

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ  
ΑΝΘΡΩΠΟΥ**

**Π.Μ.Σ. ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Επίδραση της νέας τεχνολογίας του κρύου πλάσματος σε δείκτες ποιότητας έτοιμης  
προς κατανάλωσης σαλάτας**

**Παναγιώτα Στεργίου**

**Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Γ Στοφόρος**

**Αθήνα, 2018**

# **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Επίδραση της νέας τεχνολογίας του κρύου πλάσματος σε δείκτες ποιότητας έτοιμης  
προς κατανάλωσης σαλάτας**

**Παναγιώτα Στεργίου**

**Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Γ Στοφόρος**

**Εξεταστική Επιτροπή**

**Νικόλαος Στοφόρος**

**Ιωάννα Μαντάλα**

**Γεώργιος Κατσαρός**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών σε συνεργασία με το εργαστήριο μικροβιολογίας του Ινστιτούτο Αγροτικών Προϊόντων ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ και το εργαστήριο νανοεπιστήμης-νανοτεχνολογίας ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή της σχολής κ. Στοφόρου Νικόλαο, τον οποίο ευχαριστώ τόσο για την ανάθεση της εργασίας, όσο και για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διεξαγωγή της εργασίας.

Θέλω να ευχαριστήσω πραγματικά τον κ. Κατσαρό Γεώργιο επιστημονικό ερευνητή του ΕΛΔΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ και τον Διδάκτορά Δημητρακέλη Παναγιώτη για την αμέριστη κατανόηση που έδειξαν για οποιοδήποτε πρόβλημα ή απορία προέκυπτε κατά την διεξαγωγή της μεταπτυχιακής μελέτης αλλά και την συμπαράστασή τους στην εκπόνηση της εργασίας. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω πραγματικά όλους τους συμφοιτητές μου από το Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και το προσωπικό από το μικροβιολογικό εργαστήριο του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ για την άριστη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, η οποία αποτελεί στήριγμα σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου και με συντροφεύει σε όλες τις επιλογές της ζωής μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας ήταν να μελετηθεί η επίδραση της τεχνολογίας του κρύου πλάσματος σε δείκτες ποιότητας έτοιμης προς κατανάλωση σαλάτας και συγκεκριμένα σαλάτα ρόκα. Η σαλάτα αφού επεξεργάστηκε με ατμοσφαιρικό πλάσμα με την μέθοδο Surface Dielectric barrier Discharge (SDBD), προσδιορίστηκε η επιβίωση τεσσάρων διαφορετικών μικροβιακών πληθυσμών και 3 ποιοτικών χαρακτηριστικών.

Αρχικά, ένα δείγμα από την σαλάτα ρόκα επεξεργάστηκε (treated) με την παραπάνω μέθοδο και ένα άλλο δείγμα από την ίδια την σαλάτα έμεινε ανεπεξέργαστο το οποίο αποτελούσε τον μάρτυρα (Control). Οι μεταβαλλόμενοι παράγοντες είναι ο χρόνος επεξεργασίας και η ισχύς της γεννήτριας. Οι χρόνοι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 5, 10, 15, 20 min και η ισχύς ήταν 60 και 70% της ονομαστικής ισχύς της γεννήτριας, ενώ η συχνότητα της γεννήτριας έμενε σταθερή κατά την διάρκεια των πειραμάτων, στα 32 kHz. Οι μικροβιακοί πληθυσμοί που μελετήθηκαν είναι οι ολική μεσόφιλη χλωρίδα, γαλακτικά βακτήρια, ψευδομονάδες και ζύμες-μύκητες και οι ποιοτικοί δείκτες που προσδιορίστηκαν ήταν το pH, το χρώμα και την υφή των δειγμάτων. Από τα παραπάνω πειράματα ο πιο αποτελεσματικός χρόνος επεξεργασίας, δηλαδή ο χρόνος αυτός που δημιουργεί την μεγαλύτερη μικροβιακή καταστροφή αλλά ταυτόχρονα διατηρεί τα καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά ήταν τα 10 min.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε πείραμα αποθήκευσης με τον πιο αποτελεσματικό χρόνο επεξεργασίας δηλαδή αυτόν των 10 min και σε αυτήν την περίπτωση μελετήθηκαν οι παραπάνω μικροβιακοί πληθυσμοί και οι δείκτες ποιότητας. Πιο συγκεκριμένα, αφού τα δείγματα επεξεργάστηκαν για 10 min αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασίες 2, 5 και 9°C. Στους 2°C τα δείγματα για ανάλυση πάρθηκαν στις 0, 18, 42, 66 και 90 ώρες, ενώ στους 5 και 9°C στις 0, 18, 24, 42 και 66 ώρες. Έπειτα, έγινε κινητική μελέτη των δεδομένων αποθήκευσης με τα μοντέλα Gombertz μέσω του Excel και της εφαρμογής solver και Baranyi μέσω του προγράμματος Systat. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν το αρχικό μικροβιακό φορτίο, το φορτίο μετά την επεξεργασία με την μέθοδο SBDB, ο ρυθμός ανάπτυξης ( $\mu$ ), τον συντελεστή μεταβλητότητας ( $R^2$ ) και το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων (SSE). Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν και στα δυο μοντέλα δεν είχαν μεγάλες διαφορές, επομένως τα 2 μοντέλα ήταν ισοδύναμα. Ο ρυθμός ανάπτυξης των ζυμών-μυκήτων, γαλακτικών βακτηρίων και της ολικής μεσόφιλης

χλωρίδας μεταξύ των επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων δειγμάτων είχαν διαφορά κατά την αποθήκευση αυτών και στις 3 θερμοκρασίες χωρίς κάποια συγκεκριμένη τάση, ενώ στην επιβίωση των ψευδομονάδων παρατηρήθηκε αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης με την αύξηση της θερμοκρασίας ενώ τα επεξεργασμένα δείγματα παρουσίαζαν μικρότερο σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Το μοντέλο Baranyi επίσης μελετήθηκε και μέσω του προγράμματος DMfit. Η προσαρμογή των δεδομένων μέσω αυτού του προγράμματος δεν ήταν τόσο καλή σε σχέση με το πρόγραμμα Systat. Επιπρόσθετα το χρώμα και το pH δεν παρουσίασε μεταβολή κατά την αποθήκευση των δειγμάτων στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, ενώ μειώθηκε η σκληρότητα αυτών. Επίσης σε μια προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνθετο μοντέλο όπου ενσωματώθηκε η εξίσωση Arrhenius στο πρωτογενές μοντέλο, δηλαδή την εξίσωση Gombertz. Η επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση παρατηρήθηκε μόνο στο μετρούμενο μικροοργανισμό ψευδομονάδες, ενώ στους άλλους δεν υπήρχε καμία επίδραση. Τέλος, υπολογίστηκε και ο χρόνος ζωής. σύμφωνα με την κυρίαρχη χλωρίδα του τροφίμου η οποία είναι η ολική μεσόφιλη χλωρίδα. Ο χρόνο ζωής υπολογίστηκε σε 15 και 30 ώρες για τα μη επεξεργασμένα και επεξεργασμένα δείγματα αντιστοίχως.

## ABSTRACT

The subject of this postgraduate work was to study the effect of cold plasma technology on indicators of quality ready-to-eat salad and specific rocket salad. The salad after being treated with atmospheric plasma using the Surface Dielectric Barrier Discharge (SDBD) method, determined the survival of four different microbial populations and three quality characteristics.

First, a sample of the rocket salad was treated with the above method and another sample from the salad itself was untreated, which was the control. Changing factors are the processing time and power of the generator. The processing times used were 5, 10, 15, 20 min and the power was 60 and 70% of the generator's rated power while the generator frequency remained constant during the experiments at 32 kHz. The microbial populations studied were total viable count, *Pseudomonas* spp., lactic acid bacteria and yeast- molds and the quality characteristics identified were the pH, color and texture of the samples. From the above experiments, the most effective treatment time, that is, the time that generates the greatest microbial disaster but at the same time maintains the best qualitative characteristics was 10 min.

Then a storage experiment was carried out with the most effective treatment time, that of 10 minutes, in this case the above microbial populations and quality characteristics were studied. In particular, after the samples were processed for 10 min, they were stored at temperatures of 2, 5 and 9°C. At 2°C the samples were analyzed at 0, 18, 42, 66 and 90 hours, at 5 and 9°C at 0, 18, 24, 42 and 66 hours. Then, a kinetic study of the storage data with the Gombertz model through Excel and the solver and Baranyi application was made through the Systat program. The parameters which were estimated, were the initial and the final microbial population, the growth rate ( $\mu$ ), coefficient of variance ( $R^2$ ) and sum of error squares (SSE). The two models did not differ greatly, therefore the two models were equivalent. The growth rate of yeast-molds, lactic bacteria and total viable count between treated and untreated samples had a difference when stored at three temperatures with no specific trend, while in *Pseudomonas* survival, an increase in growth rate was observed with the increase in temperature while the treated samples showed lower growth rate than the untreated samples. The Baranyi model was also studied through the DMfit program. Adjusting data through this program was not as good as Systat program. Furthermore, the color and pH did not change during storage of the samples at the three different

temperatures, while their hardness was reduced. Also in an attempt to quantify the influence of temperature, a complex model was used where the Arrhenius equation was incorporated into the primary model, that is the Gombertz equation. The effect of storage temperature was observed only in the pseudomonas population, while in others populations there was no effect. Finally, shelf time was also calculated. according to the dominant flora of the food which is the total viable count. The shelf life was estimated at 15 and 30 hours for untreated and treated samples respectively.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ii
ABSTRACT .....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	vi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1. ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΕΤΟΙΜΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ .....	3
1.1 Ποιότητα έτοιμων προς κατανάλωση σαλάτων .....	4
1.1.1 Μέθοδοι εκτίμησης της ποιότητας .....	5
1.1.1.1 Εκτίμηση χρώματος .....	5
1.1.1.2 Εκτίμηση υφής .....	7
1.2 Εκτίμηση χρώμα ζωής .....	7
1.3 Ασφάλεια σαλάτων έτοιμων προς κατανάλωση .....	9
1.4 Παραγωγική διαδικασία σαλάτων έτοιμων προς κατανάλωση .....	11
2. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΡΥΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ COLD PLASMA .....	14
2.1 Κατηγορίες πλάσματος .....	16
2.1.1 Άμεση επαφής κατεργασία πλάσματος .....	16
2.1.2 Έμμεση κατεργασία μέσω έκπλυσης με νερό ενεργοποιημένο με πλάσμα 16	
2.1.3 Ημι-έμμεση κατεργασία με Surface Dielectric barrier Discharge.....	16
3. ΚΙΝΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ .....	20
3.1 Εξίσωση Gombertz .....	20
3.2 Μοντέλο Baranyi .....	21
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	23
4.1 Υλικά .....	23
4.2 Επεξεργασία σαλάτας με την μέθοδο SBDB .....	24
4.3 Μέθοδοι-Μετρήσεις-Αναλύσεις .....	20
4.1.1 Προσδιορισμός τιμής Ph .....	26
4.1.2 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου .....	26
4.1.3 Προσδιορισμός υφής .....	29
4.1.4 Προσδιορισμός χρώματος .....	31
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	34



5.1	Επίδραση του cold plasma στο μικροβιακό φορτίο .....	34
5.2	Επίδραση του cold plasma στην υφή .....	39
5.3	Επίδραση του cold plasma στην τιμή pH .....	40
5.4	Επίδραση του cold plasma στο χρώμα .....	42
5.4	Μικροβιακή ανάπτυξη κατά την αποθήκευση .....	43
5.5	Μεταβολή υφής κατά την αποθήκευση .....	59
5.6	Μεταβολή του pH και του χρώματος κατά την αποθήκευση .....	62
5.7	Επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση και υπολογισμό χρόνου ζωής .....	64
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	68
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	70

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα είναι τρόφιμα τα οποία καταναλώνονται στην ακατέργαστη μορφή τους ή οποιοδήποτε άλλο τρόφιμο, το οποίο επεξεργάζεται, αναμειγνύεται, μαγειρεύεται ή παρασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε το προϊόν αυτό να καταναλώνεται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία (Codex, 2004). Στις μέρες μας έχει επέλθει μεγάλη ζήτηση για σαλάτες έτοιμες προς κατανάλωση, επομένως έχει αυξηθεί σε τεράστιο βαθμό η παραγωγή αυτών. Επομένως η μεγάλη ζήτηση έχει οδηγήσει στην εμφάνιση τροφικών δηλητηριάσεων ακόμα και θανάτων (Taban and Halkmall, 2011).

Για τους παραπάνω λόγους η βιομηχανία τροφίμων πρέπει να αναπτύξει εναλλακτικές ή πρόσθετες τεχνολογίες επεξεργασίας προκειμένου να ανταποκριθεί στις προσδοκίες των καταναλωτών με ασφαλέστερα φυτικά προϊόντα. Για την εξυγίανση των φρούτων και των λαχανικών στη βιομηχανία έχουν χρησιμοποιηθεί διαλύματα χλωρίου, παρόλο αυτά η σύνδεση του χλωρίου με τον πιθανό σχηματισμό καρκινογόνων χλωριωμένων ενώσεων στο νερό έχει θέσει υπό αμφισβήτηση τη χρήση του (Baier *et al.*, 2013). Επομένως, υπάρχει μια πραγματική ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις για τη διατήρηση των φρέσκων λαχανικών, προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των επεξεργασιών πλύσης. Πρόσφατα υπάρχει αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον για νέες μη θερμικές τεχνολογίες που είναι σε θέση να εξαλείψουν τους παθογόνους παράγοντες στα προϊόντα διατροφής. στα προϊόντα διατροφής.

Σύμφωνα με τους Pasquali *et al.* (2016) οι μη θερμικές θεωρούνται οι διεργασίες που δεν προκαλούν (ή προκαλούν ελάχιστα) θερμική βλάβη στο επεξεργασμένο προϊόν διατροφής όπως για παράδειγμα η υπερψηλή υδροστατική πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η υπεριώδη ακτινοβολία και η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα. Καμία από αυτές τις τεχνολογίες δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην παραγωγή έτοιμων προς κατανάλωση σαλάτων, λόγω της επιζήμιας επίδρασής τους στα ποιοτικά χαρακτηριστικά, εκτός από την τεχνολογία ψυχρού πλάσματος Το ψυχρό πλάσμα, είναι σχετικά νέα και έχει παρουσιάσει μεγάλες δυνατότητες για μελλοντική εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων (Schluter and Frohling, 2014).

Σύμφωνα με τους Schluter and Frohling (2014), το πλάσμα ορίζεται ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης. Είναι γνωστό ότι η ύλη αλλάζει κατάσταση όταν αποκτά αρκετή ενέργεια (π.χ. θερμότητα) από στερεό σε υγρό και από υγρό σε αέριο. Όταν παρέχεται περισσότερη ενέργεια, λαμβάνει χώρα διάσπαση αερίου όπου τα άτομα ή τα μόρια

ιονίζονται και απελευθερώνονται ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα που σχηματίζουν πλάσμα. Έτσι, το πλάσμα μπορεί να θεωρηθεί ως μερικώς ιονισμένο αέριο που αποτελείται από ηλεκτρόνια, ιόντα, ουδέτερα άτομα και μόρια και επίσης ελεύθερες ρίζες, διεγερμένα είδη και φωτόνια. Το πλάσμα μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τις θερμοδυναμικές τους ιδιότητες σε θερμικό (θερμό) και μη θερμικό (ψυχρό). Το θερμικό πλάσμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες έχουν επιζήμια δράση στα τρόφιμα, ενώ αυτό που έχει ενδιαφέρον να μελετηθεί είναι το ψυχρό πλάσμα. Στα μη θερμικά πλάσματα η θερμοκρασία του ηλεκτρονίου μπορεί να είναι περίπου 10000 K, ενώ η θερμοκρασία του αερίου μπορεί να είναι κοντά στο περιβάλλον. Σύμφωνα με τους Moison *et al.* (2001) και τους Schluter and Frohling (2014) το πλάσμα αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς μέσω τριών βασικών μηχανισμών: (α) ακτινοβολία UV στο κυτταρικό DNA, (β) υπεριώδη ακτινοβολία στην κυτταρική μεμβράνη και στα ενδοκυτταρικά συστατικά και (γ) χημική αλληλεπίδραση με φορτισμένα σωματίδια και δραστικά είδη οξυγόνου-αζώτου (RONS).

Τέλος, υπάρχουν 3 διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας με το κρύο πλάσμα στα τρόφιμα: Άμεσης επαφής διεργασία πλάσματος, Έμμεση κατεργασία μέσω έκλυσης με νερό 'ενεργοποιημένο' με πλάσμα, και Ημι-έμμεση κατεργασία με Surface Dielectric barrier Discharge (SDBD semi-direct treatment). Με βάση τα παραπάνω, το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα του κρύου πλάσματος με τη μέθοδο της Ημι-έμμεσης κατεργασίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά σαλάτας ρόκας έτοιμη προς κατανάλωση.

## 1. ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΈΤΟΙΜΑ ΠΡΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει επέλθει σημαντική ανάπτυξη στην βιομηχανία των έτοιμων προς κατανάλωση (Ready To Eat, RTE) λαχανικών, κυρίως λόγω της αυξημένης ζήτησης για φρέσκα και υγιεινά τρόφιμα και πρωτίστως λόγω της εύκολης χρήσης τους. Τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα είναι τρόφιμα τα οποία καταναλώνονται στην ακατέργαστη μορφή τους ή οποιοδήποτε άλλο τρόφιμο, το οποίο επεξεργάζεται, αναμειγνύεται, μαγειρεύεται ή παρασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε το προϊόν αυτό να καταναλώνεται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία (Codex, 2004). Είναι ευρέως γνωστό ότι ένα σημαντικό μέρος των βιταμινών και των μεταλλικών στοιχείων που εισέρχονται στη διατροφή μας προέρχεται από την κατανάλωση λαχανικών και φρούτων. Επίσης, τα τρόφιμα αυτά είναι πλούσια σε αντιοξειδωτικές ουσίες, όπως ασκορβικό οξύ και β-καροτένιο, οι οποίες δρουν ως υποδοχείς ελεύθερων ριζών.

Τα φυλλώδη πράσινα λαχανικά, όπως κυρίως μαρούλι, σπανάκι και οι σαλάτες αυτών αποτελούν δυνητικά φορείς για την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Οι πιο σύνηθες παθογόνοι που είναι υπεύθυνοι για τις περισσότερες τροφικές δηλητηριάσεις στα παραπάνω προϊόντα είναι οι *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* και *Salmonella spp.* Επομένως, η αυξημένη αυτή κατανάλωση έτοιμων προς κατανάλωση σαλάτων, έχει οδηγήσει στην εμφάνιση τροφικών δηλητηριάσεων ακόμα και θανάτων (Taban and Halkmall, 2011). Το ποσοστό δηλητηριάσεων, που οφείλεται στην κατανάλωση έτοιμων προς κατανάλωση σαλατών στην Αγγλία και Ουαλία ήταν στο 2% το χρονικό διάστημα 1996-2000 (Quested *et al.*, 2010). Στην Ελβετία παρουσιάστηκαν 32 τροφικές δηλητηριάσεις το χρονικό διάστημα 2013-2014 από σαλάτες έτοιμες προς κατανάλωσης (Roger *et al.*, 2015). Στην Ευρώπη το 2009 και το 2010 το 4,4% και το 10% αντίστοιχα των επιβεβαιωμένων τροφικών δηλητηριάσεων οφείλονται στην κατανάλωση φρέσκων λαχανικών και φρούτων (Ziuzina and Mistra, 2016). Παραδείγματα τροφικών δηλητηριάσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 (Taban and Halkmall, 2011). Επομένως, είναι απαραίτητο να επαναπροσδιοριστεί η διασφάλιση της ποιότητας των έτοιμων προς κατανάλωσης σαλατών από το αρχικό στάδιο της παραγωγής τους μέχρι το σημείο κατανάλωσης τους.

Πίνακας 1. Παραδείγματα τροφικών δηλητηριάσεων (Taban and Halkmall, 2011).

Είδος φυλλωδών σαλατών	Μικροοργανισμοί	Έτος	Χώρα
Μαρούλι	<i>Escherichia coli O157:H7</i>	1995	Η.Π.Α.
	<i>Listeria monocytogenes</i>	1979	Η.Π.Α.
	<i>Shigella sonnei</i>	1983	Η.Π.Α.
	<i>Salmonella Typhimurium</i>	1994	Νορβηγία
	<i>DT104</i>		Ισπανία
	<i>Salmonella Newport</i>	2005	Η.Π.Α.
Baby μαρούλι	<i>Campylobacter jejuni</i>	1996	Η.Π.Α.
	<i>Cyclospora cayatenansis</i>	1997	Η.Π.Α.
Σγουρό μαρούλι	<i>Shigella sonnei</i>	1986	Νορβηγία &
Iceberg Lettuce	<i>Shigella sonnei</i>	1994	Σουηδία
	<i>E.scherichia coli O157:H7</i>	1955	Καναδάς
Σαλάτα Μαρουλιού	<i>Hepatitis A</i>	1986	Η.Π.Α.
	<i>Giardia</i>	1989	Η.Π.Α.
Μαϊντανός	<i>Shigella sonneri</i>	1998	Η.Π.Α.
	<i>Salmonella Senftenberg</i>	2007	Ισραήλ
			Η.Π.Α.

### 1.1 Ποιότητα έτοιμων προς κατανάλωση σαλάτων

Ως ποιότητα ενός τροφίμου μπορεί να χαρακτηρισθεί ο βαθμός προσαρμογής του στις απαιτήσεις του καταναλωτή. Οι απαιτήσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με τη θρεπτική αξία, την ασφάλεια για την υγεία του καταναλωτή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του. Τα χαρακτηριστικά αυτά που επηρεάζουν την αποδεκτικότητα του τροφίμου από τον καταναλωτή ταξινομούνται στα εμφανή όπως γεύση, οσμή εμφάνιση, και στα αφανή γνωρίσματα όπως, η θρεπτική αξία, οι θερμίδες που αποδίδει, η μικροβιολογική του ασφάλεια κ.α. Τα εμφανή και αφανή επομένως χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα τρόφιμο για να γίνει πλήρως αποδεκτό από τον καταναλωτή προσδιορίζουν και την τελική του ποιότητα (Αμβροσιάδης 2005).

Σύμφωνα με τους Leong και Oey (2017) χαρακτηριστικά ποιότητας γίνονται αντιληπτά σύμφωνα με τις αισθήσεις του καταναλωτή, όπως με την όραση, οσμή και αφή. Μέσω της όρασης προσδιορίζεται το χρώμα, η υγρασία και η συνολική εμφάνιση, μέσω της οσμής το άρωμα και τέλος μέσω της αφής η ελαστικότητα, η απαλότητα και η σκληρότητα.

### **1.1.1. Μέθοδοι εκτίμησης της ποιότητας**

Οι μέθοδοι εκτίμησης της ποιότητας περιλαμβάνουν αντικειμενικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στην χρήση οργάνων και στις υποκειμενικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στην ανθρώπινη αντίληψη. Αναλυτικότερα, οι αντικειμενικές μετρήσεις ποιότητας περιλαμβάνουν την χρήση οργάνων, όπως για παράδειγμα χρωματόμετρο και αναλυτή υφής για τον προσδιορισμό του χρώματος και της υφής αντίστοιχα. Αντίθετα, οι υποκειμενικές μεθόδους περιλαμβάνουν οργανοληπτικούς ελέγχους για τον προσδιορισμό του αρώματος, της γεύσης (flavor) και της συνολικής εμφάνισης του τροφίμου (Kader 2002).

#### *1.1.1.1 Εκτίμηση χρώματος*

Το χρώμα είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της εμφάνισης των τροφίμων. Είναι συνήθως το πρώτο χαρακτηριστικό που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή, την προτίμηση, την αποδοχή του τροφίμου καθώς επίσης την αξιολόγηση της ποιότητας. Ο καταναλωτής έχει συνηθίσει κάθε τρόφιμο με το δικό του συγκεκριμένο χρώμα και οποιαδήποτε απόκλιση τη θεωρεί πολλές φορές ως ποιοτική υποβάθμιση. Αλλαγές στο χρώμα του τροφίμου πολλές φορές συνοδεύονται από ανεπιθύμητες μεταβολές στη γεύση (Manninen *et al.*, 2015).

Η ενζυμική αμαύρωση των ιστών, η οποία είναι το σημαντικότερο ελάττωμα των φρέσκων λαχανικών, επιδρώντας αρνητικά στο χρώμα αυτών αλλάζοντάς το, εξαρτάται από την συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων, την δράση της φαινολικής οξειδάσης (PPO) και τη συγκέντρωση των αντιοξειδωτικών του ιστού. Κατά τον τραυματισμό του ιστού των λαχανικών, πραγματοποιείται ένωση μεταξύ των φαινολικών ενώσεων και της φαινολικής οξειδάσης, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ενζυμικής αμαύρωσης (Kader, 2002).

Λαχανικά με έντονα και ζωντανά χρώματα, όπως λαχανικά με έντονο πράσινο χρώμα, θεωρούνται πιο φρέσκα και ποιοτικά καλύτερα σε σχέση με εκείνα που έχουν θαμπό χρώμα (Manninen *et al.*, 2015). Το χρώμα των τροφίμων αποδίδεται στο πλάτος φάσματος του φωτός. Συνδέεται άμεσα με το φως και μπορεί να περιγραφεί με τα

χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας. «Φως» είναι το αποτέλεσμα του ερεθισμού του αισθητηρίου της όρασης από ακτινοβολία ορισμένου μήκους κύματος. Η φωτεινή ακτινοβολία που πέφτει πάνω σε ένα αντικείμενο ανακλάται, απορροφάται ή περνά μέσα από το αντικείμενο, αφού διαθλαστεί. Το μήκος κύματος της ανακλώμενης ακτινοβολίας είναι εκείνο που δημιουργεί το χρώμα.

Για ένα τρόφιμο έχει σημασία όχι μόνο η ανάκλαση στην εξωτερική επιφάνεια αλλά και στο εσωτερικό στρώμα κάτω από αυτή. Η διάθλαση έχει σημασία για υλικά μικρού μεγέθους όπου το συνολικό ποσό της ανακλώμενης ακτινοβολίας αυξάνεται, με αποτέλεσμα να αντιστοιχεί σε διάχυση φωτός. Η διάχυση στην επιφάνεια είναι συντελεστής χρώματος παρά στιλπνότητας, ενώ η διάχυση στην εσωτερική επιφάνεια παίζει ρόλο μεταβαλλόμενου του μεγέθους των σωματιδίων. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας είναι καθοριστική για το χρώμα του προϊόντος, ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων μεταβάλλεται το χρώμα αυτών.

Τα χαρακτηριστικά του χρώματος είναι:

- α) Η φωτεινότητα ή λαμπρότητα, που έχει σχέση με το ποσοστό ανάκλασης ανεξάρτητα από το μήκος κύματος του χρώματος
- β) Η ένταση του χρώματος, η οποία εξαρτάται από την «καθαρότητα» της ανακλώμενης ακτινοβολίας, δηλαδή του ποσοστού ανάκλασης και έκτασης ανάκλασης σε στενά όρια μήκους κύματος
- γ) Η στιλπνότητα, που σχετίζεται με την κατεύθυνση ανάκλασης της ακτινοβολίας.

Οι υποκειμενικές μέθοδοι μέτρησης χρώματος βασίζονται στο ανθρώπινο μάτι. Αναλυτικότερα, υπάρχει ένα χρωματικό γράφημα που αντιστοιχεί στα αναπτυξιακά στάδια ενός συγκεκριμένου προϊόντος και με βάση το προϊόν που έχει ο χειριστής στα χέρια του το κατατάσσει σε συγκεκριμένο στάδιο (Leong and Oey, 2017). Ωστόσο η κατάταξη αυτή εμπεριέχει πιθανότητα πειραματικού σφάλματος, λόγω των διαφορών στην αντίληψη του χρώματος, ανάλογα με τον χειριστή. Η έκθεση σε φως και η ποιότητα του φωτισμού κατά την διάρκεια της μέτρησης μπορούν επίσης να επηρεάσουν την αντίληψη του χρώματος. Για την αντικειμενική μέτρηση του χρώματος, χρησιμοποιείται χρωματόμετρο, το οποίο μπορεί να διακρίνει μικρές χρωματικές αλλαγές στο χρώμα, έχει μεγάλη ευαισθησία και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πολύ μικρό χρόνο.

### 1.1.1.2 Εκτίμηση υφής

Σύμφωνα με τον Kader (2002) με τον όρο υφή εννοείται το άθροισμα των ιδιοτήτων οι οποίες προκύπτουν από τα δομικά στοιχεία και τρόπο με τον οποίο αυτά επιδρούν στα αισθητήρια όργανα. Για την αντίληψη της υφής ο άνθρωπος χρησιμοποιεί ειδικά αισθητήρια όργανα, που βρίσκονται βασικά στο δέρμα, τους μύες και τις αρθρώσεις κυρίως στα δάκτυλα και τη στοματική κοιλότητα. Η αφή δίνει τη δυνατότητα στον καταναλωτή να κρίνει και να αξιολογεί τη μορφή των τροφίμων, τη σύστασή τους, τη σκληρότητα ή μαλακότητα, την τραχύτητα και την ξηρότητα. Με την μύση επίσης είναι δυνατόν να εκτιμηθούν διάφορα χαρακτηριστικά των τροφίμων όπως η τρυφερότητα ή σκληρότητα για παράδειγμα του κρέατος, το παχύρευστο ή λεπτόρευστο ενός υγρού. Η υφή είναι σημαντική παράμετρος αποδοχής από τον καταναλωτή, καθώς είναι ευδιάκριτο χαρακτηριστικό και σε ορισμένα τρόφιμα παίζει σπουδαιότερο ρόλο από την οσμή και τη γεύση. Όσον αφορά τα λαχανικά η υφή παίζει τον σημαντικότερο ρόλο μετά από το χρώμα. Το μαλάκωμα και η έλλειψη ακεραιότητας των ιστών έχει ως αποτέλεσμα την διαρροή χυμού από αυτούς, το οποίο αποτελεί ένδειξη κακής ποιότητας του προϊόντος και μη εμπορίας από το καταναλωτή.

Η υφή είναι δύσκολο να μελετηθεί και να βρεθεί τρόπος να περιγραφεί η αντίδραση του καταναλωτή για την αποδοχή των προϊόντων. Έχει αναπτυχθεί μια τεχνική υφής για τον καταναλωτή, που βασίζεται σε οργανοληπτική εξέταση από εκπαιδευμένες ομάδες δοκιμαστών, η οποία επιτρέπει την περιγραφή της υφής του προϊόντος. Επίσης, η υφή προσδιορίζεται στην βάση των μετρήσεων της δύναμης που εφαρμόζεται σε ένα δείγμα τροφίμου. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος υφής είναι η δοκιμή διάτρησης, η οποία πραγματοποιείται με την χρήση ενός αναλυτή υφής. Ο αναλυτής υφής μετρά την συνολική δύναμη που απαιτείται για την διάτρηση ενός δεδομένου τμήματος του λαχανικού σε ένα πρότυπο βάθος, με την χρήση ανιχνευτή συγκεκριμένου διαμέτρου.

## 1.2 Εκτίμηση του χρόνου ζωής

Σύμφωνα με τον Παπαδάκη (2010), σχεδόν, όλα τα τρόφιμα και ποτά με την πάροδο του χρόνου υποβαθμίζονται ποιοτικά και μάλιστα σε κάποια χρονική στιγμή καθίστανται ακατάλληλα για κατανάλωση. Ο χρόνος ζωής που μεσολαβεί από την παραγωγή του τροφίμου μέχρι τη στιγμή που τούτο γίνεται ακατάλληλο για κατανάλωση ονομάζεται διάρκεια ζωής (shelf life) του τροφίμου.



Στο παρελθόν, η ακολουθούμενη πρακτική απ' όλες σχεδόν τις βιομηχανίες τροφίμων ήταν να σημειώνουν στα συσκευασμένα προϊόντα τους ένα κωδικό, ο οποίος ήταν κατανοητός μόνον από τους γνώστες του συστήματος κωδικοποίησης και έδινε πληροφορίες για το χρόνο παραγωγής και συσκευασίας του τροφίμου. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 όμως, άρχισαν να χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα χρονολόγησης των συσκευασμένων τροφίμων κατανοητά από το ευρύ κοινό και που έχουν σκοπό να πληροφορήσουν τον καταναλωτή για τη διάρκεια ζωής του τροφίμου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση με τις Οδηγίες 89/395/ΕΟΚ και 89/396/ΕΟΚ έχει καθιερώσει για τη χρονολόγηση των συσκευασμένων προϊόντων την *ημερομηνία ελάχιστης διατηρησιμότητας* και για τα τρόφιμα που είναι ευαλλοίωτα από μικροβιολογική άποψη την *τελική ημερομηνία ανάλωσης*. Η μία ή η άλλη ημερομηνία πρέπει να περιλαμβάνεται υποχρεωτικά στην επισήμανση των τροφίμων.

Η χρονολογία ελάχιστης διατηρησιμότητας αναγράφεται είτε ως «ανάλωση κατά προτίμηση πριν από...» ("Best before..." ή "Best if used by...") εφόσον περιλαμβάνεται η ημερομηνία είτε ως «ανάλωση κατά προτίμηση πριν από το τέλος...» ("Best before end..."). Για τα ευαλλοίωτα από μικροβιολογικής άποψης τρόφιμα, τα οποία για το λόγο αυτό ενδέχεται ύστερα από σύντομο χρονικό διάστημα να αποτελέσουν άμεσο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, η χρονολογία ελάχιστης διατηρησιμότητας αντικαθίστανται από την ημερομηνία μέχρι την οποία επιτρέπεται η ανάλωση. Στις περιπτώσεις αυτές αναγράφεται η φράση «ανάλωση μέχρι...» ("Use by...") ακολουθούμενη από την περιγραφή των συνθηκών διατήρησης που πρέπει να τηρηθούν.

Ο προσδιορισμός της διάρκειας ζωής κάθε τροφίμου γίνεται από τον παραγωγό ή από τις βιομηχανίες τροφίμων, στις οποίες γίνεται η επεξεργασία του τροφίμου και αποτελεί βασικό τμήμα της όλης μελέτης ανάπτυξης ενός τροφίμου. Ο στόχος του παραγωγού του τροφίμου είναι η επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής διάρκειας ζωής του τροφίμου ασφαλώς μέσα στα όρια που τίθενται από το κόστος παραγωγής, συσκευασίας και αποθήκευσης καθώς και από τον τρόπο μεταχείρισης και αποθήκευσης του προϊόντος από τους πωλητές και τον καταναλωτή. Μικρότερη από την αναμενόμενη (ή την αναγραφόμενη στη συσκευασία) διάρκεια ζωής για ένα τρόφιμο μπορεί να προκαλέσει ανάκληση προϊόντος, έκφραση παραπόνων. Για αυτό το λόγο οι επεξεργαστές τροφίμων αποδίδουν μεγάλη σημασία στον ακριβή προσδιορισμό της διάρκειας ζωής προϊόντων τους.

Ένας απλός αλλά δαπανηρός και χρονοβόρος τρόπος προσδιορισμού της διάρκειας ζωής είναι να αποθηκεύεται το συσκευασμένο τρόφιμο στις αναμενόμενες συνθήκες

αποθήκευσης και διανομής και να προσδιορίζεται ο χρόνος κατά τον οποίο η ποιότητα του τροφίμου έχει υποβαθμιστεί τόσο ώστε να μην είναι πλέον αποδεκτό από τους καταναλωτές. Κατά την διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος μετρώνται διάφοροι δείκτες ποιότητας του τροφίμου όπως π.χ. η γεύση μέσω οργανοληπτικών δοκιμών, η υφή, το χρώμα, η εναπομένουσα συγκέντρωση διαφόρων θρεπτικών συστατικών που καταστρέφονται, η συγκέντρωση ανεπιθύμητων προϊόντων που δημιουργούνται και μέτρηση μικροβιακού φορτίου.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί αρκετές συστηματικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής που βασίζονται σε επιστημονικές αρχές και σε μαθηματικά μοντέλα, αν και η εμπειρική μέθοδος δοκιμής και αποτελέσματος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων.

### **1.3 Ασφάλεια σαλατών έτοιμων προς κατανάλωσης**

Ως ασφαλή τρόφιμα, νοούνται τα τρόφιμα τα οποία διατηρούν τους ειδικούς για έκαστο είδος οργανοληπτικούς χαρακτήρες (οσμή, σύσταση, γεύση, χρώμα), δεν παρουσιάζουν μεταβολές οφειλόμενες σε αλλοιώσεις, αποσύνθεση, βιολογική μόλυνση, χημική ή φυσική ρύπανση και πληρούν όλους τους υγειονομικούς όρους της Κοινοτικής και Εθνικής νομοθεσίας. Η ασφάλεια είναι συστατικό της ποιότητας, εφόσον το μη ασφαλές τρόφιμο μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες έως και το θάνατο.

Οι έτοιμες προς κατανάλωσης σαλάτες μπορούν να τεθούν σε φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς κινδύνους (Hurst, 2002). Αναλυτικότερα, οι φυσικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν οποιαδήποτε υλικά που κάτω από φυσιολογικές συνθήκες δεν πρέπει να ανευρίσκονται στα τρόφιμα. Επομένως στις σαλάτες, οι κίνδυνοι αυτοί οφείλονται σε διάφορα ξένα σωματίδια όπως πέτρες, ξύλο, πλαστικά και μέταλλα, τα οποία ενδεχομένως να μεταφέρονται στο προϊόν και υπάρχει πιθανότητα να προκαλούν τραυματισμούς ή ασθένειες στους καταναλωτές (Αμβροσιάδης, 2005).

Οι βιολογικοί κίνδυνοι είναι οι σημαντικότεροι. Είναι οι κίνδυνοι που προέρχονται από διάφορους μικροοργανισμούς και τις τοξίνες που παράγουν, οι οποίες μεταφέρονται στο τρόφιμο πριν αυτό καταναλωθεί. Δεν μπορούν να ελεγχθούν άμεσα και απαιτούν ιδιαίτερα προσοχή. Η επικινδυνότητα τους οφείλονται εν μέρει και στην πολυπλοκότητα της επιβίωσης, ανάπτυξης και αδρανοποίησης τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο μικροβιακός πληθυσμός ενδεχομένως να είναι ανεπαρκής για να προκαλέσει αλλοίωση

του προϊόντος αλλά ικανός να προκαλέσει δηλητηρίαση ακόμα και τον θάνατο μετά την κατανάλωση του προϊόντος.

Όσον αναφορά τις έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες, όπως έχει προαναφερθεί, έχουν υπάρξει πολλές αναφορές για κρούσματα δηλητηριάσεων από τους καταναλωτές. Συγκεκριμένα, οι πιο σύνηθες βιολογικοί κίνδυνοι που είναι υπεύθυνοι για τροφικές δηλητηριάσεις είναι (Taban and Halkmall, 2011):

Μολυσματικά παθογόνα βακτήρια, όπως *Escherichia Coli O157:H7*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Campylobacter jejuni*.

Ιοί, όπως ο ιός της Ηπατίτιδας

Σύμφωνα με τον Alldrick A.J (2016). Οι χημικοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν φυσικές ουσίες (αλλεργιογόνα, μυκοτοξίνες και αλκαλοειδή), χημικά προϊόντα (φυτοφάρμακα, απολυμαντικά νερού) και τοξικά στοιχεία (μόλυβδος, κάδμιο, αρσενικό, ψευδάργυρος). Οι δυσμενείς επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία είναι λιγότερες άμεσες σε σύγκριση με αυτές των παθογόνων μικροοργανισμών. Ωστόσο υπάρχουν αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Οι χημικοί κίνδυνοι μπορούν να μεταφερθούν στα φρέσκα λαχανικά κατά την παραγωγή, μέσω φυτοπροστατευτικών προϊόντων, λιπασμάτων, αντιβιοτικών, ρυθμιστών αύξησης και μέσω της επεξεργασίας μετά την καλλιέργεια, μέσω απολυμαντικών μέσων.

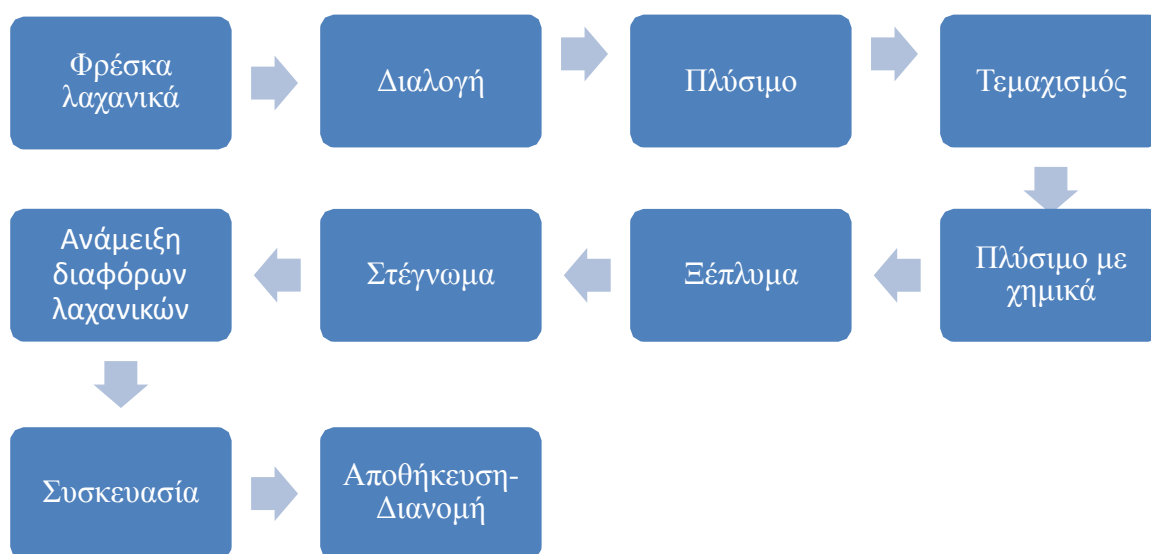
Επομένως είναι αναγκαίο να βρεθούν νέοι μέθοδοι επεξεργασίας σαλάτων έτοιμων προς κατανάλωση, ώστε να υπάρξει μείωση των τροφικών δηλητηριάσεων, οι οποίες αυξάνονται τόσο, όσο αυξάνονται οι πωλήσεις τους, και ταυτόχρονα να διασφαλίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των σαλάτων.

#### 1.4 Παραγωγική διαδικασία σαλάτων έτοιμων προς κατανάλωση

Μια ενδεικτική διαδικασία παραγωγής φυλλωδών σαλάτων έτοιμων προς κατανάλωση παρουσιάζεται παρακάτω στο Σχήμα 1. Τα φρέσκα λαχανικά αφού εισέλθουν στην παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας, διαλέγονται ώστε να απομακρυνθούν χαλασμένα λαχανικά και ξένες ύλες και έπειτα επέρχεται το πρώτο πλύσιμο. Αφού κοπούν στο επιθυμητό μέγεθος, πλένονται με απολυμαντικές ουσίες.

Σύμφωνα με τους Fan and Sokorai (2015) το χλώριο και γενικά οι χημικές ενώσεις που βασίζονται στο χλώριο, ιδίως το υγρό χλώριο και το διοξείδιο του χλωρίου, είναι σήμερα οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες απολυμαντικές ουσίες στις διεργασίες πλύσης. Η χρήση χλωριωμένου νερού ως στάδιο απολύμανσης κατά την πλύση φρεσκοκομμένων σαλάτων, είναι ευρέως διαδεδομένη στη βιομηχανία φρέσκιας παραγωγής. Παρά το γεγονός ότι η αποτελεσματικότητα των απολυμαντικών με βάση το χλώριο σε μικροοργανισμούς είναι σημαντική, σε φρεσκοκομμένες σαλάτες η μείωση των μικροοργανισμών είναι μόνο 1-2 λογαριθμικούς κύκλους (Fan and Sokorai, 2015).

Παρόλο αυτά, η υπερβολική ποσότητα χλωρίου μπορεί να αντιδράσει με την οργανική ύλη στο νερό και να σχηματίσουν επικίνδυνα παραπροϊόντα (DBP) όπως τριαλομεθάνια, αλογονικά οξέα, αλοκετόνες και χλωροπικρίνες πάνω από τα επιτρεπόμενα επίπεδα της EPA (United States Environmental Protection Agency). Το



Σχήμα 1. Παραγωγική διαδικασία σαλατών έτοιμων προς κατανάλωσης.

διοξειδίο του χλωρίου ( $\text{ClO}_2$ ) παράγει λιγότερες πιθανώς καρκινογόνες αλογονωμένες ουσίες (DBP) και είναι λιγότερο διαβρωτικό από την χλωρίνη.

Οι Chen and Hung (2018) ανέφεραν ότι η συγκέντρωση των τριαλομεθανίων στο νερό πλύσης αυξήθηκε από 155 σε 284  $\mu\text{g/L}$  μετά από επανειλημμένη χρήση 100  $\text{mg/L}$  χλωρίου για να πλυθούν μαρούλια. Αυτή η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη (80  $\text{mg/L}$ ) που καθορίστηκε από τον Οργανισμό Προστασία Περιβάλλοντος (EPA) των Ηνωμένων Πολιτειών στο πόσιμο νερό. Στην πράξη, η αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα του χλωρίου μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς λειτουργικούς παράγοντες όπως ο χρόνος πλύσης, το pH του απολυμαντικού, ο εξοπλισμός και ο σχεδιασμός της διαδικασίας. Σχετικά με το pH του απολυμαντικού, πρέπει να διατηρείται σε ένα συγκεκριμένο εύρος μεταξύ 6,5-7. Μεγαλύτερη τιμή από 7,5, το χλώριο που βρίσκεται στο υποχλωριώδες οξύ είναι σε περιορισμένη ποσότητα στο απολυμαντικό, ενώ σε τιμές κάτω του 6 όχι μόνο παράγονται αέρια που μπορούν να προκαλέσουν ερεθισμούς στο προσωπικό αλλά και το απολυμαντικό δημιουργεί διάβρωση στο εξοπλισμό της βιομηχανίας. Το πιο κοινό απολυμαντικό που χρησιμοποιείται στα φρέσκα προϊόντα βιομηχανία στις ΗΠΑ είναι το υποχλωριώδες νάτριο σε pH 6,5. Τέλος, σε βιομηχανία παραγωγής φυλλωδών σαλάτων σύμφωνα με τους Allende *et al.*, (2003) η πλύση σαλατών έγινε σε χλωριωμένο νερό στους 10°C για 1 λεπτό και οι συγκεντρώσεις χλωρίου ήταν 160 έως 180 ppm και pH 5,5 έως 6,5.

Μετά την απολύμανση, τα λαχανικά πλένονται ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια ποσότητα του απολυμαντικού και έπειτα απομακρύνεται η περίσσεια νερού μέσω της ξήρανσης. Η ύπαρξη νερού στο τελικό προϊόν υποβοηθά την ανάπτυξη μικροοργανισμών με αποτέλεσμα την ταχεία αποδόμηση της υφής. Πιο συγκεκριμένα, στην βιομηχανία φυλλωδών σαλατών η ξήρανση γίνεται μέσω στροβιλισμού. Οι περιέκτες αυτοί είναι αυτοποιημένοι, οι οποίοι κάνουν χρήση της φυγοκέντρωσης για την απομάκρυνση της περίσσειας νερού (Allende *et al.*, 2003). Έπειτα, γίνεται η ανάμειξη των λαχανικών αναλόγως την συνταγή της εκάστοτε βιομηχανίας και ακολουθεί η συσκευασία των λαχανικών.

Η συσκευασία τροφίμου πρέπει να προστατεύει το τρόφιμο και να το περιβάλλει από την στιγμή της παραγωγής, μέχρι το σημείο της κατανάλωσης. Ο πρωταρχικός στόχος της συσκευασίας των λαχανικών είναι η προστασία του περιεχομένου της κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, της μεταφοράς και της διανομής, έναντι της υποβάθμισής του, η οποία μπορεί να είναι φυσική, χημική ή βιολογική. Η συσκευασία που χρησιμοποιείται στις φυλλώδη σαλάτες είναι σακουλάκια πολυπροπενίου (PP), τα οποία

περιέχουν τροποποιημένη ατμόσφαιρα, δηλαδή οι φυλλώδεις σαλάτες συσκευάζονται σε αέριο περιβάλλον διαφορετικής σύστασης απ'αυτήν του ατμοσφαιρικού αέρα. Πιο συγκεκριμένα, οι σακούλες γεμίζονται με ένα μίγμα αερίων O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> σε περιεκτικότητες που κυμαίνονται 1.4–3.8 kPa και 3.6–6.3 kPa αντίστοιχα (Allende *et al.*, 2003Kim *et al.*, 2004).

## 2. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΡΥΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ "COLD PLASMA"

Για τους προαναφερθέντες λόγους είναι προφανές ότι η βιομηχανία τροφίμων πρέπει να αναπτύξει εναλλακτικές ή πρόσθετες τεχνολογίες επεξεργασίας προκειμένου να ανταποκριθεί στις προσδοκίες των καταναλωτών με ασφαλέστερα και πιο φρέσκα φυτικά προϊόντα. Τα διαλύματα χλωρίου έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εξυγίανση των φρούτων και των λαχανικών στη βιομηχανία φρέσκων κοπών. Ωστόσο, όπως ειπώθηκε και παραπάνω η σύνδεση του χλωρίου με τον πιθανό σχηματισμό καρκινογόνων χλωριωμένων ενώσεων στο νερό έχει θέσει υπό αμφισβήτηση τη χρήση του (Baier *et al.*, 2013). Επομένως, υπάρχει μια πραγματική ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις για τη διατήρηση των φρέσκων λαχανικών, προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα των επεξεργασιών πλύσης. Πρόσφατα υπάρχει αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον για νέες μη θερμικές τεχνολογίες που είναι σε θέση να εξαλείφουν τους παθογόνους παράγοντες στα προϊόντα διατροφής.

Σύμφωνα με τους Pasquali *et al.* (2016) οι μη θερμικές θεωρούνται οι διεργασίες που δεν προκαλούν (ή προκαλούν ελάχιστα) θερμική βλάβη στο επεξεργασμένο προϊόν διατροφής. Μεταξύ των προτεινόμενων τεχνολογιών είναι η υπερψηλή υδροστατική πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η υπεριώδη ακτινοβολία και η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα. Καμία από αυτές τις τεχνολογίες δεν θα μπορούσε να εφαρμοστεί στην παραγωγή έτοιμων προς κατανάλωση σαλατών, λόγω της επιζήμιας επίδρασής τους στα ποιοτικά χαρακτηριστικά, εκτός από την τεχνολογία ψυχρού πλάσματος. Το ψυχρό πλάσμα, αν και είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία με μακρά ιστορία στην επεξεργασία υλικών, η παρέμβασή του στην επεξεργασία τροφίμων είναι σχετικά νέα και έχει παρουσιάσει μεγάλες δυνατότητες για μελλοντική εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων (Schluter and Frohling, 2014).

Σύμφωνα με τους Schluter and Frohling (2014), το πλάσμα ορίζεται ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης. Είναι γνωστό ότι η ύλη αλλάζει κατάσταση όταν αποκτά αρκετή ενέργεια (π.χ. θερμότητα) από στερεό σε υγρό και από υγρό σε αέριο. Όταν παρέχεται περισσότερη ενέργεια, λαμβάνει χώρα διάσπαση αερίου όπου τα άτομα ή τα μόρια ιονίζονται και απελευθερώνονται ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα που σχηματίζουν πλάσμα. Δεν είναι όλα τα μόρια αερίου ιονισμένα και εκτός από τον ιονισμό, αρκετές άλλες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα μέσα στο πλάσμα, όπως διαχωρισμός και διεγερση. Έτσι, το πλάσμα μπορεί να θεωρηθεί ως μερικώς ιονισμένο αέριο που αποτελείται από ηλεκτρόνια, ιόντα, ουδέτερα άτομα και μόρια και επίσης ελεύθερες ρίζες, διεγερμένα

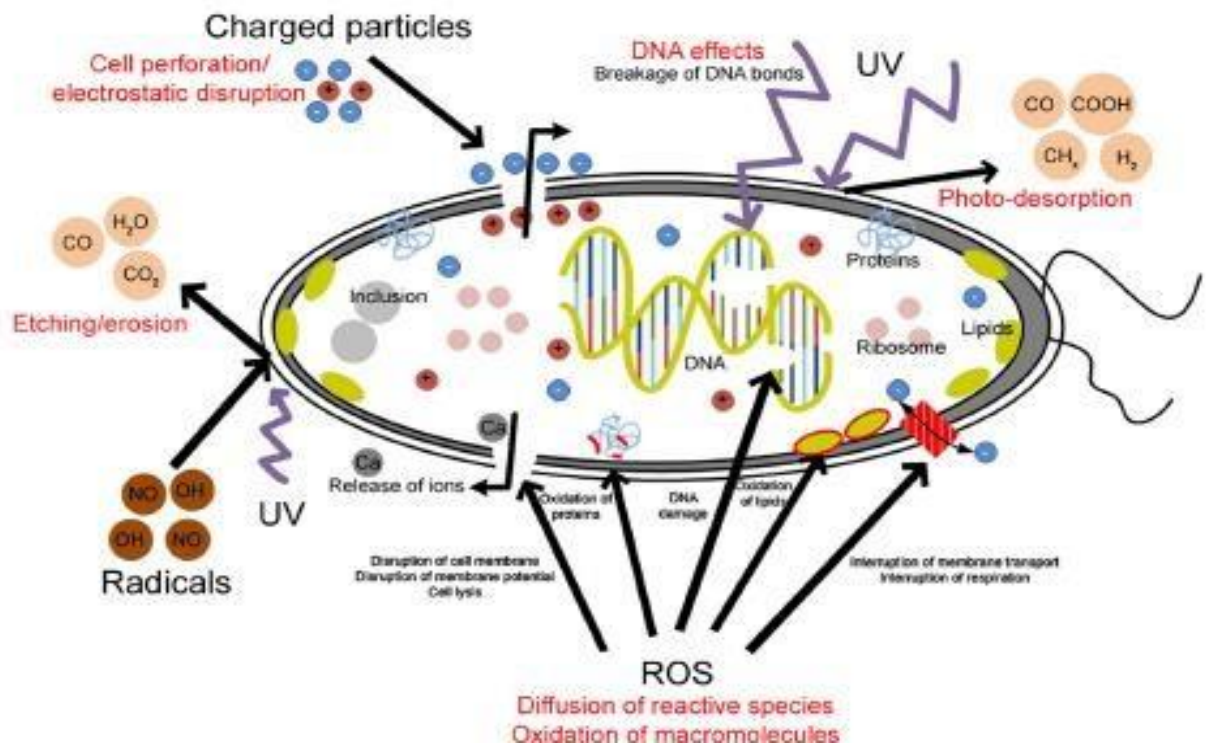
είδη και φωτόνια. Τυπικά παραδείγματα πλασμάτων που απαντώνται στη φύση είναι η επιφάνεια του ήλιου, η αστραπή και το φαινόμενο Aurora Borealis.

Το πλάσμα μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τις θερμοδυναμικές τους ιδιότητες σε θερμικό (θερμό) και μη θερμικό (ψυχρό). Το θερμικό πλάσμα χαρακτηρίζεται από μια θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ των ηλεκτρονίων και των αποκαλούμενων «βαρέων» σωματιδίων (ιόντων και ουδετέρων). Θερμικά πλάσματα θεωρούνται για παράδειγμα το επαγωγικώς συζευγμένο πλάσμα ραδιοσυχνοτήτων, ο πυρσός πλάσματος μικροκυμάτων και η εκκένωση τόξου. Οι θερμοκρασίες των θερμικών πλαστικών σε ατμοσφαιρική πίεση τυπικά υπερβαίνουν τα 6000 K, επομένως ένα τέτοιο είδος πλασμάτων μπορεί να είναι επιζήμιο για την ποιότητα των τροφίμων και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο εξ αποστάσεως σε προϊόντα διατροφής.

Τα μη θερμικά πλάσματα (περαιτέρω αναφερόμενα ως ψυχρά πλάσματα) είναι επίσης γνωστά ως πλάσματα μη ισορροπίας καθώς παρουσιάζουν εντελώς διαφορετικές θερμοκρασίες ηλεκτρονίων και αερίων. Δηλαδή, η θερμοκρασία του ηλεκτρονίου μπορεί να είναι περίπου 10000 K, ενώ η θερμοκρασία του αερίου μπορεί να είναι κοντά στο περιβάλλον. Τα ψυχρά πλάσματα μπορούν να παραχθούν είτε σε χαμηλή είτε σε ατμοσφαιρική πίεση χρησιμοποιώντας πολυάριθμα αέρια ή συνδυασμούς (π.χ. αέρα, οξυγόνο, άζωτο, ήλιο, αργό). Η ενέργεια που απαιτείται για την πρόκληση ιονισμού αερίου μπορεί να παρέχεται με τη μορφή ηλεκτρισμού, μικροκυμάτων ή λέιζερ.

Σύμφωνα με τους Moison *et al.* (2001) και τους Schluter and Frohling (2014) το πλάσμα αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς μέσω τριών βασικών μηχανισμών: (α) ακτινοβολία UV στο κυτταρικό DNA, (β) υπεριώδη ακτινοβολία στην κυτταρική μεμβράνη και στα ενδοκυτταρικά συστατικά και (γ) χημική αλληλεπίδραση με φορτισμένα σωματίδια και δραστικά είδη οξυγόνου-αζώτου (RONS). Η αδρανοποίηση αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Αν και η πιο αποτελεσματική απενεργοποίηση μικροβίων επιτυγχάνεται από τον συνδυασμό των παραπάνω μηχανισμών, η διαδικασία αδρανοποίησης ελέγχεται κυρίως από τα είδη RONS. Αυτά τα αντιδρώντα που δημιουργούνται στην αέρια φάση περιλαμβάνουν O, O<sub>3</sub>, OH<sup>·</sup>, NO<sup>·</sup> κλπ και όταν έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια των βακτηρίων προκαλούν αρκετές άλλες διαδικασίες απενεργοποίησης όπως οξείδωση μακρομορίων και διάβρωση μεμβράνης. Εκτός από την αδρανοποίηση μικροοργανισμών όταν υποβάλλονται σε επεξεργασία με πλάσμα, υπάρχει επίσης αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον για τον μηχανισμό της απενεργοποίησης βακτηρίων σε υγρό περιβάλλον και αλληλεπιδράσεις πλάσματος-υγρού.





Σχήμα 2. Απεικόνιση του μηχανισμού απενεργοποίησης (Schluter and Frohling, 2014).

## 2.1 Κατηγορίες πλάσματος

Γενικά υπάρχουν 3 διαφορετικοί τρόποι επεξεργασίας με το κρύο πλάσμα στα τρόφιμα: Άμεσης επαφής διεργασία πλάσματος, Έμμεση κατεργασία μέσω έκπλυσης με νερό 'ενεργοποιημένο' με πλάσμα, και Ημι-έμμεση κατεργασία με Surface Dielectric barrier Discharge (SDBD semi-direct treatment).

### 2.1.1 Άμεση επαφής διεργασία πλάσματος

Το πλάσμα βρίσκεται σε άμεση επαφή με το προς επεξεργασία τρόφιμο. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την βοήθεια των παράλληλων πλακών (Dielectric barrier discharge, DBD) (Σχήμα 3a), είτε μέσω του ατμοσφαιρικού πλάσματος τύπου jet (Atmospheric plasma jet) (Σχήμα 3c). Το σύστημα DBD αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια που μπορούν να τοποθετηθούν σε οριζόντια ή κυλινδρική διαμόρφωση. Τα ηλεκτρόδια είναι καλυμμένα με διηλεκτρικές πλάκες και χωρίζονται από ένα μικρό κενό που γεμίζει με αέριο σε ατμοσφαιρική πίεση. Μια υψηλή τάση εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια και το

αέριο μεταξύ των ηλεκτροδίων ιονίζεται όταν η εφαρμοζόμενη τάση υπερβαίνει τον ιονισμό ενέργειας του αερίου. Έτσι, υπάρχει δημιουργία ηλεκτρονίων, UV ακτινοβολία και θερμότητα κατά τον ιονισμό. Όσον αφορά το πλάσμα τύπου jet αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια. Το αέριο ρέει μεταξύ των ηλεκτροδίων, ιονίζεται και εκτοξεύεται από την πηγή. Το παραγόμενο πλάσμα περιέχει φορτισμένα σωματίδια, UV ακτινοβολία και θερμότητα (Schluter and Frohling, 2014).

Τόσο η παραγωγή πλάσματος με την βοήθεια παράλληλων πλακών, όσο και η παραγωγή του μέσω του ατμοσφαιρικού πλάσματος τύπου jet μπορούν να χρησιμοποιηθούν λειτουργώντας σε διάφορες συχνότητες και αέρια εφόσον η θερμοκρασία του πλάσματος διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Τα δραστικά είδη οξυγόνου-αζώτου που παράγονται με πλάσμα μαζί με τα φορτισμένα σωματίδια και η ακτινοβολία με υπεριώδη ακτινοβολία δρουν συνεργιστικά στην επιφάνεια των τροφίμων προκαλώντας απενεργοποίηση μικροοργανισμών (Πίνακας 2).

### **2.1.2 Έμμεση κατεργασία μέσω έκπλυσης με νερό ‘ενεργοποιημένο’ με πλάσμα**

Αυτός ο τύπος επεξεργασίας είναι μια διαδικασία δύο σταδίων όπου εφαρμόζεται ένα πλάσμα αερίου σε νερό μέχρις ότου να παραχθεί αρκετή συγκέντρωση δραστικών ειδών οξυγόνου-αζώτου και στη συνέχεια τα προϊόντα διατροφής υφίστανται επεξεργασία με το ενεργοποιημένο νερό (activated water, AW) ώστε να απολυμανθούν. Μια τέτοια επεξεργασία προσφέρει το πλεονέκτημα της απομακρυσμένης παραγωγής του ενεργοποιημένου νερού και της επακόλουθης επεξεργασίας τροφίμων επί τόπου (Zuizina and MISTRA, 2016).

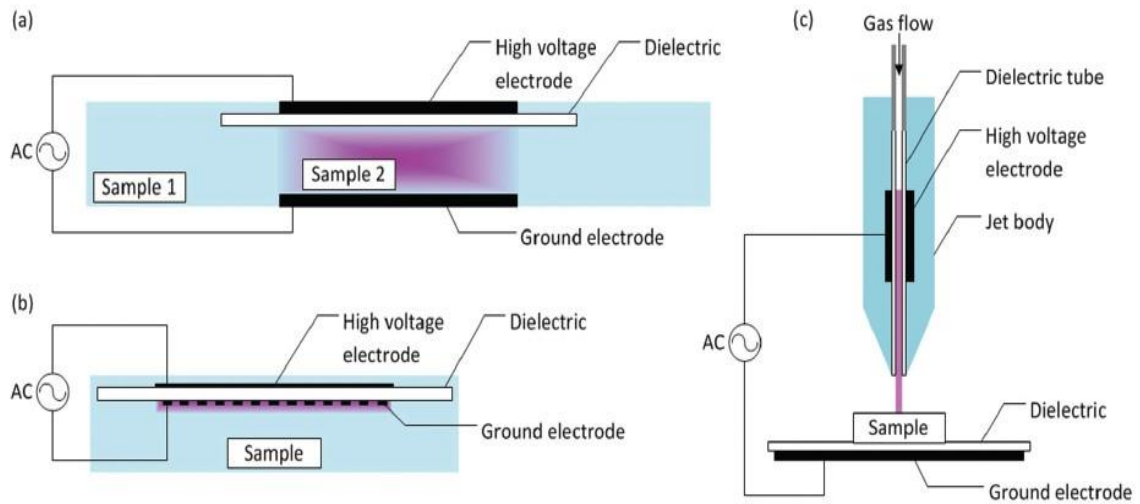
### **2.1.3 Ημι-έμμεση κατεργασία με Surface Dielectric barrier Discharge (SDBD semi-direct treatment).**

Κατά αυτήν την διεργασία το πλάσμα παράγεται με την βοήθεια μίας πλάκας (Σχήμα 3b). Το τρόφιμο τοποθετείται κάτω από την πλάκα και σε απόσταση από αυτήν. Με τον τρόπο αυτό μόνο τα δραστικά είδη με μεγάλη διάρκεια ζωής, κυρίως δραστικές ρίζες και λιγότερο έως καθόλου ιόντα και UV φωτόνια, μεταφέρονται με διάχυση στην επιφάνεια του τροφίμου και προκαλούν τη σταδιακή απολύμανση του. Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας συσκευής είναι: α) το κλειστό σύστημα που περιορίζει τα δραστικά είδη εντός του αυξάνοντας τη συγκέντρωση αντιμικροβιακών των δραστικών ειδών οξυγόνου-αζώτου

κοντά στην επιφάνεια του τροφίμου και β) η δυνατότητα διέγερσης πλάσματος απ' ευθείας σε αέρα χωρίς τη χρήση ροής αερίου εντός του θαλάμου-αντιδραστήρα με αποτέλεσμα το χαμηλότερο κόστος διεργασίας και την ευελιξία κατασκευής. Παρόλα τα πλεονεκτήματα της μεθόδου, υπάρχουν ελάχιστες βιβλιογραφικές πηγές που αναφέρονται στην επεξεργασία τροφίμων με αυτήν την μέθοδο (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Εφαρμογή ατμοσφαιρικού πλάσματος σε λαχανικά και ζωικά προϊόντα

Τρόφιμο	Μικροοργανισμός στόχος	Αποτελέσματα κατεργασίας	Κατηγορίες πλάσματος	Αναφορές
Τομάτες	<i>E. coli</i>	6,3 log μείωση (10 s)	DBD	Zuizina, 2014
	<i>S. enterica</i>	3,1 log μείωση (60 s)		
	<i>L. monocytogenes</i>	6,7 log μείωση (120 s)		
Κόκκινο λάχανο	<i>L. monocytogenes</i>	2,2 log μείωση (30 s)	DBD	Pasquali, 2016
	<i>E. coli</i>	1,35 log μείωση (15 s)		
Αμύγδαλα	<i>E. coli</i>	5 log μείωση (30 s)	DBD	Deng, 2007
Μαρούλι	<i>E. coli</i>	3,6 log μείωση (15 s)	jet plasma	Baier, 2013
Μαρούλι	<i>S. enterica</i>	2,72 log μείωση (15 min)	jet plasma	Fernandez, 2013
Αυγά	<i>S. enterica</i>	6 log μείωση (25 min)	SDBD	Georgescu, 2017



Σχήμα 3. Πηγές ατμοσφαιρικού πλάσματος. α) Παράλληλες πλάκες (DBD) για άμεση επεξεργασία, β) επιφανειακή εφαρμογή πλάσματος με 1 πλάκα (SDBD) για ήμι-έμμεση επεξεργασία, γ) πλάσμα τύπου jet για τοπική άμεση επεξεργασία (Shaw et al., 2015).

### 3. ΚΙΝΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ

Σύμφωνα με τους Giannakourou and Stoforo (2018) ένας από τους κύριους στόχους της βιομηχανίας τροφίμων είναι η διασφάλιση της ασφάλειας και η διατήρηση μέγιστης ποιότητας μέσω κατάλληλης και προσεκτικά σχεδιασμένης επεξεργασίας και διατήρησης ευπαθών προϊόντων. Η παρασκευή και η μετέπειτα αποθήκευση τροφίμων στοχεύουν στην παροχή προϊόντων που είναι ασφαλή για κατανάλωση από μικροβιολογική άποψη και συγχρόνως καθυστερούν σημαντικά ανεπιθύμητες φυσικοχημικές αλλαγές που οδηγούν σε σταδιακή αλλοίωση των τροφίμων και τελικά στην απόρριψη από τον τελικό χρήστη.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός της επεξεργασίας τροφίμων είναι σημαντικός για την παραγωγή θρεπτικών, ασφαλών προϊόντων. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης, εμφανίζονται αλλαγές στα τρόφιμα λόγω βιολογικών, χημικών και φυσικών μεταβολών. Τέτοιες αλλαγές γίνονται με συγκεκριμένο ρυθμό και με συγκεκριμένες κινητικές παραμέτρους και σχετίζονται με την καταστροφή ενός ποιοτικού χαρακτηριστικού (περιεκτικότητα σε βιταμίνη, χρώμα, κτλ.) ή την παραγωγή ενός ανεπιθύμητου χαρακτηριστικού (ανεπιθύμητη μυρωδιά, μικροβιακά κύτταρα κτλ.).

Ο σκοπός των κινητικών μελετών είναι να περιγράψουν ποσοτικά αυτές οι αλλαγές, κάνοντας μια τέτοια προσέγγιση ένα πολύτιμο εργαλείο σε για την ασφάλεια και την ποιότητα τροφίμων. Πάρα πολλές μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες περιγράφουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών σε σχέση με το χρόνο, χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την μικροβιολογική σταθερότητα των τροφίμων σε συνάρτηση με διάφορους παράγοντες όπως θερμοκρασία, pH και ενεργότητα νερού. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δυο κινητικά μοντέλα, του Gombertz και του Baranyi.

#### 3.1 Εξίσωση Gombertz

Αυτό το μοντέλο είναι αρκετά διαδεδομένο και έχει χρησιμοποιηθεί και χρησιμοποιείται ακόμα στην βιβλιογραφία. Η εξίσωση Gombertz (Εξίσωση 1) περιγράφει επαρκώς την εκθετική και στατική φάση σιγμοειδών καμπύλων ανάπτυξης, αλλά θεωρείται μη αποτελεσματική για την λανθάνουσα φάση. Αυτή η αδυναμία ξεπερνιέται με την τροποποιημένη εξίσωση Gombertz (Εξίσωση 2), στην οποία

προστίθεται ένας νέος όρος ώστε να ληφθεί υπόψη η λανθάνουσα φάση (Giannakourou and Stoforos, 2018).

$$\log N = C * \exp\left\{-\exp\left[\left(\frac{m_{\max} * \exp(1)}{C}\right) (\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad (1)$$

$$\log N = A + C * \exp\left\{-\exp\left[\left(\frac{m_{\max} * \exp(1)}{C}\right) (\lambda - t) + 1\right]\right\} \quad (2)$$

Στην συγκεκριμένη μελέτη το παραπάνω μοντέλο εφαρμόστηκε μέσω του Excel και της διαδικασίας του solver. Οι παράμετροι που υπολογίζονται είναι, ο ρυθμός ανάπτυξης ( $\lambda$ ), η παράμετρος που εκφράζει την λανθάνουσα φάση ( $\lambda$ ), το αρχικό μικροβιακό φορτίο ( $A$ ) και το τελικό μικροβιακό φορτίο ( $C$ ) σε logCFU/g, τον συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) και το άθροισμα τετραγώνων των σφαλμάτων (SSE).

### 3.2 Μοντέλο Baranyi

Το μοντέλο που προτάθηκε από τους Baranyi and Roberts (1994), το οποίο δίνεται από την Εξίσωση 3, αποτελεί ένα σχετικό καινούργιο μοντέλο μικροβιακής ανάπτυξης, το οποίο έχει την ικανότητα να προσδιορίσει τις κινητικές παραμέτρους ακόμα και με μικρό αριθμό δεδομένων στην λογαριθμική και στάσιμη φάση της καμπύλης ανάπτυξης μικροοργανισμών (Giannakourou and Stoforos, 2018).

$$y(t) = y_0 + m_{\max} * A(t) - \ln\left[1 + \frac{\exp((\mu_{\max} * A(t)) - 1)}{\exp(y_{\max} - y_0)}\right] \quad (3)$$

όπου

$$A(t) = 1 + \frac{1}{m_{\max}} * \ln(\exp(-m_{\max} * t) + \exp(-m_{\max}) - \exp(-m_{\max}(t))) \quad (4)$$

Το μοντέλο Baranyi στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε μέσω 2 προγραμμάτων. Το DMFit (Institute of Food Research, Reading, UK) και το Systat.

Σύμφωνα με το πρόγραμμα DMFit υπολογίζονται ο ρυθμός ανάπτυξης ( $\lambda$ ), η παράμετρος που εκφράζει την λανθάνουσα φάση ( $\lambda$ ), το αρχικό μικροβιακό φορτίο ( $y_0$ )

και το τελικό μικροβιακό φορτίο ( $y_{end}$ ) σε logCFU/g, τον συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) και το άθροισμα τετραγώνων των σφαλμάτων (SSE). Επίσης, στο πρόγραμμα DMFit υπάρχουν 2 ακόμα παράμετροι nCurve και mCurve, οι οποίοι προσδιορίζουν το τέλος και την αρχή της εκθετικής φάσης που αντιπροσωπεύεται από μια ευθεία γραμμή. Οι τιμές που παίρνουν οι δύο παράμετροι είναι μεταξύ 0-20 και μπορούν να ρυθμιστούν από τον εκάστοτε χρήστη.

Με τη χρήση του Systat υπολογίστηκε το αρχικό μικροβιακό φορτίο ( $y_0$ ) και το τελικό μικροβιακό φορτίο ( $y_{end}$ ) σε logCFU/g, ο ρυθμός ανάπτυξης ( $m_{max}$ ), η παράμετρος που εκφράζει την λανθάνουσα φάση ( $n$ ), τον συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) και το άθροισμα τετραγώνων των σφαλμάτων (SSE). Εκτός, από την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων το πρόγραμμα υπολογίζει και το διάστημα εμπιστοσύνης ( $\pm 95\%$ ) των παραμέτρων.

## 4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται παρακάτω.

### 4.1 Υλικά

Για τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα σαλάτας ρόκας (Σχήμα 3). Παρελήφθησαν από γνωστό super market, φροντίζοντας να υπολείπονται 3 μέρες από την ημερομηνία λήξεως. Μετά από χρονικό διάστημα περίπου ίσο με 15 min μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο νανοεπιστήμης και νανοτεχνολογίας του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος για την επεξεργασία τους με ατμοσφαιρικό πλάσμα με την μέθοδο Surface Dielectric barrier Discharge (SDBD, semi-direct treatment) και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο μικροβιολογικό εργαστήριο του ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ σε θερμοκρασία 4-6°C με την βοήθεια φορητού ψυγείου για περαιτέρω αναλύσεις.

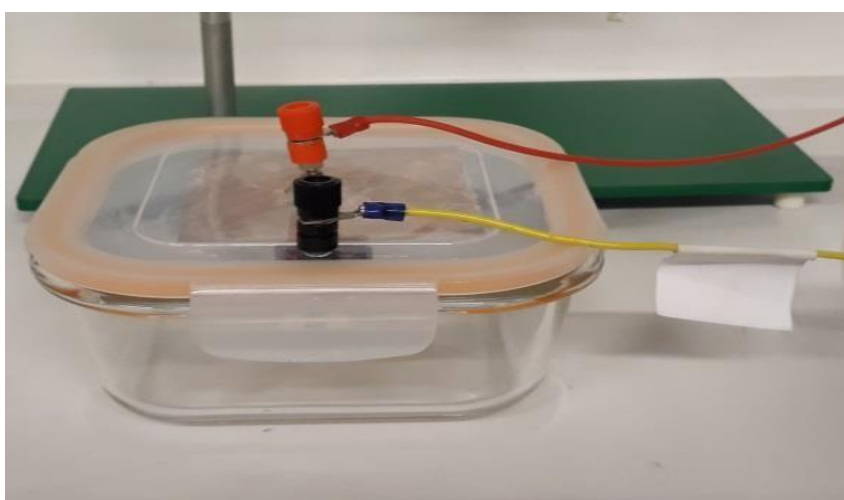


Σχήμα 3. Σαλάτα ρόκα.



## 4.2 Επεξεργασία σαλάτας με την μέθοδο SBDB

Αρχικά, ζυγίστηκαν 15 g σαλάτας ρόκας και τοποθετήθηκαν μέσα στο θάλαμο-αντιδραστήρα (Σχήμα 4-5). Ο θάλαμος-αντιδραστήρας έχει στο πάνω μέρος πλάκα όπου από εκεί γίνεται η παραγωγή του ψυχρού πλάσματος (Εικόνα 6). Η ενέργεια που απαιτείται για την πρόκληση ιονισμού αερίου, παρέχεται με τη μορφή ηλεκτρισμού και παράγεται από γεννήτρια (Σχήμα 7). Οι μεταβαλλόμενοι παράγοντες είναι ο χρόνος επεξεργασίας και η ισχύς της γεννήτριας. Οι χρόνοι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 5, 10, 15, 20 min και η ισχύς ήταν 60 και 70% της ονομαστικής ισχύς της γεννήτριας, ενώ η συχνότητα της γεννήτριας έμενε σταθερή κατά την διάρκεια των πειραμάτων, στα 32 kHz. Έπειτα αφού διαλέχτηκε ο πιο αποτελεσματικός χρόνος επεξεργασίας, δηλαδή ο χρόνος αυτός που δημιουργεί την μεγαλύτερη μικροβιακή καταστροφή αλλά ταυτόχρονα διατηρεί τα καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, πραγματοποιήθηκε πείραμα αποθήκευσης. Πιο συγκεκριμένα, αφού τα δείγματα επεξεργάστηκαν για 10 min αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασίες 2, 5 και 9 °C. Στους 2 °C τα δείγματα για ανάλυση πάρθηκαν στις 0, 18, 42, 66 και 90 ώρες, ενώ στους 5 και 9 °C στις 0, 18, 24, 42 και 66 ώρες.



Σχήμα 4. Θάλαμος-αντιδραστήρας.



Σχήμα 5 .Θάλαμος-αντιδραστήρας μαζί με την σαλάτα ρόκα.



Σχήμα 6 .Ενεργοποιημένη πλάκα του αντιδραστήρα.



Σχήμα 7 .Γεννήτρια

### 4.3 Μέθοδοι – Μετρήσεις – Αναλύσεις

Οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι μετρήσεις/αναλύσεις που διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων της παρούσας μελέτης περιγράφονται παρακάτω.

#### 4.3.1 Προσδιορισμός τιμής pH

Η τιμή του pH των δειγμάτων ρόκας είναι ιδιαίτερα σημαντική ως παράμετρος, καθώς επηρεάζονται από αυτή ιδιότητες του λαχανικού, όπως τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και το είδος της αναπτυσσόμενης μικροβιακής χλωρίδας. Η μέτρηση της τιμής pH, πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρονικού pH-μετρου (HI 2211, Hanna instruments, Woonsocket, USA) (Σχήμα 8). Η μέτρηση γίνεται σε ομογενοποιημένο διάλυμα Ringer-δείγματος ρόκας.



Σχήμα 8. Ηλεκτρονικό pH-μετρο HI 2211.

#### 4.3.2 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου

Για τον υπολογισμό του μικροβιακού φορτίου στα δείγματα ρόκας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μέτρησης αποικιών επιφανειακής ανάπτυξης σε τρυβλία. Η συγκεκριμένη μέθοδος μέτρησης μικροβιακού φορτίου, στηρίζεται στο ότι από κάθε μικροβιακό κύτταρο, προκύπτει μία μόνο αποικία και επομένως η μέτρηση των αποικιών μπορεί να δώσει τον αριθμό των μικροοργανισμών οι οποίοι ευθύνονται για την ανάπτυξη τους.

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, 9 g δείγματος μεταφέρθηκαν σε αποστειρωμένη σακούλα στην οποία προστέθηκαν 91 g αποστειρωμένου ορού Ringer. Το μίγμα οδηγήθηκε στον ομογενοποιητή (400 Circulator, Seward, West Sussex, United Kingdom) (Σχήμα 9), όπου πραγματοποιήθηκε ομογενοποίησή του για χρονικό διάστημα 2,5 min. Στην συνέχεια, σε δοκιμαστικούς σωλήνες των 10 mL, μεταφέρθηκαν 9 mL ορού Ringer. Από το ομογενοποιημένο δείγμα πάρθηκε ποσότητα 1 mL, και μεταφέρθηκε στον επόμενο δοκιμαστικό σωλήνα όπου και αναδεύτηκε καλά, προκειμένου το μίγμα να γίνει ομοιογενές. Από αυτόν τον δοκιμαστικό σωλήνα, ελήφθησαν 1 mL, και μεταφέρθηκαν στον επόμενο δοκιμαστικό σωλήνα, ο οποίος ήδη περιείχε 9 mL ορού Ringer. Επομένως, κάθε αραιώση που πραγματοποιείται είναι υποδεκαπλάσια της προηγούμενης. Η συνολική διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθεί ο προβλεπόμενος για την δειγματοληψία αραιώσεων αριθμός. Είναι σημαντική η κατανόηση ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μικροοργανισμών στο εκάστοτε δείγμα, τόσες περισσότερες αραιώσεις απαιτούνται, για την σωστή ανάπτυξη των μικροβιακών κυττάρων στα τρυβλία και την ορθή καταμέτρηση των αποικιών. Επιπλέον, σε κάθε δειγματοληψία, τα 9 g δείγματος ελήφθησαν από όσο το δυνατόν περισσότερα σημεία της συσκευασίας, προκειμένου να είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικό το δείγμα.



Σχήμα 9. Ομογενοποιητή (400 Circulator)

Οι μικροοργανισμοί που προσδιορίστηκαν ήταν η ολική μικροβιακή χλωρίδα (TVC), οι ψευδομονάδες (Pseudomonads), οι ζύμες μύκητες (Yeast and molds) και τα γαλακτικά βακτήρια (LAB). Επομένως, αφού τα θρεπτικά υποστρώματα παρασκευάστηκαν, σύμφωνα με τις οδηγίες της συσκευασίας του κάθε υποστρώματος, και αποστειρώθηκαν στους 121°C για 15 min, κατανεμήθηκαν σε αποστειρωμένα τρυβλία Petri έως ότου στερεοποιηθούν. Εν συνέχεια, για τον προσδιορισμό των ψευδομονάδων (Pseudomonads) και των ζυμών μυκήτων (Yeast and molds) λαμβάνονται 0,1mL δείγματος τα οποία φέρονται στην επιφάνεια του υποστρώματος, και ακολουθεί προσεκτική επάλειψη, με την βοήθεια πλαστικού τριγώνου. Για τον προσδιορισμό όμως της ολικής μικροβιακής χλωρίδας (TVC) και των γαλακτικών βακτηρίων (LAB) ακολουθήθηκε η μέθοδος pour-plate (ISO 4833:2002, ISO 15214:1998), σύμφωνα με την οποία, 1mL δείγματος τοποθετείται σε άδειο τρυβλίο, έπειτα προστίθεται το θρεπτικό υλικό και με κυκλικές κινήσεις διασπείρεται το δείγμα ομοιόμορφα σε όλο το θρεπτικό υπόστρωμα. Τα τρυβλία αφέθηκαν έως ότου να σταθεροποιηθούν και μόνο στα τρυβλία των γαλακτικών βακτηρίων (LAB) τοποθετήθηκε δεύτερη στρώση υποστρώματος. Για κάθε μετρούμενο δείγμα, χρησιμοποιήθηκαν 5 διαδοχικές αραιώσεις, οι οποίες επιλέγονται κατάλληλα, ώστε μετά την επώαση των δειγμάτων, η καταμέτρηση των αποικιών να γίνεται σε τρυβλίο που να περιέχει 30-300 αποικίες.

Για την ανάπτυξη και καταμέτρηση του μικροβιακού φορτίου χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα θρεπτικά υλικά ανάπτυξης μικροοργανισμών, οι ακόλουθες τεχνικές εμβολιασμού, οι ακόλουθες θερμοκρασίες και οι ακόλουθοι χρόνοι επώασης:

Plate Count Agar Standard (Biokar, Zac de ther, France), με επιφανειακή επίστρωση, επώαση στους 30°C για 48 ώρες (2 μέρες), για τον προσδιορισμό μικροβιακής χλωρίδας.

De Man-Rogosa-Sharpe Agar (MRS, Oxoid Ltd, Wade Road Basingstoke, United Kingdom) με ενσωμάτωση και διπλή επίστρωση, επώαση στους 30°C για 120 ώρες (5 μέρες), για τον προσδιορισμό των γαλακτικών βακτηρίων.

Pseudomonas Agar Base (CFC, Neogen, Heywood, United Kingdom) με επιφανειακή επίστρωση, επώαση στους 25°C για 48 ώρες (2 μέρες), για τον προσδιορισμό των ψευδομονάδων.

Rose-Bengal Chloramphenicol (RBC, Biokar, Zac de ther, France) με επιφανειακή επίστρωση, επώαση στους 25°C για 120 ώρες (5 μέρες), για τον προσδιορισμό των ζυμών και μυκήτων.

Μετά την καταμέτρηση των αποικιών, λαμβάνοντας υπόψη την αραιώση του δείγματος, υπολογίστηκε ο αριθμός των μικροοργανισμών που περιέχονται σε 1 g δείγματος, πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των αποικιών με το αντίστροφο της αραιώσης, υπολογιζόμενος σε CFU/g. Στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων, αντί της τιμής αυτής, χρησιμοποιείται ο δεκαδικός της λογάριθμος και έτσι το συνολικό φορτίο υπολογίζεται σε  $\log N$  όπου  $N$  σε CFU/g.

#### 4.3.3 Προσδιορισμός υφής των δειγμάτων

Για τα δείγματα ρόκας, η υφή προσδιορίζεται με την βοήθεια του αναλυτή υφής (TA. XT plus, Stable Micro Systems Ltd, London, United Kingdom) (Σχήμα 10) με την διεξαγωγή δοκιμής διάρρηξης. Για την πραγματοποίηση του προσδιορισμού υφής, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε αλουμινένια πλάκα η οποία στη μέση της έχει οπή. Στην συνέχεια, ένα μεταλλικό στέλεχος κατερχόταν από προεπιλεγμένο ύψος ως προς την πλάκα, με προκαθορισμένη δύναμη και ταχύτητα και εισχωρούσε στο φύλλο της ρόκας, έως ότου επέλθει η διάρρηξή του. Το μεταλλικό στέλεχος ακολούθως απομακρυνόταν, ενώ είχε καταγραφεί από το λογισμικό του H/Y η απαιτούμενη δύναμη για την διάρρηξη του φύλλου ρόκας. Πρέπει να επισημανθεί ότι δίνεται προσοχή στην επιλογή των φύλλων για τον προσδιορισμό της υφής του δείγματος, ώστε να είναι όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερα για το κάθε δείγμα, προκειμένου να παρατηρείται καλή επαναληψιμότητα των μετρήσεων της αντοχής σε διάρρηξη. Επίσης, σε κάθε δείγμα υπήρξαν δέκα επαναλήψεις. Με την επεξεργασία των διαγραμμάτων δύναμης-χρόνου, που προκύπτουν για το κάθε δείγμα κατά την ανάλυση υφής, προσδιοριζόταν η σκληρότητα του δείγματος. Πιο συγκεκριμένα η σκληρότητα αντιστοιχεί στη μέγιστη κορυφή που παρουσιάζεται κατά την πρώτη εισχώρηση του στελέχους στο δείγμα (Σχήμα 12).

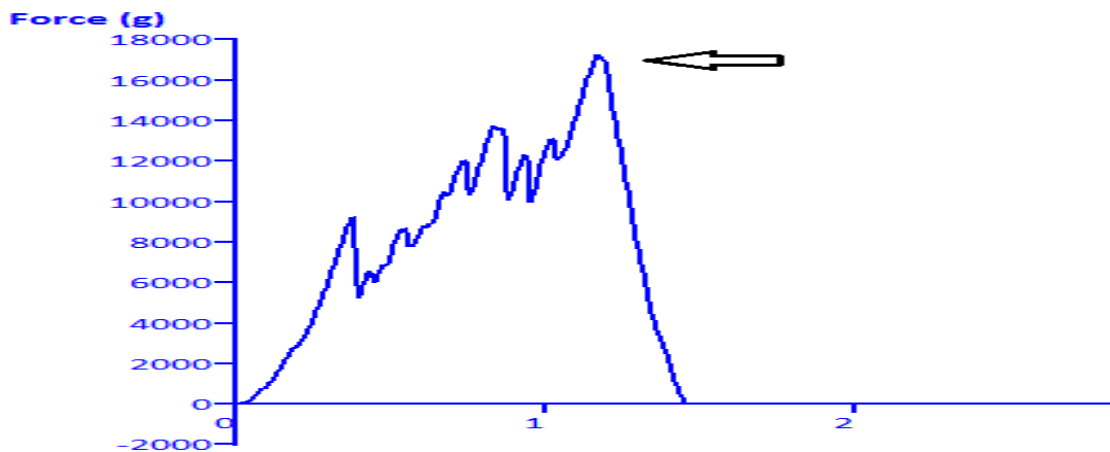


Σχήμα 10. Αναλυτής υφής TA. XT plus.



Σχήμα 11. Μεταλλικό στέλεχος διάτρησης.





Σχήμα 12. Διάγραμμα κοπής

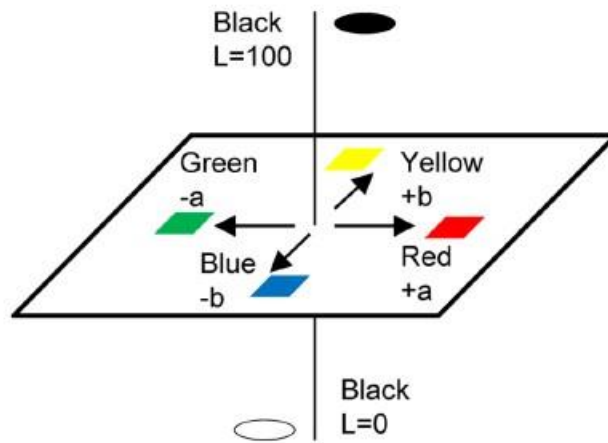
#### 4.3.4 Προσδιορισμός χρώματος

Το χρώμα των φύλλων ρόκας προσδιορίστηκε μέσω χρωματομέτρου (CR-300, Minolta Co. Ltd, Chuo-Ku, Japan) (Σχήμα 13) και χρήσης των παραμέτρων χρώματος CIE Lab (Comission International de l'Eclairage) (CIE 1978). Κατά τη χρωματομετρία μέτρησης των συντεταγμένων Lab της κλίμακας CIE το L εκφράζει την φωτεινότητα των δειγμάτων, ενώ οι άλλες δύο παράμετροι a και b σχετίζονται με το χρώμα του δείγματος, σύμφωνα με το Σχήμα 14.



Σχήμα13. Χρωματομέτρο Minolta CR-300.





Σχήμα 14. Χρωματική αναπαράσταση στον χώρο, των παραμέτρων της κλίμακας CIE Lab (Liu W. *et al.*, 2014)

Συγκεκριμένα, η παράμετρος  $a$  όταν λαμβάνει αρνητικές τιμές προσδιορίζει πράσινο χρώμα, ενώ όταν λαμβάνει θετικές τιμές προσδιορίζει το κόκκινο χρώμα. Στην περίπτωση της παραμέτρου  $b$ , όταν λαμβάνει αρνητικές τιμές προσδιορίζει το μπλε χρώμα, ενώ όταν λαμβάνει θετικές τιμές προσδιορίζει το κίτρινο χρώμα. Από τις λαμβανόμενες τιμές των παραμέτρων αυτών, υπολογίζεται η συνολική μεταβολή της οπτικής απόκρισης  $\Delta E$ . Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά του συνολικού χρώματος  $\Delta E$  είναι το μέτρο του διανύσματος που προκύπτει από τις τρεις συνιστώσες των διαφορών, τη διαφορά του δείκτη φωτεινότητας  $\Delta L$ , τη διαφορά του δείκτη χρωματισμού  $\Delta a$  και τη διαφορά του δείκτη χρωματισμού  $\Delta b$ . Έτσι, το μέγεθος της διαφοράς του συνολικού χρώματος  $\Delta E$  προκύπτει από την Εξίσωση (MacDougall, 1988). Επίσης, υπολογίζεται η συνολική μεταβολή του χρώματος,  $\Delta C$ . Η διαφορά χρωματισμού είναι το μέτρο του προκύπτοντος διανύσματος από τις δύο συνιστώσες διαφορές, της διαφοράς του δείκτη χρωματισμού  $\Delta a$  και της διαφοράς του δείκτη χρωματισμού  $\Delta b$ . Έτσι, προκύπτει η Εξίσωση (MacDougall, 1988).

$$\Delta E = \sqrt{(L-L_0)^2 + (a-a_0)^2 + (b-b_0)^2} \quad (5)$$

$$\Delta C = \sqrt{(a-a_0)^2 + (b-b_0)^2} \quad (6)$$

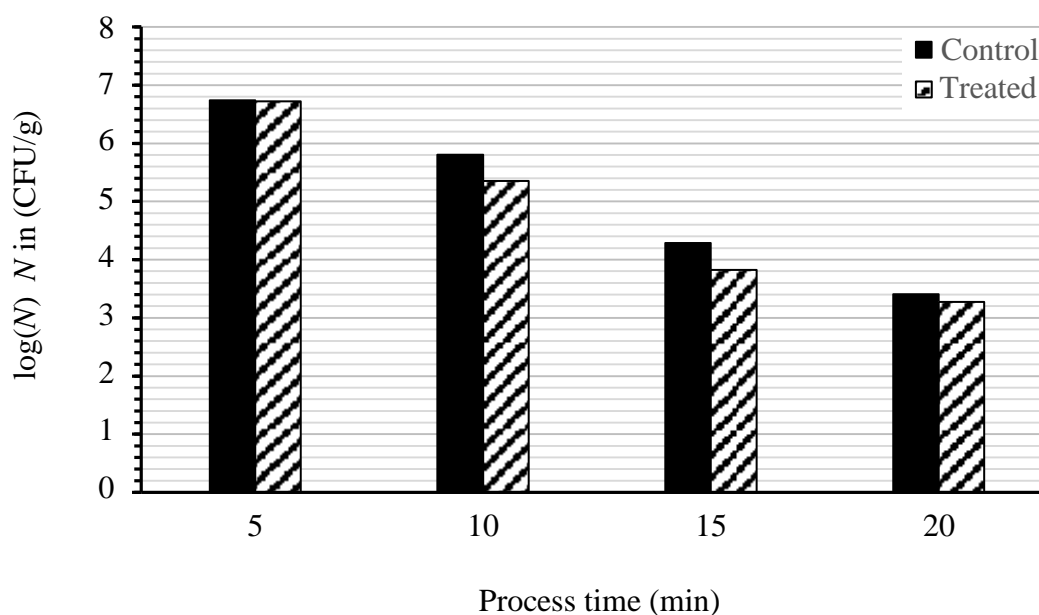
Το χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Σχήμα 13), είναι ένα φορητό χρωματόμετρο, το άκρο της λαβής του οποίου περιλαμβάνει οπή διαμέτρου 8 mm μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μέτρηση χρώματος του εκάστοτε δείγματος, ενώ διαθέτει δυνατότητα εκτύπωσης των μετρήσεων και μνήμη αποθήκευσης 300 μετρήσεων.

Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων το χρωματόμετρο συνδέεται με παροχή ρεύματος και στην οθόνη παρουσίασης των μετρήσεων εμφανίζονται οι συντεταγμένες της κλίμακας χρώματος στην οποία είναι ρυθμισμένο. Ακολούθως γίνεται βαθμονόμηση με μέτρηση της λευκής πλακέτας του σετ. Πιέζοντας το κουμπί που είναι προσαρτημένο πάνω στη λαβή της κεφαλής μέτρησης, το χρωματόμετρο ακτινοβολεί το δείγμα τρεις φορές και το αποτέλεσμα (οι τρεις παράμετροι του χρώματος L, a, b) αναγράφεται αυτομάτως στην οθόνη, ως μέση τιμή των τριών μετρήσεων. Από κάθε δείγμα πάρθηκαν 10 φύλλα ρόκας και κάθε φύλλο μετρήθηκε 1 φορά στην περιοχή που χαρακτηρίζεται ως η πιο αντιπροσωπευτική γι' αυτό, αφού η επιφάνεια των δειγμάτων δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη της την έκταση και τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν συνολικά για όλα τα φύλλα.

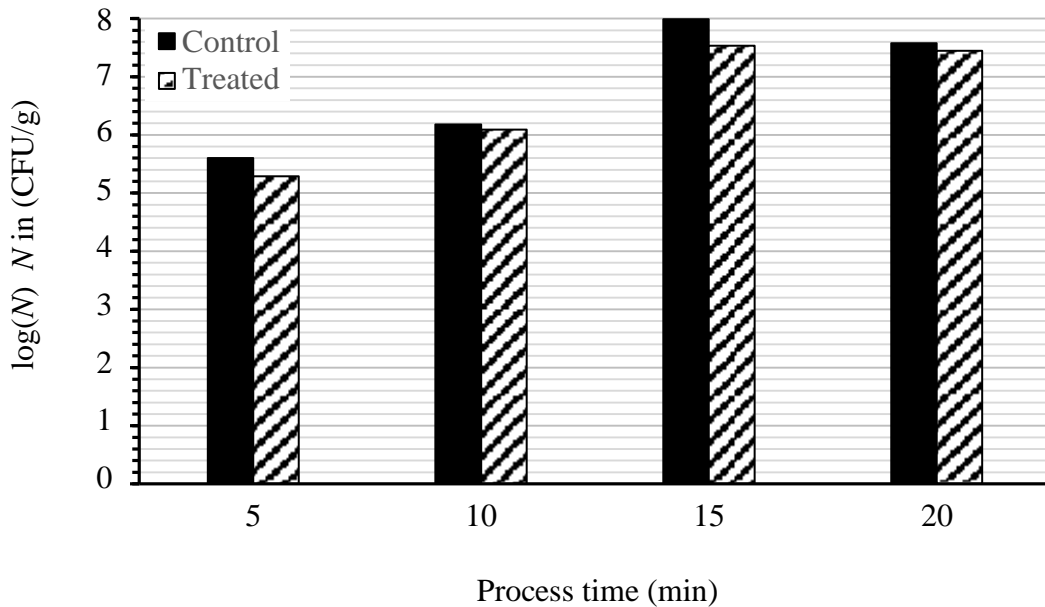
## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1 Επίδραση του cold plasma στο μικροβιακό φορτίο.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τις μικροβιολογικές αναλύσεις των δειγμάτων παρουσιάζονται στη συνέχεια με την μορφή διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα, παρατίθενται τα διαγράμματα ανάπτυξης ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε σαλάτες ρόκας για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15, 20 min και για ισχύ γεννήτριας 60% και 70% της ονομαστικής ισχύς αντίστοιχα (Σχήματα 14-15). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι τα επεξεργασμένα δείγματα (Treated) με την μέθοδο SDBD (Surface Dielectric Barrier Discharge) είχαν μια μικρή μείωση μικροβιακού φορτίου μικρότερη του 0,5 log(CFU/g) σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα (Control), ενώ, με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας και της ισχύς δεν παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μείωση.

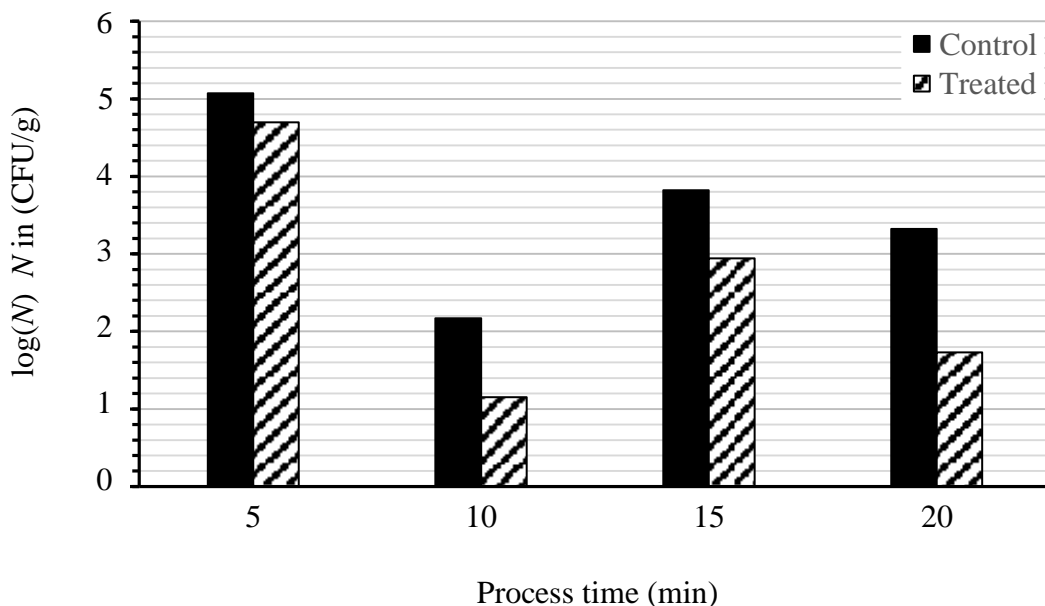


Σχήμα 14. Επιβίωση ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 60%.

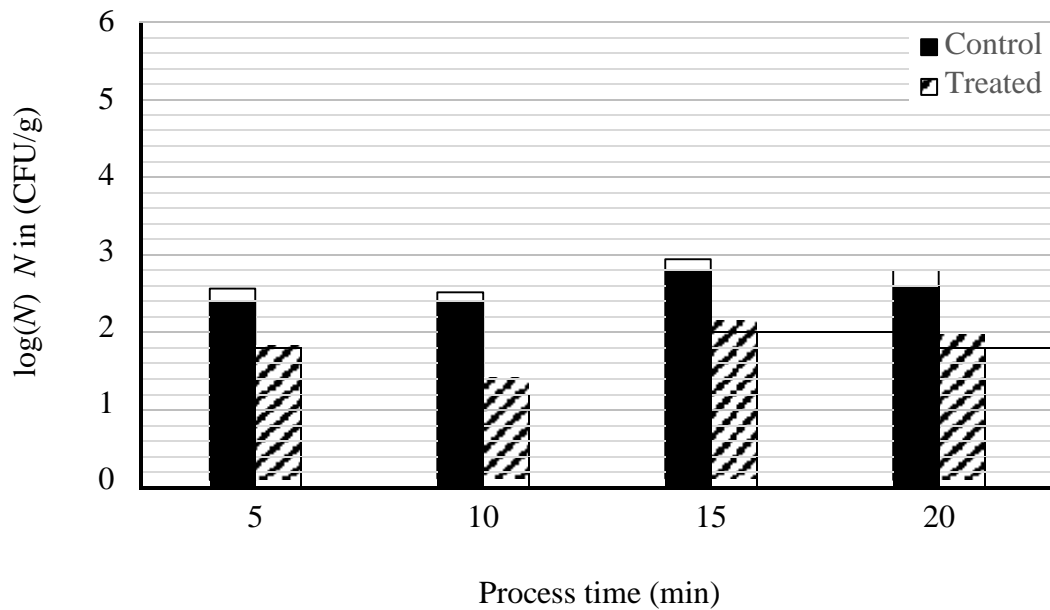


Σχήμα 15. Επιβίωση ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 70%.

Όσον αναφορά τα διαγράμματα επιβίωσης γαλακτικών βακτηρίων (Σχήματα 16-17) παρατηρήθηκε μείωση κατά 1 log(CFU/g) στα δείγματα που επεξεργάστηκαν για 10, 15 και 20 λεπτά και για ονομαστική ισχύ 60%, ενώ για ονομαστική ισχύ 70% αυτή η μείωση παρατηρήθηκε και στα 5 λεπτά επεξεργασίας.

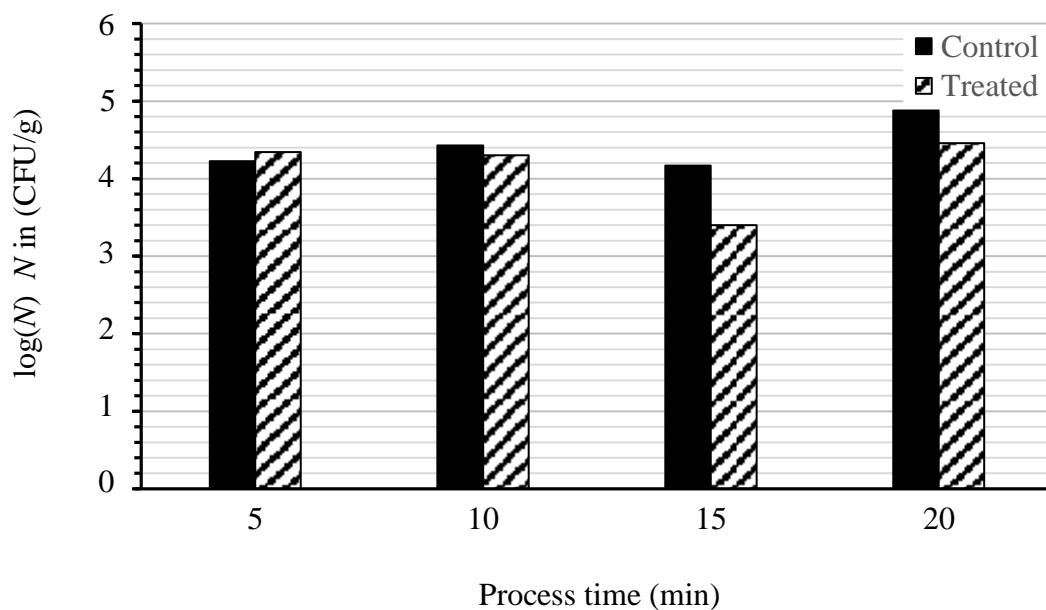


Σχήμα 16. Επιβίωση γαλακτικών βακτηρίων σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 60%.

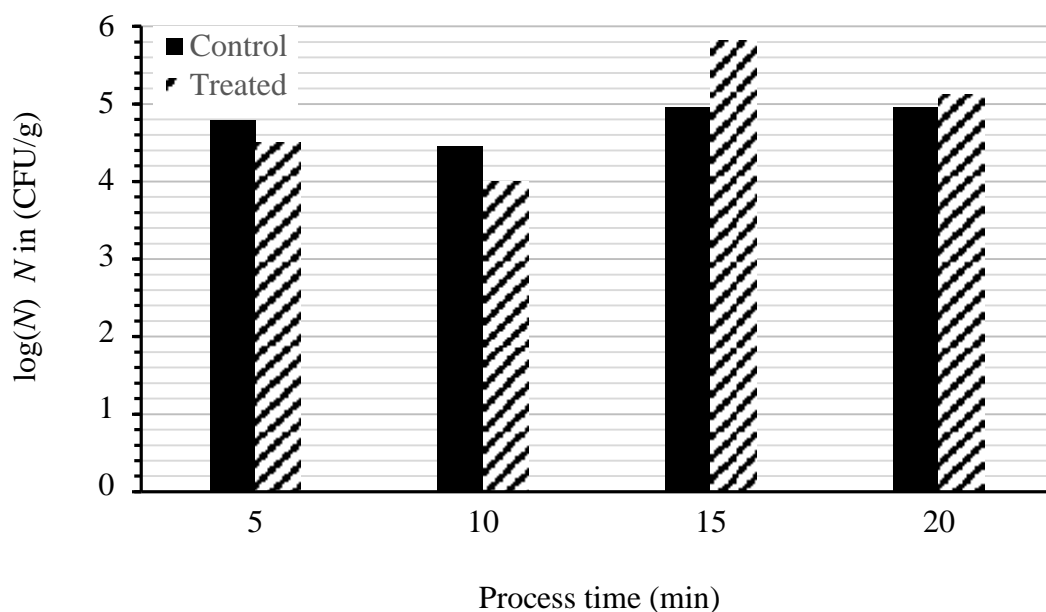


Σχήμα 17. Επιβίωση γαλακτικών βακτηρίων σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 70%.

Στα ακόλουθα διαγράμματα (Σχήματα 18-19) παρουσιάζεται η επιβίωση ζυμών-μυκήτων για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και για ονομαστική ισχύ 60 και 70%. Αρχικά αυτό που παρατηρήθηκε στο διάγραμμα με ονομαστική ισχύ 60% είναι μείωση του μικροβιακού φορτίου της τάξεως περίπου του 0,5 log(CFU)/g για τους χρόνους επεξεργασίας 15 και 20 min, σε αντίθεση με το διάγραμμα της 70% ισχύς, σύμφωνα με το οποίο παρατηρήθηκε μείωση ζυμών-μυκήτων σε όλους τους χρόνους εκτός των 15 λεπτών που παρατηρήθηκε αύξηση αυτών.



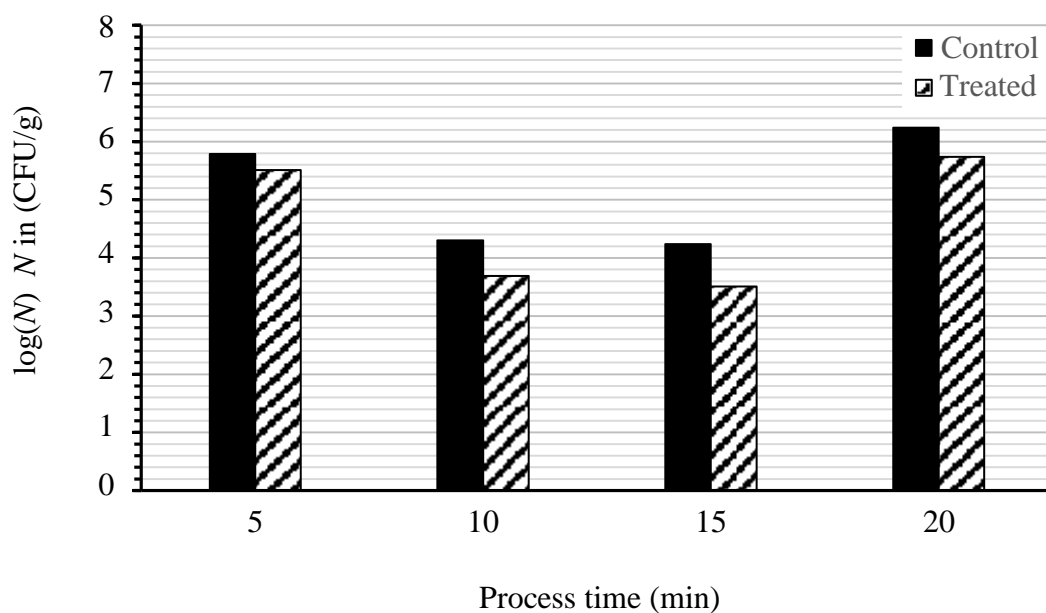
Σχήμα 18. Επιβίωση ζυμών μυκήτων σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 60%.



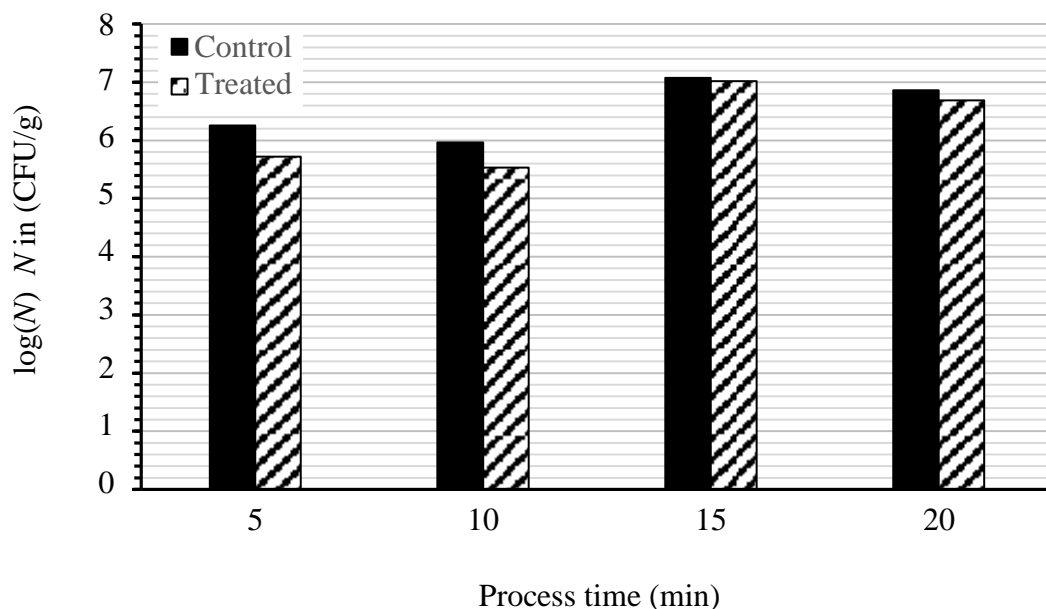
Σχήμα 19. Επιβίωση ζυμών μυκήτων σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 70%.

Εν συνεχεία, παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ανάπτυξης ψευδομονάδων για ονομαστική ισχύ 60 και 70% (Σχήματα 20-21), σύμφωνα με τα οποία υπήρχε μία μείωση της τάξεως 0,5 log(CFU/g) για ισχύ 60% και για χρόνους επεξεργασίας 10 και

15 min, ενώ για ονομαστική ισχύ 70% δεν παρατηρήθηκε καμιά μείωση μικροβιακού φορτίου για τους ίδιους χρόνους.



Σχήμα 20. Επιβίωση ψευδομονάδων σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 60%.

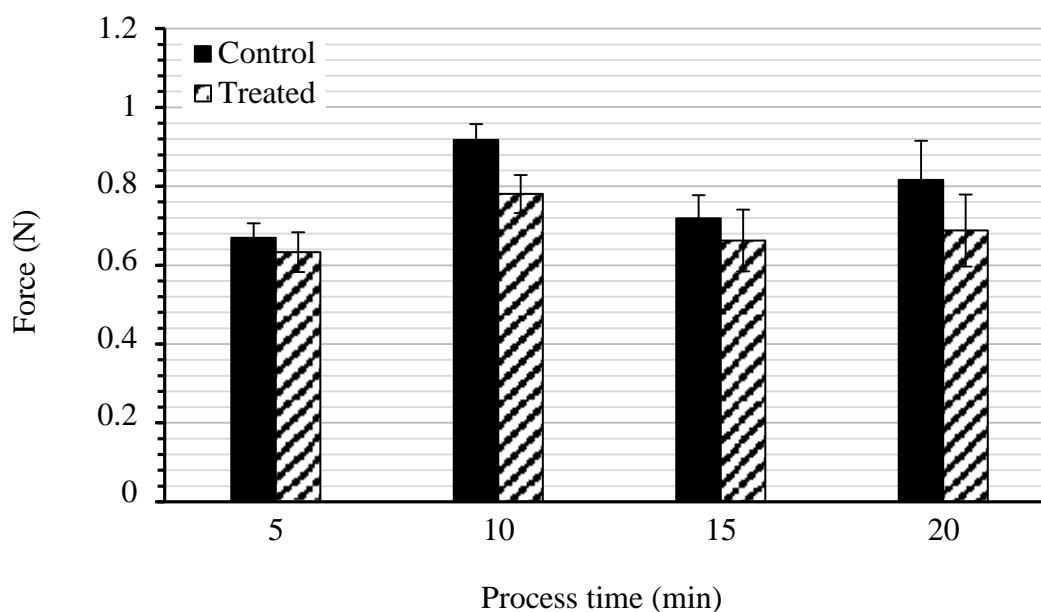


Σχήμα 21. Επιβίωση ψευδομονάδων σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ονομαστική ισχύ γεννήτριας 70%.

## 5.2 Επίδραση του cold plasma στην υφή

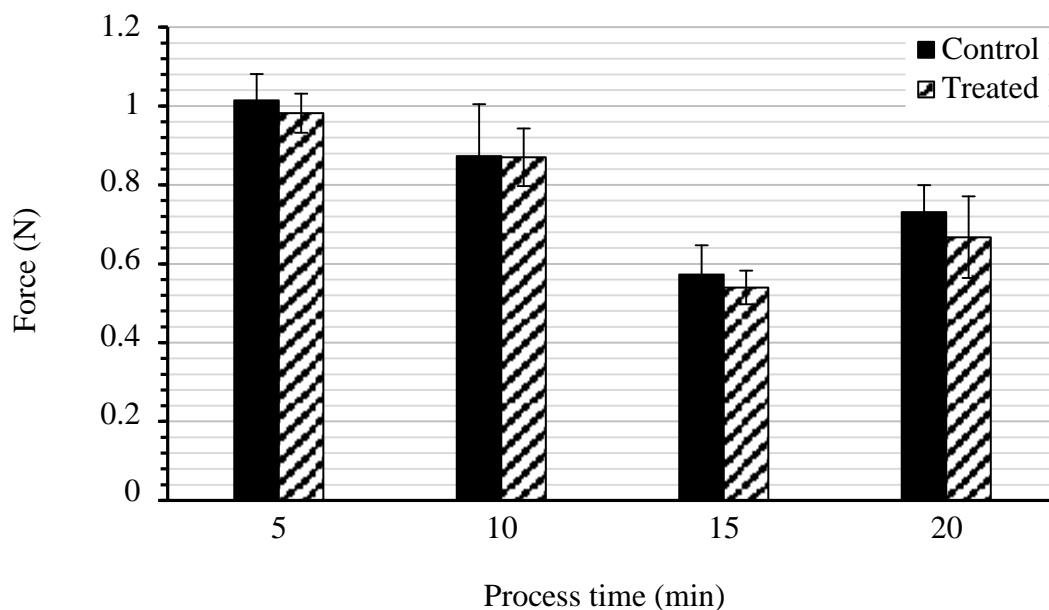
Η υφή είναι ένα από τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά στις φυλλώδεις σαλάτες. Τα διαγράμματα δύναμης-χρόνου αντιπροσωπεύουν την σκληρότητα των φύλλων, δηλαδή την φρεσκότητα των φυλλωδών σαλάτων.

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα 2 διαγράμματα (Σχήματα 22-23) απεικόνισης σκληρότητας φύλλων ρόκας για τους χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min, για ονομαστική ισχύ 60 και 70 % αντίστοιχα. Αυτό το οποίο παρατηρήθηκε είναι ότι τα επεξεργασμένα δείγματα παρουσίασαν μικρότερη αντίσταση στην δύναμη σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Παρόλο, αυτά δεν σημειώθηκε ανάλογη μείωση σκληρότητας με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας και με την αύξηση της ισχύς της γεννήτριας.



Σχήμα 22. Απεικόνιση σκληρότητας φύλλων ρόκας για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 και ισχύ γεννήτριας 60%.



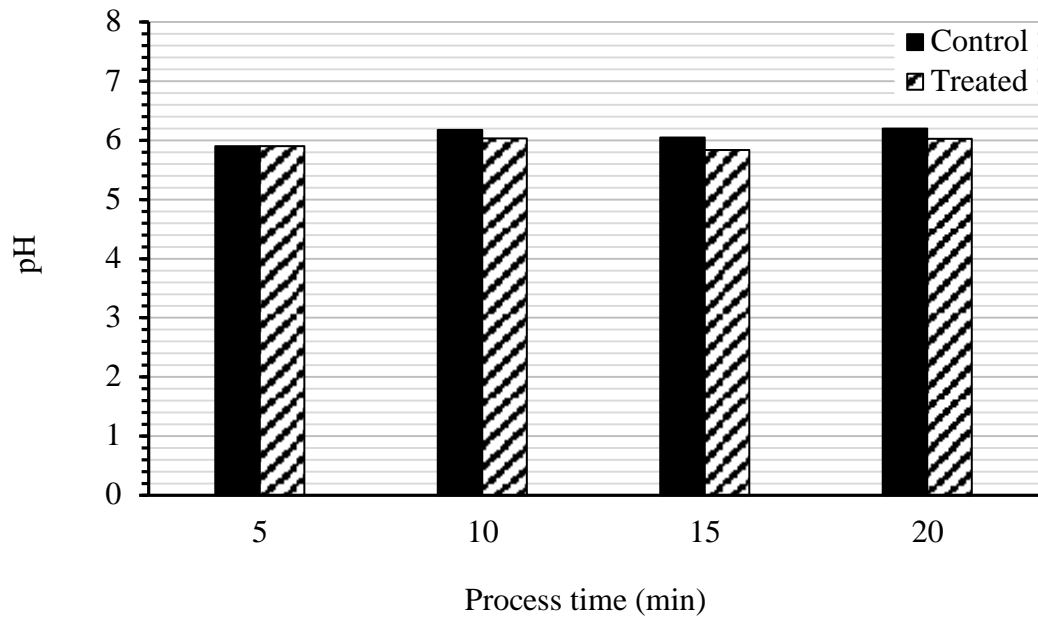


Σχήμα 23. Απεικόνιση σκληρότητας φύλλων ρόκας για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 και ισχύ γεννήτριας 70%.

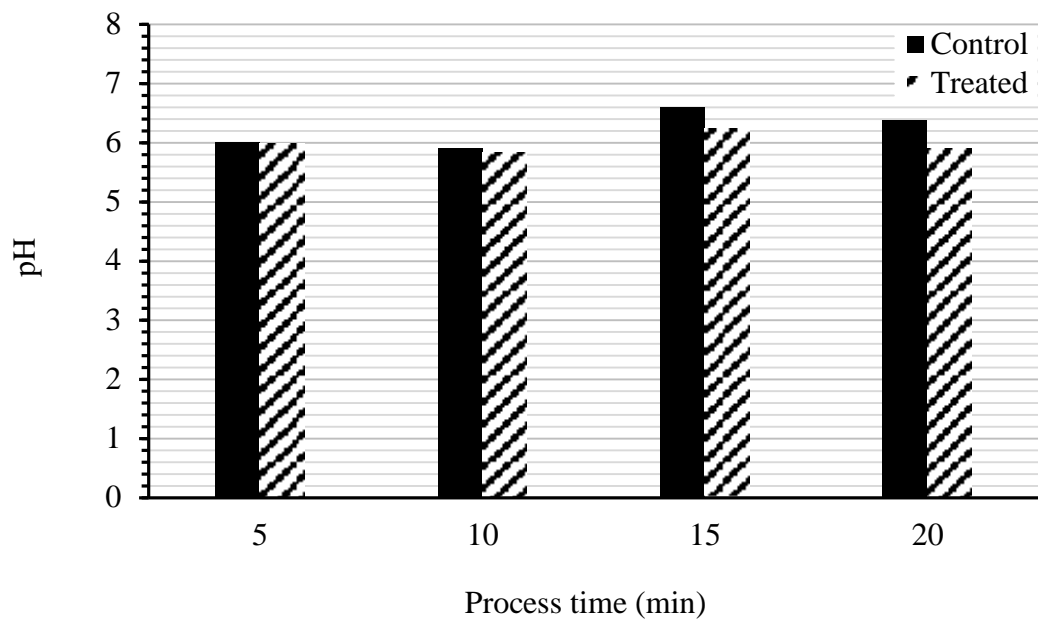
### 5.3 Επίδραση του cold plasma στην τιμή pH

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα διαγράμματα (Σχήματα 24-25) της τιμής του pH σε σαλάτες ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15, 20 min, για ισχύ 60 και 70%. Η μεταβολή του pH, παρόλο που δεν αποτελεί ποιοτική παράμετρο των δειγμάτων, είναι ενδεικτικό στοιχείο που μπορεί να επιβεβαιώσει την υποβάθμιση υπόλοιπων ποιοτικών παραμέτρων, όπως είναι το μικροβιακό φορτίο των φυλλωδών σαλάτων.

Αναλυτικότερα, από τα παρακάτω 2 διαγράμματα παρατηρείται ότι τα επεξεργασμένα δείγματα (Treated) είχαν την ίδια τιμή pH σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα (Control). Το μόνο που μπορεί να επισημανθεί είναι μια μικρή μείωση της τιμής του pH για διάρκεια επεξεργασίας 15 και 20 min και για ονομαστική ισχύ γεννήτριας 70%.



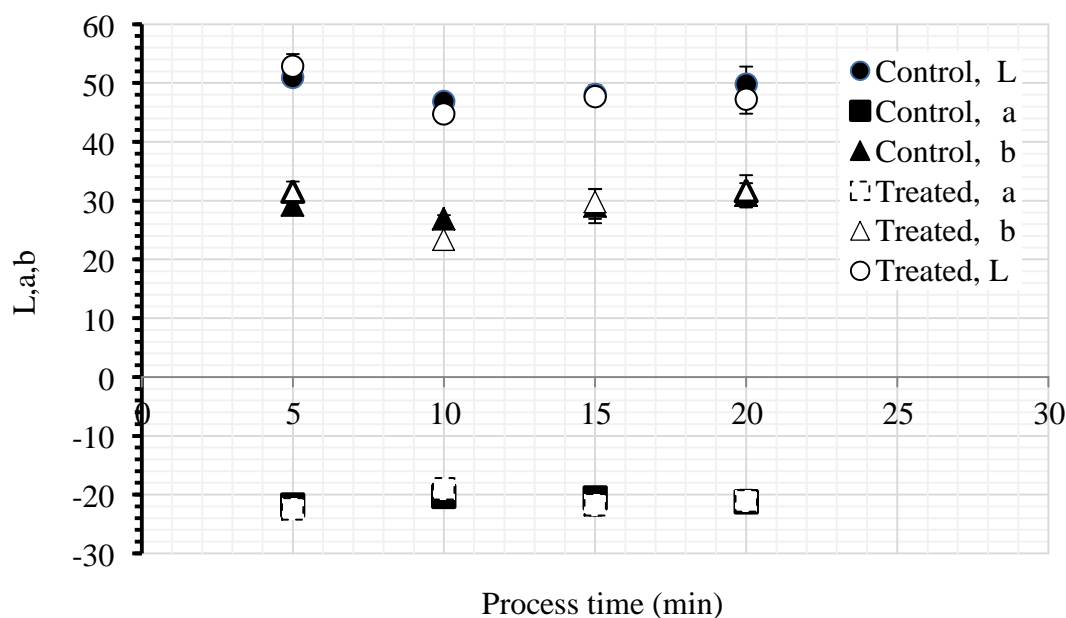
Σχήμα 24. Απεικόνιση της τιμής pH σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ισχύ γεννήτριας 60%.



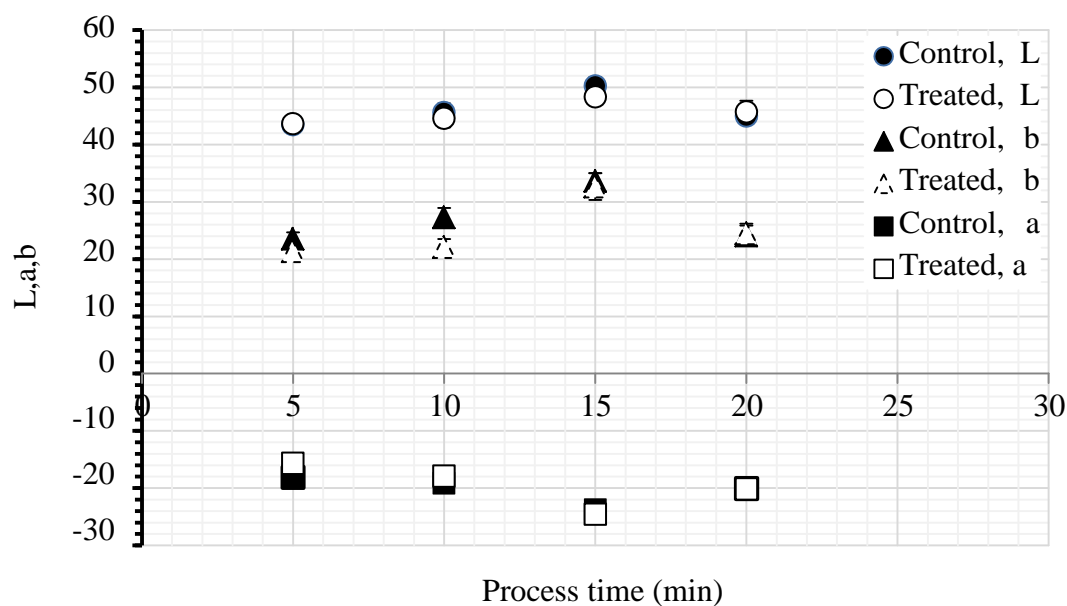
Σχήμα 25. Απεικόνιση της τιμής pH σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και ισχύ γεννήτριας 70%.

#### 5.4 Επίδραση του cold plasma στο χρώμα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του χρώματος παρουσιάζονται στα παρακάτω 2 διαγράμματα (Σχήματα 26-27). Αναλυτικότερα, και στα 2 διαγράμματα 60 και 70% αντίστοιχα δεν παρατηρήθηκε σημαντική αλλαγή χρώματος στα επεξεργασμένα σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα και σε σχέση με τη διάρκεια της επεξεργασίας. Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται και από τον Πίνακα 3, σύμφωνα με τον οποίο δεν παρατηρείτε διαφορά της οπτικής απόκρισης και της συνολικής μεταβολή χρώματος σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας και με την ισχύ της γεννήτριας.



Σχήμα 26. Απεικόνιση των παραμέτρων L, a, b σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και για 60% ισχύ γεννήτριας.



Σχήμα 27. Απεικόνιση των παραμέτρων L, a, b σε σαλάτα ρόκα για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min και για 70% ισχύ.

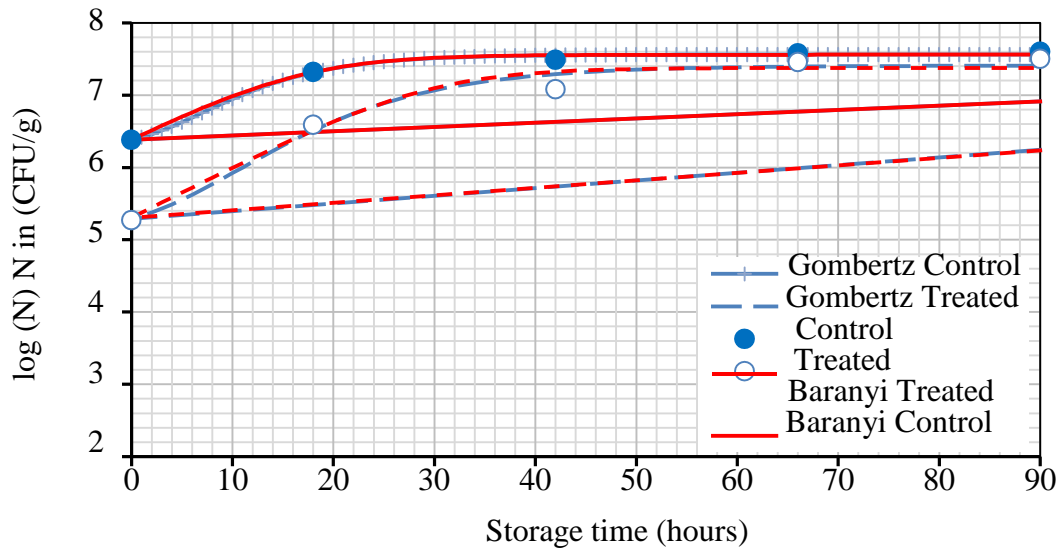
Πίνακας 3. Απεικόνιση της οπτικής απόκρισης ΔE και της συνολικής μεταβολής χρώματος ΔC

Power				
Process time (min)	C		C	
	5	0.54	0.49	2.92
10	3.71	3.46	4.86	4.85
15	1.73	1.46	2.61	1.03
20	2.26	0.24	0.96	0.60

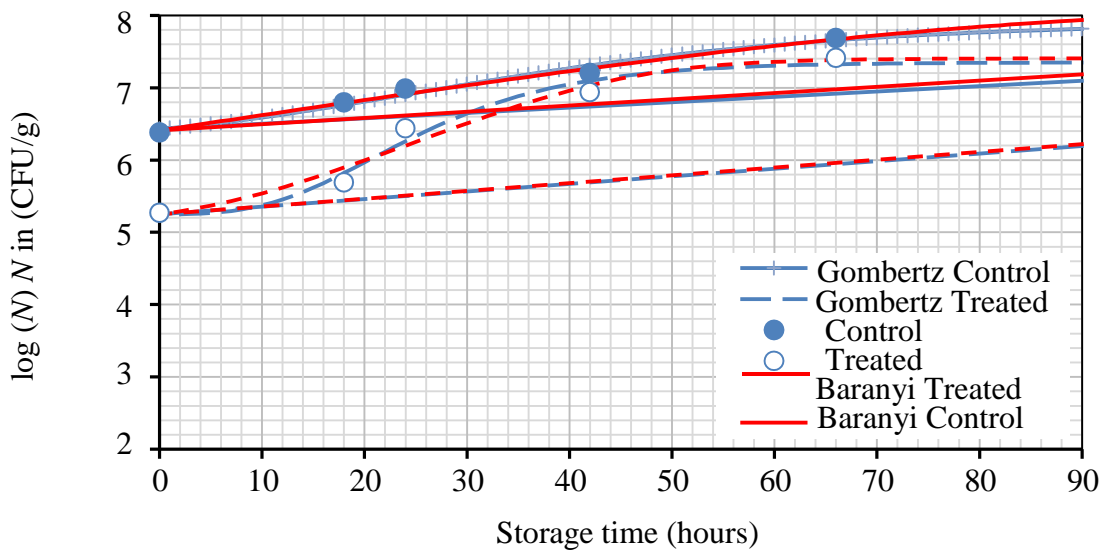
### 5.5 Μικροβιακή ανάπτυξη κατά την αποθήκευση

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η κινητική μελέτη των μικροβιακών αποτελεσμάτων κατά την αποθήκευση των δειγμάτων. Όπως έχει ειπωθεί παραπάνω η κινητική μελέτη έγινε σε δύο 2 μοντέλα, στο μοντέλο Baranyi μέσω του προγράμματος Systat και στο

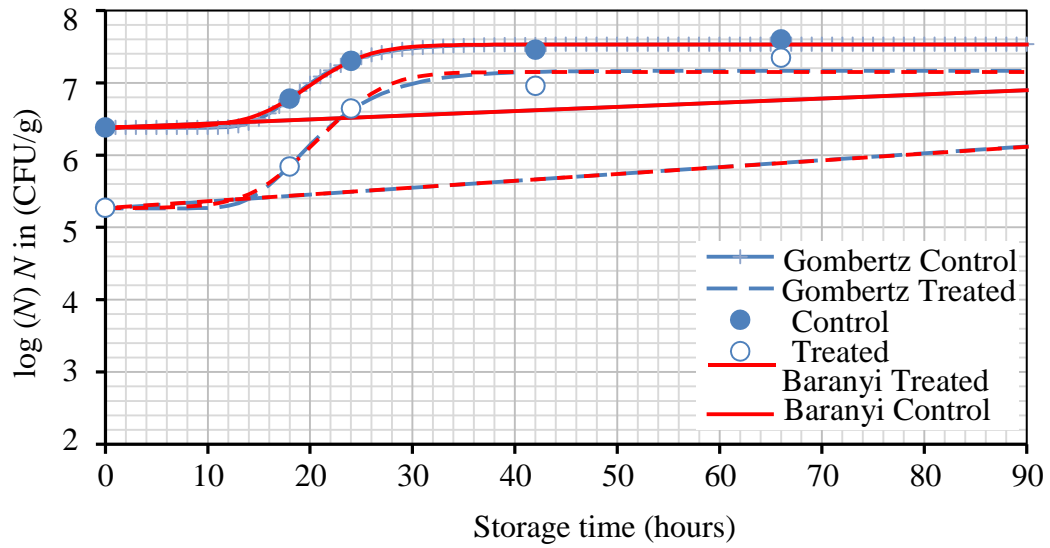
μοντέλο Gombertz μέσω του solver στο Excel, όπου και συγκρίθηκαν. Στους 2°C τα δείγματα για ανάλυση πάρθηκαν στις 0, 18, 42, 66 και 90 ώρες, ενώ στους 5 και 9°C στις 0, 18, 24, 42 και 66 ώρες για ανάλυση. Οι μικροοργανισμοί που μετρήθηκαν ήταν η ολική μεσόφιλη χλωρίδα, τα γαλακτικά βακτήρια, οι ψευδομονάδες και ζύμες μύκητες. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα (Σχήματα 25-36) και οι Πίνακες 4 έως 7. Όπου, στα σχήματα παρουσιάζονται τα πειραματικά και τα προβλεπόμενα δεδομένα των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων, ενώ στους πίνακες εμφανίζονται οι παράμετροι από την κινητική μελέτη των 2 μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα στους πίνακες παρουσιάζονται το αρχικό μικροβιακό φορτίο, το φορτίο μετά την επεξεργασία με την μέθοδο SBDB, ο ρυθμός ανάπτυξης ( $\mu$ ), τον συντελεστή μεταβλητότητας ( $R^2$ ) και το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων (SSE). Σύμφωνα με τους πίνακες 4, 6 και 7 ο ρυθμός ανάπτυξης των επεξεργασμένων δειγμάτων (treated) είναι διαφορετικός με τον ρυθμό ανάπτυξης των μη επεξεργασμένων δειγμάτων (control), χωρίς να εμφανίζεται κάποια τάση κατά την αποθήκευση αυτών και στις 3 θερμοκρασίες. Επιπλέον, παρατηρώντας τον Πίνακα 5, στον οποίο μελετήθηκε η επιβίωση ψευδομονάδων κατά την αποθήκευση δειγμάτων, ο ρυθμός ανάπτυξης αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης, το οποίο παρατηρείτε και στα επεξεργασμένα και στα μη επεξεργασμένα δείγματα και στα δυο μοντέλα, ενώ κάτι τέτοιο δεν παρατηρήθηκε στους άλλους μετρούμενους μικροοργανισμούς. Τρέχοντας το μοντέλο Baranyi, η παράμετρος της λανθάνουσας φάσης ( $\lambda$ ) είχε μεγάλο εύρος του διαστήματος εμπιστοσύνης το οποίο σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις συμπεριλάμβανε το μηδέν, για αυτό το λόγο τα δεδομένα ξανα επεξεργάστηκαν θέτοντας στο μοντέλο την παράμετρο  $\lambda$  ίσον με μηδέν. Πρέπει να επισημανθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις (Πίνακες 6, 7) ο αρχικός και ο τελικός μικροβιακός πληθυσμός παρουσιάζει σε κάποιες περιπτώσεις μεγάλη διακύμανση, το οποίο οφείλεται στην έλλειψη πολλών δεδομένων και όχι στην ανεπάρκεια του μοντέλου. Τέλος, εξετάζοντας τα Σχήματα 25-36, αυτό που επισημαίνεται είναι ότι και στους 4 μετρούμενους μικροοργανισμούς τα επεξεργασμένα δείγματα (treated) παρουσιάζουν μικρότερο μικροβιακό πληθυσμό σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα (control) κατά την έναρξη της αποθήκευσης αυτών στις 3 διαφορετικές θερμοκρασίες αλλά και κατά την αποθήκευση. Επιπρόσθετα, παρατηρώντας τα Σχήματα 25-36 επισημαίνεται ότι και τα 2 μοντέλα είναι ισοδύναμα μεταξύ τους.



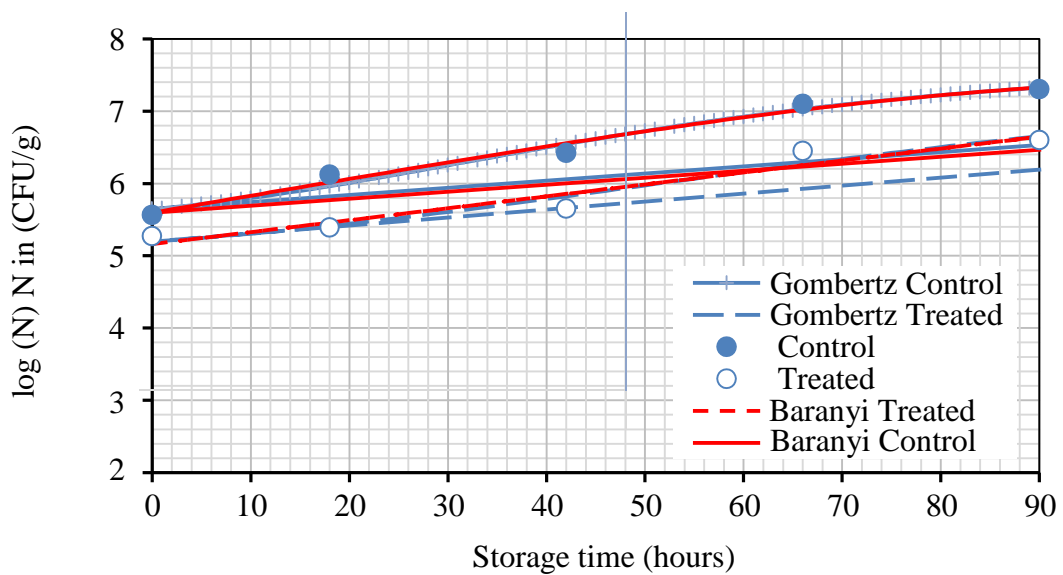
Σχήμα 28. Εξέλιξη της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 2°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



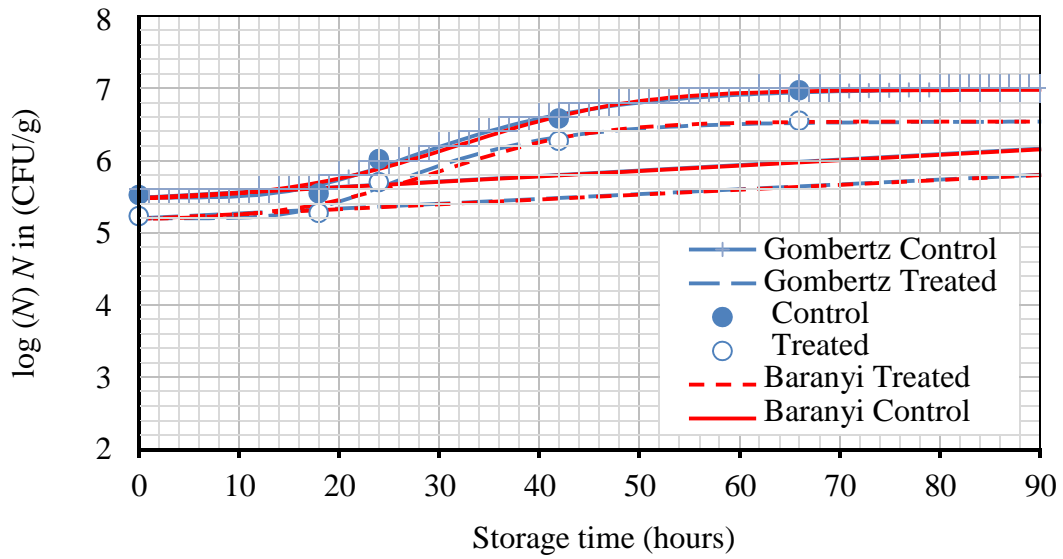
Σχήμα 29. Εξέλιξη της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 5°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



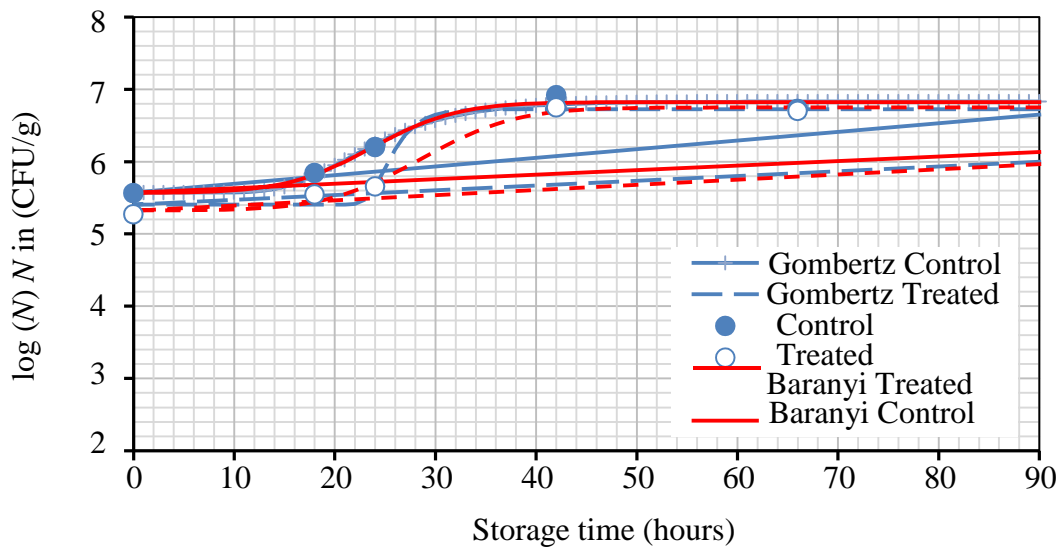
Σχήμα 30. Εξέλιξη της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 9°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



Σχήμα 31. Εξέλιξη ψευδομονάδων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 2°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.

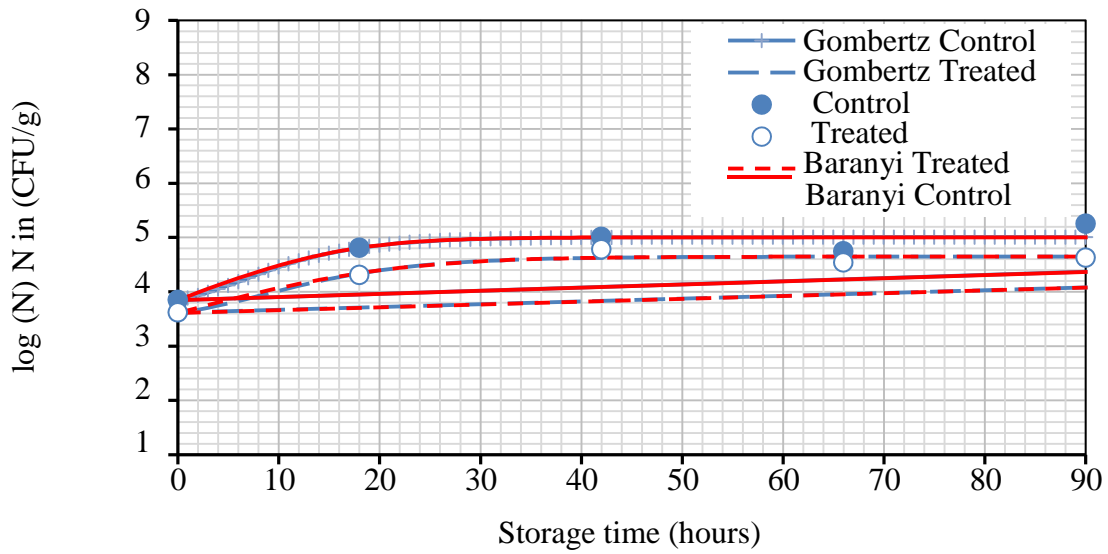


Σχήμα 32. Εξέλιξη ψευδομονάδων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 5°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.

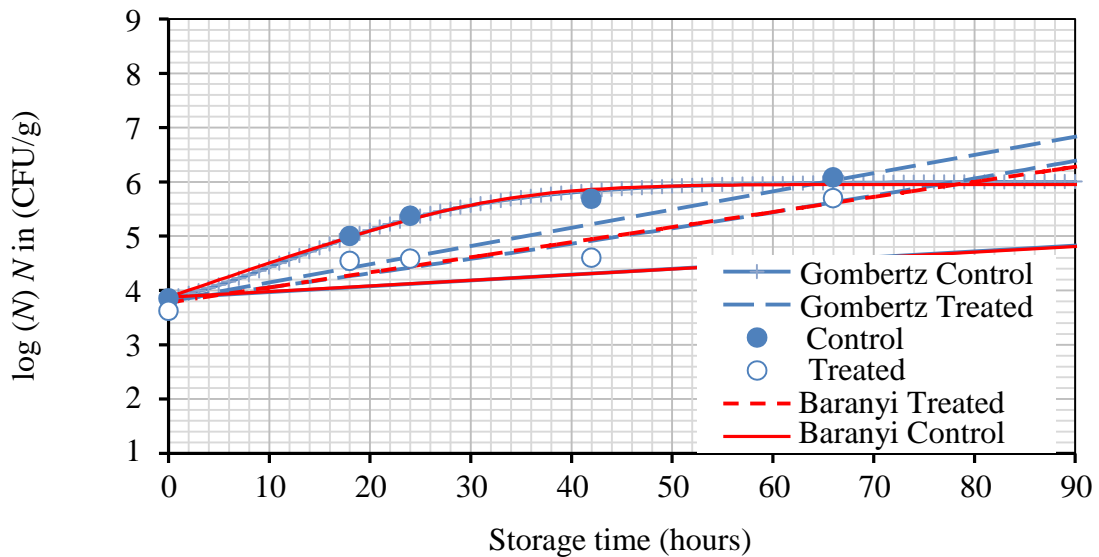


Σχήμα 33. Εξέλιξη ψευδομονάδων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 9°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.

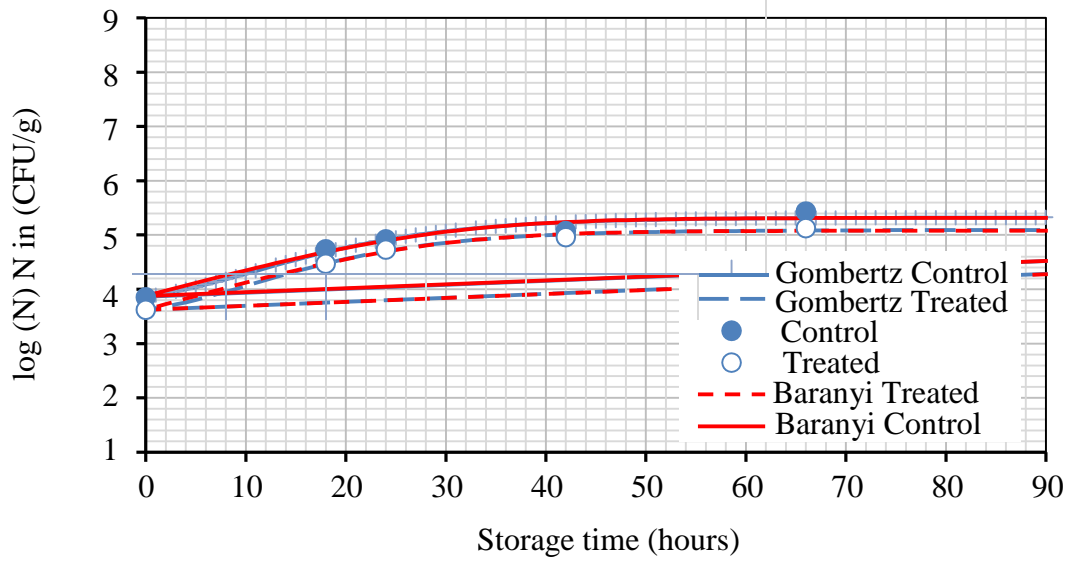




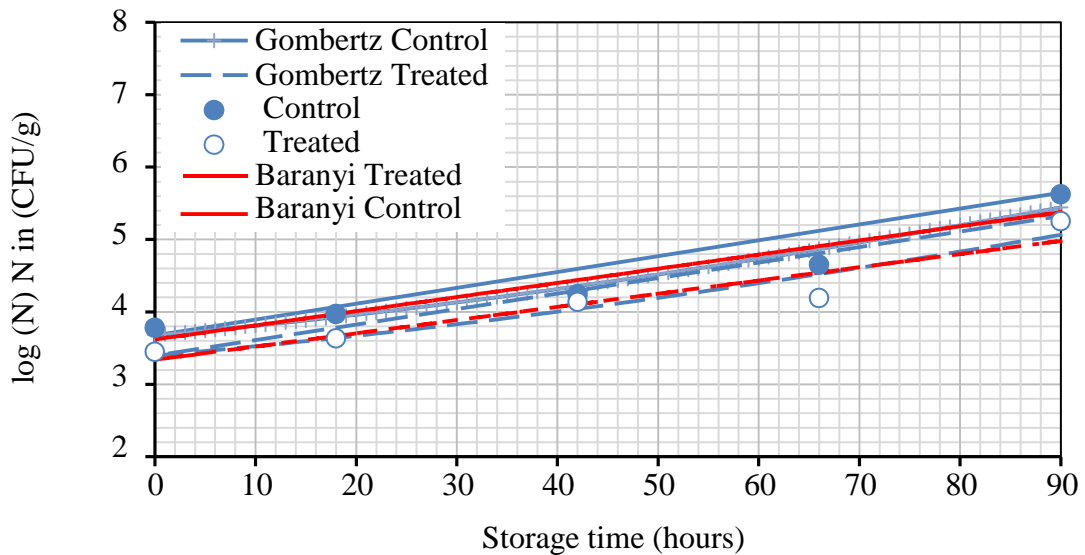
Σχήμα 34. Εξέλιξη γαλακτικών βακτηρίων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 2°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



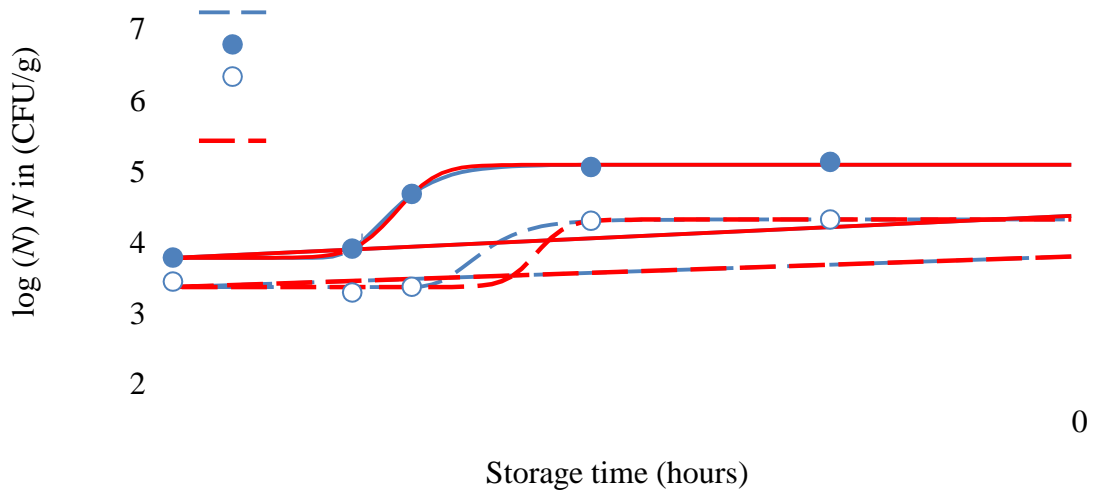
Σχήμα 35. Εξέλιξη γαλακτικών βακτηρίων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 5°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



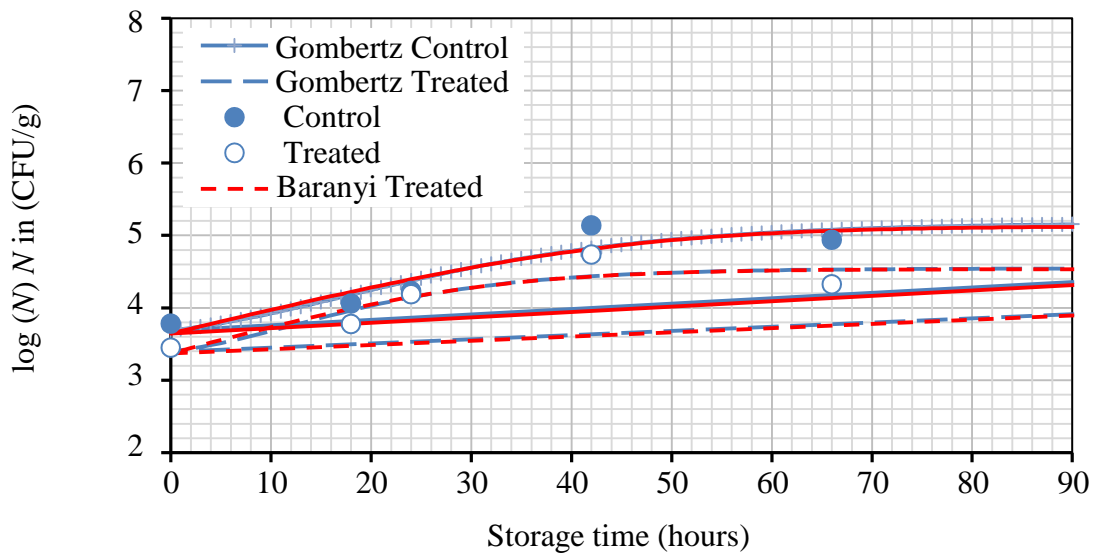
Σχήμα 36. Εξέλιξη γαλακτικών βακτηρίων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 9°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



Σχήμα 37. Εξέλιξη ζυμών-μυκήτων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 2°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



Σχήμα 38. Εξέλιξη ζυμών-μυκήτων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 5°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.



Σχήμα 39. Εξέλιξη ζυμών-μυκήτων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 9°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές.

Πίνακας 4. Παρουσίαση των παραμέτρων των μοντέλων Gombertz και Baranyi για ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκα στους 2, 5 και 9°C

	<b>Gombertz</b>			<b>Baranyi</b>		
	<b>Control</b>					
	<b>2°C</b>	<b>5°C</b>	<b>9°C</b>	<b>2°C</b>	<b>5°C</b>	<b>9°C</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	6.2977	6.3243	6.3799	6.3815	6.4089	6.3802
	0.0007	0.0000	14.3262	0.0000	0.0000	7.1280
	0.0653	0.0241	0.1087	0.0708	0.0217	0.1650
<b>N<sub>max</sub></b>	7.5602	7.9176	7.5312	7.5585	8.1326	7.5289
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9945	0.9763	0.9909	0.9940	0.9890	0.9906
<b>SSE</b>	0.0058	0.0222	0.0095	0.006	0.011	0.0098
	<b>Treated</b>					
<b>N<sub>0</sub></b>	5.1394	5.2466	5.2649	5.3049	5.2480	5.2676
	0.0007	10.3767	13.9352	0.0000	3.5317	6.6851
	0.0782	0.0747	0.1443	0.0704	0.0595	0.1763
<b>N<sub>max</sub></b>	7.4079	7.3501	7.16607	7.3761	7.4056	7.1507
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9813	0.9740	0.9749	0.9740	0.9651	0.9732
<b>SSE</b>	0.0635	0.0805	0.0717	0.0890	0.1080	0.0764

Πίνακας 5. Παρουσίαση των παραμέτρων των μοντέλων Gombertz και Baranyi για ψευδομονάδες κατά την αποθήκευση σαλάτα ρόκα στους 2, 5 και 9°C

	<b>Gombertz</b>			<b>Baranyi</b>		
	<b>Control</b>					
	<b>2°C</b>	<b>5°C</b>	<b>9°C</b>	<b>2°C</b>	<b>5°C</b>	<b>9°C</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	5.5035	5.5254	5.5724	5.5950	5.5182	5.5672
	0.0000	15.2909	15.1350	0.0000	8.7363	8.0097
	0.0249	0.0479	0.0765	0.0239	0.0617	0.1190
<b>N<sub>max</sub></b>	7.6297	7.0322	6.8298	7.5315	7.0160	6.8232
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9742	0.9806	0.9769	0.9820	0.9732	0.9838
<b>SSE</b>	0.0524	0.0317	0.0304	0.0370	0.0437	0.0213
	<b>Treated</b>					
<b>N<sub>0</sub></b>	5.0334	5.2407	5.4063	5.1616	5.2320	5.3227
	0.0228	15.8168	23.1326	0.0000	8.8561	9.6327
	0.0188	0.0516	0.2715	0.0165	0.0678	0.1121
<b>N<sub>max</sub></b>	7.5115	6.5776	6.7234	27.0804	6.5796	6.7494
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9532	0.9881	0.9795	0.935	0.9793	0.9882
<b>SSE</b>	0.0705	0.0166	0.0391	0.0980	0.0289	0.0226

Πίνακας 6. Παρουσίαση των παραμέτρων των μοντέλων Gombertz και Baranyi για γαλακτικά βακτήρια κατά την αποθήκευση σαλάτα ρόκα στους 2, 5 και 9°C

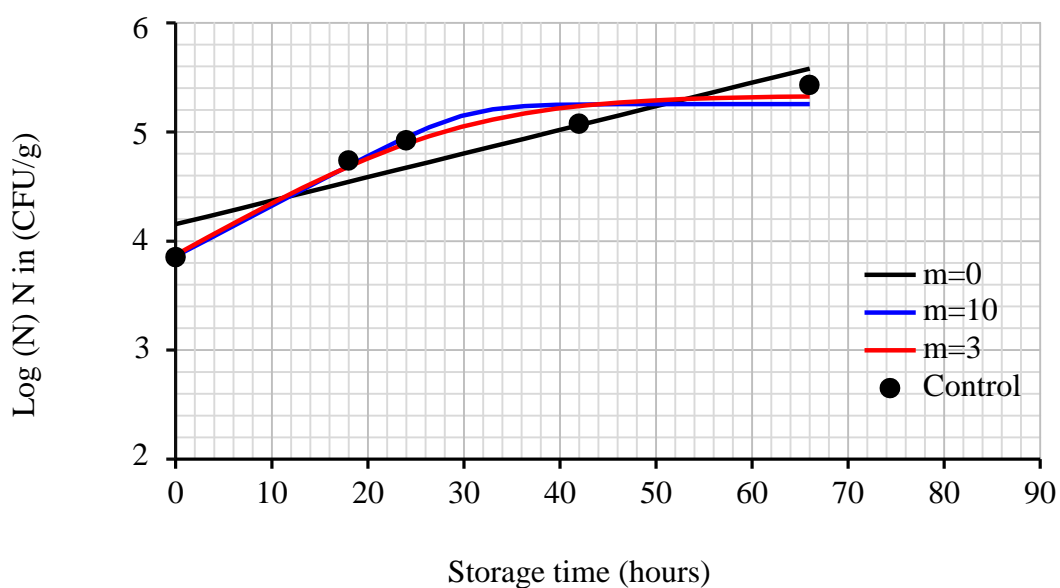
	<b>Gombertz</b>			<b>Baranyi</b>		
	<b>Control</b>					
	<b>2°C</b>	<b>5°C</b>	<b>9°C</b>	<b>2°C</b>	<b>5°C</b>	<b>9°C</b>
<b>No</b>	3.7683	3.7112	3.7624	3.8499	3.8779	3.8791
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0696	0.0716	0.0524	0.0759	0.0640	0.0504
<b>Nmax</b>	5.0059	6.0041	5.3223	5.0053	5.9547	5.3179
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8844	0.9876	0.9694	0.8844	0.9817	0.9680
<b>SSE</b>	0.1315	0.0360	0.0426	0.1315	0.0533	0.045
	<b>Treated</b>					
<b>N<sub>0</sub></b>	3.5417	0.0000	3.5177	3.6101	3.7779	3.6238
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0478	0.0497	0.0546	0.0549	0.0278	0.0534
<b>Nmax</b>	4.6493	57.7658	5.0923	4.6492	24.4152	5.0812
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9544	0.8868	0.9962	0.9542	0.8890	0.9950
<b>SSE</b>	0.0379	0.2452	0.0053	0.0381	0.2400	0.0070

Πίνακας 7. Παρουσίαση των παραμέτρων των μοντέλων Gombertz και Baranyi για ζύμες μύκητες κατά την αποθήκευση σαλάτα ρόκα στους 2, 5 και 9°C

	Gombertz			Baranyi		
	2°C	5°C	9°C	2°C	5°C	9°C
<b>Control</b>						
<b>N<sub>0</sub></b>	3.1624	3.7795	3.5802	3.6185	3.7801	3.7795
	0.0000	17.4681	0.0007	0.0000	8.5969	17.4681
	0.0253	0.1426	0.0333	0.0195	0.2463	0.1426
<b>N<sub>max</sub></b>	10.9626	5.0697	5.1790	25.3185	5.0682	5.0697
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9514	0.9985	0.8800	0.9210	0.9987	0.9985
<b>SSE</b>	0.1039	0.0023	0.1631	0.189	0.0025	0.0023
<b>Treated</b>						
<b>N<sub>0</sub></b>	2.8327	3.3755	3.3133	3.3393	3.3762	3.3688
	0.0000	26.5794	0.0007	0.0000	15.1973	0.0000
	0.0246	0.1073	0.0364	0.0182	0.3131	0.0408
<b>N<sub>max</sub></b>	11.3801	4.3100	4.5451	37.6329	4.3099	4.5353
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9204	0.9893	0.8253	0.8930	0.9893	0.8130
<b>SSE</b>	0.1568	0.0111	0.1724	0.2110	0.0111	0.185

Επιπρόσθετα, εκτός από το πρόγραμμα Systat έγινε μια προσπάθεια να προσαρμογής των δεδομένων από το πρόγραμμα DMfit, το οποίο είναι ελεύθερα διαθέσιμο στο διαδίκτυο. Οι παράμετροι  $m_{curve}$  και  $n_{curve}$  μπορούν να προκαθοριστούν από το χρήστη με βάση τι πιστεύει ο χρήστης για την συμπεριφορά των δεδομένων του. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε σύγκριση διαγραμμάτων αλλάζοντας την παράμετρο  $m_{curve}$ , η οποία πήρε τις τιμές 3 και 10, ενώ η παράμετρος  $n_{curve}$  πήρε την τιμή 0 και έμεινε σταθερή. Η παράμετρος  $m_{curve}$  ίσον με 10 σημαίνει ότι το μοντέλο είναι ελεύθερο χωρίς περιορισμούς και κάνει μόνο του την καλύτερη προσαρμογή, ενώ για  $m_{curve}$  ίσον 3 αντιστοιχεί σε μια σιγμοειδής συμπεριφορά. Για οποιεσδήποτε άλλες τιμές τα αποτελέσματα είναι σύμφωνα με την αντίληψη του χρήστη με προκατάληψη (Σχήμα 37). Από τους Πίνακες 8-11 παρατηρείται ότι αλλάζοντας την παράμετρο  $m_{curve}$  στην τιμή 3 ή 10, οι διάφοροι παράμετροι δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Αυτό που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι η παράμετρος  $\lambda$ , η οποία εκφράζει τη λανθάνουσα φάση ισούται

με το μηδέν σε όλους τους μικροβιακούς πληθυσμούς (Πίνακες 8-11), κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με το πρόγραμμα Systat (Πίνακες 4-7). Επίσης, δεν παρατηρήθηκε στους παραμέτρους των μελετούμενων μικροοργανισμών κάποια συγκεκριμένη τάση. Τέλος συγκρίνοντας τις παραμέτρους με το μοντέλο Baranyi μέσω του DMfit (Πίνακες 8-11) με αυτές με το πρόγραμμα Systat (Πίνακες 4-7), παρουσιάζεται μια καλύτερη προσαρμογή των δεδομένων στην κινητική μελέτη μέσω του προγράμματος Systat, το οποίο φαίνεται από την παράμετρο  $R^2$  και από την SSE



Σχήμα 37. Εξέλιξη ζυμών-μυκήτων σε σαλάτα ρόκα κατά την αποθήκευσή της στους 2°C. Τα σύμβολα αναφέρονται στις πειραματικές μετρήσεις, ενώ οι γραμμές στις προβλεπόμενες τιμές μέσω του μοντέλου Baranyi από το πρόγραμμα DMfit.



Πίνακας 8. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Baranyi μέσω του DMfit για ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας στους 2, 5 και 9°C

2°C				
	m=10		m=3	
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	6.3802	5.2697	6.3808	5.3040
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0532	0.0732	0.0677	0.0751
<b>N<sub>max</sub></b>	7.5552	7.3473	7.5582	7.4210
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9868	0.9372	0.9881	0.9628
<b>SSE</b>	0.1350	0.5311	0.1284	0.4087
5°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	6.4231	5.2056	6.4064	5.1877
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0200	0.0422	0.0230	0.0489
<b>N<sub>max</sub></b>	7.8364	7.4292	8.3460	7.7319
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9741	0.9172	0.9788	0.9099
<b>SSE</b>	0.1795	0.5824	0.1624	0.6077
9°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	6.3434	5.2651	6.3486	5.2216
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0338	0.0445	0.0384	0.0551
<b>N<sub>max</sub></b>	7.5454	7.3238	7.6233	7.4397
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8816	0.8868	0.8781	0.8952
<b>SSE</b>	0.4039	0.6547	0.4099	0.6299

Πίνακας 9. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Baranyi μέσω του DMfit για ψευδομονάδες κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας στους 2, 5 και 9°C

2°C				
	m=10		m=3	
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	5.6029	5.1471	5.5905	5.1614
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0224	0.0171	0.0258	0.0173
<b>N<sub>max</sub></b>	7.3414	6.7705	7.6993	-
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9685	0.8714	0.9624	0.8692
<b>SSE</b>	0.2914	0.5064	0.3183	0.5107
5°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	5.4052	5.1220	5.4323	5.1433
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0262	0.0256	0.0257	0.0262
<b>N<sub>max</sub></b>	7.1308	6.6356	-	7.7049
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8480	0.8441	0.8435	0.8274
<b>SSE</b>	0.5734	0.5372	0.5818	0.5653
9°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	5.4508	5.1043	5.4566	5.1128
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0324	0.0336	0.0376	0.0366
<b>N<sub>max</sub></b>	6.8110	6.7447	6.8869	7.0168
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8521	0.7974	0.7644	0.7335
<b>SSE</b>	0.5079	0.7159	0.6410	0.8212

Πίνακας 10. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Baranyi μέσω του DMfit για γαλακτικά βακτήρια κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας στους 2, 5 και 9°C

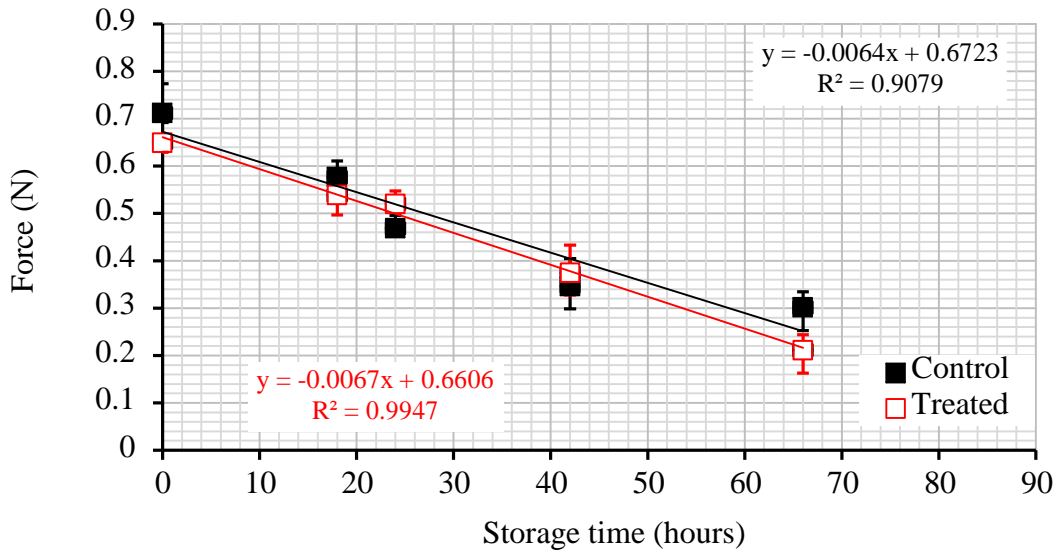
2°C				
	m=10		m=3	
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	3.8500	3.6197	3.8500	3.6145
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0545	0.0387	0.0718	0.0492
<b>N<sub>max</sub></b>	5.0041	4.6490	5.0050	4.6478
<b>R<sup>2</sup></b>	0.7689	0.9248	0.7688	0.9125
<b>SSE</b>	0.5903	0.2877	0.5904	0.3104
5°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	3.8553	3.7778	5.8928	3.7752
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0633	0.0277	0.0713	0.0294
<b>N<sub>max</sub></b>	3.8675	54.3415	6.0160	20.9503
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9476	0.7786	0.9751	0.7786
<b>SSE</b>	0.4486	0.7975	0.3096	0.7973
9°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	3.8616	3.6216	3.8723	3.6216
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0461	0.0469	0.0519	0.0556
<b>N<sub>max</sub></b>	5.2543	5.0414	5.3333	5.0886
<b>R<sup>2</sup></b>	0.9049	0.9811	0.9392	0.9907
<b>SSE</b>	0.4189	0.1865	0.3350	0.1311

Πίνακας 11. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Baranyi μέσω του DMfit για ζύμες-μύκητες κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας στους 2, 5 και 9°C

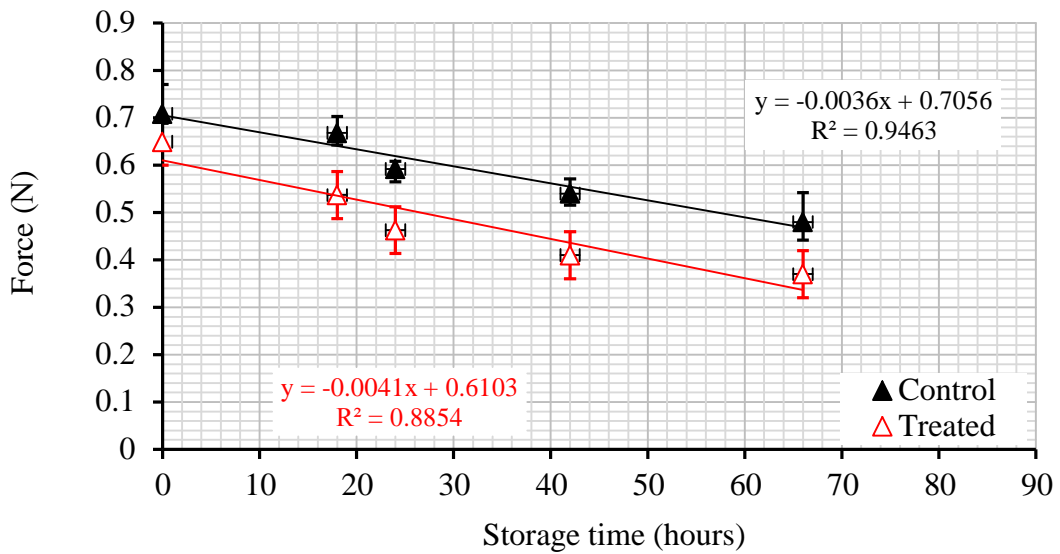
2°C				
	m=10		m=3	
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	3.9037	3.3393	3.8918	3.3393
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0328	0.0184	0.0334	0.0193
<b>N<sub>max</sub></b>	13.0887	-	-	-
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8856	0.7857	0.8861	0.8571
<b>SSE</b>	0.5692	0.7480	0.5680	0.7480
5°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	3.6703	3.1955	3.6701	3.2307
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0327	0.0194	0.0378	0.0181
<b>N<sub>max</sub></b>	5.1223	4.3573	5.2386	-
<b>R<sup>2</sup></b>	0.7635	0.4480	0.7226	0.4350
<b>SSE</b>	0.6961	0.8702	0.7539	0.8804
9°C				
	Control	Treated	Control	Treated
<b>N<sub>0</sub></b>	3.6440	3.3879	3.6594	3.3835
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0312	0.0310	0.0350	0.0386
<b>N<sub>max</sub></b>	5.0184	4.5126	5.1294	4.5202
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8021	0.7332	0.7094	0.6350
<b>SSE</b>	0.5970	0.5908	0.7234	0.6910

## 5.6 Μεταβολή της υφής κατά την αποθήκευση.

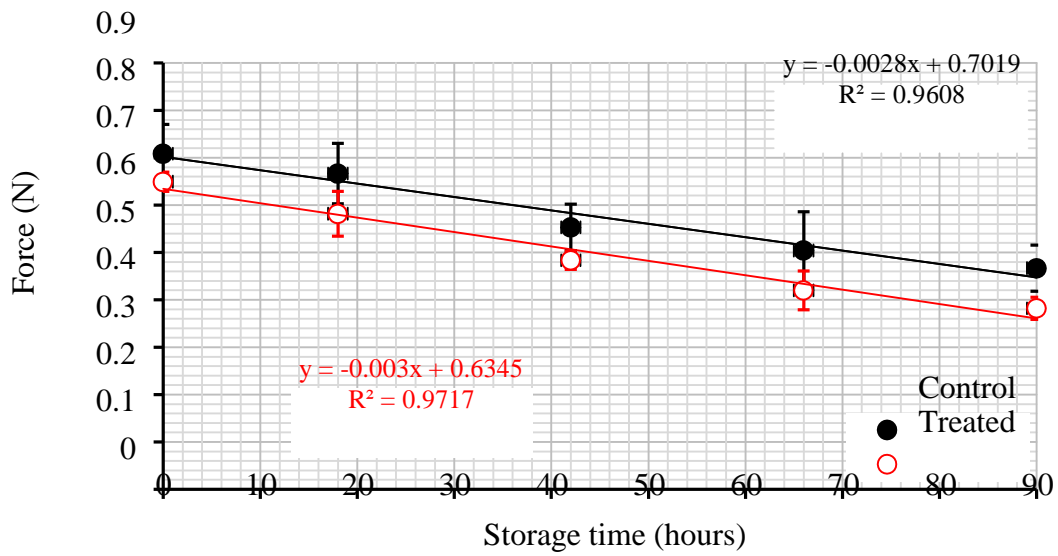
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα αποθήκευσης επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων δειγμάτων σε θερμοκρασίες 2, 5 και 9°C. Τα δεδομένα ακολουθούν μια κινητική μηδενικής τάξης τουλάχιστον τις πρώτες 70 ώρες. Επίσης παρατηρείται μείωση της σκληρότητας των φύλλων με την αύξηση των ωρών αποθήκευσης και στις 3 θερμοκρασίες αποθήκευσης (Σχήματα 38-40). Τέλος, παρατηρώντας το Σχήμα 41, η μείωση της σκληρότητας των φύλλων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση.



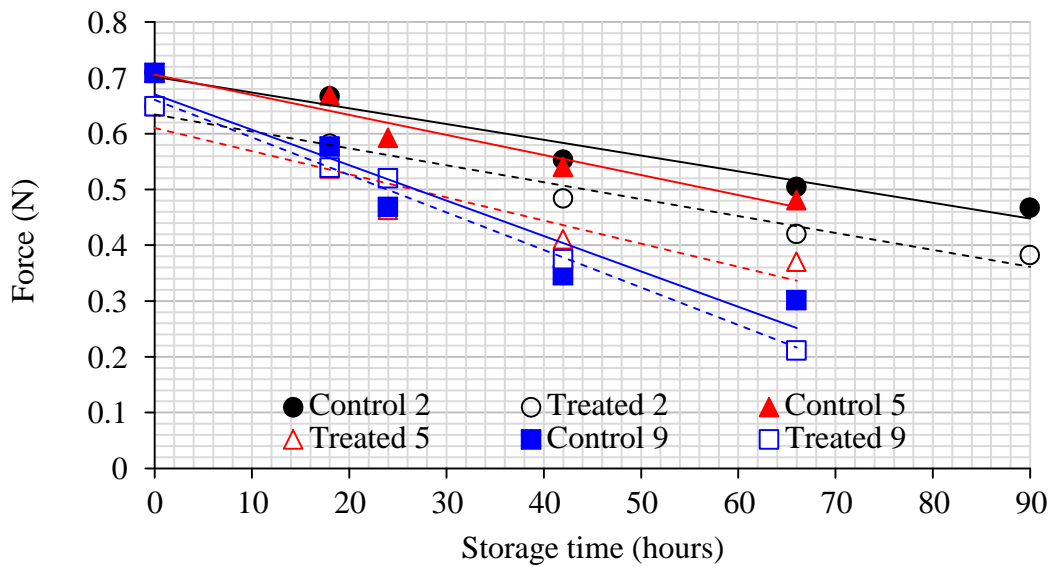
Σχήμα 38. Απεικόνιση σκληρότητας φύλλων ρόκας κατά την αποθήκευσή τους στους 9°C.



Σχήμα 39. Απεικόνιση σκληρότητας φύλλων ρόκας κατά την αποθήκευσή τους στους 5°C.



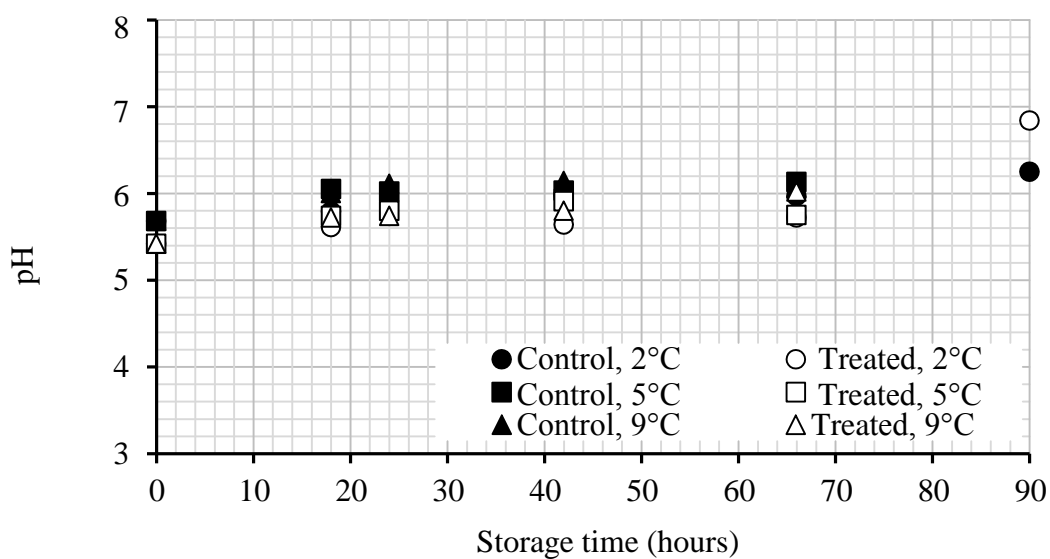
Σχήμα 40. Απεικόνιση σκληρότητας φύλλων ρόκας κατά την αποθήκευσή τους στους 2°C.



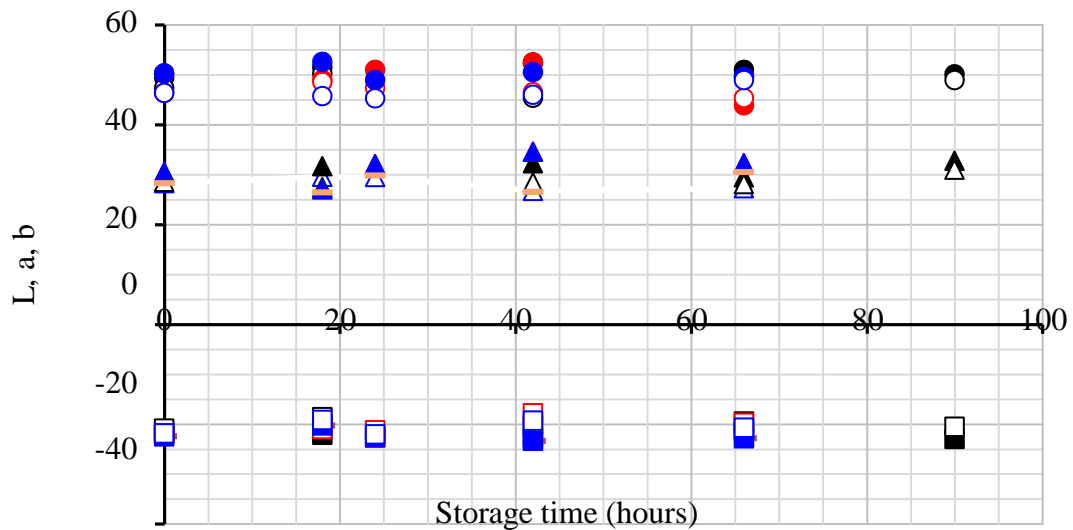
Σχήμα 41. Σύγκριση σκληρότητας φύλλων ρόκας κατά την αποθήκευσή τους στους 2, 5 και 9°C

## 5.7 Μεταβολή του pH και του χρώματος κατά την αποθήκευση.

Στο Σχήμα 42 παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής του pH και στο Σχήμα 43 η μεταβολή του χρώματος κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας σε 3 διαφορετικές θερμοκρασίες, στους 2, 5 και 9°C. Παρατηρώντας τα διάγραμμα δεν παρατηρείται καμία διαφορά της τιμής του pH και του χρώματος, μεταξύ των επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων δειγμάτων, με την αύξηση των ωρών αποθήκευσης ή με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης.



Σχήμα 42. Απεικόνιση της τιμής pH κατά την αποθήκευση σαλάτα ρόκα στους 2, 5 και 9°C.



Σχήμα 43. Απεικόνιση του χρώματος κατά την αποθήκευση σαλάτα ρόκα. Τα σύμβολα απεικονίζουν τις 3 παραμέτρους, το σχήμα  $\circ$  συμβολίζει την παράμετρο L, το σχήμα  $\square$  την a και το σχήμα  $\Delta$  την b. Τα κλειστά σύμβολα αντιπροσωπεύουν τα μη επεξεργασμένα δείγματα ενώ τα ανοικτά τα επεξεργασμένα. Το μπλε, το κόκκινο και το μαύρο χρώμα  $\square$  αντιπροσωπεύουν τους  $9^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$  και τους  $2^{\circ}\text{C}$  αντιστοίχως.



## 5.8 Επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση και υπολογισμός χρόνου ζωής

Σε μια προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνθετο μοντέλο, όπου ενσωματώθηκε η εξίσωση Arrhenius στο πρωτογενές μοντέλο, δηλαδή την εξίσωση Gombertz. Στους Πίνακες 12-16 παρουσιάζονται οι παράμετροι του μοντέλου Gombertz μέσω Systat. Με εξαίρεση τις ζύμες μύκητες (Σχήματα 44 G, H) και για τις ψευδομονάδες (Σχήμα D) με την αύξηση της θερμοκρασίας υπήρξε ελαφρώς αυξανόμενο ρυθμός ανάπτυξης, το οποίο επιβεβαιώνεται από τις θετικές τιμές των Ενεργειών Ενεργοποίησης στους Πίνακες 13 και 15, ενώ στα υπόλοιπα διαγράμματα δεν παρατηρήθηκε καμία επίδραση της θερμοκρασίας.

Όσον αναφορά τον υπολογισμό χρόνου ζωής, ως κριτήριο επιλέχθηκε η ολική μεσόφιλη χλωρίδα, η οποία είναι ο κυρίαρχος μικροοργανισμός της χλωρίδας της σαλάτας ρόκα. Ο μέγιστος πληθυσμός μικροοργανισμών που η σαλάτα είναι στα αποδεκτά όρια για κατανάλωσή είναι  $10^7 \log(\text{CFU/g})$  και ως θερμοκρασίας αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η  $T_{\text{ref}}=5^\circ\text{C}$ . Σύμφωνα με το Σχήμα 45 και την μοντελοποίηση που έγινε, ο ρυθμός ανάπτυξης είναι 0,038 για τα μη επεξεργασμένα δείγματα, ενώ για επεξεργασμένα είναι 0,057 στην θερμοκρασίας αναφοράς. Οπότε ο χρόνος ζωής υπολογίζεται ως εξής:

$$t = \frac{N_{\text{max}} - N_0}{m} \quad (7)$$

όπου  $N_{\text{max}}=10^7 \log$ ,  $N_0=6.38021 \log$  για τα μη επεξεργασμένα δείγματα και  $N_0=5.268 \log$  για τα επεξεργασμένα δείγματα, οπότε ο χρόνος ζωής είναι 16 και 30 ώρες αντίστοιχα.

Πίνακας 12 Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Gombertz με ενσωματωμένη την εξίσωση Arrhenius μέσω του Systat για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας κατά την αποθήκευση

	<b>Control</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	6.297	6.079	6.514
<b>N<sub>max</sub></b>	7.592	7.317	7.867
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.038	0.023	0.052
<b>E<sub>a</sub></b>	-24131.2	-78014.7	29752.22
<b>R<sup>2</sup></b>	0.908		
<b>SSE</b>	0.027		
	<b>Treated</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	5.105	4.827	5.382
<b>N<sub>max</sub></b>	7.474	7.1	7.848
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.057	0.04	0.073
<b>E<sub>a</sub></b>	-20650	-58150	-16849.5
<b>R<sup>2</sup></b>	0.949		
<b>SSE</b>	0.046		

Πίνακας 13. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Gombertz με ενσωματωμένη την εξίσωση Arrhenius μέσω του Systat για ζύμες- μύκητες κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας κατά την αποθήκευση

	<b>Control</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	3.617	3.289	3.946
<b>N<sub>max</sub></b>	5.468	4.546	6.391
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.026	0.013	0.039
<b>E<sub>a</sub></b>	37064.5	-17896	92025.1
<b>R<sup>2</sup></b>	0.824		
<b>SSE</b>	0.081		
	<b>Treated</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	3.238	2.862	3.615
<b>N<sub>max</sub></b>	4.869	3.87	5.867
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.023	0.008	0.039
<b>E<sub>a</sub></b>	42413.3	-28689	113516
<b>R<sup>2</sup></b>	0.74		
<b>SSE</b>	0.105		

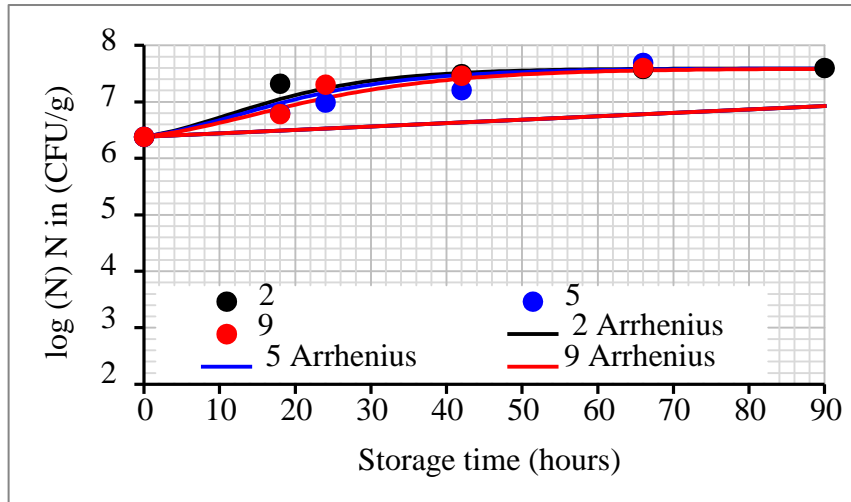
Πίνακας 14. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Gombertz με ενσωματωμένη την εξίσωση Arrhenius μέσω του Systat για γαλακτικά βακτήρια κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας

	<b>Control</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	3.742	3.271	4.212
<b>N<sub>max</sub></b>	5.354	4.783	5.924
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.069	0.023	0.116
<b>E<sub>a</sub></b>	-26883.7	-132366	78599.17
<b>R<sup>2</sup></b>	0.782		
<b>SSE</b>	0.12		
	<b>Treated</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	3.5437	3.1445	3.9428
<b>N<sub>max</sub></b>	4.9579	4.465	5.4507
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.0475	0.0168	0.0782
<b>E<sub>a</sub></b>	33504.6	-63157	130166
<b>R<sup>2</sup></b>	0.7875		
<b>SSE</b>	0.087		

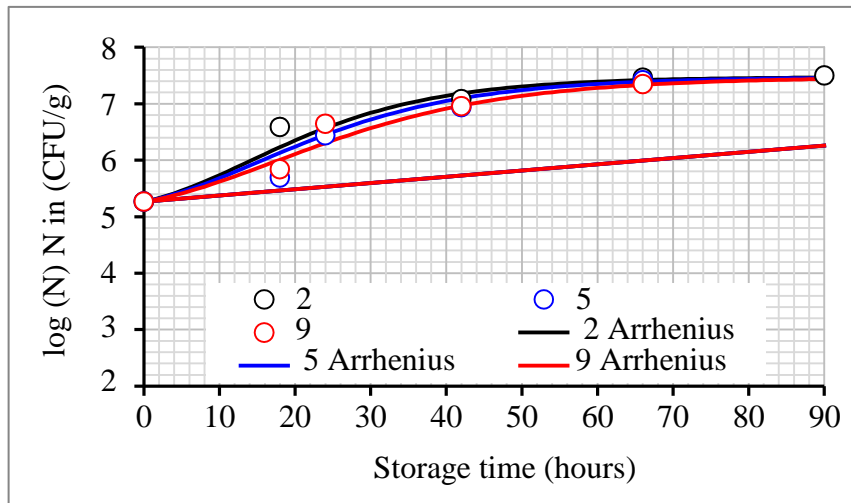
Πίνακας 15. Παρουσίαση των παραμέτρων του μοντέλου Gombertz με ενσωματωμένη την εξίσωση Arrhenius μέσω του Systat για ψευδομονάδες κατά την αποθήκευση σαλάτας ρόκας

	<b>Control</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	5.265	5.02	5.509
<b>N<sub>max</sub></b>	7.392	6.763	8.02
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.03	0.02	0.04
<b>E<sub>a</sub></b>	-21130.4	-61460.5	19199.68
<b>R<sup>2</sup></b>	0.918		
<b>SSE</b>	0.046		
	<b>Treated</b>		
	<b>Estimate</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper 95%</b>
<b>N<sub>0</sub></b>	5.038	4.832	5.244
<b>N<sub>max</sub></b>	7.069	6.359	7.779
<b>T<sub>ref</sub></b>	0.026	0.018	0.033
<b>E<sub>a</sub></b>	53005.1	20602.1	85408
<b>R<sup>2</sup></b>	0.923		
<b>SSE</b>	0.034		

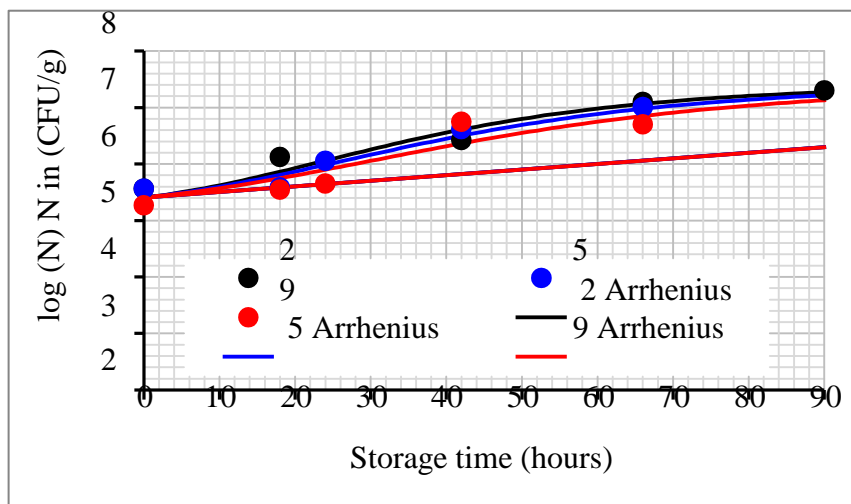
A



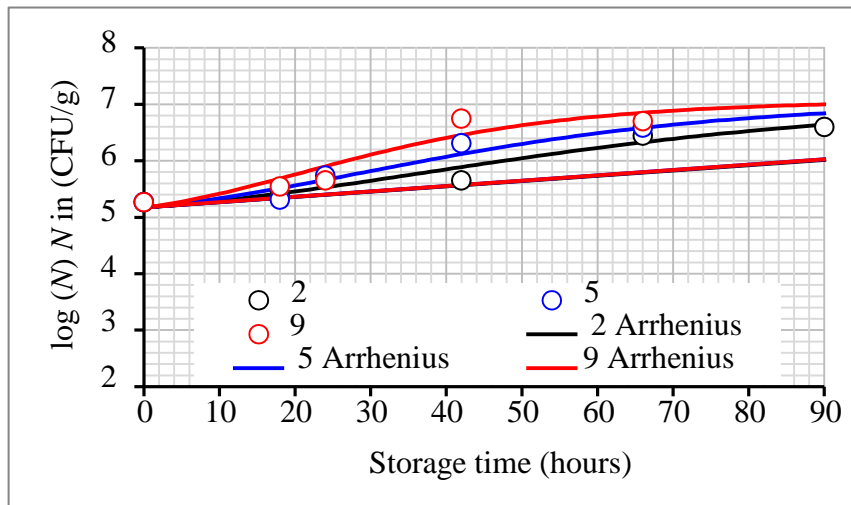
B



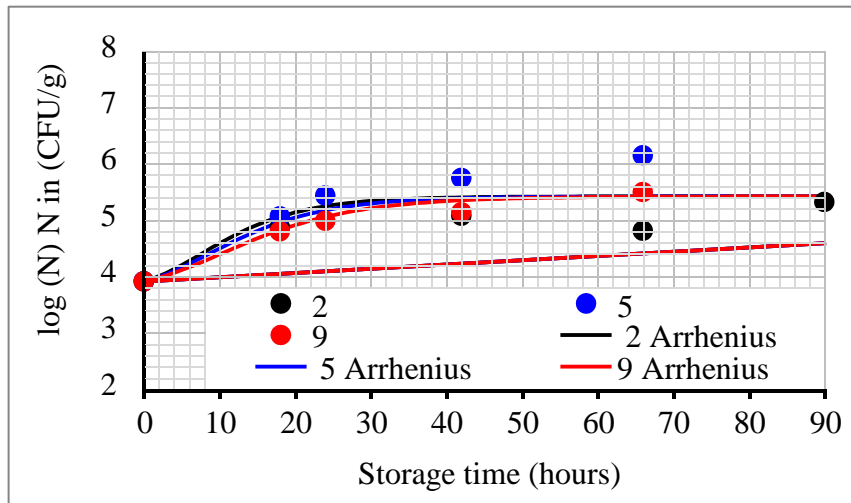
C



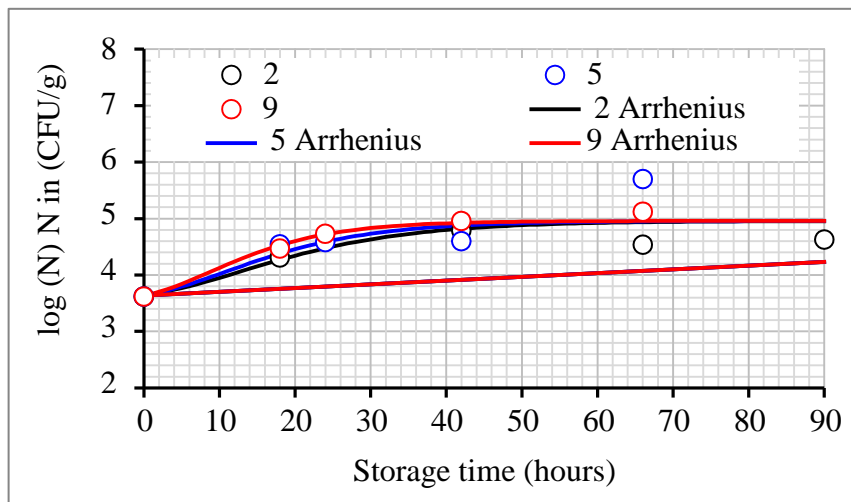
D



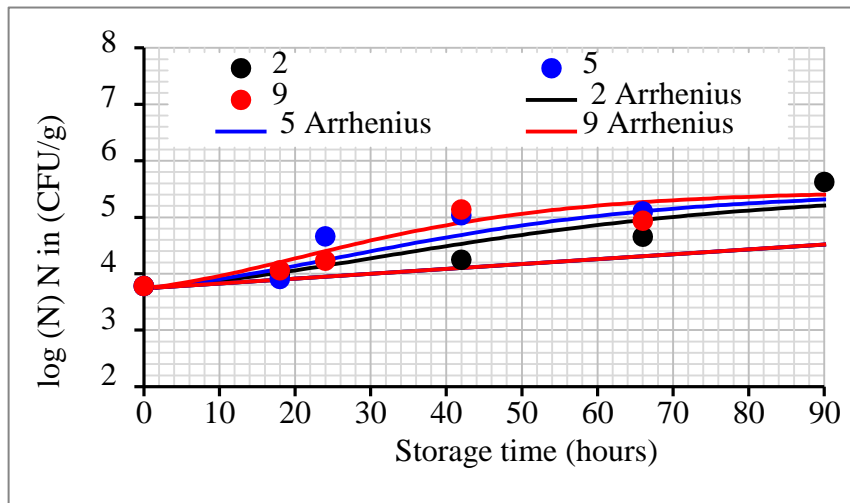
E



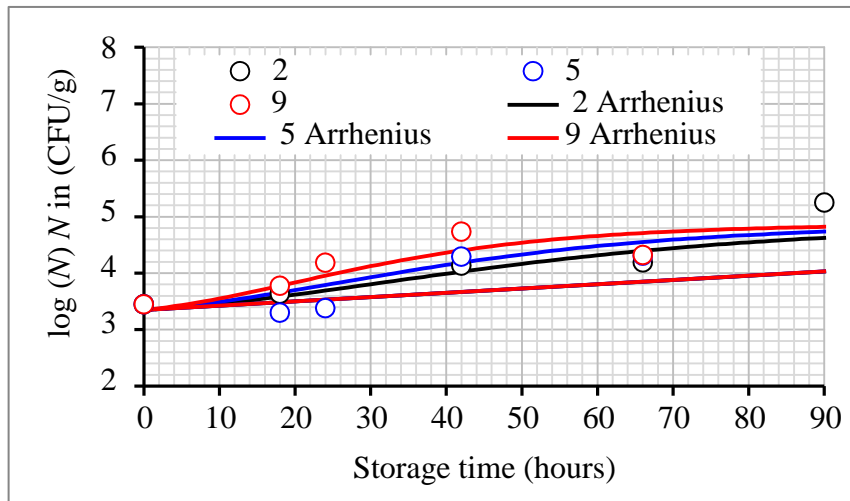
F



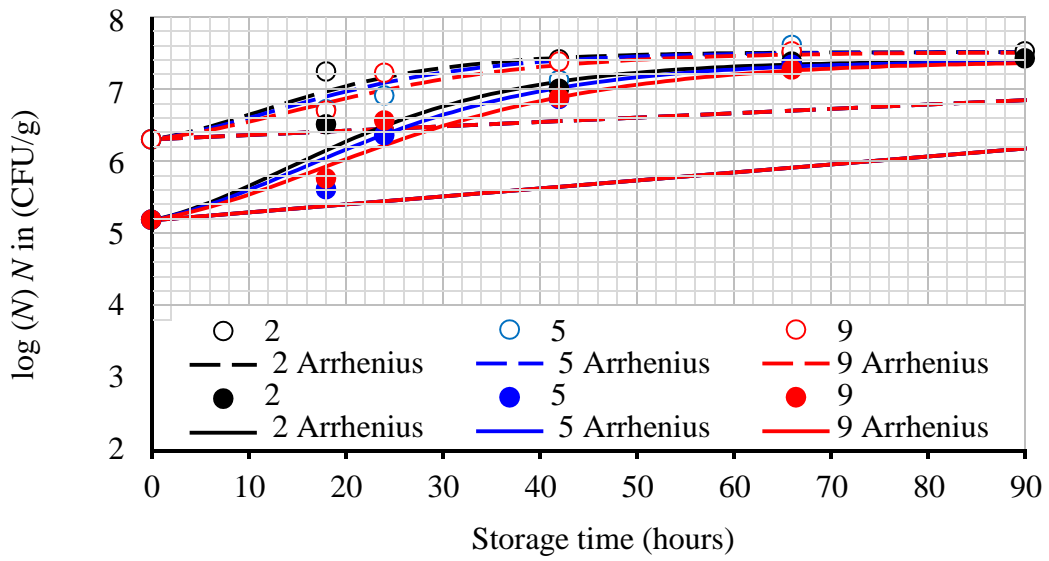
G



H



Σχήμα 44. Επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση των δειγμάτων με βάση τον μετρούμενο μικροοργανισμό. A, B Ολική μεσόφιλη χλωρίδα σε μη επεξεργασμένο και επεξεργασμένο δείγμα αντίστοιχα, C, D: ψευδομονάδες σε μη επεξεργασμένο και επεξεργασμένο δείγμα αντίστοιχα, E, F: γαλακτικά βακτήρια σε μη επεξεργασμένο και επεξεργασμένο δείγμα αντίστοιχα και G, H: ζύμες μύκητες σε μη επεξεργασμένο και επεξεργασμένο δείγμα αντίστοιχα.



Σχήμα 45. Επίδραση της θερμοκρασίας αποθήκευσης, στην ολική μεσόφιλη χλωρίδα. Τα κλειστά σύμβολα απεικονίζουν τα μη επεξεργασμένα δείγματα, τα ανοικτά τα επεξεργασμένα, ενώ οι συνεχόμενες γραμμές παρουσιάζουν τις προβλεπόμενες τιμές των μη επεξεργασμένων και οι μη συνεχόμενες των επεξεργασμένων.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της επίδρασης της τεχνολογίας του κρύου πλάσματος στους δείκτες ποιότητας και ασφάλειας έτοιμης προς κατανάλωσης σαλάτας είναι τα ακόλουθα:

Υπήρξε μικρότερη του 0,5 log(CFU/gr) μείωση στην ολική μεσόφιλη χλωρίδα για τους χρόνους 10, 15, 20 min για 60 και 70% ισχύ

Όσον αναφορά τα γαλακτικά βακτήρια, παρατηρήθηκε μείωση 1 log(CFU/gr) για 10, 15, 20 min και για 60% ισχύ, ενώ για ισχύ 70% η μείωση παρουσιάστηκε και στα 5 min.

Παρουσιάστηκε μείωση 0,5 log(CFU/gr) στους μικροοργανισμούς ζύμες-μύκητες για επεξεργασία 20 min και για ισχύ 60%, ενώ για 70% παρουσιάστηκε μια μικρή μείωση στα 5 και 15 min επεξεργασίας.

Οι ψευδομονάδες εμφάνισαν μείωση 0,5 log(CFU/gr) για ισχύ 60% και για χρόνους επεξεργασίας 10, 15 min, ενώ για 70% ισχύ δεν παρατηρήθηκε μείωση μικροοργανισμών.

Όσον αναφορά την υφή των δειγμάτων τα επεξεργασμένα δείγματα παρουσίασαν μικρότερη αντίσταση στη δύναμη σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα, ενώ με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας και της ισχύς δεν παρατηρήθηκε ανάλογη αύξηση.

Τα επεξεργασμένα δείγματα δεν παρουσίασαν μεταβολή της τιμής pH για ισχύ 60%, ενώ για 70% σημειώθηκε μια μικρή μείωση στα 15 και 20 min.

Στο χρώμα δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά ανάμεσα στα επεξεργασμένα και μη επεξεργασμένα δείγματα.

Κατά την αποθήκευση των δειγμάτων στους 2, 5, 9°C Ο ρυθμός ανάπτυξης των ζυμών-μυκήτων, γαλακτικών βακτηρίων και της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας μεταξύ των επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων δειγμάτων είχαν διαφορά κατά την αποθήκευση αυτών και στις 3 θερμοκρασίες χωρίς κάποια συγκεκριμένη τάση, ενώ στην επιβίωση των ψευδομονάδων παρατηρήθηκε αυξημένο ρυθμό ανάπτυξης με την αύξηση της θερμοκρασίας γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από την κινητική μελέτη που πραγματοποιήθηκε με τα μοντέλα Gombertz μέσω του Excel και της εφαρμογής solver και Baranyi μέσω του προγράμματος Systat. Τα 2 προγράμματα ήταν ισοδύναμα, επομένως οι παράμετροι δεν παρουσίασαν



μεγάλες διαφορές. Ορισμένες παράμετροι παρουσίασαν μεγάλη διακύμανση κυρίως λόγω έλλειψης αριθμητικών δεδομένων.

Το μοντέλο Baranyi μελετήθηκε και μέσω του προγράμματος DMfit. Η προσαρμογή των δεδομένων μέσω αυτού του προγράμματος δεν ήταν τόσο καλή σε σχέση με το πρόγραμμα Systat.

Το χρώμα και το pH δεν παρουσίασε μεταβολή κατά την αποθήκευση των δειγμάτων στις τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες.

Τα δείγματα σαλάτας ρόκα κατά την αποθήκευσή τους παρουσίασαν μείωση σκληρότητας με την αύξηση θερμοκρασίας αποθήκευσης και με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης.

Επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση παρατηρήθηκε στο μετρούμενο μικροοργανισμό ψευδομονάδες για τα επεξεργασμένα δείγματα και στις ζύμες – μύκητες για τα επεξεργασμένα και μη, δείγματα, ενώ στους άλλους δεν υπήρχε καμία επίδραση.

Ο χρόνος ζωής υπολογίστηκε σύμφωνα με την κυρίαρχη χλωρίδα του τροφίμου η οποία είναι η ολική μεσόφιλη χλωρίδα, σε 15 και 30 ώρες για τα μη επεξεργασμένα και επεξεργασμένα δείγματα αντιστοίχως

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής

1. Allende A., Aguayo E. and Arte's F., 2003. Microbial and sensory quality of commercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life. *International Journal of Food Microbiology* 91(2004): 109–117. [http://dx.doi:10.1016/S0168-1605\(03\)00373-8](http://dx.doi:10.1016/S0168-1605(03)00373-8).
2. Alldrick A.J, 2016. *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition., 89-102. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100155-4.00007-8>.
3. Baier M., Foerster J., Schnabelb U., Knorr D., Ehlbeckb J., Herppich W.B. and Schlüter O. 2013. Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: Evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. *Postharvest Biology and Technology*, 84: 81–87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.022>.
4. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). 1978. Recommendations on uniform color spaces-color difference equations, psychometric color terms. Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15 (E-I.3.1) 1971/(TC-1.3), Paris.
5. Chen X and Hung Y. 2018. Development of a chlorine dosing strategy for fresh produce washing process to maintain microbial food safety and minimize residual chlorine. *Journal of Food Science*. 83(6): 1701-1706. <http://dx.doi: 10.1111/1750-3841.14189>.
6. Codex Alimentarius Commission, 2004. Risk Assessment of *Listeria monocytogenes*. In Ready to Eat Foods: Guidelines. FAO/WHO Microbiological Risk Assessment Series 4. Food and Agriculture Organisation, Rome.
7. Deng S., Ruan R., Kyoonmok C., Huang G., Lin X. and Chen P. 2007. Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma. *Food Microbiology and Safety. Journal of Food Science*. 72(2), <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00275.x>.
8. Fan X. and Sokorai K. 2015. Formation of trichloromethane in chlorinated water and fresh-cut produce and as a result of reaction with citric acid. *Postharvest Biology and Technology*. 109: 65-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.0090925-5214>.

9. Fernández A., Noriega E. and Thompson A. 2013. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. *Food Microbiology* 33: 24-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2012.08.007>.
10. Georgescu N., Apostol L. and Gherendi F. 2017. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* on egg surface, by direct and indirect treatments with cold atmospheric plasma. *Food Control* 76: 52-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.01.0050956-7135>.
11. Giannakourou, M.C., and Stoforos, N.G., 2018. Principles of Kinetic Modeling of Safety and Quality Attributes of Foods. In: *Food Process Engineering and Quality Assurance*, Chapter 13, p. 377-437, C.O. Mohan, E. Carvajal-Millan, C.N. Ravishankar, and A.K. Haghi, (Eds), Apple Academic Press Inc., Watetown, NJ, <http://www.appleacademicpress.com/food-process-engineering-and-quality-assurance-/9781771885768>.
12. Hurst W. 2002. *Fresh-cut Fruits and Vegetables*. New York, CRS Press. Pp45-47.
13. Kader A. 2002. *Fresh-cut Fruits and Vegetables*. New York, CRS Press. Pp 11-14.
14. Kim J.G., Luo Y. and Gross K., 2003. Effect of package film on the quality of fresh-cut salad savoy. *Postharvest Biology and Technology*. 32(2004): 99–107. <http://dx.doi:10.1016/j.postharvbio.2003.10.006>.
15. Leong S. Y. and Oey I. 2017. Measures of Food Quality. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21140-2>.
16. Liu W., Ji J., Chen H., Ye C. 2014. Optimal Color Design of Psychological Counseling Room by Design of Experiments and Response Surface Methodology. *PLoS ONE* 9(3). <https://dx.doi:10.1371/journal.pone.0090646>
17. Manninen H., Paakki M., Hopia A. and Franzen R. 2015. Measuring the green color of vegetables from digital images using image analysis. *Food Science and Technology*, 63: 1184-1190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.0050023-6438>.
18. Martinez-Sanchez A., Allende A., Bemmett R.N., Ferreres F., Gil M.I. 2006. Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology*. 42:86-97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.05.010>.
19. Moisan M., Barbeau J., Moreau S., Pelletier J., Tabrizian M. and Yahia H. 2001. Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. *International Journal of Pharmaceutics* 226: 1–21. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(01\)00752-9](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00752-9).

20. Niemira B., Boyd G., and Sites J. 2014. *Journal of Food Science* Vol. 00, Nr. 0. [https://doi: 10.1111/1750-3841.12379](https://doi.org/10.1111/1750-3841.12379).
21. Pasquali F., Stratakos A., Koidis A., Berardinelli A., Cevoli C., Ragni L., Mancusi R., Manfreda G. and Trevisani M. 2016. Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination. A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus* L.). *Food Control* 60: 552-559. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.0430956-7135/>.
22. Quedsted T.E., Cook P.E., Gorris L.G.M. and Cole M.B. 2013. Trends in technology, trade and consumption likely to impact on microbial food safety. *International Journal of Food Microbiology* 139: S29–S42. [https://doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.043](https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.043).
23. Schluter O. and Frohling A. 2014. Cold Plasma for Bioefficient Food Processing. *Encyclopedia of Food Microbiology*. 2: 948-942. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00402-X>.
24. Shaw A., Shama G. and Iza F., 2015. Emerging applications of low temperature gas plasmas in the food industry. *Biointerphases* 10(2): 029402-1 - 029402-12. <https://doi.org/10.1116/1.4914029>.
25. Stephan R., Althaus D., Kiefer S., Lehner A., Hatz C., Schmutz C., Jost M., Gerber N., Baumgartner A., Heachler H. and Meausezahl-Feuz M. 2014. Foodborne transmission of *Listeria monocytogenes* via ready-to-eat salad: A nationwide outbreak in Switzerland, 2013-2014. *Food Control* 57: 14-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.03.0340956-7135/>.
26. Taban B. M. and Halkman A. K. 2011. Do leafy green vegetables and their ready-to-eat [RTE] salads carry a risk of foodborne pathogens? *Anaerobe* 17: 286-287. [https://doi:10.1016/j.anaerobe.2011.04.004](https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2011.04.004).
27. Zuizina D., Patil S., Cullen P., Keener K. and Bourke P. 2014. Atmospheric Cold Plasma Inactivation of *Escherichia Coli*, *Salmonella Enterica* Serovar Typhimurium and *Listeria Monocytogenes* Inoculated on Fresh Produce. *Food Microbiology*, 42: 109-116. [https://doi: 10.1016/j.fm.2014.02.007](https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.007).
28. Ziuzina D., Misra N. 2016. Cold Plasma in Food and Agriculture. Academic press. 223-244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801365-6.00009-3>.

#### Ελληνική

1. Παπαδάκης Σ. 2010. Συσκευασία Τροφίμων, Εκδόσεις Τζιόλα, σελ. 357-360.