται από το μηχανισμό σφράγισης με την εφαρμογή θερμότητας με το λιώσιμο του πολυμερούς και το προϊόν απομακρύνεται. Οι μηχανές αυτού του τύπου μπορούν να συσκευάσουν περιορισμένο αριθμό προϊόντων ανά παρτίδα.

Οι μηχανές θαλάμου κενού αποτελούνται από τον θάλαμο κενού, την αντλία κενού και τον μηχανισμό σφράγισης. Η σακούλα που περιέχει το κρέας τοποθετείται αρχικά στον θάλαμο κενού. Μόλις κλείσει το καπάκι του θαλάμου, εφαρμόζεται κενό και ο αέρας απομακρύνεται από αυτόν (το επίπεδο του κενού μπορεί να ρυθμιστεί στα περισσότερα μηχανήματα). Στη συνέχεια, αντίστοιχα, η σακούλα σφραγίζεται και το προϊόν απομακρύνεται. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει σε παρτίδες (δηλαδή κάθε συσκευασία να τοποθετείται και να αφαιρείται χειροκίνητα από το θάλαμο) ή ως συνεχής διεργασία, όπου η διεργασία που αναφέρθηκε γίνεται αυτόματα. Η διαδικασία αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι πολλαπλές συσκευασίες μπορούν να φορτωθούν στον θάλαμο κενού ταυτοχρόνως αυξάνοντας σημαντικά την παραγωγικότητα, γεγονός που την κάνει πιο ελκυστική (Yamaguchi, 1990).

Τέλος, για την εφαπτόμενη συσκευασία τα προϊόντα τοποθετούνται αρχικά χειροκίνητα ή αυτόματα πάνω σε πλαστικές βάσεις (οι οποίες μπορεί να είναι εύκαμπτες ή άκαμπτες) στην περιοχή φόρτωσης του μηχανήματος και μετέπειτα καλύπτονται με μία εύκαμπτη μεμβράνη. Ύστερα με την εφαρμογή θερμότητας στην μεμβράνη, αυτή παίρνει το σχήμα του προϊόντος καλύπτοντάς το πλήρως και τελικά σφραγίζεται με αυτό κολλώντας πάνω στην βάση του. Τελικά, οι συσκευασίες διαχωρίζονται αυτόματα με την κοπή της μεμβράνης στην περίμετρο της βάσης. Αυτή η μέθοδος συσκευασίας αναδεικνύει την εμφάνιση του προϊόντος αυξάνοντας πιθανώς έτσι την αξία του.



Εικόνα 2.10 Παραδείγματα μηχανών συσκευασίας κενού και εραπτόμενης συσκευασίας
Μηχανή θαλάμου κενού με δύο θαλάμους (πάνω αριστερά), ιδιοκτησία της AMAC technologies, ΗΠΑ
Μηχανή συσκευασίας κενού με ακροφύσιο (πάνω δεξιά). ιδιοκτησία της Rema engineers, Ινδία
Μηχανή εραπτόμενης συσκευασίας (κάτω), ιδιοκτησία της Enterpack Ltd, Ηνωμένο Βασίλειο

2.3.2 Επίδραση της συσκευασίας στην αλλοίωση

Τα τέσσερα σημαντικότερα προβλήματα που σχετίζονται με τους μηχανισμούς αλλοίωσης των κρεατοσκευασμάτων είναι η μικροβιακή αλλοίωση, η αλλαγή του χρώματος, η οξειδωση των λιπαρών και η απώλεια υγρασίας. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, τα συσκευασμένα κρεατοσκευάσματα τυπικά αλλοιώνονται, πρώτον λόγω αποχρωματισμού, δεύτερον λόγω του οξειδωτικού ταγγισμού του λίπους και, τρίτον, λόγω μικροβιακών αλλαγών.

2.3.2.1 Μικροβιακή ανάπτυξη

Η συσκευασία κενού και η επαπτόμενη συσκευασία είναι αρκετά αποτελεσματικές στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης των παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Καθώς δημιουργούν ένα περιβάλλον χωρίς οξυγόνο, και οι δύο μέθοδοι συσκευασίας εμποδίζουν τον πολλαπλασιασμό των αερόβιων βακτηρίων που απαιτούν οξυγόνο για την ανάπτυξή τους. Αυτή η μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου επιβραδύνει τη διαδικασία μικροβιακής αλλοίωσης, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος. Η αλλοίωση αναπτύσσεται σε μεταγενέστερο χρόνο ως συνέπεια του πολλαπλασιασμού των βραδύτερα αναπτυσσόμενων οργανισμών που ανέχονται τις αναερόβιες συνθήκες. Έτσι μικροοργανισμοί όπως ο *Brochothrix Thermosphacta* και τα γαλακτικά βακτήρια, αναλόγως με τις συνθήκες διατήρησης και τη σύσταση του κρεατοσκευάσματος, μπορούν να γίνουν οι κυρίαρχοι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί στο προϊόν. Αυτοί οι μικροοργανισμοί έχουν λιγότερο ανεπιθύμητα αποτελέσματα αλλοίωσης, όπως η παραγωγή γαλακτικού οξέος, που προκαλεί ξινή γεύση και ο σχηματισμός βλέννας. Η παρατεταμένη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος σε αυτά τα συστήματα συσκευασίας οφείλεται πιθανώς στον πολύ αργό ρυθμό ανάπτυξης αυτών των μικροοργανισμών στις συνθήκες που δημιουργούν και στα πιο ήπια αποτελέσματα αλλοίωσης που παράγονται σε σύγκριση με μικροοργανισμού όπως αυτοί της οικογένειας *Pseudomonas spp* (Toldrá, 2010).

2.3.2.2 Μεταβολή του χρώματος

Κατά τη διαδικασία της παραγωγής κρεατοσκευασμάτων στα οποία προστίθενται νιτρικά και νιτρώδη άλατα, το μονοξειδίο του αζώτου που σχηματίζεται από αυτά αντιδρά με τη μυοσφαιρίνη σχηματίζοντας νιτροζυλομυοσφαιρίνη, η οποία δίνει το χαρακτηριστικό ροζ χρώμα στα κρεατοσκευάσματα. Αν και αυτή η μορφή μυοσφαιρίνης περιγράφεται συχνά ως σχετικά σταθερή, είναι ευαίσθητη στην οξείδωση, με αποτέλεσμα το ροζ χρώμα να ξεθωριάζει και να γίνεται γκρι, μαυρισμένο ή μερικές φορές άχρωμο. Η οξείδωση καταλύεται από την επαφή με το οξυγόνο, την έκθεση στο φως και τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Η συσκευασία υπό κενό και η επαπτόμενη συσκευασία παίζει κρίσιμο ρόλο στη σταθεροποίηση της χρωστικής των κρεατοσκευασμάτων, διατηρώντας χαμηλά τα επίπεδα οξυγόνου εντός της. Έτσι, η πολύ καλή απομάκρυνση του αέρα από την συσκευασία καθώς και η αποτελεσματική παρεμπόδιση της εισχώρησης του οξυγόνου, είναι απαραίτητη (Lawrence et al., 2018).

2.3.2.3 Οξειδωτική τάγγιση

Η συσκευασία υπό κενό και η επαπτόμενη συσκευασία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της οξείδωσης των λιπαρών στα προϊόντα κρέατος. Αφαιρώντας τον αέρα από το περιβάλλον συσκευασίας, και εμποδίζοντας την έκθεση του προϊόντος στο οξυγόνο του περιβάλλοντος οι μέθοδοι αυτές δημιουργούν αναερόβιες συνθήκες,

περιορίζοντας την έκθεση του κρέατος στο οξυγόνο. Αυτό είναι σημαντικό καθώς η απουσία οξυγόνου επιβραδύνει τις χημικές αντιδράσεις που προκαλούν οξείδωση των λιπαρών η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αλλοιωμένες γεύσεις, τάγγιση και συνολική υποβάθμιση της ποιότητας του κρέατος (Kerry, 2012).

2.3.2.4 Απώλεια υγρασίας

Τα κρεατοσκευάσματα μπορεί να γίνουν ξηρά και σκληρά λόγω της απώλειας υγρασίας όταν είναι εκτεθειμένα στο περιβάλλον. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα κατώτερο προϊόν που δεν είναι ελκυστικό τόσο οπτικά όσο και στην υφή. Δημιουργώντας ένα σφραγισμένο περιβάλλον που μειώνει την έκθεση στον αέρα, η συσκευασία κενού και η εφαπτόμενη συσκευασία συμβάλλουν στη διατήρηση της φυσικής υγρασίας μέσα στο προϊόν κρέατος. Επίσης, η απουσία οξυγόνου που δημιουργείται ελαχιστοποιεί τις οξειδωτικές αντιδράσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια υγρασίας και αφυδάτωση.

2.3.3 Υλικά συσκευασίας

Στις συσκευασίες κενού και στις εφαπτόμενες συσκευασίες οι σακούλες και τα φιλμ που χρησιμοποιούνται είναι πολυστρωματικά και αποτελούνται από διαφορετικά πολυμερή. Τα υλικά του κάθε στρώματος της συσκευασίας εξυπηρετούν έναν διαφορετικό σκοπό, είναι απαραίτητο όμως συνολικά να πληρούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις και να διαθέτουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Σημαντικά χαρακτηριστικά για τις μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι οι καλές ιδιότητες φραγμού, τόσο για τα αέρια όσο και για την υγρασία, λόγω της ανάγκης ελαχιστοποίησης της διαπερατότητας σε οξυγόνο και υγρασία αλλά και τα απαραίτητα φυσικά χαρακτηριστικά.

Η διατήρηση των συσκευασμένων σε κενό τροφίμων εξαρτάται σημαντικά από το φραγμό αερίων του υλικού συσκευασίας, ιδίως από τον φραγμό οξυγόνου. Με τη χρήση υλικού συσκευασίας με υψηλό φραγμό οξυγόνου, ο υψηλός βαθμός κενού στη σακούλα που περιέχει το τρόφιμο μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αν και το απαιτούμενο φράγμα οξυγόνου του υλικού συσκευασίας για τη συσκευασία υπό κενό διαφέρει ανάλογα με τα διάφορα είδη τροφίμων, ο βαθμός φραγμού οξυγόνου πρέπει γενικά να είναι κάτω από $15 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 / 24 \text{ h} \cdot \text{atm}$. PT, PVC, PVA, EVAL, PET, και άλλα χρησιμοποιούνται κυρίως ως τα βασικά υλικά της συσκευασίας. Οι πολυστρωματικές μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι οι μεμβράνες με επικάλυψη K, OPP/EVAL/PE, ONy/PE, PET/PE, Ny/PE, OPP/PVA/PE, κ.ο.κ. Η διαπερατότητα του οξυγόνου στις συσκευασίες κενού έχει ως αποτέλεσμα την άμεση επαφή του οξυγόνου με την επιφάνεια του προϊόντος και μπορεί να προωθήσει την ταχεία ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών στη διεπιφάνεια μεταξύ του προϊόντος και του φιλμ της συσκευασίας καθώς και να επιφέρει αλλοίωση του χρώματος και να επιταχύνει την οξείδωση των λιπαρών. Έτσι ο υψηλός φραγμός (χαμηλή διαπερατότητα οξυγόνου) συνεπάγεται την αύξηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος (Yamaguchi, 1990).

Όσον αφορά στα φυσικά χαρακτηριστικά των πολυμερικών μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία υπό κενό και στην εφαπτόμενη συσκευασία, πρέπει να διαθέτουν ιδιότητες όπως η ελαστικότητα, η οποία τους επιτρέπει να προσαρμόζονται στενά στο σχήμα των προϊόντων κρέατος κατά τη συσκευασία. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην εφαπτόμενη συσκευασία, όπου η μεμβράνη προσκολλάται στενά στην επιφάνεια του προϊόντος. Η δυνατότητα θερμικής σφράγισης είναι επίσης σημαντική, καθώς η δυνατότητα του φιλμ να σφραγίζεται με την εφαρμογή θερμότητας εξασφαλίζει ότι η συσκευασία παραμένει αεροστεγής, αποτρέποντας την είσοδο οξυγόνου και διατηρώντας το κενό στο εσωτερικό της. Θα πρέπει επίσης να διαθέτουν επαρκή

αντοχή και αντίσταση στη διάτρηση, ώστε να προστατεύουν το κρέας από εξωτερικούς μολυσματικούς παράγοντες και φυσικές φθορές. Ακόμη, οι μεμβράνες θα πρέπει να είναι διαφανείς, ώστε να επιτρέπουν στους καταναλωτές να αξιολογούν την οπτική ποιότητα των συσκευασμένων προϊόντων κρέατος.

Τέλος, τα υλικά συσκευασίας πρέπει να είναι αδρανή. Τα υλικά συσκευασίας μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τις ουσίες οι οποίες προσδίδουν τις επιθυμητές γεύσεις των κρεατοσκευασμάτων και έτσι να προκαλέσουν την απώλεια τους ή/και να μεταφέρουν ανεπιθύμητες ουσίες από τα υλικά συσκευασίας στο κρέας, που μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του και να προκαλέσουν ανησυχίες για την ασφάλεια των προϊόντων. Τα πολυαιθυλένια (PE) και τα πολυπροπυλένια (PP) χρησιμοποιούνται συνήθως ως συστατικά επαφής με τα προϊόντα πουλερικών λόγω της χημικής τους αντοχής και αδράνειας, της καλής ιδιότητας φραγμού της υγρασίας και της θερμικής σφράγισης (Kerry, 2012).

Κεφάλαιο 3^ο: Επεξεργασία με Υπερυψηλή Πίεση-High Pressure Processing

3.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία υπό υπερυψηλή πίεση (HPP) είναι μια μη θερμική μέθοδος επεξεργασίας τροφίμων, η οποία χρησιμοποιεί πίεση αντί για θερμότητα για να προκαλέσει παρόμοια αποτελέσματα με την παστερίωση, όσον αφορά στην συντήρηση των τροφίμων, αδρανοποιώντας επιβλαβείς παθογόνους μικροοργανισμούς καθώς και βλαστικούς παράγοντες αλλοίωσης των τροφίμων.

Η HPP χρησιμοποιεί εξαιρετικά υψηλή πίεση (περίπου 400-600 MPa) σε ένα εύρος θερμοκρασιών που κυμαίνεται από 4°C έως <45°C. Έτσι, διατηρούνται οι οργανοληπτικοί και μη παράμετροι ποιότητας των τροφίμων, δηλαδή η θρεπτική αξία, η υφή, η εμφάνιση, η οσμή και η γεύση.

Η HPP μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα σημεία της αλυσίδας επεξεργασίας και συντήρησης τροφίμων. Μπορεί να εφαρμοστεί σε άθικτες ή ελάχιστα επεξεργασμένες πρώτες ύλες και προϊόντα και ως τελική επεξεργασία εντός της συσκευασίας για τη μείωση της πιθανής επαναμόλυνσης του τροφίμου μετά την πρωτογενή επεξεργασία.

Η τεχνική αυτή είναι εξίσου αποτελεσματική για τη συντήρηση υγρών και στερεών τροφίμων υψηλής ενεργότητας νερού και εφαρμόζεται κυρίως σε χυμούς, σάλτσες, ντιπ, θαλασσινά, κρέας/κρεατοσκευάσματα και έτοιμα προς κατανάλωση γεύματα (Ready-to-eat, RTE). Η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη πίεση, το χρόνο και τη θερμοκρασία διατήρησης, τα χαρακτηριστικά του τροφίμου και τον μικροοργανισμό-στόχο.

Καθώς με την HPP ελαχιστοποιείται η θερμική επεξεργασία και η προσθήκη χημικών συντηρητικών κάνει τα τρόφιμα πιο ελκυστικά σε καταναλωτές οι οποίοι αναζητούν λιγότερο επεξεργασμένα προϊόντα.

3.2 Αρχές της μεθόδου

Υπάρχουν δύο γενικές επιστημονικές αρχές που έχουν άμεση σχέση με τη χρήση της HPP στα τρόφιμα, η αρχή του Le Chatelier και η ισοστατική αρχή.

Σύμφωνα με την αρχή του Le Chatelier όταν ένα σύστημα σε ισορροπία διαταράσσεται, το σύστημα αντιδρά με τρόπο που τείνει να ελαχιστοποιήσει τη διαταραχή. Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε φαινόμενο (π.χ. μετάβαση φάσης, χημική αντίδραση) που συνοδεύεται από μείωση του όγκου θα ενισχυθεί από την πίεση. Έτσι η HPP διεγείρει αντιδράσεις που έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου αλλά εξασθενεί τις αντιδράσεις που συνεπάγονται αύξηση του όγκου.

Σύμφωνα με την ισοστατική αρχή η πίεση μεταδίδεται ακαριαία και ομοιόμορφα σε ολόκληρο το δείγμα, εάν αυτό βρίσκεται σε άμεση επαφή με το μέσο πίεσης ή εάν αυτό είναι κλεισμένο μέσα σε ένα εύκαμπτο δοχείο. Έτσι ο χρόνος επεξεργασίας του δείγματος είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος του σε αντίθεση με τη θερμική επεξεργασία (Sun, 2012).

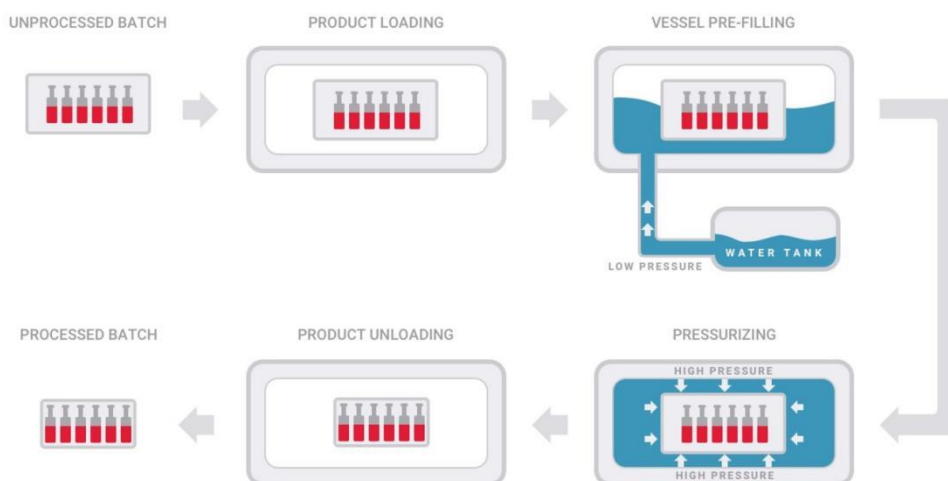
3.3 Περιγραφή της μεθόδου

3.3.1 Η διεργασία

Η HPP σε στερεά τρόφιμα εφαρμόζεται ως διεργασία διαλείποντος έργου, όπου προσσκευασμένα τρόφιμα, τα οποία περιβάλλονται από νερό ή κάποιον άλλο ρευστό μεταδότη πίεσης, υποβάλλονται σε επεξεργασία σε θάλαμο. Έχουν αναπτυχθεί ημι-συνεχή συστήματα για ρευστά τρόφιμα όπου το προϊόν συμπιέζεται χωρίς να είναι συσκευασμένο και στη συνέχεια συσκευάζεται ασηπτικά. Η επεξεργασία των στερεών τροφίμων γίνεται πάντα ενώ είναι συσκευασμένα και σε παρτίδες για να αποφευχθεί ο κίνδυνος επιμόλυνσης μετά την HPP (Farhan et al. 2021).

Σε μία τυπική διεργασία χρησιμοποιούνται συσκευασμένα τρόφιμα σε εύκαμπτη σακούλα ή σε πλαστικό δοχείο. Οι συσκευασίες φορτώνονται στο θάλαμο υψηλής πίεσης. Ο θάλαμος σφραγίζεται και γεμίζει με ένα ρευστό που μεταδίδει πίεση (συνήθως νερό) και πιέζεται με τη χρήση αντλίας υψηλής πίεσης, η οποία εγγεί πρόσθετες ποσότητες ρευστού. Οι συσκευασίες των τροφίμων, που περιβάλλονται από το υγρό μετάδοσης πίεσης, υπόκεινται στην ίδια πίεση που υπάρχει στο ίδιο το δοχείο. Αφού διατηρηθεί το προϊόν για τον επιθυμητό χρόνο στην πίεση-στόχο, το δοχείο αποσυμπιέζεται με την απελευθέρωση του ρευστού που μεταδίδει την πίεση. Για τις περισσότερες εφαρμογές, τα προϊόντα διατηρούνται για 3-5 λεπτά στα 600 MPa. Περίπου 5-6 παρτίδες/ώρα είναι εφικτή ποσότητα, συμπεριλαμβάνοντας τον χρόνο για συμπίεση, συγκράτηση, αποσυμπίεση, φόρτωση και εκφόρτωση. Ελαφρώς υψηλότεροι ρυθμοί μπορεί να είναι δυνατοί με τη χρήση πλήρως αυτοματοποιημένων συστημάτων φόρτωσης και εκφόρτωσης. Μετά την επεξεργασία υπό πίεση, το επεξεργασμένο προϊόν αφαιρείται από το δοχείο και αποθηκεύεται/διανέμεται με συμβατικό τρόπο (Balasubramaniam et al., 2017).

HPP Processing Diagram



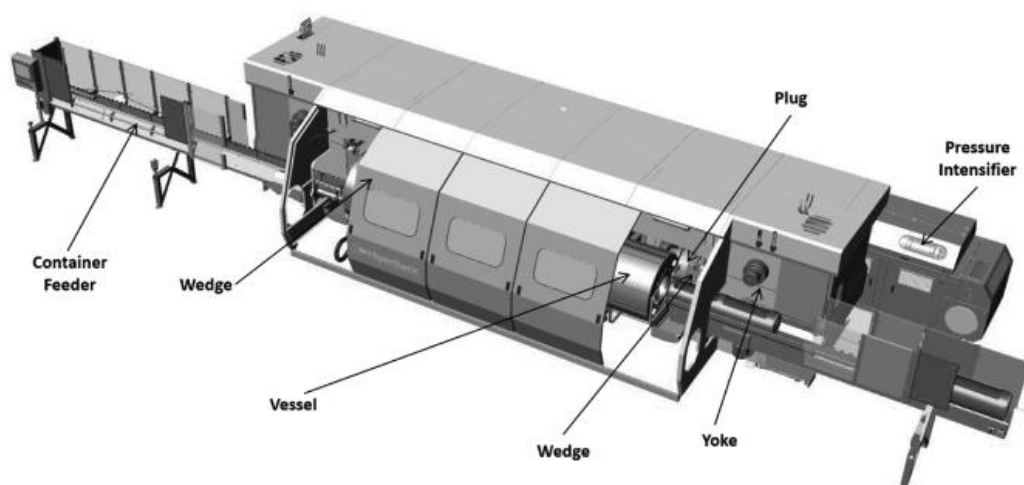
Source: Hiperbaric



*Εικόνα 3.1 Διάγραμμα ροής της HPP και μονάδα HPP
Ιδιοκτησία της Hiperbaric SA, Ισπανία*

3.3.2 Ο Εξοπλισμός

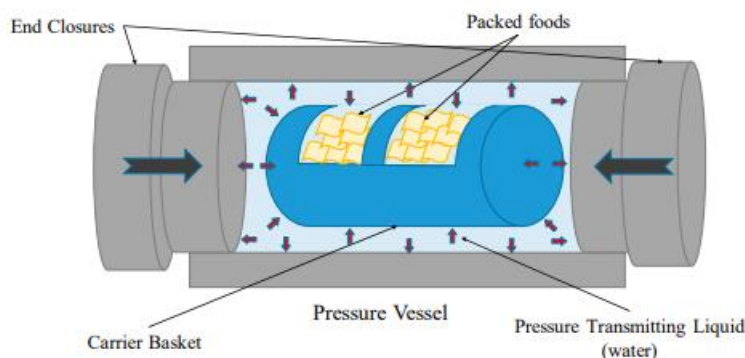
Τα κύρια στοιχεία του εξοπλισμού ενός συστήματος HPP περιλαμβάνουν ένα δοχείο πίεσης, ένα (ή περισσότερα) πώμα(τα) για τη σφράγιση του δοχείου, μια διάταξη για τη συγκράτηση του(ς) στη θέση του(ς) ενώ το δοχείο βρίσκεται υπό πίεση(π.χ. ζυγός ή αλλιώς yoke), μια (ή περισσότερες) αντλία(ες) υψηλής πίεσης (σύστημα πίεσης), ένα σύστημα για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της πίεσης και (προαιρετικά) της θερμοκρασίας και ένα σύστημα μεταφοράς του προϊόντος από και προς το δοχείο πίεσης (αυτόματο ή μη αυτόματο). Για την εισαγωγή και την αφαίρεση προσυσκευασμένων προϊόντων από τα δοχεία πίεσης συνήθως χρησιμοποιούνται διάτρητα καλάθια (Balasubramaniam et al., 2017).



Εικόνα 3.2 Μονάδα HPP με τονισμένα τα κύρια στοιχεία της (Jung et al. 2011)

Δοχείο πίεσης:

Τα εμπορικά δοχεία για τις διεργασίες διαλείποντος έργου έχουν εσωτερικούς όγκους που κυμαίνονται από 30 έως περισσότερα από 600 L και διατίθενται σε οριζόντιες και κάθετες διατάξεις. Για βιομηχανικής κλίμακας εξοπλισμό υψηλής πίεσης που χρησιμοποιείται στην παστερίωση τροφίμων, η θερμοκρασία του θαλάμου πίεσης δεν ελέγχεται, αλλά εξισορροπείται με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για αυτό ο εξοπλισμός συνήθως τοποθετείται σε ένα ψυχρό κλιματιζόμενο δωμάτιο. Η θερμοκρασία της δεξαμενής του ρευστού μετάδοσης πίεσης μπορεί να ελεγχθεί με θέρμανση ή ψύξη μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας με πλάκες .



Εικόνα 3.3 Σχηματική αναπαράσταση του δοχείου πίεσης εν λειτουργία (Balakrishna et al., 2020)

Πώματα:

Και οι δύο άκρες του δοχείου πίεσης σφραγίζονται από δύο πώματα. Στα δοχεία υψηλής πίεσης τα πώματα φθείρονται κατά την χρήση πιο συχνά από τα υπόλοιπα εξαρτήματα του συστήματος και χρειάζονται αντικατάσταση. Η αντικατάστασή τους αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα κόστη συντήρησης των HPP διατάξεων.

Ζυγός ή Yoke:

Ο ζυγός ασφαρίζει τα πώματα του δοχείου μέσω υψηλών αξονικών πιέσεων. Μπορεί να είναι κατασκευασμένος από πλαστικοποιημένες χαλύβδινες πλάκες ή από ένα χαλύβδινο πλαίσιο τυλιγμένο με σύρμα.

Σύστημα άντλησης:

Για να φτάσει το δοχείο πίεσης, το πακεταρισμένο προϊόν και το υγρό μετάδοσης στην επιθυμητή πίεση χρησιμοποιείται ένα σύστημα άντλησης. Το προσυσκευασμένο τρόφιμο τοποθετείται σε ένα καλάθι μεταφοράς και φορτώνεται στο δοχείο πίεσης. Το δοχείο πίεσης κλείνει και ασφαρίζεται από τον ζυγό (yoke). Το δοχείο γεμίζει με το υγρό μετάδοσης με την χρήση μίας αντλίας χαμηλής πίεσης. Τέλος το σύστημα φτάνει στην επιθυμητή πίεση με την χρήση ισχυρών HPP αντλιών.

Υγρό μετάδοσης πίεσης:

Ενώ σε εργαστηριακή κλίμακα χρησιμοποιούνται διάφορα μη διαβρωτικά υγρά μετάδοσης (με βασικό κριτήριο να μην διαβρωτικά για το σύστημα), τα βιομηχανικής κλίμακας συστήματα χρησιμοποιούν μόνο απιονισμένο νερό για υγρό μετάδοσης πίεσης.

Σύστημα ελέγχου:

Ένας υπολογιστής χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο των λειτουργιών των δοχείων πίεσης καθώς και για την τήρηση ηλεκτρονικών αρχείων των διεργασιών. Τυπικές μεταβλητές που παρακολουθούνται από αυτό το σύστημα είναι η πίεση επεξεργασίας, η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής.

3.4 Επίδραση της HPP στην μικροβιολογία των τροφίμων

3.4.1 Εισαγωγή

Η HPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παράταση της διάρκειας ζωής διαφόρων προϊόντων μέσω της απενεργοποίησης μικροοργανισμών. Ειδικά στα προϊόντα κρέατος, η HPP, ως τεχνολογία αδρανοποίησης παθογόνων βακτηρίων όπως η *Salmonella*, το *E. Coli* και η *Listeria*, έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη για την πρόληψη μολύνσεων χωρίς την υποβάθμιση ποιοτικών τους χαρακτηριστικών.

3.4.2 Μηχανισμός απενεργοποίησης

Η αδρανοποίηση των μικροβίων από την πίεση και, επομένως, η μικροβιακή σταθερότητα των τροφίμων λόγω της επεξεργασίας με HPP είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού διαφορετικών παραγόντων, αλλά καθορίζεται από τις επιδράσεις της πίεσης στους μικροοργανισμούς και τη δυνατότητα αυτών να ανακάμψουν μετά την επεξεργασία. Οι αλλαγές στη μορφολογία και τις υποκυτταρικές δομές, καθώς και οι βιοχημικές, φυσιολογικές και γενετικές μεταβολές θεωρούνται κάποιοι από τους παράγοντες που οδηγούν στην αδρανοποίηση των μικροβίων. Για παράδειγμα, λόγω των επιδράσεων της πίεσης στη διπλοστοιβάδα των φωσφολιπιδίων, με αποτέλεσμα τη μετάβαση φάσης και/ή την κρυστάλλωση των φωσφολιπιδίων, συμβαίνουν αλλαγές στη διαπερατότητα και τη ρευστότητα της μεμβράνης το οποίο συνεπάγεται αποσταθεροποίηση του κυττάρου. Η συμπίεση των κενών αερίων, ο διαχωρισμός της κυτταρικής μεμβράνης από το κυτταρικό τοίχωμα, η συστολή του κυτταρικού τοιχώματος με το σχηματισμό πόρων, οι τροποποιήσεις του κυτταροσκελετού και ο σχηματισμός κλώνων, καθώς και οι τροποποιήσεις του πυρήνα και των ενδοκυτταρικών οργανιδίων είναι μερικές ακόμη από τις επιδράσεις που ευθύνονται για τον κυτταρικό θάνατο (Sehrawat et al, 2021).

3.4.3 Επίδραση στα βλαστικά βακτήρια

Η HPP μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αδρανοποίηση των βλαστικών βακτηρίων. Τα βλαστικά βακτήρια είναι οι ενεργά αναπτυσσόμενες και αναπαραγόμενες μορφές βακτηρίων και είναι πιο ευαίσθητα στην HPP σε σύγκριση με τα βακτηριακά σπόρια, τα οποία είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά.

Η υψηλή πίεση διαταράσσει τις κυτταρικές δομές των βλαστικών βακτηρίων, συμπεριλαμβανομένων των κυτταρικών μεμβρανών και των τοιχωμάτων τους. Ως αποτέλεσμα, τα βακτήρια δεν μπορούν πλέον να λειτουργήσουν σωστά και τα κυτταρικά συστατικά τους μπορεί να καταστραφούν ή να μετουσιωθούν.

Η υψηλή πίεση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε αδρανοποίηση των ενζύμων εντός των βακτηριακών κυττάρων. Τα ένζυμα είναι απαραίτητα για διάφορες μεταβολικές διεργασίες στα βακτήρια, και όταν αυτά τα ένζυμα διαταράσσονται από την υψηλή πίεση, τα βακτήρια δεν μπορούν πλέον να εκτελούν τις ζωτικές λειτουργίες τους.

Ακόμα η HPP μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο γενετικό υλικό (DNA) των βλαστικών βακτηρίων. Η βλάβη αυτή μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα των βακτηρίων

να αναπαράγονται και να αναπτύσσονται, καθιστώντας τα ουσιαστικά μη βιώσιμα.

Έτσι, η εφαρμογή της HPP οδηγεί σε σημαντική μείωση του βακτηριακού φορτίου των τροφίμων (Balasubramaniam et al., 2017).

3.4.4 Επίδραση στα βακτηριακά σπόρια

Η HPP μπορεί να προκαλέσει κάποια βλάβη στα βακτηριακά σπόρια, αλλά συνήθως δεν τα αδρανοποιεί πλήρως. Τα σπόρια διαθέτουν προστατευτικά στρώματα που τα καθιστούν ιδιαίτερα ανθεκτικά και η πίεση που ασκείται κατά τη διάρκεια της HPP μπορεί να μην είναι επαρκής για να τα διαπεράσει.

Ενώ τα περισσότερα βλαστικά κύτταρα αδρανοποιούνται στα 400-600 MPa, τα σπόρια ορισμένων ειδών μπορούν να επιβιώσουν σε πιέσεις άνω των 1000 MPa (Sun, 2012). Για παράδειγμα, τα σπόρια των *Bacillus subtilis* και *Bacillus alvei* μπορούν να επιβιώσουν σε γάλα που έχει υποστεί επεξεργασία σε 1,034 MPa για 90 λεπτά στους 35 °C, γεγονός που υποδεικνύει την ακραία ανοχή στην πίεση και ότι η πλήρης αδρανοποίηση των σπορίων μόνο με πίεση δεν είναι δυνατή (Bolumar, 2020). Η HPP μπορεί επίσης να ενεργοποιήσει ορισμένα βακτηριακά σπόρια, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να τα επαναφέρει στην βλαστική τους μορφή. Αυτό μπορεί δυνητικά να οδηγήσει στην ανάπτυξη των βακτηρίων μόλις εκτονωθεί η πίεση, ιδίως εάν το προϊόν αποθηκεύεται σε συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη βακτηρίων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις για να επιτευχθεί η αδρανοποίηση των σπορίων, συχνά χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός μεθόδων επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα HPP μαζί με παστερίωση σε υψηλή θερμοκρασία (Balasubramaniam et al., 2017).

3.4.5 Επίδραση σε ζύμες και μύκητες

Η HPP μπορεί να έχει διαφορετικές επιδράσεις στις ζύμες και τους μύκητες ανάλογα με τις συνθήκες της επεξεργασίας και τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς όμως οι ζύμες και οι μύκητες θεωρούνται γενικά ευαίσθητες στην HPP. Καθώς η HP μπορεί να προκαλέσει μεγαλύτερα καταστροφικά αποτελέσματα σε οργανισμούς με μεγαλύτερο βαθμό δομικής πολυπλοκότητας οι ζύμες και οι μύκητες είναι πιο ευαίσθητοι στην πίεση από ό,τι τα βακτήρια και μπορούν να αδρανοποιηθούν χρησιμοποιώντας σχετικά χαμηλές πιέσεις (Sun, 2012).

3.4.6 Επίδραση στα παράσιτα

Καθώς τα παράσιτα είναι πιο ευαίσθητα στην πίεση από τα βακτηριακά κύτταρα, μπορεί να υποτεθεί ότι τα παράσιτα τα οποία υπάρχουν στα τρόφιμα δεν επιβιώνουν από επεξεργασίες HP που έχουν σχεδιαστεί για την αδρανοποίηση παθογόνων βακτηρίων (Sun, 2012).

3.4.7 Επίδραση στους ιούς

Οι ιοί έχουν υψηλό βαθμό δομικής ποικιλομορφίας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα ευρύ φάσμα ανθεκτικότητας στην πίεση. Όμως η HPP μπορεί να αδρανοποιήσει αποτελεσματικά πολλούς τύπους ιών στα τρόφιμα. Η υψηλή πίεση διαταράσσει τη δομή και τη λειτουργία των ιών, καθιστώντας τους μη μολυσματικούς. Το ικό φορτίο των τροφίμων μπορεί να μειωθεί έως και 6 ή 7 log με την χρήση της HPP ανάλογα τις συνθήκες της διεργασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της πίεσης και ο χρόνος επεξεργασίας, τόσο υψηλότερη είναι η μείωση (Balasubramaniam et al., 2017).

3.4.8 Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της HPP

Η αποτελεσματικότητα της HPP στην αδρανοποίηση μικροοργανισμών εξαρτάται από διάφορους βασικούς παράγοντες.

Αρχικά, το επίπεδο της πίεσης που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της HPP, καθώς οι υψηλότερες πιέσεις τείνουν να είναι πιο αποτελεσματικές στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών. Ωστόσο, η απαραίτητη πίεση διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του μικροοργανισμού και το συγκεκριμένο τρόφιμο που υποβάλλεται σε επεξεργασία.

Η θερμοκρασία είναι ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας στην HPP. Ενώ η ψυχρή επεξεργασία είναι η πιο συνηθισμένη (συνήθως κάτω από 40°C ή 104°F), ορισμένες εφαρμογές περιλαμβάνουν μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας για την ενίσχυση της αδρανοποίησης των μικροβίων.

Η διάρκεια της επεξεργασίας είναι επίσης ένας παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη. Οι μεγαλύτεροι χρόνοι επεξεργασίας οδηγούν γενικά σε μεγαλύτερη αδρανοποίηση των μικροβίων, ωστόσο, μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της ποιότητας του τροφίμου.

Το επίπεδο του pH του τροφίμου μπορεί να επηρεάσει την αδρανοποίηση των μικροβίων κατά τη διάρκεια της HPP. Οι μικροοργανισμοί είναι συχνά πιο ευαίσθητοι στην πίεση σε χαμηλότερα επίπεδα pH, καθιστώντας τα όξινα τρόφιμα πιο προσιτά στην επεξεργασία με HPP.

Η σύνθεση και τα χαρακτηριστικά του τροφίμου παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της HPP. Τα τρόφιμα με υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό, όπως τα φρούτα και τα λαχανικά, παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα από την επεξεργασία με HP, ενώ οι στερεές ή πυκνές δομές τροφίμου μπορεί να απαιτούν πιο έντονες συνθήκες επεξεργασίας (Sehrawat et al, 2021).

Το αρχικό μικροβιακό φορτίο στο τρόφιμο είναι ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα. Ο υψηλότερος αριθμός μικροβίων μπορεί να απαιτεί πιο ισχυρές συνθήκες επεξεργασίας για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο αδρανοποίησης.

Διαφορετικοί μικροοργανισμοί παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα αντοχής στην HPP. Έτσι μπορεί να απαιτούνται προσαρμογές στην πίεση και στους χρόνους επεξεργασίας με βάση τον μικροοργανισμό-στόχο.

Η σωστή μετάδοση της πίεσης είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα της HPP. Έτσι ο τύπος της συσκευασίας που χρησιμοποιείται μπορεί επίσης να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα της HPP. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται εύκαμπτα και συμπίεσιμα υλικά συσκευασίας, καθώς είναι καλύτερα στη μετάδοση της πίεσης σε σύγκριση με τις άκαμπτες συσκευασίες (Sun, 2012).

Τέλος, οι σωστές πρακτικές υγιεινής κατά τον χειρισμό και την αποθήκευση μετά την επεξεργασία είναι απαραίτητες για τη διατήρηση του επιθυμητού επιπέδου μικροβιακού ελέγχου που επιτυγχάνεται μέσω της HPP και για την πρόληψη της επαναμόλυνσης.

3.5 Είδη τροφίμων που μπορούν να επεξεργαστούν με HPP

Σχεδόν όλοι οι τύποι τροφίμων, είτε βρίσκονται σε στερεή, ημιστερεή ή υγρή κατάσταση, μπορούν να υποβληθούν σε HP, όμως είναι καταλληλότερη για τρόφιμα με υψηλή ενεργότητα νερού (a_w). Η HPP είναι μια υδροστατική διαδικασία που βασίζεται στη συμπίεση του νερού για τη μετάδοση της πίεσης. Επομένως, συνιστάται τα τρόφιμα να έχουν ενεργότητα νερού πάνω από 0,96 για να μεγιστοποιηθεί η θανατηφόρα επίδραση στους μικροοργανισμούς. Δηλαδή, η HPP είναι πιο αποτελεσματική σε προϊόντα υψηλής

ενεργότητας νερού επειδή το προϊόν θα έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε ελεύθερο νερό διαθέσιμο για τη μετάδοση της πίεσης, οδηγώντας σε υψηλότερη μικροβιακή αδρανοποίηση και παρατεταμένη διάρκεια ζωής. Για παράδειγμα, λόγω της χαμηλής ενεργότητας νερού του ζαμπόν ξηρής ωρίμανσης (a_w 0,88), η αντίσταση στην πίεση της *Salmonella* spp. σε αυτά τα δείγματα ζαμπόν ήταν υψηλότερη από εκείνη που παρατηρήθηκε σε άλλα μέσα (Sun, 2012).

Η HPP δεν βλάπτει τα περισσότερα τρόφιμα που επεξεργάζονται με υψηλή πίεση, υπό την προϋπόθεση ότι τα τρόφιμα δεν έχουν πορώδη δομή. Τα πορώδη τρόφιμα που έχουν εγκλωβισμένες φυσαλίδες αέρα (π.χ. ψωμί, κέικ, κτλ.) δεν είναι κατάλληλα για HPP επειδή η πορώδης δομή τους θα αλλοιωθεί ή θα διαλυθεί λόγω των διαφορών μεταξύ της συμπίεσής τους και του νερού. Επιπλέον τα τρόφιμα χαμηλής ενεργότητας νερού, όπως τα προϊόντα σε σκόνη και τα αποξηραμένα φρούτα, συνήθως δεν υποβάλλονται σε HPP λόγω της χαμηλής μικροβιακής αδρανοποίησης σε τρόφιμα με ενεργότητα νερού κάτω από 0.8. Τέλος η HPP δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατεψυγμένα τρόφιμα. Οι αλλαγές όγκου λόγω συμπίεσης/αποσυμπίεσης μεταβάλλουν την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και τη σταθερότητα βασικών κυτταρικών συστατικών όπως τα ένζυμα ή οι πρωτεΐνες. Ο πάγος είναι λιγότερο συμπίεσιμος από το υγρό νερό και έτσι προστατεύει τους μικροοργανισμούς από την έντονη συμπίεση και αποσυμπίεση (Sun, 2012).

Οι κατηγορίες τροφίμων που μπορούν να επεξεργαστούν με HP είναι:

- Φρούτα, λαχανικά, χυμοί και προϊόντα τους:

Η επεξεργασία υπό υπερυψηλή πίεση εφαρμόζεται συχνά σε φρούτα και λαχανικά. Βοηθά στη μείωση του μικροβιακού φορτίου και στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, όπως οι χυμοί φρούτων, το γουακαμόλε και τα “φρεσκοκομμένα” προϊόντα.

- Κρέας και θαλασσινά :

Η HPP χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία κρέατος και θαλασσινών. Σκοτώνει αποτελεσματικά παθογόνα μικρόβια όπως η *Salmonella* και η *Listeria* σε προϊόντα όπως αλλαντικά, ωμά ψάρια και οστρακοειδή, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια των τροφίμων και διατηρώντας παράλληλα τη γεύση και την υφή.

- Γαλακτοκομικά προϊόντα:

Γαλακτοκομικά προϊόντα όπως το γάλα, το γιαούρτι και το τυρί μπορούν να υποστούν επεξεργασία με τη χρήση HPP. Αυτή η μέθοδος αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς αλλοίωσης και τα παθογόνα μικρόβια, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής και διατηρώντας τη φρεσκάδα αυτών των προϊόντων.

- Έτοιμα για κατανάλωση (RTE) γεύματα:

Η HPP χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στην παραγωγή έτοιμων προς κατανάλωση γευμάτων, που συμπεριλαμβάνουν σούπες, σάλτσες και συσκευασμένα γεύματα. Βελτιώνει την ασφάλεια και τη γεύση αυτών των προϊόντων, καθιστώντας τα πιο βολικά για τους καταναλωτές.

- Βρεφική τροφή :

Η επεξεργασία υψηλής πίεσης χρησιμοποιείται για την παραγωγή ασφαλών και θρεπτικών βρεφικών τροφών. Εξασφαλίζει ότι τα τρόφιμα είναι απαλλαγμένα από επιβλαβή βακτήρια, ενώ διατηρεί τις φυσικές γεύσεις και τα θρεπτικά συστατικά τους.

3.6 Επίδραση της HPP στην χημεία και την ποιότητα των τροφίμων

3.6.1 Εισαγωγή

Η HPP έχει ελάχιστες επιδράσεις σε βιταμίνες, αντιοξειδωτικά, άλλα θρεπτικά συστατικά και ενώσεις που προσδίδουν γεύση, άρωμα και θρεπτική αξία στο τρόφιμο. Επιπλέον, βοηθά στην καλύτερη διατήρηση αυτών των ενώσεων σε σύγκριση με τις συμβατικές θερμικές διεργασίες. Αυτό συμβαίνει επειδή η HPP δεν σπάει ομοιοπολικούς δεσμούς και επηρεάζει μόνο ασθενέστερες μη ομοιοπολικές μοριακές αλληλεπιδράσεις όπως δεσμούς υδρογόνου, van der Waals, ηλεκτροστατικές και υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις είναι υπεύθυνες για τη σταθεροποίηση της δευτεροταγούς και τριτοταγούς δομής πρωτεϊνών, σύνθετων υδατανθράκων ή βιολογικών δομών όπως οι διπλοστοιβάδες λιπιδίων των κυτταρικών μεμβρανών.

3.6.2 Πρωτεΐνες

Η μετουσίωση των πρωτεϊνών ή οι αλλαγές στη διαμόρφωσή τους κατά την προετοιμασία, την επεξεργασία, την αποθήκευση ή την κατανάλωση των τροφίμων μεταβάλλουν σημαντικά τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών και οδηγούν σε αλλαγές στην ποιότητα και τις οργανοληπτικές ιδιότητες των τροφίμων. Η πίεση μπορεί να προκαλέσει μετουσίωση πρωτεϊνών ή αλλαγές στην διαμόρφωση, επηρεάζοντας τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών στα τρόφιμα. Ο μηχανισμός της μετουσίωσης των πρωτεϊνών που προκαλείται από υψηλή πίεση είναι διαφορετικός από αυτόν που οφείλεται στη θερμότητα.

Η τροποποίηση των πρωτεϊνών υπό υψηλή πίεση περιλαμβάνει αλλαγές της δευτεροταγούς, τριτοταγούς και τεταρτοταγούς δομής των πρωτεϊνών από την αρχική τους κατάσταση. Η υψηλή πίεση μεταβάλλει τη δομή των πρωτεϊνών κυρίως με τη ρήξη ή το σχηματισμό μη ομοιοπολικών δεσμών, υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων και δεσμών υδρογόνου. Η υψηλή πίεση προκαλεί επίσης το σχηματισμό νέων δισουλφιδικών δεσμών που σταθεροποιούν τις μετουσιωμένες πρωτεΐνες ή παράγουν συσσωμάτωση πρωτεϊνών. Ωστόσο, οι συνθήκες για τη μετουσίωση ή την τροποποίηση των πρωτεϊνών τροφίμων με υψηλή πίεση εξαρτώνται από τη δομή των μεμονωμένων πρωτεϊνών. Γενικά όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός δισουλφιδικών δεσμών στην αρχική κατάσταση μιας πρωτεΐνης, τόσο πιο ανθεκτική είναι στις υψηλές πιέσεις (Balasubramaniam et al., 2017).

Οι λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών επίσης επηρεάζονται από την υψηλή πίεση. Η διαλυτότητα, ζελοποίηση, γαλακτωματοποίηση, αφρισμός, δέσμευση, πήξη και ικανότητα συγκράτησης νερού μπορούν να επηρεάσουν θετικά ή αρνητικά την οργανοληπτική και διατροφική ποιότητα των τροφίμων. Για παράδειγμα η HPP μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες πήξης των πρωτεϊνών μεταβάλλοντας τη δομή τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η HPP μπορεί να ενισχύσει το σχηματισμό gel, οδηγώντας στην βελτίωση της υφής και σταθερότητας σε γαλακτοκομικά προϊόντα και τα κρεατοσκευάσματα. Ωστόσο, σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να διαταράξει το δίκτυο του gel, οδηγώντας σε αλλοίωση της υφής ή απώλεια της σταθερότητας.

Τέλος η HPP μπορεί να επηρεάσει τις διατροφικές ιδιότητες των πρωτεϊνών, επηρεάζοντας την πεπτικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητά τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η HPP μπορεί να αυξήσει την πεπτικότητα των πρωτεϊνών, βελτιώνοντας δυνητικά τη διατροφική ποιότητα του τροφίμου. Ωστόσο, μπορεί επίσης να οδηγήσει στο σχηματισμό πρωτεϊνικών συσσωματωμάτων που είναι λιγότερο εύπεπτα.

3.6.3 Ένζυμα

Η επεξεργασία υπό υψηλή πίεση (HPP) είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την αδρανοποίηση των ενζύμων σε διάφορες εφαρμογές στα τρόφιμα και στη βιομηχανία. Η αδρανοποίηση των ενζύμων είναι μια κρίσιμη διαδικασία στη συντήρηση των τροφίμων, καθώς τα ένζυμα μπορούν να καταλύσουν χημικές αντιδράσεις που οδηγούν σε αλλοίωση, αλλοιώσεις γεύσεων και αλλαγές στην υφή και το χρώμα.

Τα ένζυμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις περιβαλλοντικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας και της πίεσης. Γενικά, η αύξηση του επιπέδου πίεσης και θερμοκρασίας κατά την επεξεργασία ενισχύει την αδρανοποίηση των ενζύμων. Η τρισδιάστατη διάταξη της τριτοταγούς και τεταρτοταγούς δομής των πρωτεϊνών τους χάνεται ως επί το πλείστον λόγω της υψηλής πίεσης. Η πίεση πέραν των 150-200 MPa διαταράσσει τους μη ομοιοπολικούς δεσμούς, συμπεριλαμβανομένων των υδρόφοβων δεσμών και των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων, οδηγώντας σε αλλαγές της διαμόρφωσης αυτών των πρωτεϊνικών δομών, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα το ατελές “πακετάρισμα” του πρωτεϊνικού μορίου, τη διάσπαση των ολιγομερών ενζύμων σε υπομονάδες και την αποδίπλωση των πρωτεϊνών με μεγάλες μεταβολές του όγκου (Balasubramaniam et al., 2017).

Όμως, το επίπεδο αδρανοποίησης των ενζύμων κατά την HPP επηρεάζεται από πολλαπλούς παράγοντες όπως η ένταση της διεργασίας (το επίπεδο της πίεσης, το επίπεδο θερμοκρασίας και χρόνος διατήρησης πίεσης-θερμοκρασίας), τη συγκέντρωση ενζύμων, την καθαρότητα των ενζύμων, την πολυπλοκότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών, όπως το pH, οι συγκεντρώσεις αλάτων, η παρουσία αναστολέα/ενεργοποιητή, η σύνθεση του τροφίμου.

3.6.4 Βιταμίνες

Χρησιμοποιώντας πίεση αντί για θερμότητα, η HPP διατηρεί τις βιταμίνες και άλλα ωφέλιμα συστατικά στα τρόφιμα.

Ορισμένες βιταμίνες, όπως η βιταμίνη C και κάποιες βιταμίνες του συμπλέγματος B, είναι πιο ευαίσθητες στη θερμότητα και μπορεί να απολεσθούν κατά τις θερμικές μεθόδους επεξεργασίας. Η HPP συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της απώλειας αυτών των ευαίσθητων στη θερμότητα βιταμινών. Η HPP αποδεδειγμένα διατηρεί αποτελεσματικά την περιεκτικότητα σε βιταμίνη C σε φρούτα και λαχανικά, καθώς και σε βιταμίνες του συμπλέγματος B.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν βιταμίνες όπως οι A και E οι οποίες είναι πιο σταθερές και επηρεάζονται λιγότερο από τη θερμότητα. Η HPP μπορεί να μην επηρεάζει σημαντικά αυτές τις βιταμίνες, καθώς είναι πιο ανθεκτικές.

3.6.5 Επίδραση της HPP σε κρεατοσκευάσματα

Η HPP χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από την βιομηχανία του κρέατος. Ενώ η αδρανοποίηση των μικροβίων σε χαμηλές θερμοκρασίες ήταν ο αρχικός στόχος της τεχνολογίας, η πίεση μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες των πρωτεϊνών του κρέατος και, ως εκ τούτου, η HPP έχει χρησιμοποιηθεί για να κάνει πιο τρυφερό το κρέας και για τον σχηματισμό των δομών κρεατοσκευασμάτων.

3.6.5.1 Μεταβολές στην δομή

Η HPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση πρωτεϊνών μεταξύ τους για την παραγωγή πηκτωμάτων κρέατος και την επίτευξη της επιθυμητής υφής. Η επεξεργασία υπό πίεση συμβάλλει στην ενισχυμένη δέσμευση του προϊόντος μέσω της διαλυτοποίησης των πρωτεϊνών και της πηκτωματοποίησης μέσω του μερικού ξετυλίγματος των πρωτεϊνών. Η πίεση επίσης προκαλεί τροποποιήσεις στην υφή επηρεάζοντας τη δομή των μυοϊνωδών πρωτεϊνών (myofibrillar protein) και τις ιδιότητες σχηματισμού πηκτώματος. Τα πηκτώματα που προκαλούνται από την HP είναι γενικά πιο λεία, πιο γυαλιστερά, λιγότερο σκληρά, πιο ελαστικά και με βελτιωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού σε σύγκριση με τα θερμικά προκαλούμενα πηκτώματα. Η πηκτωματοποίηση των πρωτεϊνών κρέατος που προκαλείται από την HP εξαρτάται από το πρωτεϊνικό σύστημα, τις συνθήκες της HPP (πίεση, χρόνος, θερμοκρασία κτλ.) και το είδος και τη συγκέντρωση αλάτων στην πηκτική (εφόσον υπάρχουν) (Balasubramaniam et al., 2017).

3.6.5.2 Μεταβολές στο χρώμα

Η επεξεργασία με υψηλή πίεση (HP) συχνά οδηγεί σε αποχρωματισμό του νωπού βοείου, αρνίσιου, χοιρινού κρέατος και πουλερικών. Η αλλαγή του χρώματος εξαρτάται από τη φυσική και χημική κατάσταση του κρέατος, ιδίως της μυοσφαιρίνης. Το νωπό κρέας μετά την επεξεργασία με HP συνήθως παρουσιάζει μειωμένη ερυθρότητα η οποία αποδίδεται σε μεγάλο βαθμό στην οξείδωση της έντονα κόκκινης οξυμυοσφαιρίνης ή της πορφυρής δεοξυμυοσφαιρίνης στην καστανόχρωμη μεταμυοσφαιρίνη, καθώς και στη μετουσίωση της μυοσφαιρίνης. Η υψηλή περιεκτικότητα σε μυοσφαιρίνη του κρέατος όπως του βοδινού το καθιστά περισσότερο εκτεθειμένο σε αυτόν τον αποχρωματισμό σε σύγκριση με το λευκό κρέας. Επιπλέον, η επεξεργασία με HP προκαλεί μετουσίωση των μυοϊνωδών πρωτεϊνών που ακολουθείται από συσσωμάτωση, με συνέπεια να αλλάζει η επιφανειακή αντανάκλαση του κρέατος με αποτέλεσμα να αποκτά πιο “φωτεινό” χρώμα (Bak et al. 2017).

Από την άλλη το χρώμα των αλλαντικών οφείλεται κυρίως στην παρουσία νιτροζυλομυοσφαιρίνης, που προκύπτει από την αντίδραση του μονοξειδίου του αζώτου (από νιτρώδες νάτριο ή νιτρικό νάτριο) με τη μυοσφαιρίνη. Έτσι ενώ η HPP προκαλεί δραστικές αλλαγές στο χρώμα του νωπού κρέατος, οι αλλαγές του χρώματος των κρεατοσκευασμάτων είναι αποδεκτές (η νιτροζυλομυοσφαιρίνη είναι πιο ανθεκτική στην οξείδωση) και εξαρτώνται κυρίως από την περιεκτικότητά τους σε νερό και την τιμή της ενεργότητας του νερού.

3.6.5.3 Επίδραση της HPP στην οξείδωση λιπιδίων

Η οξείδωση των λιπαρών αλλοιώνει την οργανοληπτική ποιότητα του κρέατος και των κρεατοσκευασμάτων λόγω των δυσάρεστων οσμών και γεύσεων που προκαλεί. Τα προϊόντα από κρέας πουλερικών, το οποίο περιέχει υψηλά επίπεδα ακόρεστων λιπαρών οξέων, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην οξείδωση των λιπιδίων και στην αλλοίωση της γεύσης.

Υπάρχει πληθώρα μελετών για την επίδραση της HPP στην οξείδωση των λιπαρών. Στις περισσότερες, η οξείδωση αξιολογείται με τη μέτρηση των δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης των λιπιδίων (ουσίες που αντιδρούν με το θειοβαρβιτουρικό οξύ (TBAs)). Το γενικό συμπέρασμα τους είναι ότι η HPP επιταχύνει την οξείδωση των λιπαρών στο νωπό και επεξεργασμένο κρέας, όμως τα επίπεδα οξείδωσης στο τέλος της αποθήκευσης υπό ψύξη είναι παρόμοια με αυτά μαγειρεμένων προϊόντων. Δηλαδή η HPP επηρεάζει τον

ρυθμό της οξείδωσης και όχι το συνολικό επίπεδο της (σε σχέση με τα μαγειρεμένα προϊόντα). Η ελάχιστη πίεση επεξεργασίας στην οποία παρατηρείται η επιτάχυνση του φαινομένου είναι διαφορετική για κάθε είδος κρέατος.

Η προ-οξειδωτική δράση της HPP θεωρείται ότι προκαλείται από την απελευθέρωση ιόντων σιδήρου από τις αιμοπρωτεΐνες, επομένως η οξείδωση των λιπιδίων είναι πιθανό να σχετίζεται με τη μετουσίωση των πρωτεϊνών και ιδιαίτερα της μυοσφαιρίνης. Η έκταση της οξείδωσης μετά την επεξεργασία μπορεί να περιοριστεί με την προσθήκη αντιοξειδωτικών και με την αποθήκευση σε συσκευασίες χωρίς οξυγόνο, δηλαδή με την χρήση συσκευασιών τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) ή συσκευασιών κενού (vacuum packaging) (Bolumar et al.2020).

3.6.5.4 Επίδραση της HPP στην οξείδωση πρωτεϊνών

Οι μυϊκές πρωτεΐνες είναι ευαίσθητες σε οξειδωτικές αντιδράσεις που έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό καρβονυλικών ενώσεων. Η οξείδωση τους οδηγεί σε απώλεια βασικών αμινοξέων και μειωμένη πεπτικότητα, επηρεάζοντας έτσι τη θρεπτική αξία του κρέατος.

Η HPP μειώνει την οξειδωτική σταθερότητα του ωμού και του επεξεργασμένου κρέατος. Σε προϊόντα κρέατος που έχουν επεξεργαστεί με HP, έχει παρατηρηθεί πρωτεϊνική οξείδωση. Το φαινόμενο αυτό όμως δεν έχει κατανοηθεί πλήρως. Η οξείδωση των πρωτεϊνών φαίνεται να λαμβάνει χώρα υπό τις ίδιες συνθήκες πίεσης που απαιτούνται για την οξείδωση των λιπιδίων. Έχει υποτεθεί ότι η απελευθέρωση σιδήρου και άλλων μεταλλικών ιόντων μετά την HPP θα μπορούσε να προάγει τόσο την οξείδωση των λιπιδίων όσο και των πρωτεϊνών. Ωστόσο, η ακριβής αλληλεπίδραση μεταξύ των οξειδωμένων λιπιδίων και των οξειδωμένων πρωτεϊνών παραμένει ασαφής (Sun, 2012).

3.6.5.5 Μεταβολές σε άρωμα και γεύση κρεατοσκευασμάτων

Η γεύση των κρεατοσκευασμάτων επηρεάζεται από πολλαπλές χημικές αντιδράσεις πρωτεϊνών, λιπιδίων και υδατανθράκων αλλά και από την βακτηριακή δραστηριότητα η οποία μπορεί να προκαλέσει αυξημένη οξύτητα και αλλοιωμένες γεύσεις. Όσον αφορά στις αρωματικές ενώσεις αυτές γενικά σχηματίζονται από ενζυμική δράση, τις αντιδράσεις Maillard κατά την θερμική επεξεργασία και αντιδράσεις όπως η οξείδωση των λιπιδίων αλλά και η βακτηριακή αλλοίωση.

Καθώς η HPP είναι αποτελεσματική στην απενεργοποίηση των βακτηρίων αποτρέπει ή τουλάχιστον καθυστερεί/περιορίζει τις ανεπιθύμητες γεύσεις και μυρωδιές που προκαλούν κατά την αλλοίωση. Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και από την απενεργοποίηση των ενζύμων. Επιπλέον η υψηλή πίεση δεν επηρεάζει σημαντικά τις επιθυμητές αρωματικές ενώσεις οι οποίες προκύπτουν από τις αντιδράσεις Maillard. Τέλος ενώ η HPP είναι πιθανό να αυξήσει τον ρυθμό της οξείδωσης λιπαρών στα τρόφιμα, το τελικό επίπεδο της οξείδωσης δεν διαφέρει από ένα μαγειρεμένο προϊόν (Sun,2012).

Συνολικά η HPP είναι αποτελεσματική στην διατήρηση των επιθυμητών χαρακτηριστικών αρώματος και γεύσης των κρεατοσκευασμάτων.

Κεφάλαιο 4^ο: Μελέτη Διατηρησιμότητας - Προρρητική Μικροβιολογία

4.1 Εισαγωγή

Η επιστήμη της προρρητικής μικροβιολογίας επικεντρώνεται στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς των μικροοργανισμών, όπως τα βακτήρια και οι μύκητες, με βάση συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, συνδυάζοντας στοιχεία μικροβιολογίας, μαθηματικών και στατιστικής.

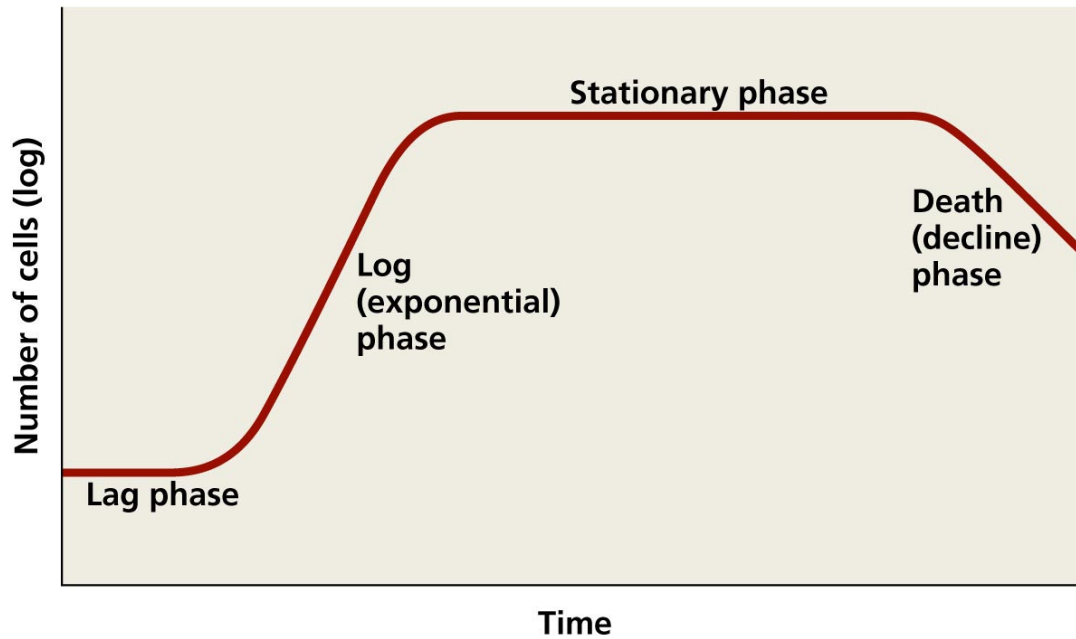
Η προρρητική μικροβιολογία βασίζεται στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, τα οποία μπορούν να προβλέψουν το ρυθμό ανάπτυξης ή μείωσης των μικροοργανισμών κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση πολλαπλών ανεξάρτητων μεταβλητών και των αλληλεπιδράσεων τους (Ταούκης, 2019).

Η βασική παραδοχή της προρρητικής μικροβιολογίας είναι ότι οι αποκρίσεις πληθυσμών μικροοργανισμών σε περιβαλλοντικούς παράγοντες είναι αναπαραγωγίμες. Αυτό σημαίνει ότι, εξετάζοντας τα περιβάλλοντα από την άποψη αναγνωρίσιμων κυρίαρχων περιορισμών (θερμοκρασία, pH κ.α.), είναι δυνατόν, από παρατηρήσεις που έχουν γίνει, να προβλεφθούν οι αποκρίσεις αυτών των μικροοργανισμών (Ross et al., 1994). Η προσέγγιση αυτή, περιλαμβάνει τη μέτρηση των μικροβιακών αποκρίσεων, υπό καθορισμένες και ελεγχόμενες συνθήκες και τη σύνοψη των αποτελεσμάτων με τη μορφή μαθηματικών εξισώσεων, που μπορούν να προβλέψουν τις αποκρίσεις σε νέα σύνολα συνθηκών. Οι τρεις κύριες προσεγγίσεις στην προρρητική μικροβιολογία είναι τα κινητικά μοντέλα (πρωτογενή), τα οποία μοντελοποιούν την έκταση και τον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών, η μοντελοποίηση πιθανοτήτων, η οποία κατασκευάζει μοντέλα για την πρόβλεψη της πιθανότητας κάποιου γεγονότος, όπως η βλάστηση των σπορίων ή ο σχηματισμός μιας ανιχνεύσιμης ποσότητας τοξίνης, εντός μιας δεδομένης χρονικής περιόδου και τα μοντέλα επίδρασης συνθηκών όπως η θερμοκρασία και το pH (δευτερογενή μοντέλα). Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν μονάχα τα πρωτογενή και τα μοντέλα επίδρασης της θερμοκρασίας.

4.2 Κινητική ανάπτυξης μικροοργανισμών

4.2.1 Φάση ανάπτυξης μικροοργανισμών

Όταν οι μικροοργανισμοί βρίσκονται σε συνθήκες περίσσειας θρεπτικών συστατικών, τότε αναπτύσσονται. Σχεδιάζοντας τον λογάριθμο της πυκνότητας των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται συναρτήσει του χρόνου σε ένα τρόφιμο σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας, μπορεί να παρατηρηθεί η τυπική καμπύλη ανάπτυξης των μικροοργανισμών και τα επιμέρους τμήματα της. Τα τμήματα αυτά είναι η λανθάνουσα φάση ανάπτυξης, η εκθετική φάση ανάπτυξης, η φάση στασιμότητας και η φάση θανάτου.



Εικόνα 4.1 Τυπική καμπύλη ανάπτυξης μικροοργανισμών

Κατά τη λανθάνουσα φάση, ο πληθυσμός δεν αλλάζει. Οι μικροοργανισμοί προσπαθούν να προσαρμοστούν στο νέο τους περιβάλλον και αφομοιώνουν θρεπτικά συστατικά. Η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τον αριθμό των μικροοργανισμών (μεγάλος αριθμός μικροοργανισμών έχει συνήθως μικρότερη φάση υστέρησης) και την φυσιολογία των μικροοργανισμών (Bozoglu, 2016). Με τις κατάλληλες αρχικές συνθήκες (αρχικό μικροβιακό φορτίο, θερμοκρασία κτλ.) είναι πιθανό η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης να είναι σχεδόν μηδενική.

Την λανθάνουσα φάση ακολουθεί η φάση εκθετικής ανάπτυξης κατά την οποία οι μικροοργανισμοί αυξάνονται με τον μέγιστο δυνατό ρυθμό ανάλογα με το σύστημα στο οποίο βρίσκονται. Κατά την φάση αυτή ολόκληρη η μεταβολική δραστηριότητα των κυττάρων κατευθύνεται στην αναπαραγωγή (Ταούκης, 2019).

Η συσσώρευση τοξικών ουσιών από την μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών κατά την διάρκεια της φάσης εκθετικής ανάπτυξης δημιουργεί συνθήκες οι οποίες δεν ευνοούν την ανάπτυξη τους, Έτσι σταδιακά ο ρυθμός πολλαπλασιασμού τους μειώνεται μέχρι που γίνεται ίσως με το ρυθμό θανάτου. Η φάση αυτή είναι η φάση στασιμότητας, κατά την οποία η πυκνότητα των μικροοργανισμών δεν μεταβάλλεται.

Η περαιτέρω συσσώρευση τοξικών ουσιών οδηγεί τελικά στην φάση θανάτου όπου οι μικροοργανισμοί δεν έχουν πλέον την δυνατότητα να αναπτυχθούν στο σύστημα και η πυκνότητα τους μειώνεται.

Η μορφή της καμπύλης ανάπτυξης επηρεάζεται κυρίως από την σύσταση και φυσιολογία του τροφίμου, τις συνθήκες αποθήκευσής του και τον μικροοργανισμό που μελετάται.

Η καμπύλη ανάπτυξης ενός μικροοργανισμού παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της αλλοίωσης των τροφίμων και στην βελτίωση της διατηρησιμότητάς τους. Με την γνώση της ανταπόκρισης των μικροοργανισμών σε συγκεκριμένες συνθήκες αποθήκευσης των τροφίμων μπορεί για παράδειγμα να επιτευχθεί επιμήκυνση της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης ή μείωση του ρυθμού ανάπτυξης κατά την φάση εκθετικής ανάπτυξης, βελτιώνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής τους. Η φάση στασιμότητας δεν είναι εξίσου σημαντική για τα τρόφιμα. Αυτό συμβαίνει γιατί στην φάση στασιμότητας το τρόφιμο έχει ήδη αλλοιωθεί. Έτσι, ο προσδιορισμός της λανθάνουσας και εκθετικής φάσης

και η μοντελοποίηση της επίδρασης που έχουν διάφορα εμπόδια σε αυτές αποτελούν κρίσιμα σημεία για την πρόρρηση της διατηρησιμότητας, με βάση τη μικροβιακή ανάπτυξη, και την ανάλυση επικινδυνότητας (Ταούκης, 2019). Μερικές από τις μεθόδους περιγραφής της καμπύλης ανάπτυξης θα εξεταστούν παρακάτω.

4.2.2 Κινητικά μοντέλα ανάπτυξης μικροοργανισμών (πρωτογενή)

Ένα κινητικό μοντέλο μικροβιακής ανάπτυξης έχει ως στόχο να περιγράψει την κινητική αυτή με όσο το δυνατόν λιγότερες παραμέτρους, ενώ παράλληλα είναι σε θέση να καθορίσει με ακρίβεια τα διακριτά στάδια της ανάπτυξης του μικροοργανισμού. Οι εξισώσεις των μοντέλων αυτών είναι συνήθως βασισμένες σε τεχνικές μη γραμμικής παλινδρόμησης στα πειραματικά σημεία και η χρήση τους είναι εφικτή μόνο με την χρήση υπολογιστή ή/και εξειδικευμένων λογισμικών. Μερικά από τα βασικά κινητικά μοντέλα αποτελούν η τροποποιημένη λογιστική συνάρτηση, η τροποποιημένη συνάρτηση Gompertz και το μοντέλο Baranyi.

4.2.2.1 Τροποποιημένη λογιστική συνάρτηση

Η λογιστική συνάρτηση είναι ένα εμπειρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση της εκθετικής ανάπτυξης πληθυσμών, λαμβάνοντας όμως υπόψιν περιοριστικούς παράγοντες στην ανάπτυξη όπως ο μέγιστος δυνατός μικροβιακός πληθυσμός ενός μέσου ανάπτυξης.

Η τροποποιημένη λογιστική συνάρτηση η οποία χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τους Gibson et al. (1987). χρησιμοποιείται συχνά για την μοντελοποίηση της ανάπτυξης μικροβίων σε συστήματα τροφίμων. Η μορφή της συνάρτησης αυτής είναι:

$$L(t) = A + \frac{C}{1 + e^{[-B(t-M)]}} \quad (4.1)$$

Όπου $L(t)$ είναι ο λογάριθμος του βακτηριακού πληθυσμού μετρημένου σε CFU/g σε χρόνο t (ο χρόνος είναι μετρημένος σε ημέρες), A είναι η ασύμπτωτη καθώς ο χρόνος t πλησιάζει το μηδέν, C είναι η ασύμπτωτη όσο ο χρόνος t αυξάνεται επ' άπειρον (πρακτικά η ασύμπτωτη στην φάση στασιμότητας), B ο σχετικός ρυθμός ανάπτυξης σε χρόνο M και M είναι η τιμή του χρόνου όπου ο απόλυτος ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών είναι μέγιστος (Gibson et al., 1987).

Από την συνάρτηση αυτή ο ρυθμός ανάπτυξης στην φάση εκθετικής ανάπτυξης και η λανθάνουσα φάση ανάπτυξης υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\mu_{\max} = \frac{BC}{4} \quad (4.2), \quad \lambda = M - \frac{2}{B} \quad (4.3)$$

Όπου μ_{\max} ο ρυθμός ανάπτυξης μετρημένος σε (d^{-1}) και λ η λανθάνουσα φάση σε ημέρες (d).

Η χρήση της λογιστικής συνάρτησης για την προσαρμογή δεδομένων μικροβιακής ανάπτυξης είναι περιορισμένη, δεδομένου ότι γενικά προτιμάται η συνάρτηση Gompertz, η οποία είναι ασύμμετρη ως προς το σημείο καμπής σε αντίθεση με τη λογιστική συνάρτηση (η λογιστική συνάρτηση είναι συμμετρική ως προς το σημείο $(M, C/2)$) (McKellar et al., 2003).

4.2.2.2 Τροποποιημένη συνάρτηση Gompertz

Η συνάρτηση Gompertz είναι ένα εμπειρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές πτυχές της βιολογίας. Έχει χρησιμοποιηθεί συχνά για να περιγράψει την ανάπτυξη ζώων και φυτών, χρησιμοποιείται όμως και για την μοντελοποίηση της ανάπτυξης μικροοργανισμών.

Η τροποποιημένη συνάρτηση Gompertz η οποία χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τους Gibson et al. (1987). χρησιμοποιείται επίσης συχνά. Η μορφή της συνάρτησης αυτής είναι:

$$L(t) = A + C \cdot e^{-e^{[-B(t-M)]}} \quad (4.4)$$

Οι παράμετροι L, A, B, C και M είναι οι ίδιες με αυτές της λογιστικής συνάρτησης.

Ο ρυθμός ανάπτυξης στην φάση εκθετικής ανάπτυξης και η λανθάνουσα φάση ανάπτυξης υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\mu_{\max} = \frac{BC}{e} \quad (4.5), \quad \lambda = M - \frac{1}{B} \quad (4.6)$$

Όπου μ_{\max} ο ρυθμός ανάπτυξης εκφρασμένος σε (d^{-1}) και λ η λανθάνουσα φάση σε ημέρες (d).

Η εξίσωση Gompertz έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από ερευνητές για την προσαρμογή μιας μεγάλης ποικιλίας καμπυλών ανάπτυξης από διάφορους μικροοργανισμούς, όπως η *L. monocytogenes*. Υπάρχουν, ωστόσο, ορισμένοι περιορισμοί που σχετίζονται με τη χρήση της συνάρτησης Gompertz. Δεδομένου ότι η κλίση της συνάρτησης δεν μπορεί να είναι μηδενική, η κατώτερη ασύμπτωτη πρέπει να είναι χαμηλότερη από το επίπεδο του αρχικού μικροβιακού φορτίου, δίνοντας αρνητικό χρόνο λανθάνουσας φάσης (λ) για ορισμένα σύνολα δεδομένων. Επιπλέον προκειμένου να επιτευχθεί καλή προσαρμογή, απαιτούνται πειραματικά δεδομένα για ολόκληρο το εύρος ανάπτυξης (McKellar et al., 2003).

4.2.2.3 Μοντέλο Baranyi

Το μοντέλο Baranyi, που αναπτύχθηκε αρχικά από του Baranyi et al., 1993, είναι ένα μηχανιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της μικροβιακής ανάπτυξης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η λανθάνουσα φάση αποδίδεται στην ανάγκη σύνθεσης ενός άγνωστου υποστρώματος q που είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Μόλις τα κύτταρα προσαρμοστούν στο νέο περιβάλλον, αναπτύσσονται εκθετικά μέχρι να περιοριστούν από παραμέτρους που υπαγορεύονται από το μέσο ανάπτυξης. Έτσι σύμφωνα με το μοντέλο η διαφορική εξίσωση που περιγράφει την μικροβιακή ανάπτυξη είναι η παρακάτω:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{q(t)}{q(t)+1} \cdot \mu_{\max} \cdot \left(1 - \left(\frac{x(t)}{x_{\max}} \right)^m \right) \cdot x(t) \quad (4.7)$$

Όπου x η μικροβιακή πυκνότητα σε χρόνο t , x_{\max} η μέγιστη μικροβιακή πυκνότητα, μ_{\max} ο ρυθμός ανάπτυξης στην εκθετική φάση ανάπτυξης και η παράμετρος m χαρακτηρίζει την καμπυλότητα πριν την φάση στασιμότητας. Η παράμετρος $q(t)$

περιγράφει την συγκέντρωση του υποστρώματος η οποία αλλάζει με τον χρόνο σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\frac{dq}{dt} = \mu_{\max} \cdot q(t) \quad (4.8)$$

Σε σταθερές συνθήκες η λύση της εξίσωσης 4.7 μας δίνει τις τελικές εξισώσεις :

$$y(t) = y_0 + \mu_{\max} A(t) - \frac{1}{m} \ln \left(1 + \frac{e^{m\mu_{\max} A(t)} - 1}{e^{m(y_{\max} - y_0)}} \right) \quad (4.9)$$

$$\text{Όπου } y(t) = \ln x(t) \text{ και } A(t) = t + \frac{1}{v} \ln \left(\frac{e^{-vt} + q_0}{1 + q_0} \right) \quad (4.10)$$

Η $A(t)$ αντιπροσωπεύει την ολοκληρωμένη συνάρτηση προσαρμογής, η οποία περιγράφει την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην ανάπτυξη των βακτηρίων και v είναι ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του περιοριστικού υποστρώματος, ο οποίος συνήθως θεωρείται ίσως με μ_{\max} .

Όταν $m=1$, μια απλούστευση που γίνεται συχνά, το τελικό μοντέλο έχει τέσσερις παραμέτρους: x_0 (η αρχική μικροβιακή συγκέντρωση), q_0 (η αρχική τιμή του q που αποτελεί μέτρο της αρχικής φυσιολογικής κατάστασης των μικροοργανισμών), x_{\max} και μ_{\max} .

Τέλος η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$\lambda = \frac{\ln \left(1 + \frac{1}{q_0} \right)}{v} \quad (4.11)$$

Το μοντέλο Baranyi έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για τη μαθηματική περιγραφή της μικροβιακής ανάπτυξης. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση της ανάπτυξης μιας μεγάλης ποικιλίας μικροοργανισμών, όπως *B. cereus*, *Escherichia coli* και άλλων.

Επιπλέον ένα από τα πλεονεκτήματα του μοντέλου Baranyi είναι ότι είναι εύκολα διαθέσιμο ως σειρά διαφορικών εξισώσεων που επιτρέπουν τη μοντελοποίηση σε δυναμικό περιβάλλον, το οποίο γενικά προκύπτει από μη ισοθερμοκρασιακά προφίλ θερμοκρασίας. Αυτή η μορφή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της επίδρασης είτε αργά είτε γρήγορα μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας στην ανάπτυξη της *L. monocytogenes* και της *Salmonella* (McKellar et al., 2003).

Για τους σκοπούς της διπλωματικής άσκησης και για την μοντελοποίηση των πειραματικών δεδομένων θα αξιοποιηθεί η μαθηματική εξίσωση του Baranyi (για σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας).

4.3 Μοντέλα επίδρασης της θερμοκρασίας (δευτερογενή)

Η θερμοκρασία αποθήκευσης των τροφίμων επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα μοντέλα που περιγράφουν την επίδραση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν την μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης κατά την φάση εκθετικής ανάπτυξης (μ_{\max}) σε σχέση με την θερμοκρασία. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για αυτό το σκοπό, όμως τα μοντέλα που θα εξεταστούν εδώ είναι η εξίσωση Arrhenius και το μοντέλο της τετραγωνικής ρίζας.

4.3.1 Εξίσωση Arrhenius

Η απλούστερη μορφή του μοντέλου Arrhenius που χρησιμοποιείται στην προρρητική μικροβιολογία είναι η "κλασική" εξίσωση Arrhenius (Ross et al., 1994):

$$\ln \mu_{\max} = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (4.12)$$

Όπου A είναι η σταθερά Arrhenius, E_a είναι η ενέργεια ενεργοποίησης σε J/mol, R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων (8.314 J/K mol) και T η θερμοκρασία αποθήκευσης σε K. Μετασχηματίζοντας την εξίσωση ως προς μία θερμοκρασία αναφοράς (T_{ref}) προκύπτει η εξίσωση:

$$\ln \mu_{\max} = \ln \mu_{\max, ref} - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \quad (4.13)$$

Όπου $\mu_{\max, ref}$ ο ρυθμός ανάπτυξης στην θερμοκρασία αναφοράς. Καθώς η εξίσωση Arrhenius μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα περιορισμένο θερμοκρασιακό εύρος (Ross, et al., 1994) η εξίσωση 4.13 έχει τα πλεονεκτήματα ότι δίνει φυσική σημασία στις σταθερές $\mu_{\max, ref}$ και E_a της εξίσωσης και ότι η θερμοκρασία αναφοράς (T_{ref}) καθορίζει την περιοχή θερμοκρασιών στην οποία μπορεί να εφαρμοστεί η παραπάνω εξίσωση.

4.3.2 Μοντέλο της τετραγωνικής ρίζας

Το μοντέλο της τετραγωνικής εφαρμόζεται συχνά στην προρρητική μικροβιολογία. Η εξίσωση του μοντέλου είναι:

$$\sqrt{\mu_{\max}} = b(T - T_{\min}) \quad (4.14)$$

Όπου το b είναι σταθερά, T η θερμοκρασία και T_{\min} η ελάχιστη θεωρητική θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται ανάπτυξη μικροοργανισμών. Στην θερμοκρασία T_{\min} ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ίσος με το μηδέν. Η τιμή της T_{\min} μπορεί να είναι μικρότερη κατά 5-10°C από τη χαμηλότερη θερμοκρασία στην οποία πραγματικά παρατηρείται ανάπτυξη (McKellar et al., 2003). Το μοντέλο της τετραγωνικής ρίζας μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε θερμοκρασίες χαμηλότερες της βέλτιστης θερμοκρασίας, δηλαδή μικρότερες από την θερμοκρασία στην οποία ο ρυθμός ανάπτυξης είναι μέγιστος.

4.4 Επεξεργασία δεδομένων της παρούσας εργασίας

Τα δεδομένα του πειραματικού σκέλους της διπλωματικής εργασίας επεξεργάστηκαν με την χρήση του μοντέλου Baranyi και της εξίσωσης Arrhenius. Από το μοντέλο Baranyi υπολογίστηκε ο ρυθμός ανάπτυξης μ_{\max} του κάθε δείγματος σε κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης καθώς και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης. Τέλος από την εξίσωση Arrhenius προέκυψαν οι τιμές $\mu_{\max,ref}$ και E_a για κάθε παράμετρο αλλοίωσης, και για κάθε σειρά δειγμάτων και μοντελοποιήθηκε η σχέση του ρυθμού ανάπτυξης με τη θερμοκρασία αποθήκευσης για το θερμοκρασιακό εύρος 4°C έως 18°C.

Κεφάλαιο 5^ο: Πειραματικός Σχεδιασμός- Υλικά και Μέθοδοι

5.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός της διατηρησιμότητας των διαφορετικών κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας και η μελέτη της επίδρασης της επεξεργασίας με υψηλή υδροστατική πίεση στην διατηρησιμότητα τριών κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας σε φέτες. Επιπλέον, διερευνήθηκε και η επίδραση της θερμοκρασίας αποθήκευσης, της σύστασης και της συσκευασίας (συσκευασία υπό κενό και επαφτόμενη συσκευασία) στην αλλοίωση και το χρόνο ζωής των κρεατοπαρασκευασμάτων.

Τα τρία διαφορετικά κρεατοσκευάσματα σε φέτες είναι βραστή, ψητή και γαλοπούλα τύπου Horeca και προέρχονται από τον ίδιο προμηθευτή. Η κατηγοριοποίηση τους έγινε με βάση το είδος του κρεατοσκευάσματος, τη μέθοδο επεξεργασίας (κλασική θερμική επεξεργασία ή θερμική επεξεργασία σε συνδυασμό με υψηλή υδροστατική πίεση, HPP), ενώ βάση για τον πειραματικό σχεδιασμό ήταν οι διαφορετικές σταθερές θερμοκρασίες αποθήκευσης. Τα δείγματα τα οποία δεν έχουν υποστεί HPP ορίζονται ως «Control» δείγματα και τα άλλα ως «HP». Επιπλέον όλα τα δείγματα των διαφορετικών κατηγοριών κρεατοσκευασμάτων φυλάσσονταν σε σταθερές και ελεγχόμενες θερμοκρασίες 4°C, 8°C, 12°C και 18°C. Επιπλέον, για λόγους επικύρωσης των μαθηματικών εξισώσεων για τη μικροβιακή ανάπτυξη που κατασκευάστηκαν στο πρώτο μέρος των ισοθερμοκρασιακών πειραμάτων, ειδικά για το Horeca, πραγματοποιήθηκαν και πειράματα σε δυναμικές συνθήκες. Έτσι για παράδειγμα, ο κωδικός ενός δείγματος περιγράφεται ως εξής: “Βραστή Control 4°C”. Ο πειραματικός σχεδιασμός, και ειδικά η συχνότητα δειγματοληψιών (που αποτελεί ένα κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχία ενός πειράματος μικροβιακής ανάπτυξης) βασίστηκε στις αρχές του Επιταχυνόμενου Ελέγχου Διατηρησιμότητας (ASLT). Τα μοντέλα αλλοίωσης των κρεατοσκευασμάτων.

Ο Επιταχυνόμενος Έλεγχος Διατηρησιμότητας είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τροφίμων για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής των προϊόντων σε μικρότερο χρονικό διάστημα από την πραγματική διάρκεια ζωής τους (δηλαδή την διάρκεια ζωής τους όταν αποθηκεύονται στις προδιαγεγραμμένες συνθήκες). Χρησιμοποιείται όταν η διάρκεια ζωής ενός προϊόντος είναι μεγάλη και οι απαραίτητες πληροφορίες για τον προσδιορισμό της χρειάζεται να ληφθούν σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Ο Επιταχυνόμενος Έλεγχος Διατηρησιμότητας παρέχει ένα ουσιαστικό εργαλείο για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων παράτασης της διάρκειας ζωής μέσω της κατάλληλης διαμόρφωσης του προϊόντος και των τεχνικών επεξεργασίας του (Mizrahi, 2004) καθώς με την χρήση του μπορεί να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος των διαφόρων προσεγγίσεων διαμόρφωσης και επεξεργασίας στη διάρκεια ζωής των προϊόντων, προσδιορίζοντας έτσι μεθόδους για την αποτελεσματική παράταση της διάρκειας ζωής τους.

Ο Επιταχυνόμενος Έλεγχος Διατηρησιμότητας βασίζεται στην κινητική μοντελοποίηση, που περιλαμβάνει τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για την πρόβλεψη του ρυθμού αλλοίωσης ενός προϊόντος με την πάροδο του χρόνου. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο είναι το μοντέλο Arrhenius, το οποίο βασίζεται στη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και ρυθμού αλλοίωσης.

Ο Επιταχυνόμενος Έλεγχος Διατηρησιμότητας περιλαμβάνει την αποθήκευση του προϊόντος σε αυξημένες θερμοκρασίες (ο παράγοντας αυτός επιλέχθηκε για τα πειράματα τα οποία έγιναν) ή άλλους παράγοντες επιτάχυνσης της αλλοίωσης και τη μέτρηση του ρυθμού αλλοίωσης με την πάροδο του χρόνου. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από αυτές τις

δοκιμές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την ανάπτυξη ενός κινητικού μοντέλου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής του προϊόντος υπό πραγματικές συνθήκες αποθήκευσης.

Η επικύρωση του Επιταχυνόμενου Ελέγχου Διατηρησιμότητας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη ακριβών προβλέψεων. Η εγκυρότητα του κινητικού μοντέλου που χρησιμοποιείται πρέπει να επαληθεύεται για να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της επιταχυνόμενης δοκιμής. Οι δοκιμές δυναμικών συνθηκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικύρωση ενός κινητικού μοντέλου Επιταχυνόμενου Ελέγχου Διατηρησιμότητας. Οι δοκιμές αυτές βασίζονται στην υποβολή του προϊόντος σε συνθήκες όπου ο παράγοντας επιτάχυνσης της αλλοίωσης προγραμματίζεται να μεταβάλλεται με το χρόνο με οποιονδήποτε επιθυμητό τρόπο. Αυτό δημιουργεί μια κατάσταση όπου τόσο η έκταση της φθοράς όσο και η τιμή του κινητικού παράγοντα μεταβάλλονται με το χρόνο (Mizrahi, 2004). Η δοκιμή δυναμικών συνθηκών θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε για την επικύρωση των κινητικών μοντέλων του δείγματος Horeca.

5.2 Αναλυτική περιγραφή των δειγμάτων

Βραστή Control: Πρόκειται για βραστό κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας σε φέτες συσκευασμένο σε συσκευασία υπό κενό των 160 γραμμαρίων. Το δείγμα αυτό δεν είναι επεξεργασμένο με HPP. Τα σημαντικότερα στοιχεία της σύστασης του είναι ότι αποτελείται από 60% στήθος γαλοπούλας και έχει 2 γραμμάρια λιπαρών, 5.6 γραμμάρια υδατανθράκων (εκ των οποίων τα 0.9 είναι σάκχαρα) και 2.2 γραμμάρια αλάτι στα 100 γραμμάρια προϊόντος και περιέχει νιτρικά άλατα. Αναφορικά με τη συσκευασία του, χαρακτηρίζεται ως «υψηλού φραγμού» (High Barrier) σε διαπερατότητα οξυγόνου και υγρασίας.

Βραστή HPP: Η μόνη διαφορά της με το αντίστοιχο Control δείγμα είναι ότι έχει επεξεργαστεί με HPP.

Ψητή Control: Πρόκειται για ψητό κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας σε φέτες συσκευασμένο σε εφραπτόμενη συσκευασία (oval skin package) των 200 γραμμαρίων. Το δείγμα αυτό δεν είναι επεξεργασμένο με HPP. Η σύσταση του είναι ίδια με το βραστό δείγμα με μόνη διαφορά την προσθήκη αρώματος καπνού. Οι προδιαγραφές του άνω φιλμ της συσκευασίας για την διαπερατότητα του οξυγόνου (oxygen transmission rate) είναι $3.5 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$ και για την διαπερατότητα των υδρατμών (water vapour transmission rate) $3.5 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ ενώ για το κάτω φιλμ της συσκευασίας η διαπερατότητα του οξυγόνου είναι $16 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$ και η διαπερατότητα των υδρατμών είναι $11 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$.

Ψητή HPP: Η μόνη διαφορά της με το αντίστοιχο Control δείγμα είναι ότι έχει επεξεργαστεί με HPP.

Horeca: Πρόκειται για ψητό κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας σε φέτες συσκευασμένο σε συσκευασία υπό κενό των 350 γραμμαρίων. Το δείγμα αυτό δεν είναι επεξεργασμένο με HPP. Η σύσταση του διαφέρει σημαντικά από τα προηγούμενα δείγματα. Αρχικά αποτελείται από 40% κρέας γαλοπούλας και 15% μηχανικά διαχωρισμένο κρέας κοτόπουλου. Το κρέας που χρησιμοποιείται σε αυτό το κρεατοσκεύασμα είναι σύγκοπτο σε αντίθεση με τα προηγούμενα δείγματα τα οποία φτιάχνονται από αυτοτελή κομμάτια κρέατος. Επιπλέον, περιέχει άρτυμα καπνιστών (υγροποιημένοι ατμοί που προκύπτουν από την πυρόλυση του ξύλου και δίνουν καπνιστή γεύση) και άρωμα καπνού. Τέλος, έχει 5.6 γραμμάρια λιπαρών, 8.1 γραμμάρια υδατανθράκων (εκ των οποίων τα 1.2 είναι σάκχαρα)

και 2.4 γραμμάρια αλάτι στα 100 γραμμάρια προϊόντος και περιέχει νιτρικά άλατα. Μόνο οι προδιαγραφές της συσκευασίας του κάτω φιλμ είναι γνωστές με την διαπερατότητα του οξυγόνου είναι $<2.5 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$ και την διαπερατότητα των υδρατμών είναι $<5.5 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$.



Εικόνα 5.1 : Δείγματα γαλοπούλας. Από αριστερά προς τα δεξιά: Βραστή-HPP γαλοπούλα, Ψητή-HPP και Horeca γαλοπούλα. Τα Control και HPP δείγματα δεν έχουν εμφανισιακή διαφορά.

5.3 Μελέτη αλλοίωσης κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας

Οι παράγοντες που κρίθηκε σημαντικό να εξεταστούν στην μελέτη αλλοίωσης είναι το μικροβιακό φορτίο (αποτελούμενο από διαφορετικά είδη μικροοργανισμών), το pH, η ενεργότητα του νερού, η υφή, το χρώμα και η οξειδωση των λιπαρών των δειγμάτων καθώς όλοι τους επηρεάζουν σημαντικά την ασφάλεια και την οργανοληπτική ποιότητα του τροφίμου.

5.3.1 Μέτρηση μικροβιακού φορτίου

Η μέτρηση του μικροβιακού φορτίου έγινε με την επιφανειακή ανάπτυξη σε τρυβλία με υπόστρωμα (θρεπτικό μέσο ανάπτυξης μικροοργανισμών). Γνωρίζοντας ότι από ένα μικροβιακό κύτταρο αναπτύσσεται μια και μόνο αποικία συνεπάγεται ότι η μέτρηση των αποικιών που έχουν αναπτυχθεί στο τρυβλίο δίνει τον αριθμό των μικροοργανισμών από όπου προήλθαν.

Για την προετοιμασία των δειγμάτων, 10g δείγματος τοποθετούνται σε αποστειρωμένη σακούλα και στην συνέχεια προστίθενται 90g αποστειρωμένου ορού Ringer. Το μείγμα που προκύπτει ανακατεύεται με την χρήση του αναδευτήρα Stomacher (Bagmixer interscience, France). 1 mL του δείγματος τοποθετείται σε αποστειρωμένο δοκιμαστικό σωλήνα των 10 mL ο οποίος περιέχει 9 mL ορού Ringer και το νέο μείγμα αναδεύεται. Ακολουθούν διαδοχικές αραιώσεις (κάθε αραιώση είναι υποδεκαπλάσια της προηγούμενης) του μείγματος σε νέους σωλήνες μέχρις ότου να φτάσουμε στην επιθυμητή αραιώση (ανάλογα με το πόσο υψηλό είναι το αρχικό μικροβιακό φορτίο).

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα τρυβλία γίνεται είτε με την μέθοδο της επίστρωσης είτε με την μέθοδο της ενσωμάτωσης. Στη μέθοδο της επίστρωσης, 0.1 mL της κατάλληλης αραιώσης τοποθετούνται πάνω σε ένα τρυβλίο που περιέχει το κατάλληλο αποστειρωμένο υπόστρωμα (το οποίο σε προηγούμενη φάση είχε απλωθεί στο τρυβλίο

μέχρι να στερεοποιηθεί) και απλώνονται σε όλο το τρυβλίο με την χρήση στυλεό. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις αραιώσεις και πραγματοποιούνται διπλά δείγματα για κάθε αραιώση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για αερόβιους μικροοργανισμούς και για την ολική μικροβιακή χλωρίδα. Στη μέθοδο της ενσωμάτωσης, 1 mL της κατάλληλης αραιώσης τοποθετούνται σε ένα άδειο αποστειρωμένο τρυβλίο και ύστερα ποσότητα ζεστού ρευστού υποστρώματος διανέμεται στα τρυβλία. Αυτά αναδεύονται ώσπου να καλυφθεί η επιφάνεια τους, φροντίζοντας ώστε η στρώση του υποστρώματος να είναι λεπτή. Αφού η πρώτη στρώση υποστρώματος στερεοποιηθεί, ακολουθεί μία δεύτερη λεπτή στρώση υποστρώματος με σκοπό να επιτευχθούν αναερόβιες συνθήκες. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τους προαιρετικά αναερόβιους μικροοργανισμούς.

Οι μικροοργανισμοί που μετρήθηκαν είναι η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ψευδομονάδες (*Pseudomonas* spp.), ο *Brochothrix thermosphacta*, τα εντεροβακτήρια (Enterobacteriaceae) και τα γαλακτικά βακτήρια (Lactic Acid Bacteria). Για το κάθε είδος μικροοργανισμού χρησιμοποιήθηκαν τα κατάλληλα υποστρώματα. Για την ολική μικροβιακή χλωρίδα χρησιμοποιήθηκε το μη επιλεκτικό Plate Count Agar (PCA), για τις ψευδομονάδες το επιλεκτικό Centrimide Agar (CFC), για τον *Brochothrix thermosphacta* το επιλεκτικό STAA Agar Base (STAA) μαζί με το αντιβιοτικό συμπλήρωμα STAA Selective Supplement, για τα εντεροβακτήρια το επιλεκτικό Violet Red Bile Glucose Agar (VRBG) και για τα γαλακτικά βακτήρια το επιλεκτικό de Mann Rogosa and Sharpe's Agar (MRS). Το υπόστρωμα MRS προμηθεύτηκε από την εταιρία Neogen ενώ τα υπόλοιπα υποστρώματα από την εταιρία Biolife.

Για την ολική μικροβιακή χλωρίδα, τις ψευδομονάδες και τον *Brochothrix thermosphacta* χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επίστρωσης, ενώ για τα εντεροβακτήρια και τα γαλακτικά βακτήρια χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ενσωμάτωσης. Μετά την επίστρωση ή ενσωμάτωση των τρυβλίων αυτά τοποθετούνται σε θαλάμους επώασης, στους 30 °C για δύο ημέρες για ολική μικροβιακή χλωρίδα, ψευδομονάδες και *Brochothrix thermosphacta*, στους 37.5 °C για μία ημέρα για τα εντεροβακτήρια και στους 37.5 °C για τρεις ημέρες για τα γαλακτικά βακτήρια.

Μετά την επώαση γίνεται καταμέτρηση των αποικιών που αναπτύχθηκαν. Η μέτρηση γίνεται σε τέτοια αραιώση ώστε να υπάρχουν 20-200 αποικίες στο κάθε τρυβλίο. Τέλος με βάση τον μέσο όρο των μετρήσεων υπολογίζεται ο λογάριθμος του αριθμού των μικροοργανισμών ανά 1 g δείγματος (logCFU/g).



Εικόνα 5.2 : Τρυβλίο PCA προς μέτρηση ύστερα από επώαση

Για την προσαρμογή των πειραματικών μετρήσεων στο πρωτογενές μοντέλο Baranyi, χρησιμοποιήθηκε το διαδικτυακό εργαλείο OnlineDMFit της ComBase. Τα στοιχεία που εισάγονται (input) στο εργαλείο αυτό είναι ο χρόνος που έγινε η

δειγματοληψία (σε ημέρες) και η μικροβιακή συγκέντρωση (σε logCFU/g), δηλαδή πίνακας δεδομένων t-N. Για την προσαρμογή των δεδομένων το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί την μαθηματική εξίσωση του Baranyi. Τα αποτελέσματα που δίνει το λογισμικό (output) είναι ο συντελεστής παλινδρόμησης (R^2) του μοντέλου, το τυπικό σφάλμα (Standard Error) της προσαρμογής, η αρχική τιμή της μικροβιακής συγκέντρωσης (L_0), η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης (λ), ο εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης (μ_{max}) και η τελική τιμή της μικροβιακής συγκέντρωσης (L_{max}). Δίνονται επίσης οι προσαρμοσμένες τιμές οι οποίες υπολογίστηκαν με το μοντέλο Baranyi. Οι προσαρμοσμένες τιμές μπορούν να εξαχθούν σε αρχείο excel για περαιτέρω επεξεργασία.

5.3.2 Μέτρηση pH

Η μέτρηση pH πραγματοποιήθηκε σε ομογενοποιημένο μίγμα 10 % δείγματος κρεατοσκευάσματος σε διάλυμα Ringer, αμέσως μετά τη μικροβιολογική ανάλυση με την χρήση του pHμέτρου Amel Instruments 338.



Εικόνα 5.3 : pHμετρο AMEL Instruments 338

5.3.3 Προσδιορισμός ενεργότητας νερού (a_w)

Ο προσδιορισμός της ενεργότητας νερού έγινε με την χρήση του μετρητή ενεργότητας νερού Aqualab 4TE. Για την χρήση του οργάνου, τα δείγματα τεμαχίζονται σε μικρά κομμάτια, τοποθετούνται στον πλαστικό περιέκτη και τοποθετούνται στην ειδική υποδοχή του οργάνου. Η ενεργότητα του νερού των δειγμάτων μετράται μέσω αισθητήρα σημείου δρόσου ψυχρού κατόπτρου (chilled mirror dew point sensor). Ο θάλαμος όπου είναι τοποθετημένο το δείγμα ισορροπεί σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Μια υπέρυθρη δέσμη φωτός εστιάζεται σε ένα μικρό κάτοπτρο στο εσωτερικό του θαλάμου. Καθώς οι υδρατμοί από το δείγμα συμπυκνώνονται στο κάτοπτρο, μειώνουν την ποσότητα του φωτός που ανακλάται από τον καθρέφτη. Το όργανο μετρά την αλλαγή στην ένταση του ανακλώμενου φωτός και τη χρησιμοποιεί για να υπολογίσει τη θερμοκρασία σημείου δρόσου του δείγματος. Η θερμοκρασία σημείου δρόσου μετατρέπεται στη συνέχεια σε ενεργότητα του νερού χρησιμοποιώντας μια καμπύλη βαθμονόμησης. Η καμπύλη βαθμονόμησης είναι μια μαθηματική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας σημείου δρόσου και της ενεργότητας του νερού (που ισούται με τη σχετική υγρασία, %RH) που είναι

συγκεκριμένη για τον τύπο του αισθητήρα που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 5.4 : Μετρητής ενεργότητας νερού Aqualab 4TE

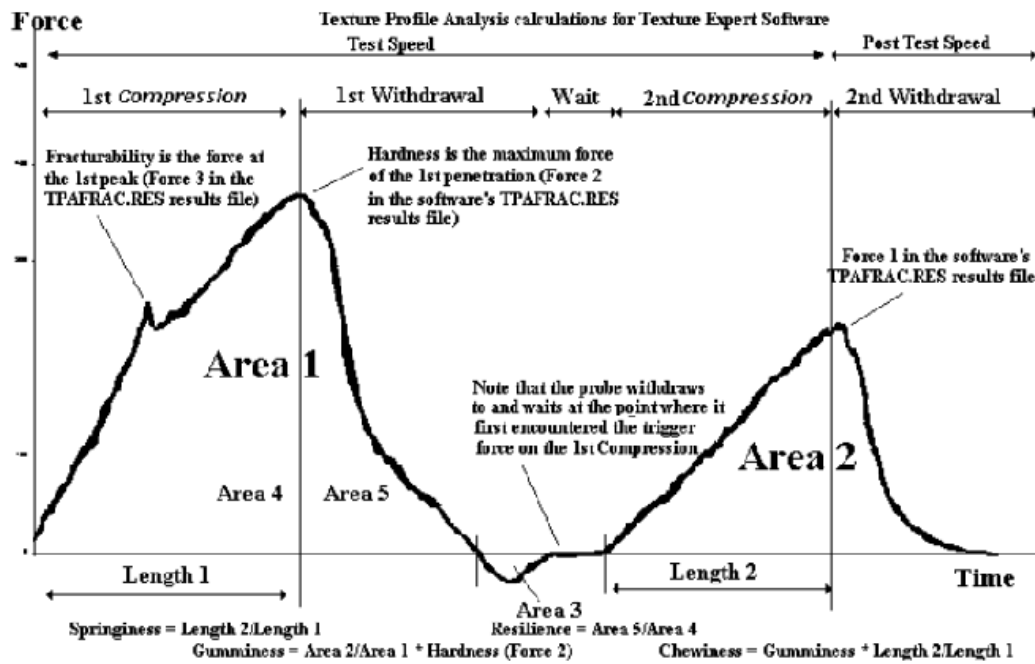
5.3.4 Ανάλυση υφής

Για την ανάλυση υφής των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής (Texture Analyzer) του εργαστηρίου της Stable Micro Systems με το ειδικό σετ υποστήριξης φιλμ (film support rig). Η διάταξη του αναλυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 5.5 : Διάταξη αναλυτή υφής Stable Micro Systems

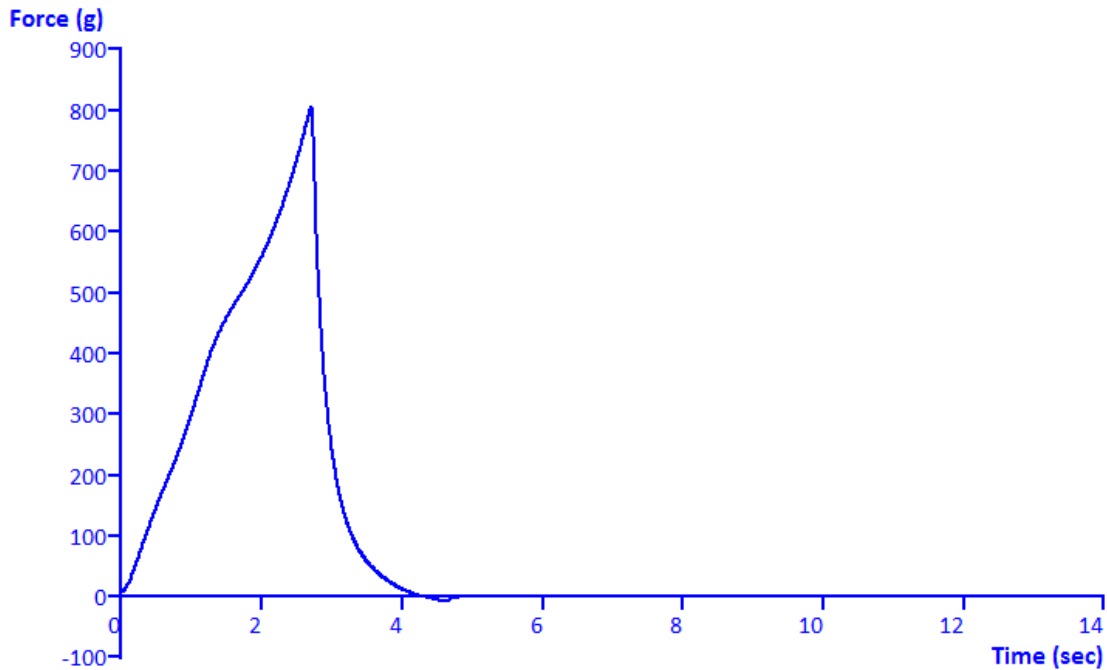
Τυπικά ο έλεγχος της υφής ενός στερεού τροφίμου γίνεται με διπλή επαναλαμβανόμενη συμπίεση του δείγματος καθώς ο έλεγχος αυτός προσομοιάζει την διαδικασία του μασήματος και ονομάζεται Texture Profile Analysis (TPA). Το τυπικό διάγραμμα που προκύπτει από αυτόν τον έλεγχο είναι το παρακάτω:



Εικόνα 5.6 : Τυπικό διάγραμμα TPA

Από το ύψος των κορυφών των καμπυλών, τις μεταξύ τους αποστάσεις και τα εμβαδά των περιοχών μπορούν να υπολογιστούν μέσω απλών μαθηματικών σχέσεων οι παράμετροι της ανάλυσης υφής.

Καθώς τα δείγματα τα οποία μελετήθηκαν είχαν την μορφή φέτας ο έλεγχος TPA δεν θα μπορούσε να αποτυπώσει σωστά την υφή τους. Με το ειδικό σετ υποστήριξης φιλμ, ο έλεγχος που έγινε στα δείγματα είχε ως σκοπό την αποτύπωση της θραυστότητας (fracturability) τους. Κατά την μέτρηση το έμβολο βυθίζεται στην φέτα μέχρι για 10mm αφού αρχικά συναντήσει αντίσταση στην επιφάνεια της. Κατά της διάρκεια της βύθισης το έμβολο θραύει την επιφάνεια της. Με το τέλος της διήθησης το έμβολο επιστρέφει στην αρχική του θέση. Η διαδικασία αυτή γίνεται μία φορά για κάθε τεστ καθώς μετά την θραύση της φέτας το έμβολο δεν θα συναντούσε ουσιαστική αντίσταση εάν γινόταν δεύτερη βύθιση. Τα διαγράμματα που προέκυπταν από τις μετρήσεις είχαν μορφή παρόμοια με την παρακάτω:

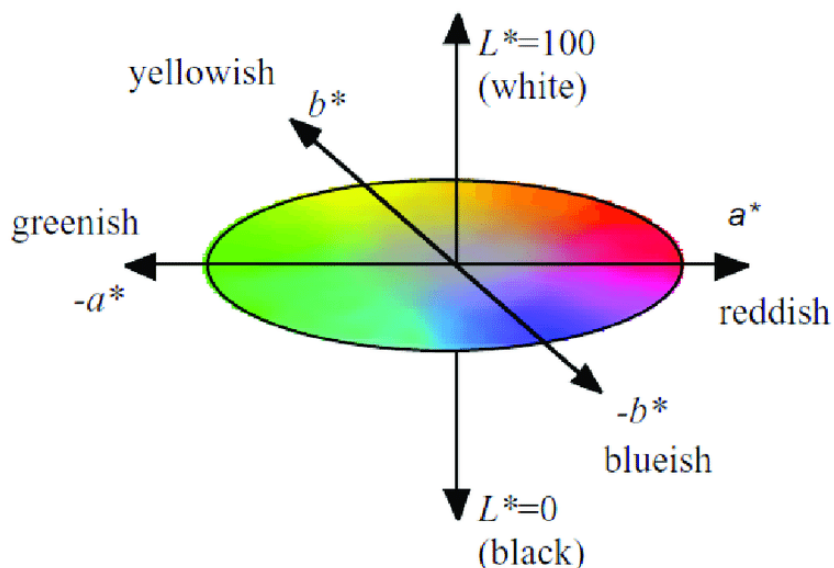


Εικόνα 5.7 : Τυπικό διάγραμμα πειραματικών μετρήσεων

Η μετρούμενη παράμετρος εδώ είναι η θραυστότητα του δείγματος, εκφρασμένη σε g, δηλαδή η δύναμη που απαιτείται για την διάτρηση μιας φέτας του κρεατοσκευάσματος. Η θραυστότητα υπολογίζεται από το ύψος της κορυφής της καμπύλης. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται και η τελική τιμή της δύναμης προκύπτει από τον αριθμητικό τους μέσο.

5.3.5 Προσδιορισμός χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των δειγμάτων έγινε με την χρήση του χρωματόμετρου Minolta CR – 200, το οποίο χρησιμοποιεί τις παραμέτρους χρώματος CIE(Commission International de l'Eclairage) L, a και b. Με την παράμετρο L εκφράζεται η φωτεινότητα του χρώματος, με την παράμετρο a εκφράζεται η ένταση του κόκκινου χρώματος και με την παράμετρο b εκφράζεται η ένταση του κίτρινου χρώματος.



Εικόνα 5.8 : Διάγραμμα χρωματικής απεικόνισης παραμέτρων L, a, b

Ο λόγος που χρησιμοποιείται η κλίμακα CIE είναι ο υπολογισμός μιας χαρακτηριστικής παραμέτρου, του ΔE , η οποία αντιπροσωπεύει το μέγεθος της οπτικής διαφοράς μεταξύ της φωτεινότητας, αλλά και της χροιάς μεταξύ των δειγμάτων. Η διαφορά του συνολικού χρώματος ΔE είναι το μέτρο του διανύσματος που προκύπτει από την διαφορά των τριών συνιστωσών και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (5.1)$$

Όπου L_0, a_0, b_0 είναι οι τιμές των παραμέτρων L, a, b του κάθε δείγματος σε χρόνο αποθήκευσης ίσο με το μηδέν.

Πριν πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις των πειραμάτων το όργανο βαθμονομείται με την χρήση μίας πλάκας βαθμονόμησης. Για τα Horeca και βραστά δείγματα γίνονται 5 μετρήσεις ανά δείγμα ενώ για τα οβάλ δείγματα γίνονται 7 μετρήσεις. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων προκύπτουν από τον μέσο όρο των μετρήσεων.



Εικόνα 5.9 : Χρωματόμετρο Minolta CR – 200

5.3.6 Προσδιορισμός οξείδωσης λιπαρών (TBARs)

Ο προσδιορισμός της οξείδωσης των λιπαρών έγινε με την μέθοδο TBARs. Αρχικά παρασκευάζεται διάλυμα θειοβαρβιτουρικού οξέος (TBA). Για το διάλυμα TBA

διαλύονται 15 g τριχλωροξικού οξέος (TCA), 0.375 g TBA και 1.76 mL HCl 12 N (1 mL και 760 μ L) σε 82.9 mL απιονισμένου νερού. Ύστερα με την χρήση οικιακής συσκευής (blender) 5 γραμμάρια δείγματος ομογενοποιούνται με 15 mL απιονισμένου νερού. 1 mL δείγματος λαμβάνεται και προστίθεται σε δύο δοκιμαστικούς σωλήνες (δύο μετρήσεις για κάθε δείγμα). Στη συνέχεια, προστίθενται 2 mL διαλύματος TBA και ακολουθεί ανάδευση των σωλήνων. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε υδατόλουτρο στους 98°C για 15 λεπτά και στην συνέχεια ψύχονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με νερό βρύσης. Ακολουθεί φυγοκέντριση στα 10000g σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 15 λεπτά με την χρήση της φυγοκέντρου Heraeus Megafuge 16R Centrifugr. Τέλος, με την χρήση φωτόμετρου Hitachi U-2900 spectrophotometer μετριέται η απορρόφηση στα 532nm. Η οξειδωση των λιπαρών εκφράζεται ως mg Μηλονικής διαλδεΰδης ανά kg δείγματος (mgMDA/kgsample), όπου η μηλονική διαλδεΰδη είναι ένα από τα προϊόντα της οξειδωσης των λιπαρών.

5.4 Πειράματα δυναμικών συνθηκών για την επικύρωση του προρρητικού μοντέλου δειγμάτων Horeca

Ένα πείραμα μεταβαλλόμενων συνθηκών θερμοκρασίας (δείγματα VAR) πραγματοποιήθηκε στο δείγμα Horeca για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του κινητικού μοντέλου που θα προκύψει από την επεξεργασία των μετρήσεων των ισοθερμοκρασιακών πειραμάτων.

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων σε μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες ψύξης επιλέχθηκε το παρακάτω θερμοκρασιακό προφίλ:

- Διατήρηση των δειγμάτων στους 2°C για 7 ώρες
- Διατήρηση των δειγμάτων στους 4°C για 4 ώρες
- Διατήρηση των δειγμάτων στους 12°C για 1 ώρα

Στα δείγματα VAR μελετήθηκαν οι ίδιοι παράγοντες αλλοίωσης με τα υπόλοιπα δείγματα.

Κεφάλαιο 6^ο: Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται, ερμηνεύονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Από την επεξεργασία τους υπολογίστηκαν σημαντικές παράμετροι, όπως ο προβλεπόμενος χρόνος ζωής κάθε δείγματος και αναπτύχθηκαν μαθηματικές εξισώσεις, όπου αυτό ήταν εφικτό, οι οποίες ερμηνεύουν τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα κατά την αποθήκευση.

6.2 Αποτελέσματα μέτρησης μικροβιακού φορτίου

Στα δείγματα τα οποία μελετήθηκαν μετρήθηκε η ολική μικροβιακή χλωρίδα, οι ψευδομονάδες (*Pseudomonas* spp.), ο *Brochothrix thermosphacta*, τα εντεροβακτήρια (*Enterobacteriaceae*) και τα γαλακτικά βακτήρια (*Lactic Acid Bacteria*).

Αρχικά αναφέρεται ότι οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί που φαίνεται να κυριάρχησαν στα Control ψητά και βραστά δείγματα είναι τα γαλακτικά βακτήρια και ο *Brochothrix thermosphacta* αποτέλεσμα το οποίο συμβαδίζει με αρκετές βιβλιογραφικές πηγές για κρεατοσκευάσματα μη επεξεργασμένα με HPP συσκευασμένα σε συσκευασίες κενού (υπενθυμίζεται ότι και η εφαιπτόμενη συσκευασία είναι συσκευασία κενού). Οι Kotzekidou & Bloukas, 1996, οι Collins & Lopez, 1982, ο Nielsen, 1983 οι Cayré et al., 2005 και οι Han et al., 2011 παρατηρούν ανάπτυξη *Brochothrix thermosphacta* και γαλακτικών βακτηρίων σε ζαμπόν, πάριζα και κρεατοσκεύασμα σε συσκευασίες κενού.

Στα HPP ψητά και βραστά δείγματα παρατηρήθηκε ανάπτυξη μόνο για τα γαλακτικά βακτήρια (ο *Brochothrix thermosphacta* ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης). Οι Katsaros & Taoukis, 2021, Oliveira et al., 2015 και Han et al., 2011 παρατηρούν επίσης ότι η επεξεργασία HPP εμποδίζει την ανάπτυξη βακτηρίων πέρα από τα γαλακτικά στα κρεατοσκευάσματα σε συσκευασίες κενού. Ακόμη οι Hui et al., 2020 αναφέρουν την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας με HPP στην θανάτωση του *Brochothrix thermosphacta*.

Στα δείγματα Horeca επίσης παρατηρήθηκε ανάπτυξη μόνο γαλακτικών βακτηρίων. Οι Samelis et al., 2000, Cayré et al., 2003 και Korkeala & Björkroth, 1997 παρατηρούν

επίσης ανάπτυξης μόνο γαλακτικών βακτηρίων σε κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας, ψητά λουκάνικα και κρεατοσκεύασμα σε συσκευασίες κενού.

Σε όλες τις έρευνες που αναφέρθηκαν παραπάνω τα γαλακτικά βακτήρια αναπτύσσονται σημαντικά στα κρεατοσκευάσματα σε συσκευασίες κενού. Η ανάπτυξη όμως του *Brochothrix thermosphacta* δεν είναι δεδομένη. Οι Samelis et al., 2000, Kotzekidou & Bloukas, 1996, Newton & Rigg, 1979 και Borch et al., 1996 αναφέρουν ότι η ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* σε συσκευασίες κενού ευνοείται όταν η διαπερατότητα του οξυγόνου της συσκευασίας είναι υψηλή. Οι Samelis et al., 2000 συγκεκριμένα υποθέτουν ότι ένας από τους παράγοντες που εμποδίζουν την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* στα δείγματα κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας τα οποία μελετούσαν, ήταν η χαμηλή διαπερατότητα του οξυγόνου της συσκευασίας. Οι Collins & Lopez, 1982 και Collins & Lopez, 1980 αναφέρουν επίσης ότι διαφορετικά είδη γαλακτικών βακτηρίων μπορούν να εμποδίσουν λιγότερο ή περισσότερο την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta*. Επιπλέον οι Samelis et al., 2000 παρατήρησαν ότι το είδος των γαλακτικών βακτηρίων που αναπτύσσονται στα κρεατοσκευάσματα γαλοπούλας τα οποία μελέτησαν φαίνεται να επηρεάζεται από την μέθοδο θερμικής τους επεξεργασίας. Ακόμη έχει παρατηρηθεί από τους Samelis et al., 2000 και Cayré et al., 2003 ότι στα κρεατοσκευάσματα σε συσκευασίες κενού η σύσταση του προϊόντος και συγκεκριμένα το κάπνισμα, η ζάχαρη και το αλάτι μπορούν να βοηθήσουν την ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων και να παρεμποδίσουν την ανάπτυξη των υπόλοιπων μικροοργανισμών. Καθώς η διαπερατότητα του οξυγόνου των συσκευασιών των δειγμάτων που μελετήθηκαν είναι χαμηλότερη από αυτές στα πειράματα των Samelis et al., 2000 (όπου δεν παρατηρήθηκε ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta*), συμπεραίνεται ότι η χαμηλή διαπερατότητα οξυγόνου δεν είναι αρκετή από μόνη της για να εμποδίσει την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* (και στα πειράματα των Cayré et al., 2005 και Nielsen, 1982 παρατηρήθηκε σημαντική ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* σε εξίσου χαμηλές διαπερατότητες οξυγόνου). Έτσι βάση των προαναφερθέντων η ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* στα Control δείγματα οφείλεται στην αδυναμία των ειδών των γαλακτικών βακτηρίων που αναπτύσσονται σε αυτά να κυριαρχήσουν.

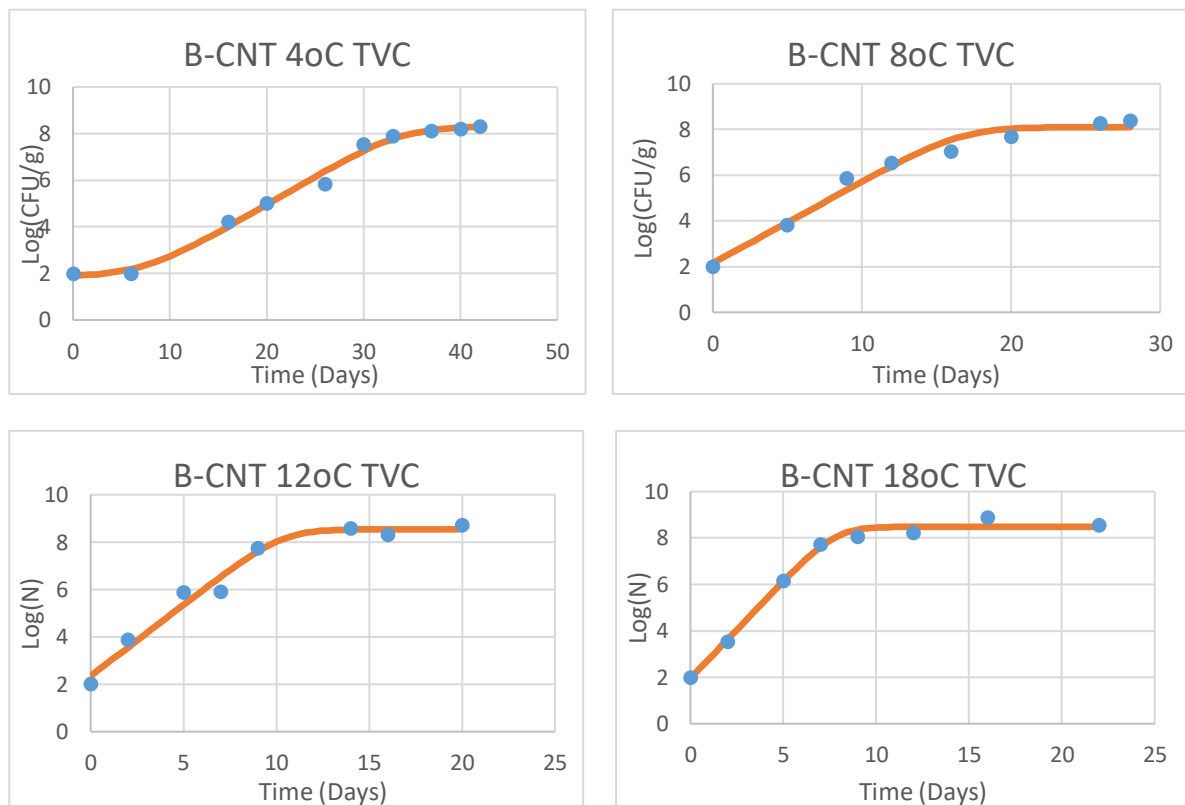
Τέλος αναφέρεται ότι καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων τα εντεροβακτήρια και οι ψευδομονάδες ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης ($<1 \log\text{CFU/g}$ και $<2 \log\text{CFU/g}$ αντίστοιχα). Η ανάπτυξη των ψευδομονάδων δεν ευνοείται από τις αναερόβιες συνθήκες που δημιουργούν οι συσκευασίες κενού (Borch et al., 1996). Επιπλέον ενεργότατες νερού γύρο στο 0.97 από την προσθήκη αλατιού στα κρεατοσκευάσματα εμποδίζει σημαντικά την ανάπτυξη των ψευδομονάδων και των εντεροβακτηρίων, μικροοργανισμών ευαίσθητων στην παρουσία αλατιού (Borch et al., 1996).

6.2.1 Ολική μικροβιακή χλωρίδα

Παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας κάθε δείγματος συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε όλες τις θερμοκρασίες, καθώς και οι υπολογιζόμενες σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης. Για την προσαρμογή των πειραματικών μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Baranyi (το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε και για την προσαρμογή των δεδομένων ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, των γαλακτικών βακτηρίων και του *Brochothrix thermosphacta*). Στα διαγράμματα ο οριζόντιος άξονας παριστάνει το χρόνο αποθήκευσης στην εκάστοτε θερμοκρασία (σε ημέρες) και ο κατακόρυφος το λογάριθμο του πληθυσμού των μικροβιακών κυττάρων ανά γραμμάριο δείγματος.

Εδώ είναι σκόπιμο να σημειωθεί ότι στο διάστημα το οποίο μελετήθηκαν τα

δείγματα της βραστής και ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C (121 και 113 ημέρες αντίστοιχα) η ολική μικροβιακή χλωρίδα ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης (<2 logCFU/g), χωρίς να μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο έναρξης ανάπτυξης σε μεγαλύτερους χρόνους αποθήκευσης.

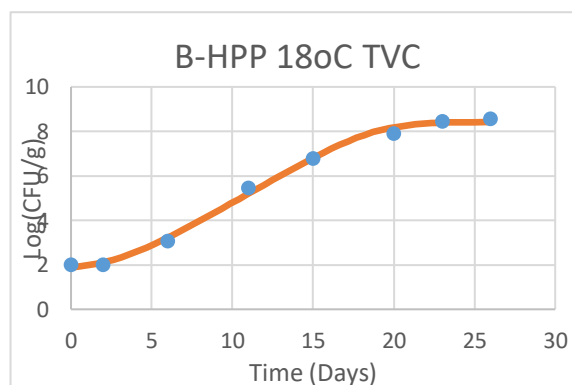
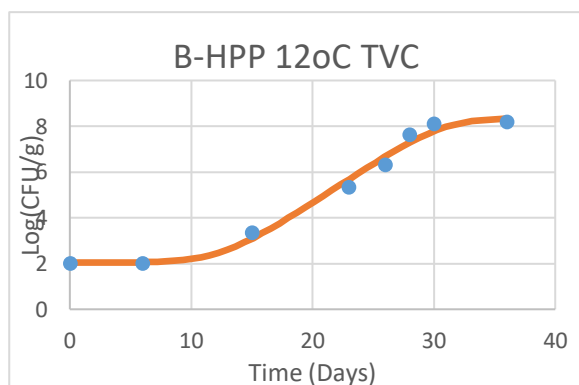
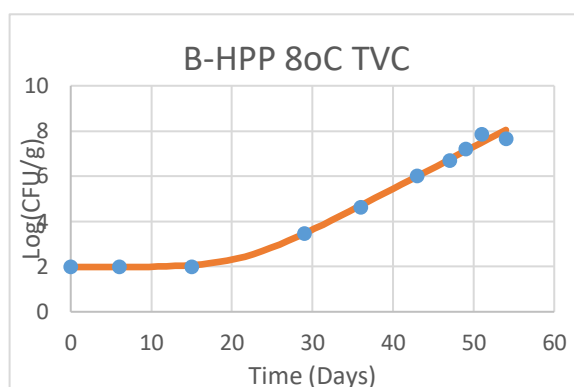


Σχήμα 6.1: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για το δείγμα βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.1: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) ολικής μικροβιακής χλωρίδας βραστής Control γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) ολικής μικροβιακής χλωρίδας βραστής Control γαλοπούλας
-------------	---	---

4°C	0.244	7.5
8°C	0.357	-
12°C	0.601	-
18°C	0.839	-

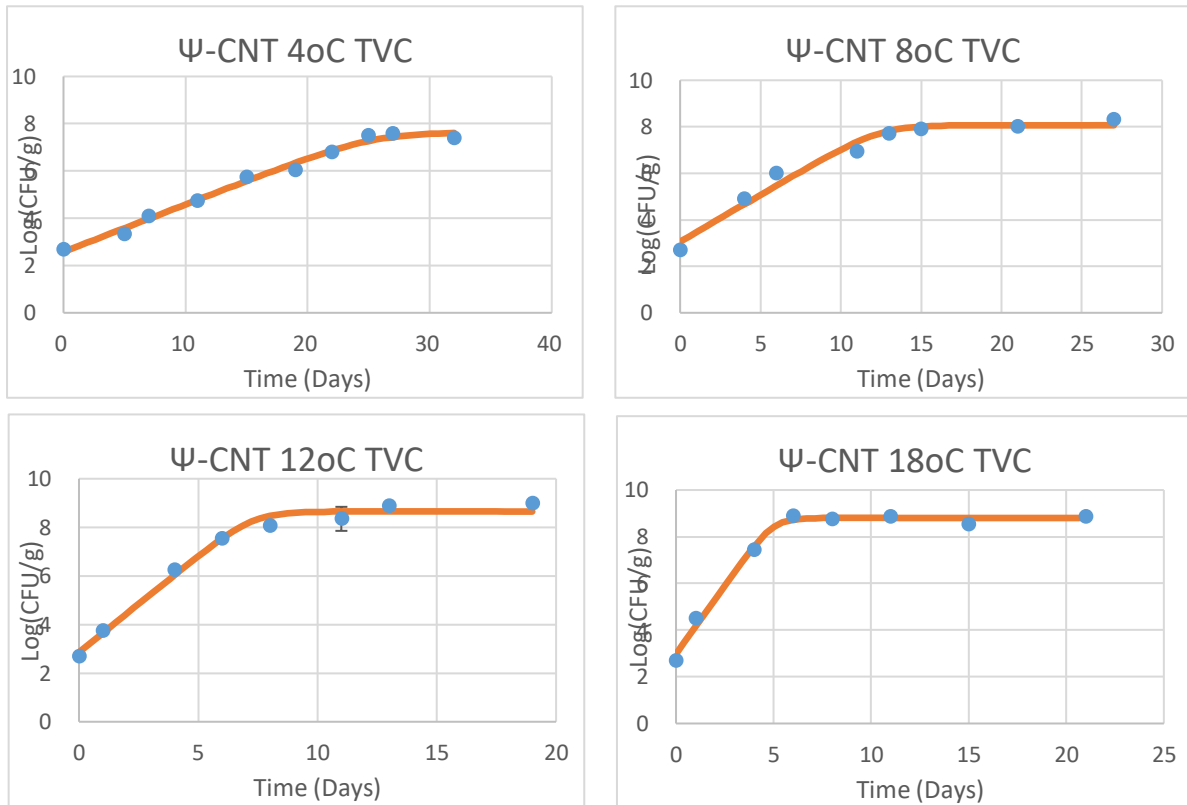


Σχήμα 6.2: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για το δείγμα βραστής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.2: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα βραστής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) ολικής μικροβιακής χλωρίδας βραστής HPP γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) ολικής μικροβιακής χλωρίδας βραστής HPP γαλοπούλας
-------------	---	---

8°C	0.186	21.3
12°C	0.346	12.4
18°C	0.415	3.0

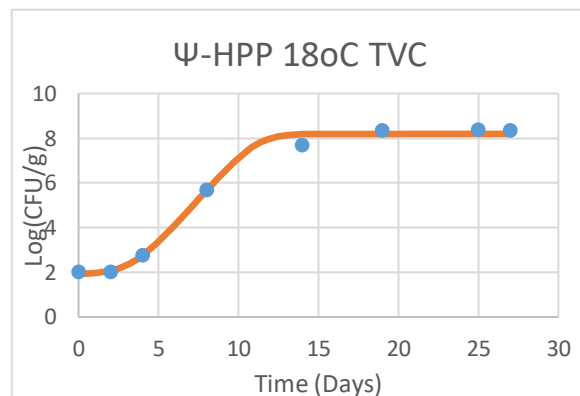
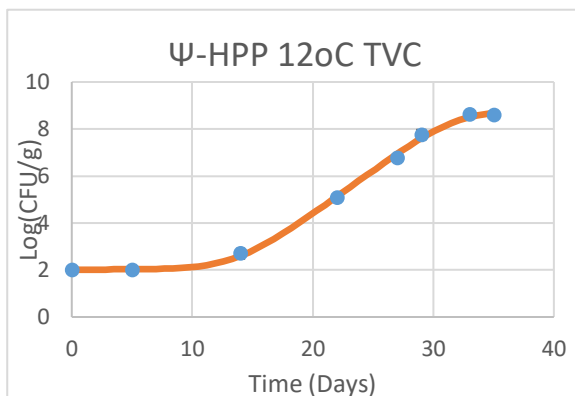
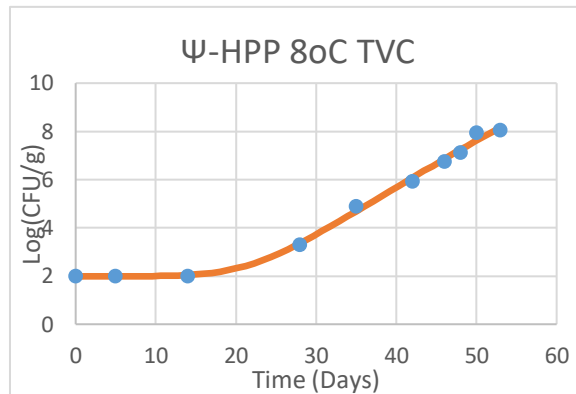


Σχήμα 6.3: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.3: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{max} (d ⁻¹) ολικής μικροβιακής χλωρίδας ψητής Control γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) ολικής μικροβιακής χλωρίδας ψητής Control γαλοπούλας
4°C	0.200	-

8°C	0.402	-
12°C	0.795	-
18°C	1.171	-

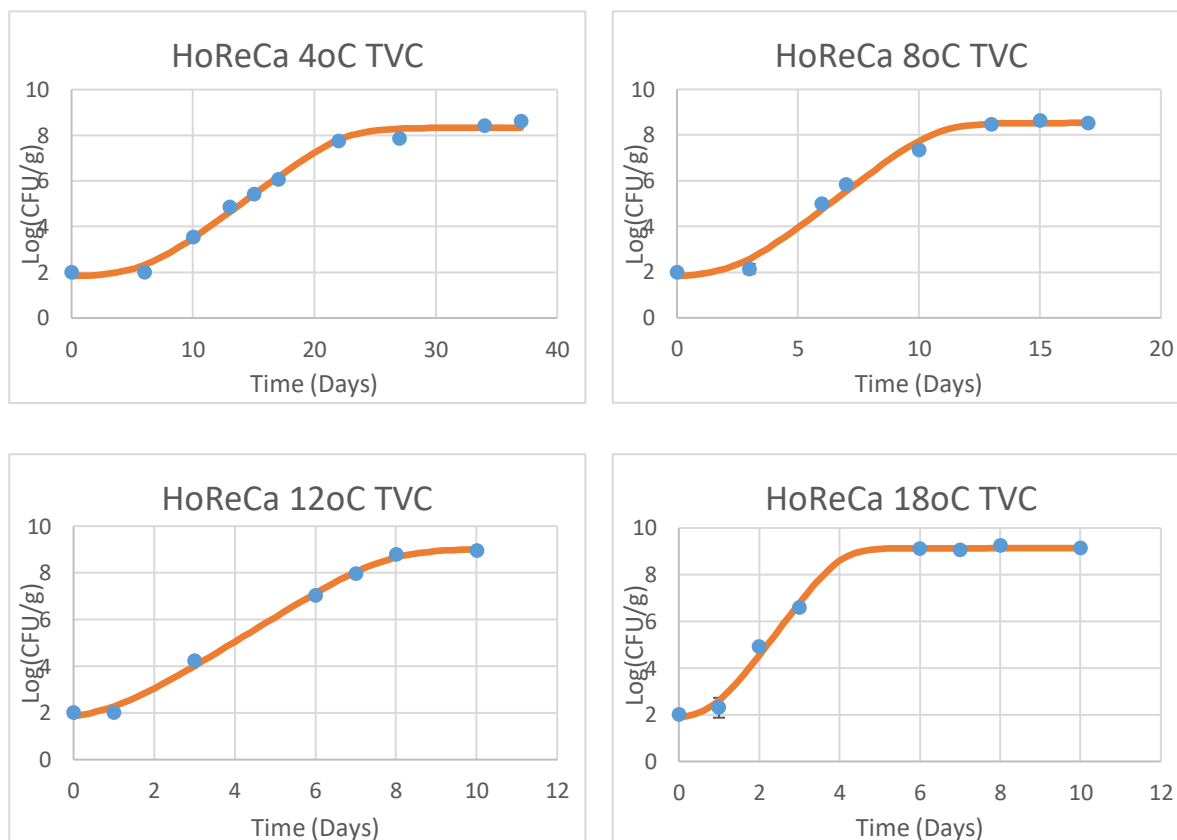


Σχήμα 6.4: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για το δείγμα ψητής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.4: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα ψητής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{max} (d ⁻¹) ολικής μικροβιακής χλωρίδας ψητής HPP γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) ολικής μικροβιακής χλωρίδας ψητής HPP
-------------	--	--

		γαλοπούλας
8°C	0.200	21.5
12°C	0.371	13.6
18°C	0.790	3.3



Σχήμα 6.5: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας για το δείγμα γαλοπούλας τύπου Horeca στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.5: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα γαλοπούλας τύπου Horeca στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) ολικής μικροβιακής χλωρίδας γαλοπούλας τύπου Horeca	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) ολικής μικροβιακής χλωρίδας γαλοπούλας τύπου Horeca
-------------	--	--

4°C	0.397	6.0
8°C	0.815	2.4
12°C	1.065	1.0
18°C	2.273	0.8

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η γαλοπούλα τύπου Hogeca παρουσιάζει την ταχύτερη ανάπτυξη ολικής μικροβιακής χλωρίδας. Ενώ παρουσιάζει λανθάνουσα φάση ανάπτυξης σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης (ακόμη και αν σε ορισμένες είναι μικρή), έχει μακράν τους μεγαλύτερους ρυθμούς ανάπτυξης από όλα τα δείγματα. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην σύσταση του, καθώς το δείγμα Hogeca αποτελείται από μη αυτοτελή κομμάτια κρέατος γαλοπούλας αλλά και κοτόπουλου τα οποία είναι πιθανό να είναι καταλληλότερα για την ανάπτυξη μικροβίων και περιέχει επίσης μεγαλύτερη ποσότητα υδατανθράκων. Οι Samelis et al., 2000 αναφέρουν ότι η υψηλότερη περιεκτικότητα σε ζάχαρη είναι πιθανό να οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροβίων.

Παρατηρείται ακόμη ότι η HPP επεκτείνει σημαντικά την λανθάνουσα φάση ανάπτυξης στα βραστά και ψητά δείγματα καθώς και μειώνει τους ρυθμούς ανάπτυξης. Η ίδια παρατήρηση έχει γίνει και από τους Katsaros & Taoukis, 2021 και Kang et al., 2014.

Η θερμοκρασία αποθήκευσης φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας. Συγκεκριμένα η αύξηση της αυξάνει τον ρυθμό ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και μειώνει την διάρκεια την λανθάνουσας φάσης σε όλα τα δείγματα. Στις έρευνες των Katsaros & Taoukis, 2021, Borch et al., 1996 και Cayré et al., 2003 η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται να επηρεάζει τους ρυθμούς ανάπτυξης και την διάρκεια της λανθάνουσας φάσης με παρόμοιο τρόπο.

Στα Control δείγματα παρατηρούνται διαφορές ανάμεσα στους ρυθμούς ανάπτυξης της βραστής και ψητής γαλοπούλας σε όλες τις θερμοκρασίες. Στους 4°C ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας της βραστής γαλοπούλας είναι μεγαλύτερος από αυτόν της ψητής όμως η βραστή γαλοπούλα παρουσιάζει λανθάνουσα φάση ανάπτυξης ενώ η ψητή όχι. Στις υπόλοιπες θερμοκρασίες ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας της ψητής γαλοπούλας είναι μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους της βραστής με την μεγαλύτερη διαφορά να φαίνεται στους 18°C. Οι Samelis et al., 2000 παρατήρησαν επίσης ταχύτερη μικροβιακή ανάπτυξη σε βραστό κρεατοσκεύασμα γαλοπούλας μη επεξεργασμένο με HPP από ότι σε ψητό στους 4°C. Στην έρευνα τους όμως, η επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών δεν μελετάται.

Από την άλλη, στα HPP δείγματα η ψητή γαλοπούλα εμφανίζει μεγαλύτερους ρυθμούς ανάπτυξης σε σχέση με την βραστή σε όλες τις θερμοκρασίες όπου η ολική μικροβιακή χλωρίδα ήταν πάνω από το όριο ανίχνευσης. Η λανθάνουσα φάση ανάπτυξης των δειγμάτων διαφέρει σε μικρό βαθμό.

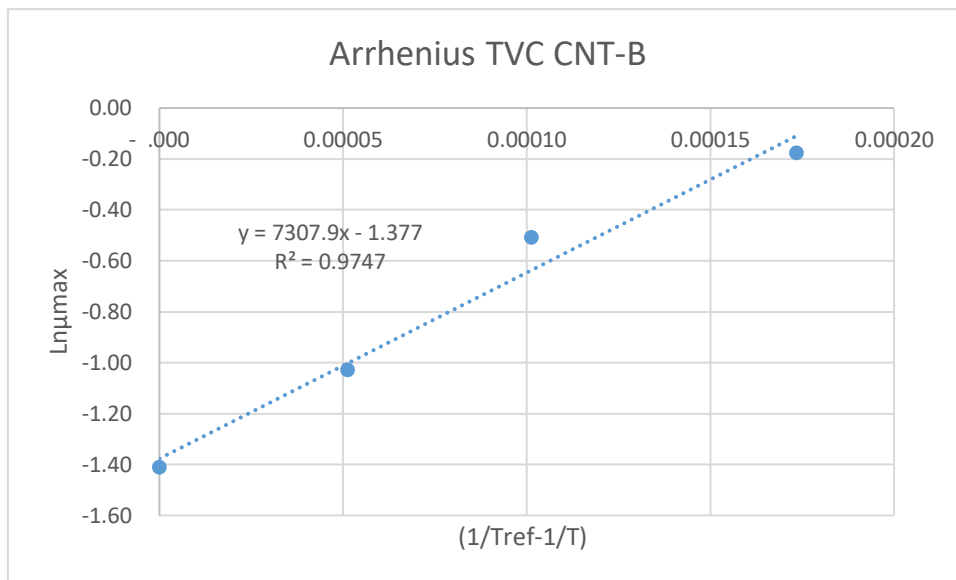
Οι διαφορές ανάμεσα στα δείγματα της βραστής και ψητής γαλοπούλας ως προς τον ρυθμό μπορούν πιθανώς να εξηγηθούν από την συσκευασία και θερμική μέθοδο επεξεργασίας τους καθώς και την σύσταση τους (προσθήκη αρώματος καπνού στην ψητή γαλοπούλα). Έτσι, με εξαίρεση τους 4°C στα Control δείγματα, η βραστή γαλοπούλα σε συσκευασία υπό κενό παρουσιάζει μικρότερους ρυθμούς ανάπτυξης σε σχέση με την ψητή γαλοπούλα σε εφαιπτόμενη συσκευασία. Από την άλλη ο παράγοντας ο οποίος φαίνεται να καθορίζει περισσότερο την διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης είναι η

επεξεργασία με HPP, όμως αξίζει να αναφερθεί ξανά ότι βραστή Control γαλοπούλα παρουσιάζει λανθάνουσα φάση ανάπτυξης στους 4°C ενώ η ψητή όχι.

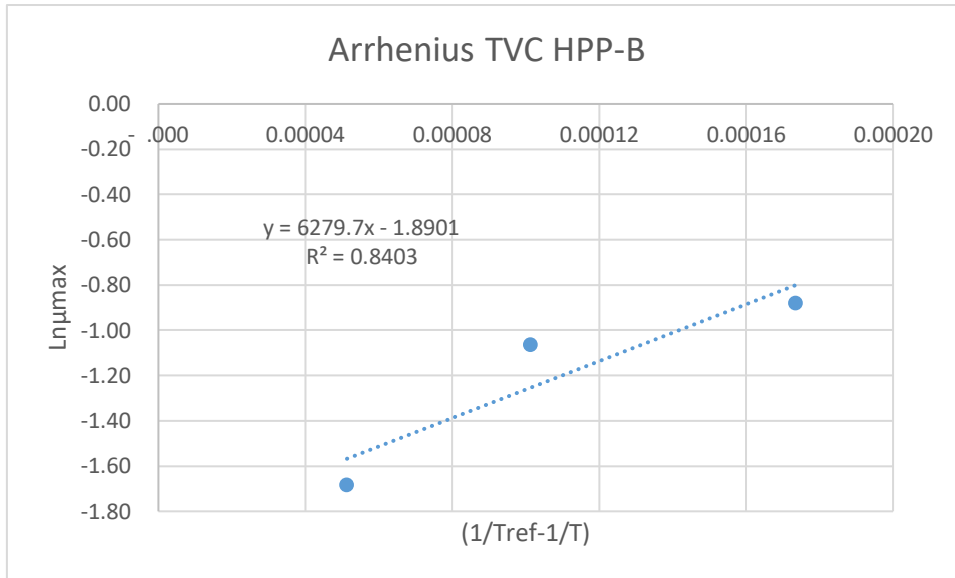
6.2.2 Μοντέλο Arrhenius για την ανάπτυξη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας

Οι ρυθμοί μικροβιακής ανάπτυξης για όλες τις κατηγορίες δειγμάτων συσχετίστηκαν με τη θερμοκρασία αποθήκευσης μέσω του πιο γνωστού δευτερογενούς μοντέλου, της εξίσωσης Arrhenius (εξίσωση 4.13). Στην εξίσωση αυτή, η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) εκφράζει την ευαισθησία της ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στην αλλαγή της θερμοκρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια ενεργοποίησης τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της θερμοκρασίας στην μικροβιακή ανάπτυξη (όσον αφορά στην OMX).

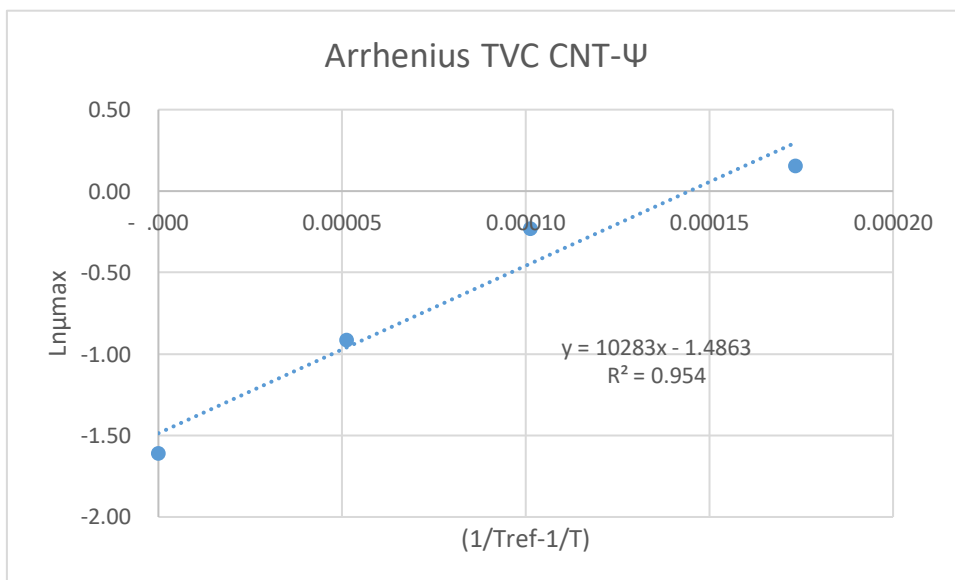
Παρουσιάζονται τα διαγράμματα ($\ln \mu_{\max} - (1/T_{\text{ref}} - 1/T)$) που προέκυψαν από την εξίσωση Arrhenius για κάθε δείγμα καθώς και ένας πίνακας με τις τιμές E_a και $\mu_{\max, \text{ref}}$ που προέκυψαν σε θερμοκρασία αναφοράς $T_{\text{ref}} = 4^\circ\text{C}$



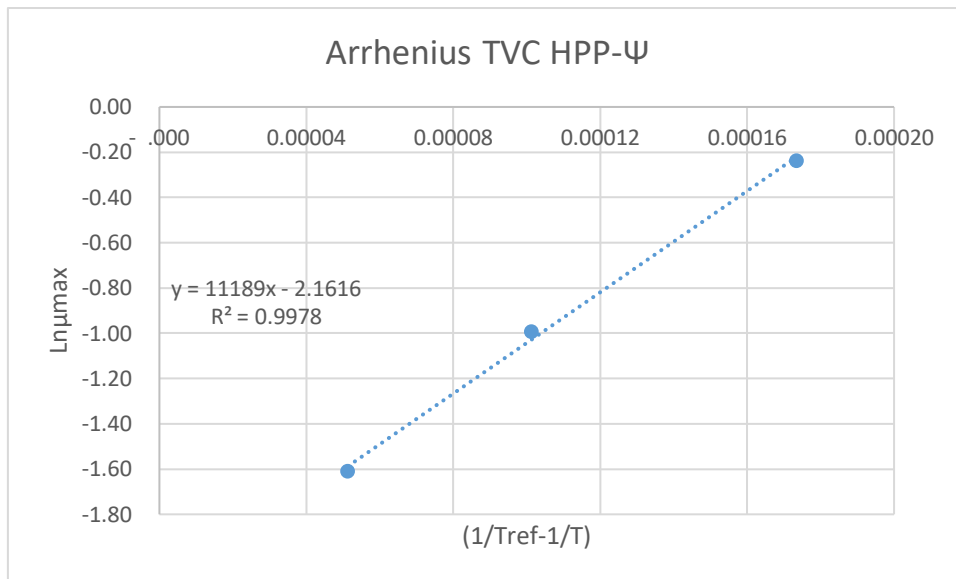
Σχήμα 6.6: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας βραστής Control γαλοπούλας ($T_{\text{ref}} = 4^\circ\text{C}$)



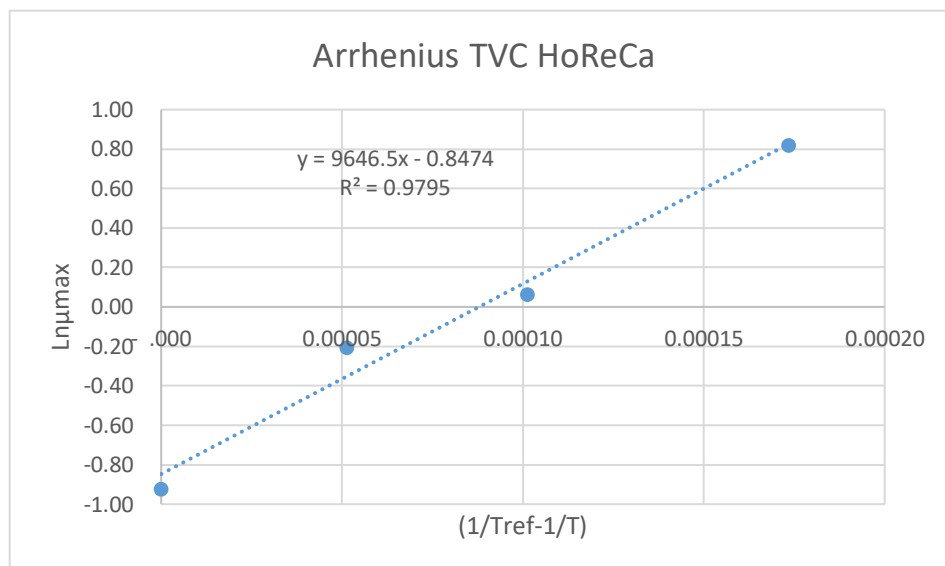
Σχήμα 6.7: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας βραστής HPP γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.8: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας ψητής Control γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας ψητής HPP γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.10: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας γαλοπούλας τύπου Horeca ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)

Πίνακας 6.6: Σταθερές ενέργειας ενεργοποίησης E_a και ρυθμού ανάπτυξης ολικής μικροβιακής χλωρίδας $\mu_{max,ref}$ σε θερμοκρασία αναφοράς $T_{ref} = 4^{\circ}C$

$T_{ref} = 4^{\circ}C$	$\mu_{max,ref} (d^{-1})$	$E_a (kJ/mol)$
Control Βραστή	0.252 ± 0.021	60.8 ± 6.9
HPP Βραστή	0.151 ± 0.042	52.2 ± 22.7
Control Ψητή	0.226 ± 0.035	85.5 ± 13.3
HPP Ψητή	0.115 ± 0.007	93.0 ± 4.4
Horeca	0.429 ± 0.042	80.2 ± 8.2

Ο μικρότερος ρυθμός εκθετικής ανάπτυξης $\mu_{max,ref}$ φαίνεται να παρατηρείται στα

HPP δείγματα, επιβεβαιώνοντας ξανά την αποτελεσματικότητα της HPP στην επιβράδυνση της μικροβιακής ανάπτυξης, ενώ ο μεγαλύτερος ρυθμός εκθετικής ανάπτυξης ανήκει ξανά στο δείγμα Horeca, όπως ήταν αναμενόμενο από τα προηγούμενα δεδομένα. Την μεγαλύτερη ενέργεια ενεργοποίησης έχει το δείγμα της HPP ψητής γαλοπούλας με αμέσως επόμενο το αντίστοιχο Control. Δηλαδή αυτά τα δείγματα επηρεάζονται περισσότερο από την μεταβολή της θερμοκρασίας αποθήκευσης, ενώ τα δείγματα της βραστής γαλοπούλας φαίνεται να έχουν τις μικρότερες ενέργειες ενεργοποίησης. Οι διαφορές αυτές στην επίδραση της θερμοκρασίας είναι πιθανό να οφείλονται στις διαφορές σε θερμική επεξεργασία και συσκευασία, με την ψητή γαλοπούλα σε εφαιπτόμενη συσκευασία να είναι πιο ευαίσθητη στις θερμοκρασιακές μεταβολές πράγμα που μπορεί να εξηγήσει γιατί ο ρυθμός ανάπτυξης της ψητής Control γαλοπούλας είναι μικρότερος της βραστής στους 4°C αλλά μεγαλύτερος στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

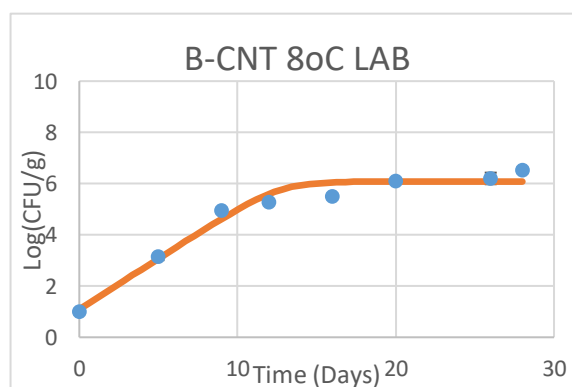
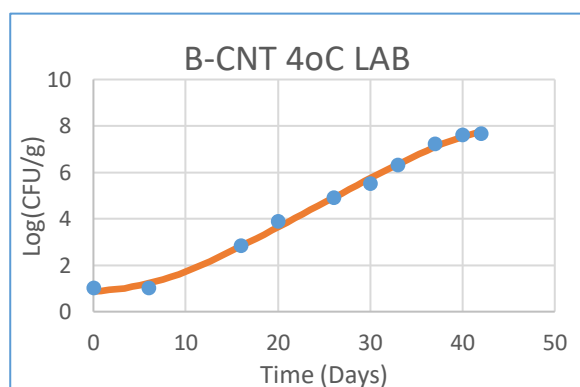
Η επεξεργασία με HPP φαίνεται να μην επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο την ενέργεια ενεργοποίησης των δειγμάτων καθώς η ενέργεια ενεργοποίησης της HPP βραστής γαλοπούλας είναι μικρότερη από αυτή της Control ενώ στην ψητή συμβαίνει το αντίθετο. Με αυτά τα αποτελέσματα διαφωνούν οι Katsaros & Taoukis, 2021 οι οποίοι παρατηρούν ότι η επεξεργασία με HPP οδηγεί σταθερά στην αύξηση της ενέργειας ενεργοποίησης διαφόρων δειγμάτων.

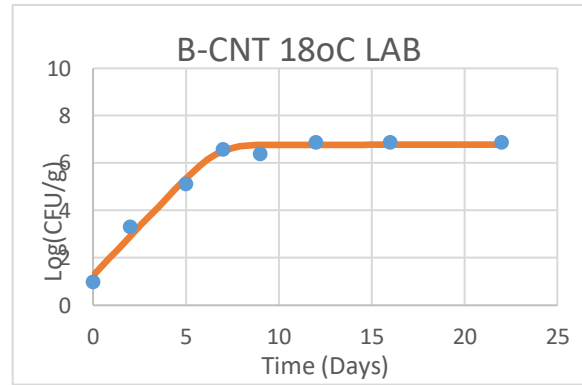
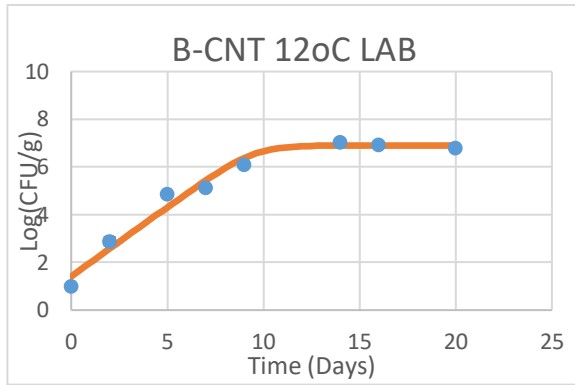
Τέλος, η προσαρμογή του μοντέλου Arrhenius στα πειραματικά δεδομένα είναι ικανοποιητική και οι τιμές $\mu_{\max,ref}$ δεν αποκλίνουν πολύ από τις πειραματικές, καθώς με εξαίρεση το δείγμα της HPP βραστής γαλοπούλας η οποία έχει $R^2=0.843$ τα υπόλοιπα δείγματα έχουν $R^2>0.95$.

6.2.3 Γαλακτικά βακτήρια (LAB)

Παρόμοια με την ολική μικροβιακή χλωρίδα, παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης σε όλες τις ισοθερμοκρασιακές συνθήκες, καθώς και οι υπολογιζόμενες σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης.

Και στην περίπτωση αυτή, στο διάστημα το οποίο μελετήθηκαν τα δείγματα της βραστής και ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C, τα γαλακτικά βακτήρια ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης.

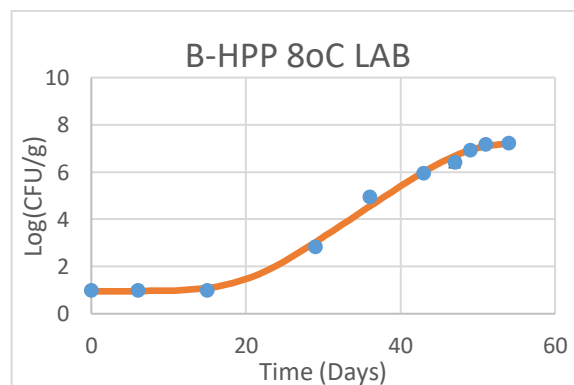


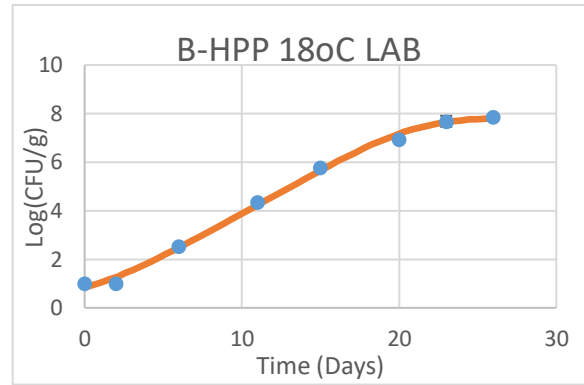
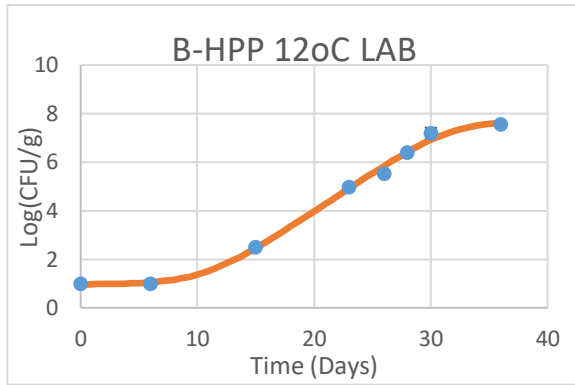


Σχήμα 6.11: Καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.7: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{max} (d^{-1}) των γαλακτικών βακτηρίων βραστής Control γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) των γαλακτικών βακτηρίων βραστής Control γαλοπούλας
4°C	0.214	7.1
8°C	0.396	-
12°C	0.582	-
18°C	0.830	-

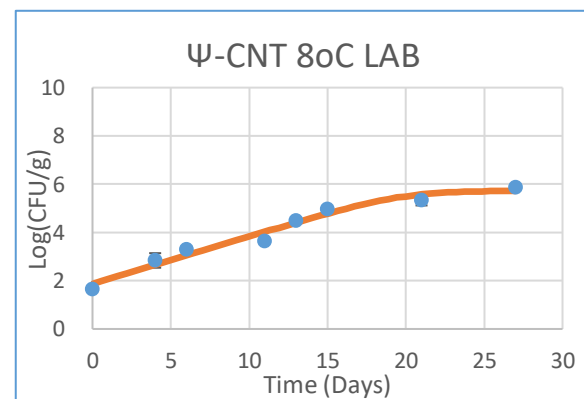
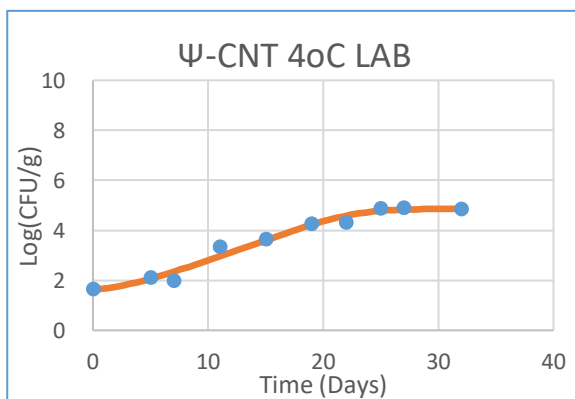


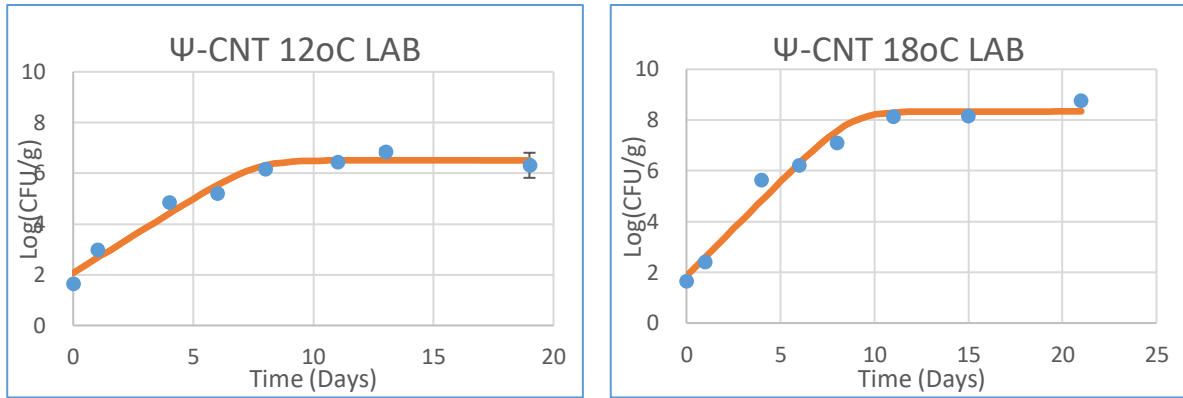


Σχήμα 6.12: Καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα βραστής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.8: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα βραστής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{max} (d ⁻¹) των γαλακτικών βακτηρίων βραστής HPP γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) των γαλακτικών βακτηρίων βραστής HPP γαλοπούλας
8°C	0.221	19.8
12°C	0.321	10.7
18°C	0.361	1.6

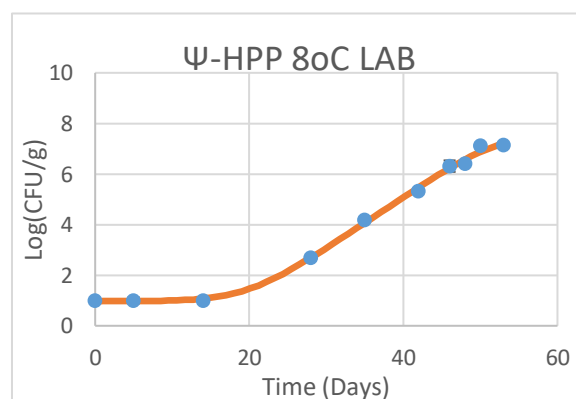


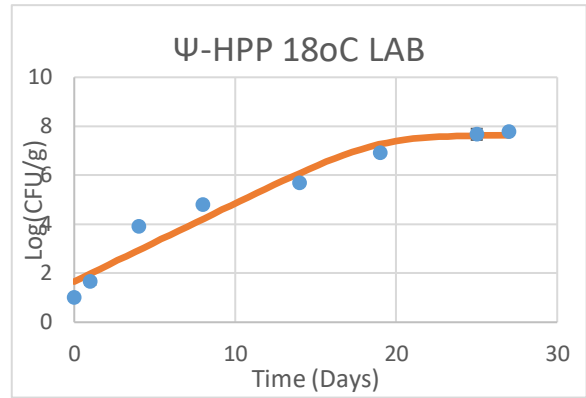
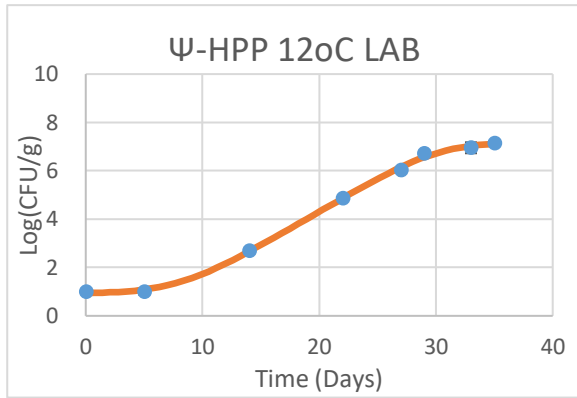


Σχήμα 6.13: Καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.9: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) των γαλακτικών βακτηρίων ψητής Control γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) των γαλακτικών βακτηρίων ψητής Control γαλοπούλας
4°C	0.164	2.8
8°C	0.197	-
12°C	0.587	-
18°C	0.745	-

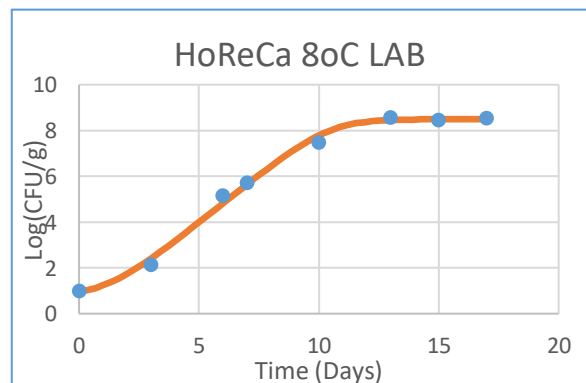
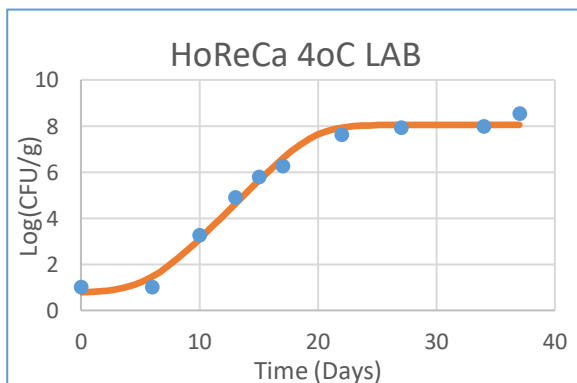


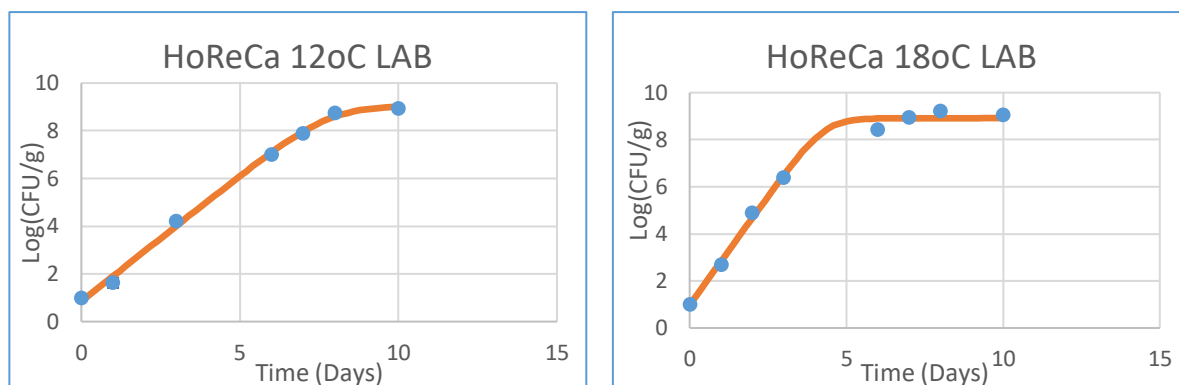


Σχήμα 6.14: Καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα ψητής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.10: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα ψητής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) των γαλακτικών βακτηρίων ψητής HPP γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) των γαλακτικών βακτηρίων ψητής HPP γαλοπούλας
8°C	0.204	19.8
12°C	0.283	8.1
18°C	0.320	-





Σχήμα 6.15: Καμπύλες ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.11: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) των γαλακτικών βακτηρίων γαλοπούλας Horeca	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) των γαλακτικών βακτηρίων γαλοπούλας Horeca
4°C	0.519	5.6
8°C	0.840	1.4
12°C	1.052	-
18°C	1.845	-

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των γαλακτικών βακτηρίων, είναι χρήσιμο να αναφερθεί ξανά ότι τα γαλακτικά βακτήρια είναι τα μόνα βακτήρια πάνω από το όριο ανίχνευσης (1 logCFU/g) για τα HPP δείγματα και για την Horeca γαλοπούλα. Έτσι πρακτικά η ολική μικροβιακή χλωρίδα σχεδόν ταυτίζεται με τα γαλακτικά βακτήρια σε αυτά τα δείγματα, δηλαδή τα γαλακτικά βακτήρια είναι ο κύριος αλλοιογόνος μικροοργανισμός, κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο για τέτοιου είδους προϊόντα (Borch et al., 1996, Katsaros & Taoukis, 2021 και Kang et al., 2014, Samelis et al. 2000).

Ακόμη παρατηρείται ότι σε όλα τα δείγματα η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και μείωση της λανθάνουσας φάσης (όπως παρατηρούν και Katsaros & Taoukis, 2021, Borch et al., 1996 και Cayré et al., 2003). Επιπλέον για τα Control δείγματα, η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης συνεπάγεται και σημαντική αύξηση της τελικής συγκέντρωσης των γαλακτικών βακτηρίων στην φάση στασιμότητας (παρατηρείται και από Collins & Lopez, 1980).

Οι ρυθμοί ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και η λανθάνουσα φάση τους παρουσιάζουν παραπλήσιες τιμές με τις αντίστοιχες της ολικής μικροβιακής χλωρίδας στο δείγμα της βραστής Control γαλοπούλας. Στους 4°C που ο *Brochothrix thermosphacta* είναι κάτω από το όριο ανίχνευσης η τελική συγκέντρωση των γαλακτικών βακτηρίων είναι παραπλήσια με αυτή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας. Στις υπόλοιπες θερμοκρασίες αποθήκευσης όπου ο *Brochothrix thermosphacta* είχε σημαντική ανάπτυξη, η τελική συγκέντρωση των γαλακτικών βακτηρίων ήταν μικρότερη της ολικής μικροβιακής χλωρίδας κατά περίπου 1.7-2 logCFU/g. Στα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζουν οι Kotzekidou & Bloukas, 1996 φαίνεται ότι στις συνθήκες όπου ευνοούταν η ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* σε ζαμπόν συσκευασμένο σε συσκευασία κενού, η τελική συγκέντρωση των γαλακτικών βακτηρίων μειωνόταν.

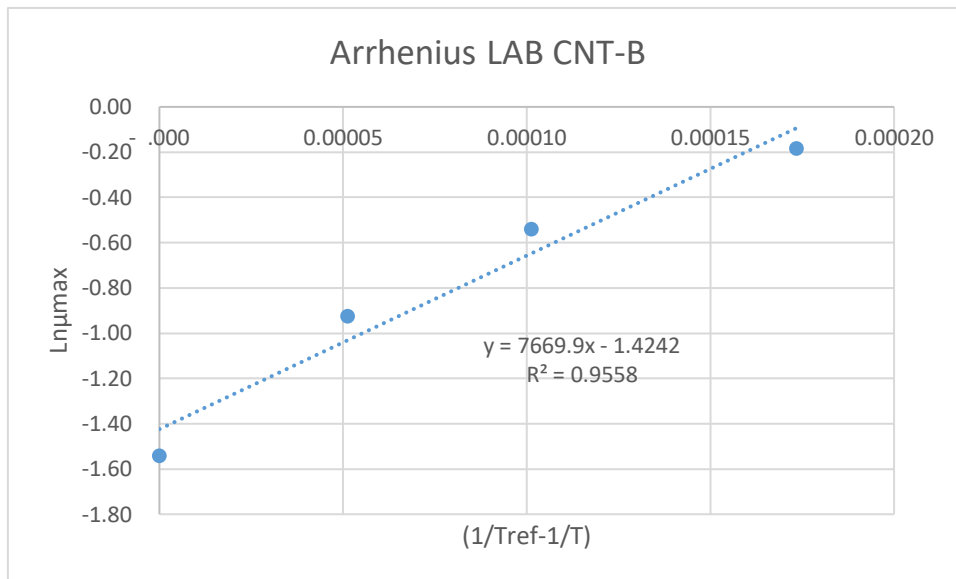
Στο δείγμα της ψητής Control γαλοπούλας από την άλλη, οι ρυθμοί ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων είναι σημαντικά χαμηλότεροι από αυτούς της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και στους 4°C παρουσιάζεται λανθάνουσα φάση ανάπτυξης (κάτι που δεν φαίνεται αντίστοιχα στην ολική μικροβιακή χλωρίδα). Στους 4°C, 8°C, 12°C η τελική συγκέντρωση των γαλακτικών βακτηρίων ήταν μικρότερη κατά περίπου 2.8, 2.3 και 2 logCFU/g αντίστοιχα. Όμως στους 18°C η διαφορά ανέρχεται μόνο σε περίπου 0.5 logCFU/g με τα γαλακτικά βακτήρια να φαίνεται να κυριαρχούν επί του *Brochothrix thermosphacta*.

Στα HPP δείγματα και στο δείγμα Horeca παρατηρούνται χαμηλότεροι ρυθμοί ανάπτυξης και ελαφρώς μειωμένες λανθάνουσες φάσεις ανάπτυξης σε σχέση με την ολική μικροβιακή χλωρίδα. Η HPP φαίνεται ξανά να αυξάνει σημαντικά την διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης. Καθώς στα δείγματα αυτά μόνο τα γαλακτικά βακτήρια ήταν πάνω από το όριο ανίχνευσης οι διαφορές στους ρυθμούς και στην λανθάνουσα φάση ανάπτυξης των γαλακτικών και της ολικής μικροβιακής χλωρίδας μπορούν να αποδοθούν στο διαφορετικό όριο ανίχνευσης που επηρεάζει τα αποτελέσματα της εξίσωσης Baranyi (τα γαλακτικά βακτήρια έχουν όριο ανίχνευσης 1 logCFU/g ενώ η ολική μικροβιακή χλωρίδα 2 logCFU/g) και στις αποκλίσεις των μετρήσεων.

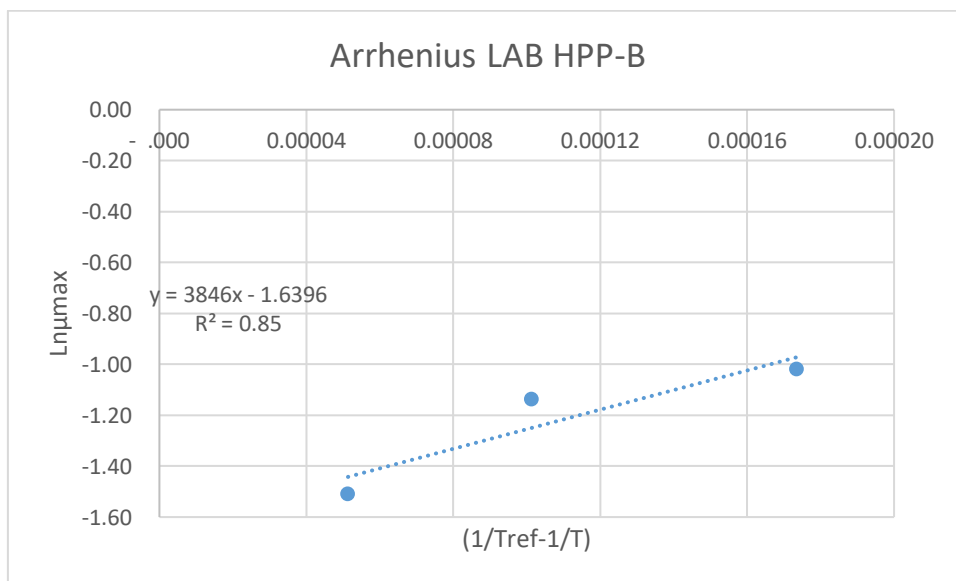
Σε αντίθεση με την ολική μικροβιακή χλωρίδα οι ρυθμοί ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων στα ψητά δείγματα είναι σταθερά μικρότεροι από τους ρυθμούς ανάπτυξης των βραστών δειγμάτων ανεξαρτήτως εάν είναι Control ή HPP. Συγκεκριμένα στα βραστά Control δείγματα τα γαλακτικά βακτήρια παρουσιάζουν σταθεροποίηση της ανάπτυξης τους πιο γρήγορα από ότι στα ψητά. Αυτό, όπως και οι παρεκκλίσεις που προκύπτουν από την ολική μικροβιακή χλωρίδα στα Control δείγματα, μπορούν να αποδοθούν στην ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* ο οποίος επηρεάζει την ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων αλλά και στην διαφορά μεταξύ των δειγμάτων σε θερμική επεξεργασία, σύσταση και συσκευασία. Στα HPP δείγματα, ξανά η βραστή γαλοπούλα εμφανίζει ταχύτερη ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων κάτι το οποίο επίσης μπορεί να αποδοθεί στην διαφορά μεταξύ των δειγμάτων. Έτσι η βραστή γαλοπούλα φαίνεται συνολικά πιο πρόσφορη για την ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων (με μόνη εξαίρεση τους 18°C στα Control δείγματα όπου ενώ ο ρυθμός ανάπτυξης είναι μικρότερος η τελική συγκέντρωση των γαλακτικών βακτηρίων είναι σημαντικά μεγαλύτερη στα ψητά δείγματα). Τέλος, σε αντιστοιχία με την ολική μικροβιακή χλωρίδα οι ρυθμοί ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων στα δείγματα Horeca είναι οι μεγαλύτεροι κάτι το οποίο αποδίδεται ξανά στην σύσταση των δειγμάτων.

6.2.4 Μοντέλο Arrhenius για την ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων

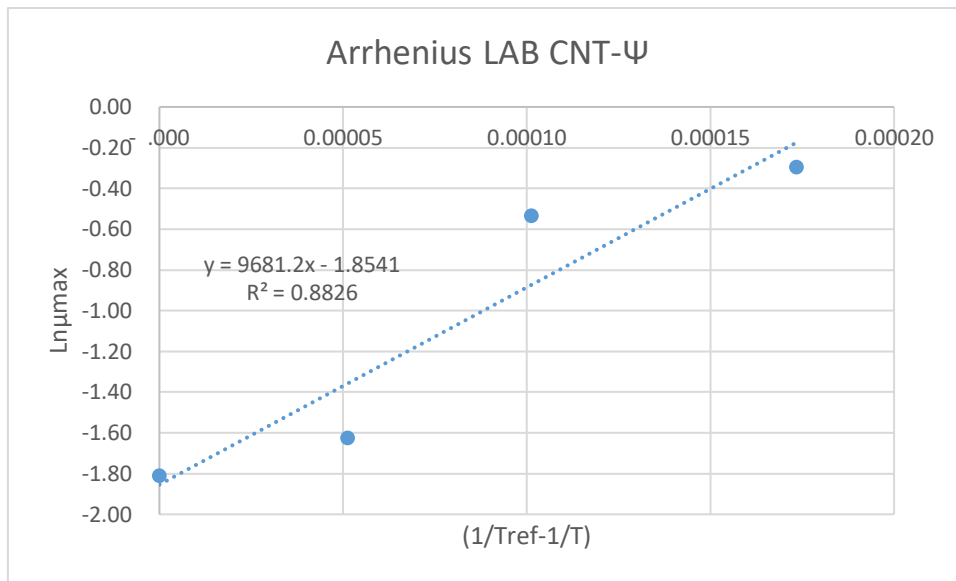
Παρουσιάζονται τα διαγράμματα ($\ln \mu_{\max} - (1/T_{\text{ref}} - 1/T)$) που προέκυψαν από την εξίσωση Arrhenius για κάθε δείγμα καθώς και ένας πίνακας με τις τιμές E_a και $\mu_{\max, \text{ref}}$



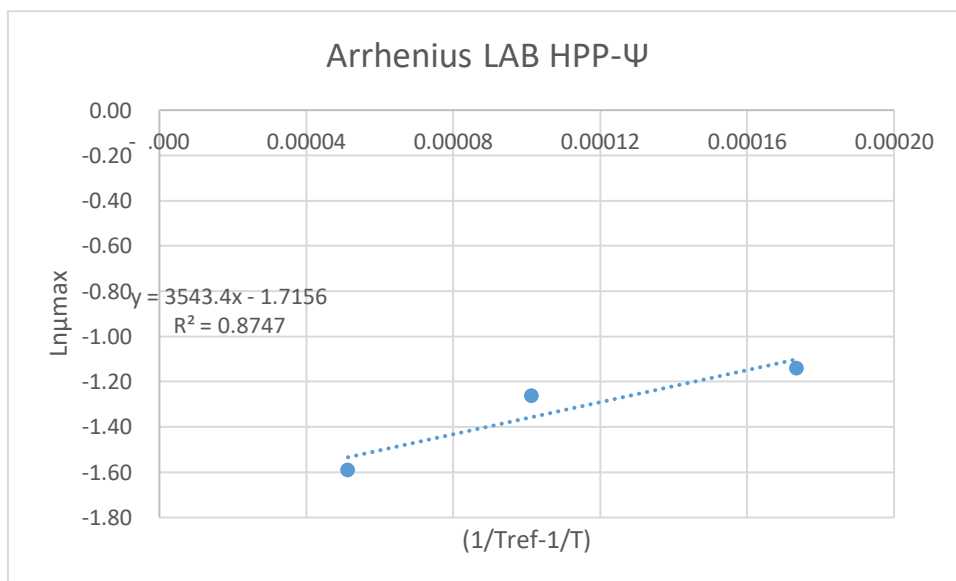
Σχήμα 6.16: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων βραστής Control γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



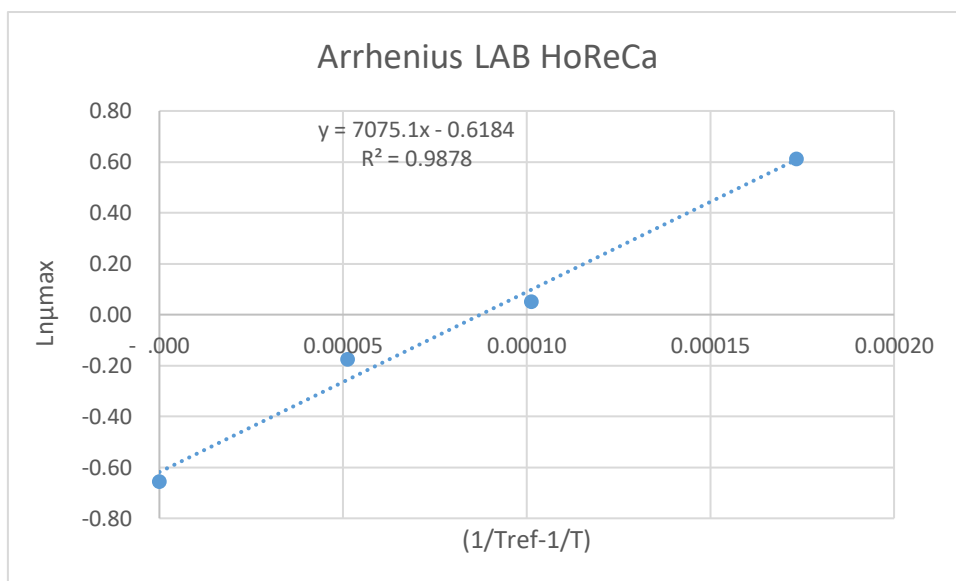
Σχήμα 6.17: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων βραστής HPP γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.18: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων ψητής Control γαλοπούλας ($T_{ref}=4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.19: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων ψητής HPP γαλοπούλας ($T_{ref}=4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.20: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων γαλοπούλας Horeca ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)

Πίνακας 6.12: Σταθερές ενέργειας ενεργοποίησης E_a και ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων στη θερμοκρασία αναφοράς, ($T_{ref} = 4^{\circ}C$) $\mu_{max,ref}$

Δείγμα $T_{ref} = 4^{\circ}C$	$\mu_{max,ref}$ (d^{-1})	E_a (kJ/mol)
Control Βραστή	0.241 ± 0.027	63.7 ± 9.6
HPP Βραστή	0.194 ± 0.034	31.9 ± 13.4
Control Ψητή	0.157 ± 0.036	80.5 ± 20.7
HPP Ψητή	0.180 ± 0.027	29.5 ± 11.1
Horeca	0.539 ± 0.030	58.8 ± 4.6

Παρατηρείται ότι, ενώ η προσαρμογή του μοντέλου δεν είναι εξίσου καλή στα δείγματα της HPP βραστής-ψητής και της ψητής Control γαλοπούλας ($0.85 < R^2 < 0.9$), ο ρυθμός ανάπτυξης $\mu_{max,ref}$ δεν αποκλίνει σημαντικά από την πειραματική τιμή.

Παρατηρείται ακόμη πως, σε αντίθεση με την ολική μικροβιακή χλωρίδα, η επεξεργασία με HPP φαίνεται να μειώνει την ενέργεια ενεργοποίησης και στην περίπτωση του βραστού και του ψητού δείγματος καθιστώντας τα, λιγότερο ευαίσθητα στην μεταβολή της θερμοκρασίας (αντίθετο με την παρατήρηση των Katsaros & Taoukis, 2021).

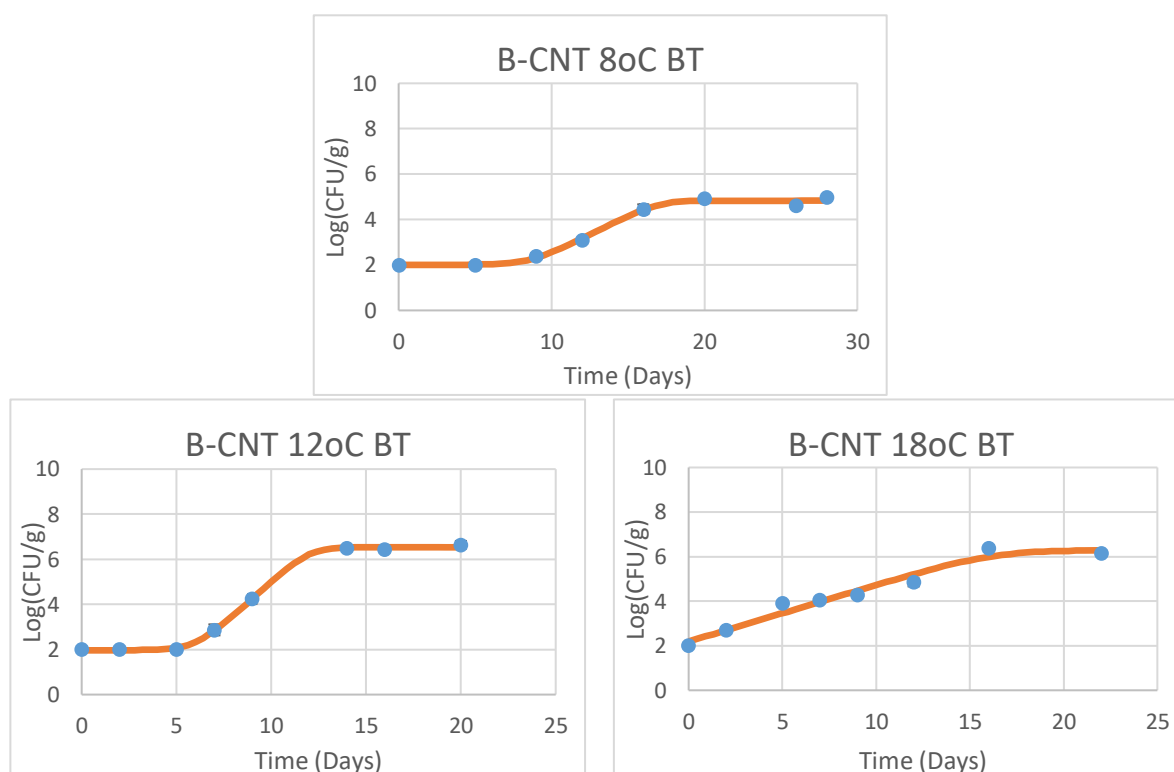
Στα Control δείγματα ο ρυθμός ανάπτυξης και η ενέργεια ενεργοποίησης φαίνεται να ακολουθούν τα ίδια μοτίβα με την ολική μικροβιακή χλωρίδα, με το ψητό δείγμα να είναι πιο ευαίσθητο θερμικά, αλλά να έχει μικρότερο ρυθμό ανάπτυξης $\mu_{max,ref}$.

Το δείγμα Horeca παρουσιάζει μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης σε σύγκριση με αυτή που παρουσίαζε στην ολική μικροβιακή χλωρίδα όμως η τιμή $\mu_{max,ref}$ του είναι η μεγαλύτερη πράγμα που συμβαδίζει με τα πειραματικά δεδομένα.

Η γενικότερη πτώση της ενέργειας ενεργοποίησης των δειγμάτων μπορεί να αποδοθεί στην μείωση της αύξησης των ρυθμών ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης σε σχέση με την ολική μικροβιακή χλωρίδα.

6.2.5 *Brochothrix thermosphacta*

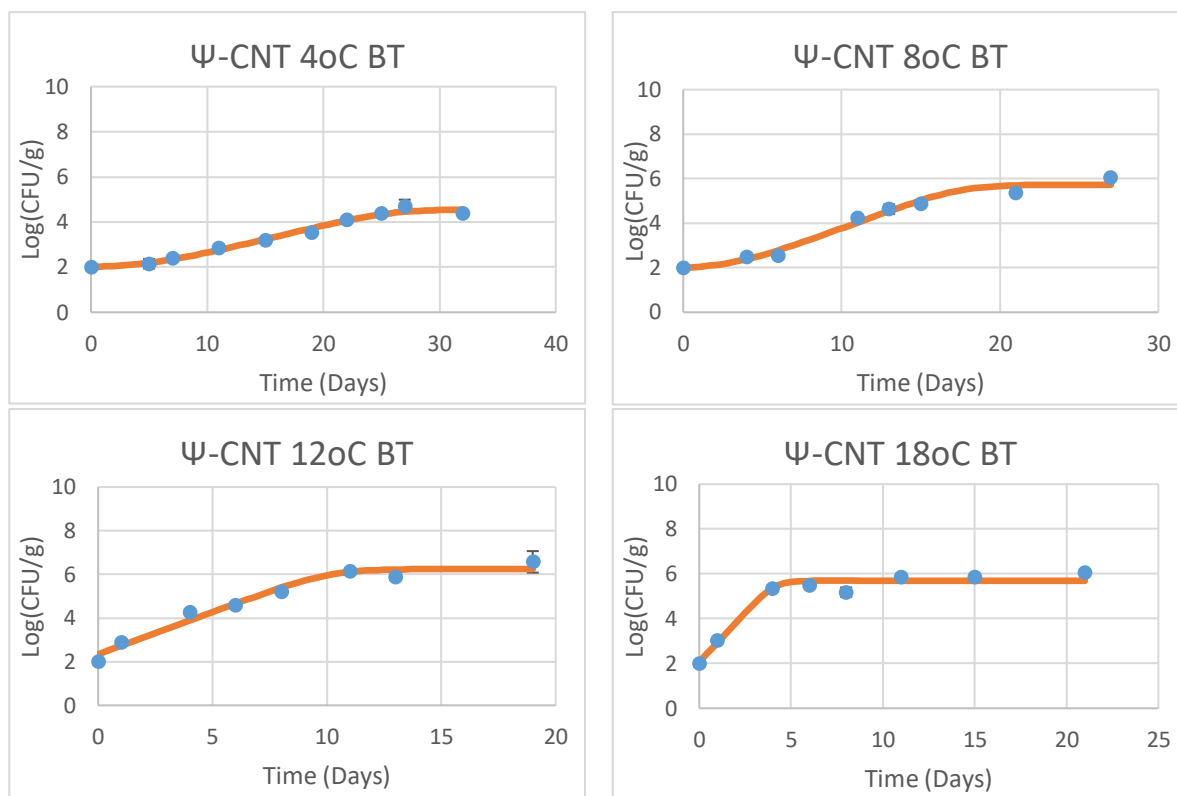
Ο *Brochothrix thermosphacta* ήταν πάνω από το όριο ανίχνευσης (2 logCFU/g) μόνο στην περίπτωση των Control δειγμάτων. Παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης του συναρτήσεως του χρόνου αποθήκευσης καθώς και οι σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης. Σημειώνεται ότι στο βραστό Control δείγμα στους 4°C ο *Brochothrix thermosphacta* ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης.



Σχήμα 6.21: Καμπύλες ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* για το δείγμα βραστής Control γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.13: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα βραστής Control γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) του <i>Brochothrix thermosphacta</i> βραστής Control γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) του <i>Brochothrix thermosphacta</i> βραστής Control γαλοπούλας
8°C	0.335	8.6
12°C	0.759	6.0
18°C	0.254	-



Σχήμα 6.22: Καμπύλες ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.14: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης για το δείγμα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	Σταθερά ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} (d ⁻¹) του <i>Brochothrix thermosphacta</i> ψητής Control γαλοπούλας	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ (d) του <i>Brochothrix thermosphacta</i> ψητής Control γαλοπούλας
4°C	0.125	5.2
8°C	0.264	3.3
12°C	0.338	-
18°C	0.876	-

Καθώς ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* παρατηρήθηκε πάνω από το όριο ανίχνευσης μόνο στα Control δείγματα, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η επεξεργασία HPP εμποδίζει σημαντικά την ανάπτυξη του μικροοργανισμού αυτού (Katsaros & Taoukis, 2021, Oliveira et al., 2015 και Han et al., 2011). Επιπλέον στα Horeca δείγματα φαίνεται να ευνοείται πολύ περισσότερο η ανάπτυξη των γαλακτικών βακτηρίων

σε σημείο που αυτά εμποδίζουν την ανάπτυξη άλλων μικροοργανισμών. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην σύσταση και την επεξεργασία του δείγματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το κάπνισμα και η υψηλότερη περιεκτικότητα σε ζάχαρη του δείγματος ευνοούν την ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων (Samelis et al., 2000 και Cayré et al., 2003). Επιπλέον καθώς η σύσταση και η μέθοδος επεξεργασίας επηρεάζουν το είδος των γαλακτικών βακτηρίων που αναπτύσσεται στο κρεατοσκεύασμα (Samelis et al., 2000) είναι πιθανό τα γαλακτικά βακτήρια τα οποία αναπτύσσονται στο συγκεκριμένο δείγμα να είναι ικανά να περιορίσουν σημαντικά την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* (Collins & Lopez, 1980).

Στο βραστό δείγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας δεν φαίνεται να φέρνει αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* ούτε της τελικής του συγκέντρωσης. Παρουσιάζεται όμως βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης του μικροοργανισμού στους 12°C (βέλτιστη ανάμεσα στις θερμοκρασίες που μελετήθηκαν). Ακόμη στους 4°C όπως ήδη αναφέρθηκε δεν παρατηρείται ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* πάνω από το όριο ανίχνευσης.

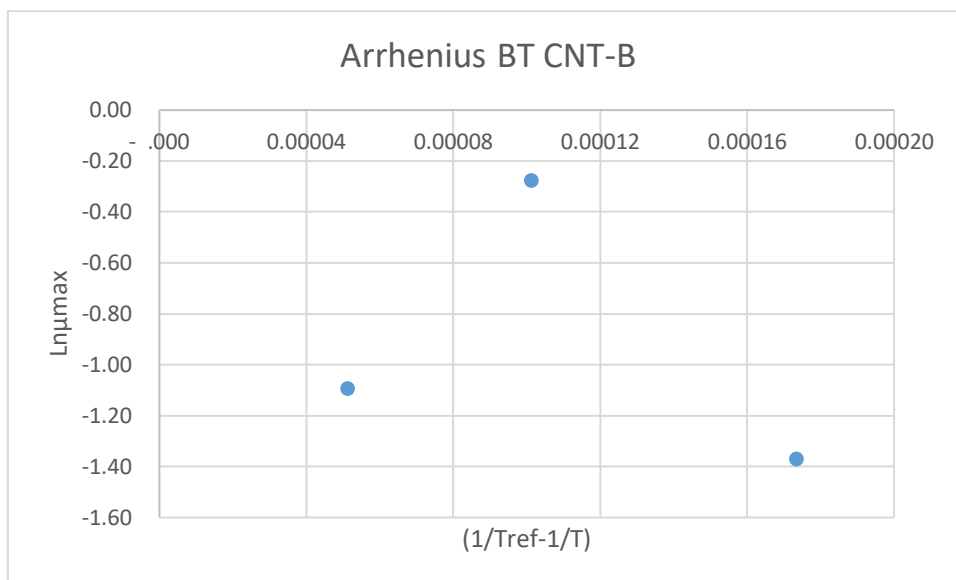
Στο ψητό δείγμα η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται και αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης του μικροοργανισμού όμως δεν συνεπάγεται και την συνεχή αύξηση της τελικής του συγκέντρωσης. Συγκεκριμένα, στους 12°C η τελική συγκέντρωση του μικροοργανισμού είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τους 18°C. Αυτό συμβαίνει καθώς στους 18°C ο *Brochothrix thermosphacta* αρχικά αναπτύσσεται γρήγορα, έρχεται όμως σύντομα σε μια σταθερή συγκέντρωση, καθώς τα γαλακτικά βακτήρια φαίνεται να κυριαρχούν μετά τις 4 ημέρες.

Οι McClure et al., 1993 και Nielsen, 1982 παρατήρησαν αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Οι McClure et al., 1993 παρατήρησαν επίσης μέγιστη συγκέντρωση του *Brochothrix thermosphacta* σε θερμοκρασίες ανάμεσα στους 10-11°C. Αξίζει όμως να αναφερθεί ότι οι McClure et al., 1993 παρατήρησαν την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* σε μέσο ανάπτυξης και όχι σε κάποιο κρεατοσκεύασμα.

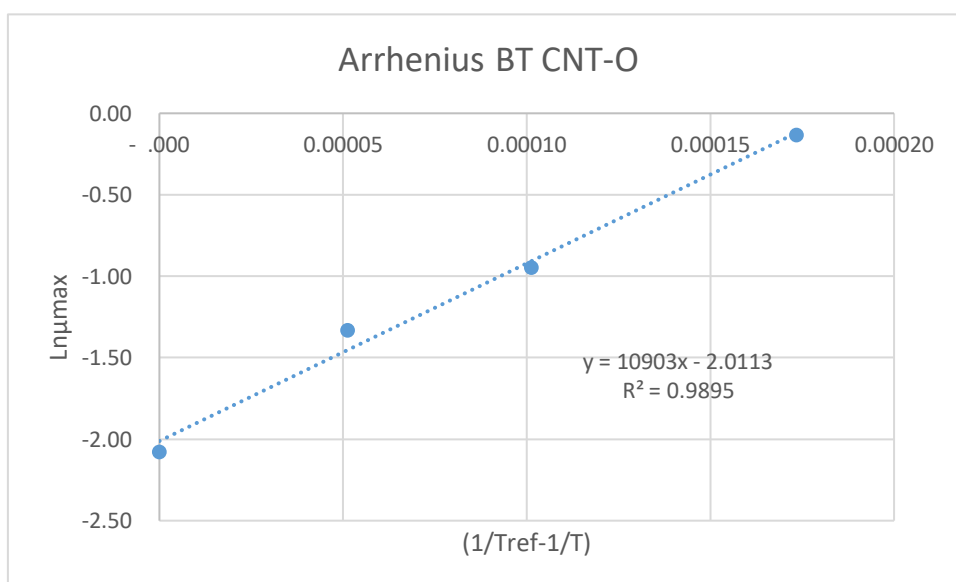
Συνολικά, στις χαμηλότερες θερμοκρασίες το ψητό δείγμα φαίνεται να είναι καταλληλότερο για την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* ενώ στους 18 °C οι συσχετισμοί αλλάζουν. Η διαφορετική συσκευασία, σύσταση και θερμική επεξεργασία είναι οι μόνοι παράγοντες που μπορούν να εξηγήσουν αυτά τα αποτελέσματα.

6.2.6 Μοντέλο Arrhenius για τον *Brochothrix thermosphacta*

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα ($\ln \mu_{\max} - (1/T_{\text{ref}} - 1/T)$) που προέκυψαν από την εξίσωση Arrhenius για τα Control δείγματα καθώς και ένας πίνακας με τις τιμές E_a και $\mu_{\max, \text{ref}}$



Σχήμα 6.23: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* βραστής Control γαλοπούλας ($T_{\text{ref}} = 4^\circ\text{C}$)



Σχήμα 6.24: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* ψητής Control γαλοπούλας ($T_{\text{ref}} = 4^\circ\text{C}$)

Πίνακας 6.15: Σταθερές ενέργειας ενεργοποίησης E_a και ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* $\mu_{max,ref}$

Δείγμα $T_{ref}=4^{\circ}\text{C}$	$\mu_{max,ref}$ (d^{-1})	E_a (kJ/mol)
Control Ψητή	0.134 ± 0.011	90.6 ± 6.6

Το μοντέλο Arrhenius δεν εκφράζει την μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* του βραστού δείγματος. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο από τα αποτελέσματα της μικροβιακής ανάπτυξης όπου η θερμοκρασία των 12°C φαίνεται να είναι η βέλτιστη για την ανάπτυξη του μικροοργανισμού.

Στο ψητό δείγμα το μοντέλο Arrhenius φαίνεται να έχει πολύ καλή προσαρμογή. Η υψηλή τιμή της ενέργειας ενεργοποίησης δείχνει ότι ο ρυθμός ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* επηρεάζεται σημαντικά από την μεταβολή της θερμοκρασίας.

6.2.7 Προσδιορισμός διατηρησιμότητας δειγμάτων

Από τα μικροβιολογικά δεδομένα είναι δυνατό να υπολογιστεί η διατηρησιμότητα των δειγμάτων. Ως ανώτατα όρια για τα κρεατοσκευάσματα γαλοπούλας θεωρήθηκαν τα 8 logCFU/g για την ολική μικροβιακή χλωρίδα και τα 7 logCFU/g για τα γαλακτικά βακτήρια (Borch et al., 1996). Οι τιμές της διατηρησιμότητας υπολογίστηκαν με τη βοήθεια της εξίσωσης Baranyi. Σε ορισμένα δείγματα και θερμοκρασίες, όπως θα φανεί και παρακάτω, η ολική μικροβιακή χλωρίδα ήταν αυτή η οποία ξεπέρασε πρώτη το ανώτατο όριο των 8 logCFU/g, ενώ σε άλλα τα γαλακτικά βακτήρια ξεπέρασαν πρώτα το ανώτατο όριο των 7 logCFU/g. Τα δεδομένα της διατηρησιμότητας επεξεργάστηκαν περαιτέρω με το στατιστικό πρόγραμμα SigmaPlot για την προσαρμογή τους σε εκθετικές καμπύλες.

Πίνακας 6.16: Διατηρησιμότητα δειγμάτων βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C , 8°C , 12°C και 18°C .

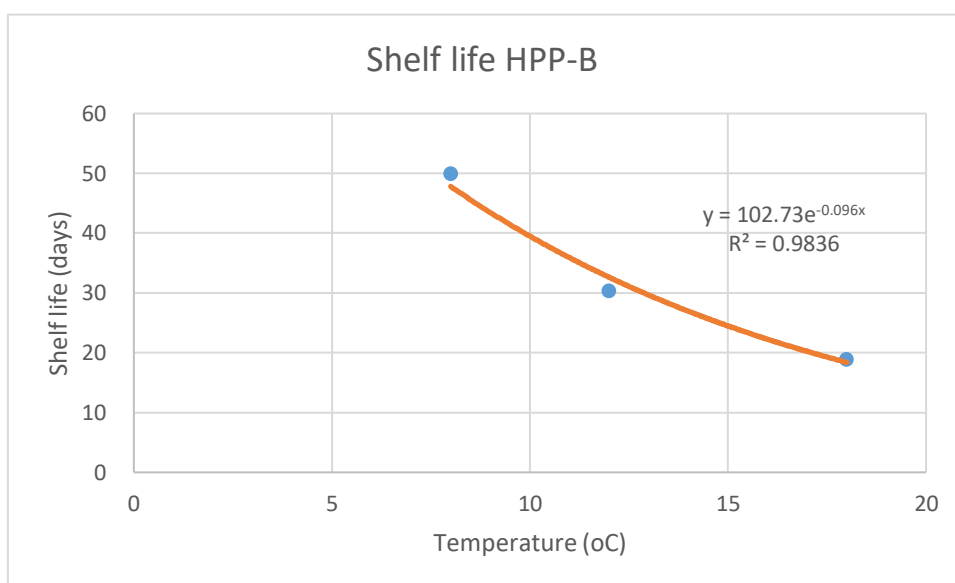
Shelf life (days)	Control βραστή γαλοπούλα		
	Θερμοκρασία αποθήκευσης	Διατηρησιμότητα σε ημέρες (d)	
	4°C	35.0	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
	8°C	19.4	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
	12°C	10.0	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
	18°C	7.7	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.

Σχήμα 6.25: Διάγραμμα διατηρησιμότητας δειγμάτων βραστής Control γαλοπούλας συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πίνακας 6.17: Διατηρησιμότητα δειγμάτων βραστής HPP γαλοπούλας στους 8°C , 12°C και

18°C.

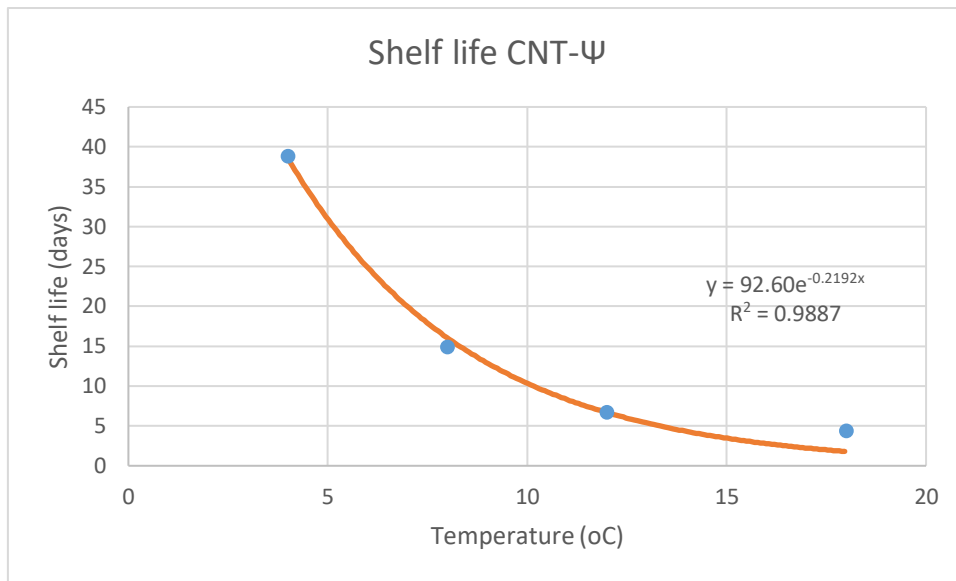
HPP βραστή γαλοπούλα		
Θερμοκρασία αποθήκευσης	Διατηρησιμότητα σε ημέρες (d)	
8°C	49.9	>7 logCFU/g Γαλακτικά
12°C	30.4	>7 logCFU/g Γαλακτικά
18°C	18.9	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.



Σχήμα 6.26: Διάγραμμα διατηρησιμότητας δειγμάτων βραστής HPP γαλοπούλας συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πίνακας 6.18: Διατηρησιμότητα δειγμάτων ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

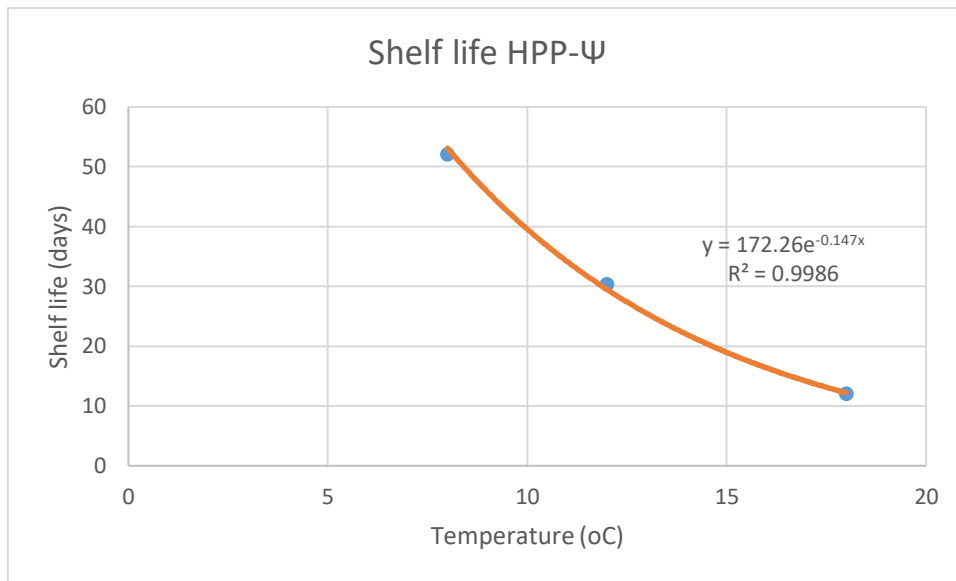
Control ψητή γαλοπούλα		
Θερμοκρασία αποθήκευσης	Διατηρησιμότητα σε ημέρες (d)	
4°C	38.9	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
8°C	14.9	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
12°C	6.7	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
18°C	4.5	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.



Σχήμα 6.27: Διάγραμμα διατηρησιμότητας δειγμάτων ψητής Control γαλοπούλας συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πίνακας 6.19: Διατηρησιμότητα δειγμάτων ψητής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

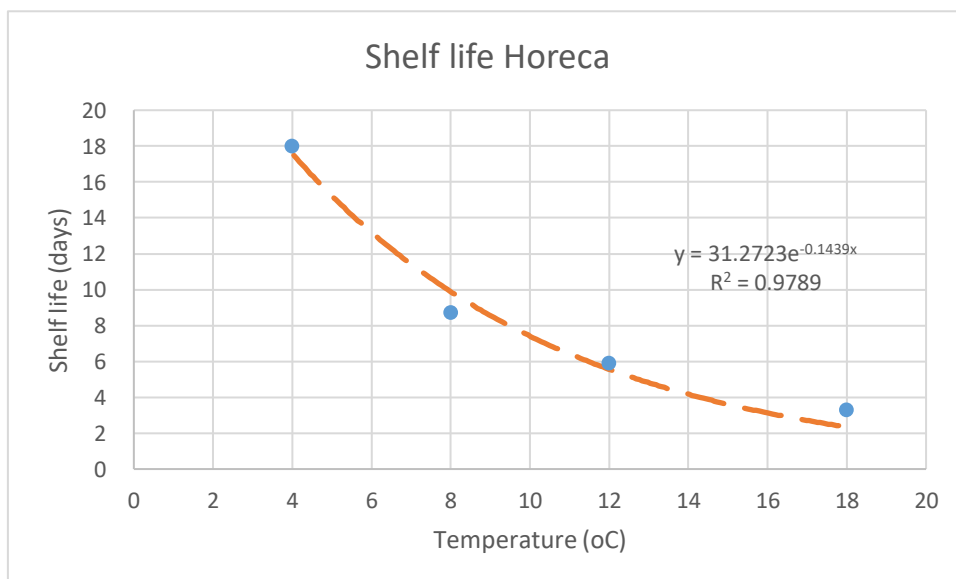
HPP ψητή γαλοπούλα		
Θερμοκρασία αποθήκευσης	Διατηρησιμότητα σε ημέρες (d)	
8°C	52.1	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
12°C	30.4	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.
18°C	12.0	>8 logCFU/g Ολική μ.χ.



Σχήμα 6.28: Διάγραμμα διατηρησιμότητας δειγμάτων ψητής HPP γαλοπούλας συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Πίνακας 6.20: Διατηρησιμότητα δειγμάτων γαλοπούλας Horeca στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Γαλοπούλα Horeca		
Θερμοκρασία αποθήκευσης	Διατηρησιμότητα σε ημέρες (d)	
4°C	18.0	>7 logCFU/g Γαλακτικά
8°C	8.7	>7 logCFU/g Γαλακτικά
12°C	5.9	>7 logCFU/g Γαλακτικά
18°C	3.3	>7 logCFU/g Γαλακτικά



Σχήμα 6.27: Διάγραμμα διατηρησιμότητας δειγμάτων γαλοπούλας Horeca συναρτήσει της θερμοκρασίας.

Αρχικά παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης οδηγεί και σε μείωση της διατηρησιμότητας όλων των δειγμάτων (αποτέλεσμα που παρατηρήθηκε και από τους Katsaros & Taoukis, 2021). Επιπλέον η επεξεργασία με HPP αυξάνει σημαντικά την διατηρησιμότητα των βραστών και ψητών δειγμάτων (παρατηρήθηκε και από Katsaros & Taoukis, 2021, Kang et al., 2014 και Oliveira et al., 2015).

Στα Control δείγματα η ολική μικροβιακή χλωρίδα είναι αυτή η οποία καθορίζει την διατηρησιμότητα. Ο ανταγωνισμός του *Brochothrix thermosphacta* με τα γαλακτικά βακτήρια δεν επιτρέπει σε κάποιο από αυτούς τους μικροοργανισμούς να αναπτυχθεί με τέτοιο ρυθμό ώστε να ξεπεράσει το ανώτατο όριο πριν την ολική μικροβιακή χλωρίδα. Στους 4°C η διατηρησιμότητα της ψητής γαλοπούλας ήταν μεγαλύτερη από της βραστής (παρατηρείται και από Samelis et al., 2000) όμως στις υπόλοιπες θερμοκρασίες η διατηρησιμότητα της βραστής ήταν η μεγαλύτερη. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό καθώς ο ρυθμός ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας του ψητού δείγματος στους 4°C είναι σημαντικά μικρότερος από αυτόν της βραστής γαλοπούλας, όμως με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ρυθμός του ψητού δείγματος αυξάνεται πιο πολύ όπως φάνηκε και στην εφαρμογή του μοντέλου Arrhenius. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το ψητό δείγμα δεν έπιασε τιμή πάνω από το όριο των 8 logCFU/g, όμως η διάρκεια ζωής υπολογίστηκε θεωρητικά μέσω του μοντέλου Baranyi.

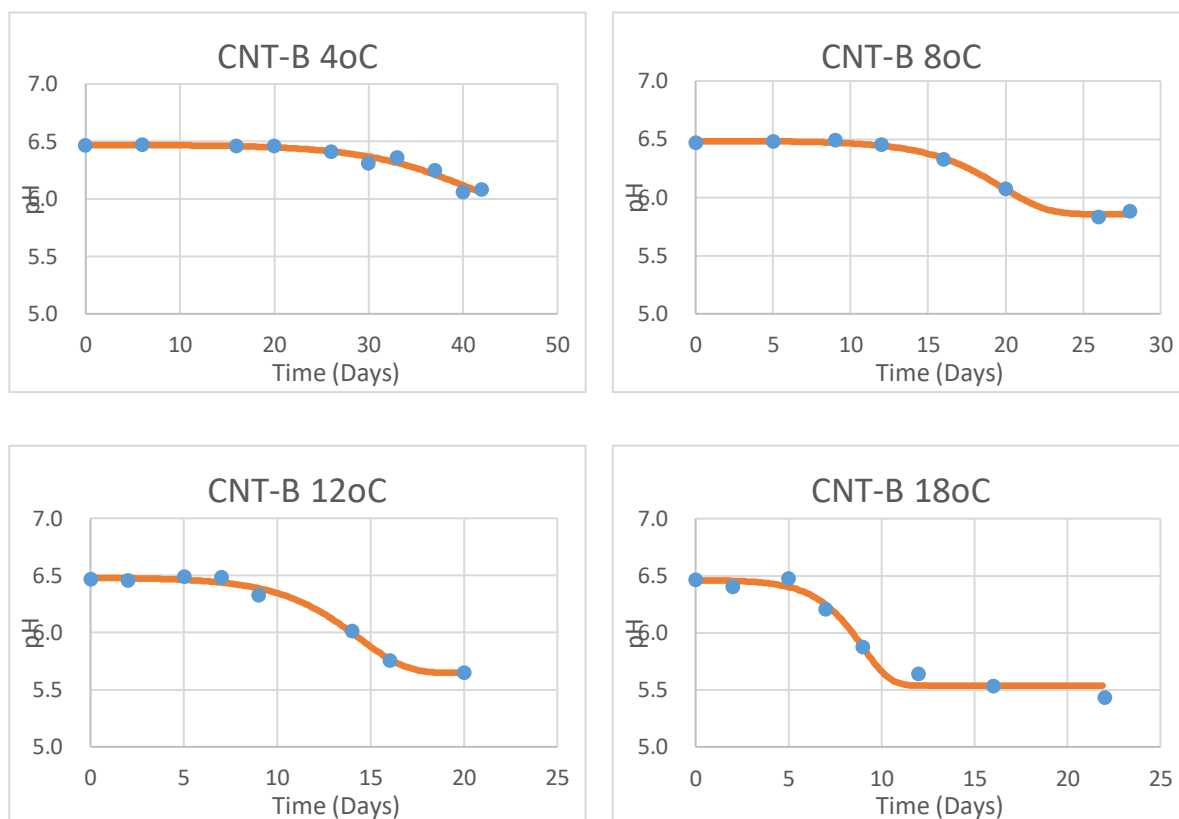
Η διατηρησιμότητα της ψητής HPP γαλοπούλας καθορίζεται επίσης από την ολική μικροβιακή χλωρίδα σε όλες τις θερμοκρασίες, ενώ της βραστής στους 8°C-12°C από τα γαλακτικά βακτήρια και στους 18°C από την ολική μικροβιακή χλωρίδα. Στους 8°C η διατηρησιμότητα της βραστής γαλοπούλας είναι μικρότερη από της ψητής στους 12°C είναι ίδια και στους 18°C είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στους 8°C και 12°C, όπως ήδη αναφέρθηκε, αν και οι ρυθμοί ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας είναι μικρότεροι από αυτούς της ψητής γαλοπούλας, η διατηρησιμότητα της βραστής γαλοπούλας καθορίζεται από τα γαλακτικά βακτήρια τα οποία έχουν χαμηλότερο ανώτατο όριο. Η διατηρησιμότητα των HPP δειγμάτων στους 4°C δεν μπορεί να υπολογιστεί, καθώς στην περιορισμένη διάρκεια των πειραμάτων δεν πρόλαβε να υπάρξει μικροβιακή ανάπτυξη μεγαλύτερη από το όριο ανίχνευσης.

Στα Horeca δείγματα η διατηρησιμότητα καθορίζεται από την συγκέντρωση των γαλακτικών βακτηρίων καθώς η συγκέντρωση τους κατά την διάρκεια των πειραμάτων είναι σχεδόν ίδια με αυτή της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και έτσι το όριο των 7 logCFU/g επιτυγχάνεται πρώτο. Τα δείγματα Horeca παρουσιάζουν την χαμηλότερη - με διαφορά- διατηρησιμότητα, κάτι το οποίο όπως έχει ήδη αναφερθεί αποδίδεται στην σύσταση τους η οποία φαίνεται να είναι πιο ευνοϊκή για μικροβιακή ανάπτυξη.

Τέλος, για όλα τα δείγματα, τα δεδομένα της καμπύλης της διατηρησιμότητας με την θερμοκρασία είχαν καλή προσαρμογή στο εκθετικό μοντέλο ($R^2 > 0.97$ σε όλες τις περιπτώσεις).

6.3 Αποτελέσματα μέτρησης pH

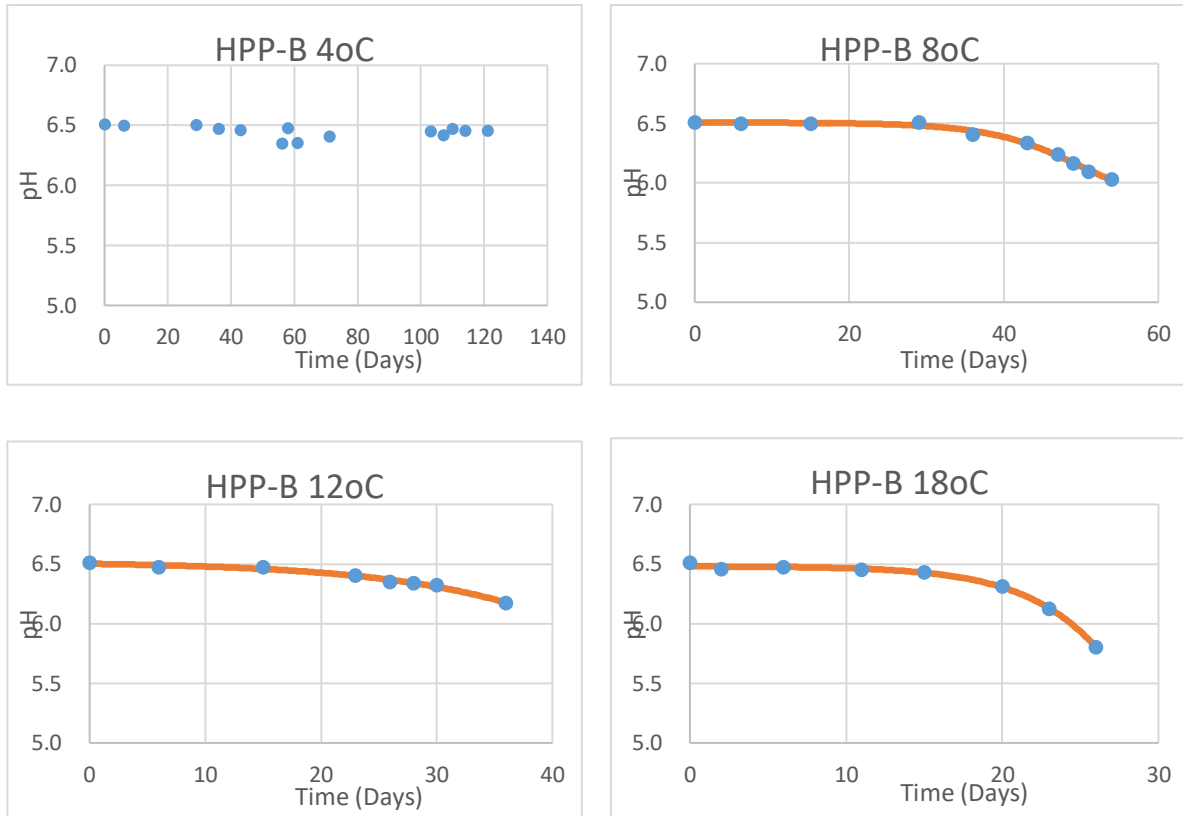
Παρατίθενται τα διαγράμματα της μεταβολής του pH για όλα τα δείγματα σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Gompertz (όπου η προσαρμογή των δεδομένων ήταν εφικτή) καθώς ήταν το μοντέλο με την καλύτερη προσαρμογή. Για κάθε δείγμα και θερμοκρασία υπολογίστηκε και ο μέγιστος ρυθμός μείωσης του pH, k μετρημένος σε d^{-1} . Οι τιμές του ρυθμού μείωσης του pH παρατίθενται στους παρακάτω πίνακες



Σχήμα 6.28: Καμπύλες μεταβολής του pH για τα δείγματα βρασής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.21: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH για τα δείγματα βρασής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

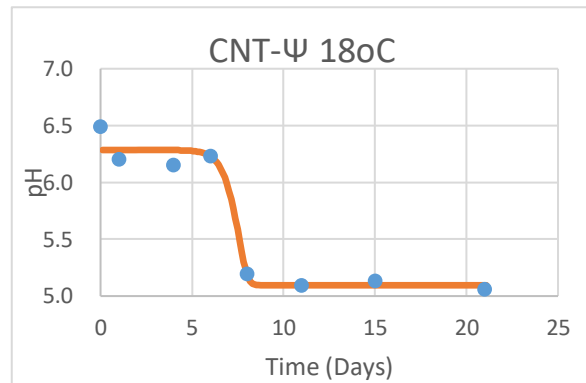
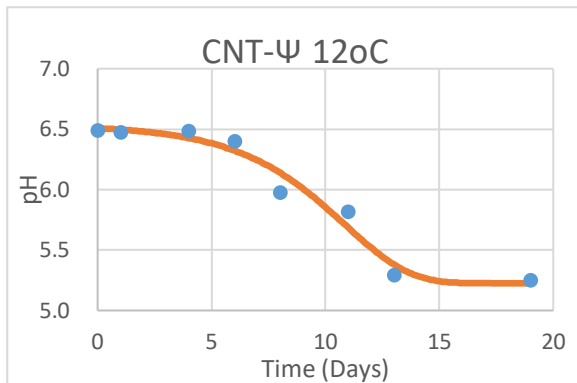
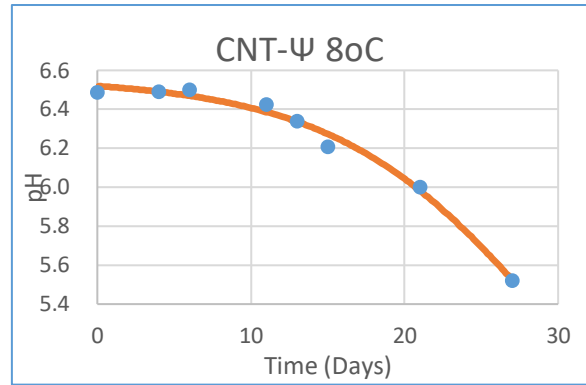
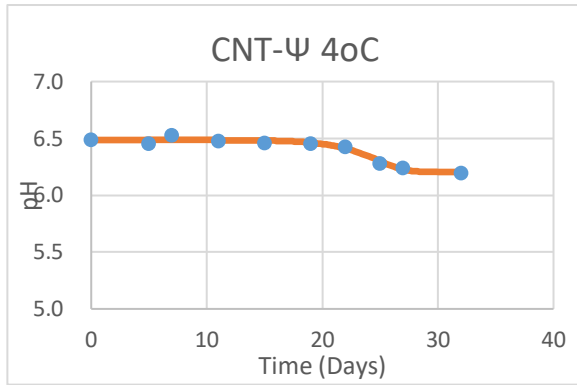
Θερμοκρασία	k (d^{-1})
4°C	-0.032
8°C	-0.080
12°C	-0.121
18°C	-0.229



Σχήμα 6.29: Καμπύλες μεταβολής του pH για τα δείγματα βραστής HPPγαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.22: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH για τα δείγματα βραστής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

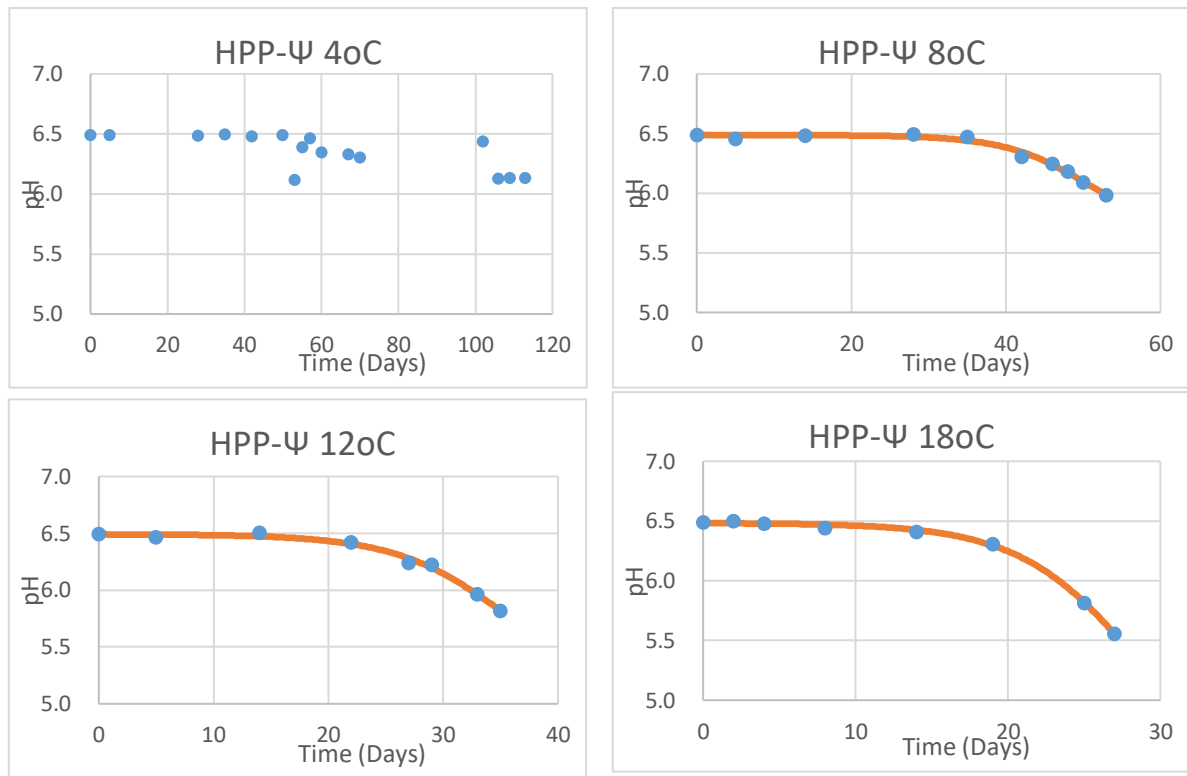
Θερμοκρασία	k (d ⁻¹)
8°C	-0.031
12°C	-0.115
18°C	-0.259



Σχήμα 6.30: Καμπύλες μεταβολής του pH για τα δείγματα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.23: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH για τα δείγματα ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

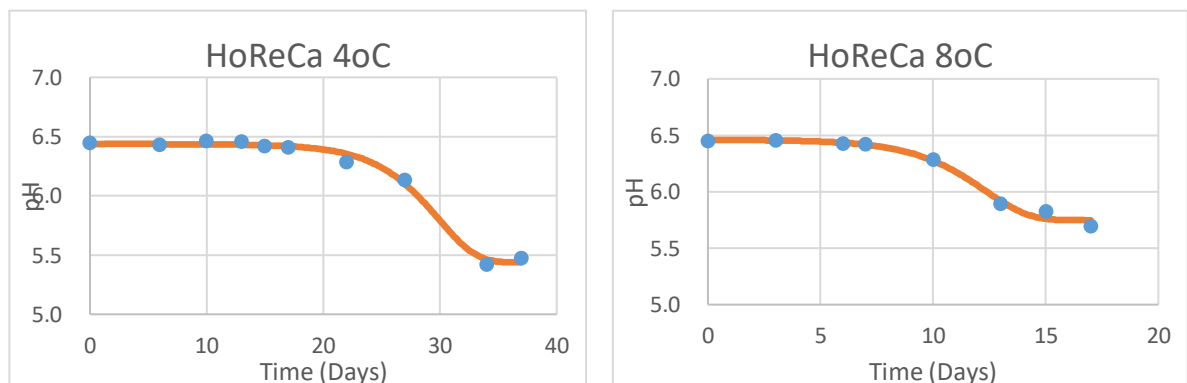
Θερμοκρασία	k (d ⁻¹)
4°C	-0.044
8°C	-0.086
12°C	-0.171
18°C	-0.858

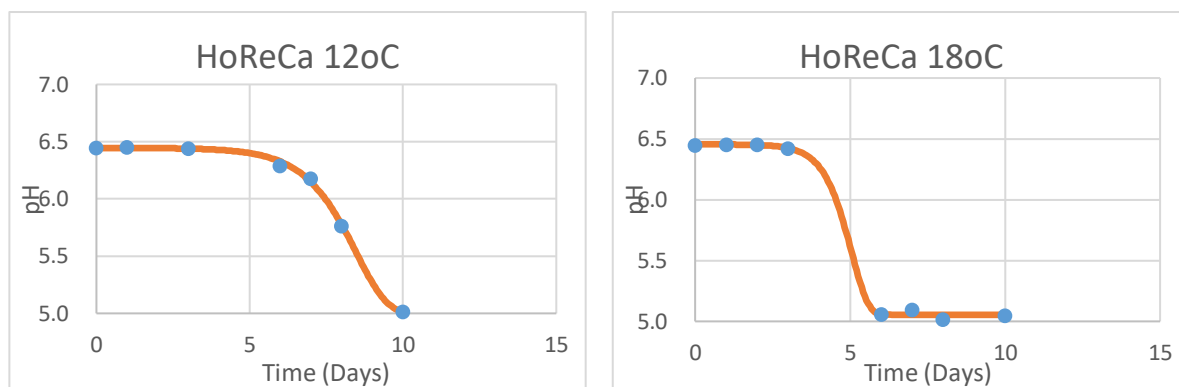


Σχήμα 6.31: Καμπύλες μεταβολής του pH για τα δείγματα ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.24: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH για τα δείγματα ψητής HPP γαλοπούλας στους 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	k (d ⁻¹)
8°C	-0.038
12°C	-0.071
18°C	-0.141





Σχήμα 6.32: Καμπύλες μεταβολής του pH για τα δείγματα γαλοπούλας *Horeca* στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Πίνακας 6.25: Σταθερές του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH για τα δείγματα γαλοπούλας *Horeca* στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Θερμοκρασία	k (d ⁻¹)
4°C	-0.114
8°C	-0.136
12°C	-0.527
18°C	-0.963

Η μεταβολή του pH οφείλεται κυρίως στα μεταβολικά παράγωγα των μικροοργανισμών, συγκεκριμένα των γαλακτικών βακτηρίων, που αναπτύσσονται, όπως το γαλακτικό οξύ (Hitchener et al., 1982). Είναι λογικό λοιπόν στα δείγματα και στις συνθήκες όπου η ανάπτυξη των μικροβίων ευνοείται το pH να μειώνεται περισσότερο και ταχύτερα, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται από τα πειραματικά δεδομένα. Επίσης καθώς η ανάπτυξη των βακτηρίων είναι σιγμοειδής είναι λογικό και η μείωση του pH να είναι σιγμοειδής.

Το αρχικό pH των δειγμάτων δεν διαφέρει σημαντικά με την τιμή του να είναι μεγαλύτερη από 6.4 σε όλα τα δείγματα στον χρόνο μηδέν. Τα δείγματα δηλαδή αρχικά έχουν ένα σχεδόν ουδέτερο pH. Οι Borch et al., 1996 και Collins & Lopez, 1982 συμφωνούν ότι για την ανάπτυξη του *Brochothrix thermosphacta* το αρχικό pH δεν πρέπει να είναι χαμηλό.

Η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης φαίνεται να οδηγεί και στην αύξηση του απόλυτου ρυθμού μείωσης του pH σε όλα τα δείγματα καθώς και στην χαμηλότερη τιμή τελικά του pH, κάτι το οποίο παρατηρείται και από τους Katsaros & Taoukis, 2021 και Cayré et al., 2003. Η επεξεργασία με HPP φαίνεται επίσης να μειώνει τον απόλυτο ρυθμό μείωσης του pH ιδίως στην ψητή γαλοπούλα. Επιπλέον φαίνεται να αυξάνει το διάστημα το οποίο το pH είναι πρακτικά σταθερό (είναι σαν το pH κάποιων δειγμάτων να παρουσιάζει μία λανθάνουσα φάση μείωσης).

Στα Control δείγματα η ψητή γαλοπούλα παρουσιάζει σταθερά μεγαλύτερους απόλυτους ρυθμούς μείωσης του pH από ότι η βραστή γαλοπούλα. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο ότι το ψητό δείγμα υπάρχει ταχύτερη συνολική ανάπτυξη μικροβίων.

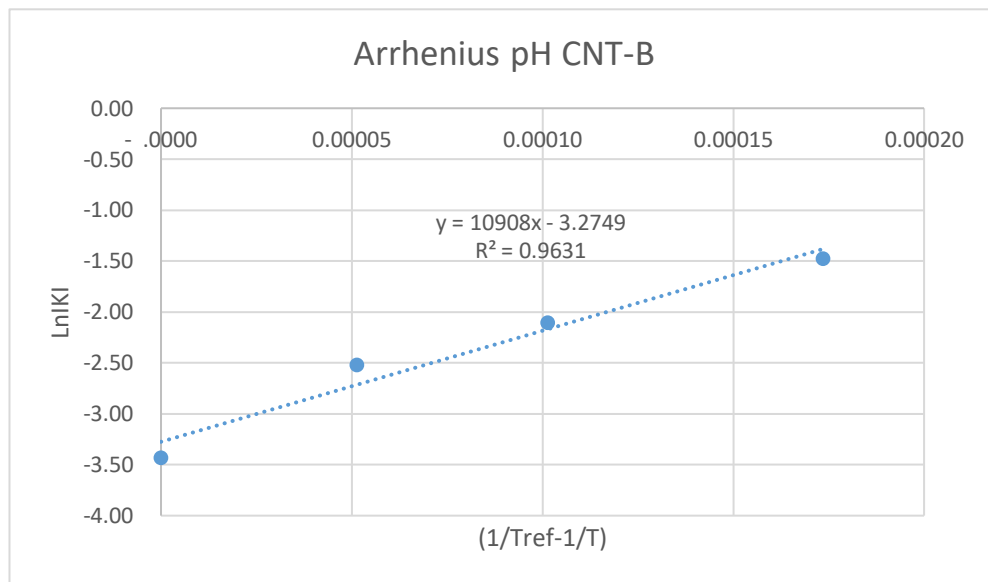
Στα HPP δείγματα οι απόλυτοι ρυθμοί μείωσης του pH της βραστής γαλοπούλας είναι μεγαλύτεροι από της ψητής. Αυτό μπορεί πιθανός να αποδοθεί και στους μεγαλύτερους ρυθμούς ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων στο βραστό δείγμα.

Η επεξεργασία των δειγμάτων με HPP δεν φαίνεται να επηρεάζει την αρχική τιμή του pH δειγμάτων φαίνεται όμως να μειώνει τον απόλυτο ρυθμό μείωσης του pH των δειγμάτων και να αυξάνει το τελικό τους pH (την ίδια παρατήρηση κάνουν και οι Katsaros & Taoukis, 2021 και Oliveira et al. 2015).

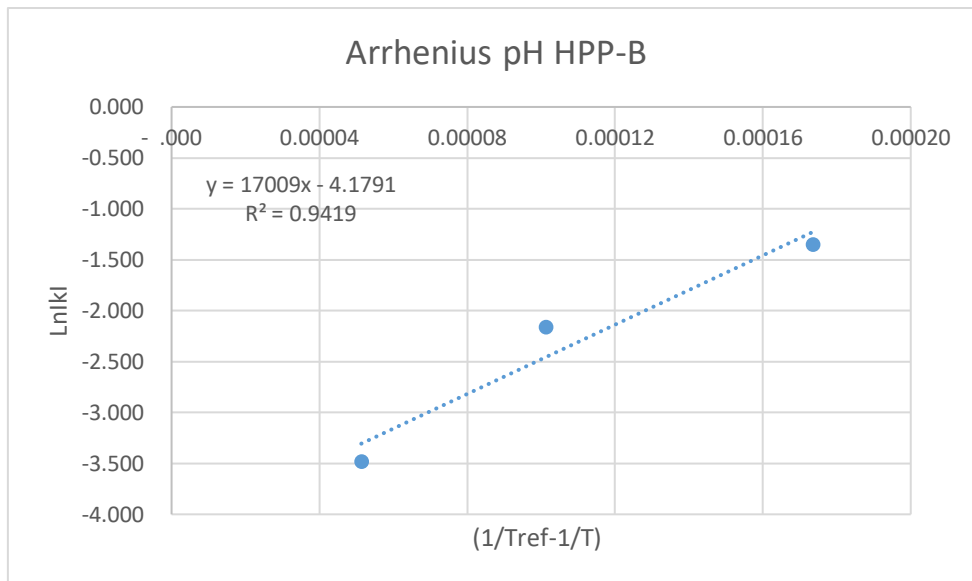
Τέλος, όπως ήταν αναμενόμενο το Horeca δείγμα με την εντονότερη δραστηριότητα γαλακτικών βακτηρίων έχει και τους μεγαλύτερους απόλυτους ρυθμούς μείωσης του pH.

6.3.1 Μοντέλο Arrhenius για τη μεταβολή του pH

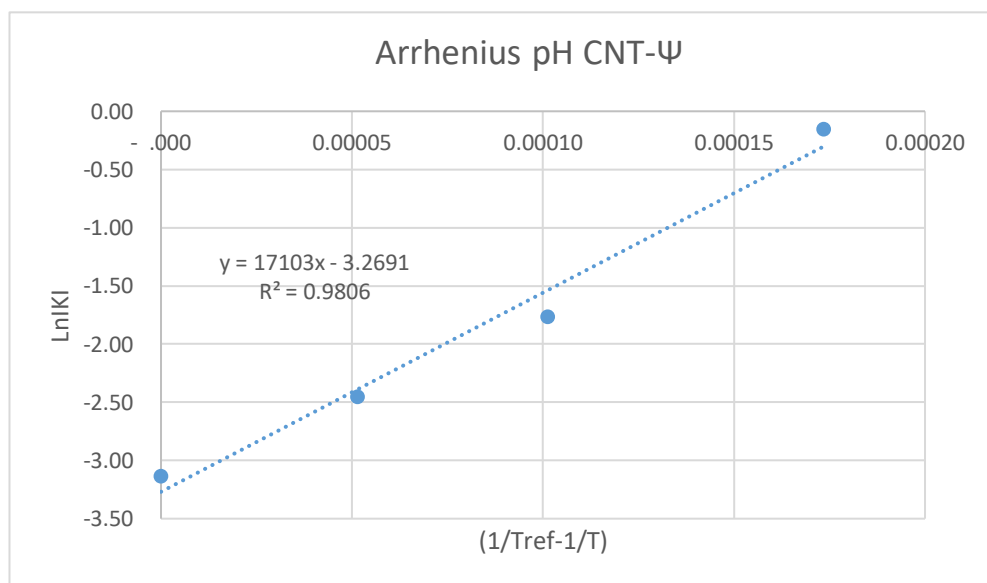
Οι σταθερές εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH κάθε δείγματος προσαρμόστηκαν επίσης στο μοντέλο Arrhenius με παρόμοιο τρόπο με τους ρυθμούς ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα ($\ln|K| - (1/T_{ref} - 1/T)$) που προέκυψαν από την εξίσωση Arrhenius για κάθε δείγμα καθώς και ένας πίνακας με τις τιμές E_a και $K_{max,ref}$ (για τα διαγράμματα χρησιμοποιήθηκε η απόλυτη τιμή του ρυθμού K)



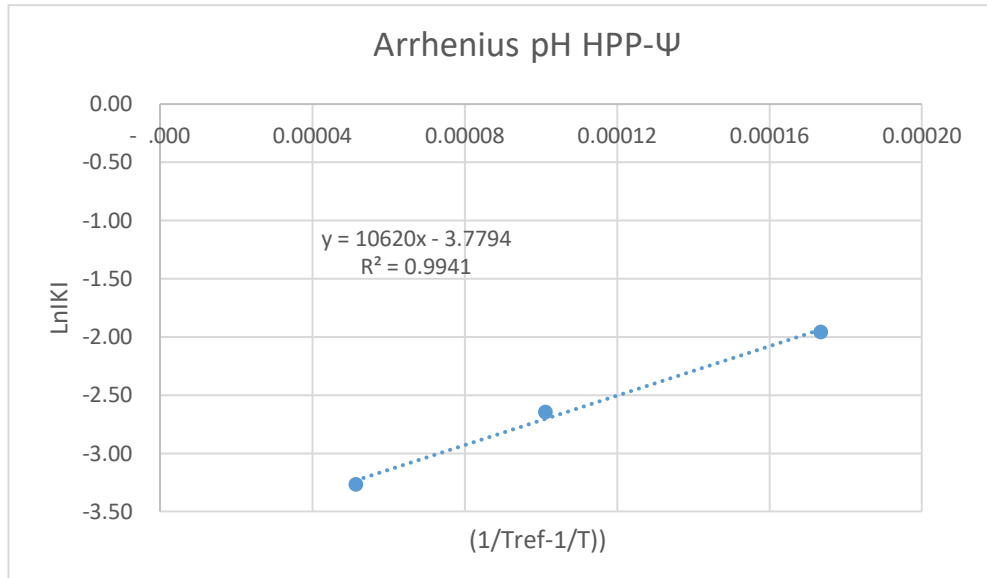
Σχήμα 6.33: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού μείωσης του pH βραστής Control γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



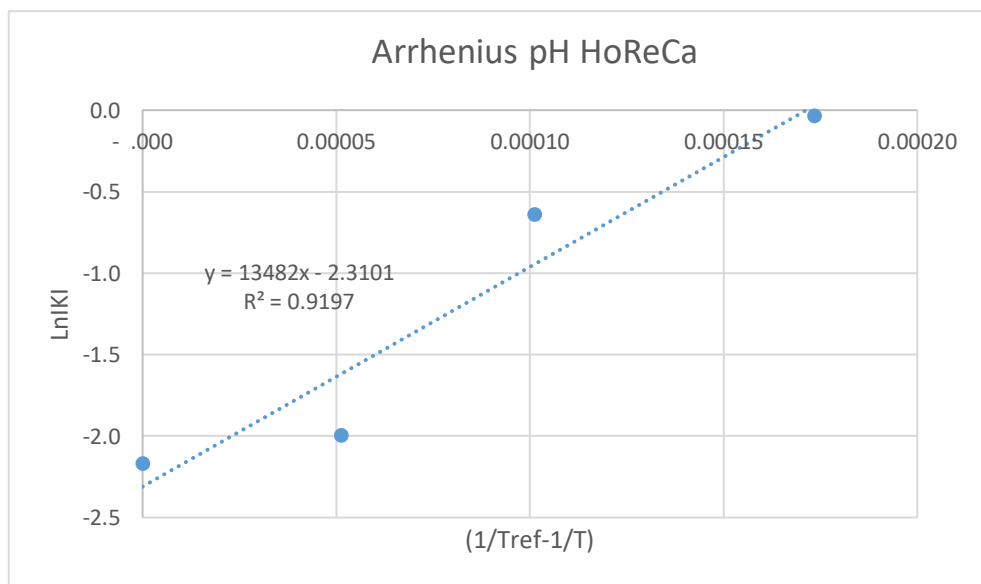
Σχήμα 6.34: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού μείωσης του pH βραστής HPP γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.35: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού μείωσης του pH ψητής Control γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.36: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού μείωσης του pH ψητής HPP γαλοπούλας ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)



Σχήμα 6.36: Διάγραμμα Arrhenius για τη μεταβολή του ρυθμού μείωσης του pH γαλοπούλας Horeca ($T_{ref} = 4^{\circ}C$)

Πίνακας 6.26: Σταθερές ενέργειας ενεργοποίησης E_a και ρυθμού μείωσης του pH $k_{max,ref}$

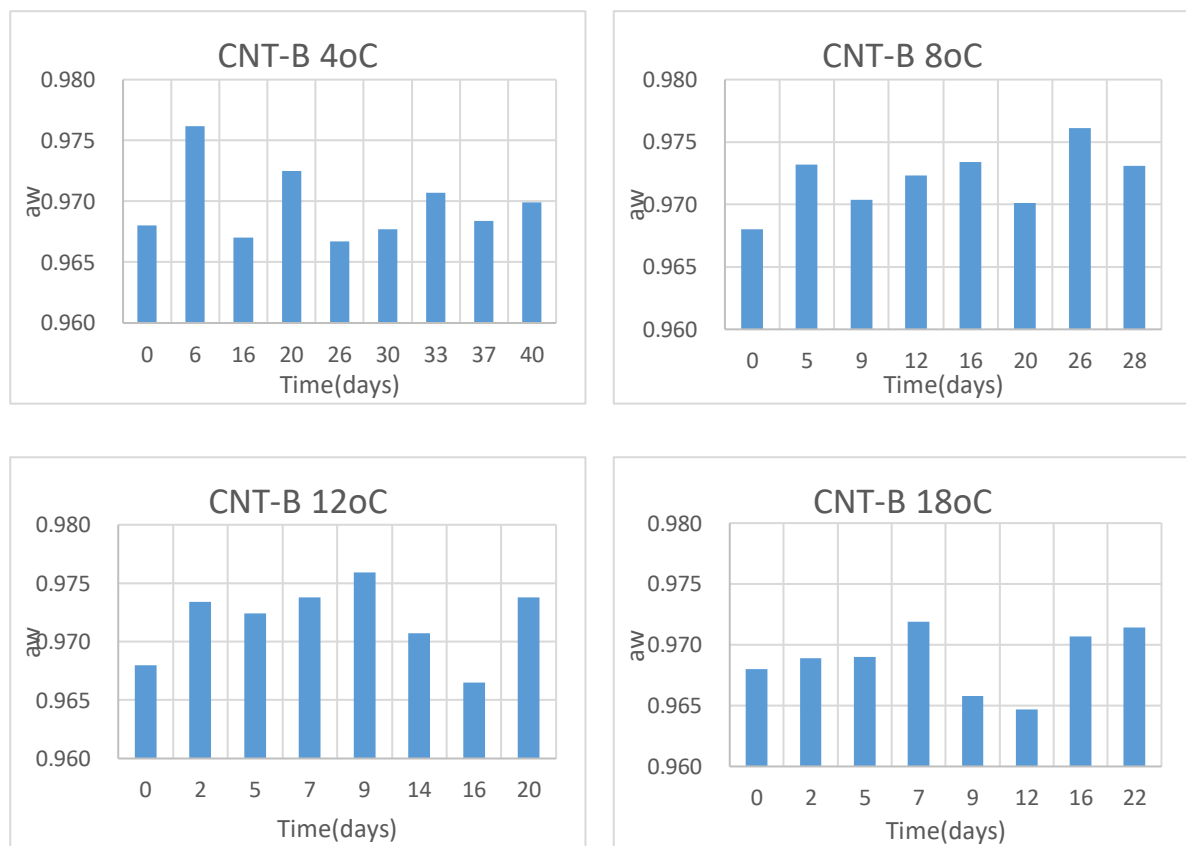
Δείγμα $T_{ref} = 4^{\circ}C$	$k_{max,ref} (d^{-1})$	$E_a (kJ/mol)$
Control Βραστή	-0.038 ± 0.005	90.6 ± 12.6
HPP Βραστή	-0.015 ± 0.006	141.1 ± 35.1
Control Ψητή	-0.023 ± 0.006	142.1 ± 14.1
HPP Ψητή	-0.039 ± 0.002	88.2 ± 6.8
Horeca	-0.099 ± 0.025	112.0 ± 23.4

Τα δεδομένα των ρυθμών μείωσης του pH είχαν καλή προσαρμογή στο μοντέλο Arrhenius με το $R^2 > 0.91$ σε όλες τις περιπτώσεις με τις τιμές $k_{max,ref}$ να μην αποκλίνουν σημαντικά από τις πειραματικές.

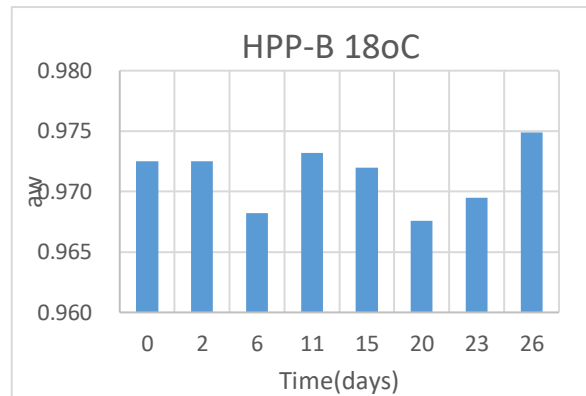
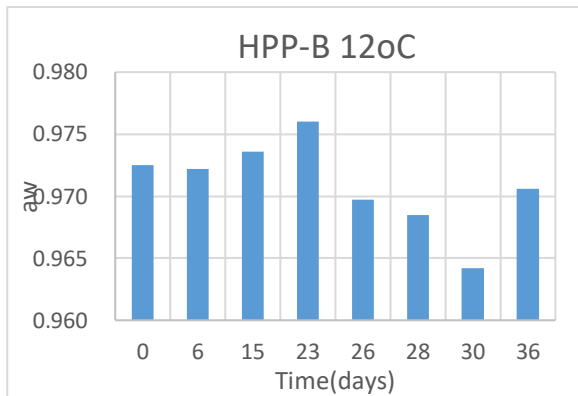
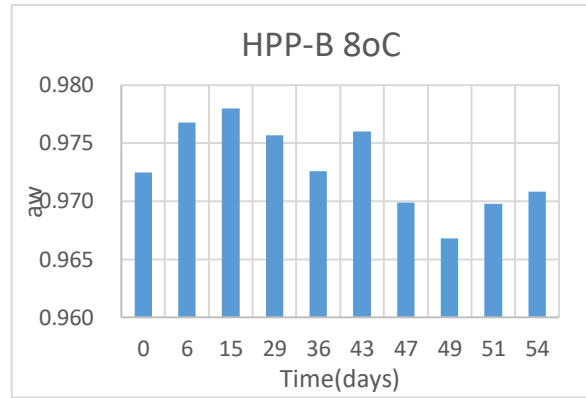
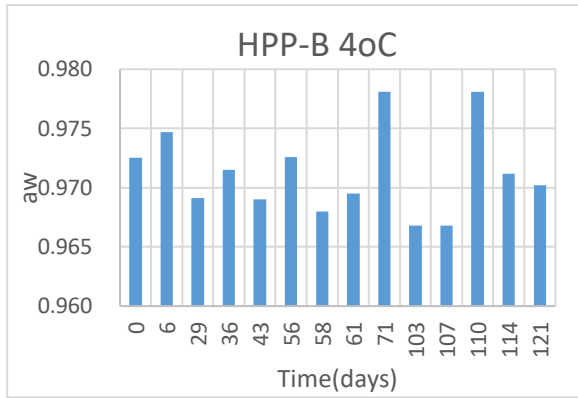
Οι τιμές της ενέργειας ενεργοποίησης είναι σχετικά υψηλές σε όλα τα δείγματα. Έτσι φαίνεται ότι οι ρυθμοί μείωσης του pH είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Τις υψηλότερες τιμές ενέργειας ενεργοποίησης έχουν η ψητή Control γαλοπούλα και η HPP βραστή γαλοπούλα και τις χαμηλότερες η Control βραστή και η HPP ψητή γαλοπούλα. Η επεξεργασία με HPP δεν φαίνεται να επηρεάζει με συγκεκριμένο τρόπο την ενέργεια ενεργοποίησης.

6.4 Αποτελέσματα προσδιορισμού ενεργότητας νερού (a_w)

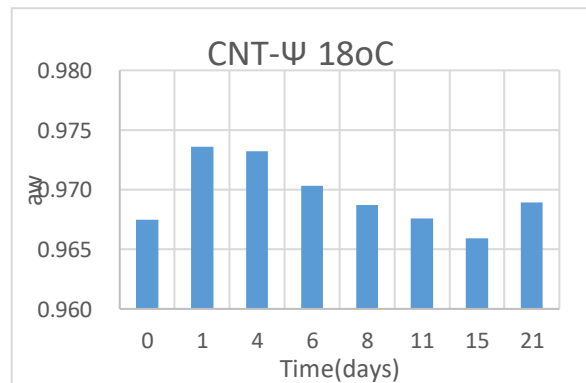
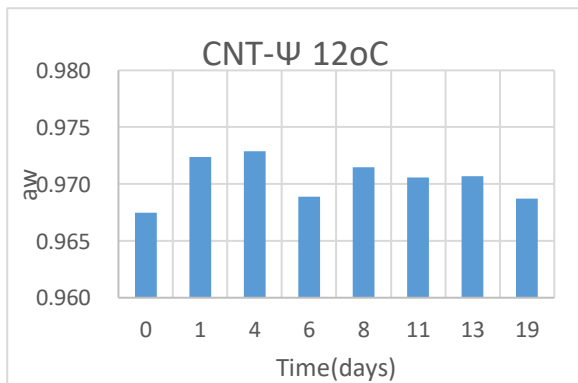
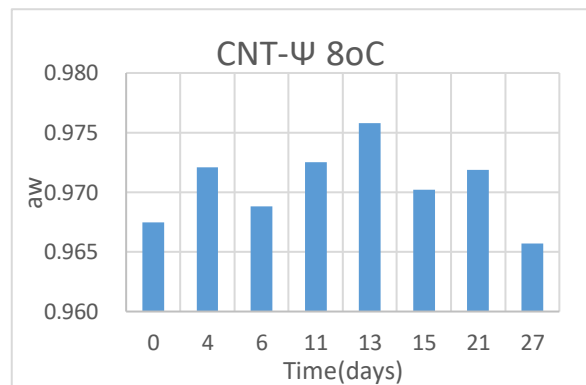
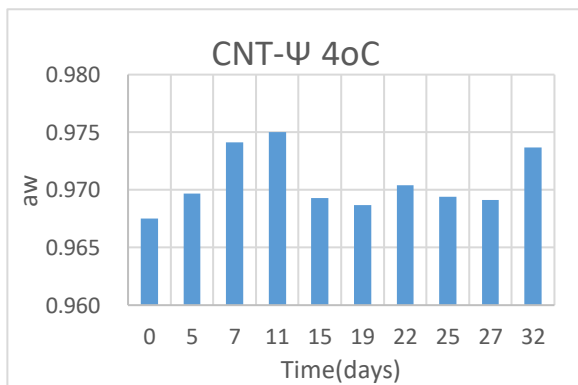
Παρατίθενται τα διαγράμματα της μεταβολής της ενεργότητας του νερού για όλα τα δείγματα συναρτήσει του χρόνου αποθήκευσης, σε όλες τις θερμοκρασίες.



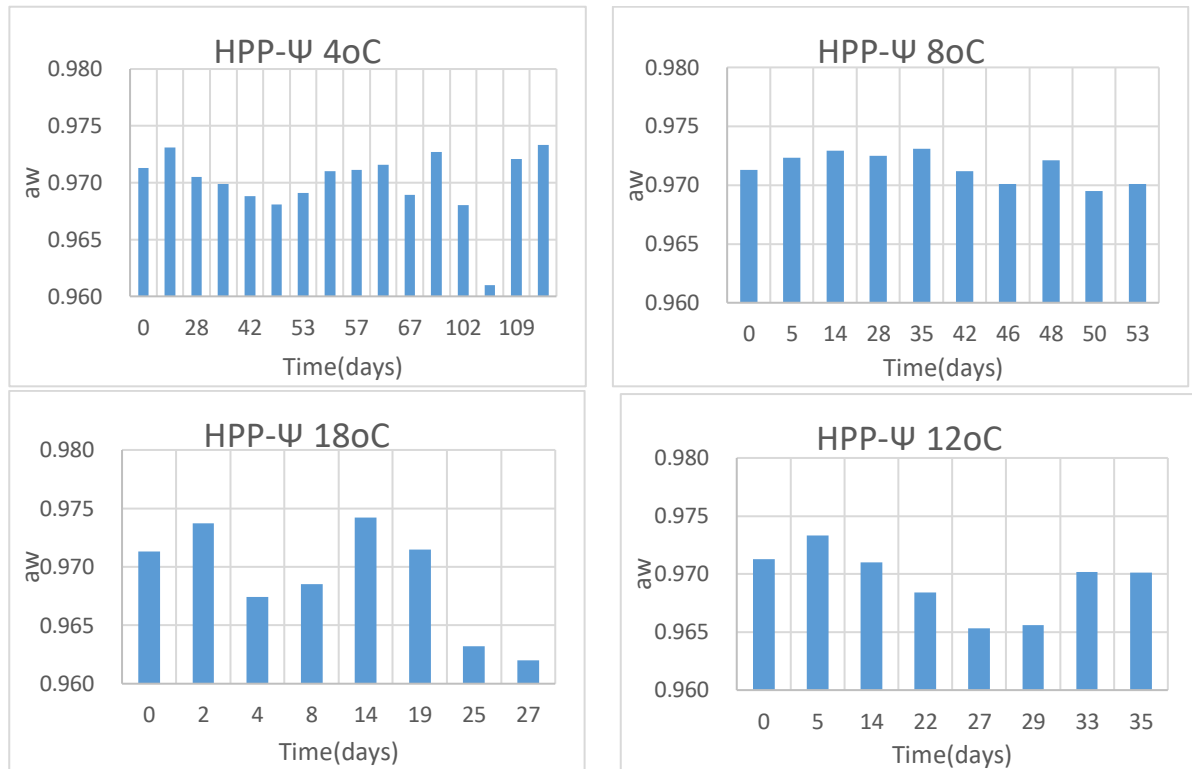
Σχήμα 6.38: Μεταβολή της ενεργότητας νερού βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



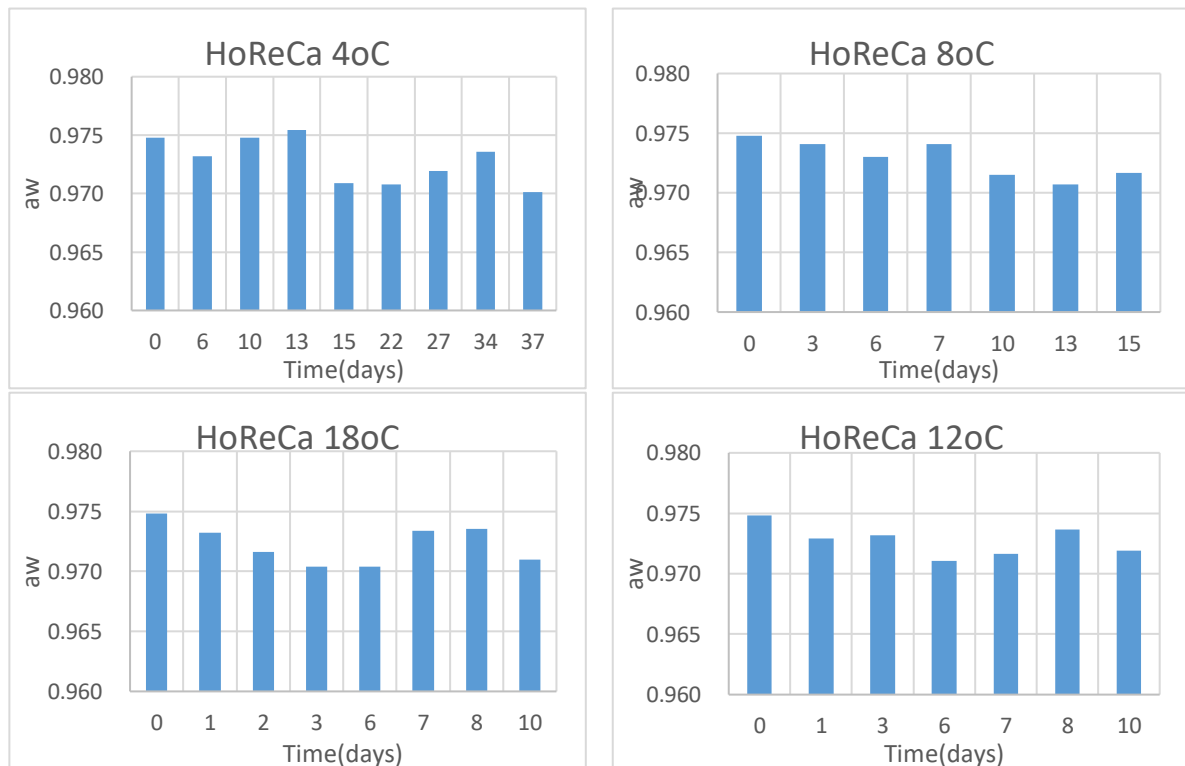
Σχήμα 6.39: Μεταβολή της ενεργότητας νερού βραστής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.40: Μεταβολή της ενεργότητας νερού ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



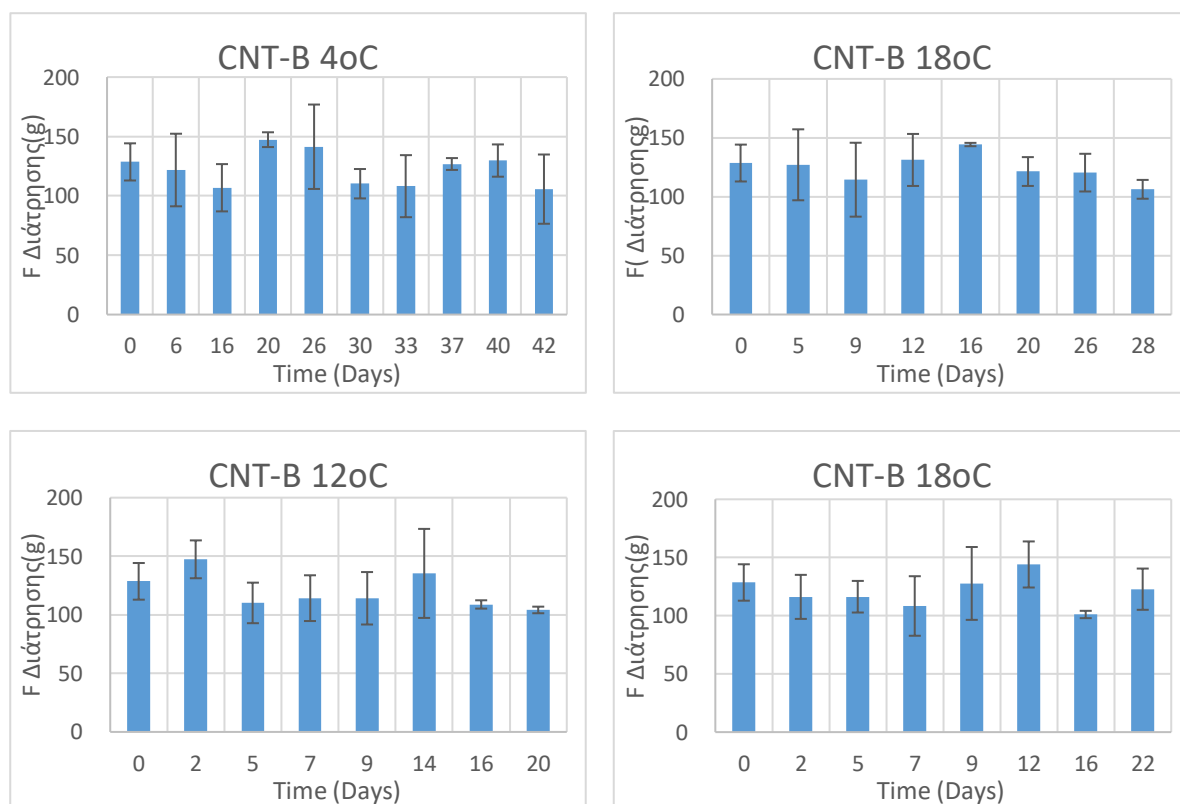
Σχήμα 6.41: Μεταβολή της ενεργότητας νερού ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



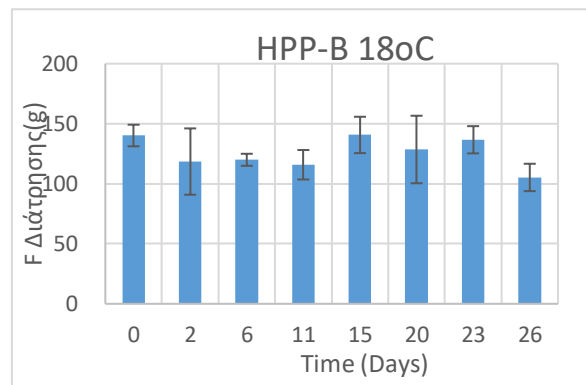
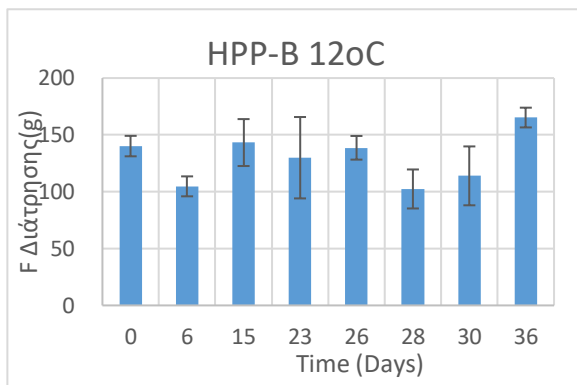
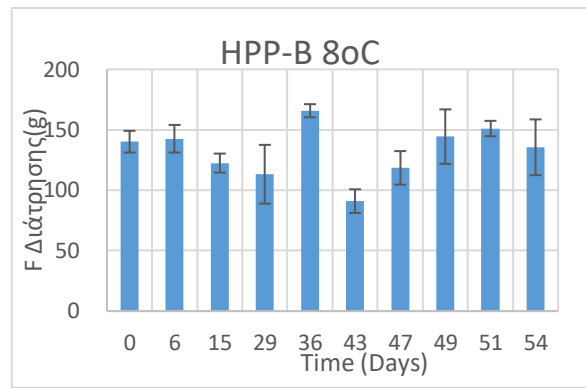
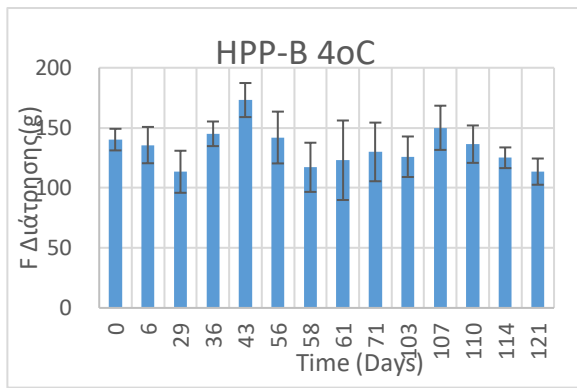
Η ενεργότητα του νερού των δειγμάτων φαίνεται να είναι πρακτικά σταθερή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Ακόμη η τιμή της ενεργότητας του νερού είναι παρόμοια για όλα τα δείγματα και κυμαίνεται ανάμεσα στο 0.965-0.975. Όπως αναφέρθηκε και πριν οι τιμές αυτής της κλίμακας παίζουν παρεμποδιστικό ρόλο στην ανάπτυξη των ψευδομονάδων και των εντεροβακτηρίων (Borch et al., 1996) είναι όμως αρκετά υψηλές για να ενισχύουν την δραστικότητα της επεξεργασίας HPP (υψηλές τιμές ενεργότητας νερού απαιτούνται για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας της HPP)(Setikaite et al., 2008). Η μεταβολή της ενεργότητας του νερού των δειγμάτων δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τις διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης ούτε από την επεξεργασία με HPP. Ο χαμηλός ρυθμός διαπερατότητας των υδρατμών των συσκευασιών των δειγμάτων φαίνεται πως ήταν αποτελεσματικός στο να κρατά την ενεργότητα του νερού τους σταθερή. Οι διακυμάνσεις μεταξύ των μετρήσεων μπορούν να αποδοθούν στο σφάλμα της μέτρησης του οργάνου και στην διακύμανση των δειγμάτων (ακόμη και δύο δείγματα από την ίδια παρτίδα δεν θα έχουν ακριβώς την ίδια ενεργότητα νερού).

6.5 Αποτελέσματα ανάλυσης υφής

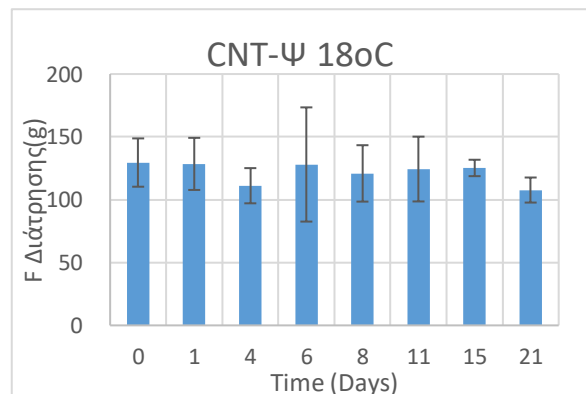
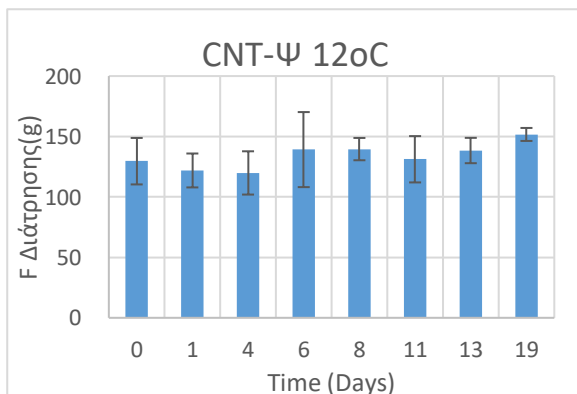
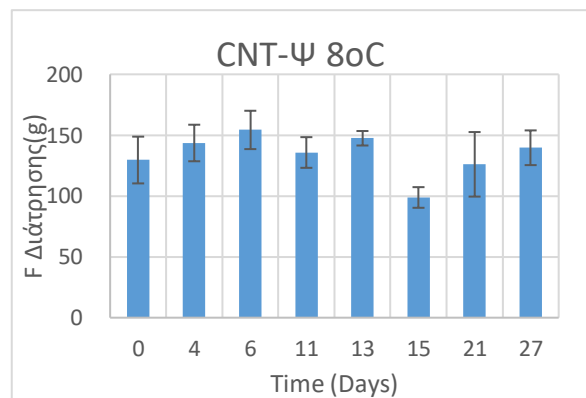
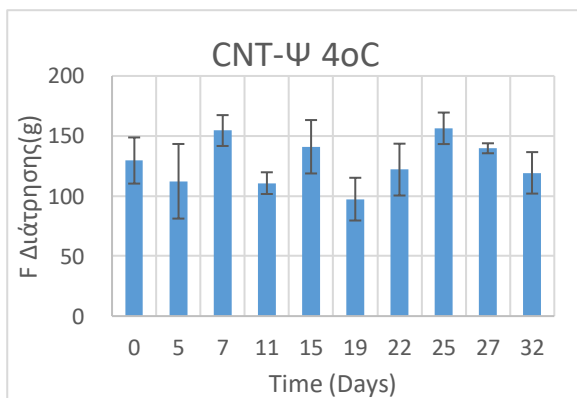
Παρατίθενται τα διαγράμματα της μεταβολής της υφής (απαιτούμενη δύναμη διάτρησης) για όλα τα δείγματα συναρτήσει του χρόνου, σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης



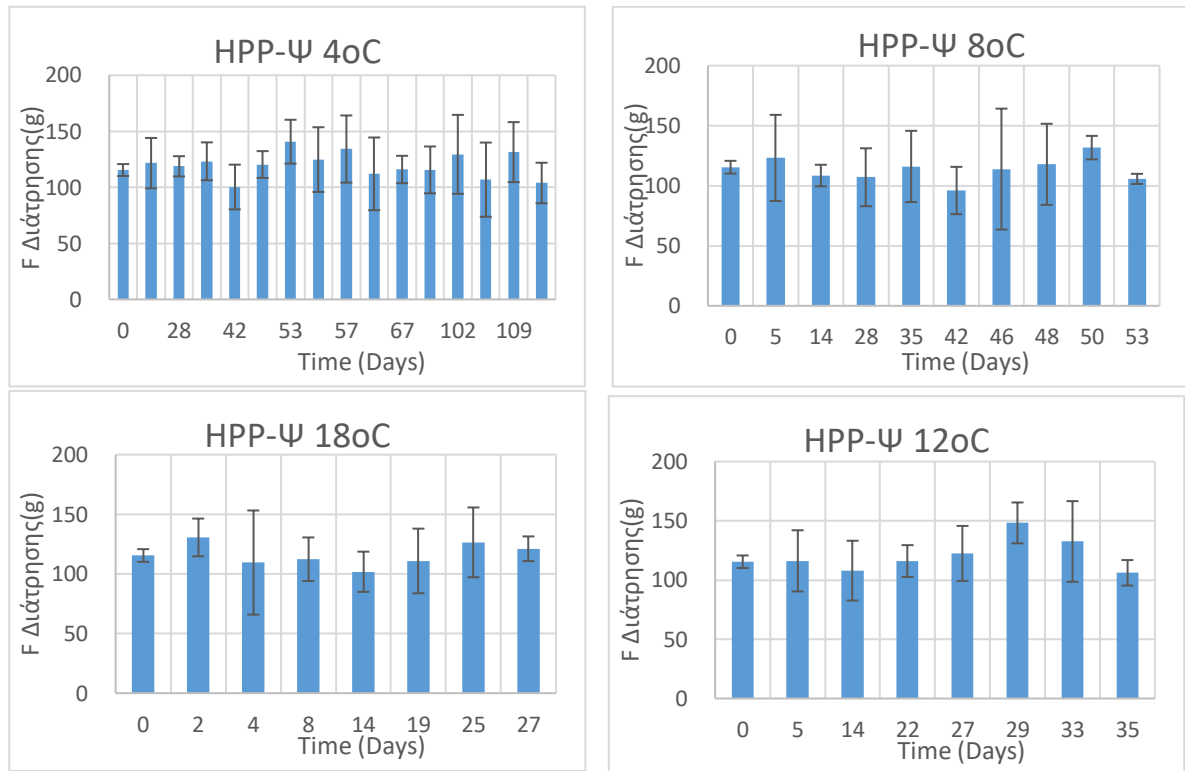
Σχήμα 6.42: Μεταβολή της υφής (δύναμη διάτρησης φέτας) βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



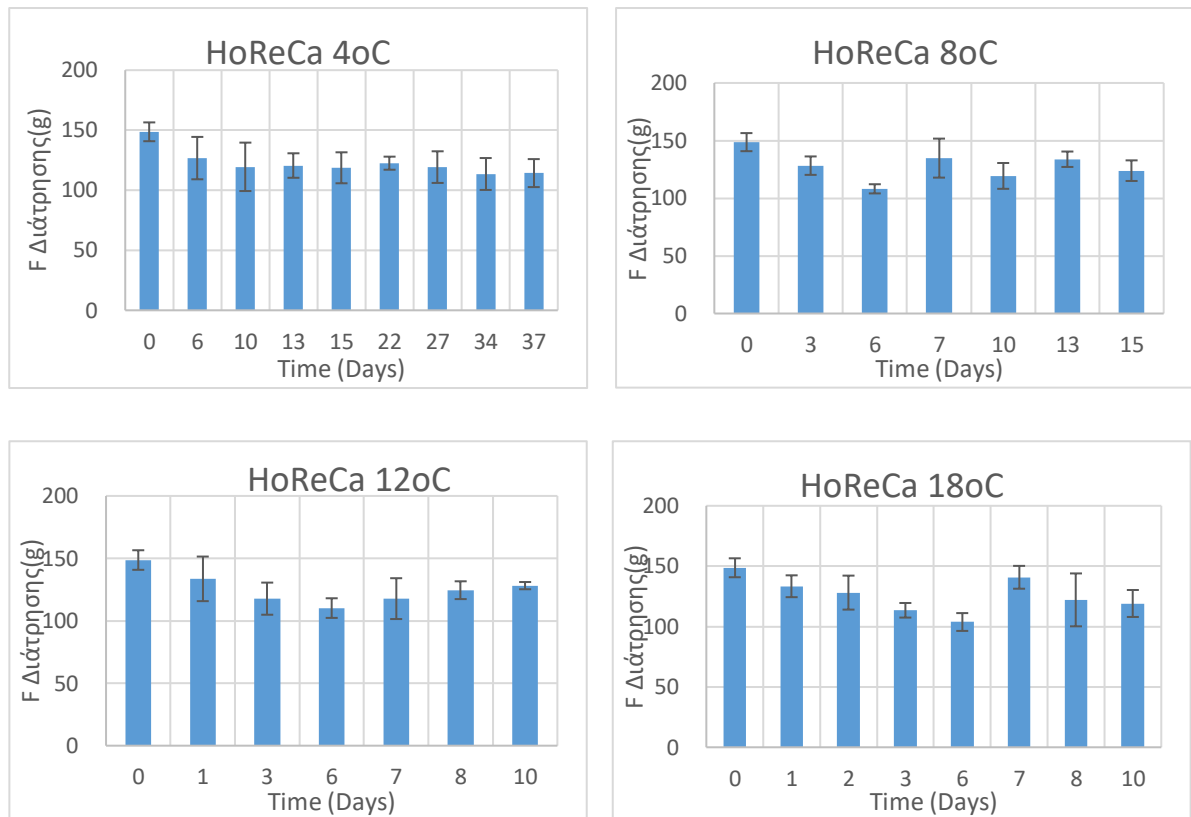
Σχήμα 6.43: Μεταβολή της υφής (δύναμη διάτρησις φέτας) βραστής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.44: Μεταβολή της υφής (δύναμη διάτρησης φέτας) ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.45: Μεταβολή της υφής (δύναμη διάτρησης φέτας) ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

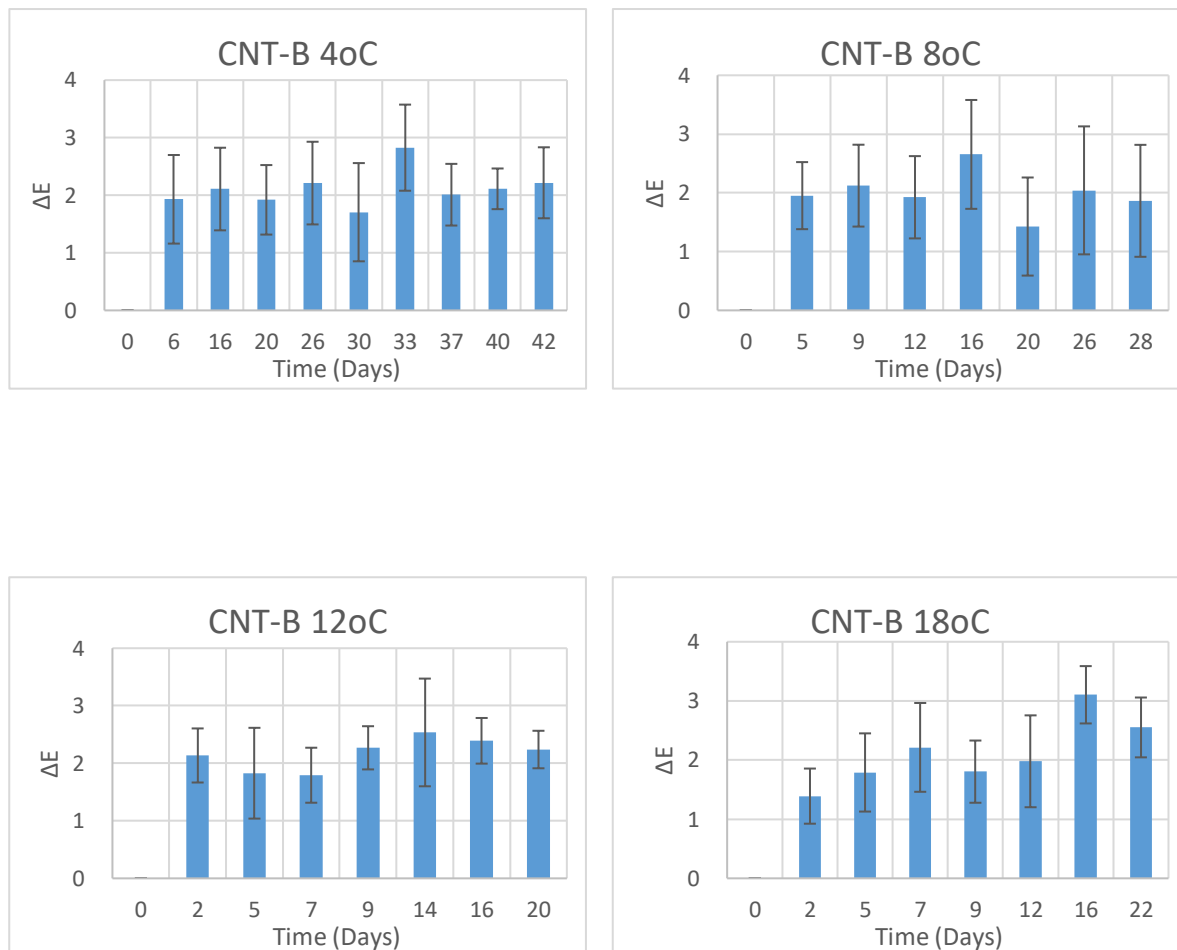


Σχήμα 6.46: Μεταβολή της υφής (δύναμη διάτρησης φέτας) γαλοπούλας Horeca στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

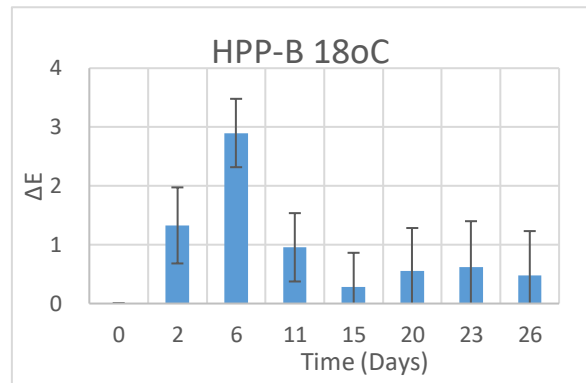
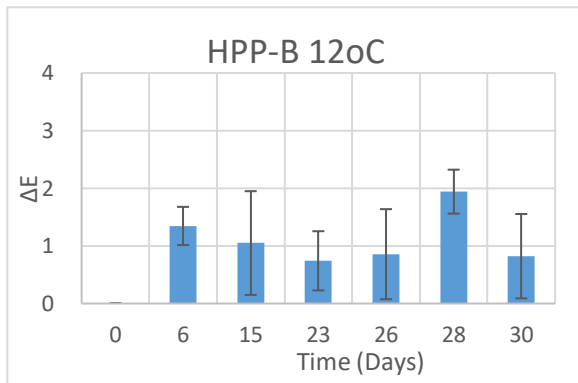
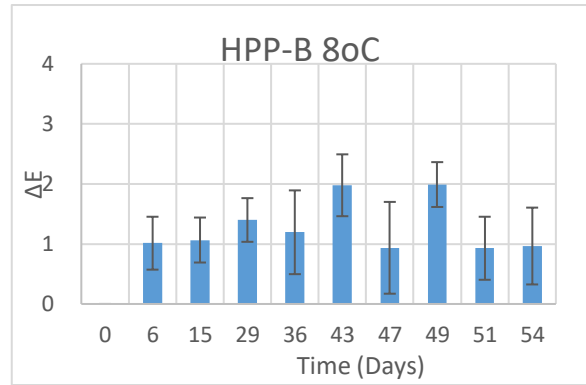
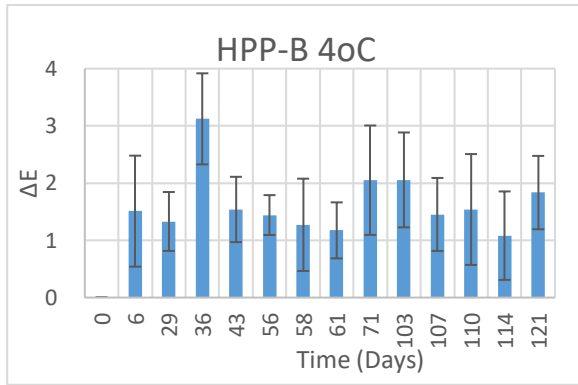
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5 η παράμετρος η οποία επιλέχθηκε για να αποτυπώσει την υφή των κρεατοσκευασμάτων είναι θραυστότητα της φέτας η οποία εκφράζεται ως η δύναμη, εκφρασμένη σε γραμμάρια, που απαιτείται για την θραύση της επιφάνειας της φέτας. Η τιμή της θραυστότητας των κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας φαίνεται να μένει πρακτικά σταθερή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Κυμαίνεται ανάμεσα στα 100 και 150 γραμμάρια για όλα τα δείγματα. Επιπλέον η μεταβολή της φαίνεται ανεπηρέαστη από την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης και την επεξεργασία με HPP. Οι Katsaros & Taoukis, 2021 παρατηρούν επίσης πως η θερμοκρασία αποθήκευσης και η επεξεργασία με HPP δεν επηρεάζει σημαντικά τις παραμέτρους υφής τις οποίες εκείνοι μελέτησαν (συγκεκριμένη έρευνα μελετάται η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η μασητικότητα και η συνεκτικότητα). Οι διακυμάνσεις της θραυστότητας οφείλονται στο πειραματικό σφάλμα, στην διακύμανση του πάχους των φετών και στην διακύμανση των δειγμάτων.

6.6 Αποτελέσματα προσδιορισμού χρώματος

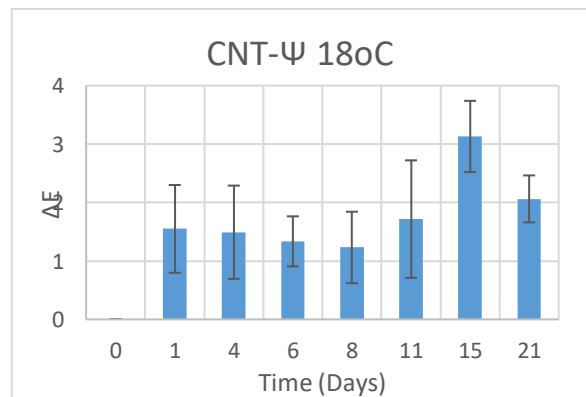
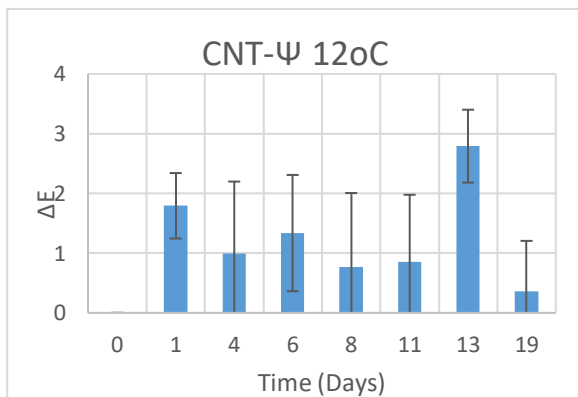
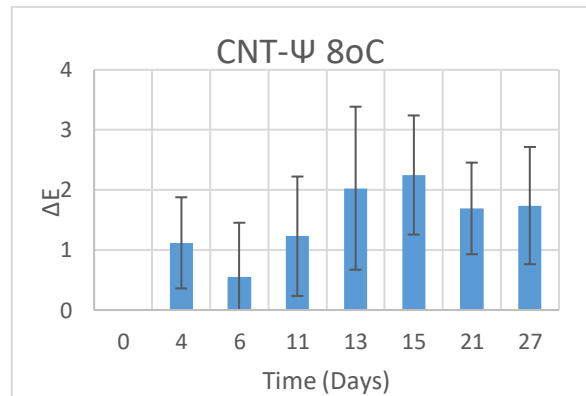
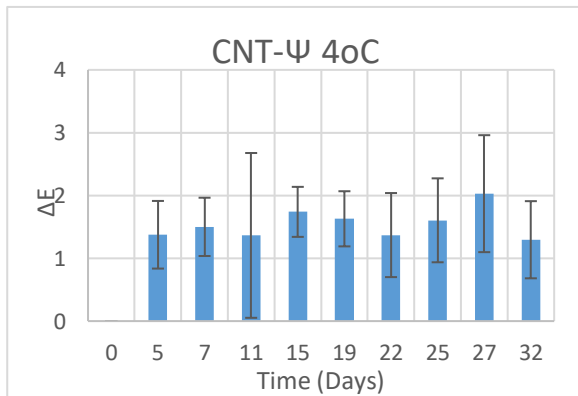
Παρατίθενται τα διαγράμματα της μεταβολής του χρώματος (εκφρασμένο ως συνολική μεταβολή της απόκρισης ΔE) για όλα τα δείγματα συναρτήσει του χρόνου, σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης



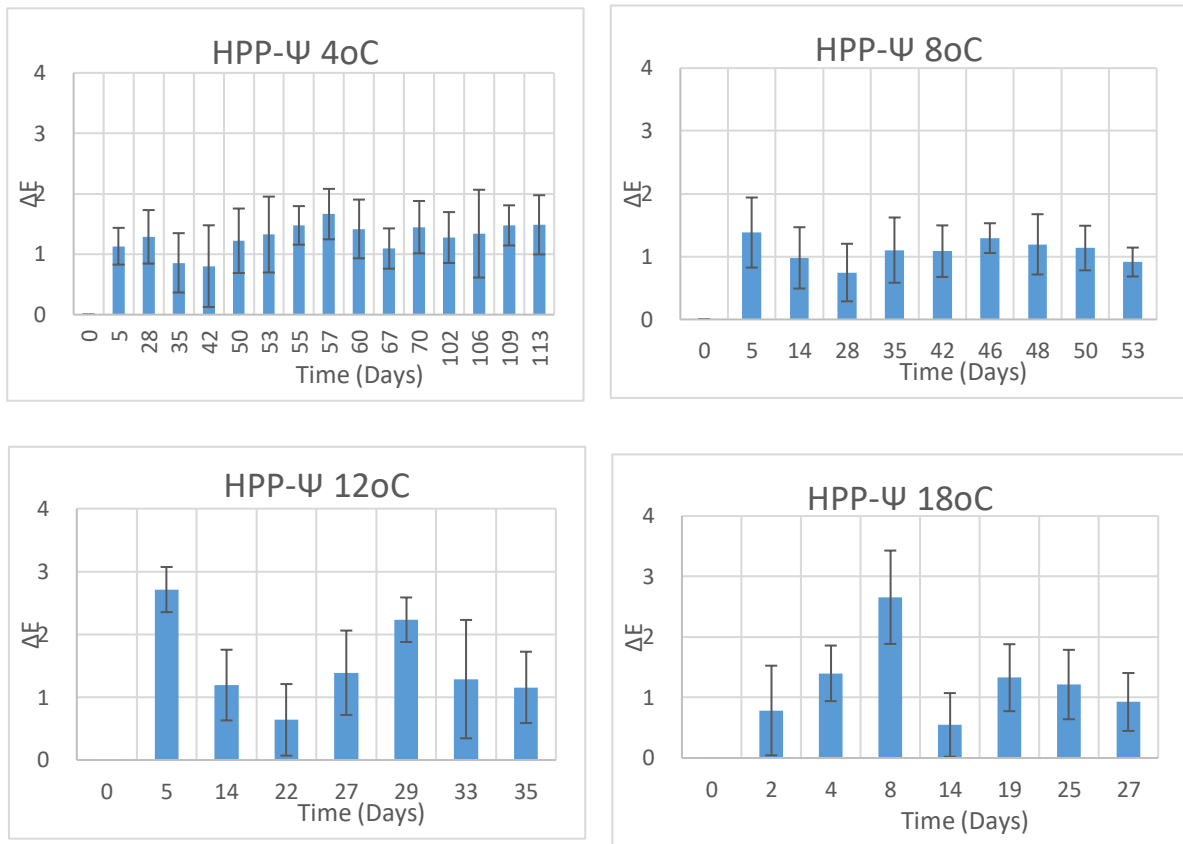
Σχήμα 6.47: Μεταβολή του χρώματος βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



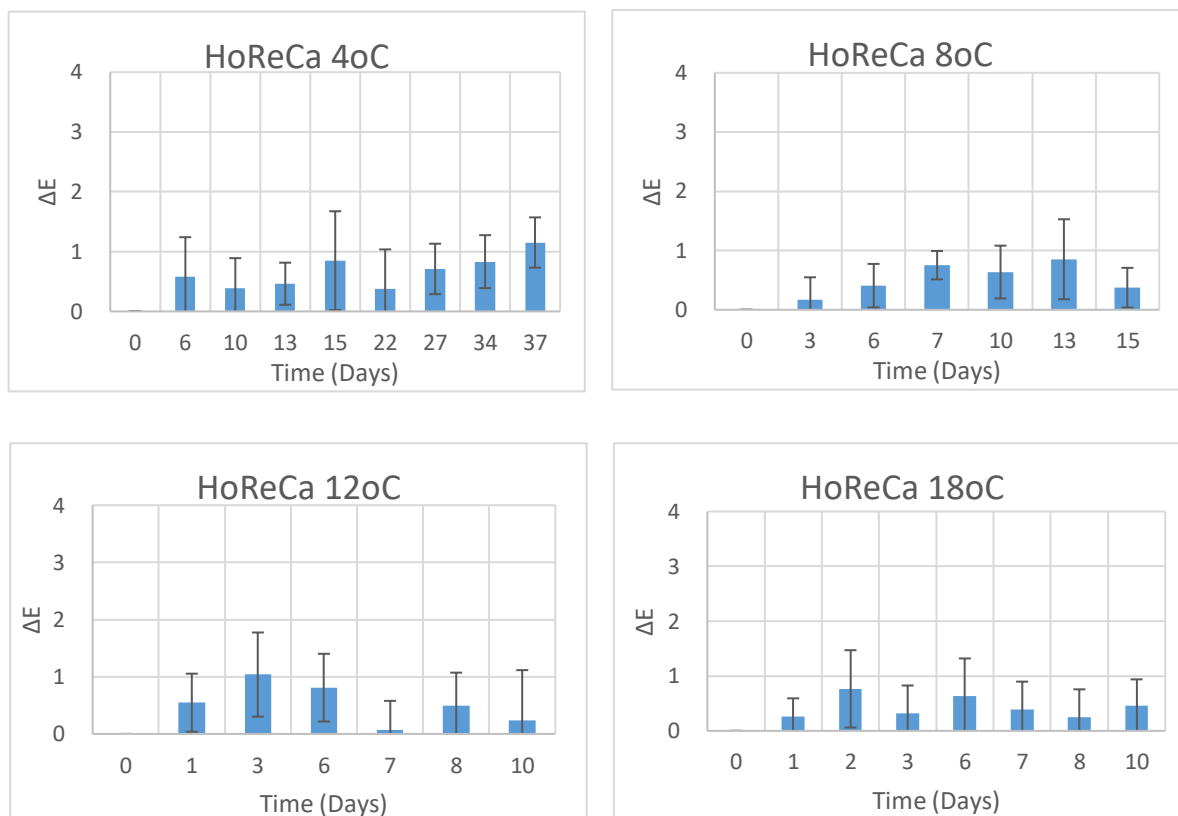
Σχήμα 6.48: Μεταβολή του χρώματος βραστής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.49: Μεταβολή του χρώματος ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.50: Μεταβολή του χρώματος ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



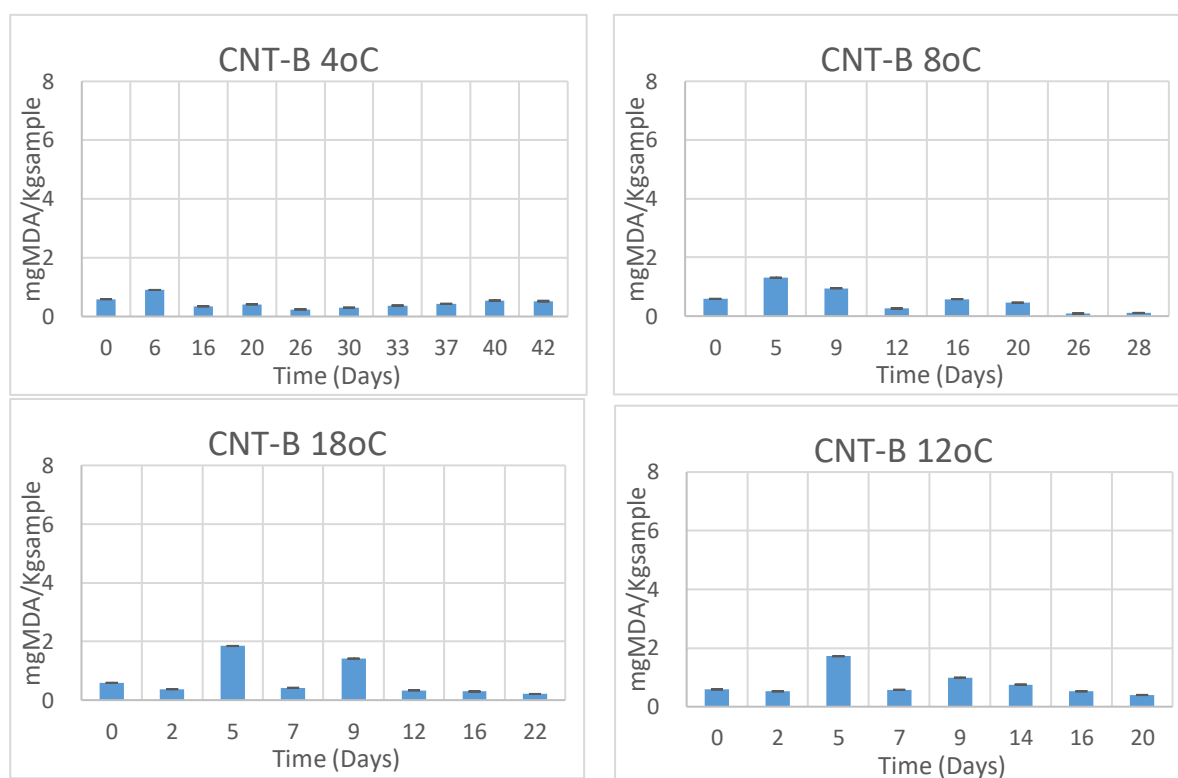
Σχήμα 6.51: Μεταβολή του χρώματος γαλοπούλας Horeca στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Οι τιμές της ΔΕ (της μεταβολής του χρώματος των δειγμάτων) διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό σημαίνει ότι το χρώμα των δειγμάτων είναι πρακτικά σταθερό. Ενώ όμως το χρώμα των δειγμάτων δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το χρώμα των δειγμάτων δεν είναι το ίδιο. Τα δείγματα της βραστής γαλοπούλας παρουσίαζαν παρόμοια φωτεινότητα (L) (ανεξαρτήτως εάν ήταν δείγματα HPP ή Control) με τα δείγματα Horeca (τιμές L ανάμεσα στο 72-75). Τα δείγματα της ψητής γαλοπούλας (ανεξαρτήτως εάν ήταν δείγματα HPP ή Control) παρουσίαζαν την υψηλότερη φωτεινότητα (τιμές L ανάμεσα στο 77-79). Η ερυθρότητα (a) στα βραστά και τα Horeca δείγματα ήταν επίσης παρόμοια (τιμές a ανάμεσα στο 7-9) με τα ψητά δείγματα να παρουσιάζουν την χαμηλότερη ερυθρότητα (τιμές a ανάμεσα στο 4-6). Τέλος η ένταση του κίτρινου χρώματος (b) στα βραστά δείγματα ήταν η χαμηλότερη (τιμές b ανάμεσα στο 7.5-9.5) αμέσως μεγαλύτερες ήταν οι τιμές στα ψητά δείγματα (τιμές b ανάμεσα στο 8.5-10) και οι μεγαλύτερες τιμές της έντασης του κίτρινου χρώματος παρατηρήθηκαν στα Horeca δείγματα (τιμές b ανάμεσα στο 11-12.5) (δεν παρατίθενται εδώ δεδομένα αυτών των τιμών). Η μεταβολή της θερμοκρασίας αποθήκευσης δεν φαίνεται να επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο το χρώμα μεταβάλλεται (κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και από τους Katsaros & Taoukis, 2021). Επιπλέον η επεξεργασία με HPP επίσης δεν φαίνεται να επηρεάζει την μεταβολή του χρώματος (παρατηρείται και από Katsaros & Taoukis, 2021 και Oliveira et al., 2015). Συγκεκριμένα στις μελέτες αυτές δεν παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή στις τιμές a και b στα δείγματα τους μετά από την επεξεργασία με HPP παρατηρήθηκε όμως ελαφρά μείωση της L κάτι το οποίο δεν συμβαίνει εδώ. Η σταθερότητα του χρώματος των κρεατοσκευασμάτων μπορεί να αποδοθεί αρχικά στην σταθερότητα του χρώματος που δημιουργούν τα νιτρικά άλατα στο κρέας. Μπορεί ακόμη να αποδοθεί στην αποτελεσματικότητα των συσκευασιών υπό κενό να διατηρούν το χρώμα των κρεατοσκευασμάτων (Kang et al., 2014, Andersen et al., 1988). Το σφάλμα των μετρήσεων

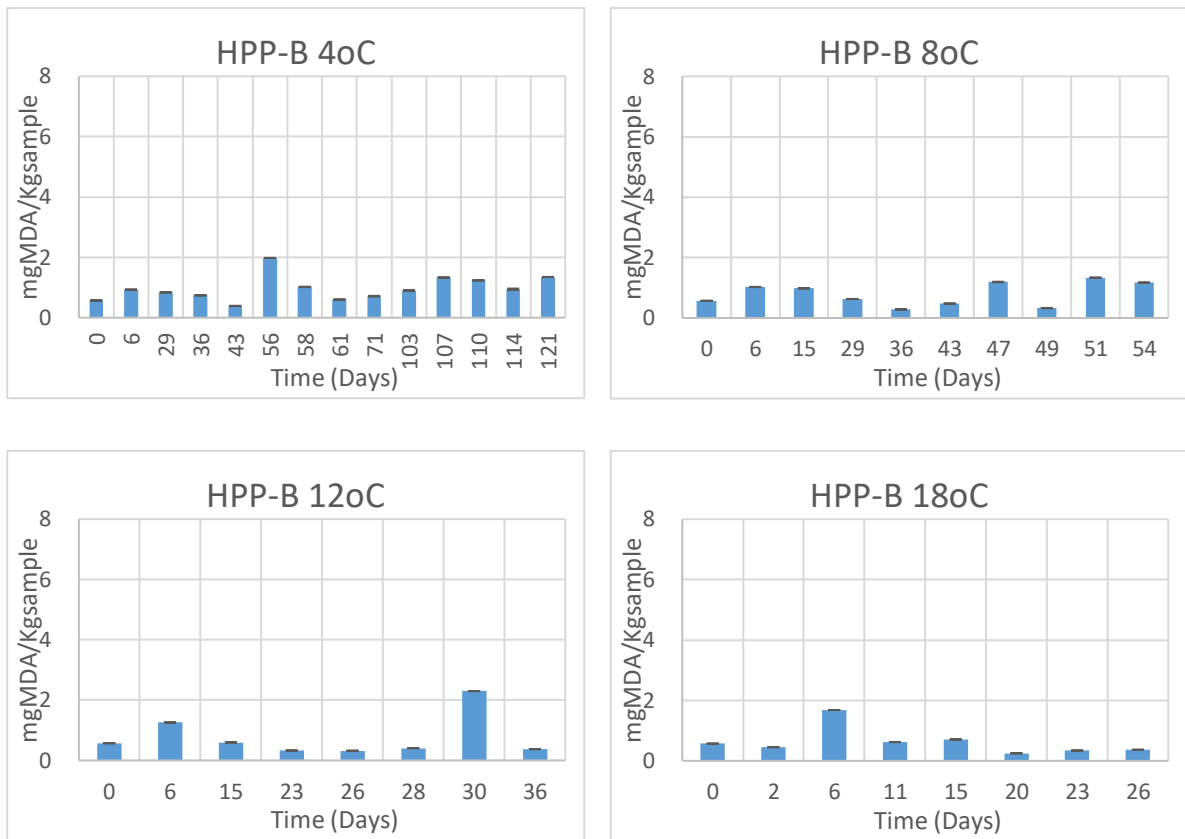
βρίσκεται σε αναλογικά υψηλά επίπεδα. Για αυτό μπορεί να οφείλεται κάποια πιθανή βλάβη στο όργανο μέτρησης ή η μικρή κλίμακα των τιμών.

6.7 Αποτελέσματα προσδιορισμού οξείδωσης λιπαρών (TBARs)

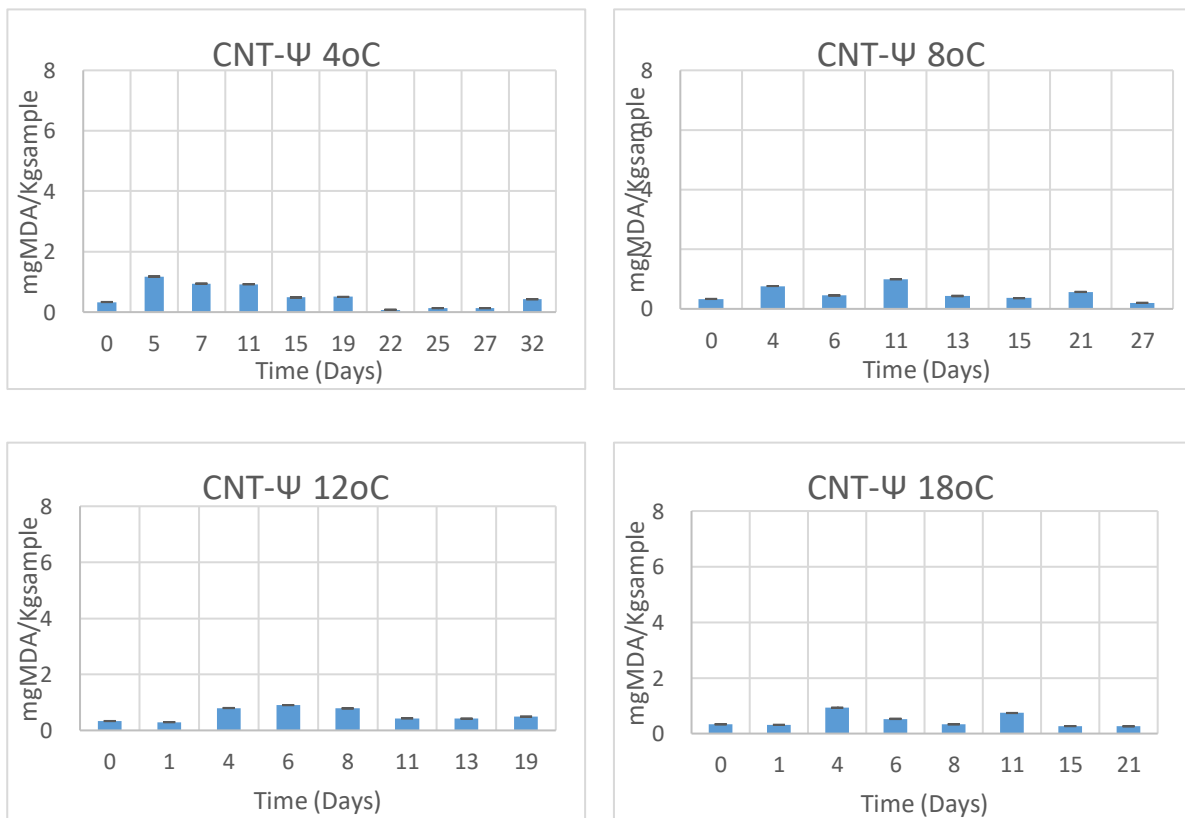
Παρατίθενται τα διαγράμματα της οξείδωσης των λιπαρών για όλα τα δείγματα συναρτήσει του χρόνου, σε όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης. Τα διαγράμματα έχουν κλίμακα από τα 0 mgMDA/Kg δείγματος έως τα 8 mgMDA/Kg δείγματος. Το εύρος αυτό χρησιμοποιήθηκε καθώς τα κατάλληλα προς κατανάλωση κρεατοσκευάσματα πρέπει να έχουν συγκέντρωση Μηλονικής διαλδεΐδης μικρότερη των 7-8 mgMDA/Kg δείγματος (Cadun et al., 2005).



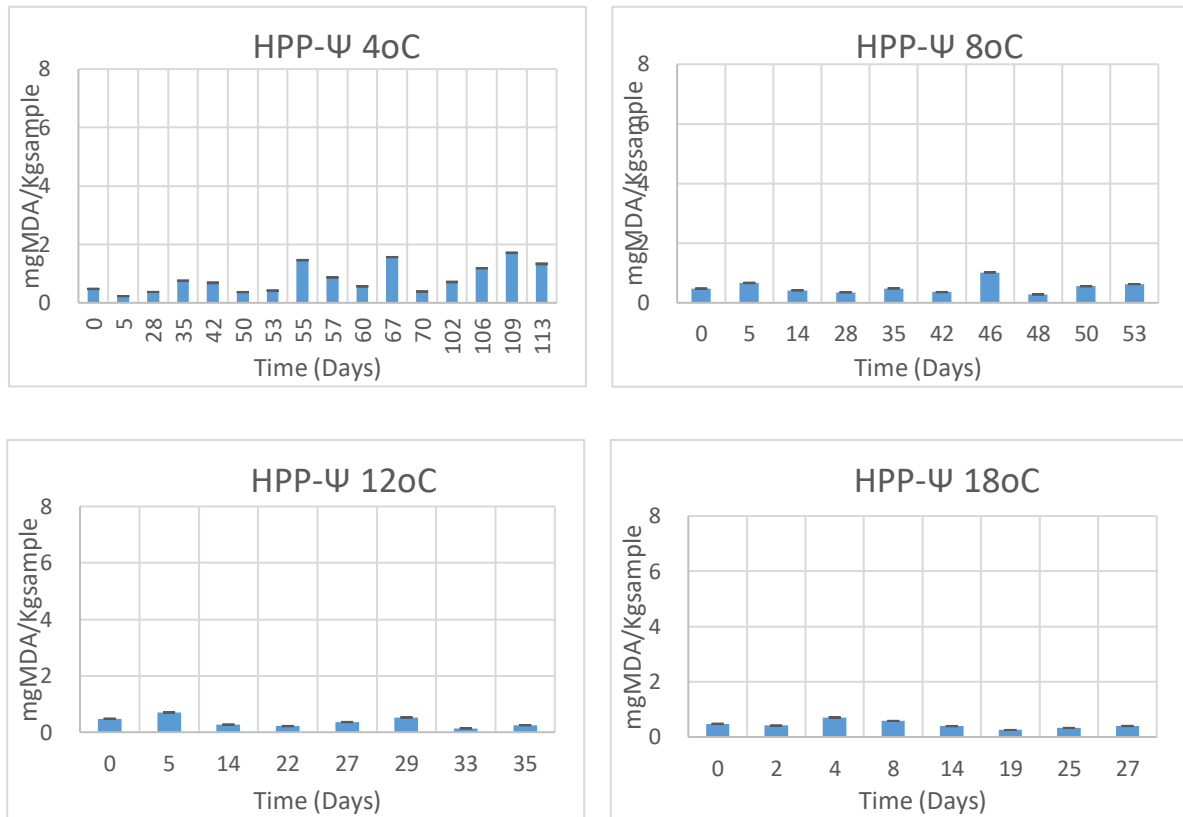
Σχήμα 6.52: Εξέλιξη της οξείδωσης λιπαρών βραστής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



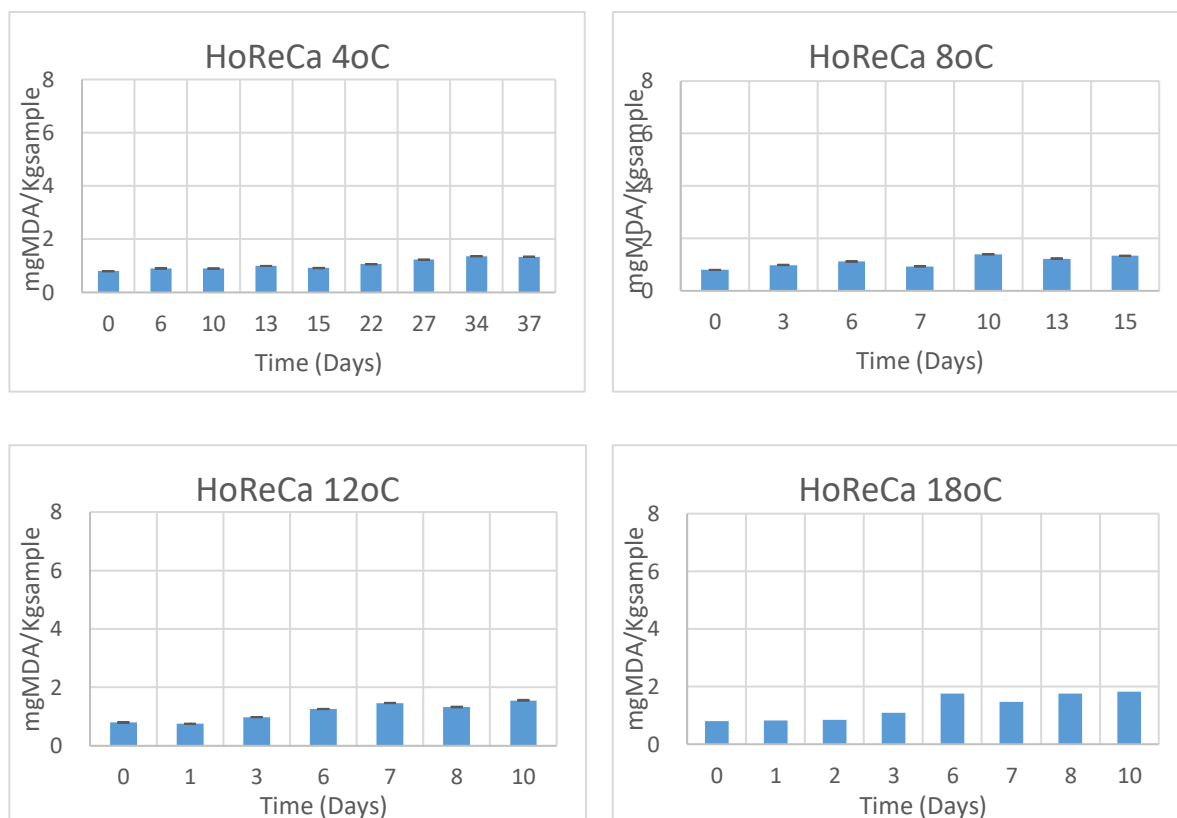
Σχήμα 6.53: Εξέλιξη της οξείδωσης λιπαρών βραστής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.54: Εξέλιξη της οξείδωσης λιπαρών ψητής Control γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.55: Εξέλιξη της οξείδωσης λιπαρών ψητής HPP γαλοπούλας στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.



Σχήμα 6.56: Εξέλιξη της οξείδωσης λιπαρών γαλοπούλας *Horeca* στους 4°C, 8°C, 12°C και 18°C.

Η οξείδωση των λιπαρών διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα κατά την διάρκεια των πειραμάτων (<2 mgMDA/Kg δείγματος σε σχεδόν όλες τις μετρήσεις), ειδικά σε σχέση με το ανώτατο όριο των 8 mgMDA/Kg δείγματος. Τα επίπεδα της οξείδωσης δεν φαίνεται να μεταβάλλονται με τον χρόνο (στο χρονικό διάστημα που πραγματοποιήθηκε η μελέτη) και να διαφέρουν σημαντικά ανάμεσα στα δείγματα. Η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης και η επεξεργασία με HPP δεν φαίνεται να επηρεάζουν την μεταβολή της οξείδωσης των λιπαρών. Οι Oliveira et al., παρατήρησαν επίσης ότι η επεξεργασία με HPP δεν επηρέασε την μεταβολή της οξείδωσης των λιπαρών. Οι χαμηλές τιμές της οξείδωσης των λιπαρών μπορούν να αποδοθούν στην χαμηλή περιεκτικότητα των κρεατοσκευασμάτων που μελετήθηκαν σε λιπαρά καθώς και στην ικανότητα των συσκευασιών υπό κενό να μειώνουν την οξείδωση των λιπαρών (Kang et al., 2014, Parra et al., 2010). Οι διακυμάνσεις των πειραματικών μετρήσεων πιθανότητα οφείλονται στις διακυμάνσεις μεταξύ των δειγμάτων και στα σφάλματα μέτρησης του φωτομέτρου. Τέλος οι τιμές της οξείδωσης των λιπαρών θα μπορούσαν να είχαν μία ανοδική πορεία εάν τα δείγματα είχαν μελετηθεί για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όμως δεδομένου ότι η μικροβιακή δραστηριότητα τα είχε ήδη καταστήσει ακατάλληλα για κατανάλωση, η περαιτέρω εξέταση της δεν θεωρήθηκε απαραίτητη.

6.9 Φαινόμενα αλλοίωσης που δεν αποτυπώθηκαν ποσοτικά στις πειραματικές μετρήσεις

Κατά την διάρκεια των πειραμάτων υπήρξαν φαινόμενα αλλοίωσης των δειγμάτων τα οποία όμως δεν μπόρεσαν με κάποιο τρόπο να αποτυπωθούν ποσοτικά. Αυτά περιλαμβάνουν την απώλεια υγρών, τον σχηματισμό βλέννας, την εμφάνιση βακτηριακών αποικιών και την συσσώρευση αερίων εντός της συσκευασίας με αποτέλεσμα την διόγκωση της. Τα φαινόμενα αυτά είναι αποτέλεσμα της δραστηριότητας των μικροοργανισμών.

Αρχικά η απώλεια υγρών και ο σχηματισμός βλέννας παρατηρήθηκε σε όλα τα δείγματα. Η απώλεια των υγρών του δείγματος ξεκινούσε όταν η ολική μικροβιακή χλωρίδα ήταν άνω των 5 logCFU/g ενώ ο σχηματισμός βλέννας εμφανιζόταν σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (> 7 logCFU/g).



Εικόνα 6.1 : Δείγμα Horeca γαλοπούλας όπου είναι εμφανής ο σχηματισμός βλέννας και η απώλεια υγρών.

Βακτηριακές αποικίες ήταν εμφανείς μόνο στα ψητά Control δείγματα. Είχαν κίτρινο χρώμα και εμφανίστηκαν όταν η ολική μικροβιακή χλωρίδα είχε συγκεντρώσεις άνω των 7 logCFU/g.



Εικόνα 6.2 : Δείγμα Control ψητής γαλοπούλας με εμφανείς αποικίες

Τέλος, η συσώρευση αερίων και διόγκωση της συσκευασίας εμφανίστηκε μόνο στα δείγματα Horeca όταν πλέον η συγκέντρωση της ολικής μικροβιακής χλωρίδας πλησίαζε τα 8 logCFU/g. Κατά το άνοιγμα της συσκευασίας και την εκτόνωσή της, τα αέρια που εκλύονταν ήταν δύσσομα, όμως μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα η μυρωδιά του προϊόντος επανερχόταν στο φυσιολογικό.

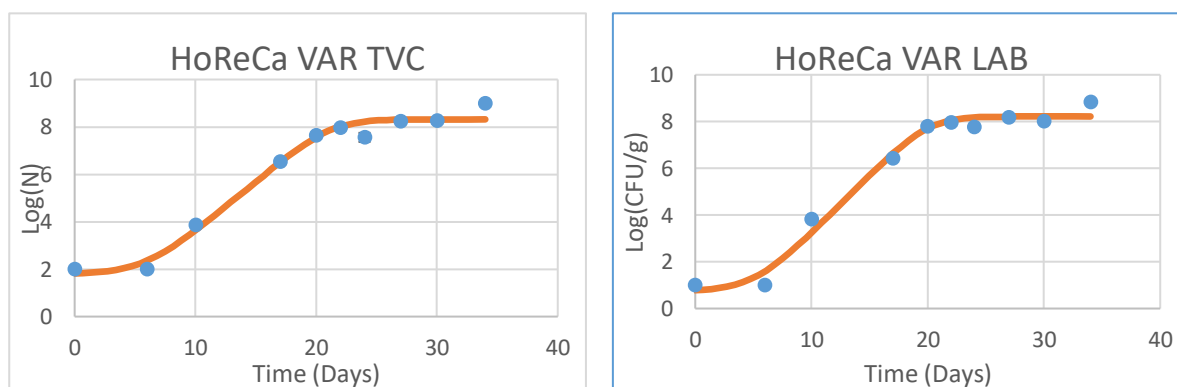


Εικόνα 6.3 : Διογκωμένες συσκευασίες δειγμάτων γαλοπούλας Horeca σε διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης

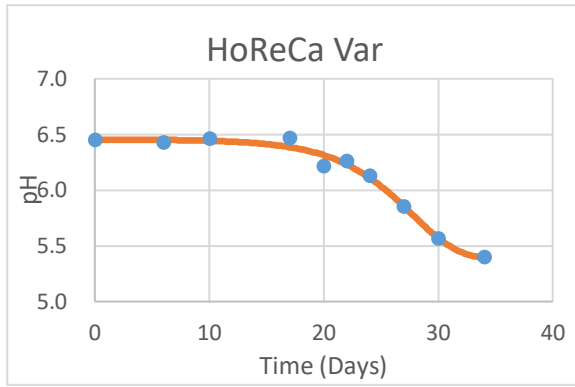
6.10 Επαλήθευση προρρητικού μοντέλου Horeca σε μεταβαλλόμενες συνθήκες θερμοκρασίας

Όπως ήδη αναφέρθηκε για την επικύρωση του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στα ισοθερμοκρασιακά πειράματα, πραγματοποιήθηκε και ένα πείραμα σε μη ισοθερμοκρασιακές συνθήκες για το δείγμα Horeca γαλοπούλας (δείγματα Horeca VAR).

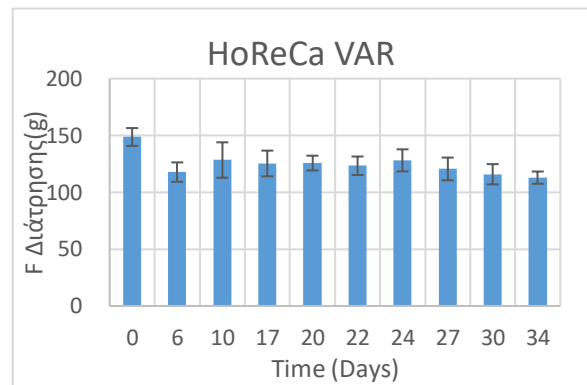
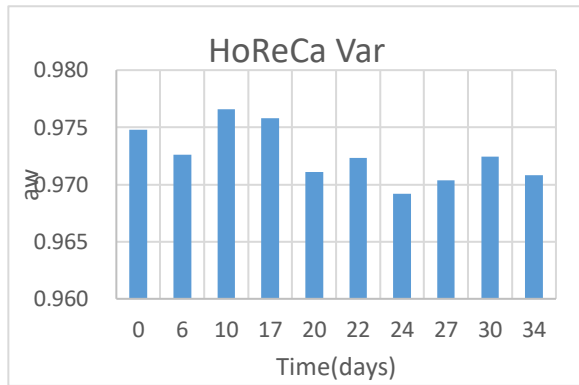
Στα δείγματα VAR, όπως και στα υπόλοιπα δείγματα, μετρήθηκαν το μικροβιακό φορτίο, το pH, η ενεργότητα του νερού, η υφή, το χρώμα και η οξείδωση των λιπαρών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα



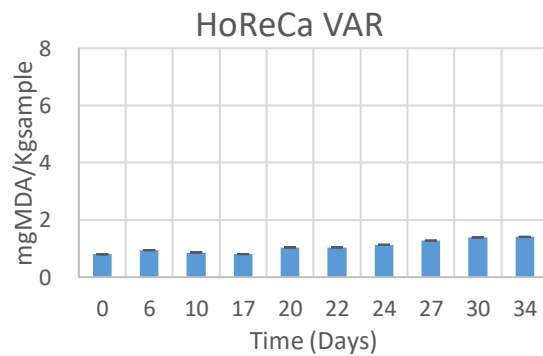
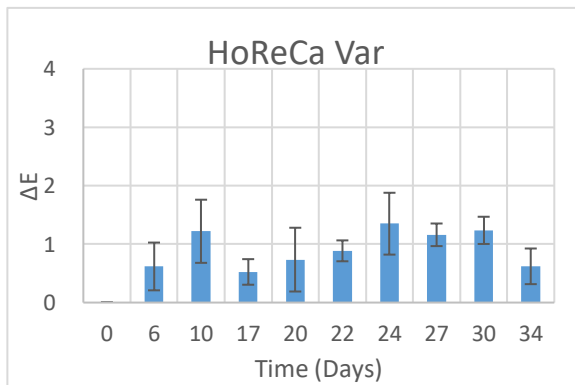
Σχήμα 6.58: Καμπύλες ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και των γαλακτικών βακτηρίων γαλοπούλας Horeca VAR.



Σχήμα 6.59: Καμπύλη μεταβολής του pH γαλοπούλας Horeca VAR.



Σχήμα 6.60: Μεταβολή της ενεργότητας του νερού και της υφής γαλοπούλας Horeca VAR.



Σχήμα 6.61: Μεταβολή του χρώματος και εξέλιξη της οξείδωσης των λιπαρών γαλοπούλας Horeca VAR.

Οι μόνοι μικροοργανισμοί που αναπτύχθηκαν πάνω από το όριο ανίχνευσης στα δείγματα VAR, όπως και στα ισοθερμοκρασιακά δείγματα Horeca, είναι τα γαλακτικά βακτήρια. Τα δεδομένα ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και των γαλακτικών βακτηρίων προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Baranyi και τα δεδομένα του pH στο μοντέλο Gompertz 4 παραμέτρων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσαρμογής των μοντέλων, δηλαδή ο πειραματικός εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης της

ολικής μικροβιακής χλωρίδας και των γαλακτικών βακτηρίων καθώς και ο ρυθμός μείωσης του pH

Horeca VAR	μ_{\max} (d ⁻¹)	Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ανάπτυξης λ(d) σε ημέρες
Ολική μικροβιακή χλωρίδα	0.425	5.9
Γαλακτικά βακτήρια	0.503	5.2
	k_{\max} (d ⁻¹)	
Ρυθμός μείωσης pH	-0.099	

Πίνακας 6.27: Σταθερές εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} και διάρκεια λανθάνουσας φάσης λ ολικής μικροβιακής χλωρίδας/γαλακτικών βακτηρίων και ρυθμός μείωσης του pH k_{\max} για το δείγμα Horeca VAR

Με την χρήση της μεθόδου Baranyi υπολογίστηκε επίσης η διατηρησιμότητα του δείγματος VAR και βρέθηκε ίση με 17.9 ημέρες.

Όπως και με τα υπόλοιπα δείγματα, τα δείγματα VAR δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές στην ενεργότητα του νερού, την υφή, το χρώμα και την οξείδωση των λιπαρών.

Για την επαλήθευση του ισοθερμοκρασιακού μοντέλου των δειγμάτων Horeca πρέπει αρχικά να υπολογιστεί μία θερμοκρασία T_{eff} η οποία θα είχε την ίδια επίδραση στην ανάπτυξη των βακτηρίων και στην μείωση του pH με το θερμοκρασιακό προφίλ που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5. Στην συνέχεια με την χρήση της σχέσης Arrhenius και με την χρήση της θερμοκρασίας T_{eff} μπορούν να υπολογιστούν οι προβλεπόμενες θεωρητικές σταθερές και να συγκριθούν με τις πειραματικές. Επίσης με την χρήση της T_{eff} και της εκθετικής εξίσωσης η οποία περιγράφει την διατηρησιμότητα του Horeca δείγματος μπορεί να συγκριθεί η πειραματική και προβλεπόμενη διατηρησιμότητα. Ο υπολογισμός της T_{eff} γίνεται με την χρήση της εξίσωσης που χρησιμοποιήθηκε και από τους Tsironi et al., 2008 :

$$\mu_{\max, \text{ref}} \int_0^t \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) \right] dt = \mu_{\max, \text{ref}} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{eff}}} - \frac{1}{T_{\text{ref}}} \right) \right] t \quad (6.1)$$

Όπου E_a , $\mu_{\max, \text{ref}}$ η ενέργεια ενεργοποίησης και ο εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων υπολογισμένα από την σχέση Arrhenius σε θερμοκρασία αναφοράς $T_{\text{ref}}=4^\circ\text{C}$ και R η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

Με βάση το θερμοκρασιακό προφίλ που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5 η θερμοκρασία T_{eff} βρέθηκε ίση με 3.73°C . Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι θεωρητικές και πειραματικές των ρυθμών ανάπτυξης και του ρυθμού μείωσης του pH καθώς και το επί τοις εκατό σφάλμα

Horeca VAR	Πειραματικές τιμές	Θεωρητικές τιμές	Σφάλμα
Εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης ολικής	0.425	0.414	-2.60%

μυροβιακής χλωρίδας $\mu_{\max}(\text{d}^{-1})$			
Εκθετικός ρυθμός ανάπτυξης γαλακτικών βακτηρίων $\mu_{\max}(\text{d}^{-1})$	0.503	0.526	4.29%
Εκθετικός ρυθμός μείωσης του pH $k_{\max}(\text{d}^{-1})$	-0.099	-0.095	-4.59%
Διατηρησιμότητα (d)	17.89	18.28	2.15%

Πίνακας 6.28: Θεωρητικές και πειραματικές τιμές σταθεράς εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης μ_{\max} ολικής μικροβιακής χλωρίδας/γαλακτικών βακτηρίων, ρυθμού μείωσης του pH k_{\max} και διατηρησιμότητας για το δείγμα Horeca VAR

Παρατηρείται ότι η διαφορά μεταξύ των πειραματικών και των θεωρητικών μετρήσεων είναι μικρή με τα σφάλματα του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας, του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης των γαλακτικών βακτηρίων και του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH να είναι μικρότερα του 5%. Έτσι φαίνεται το προρρητικό μοντέλο να επαληθεύεται για το δείγμα Horeca.

Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα και Προτάσεις

Παρουσιάζονται παρακάτω μερικά συμπεράσματα και παρατηρήσεις για τα κρεατοσκευάσματα γαλοπούλας που μελετήθηκαν:

- Η επεξεργασία HPP είναι εξαιρετικά ευνοϊκή και επηρεάζει σημαντικά την διατηρησιμότητα και την μικροβιακή ανάπτυξη. Τα δείγματα HPP παρουσίασαν μικρότερους ρυθμούς ανάπτυξης βακτηρίων, μεγαλύτερες λανθάνουσες φάσεις ανάπτυξης και σημαντικά μεγαλύτερη διατηρησιμότητα σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα που δεν είχαν υποστεί ανάλογη επεξεργασία με HPP. Επιπλέον η επεξεργασία HPP φαίνεται να εμποδίζει πολύ αποτελεσματικά την ανάπτυξη του μικροοργανισμού *Brochothrix thermosphacta* ο οποίος δεν ξεπέρασε το όριο ανίχνευσης στα HPP δείγματα. Η επιβράδυνση της μικροβιακής ανάπτυξης επιφέρει και μείωση του απόλυτου ρυθμού μείωσης του pH. Οι υπόλοιπες παράμετροι που εξετάστηκαν δεν φάνηκε να επηρεάζονται από την HPP.
- Ο κύριος παράγοντας αλλοίωσης, ανεξαρτήτως δείγματος και θερμοκρασίας αποθήκευσης, είναι η μικροβιακή ανάπτυξη. Οι μικροοργανισμοί που κυριάρχησαν στα δείγματα είναι τα γαλακτικά βακτήρια και ο *Brochothrix thermosphacta* κάτι που οφείλεται στις αναερόβιες συνθήκες που επικρατούν στις συσκευασίες. Οι αναερόβιες συνθήκες και η ενεργότητα του νερού των δειγμάτων είναι οι πιθανότεροι παράγοντες που περιορίζουν την ανάπτυξη των *Pseudomonas* πάνω από το όριο ανίχνευσης. Η απουσία (η μη ανάπτυξη πάνω από το όριο ανίχνευσης) των *Enterobacteriaceae* μπορεί επίσης να αποδοθεί στη χαμηλή ενεργότητα του νερού.
- Όπως είναι αναμενόμενο, στο θερμοκρασιακό εύρος των πειραμάτων, η άνοδος της θερμοκρασίας αποθήκευσης ευνόησε την ανάπτυξη των μεσόφιλων μικροοργανισμών και οδήγησε και στην μείωση της διατηρησιμότητας των δειγμάτων. Σε όλα τα δείγματα, η αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης οδήγησε στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας και των γαλακτικών βακτηρίων καθώς και στην αύξηση της τελικής συγκέντρωσής τους. Για τον *Brochothrix thermosphacta*, η αύξηση της θερμοκρασίας δεν είχε τα ίδια αποτελέσματα. Στο βραστό Control δείγμα (χωρίς επεξεργασία HPP), ο ρυθμός και η τελική συγκέντρωση του βακτηρίου παρουσίασαν μέγιστη τιμή στη θερμοκρασία των 12°C. Στο ψητό Control δείγμα ο ρυθμός ανάπτυξης αυξάνεται σταθερά με την αύξηση της θερμοκρασίας, το ίδιο όμως δεν ισχύει για την τελική συγκέντρωση του βακτηρίου. Στους 12°C η τελική συγκέντρωση του *Brochothrix thermosphacta* ήταν υψηλότερη από αυτή 18°C καθώς στους 18°C τα γαλακτικά βακτήρια φαίνεται μετά από την τέταρτη ημέρα να κυριαρχούν και να εμποδίζουν την περαιτέρω του ανάπτυξη.
- Οι διαφορετικές μικροβιολογικές αποκρίσεις τους οφείλονται στη διαφορετική τους συσκευασία, σύσταση και μέθοδο θερμικής επεξεργασίας. Όσον αφορά στη διατηρησιμότητα, στις χαμηλότερες θερμοκρασίες (4°C για τα Control και 8°C για τα HPP δείγματα) τα ψητά δείγματα τα οποία είναι συσκευασμένα σε εφαιπτόμενη συσκευασία παρουσιάζουν υψηλότερη διατηρησιμότητα. Όμως με την άνοδο της θερμοκρασίας αποθήκευσης τα βραστά δείγματα συσκευασμένα σε συσκευασία υπό κενό παρουσιάζουν την υψηλότερη διατηρησιμότητα.

- Τα μαθηματικά μοντέλα Baranyi, Arrhenius και Gompertz που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση της μικροβιακής ανάπτυξης, την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στον ρυθμό ανάπτυξης των βακτηρίων και ρυθμό μείωσης του pH και για την μοντελοποίηση της μείωσης του pH των δειγμάτων αντίστοιχα έδωσαν καλές προσαρμογές στα πειραματικά δεδομένα. Εξαίρεση αποτελεί ο ρυθμός ανάπτυξης του *Brochothrix thermosphacta* στο βραστό Control δείγμα όπου δεν παρουσιάζεται καλή προσαρμογή στο μοντέλο Arrhenius.
- Η εγκυρότητα του προρρητικού μοντέλου επαληθεύτηκε από το πείραμα μη ισοθερμοκρασιακών συνθηκών αποθήκευσης για το δείγμα γαλοπούλας τύπου Horeca, με τις προβλεπόμενες τιμές του εκθετικού ρυθμού ανάπτυξης της ολικής μικροβιακής χλωρίδας/γαλακτικών βακτηρίων, του εκθετικού ρυθμού μείωσης του pH και της διατηρησιμότητας να μην απέχουν σημαντικά από τις αντίστοιχες πειραματικές τιμές (σφάλμα μικρότερο του 5%).
- Οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης βακτηρίων και η μειωμένη διατηρησιμότητα των δειγμάτων Horeca σε σχέση με τα βραστά και ψητά δείγματα μπορεί να αποδοθεί στην διαφορετική σύστασή τους. Τα μη αυτοτελή κομμάτια κρέατος γαλοπούλας και κοτόπουλου αλλά και η υψηλότερη τους περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες πιθανώς δημιουργούν ένα καταλληλότερο περιβάλλον για την ανάπτυξη μικροοργανισμών.
- Η χαμηλή διατηρησιμότητα των δειγμάτων Horeca μπορεί να αποτελέσει ένα οικονομικό βάρος στην εταιρία παραγωγής. Για την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του, το προϊόν θα μπορούσε να υποστεί επεξεργασία με HPP, η σύσταση του θα μπορούσε να αλλάξει κ.α. Τα μέτρα τα οποία προτείνονται για την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής θα ληφθούν με γνώμονα την μεταβολή του κόστους παραγωγής.
- Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, η ενεργότητα του νερού, η υφή, το χρώμα και η οξείδωση των λιπαρών δεν παρουσίασαν σημαντικές αλλαγές ανεξαρτήτως δείγματος και θερμοκρασίας αποθήκευσης (είναι πρακτικά σταθερά).
- Συμπερασματικά, η HPP μπορεί να επεκτείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των κρεατοσκευασμάτων γαλοπούλας σε συσκευασία υπό κενό και εφαπτόμενη συσκευασία. Επιπλέον η HPP δεν επηρεάζει σημαντικά τις αρχικές τιμές της ενεργότητας του νερού, της υφής, του χρώματος και της οξείδωσης των λιπαρών των δειγμάτων ούτε τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι παράμετροι μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία και το χρόνο. Τα προρρητικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα, ειδικά το μοντέλο που εφαρμόστηκε στην περίπτωση του δείγματος τύπου Horeca, το οποίο επαληθεύτηκε και από το μη ισοθερμοκρασιακό πείραμα. Τέλος η σύσταση των δειγμάτων φαίνεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην αλλοίωση και την μικροβιακή τους χλωρίδα.

Τελειώνοντας την διπλωματική εργασία, προκειμένου να διευκρινιστούν κομμάτια που δεν εξετάστηκαν διεξοδικά ή μελετηθούν περαιτέρω ενδιαφέροντα σημεία και παρατηρήσεις, προτείνονται τα παρακάτω:

- Ο οργανοληπτικός έλεγχος όλων δειγμάτων με σκοπό να συσχετιστεί η αλλοίωση με την υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους καθώς και να μελετηθεί η επίδραση της HPP στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.
- Η μικροβιολογική και φυσικοχημική ανάλυση των υγρών που αποβάλλονται από τα δείγματα και η εξέταση της επίδρασης που έχουν στην αλλοίωση τους.
- Η περαιτέρω μελέτη των HPP δειγμάτων στους 4°C.
- Η εξέταση τους κόστους-οφέλους της επεξεργασίας των δειγμάτων Horeca με HPP
- Περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης της σύστασης του κρεατοσκευάσματος στην μικροβιακή ανάπτυξη, ιδίως της περιεκτικότητας του σε υδατάνθρακες και της χρήσης αυτοτελών ή μη αυτοτελών κομματιών κρέατος.
- Η απομόνωση και ταξινόμηση των διαφόρων ειδών γαλακτικών βακτηρίων που υπάρχουν στα δείγματα που μελετήθηκαν και η μελέτη της αλληλεπίδρασής τους με το *Brochothrix thermosphacta*.

Βιβλιογραφία

Hui, Y. Handbook of Meat and Meat Processing, Second Edition. Crc Press, 2012.

Guerrero-Legarreta, Isabel, et al. Handbook of Poultry Science and Technology. Vol. 2. Hoboken, N.J., Wiley, 2010.

Toldrá, Fidel. Handbook of Meat Processing. Ames, Iowa, Wiley-Blackwell, 2010.

Mead, G C. Poultry Meat Processing and Quality. Boca Raton, Crc Press ; Cambridge, Eng, 2004.

S Barbut. Poultry Products Processing an Industry Guide. Boca Raton: Crc Press, 2002.

Raposo, António, et al. “Food Spoilage by Pseudomonas Spp.-an Overview.” Foodborne Pathogens and Antibiotic Resistance, 22 Feb. 2017, pp. 41–71

Clive de W. Blackburn. Food Spoilage Microorganisms. Woodhead Publishing, 21 Mar. 2006.

Doyle, Michael P, and Robert Buchanan. Food Microbiology : Fundamentals and Frontiers. 4th ed., Washington, Dc, Asm Press, 2013.

Hui, Yiu H. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. Vol. 3. Boca Raton Crc/Taylor & Francis, 2006.

Russo, F., et al. “Behaviour of Brochothrix ThermospHacta in Presence of Other Meat Spoilage Microbial Groups.” Food Microbiology, vol. 23, no. 8, Dec. 2006, pp. 797–802

Raposo, António, et al. “Food Spoilage By Pseudomonasspp.-an Overview.” Foodborne Pathogens and Antibiotic Resistance, 22 Feb. 2017, pp. 41–71

Stanborough, Tamsyn, et al. "Insight into the Genome of *Brochothrix ThermospHacta*, a Problematic Meat Spoilage Bacterium." *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 83, no. 5, Mar. 2017

Domínguez R, Pateiro M, Gagaoua M, Barba FJ, Zhang W, Lorenzo JM. *A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. Antioxidants (Basel)*. 25, Sep 2019

Ghaly, A.E., and D. Dave. "Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review." *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 6, no. 4, 1 Apr. 2011, pp. 486–510.

Hardin, Margaret Donohue. "Factors Affecting the Shelf Life of Meat Products." *Reference Module in Food Science*, 2016.

BEKBÖLET, MIRAY. "Light Effects on Food." *Journal of Food Protection*, vol. 53, no. 5, May 1990, pp. 430–440

Jay, James M, et al. *Modern Food Microbiology*. 7th ed., New York, Springer, 2005.

Andrés-Bello, A., et al. "Effect of pH on Color and Texture of Food Products." *Food Engineering Reviews*, vol. 5, no. 3, 9 May 2013, pp. 158–170.

HZ, Shi, et al. "[Effects of Temperature and pH on Digestive Enzymes Activities in *Whitmania Pigra*]." *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi China Journal of Chinese Materia Medica*, 1 Sept. 2012.

Osman Erkmén, and T Faruk Bozoglu. *Food Microbiology: Principles into Practice*. Chichester, UK John Wiley & Sons, Ltd, 2016.

Honikel, Karl-Otto. "The Use and Control of Nitrate and Nitrite for the Processing of Meat Products." *Meat Science*, vol. 78, no. 1-2, Jan. 2008, pp. 68–76.

Karwowska, Małgorzata, and Anna Kononiuk. "Nitrates/Nitrites in Food—Risk for Nitrosative Stress and Benefits." *Antioxidants*, vol. 9, no. 3, 16 Mar. 2020, p. 241.

Food Preservatives. Boston, MA, Springer US, 2003.

Food Packaging - Principles and Practice (3rd Edition). Taylor And Francis, 2013.

Kerry, Joseph. *Advances in Meat, Poultry and Seafood Packaging*. Cambridge, Woodhead Pub, 2012.

Lawrence, T. E., and D. H. Kropf. "Vacuum Packaging of Meat." *ScienceDirect, Elsevier*, 1 Jan. 2018.

Narasimha Rao, D., and N. M. Sachindra. "Modified Atmosphere and Vacuum Packaging of Meat and Poultry Products." *Food Reviews International*, vol. 18, no. 4, 31 Dec. 2002, pp. 263–293.

Toldra, Fidel. *Lawrie's Meat Science*. Woodhead Publishing, 8 Sept. 2022.

- Yamaguchi, Naohiko. "Vacuum Packaging." *Food Packaging*, 1990, pp. 279–292.
- Sams, Alan R. *Poultry Meat Processing*. Boca Raton, Fla, Crc Press, 2001.
- Farhan, Muhammad, et al. *High-Pressure Processing; Principle, Applications, Impact, and Future Prospective* Mar. 2021.
- Sun, Da-Wen. *Emerging Technologies for Food Processing*. Elsevier, 14 Aug. 2014.
- Balasubramaniam, V. M., & Barbosa-Cánovas, G. V. (Eds.). (2017). *High pressure processing of food: Principles, technology and applications*. Springer.
- Bolumar, Tomas, et al. "High-Pressure Processing of Meat: Molecular Impacts and Industrial Applications." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, no. 1, 14 Nov. 2020, pp. 332–368.
- Farkas, Daniel F., and DALLAS G. HOOVER. "High Pressure Processing." *Journal of Food Science*, vol. 65, Nov. 2000, pp. 47–64.
- Argyri, A.A.; Papadopoulou, O.S.; Sourri, P.; Chorianopoulos, N.; Tassou, C.C. Quality and Safety of Fresh Chicken Fillets after High Pressure Processing: Survival of Indigenous *Brochothrix thermosphacta* and Inoculated *Listeria monocytogenes*. *Microorganisms* 2019.
- Koutsoumanis, Konstantinos, et al. "The Efficacy and Safety of High-Pressure Processing of Food." *EFSA Journal*, vol. 20, no. 3, Mar. 2022.
- Sehrawat R, Kaur BP, Nema PK, Tewari S, Kumar L. Microbial inactivation by high pressure processing: principle, mechanism and factors responsible. *Food Sci Biotechnol*. 2020 Oct 6;30(1):19-35.
- Gómez I, Janardhanan R, Ibañez FC, Beriain MJ. The Effects of Processing and Preservation Technologies on Meat Quality: Sensory and Nutritional Aspects. *Foods*. 2020 Oct 7;9(10):1416.
- Bolumar, Tomas, et al. "High-Pressure Processing (HPP) of Meat Products: Impact on Quality and Applications." *Present and Future of High Pressure Processing*, 2020, pp. 221–244.
- Bajovic B, Bolumar T, Heinz V. Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Sci*. 2012 Nov;92(3):280-9.
- Balakrishna, Akash Kaushal, et al. "A Review on the Effect of High Pressure Processing (HPP) on Gelatinization and Infusion of Nutrients." *Molecules*, vol. 25, no. 10, 20 May 2020, p. 2369.
- Jung, Stephanie & Samson, Carole & Lamballerie, Marie. (2011). *High Hydrostatic Pressure Food Processing. Alternatives to Conventional Food Processing*. 254-306.
- Ross, T., and T.A. McMeekin. "Predictive Microbiology." *International Journal of Food*

Microbiology, vol. 23, no. 3-4, Nov. 1994, pp. 241–264.

Jeanne-Marie Membré, and Vasilis Valdramidis. *Modeling in Food Microbiology*. Elsevier, 22 Jan. 2016.

Ταούκης Π., Τζιά Κ., “Χημεία, Μικροβιολογία και Αρχές Συντήρησης Τροφίμων”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2019, pp 227-241.

Bozoglu, T. Faruk, and Osman Erkmen. “Microbial Growth in Foods.” *Food Microbiology: Principles into Practice*, 22 Apr. 2016, pp. 13–34.

McKellar, Robin C, and Xuewen Lu. *Modeling Microbial Responses in Food*. CRC Press, 29 Dec. 2003.

Baranyi, József, and Terry A. Roberts. “A Dynamic Approach to Predicting Bacterial Growth in Food.” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 23, no. 3-4, Nov. 1994, pp. 277–294.

Gibson, Angela M., et al. “The Effect of Sodium Chloride and Temperature on the Rate and Extent of Growth of *Clostridium Botulinum* Type a in Pasteurized Pork Slurry.” *Journal of Applied Bacteriology*, vol. 62, no. 6, June 1987, pp. 479–490.

Baranyi, József, et al. “A Non-Autonomous Differential Equation to Model Bacterial Growth.” *Food Microbiology*, vol. 10, no. 1, 1 Feb. 1993, pp. 43–59.

Mizrahi, S. “14 - Accelerated Shelf-Life Tests.” ScienceDirect, Woodhead Publishing, 1 Jan. 2004.

Cadun, A., et al. “A Study of Marination of Deepwater Pink Shrimp (*Parapenaeus Longirostris*, Lucas, 1846) and Its Shelf Life.” *Food Chemistry*, vol. 90, no. 1-2, Mar. 2005, pp. 53–59.

Tsironi, Theofania, et al. “Application and Validation of the TTI Based Chill Chain Management System SMAS (Safety Monitoring and Assurance System) on Shelf Life Optimization of Vacuum Packed Chilled Tuna.” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 128, no. 1, Nov. 2008, pp. 108–115.

Andersen, H.J., et al. “Effect of Light and Packaging Conditions on the Colour Stability of Sliced Ham.” *Meat Science*, vol. 22, no. 4, Jan. 1988, pp. 283–292.

Borch, Elisabeth, et al. “Bacterial Spoilage of Meat and Cured Meat Products.” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 33, no. 1, Nov. 1996, pp. 103–120.

Cayré, M.E., et al. “Effect of Storage Temperature and Gas Permeability of Packaging Film on the Growth of Lactic Acid Bacteria and *Brochothrix Thermosphacta* in Cooked Meat Emulsions.” *Food Microbiology*, vol. 22, no. 6, Dec. 2005.

Cayré M.E., et al. “Modeling Lactic Acid Bacteria Growth in Vacuum-Packaged Cooked Meat Emulsions Stored at Three Temperatures.” *Food Microbiology*, vol. 20, no. 5, Oct. 2003, pp. 561–566.

Collins-Thompson, D. L., and G. Rodriguez Lopez. "Influence of Sodium Nitrite, Temperature, and Lactic Acid Bacteria on the Growth of *Brochothrix Thermosphacta* under Anaerobic Conditions." *Canadian Journal of Microbiology*, vol. 26, no. 12, 1 Dec. 1980, pp. 1416–1421.

Collins-Thompson, D.L., and G. Rodriguez Lopez. "Control of *Brochothrix Thermosphacta* by *Lactobacillus* Species in Vacuum Packed Bologna." *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, vol. 15, no. 4, 1982, pp. 307–309.

Han, Yanqing, et al. "Effect of High Pressure Treatment on Microbial Populations of Sliced Vacuum-Packed Cooked Ham." *Meat Science*, vol. 88, no. 4, Aug. 2011, pp. 682–688.

Hitchener, Beverley J., et al. "Characteristics of Lactic Acid Bacteria Isolated from Vacuum-Packaged Beef." *Journal of Applied Bacteriology*, vol. 52, no. 1, Feb. 1982, pp. 31–37.

Kang, Sun Moon, et al. "Effect of Packaging Method on the Lipid Oxidation, Protein Oxidation, and Color in Aged Top Round from Hanwoo (Korean Native Cattle) during Refrigerated Storage." *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, vol. 34, no. 3, 30 June 2014.

Katsaros, George, and Petros Taoukis. "Microbial Control by High Pressure Processing for Shelf-Life Extension of Packed Meat Products in the Cold Chain: Modeling and Case Studies." *Applied Sciences*, vol. 11, no. 3, 1 Feb. 2021, p. 1317.

Kotzekidou, P., and J.G. Bloukas. "Effect of Protective Cultures and Packaging Film Permeability on Shelf-Life of Sliced Vacuum-Packed Cooked Ham." *Meat Science*, vol. 42, no. 3, Mar. 1996, pp. 333–345.

Newton, K. G., and W. J. Rigg. "The Effect of Film Permeability on the Storage Life and Microbiology of Vacuum-Packed Meat." *Journal of Applied Bacteriology*, vol. 47, no. 3, Dec. 1979, pp. 433–441.

Nielsen, H.-J.S. "Influence of Temperature and Gas Permeability of Packaging Film on Development and Composition of Microbial Flora in Vacuum-Packed Bologna-Type Sausage." *Journal of Food Protection*, vol. 46, no. 8, Aug. 1983, pp. 693–699.

Parra, V., et al. "Modified Atmosphere Packaging and Vacuum Packaging for Long Period Chilled Storage of Dry-Cured Iberian Ham." *Meat Science*, vol. 84, no. 4, Apr. 2010.

Samelis, John, et al. "Selective Effect of the Product Type and the Packaging Conditions on the Species of Lactic Acid Bacteria Dominating the Spoilage Microbial Association of Cooked Meats at 4°C." *Food Microbiology*, vol. 17, no. 3, June 2000, pp. 329–340.

Samelis, John, et al. "The Spoilage Microflora of Cured, Cooked Turkey Breasts Prepared Commercially with or without Smoking." *International Journal of Food Microbiology*, vol. 56, no. 2-3, June 2000, pp. 133–143.

Korkeala HJ, Björkroth KJ. Microbiological Spoilage and Contamination of Vacuum-Packaged Cooked Sausages. *J Food Prot.* 1997 Jun;60(6):724-731.

Setikaite, Ilona, et al. "Effects of Water Activity in Model Systems on High-Pressure Inactivation of Escherichia Coli." *Food and Bioprocess Technology*, vol. 2, no. 2, 28 Feb. 2008, pp. 213–221.

Li, Hui, et al. "Control of Pathogenic and Spoilage Bacteria in Meat and Meat Products by High Pressure: Challenges and Future Perspectives." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20 Aug. 2020.

McClure, P.J., et al. "A Predictive Model for the Combined Effect of PH, Sodium Chloride and Storage Temperature on the Growth of *Brochothrix Thermosphacta*." *International Journal of Food Microbiology*, vol. 19, no. 3, Aug. 1993, pp. 161–178.

Oliveira, Thales Leandro Coutinho de, et al. "Phenolic Carvacrol as a Natural Additive to Improve the Preservative Effects of High Pressure Processing of Low-Sodium Sliced Vacuum-Packed Turkey Breast Ham." *LWT - Food Science and Technology*, vol. 64, no. 2, Dec. 2015, pp. 1297–1308.