



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Σύνθεσης και Ανάπτυξης Βιομηχανικών Διαδικασιών (IV)

Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων

*Μελέτη εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας για την ανάπτυξη
προϊόντων αλόης με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά*



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΥΚΟΥΒΑΟΥ ΑΝΤΙΓΟΝΗ

Επιβλέπων καθηγητής : Ταούκης Πέτρος

ΑΘΗΝΑ

Σεπτέμβριος 2018

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Πέτρου Ταούκη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ταούκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να εργαστώ στην ομάδα του και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το παρόν θέμα, καθώς και για την καθοδήγηση του και τις ωφέλιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της διπλωματικής μου εργασίας.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Δρ. Γώγου Ελένη, η οποία, πάντοτε πρόθυμα, με τις γνώσεις της μου προσέφερε συνεχή υποστήριξη και πολύτιμη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, οι οποίοι είχαν πάντοτε την καλή διάθεση να βοηθήσουν και να επιλύσουν τις απορίες μου, καθώς και για το οικείο και ευχάριστο κλίμα που δημιούργησαν.

Τέλος, τις θερμότερες μου ευχαριστίες θα ήθελα να τις εκφράσω στους γονείς μου, οι οποίοι με στήριξαν με κάθε τρόπο σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και στους φίλους μου, που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια την αγάπη τους και την στήριξή τους.

Κουκουβάου Αντιγόνη

Αθήνα, 2018

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η συγκριτική μελέτη της επίδρασης της θερμικής παστερίωσης και της μη θερμικής τεχνολογίας, Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ), σε επιλεγμένους ποιοτικούς δείκτες της γέλης *Aloe vera*. Τα χαρακτηριστικά τα οποία μελετήθηκαν είναι το χρώμα και πιο συγκεκριμένα ο δείκτης αμαύρωσης, το μικροβιακό φορτίο και η αντιοξειδωτική δράση σε γέλη αλόης ($m_w=98,8\%$, $pH=4,75$). Επιπλέον, στην επεξεργασία με ΥΠ μελετήθηκε η επίδρασή της στη συγκέντρωση των ακετυλομαννανών (βασικός δομικός πολυσακχαρίτης) καθώς και στην ενεργότητα του ενζύμου β-μαννανάση. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν και δημιουργήθηκαν δύο διαφορετικά προϊόντα: (α) γέλη αλόης και (β) προϊόν με βάση τη γέλη αλόης εμπλουτισμένο με αφέψημα τσαγιού *Sideritis* με χρήση των δύο εναλλακτικών μεθόδων παστερίωσης: (α) συμβατική θερμική παστερίωση και (β) ψυχρή παστερίωση με ΥΠ. Τέλος, μελετήθηκε η χρονική εξέλιξη της ποιοτικής υποβάθμισης των δύο προϊόντων κατά την αποθήκευσή τους σε διαφορετικές θερμοκρασίες στο θερμοκρασιακό εύρος 5-35°C με τον προσδιορισμό επιλεγμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών (συγκέντρωση βιταμίνης C, δείκτης αμαύρωσης, μικροβιακό φορτίο και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά) με στόχο την εκτίμηση της διατηρησιμότητας τους.

Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας έγινε διερεύνηση της επίδρασης κάθε επεξεργασίας παστερίωσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της γέλης, με σκοπό να επιλεχθούν οι κατάλληλες συνθήκες για κάθε τεχνολογία. Δείγματα γέλης αλόης επεξεργάστηκαν για μεγάλο εύρος τιμών παραμέτρων των διεργασιών. Η θερμική επεξεργασία εφαρμόστηκε για το θερμοκρασιακό εύρος 70-90°C και η ΥΠ για εύρος πιέσεων 200-600 MPa (θερμοκρασία περιβάλλοντος) για διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας.

Παρατηρήθηκε ότι και οι δύο τεχνολογίες επεξεργασίας οδήγησαν σε μεταβολή του χρώματος, αλλά ιδιαίτερα η θερμική παστερίωση οδήγησε σε ανεπιθύμητη αύξηση του δείκτη αμαύρωσης. Ο ρυθμός αύξησης των δύο αυτών δεικτών (ολικό χρώμα και δείκτης αμαύρωσης), αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία επεξεργασίας, με μέγιστο στους 90 °C ενώ αντίστοιχα για τη ΥΠ για τη μεταβολή χρώματος έχουμε μέγιστο ρυθμό στα 600 MPa και χαμηλό δείκτη αμαύρωσης για όλες τις πιέσεις. Η αντιοξειδωτική δράση της γέλης αλόης μειώνεται,

σε σχέση με το φρέσκο (μη επεξεργασμένο) δείγμα, με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας με το φαινόμενο να είναι πιο έντονο στην μέγιστη θερμοκρασία παστερίωσης (90°C). Αντίθετα, η εφαρμογή ΥΠ στα 200 MPa δεν επηρεάζει την αντιοξειδωτική δράση. Στην ΥΠ των 400 MPa παρατηρήθηκε αύξηση κατά 10% για χρόνο επεξεργασίας 5 και 10 min, το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε ενίσχυση της εκχυλισιμότητας/διαθεσιμότητας των περιεχομένων αντιοξειδωτικών συστατικών μετά την εφαρμογή των πιέσεων, ενώ στα 600 MPa και για όλους τους χρόνους επεξεργασίας η αντιοξειδωτική δράση μειώθηκε έως και 20%. Τόσο η θερμική παστερίωση όσο και η ΥΠ ήταν αποτελεσματικές ως προς τη μείωση/καταστροφή της φυσικής μικροβιακής χλωρίδας σε όλες τις συνθήκες επεξεργασίας, με το ολικό μικροβιακό φορτίο μετά την επεξεργασία να είναι μη ανιχνεύσιμο (<1 logcfu/mL). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φυσική μικροβιακή χλωρίδα της γέλης αλόης ήταν αρκετά χαμηλή, έως και 3.6 logcfu/mL οπότε δεν ήταν απαραίτητη η εφαρμογή έντονων συνθηκών παστερίωσης για την παραγωγή μικροβιακά σταθερών προϊόντων γέλης αλόης.

Όσον αφορά στη μελέτη της ενεργότητας των β-μαννανασών σε επεξεργασμένα με ΥΠ δείγματα γέλης, δεν μπόρεσαν να εξαχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα, πιθανότατα λόγω χαμηλής ή/και μερικής ανάκτησης του ενζύμου, είτε λόγω πιθανής παρεμπόδισης στη μέτρηση της δράσης του ενζύμου από τα αναγωγικά σάκχαρα τα οποία υπάρχουν σε αφθονία στη γέλη αλόης. Από τις μετρήσεις για την επίδραση της ΥΠ στις ακετυλομαννάνες της γέλης αλόης, παρατηρήθηκε μείωση των περιεχόμενων ακετυλομαννανών σχεδόν στο σύνολο των συνθηκών επεξεργασίας. Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή πίεσης 200 MPa για χρόνο 20 min οδήγησε σε οριακή αύξηση (5%), που πιθανόν να οφείλεται σε αύξηση της διαθεσιμότητας των ακετυλομαννανών λόγω φαινομένων εκχύλισης στους φυτικούς ιστούς τα οποία ευνοούνται σε χαμηλά εύρη πιέσεων.

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας μελέτης επιλέχθηκαν ως βέλτιστες συνθήκες θερμικής και ψυχρής παστερίωσης (ΥΠ) η επεξεργασία στους (α) 90°C, 1 min και (β) 600 MPa, 3 min, αντίστοιχα. Εφαρμόζοντας τις παραπάνω συνθήκες παστερίωσης παράχθηκαν ικανές ποσότητες προϊόντων (α) γέλης αλόης και (β) γέλης αλόης με αφέψημα τσαγιού για να πραγματοποιηθεί μελέτη διατηρησιμότητας τους σε θερμοκρασίες αποθήκευσης των 5, 25 και 35°C. Η μεταβολή της βιταμίνης C, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, παρατηρήθηκε ότι ακολουθεί εκθετική μείωση με

ρυθμό μείωσης συγκέντρωσης για το προϊόν γέλη αλόης/τσάι, για θερμικά παστεριωμένο δείγμα αποθηκευμένο, ενδεικτικά, σε θερμοκρασία αναφοράς 25°C $k_{vitC}=0,0099 d^{-1}$, ενώ για δείγμα επεξεργασμένο με ΥΠ $k_{vitC}= 0,0079 d^{-1}$. Για το προϊόν γέλη αλόης, για θερμικά παστεριωμένο αντίστοιχα για θερμοκρασία αναφοράς $k_{vitC}= 0,0024 d^{-1}$ και για δείγμα επεξεργασμένο με ΥΠ $k_{vitC}= 0,0126 d^{-1}$. Η επίδραση του χρόνου αποθήκευσης στο δείκτη αμαύρωσης για το προϊόν ΥΠ γέλη αλόης/τσάι εκφράστηκε μαθηματικά από ένα εμπειρικό σιγμοειδές μοντέλο τριών παραμέτρων . Η επίδραση της θερμοκρασίας στις τιμές των παραμέτρων του σιγμοειδούς μαθηματικού μοντέλου εκφράστηκε από την εξίσωση Arrhenius με τιμές της ενέργειας ενεργοποίησης (E_a) στο εύρος 10,8-72,0 kJ/mol. Για το προϊόν γέλη αλόης τα δεδομένα για όλες τις θερμοκρασίες αποθήκευσης στα επεξεργασμένα με ΥΠ δείγματα προσαρμόζονται σε γραμμική εξίσωση, ενδεικτικά με ρυθμό $k_{BI}= 0,123 d^{-1}$ για θερμοκρασία αναφοράς 25 °C. Οι ρυθμοί αύξησης προσαρμόζονται ικανοποιητικά στην εξίσωση Arrhenius με ενέργεια ενεργοποίησης $E_a= 25,0 kJ/mol$ και $k=0,108 d^{-1}$. Αντίστοιχα για τα θερμικώς επεξεργασμένα δείγματα, επίσης προσαρμόζονται σε γραμμική εξίσωση, με $k_{BI}= 0,138 d^{-1}$ για θερμοκρασία 25 °C, καθώς και οι ρυθμοί αύξησης προσαρμόζονται ικανοποιητικά στην εξίσωση Arrhenius με ενέργεια ενεργοποίησης $E_a=86,3 kJ/mol$ και $k_{BI}=0,078 d^{-1}$. Από τη σύγκριση των τιμών E_a μεταξύ της ΥΠ και της θερμικής παστερίωσης προκύπτει ότι η αύξηση του δείκτη αμαύρωσης στα θερμικώς επεξεργασμένα δείγματα εξαρτώνται πιο έντονα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Με βάση τη μικροβιολογική ανάλυση των δειγμάτων φάνηκε ότι και οι δύο επεξεργασίες είναι ικανές να μειώσουν το μικροβιακό φορτίο σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης. Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε από 4 δοκιμαστές αξιολογώντας τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά χρώμα, εμφάνιση, υφή, γεύση, άρωμα και συνολική αρέσκεια. Όσον αφορά στην οργανοληπτική αξιολόγηση των δειγμάτων παρατηρείται ότι αύξηση του χρόνου αποθήκευσης οδηγεί σε μείωση της οργανοληπτικής αρέσκειας ως προς όλα τα εξεταζόμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, με τα θερμικώς επεξεργασμένα δείγματα να βρίσκονται μετά από 80 ημέρες αποθήκευσης κάτω από το όριο οργανοληπτικής αποδοχής σε αρκετά από τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

The study of alternative processing methods for the development of *Aloe vera* products with higher quality attributes

Koukouvaou Andigoni, Diploma Thesis

National Technical University of Athens, School of Chemical Engineering, Laboratory of Food Chemistry and Technology

The objective of this study is to compare the effects of thermal pasteurization and the predominant non-thermal technology, high hydrostatic pressure treatment (HHP), on selected quality attributes of *Aloe vera* gel. The attributes which were studied are the colour, more specifically the browning index, the microbial load and the antioxidant activity of *Aloe vera* gel ($m_w=98,8\%$, $pH=4,75$). In addition, for the HHP treatment, the effect on the concentration of acemanans (basic structural polysaccharide) as well as on the activity of the enzyme β -mannanase were studied. Two different products were then designed and created: (a) *Aloe vera* gel and (b) *Aloe vera* gel-based product enriched with *Sideritis* tea, using the two alternative pasteurization methods: (a) conventional thermal pasteurization and (b) cold pasteurization with HHP. Finally, the qualitative degradation of the two products during their storage at different temperatures ranging between 5-35°C was studied, with the determination of selected quality characteristics (vitamin C concentration, browning index, microbial load and sensory characteristics) at regular intervals.

In the first part the effect of each pasteurization treatment on the quality characteristics of *Aloe vera* gel was investigated, in order to select the right conditions for each technology. The samples were processed with a wide range of process parameter values. The thermal treatment was implemented at the temperature range 70-90 °C and the HHP at a pressure range of 200-600 MPa (ambient temperature) for varying processing times. It was observed that both processing technologies caused an increase in colour change, whereas only thermal pasteurization caused an increase in the browning index. The rate of change of these two indices increases

proportionally to the processing temperature, reaching a maximum at 90 °C, while for the HHP, the colour change has a maximum rate at 600 MPa and the browning index remains steady for all the pressures tested. The antioxidant activity of the *Aloe vera* gel decreases, compared to the fresh (untreated) sample, in correlation to the increase in treatment time with the phenomenon being more pronounced at the maximum pasteurization temperature (90 °C). In contrast, the implementation of HHP at 200 MPa does not affect the antioxidant activity. With HHP at 400 MPa an increase of 10% was recorded for processing times of 5 and 10 min, which is likely due to the enhanced extractability/availability of the antioxidant components after pressure application, while at 600 MPa and for all processing times the antioxidant activity was decreased up to 20 %. Both heat pasteurization and HHP were effective in reducing / eliminating microbial flora in all processing conditions <1 log(CFU/mL). This is due to the fact that the levels of initial microbial flora in the *Aloe vera* gel were quite low, up to 3,6log(CFU/mL) so pasteurization in extreme conditions was not required for the production of microbially stable *Aloe vera* gel products.

Regarding the study of β -mannanase activity in HHP treated *Aloe vera* gel samples, satisfactory results were not obtained, possibly due to low and / or partial recovery of the enzyme, or to potential inhibition in the measurement of enzyme activity caused by reducing sugars, which are in abundance in the *Aloe vera* gel. The measurements for the effect of HHP on the *Aloe vera* gel acemannans show a reduction in the content of acemannans in almost all processing conditions. However, applying a 200 MPa pressure over a period of 20 minutes resulted in a marginal increase (5%), possibly due to an increase in the availability of acemannans due to extraction phenomena in plant tissues which are favoured in low pressure ranges.

In the second part of the present study, optimal conditions for thermal and cold pasteurization were selected: (a) 90°C, 1 min and (b) 600 MPa, 3 min, respectively. Applying the above pasteurization conditions, sufficient amounts of *Aloe vera* gel and *Aloe vera* tea products were produced to carry out a sustainability study at storage temperatures of 5, 25 and 35°C. The alteration of vitamin C concentration, during storage, was observed to follow an exponential decrease, for the product *Aloe vera* gel/tea, for stored thermal pasteurized sample, indicatively, with decrease rate

at reference temperature 25°C $k_{vitC}=0,009\text{ d}^{-1}$, while for the HHP treated sample is $k_{vitC}= 0,008\text{ d}^{-1}$. For thermally treated *Aloe vera* gel product decrease rate is ($T_{ref}= 25\text{ °C}$) $k= 0,002\text{ d}^{-1}$ and for HHP treated sample is $k_{vitC}= 0,012\text{ d}^{-1}$. The increase of the browning index in *Aloe vera* gel/tea product follows a sigmoidal three-parameters model in relation with time (primary model). It was proved that the mathematical modeling parameters follow the Arrhenius model (secondary mathematical model of temperature effect) with activation energy in the range of 10,8-72,0 kJ/mol. During storage of thermally treated samples stored at 25°C, the browning index increases, with no possible adjustment in a reliable mathematical model. For the *Aloe vera* gel product, data for all storage temperatures in HHP treated samples is adjusted in a linear equation, with a rate of $k_{BI}= 0,123\text{ d}^{-1}$ ($T_{ref}= 25\text{ °C}$). Increasing rates are adjusted adequately in the Arrhenius equation with activation energy $E_a= 25,0\text{ kJ/mol}$ and $k_{BI}= 0,108\text{ d}^{-1}$. Correspondingly for thermally treated samples, they are also adjust by a linear equation, with $k_{BI}= 0,138\text{ d}^{-1}$ at reference temperature 25 °C. Increasing rates are also adjusted in the Arrhenius equation with activation energy $E_a= 86,3\text{ kJ/mol}$ and $k_{BI}= 0,078\text{ d}^{-1}$. Thermally treated samples have higher correlation with temperature changes, than HHP treated samples. According to the microbial analysis of samples it is observed that both of these treatments are able to reduce the microbial load in non detective levels during storage time. Sensory analysis was processed by a trained sensory panel, which colour, appearance, texture, taste, flavor and overall sensory quality being evaluated. A decrease in acceptance of the samples is observed, for all sensory attributes, with thermally processed samples under the acceptance limit, in several evaluated characteristics, after 80 days of storage.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1: Ιδιότητες και σύσταση της <i>Aloe vera</i>	3
1.1. Ιστορικά	3
1.2. Ονομασία και Ταξινόμηση	4
1.3. Φυτό-μορφολογία.....	4
1.4. Χημική σύσταση του φυτού <i>Aloe vera</i>	7
1.4.1. Χημική σύσταση της γέλης του φυτού <i>Aloe vera</i>	8
1.4.1.α. Υδατάνθρακες	8
1.4.1.α.ι Ακετυλομαννάνες.....	9
1.4.1.β. Βιταμίνες	10
1.4.1.γ. Πρωτεΐνες, ένζυμα και αμινοξέα.....	10
1.4.1.γ.ι β-μαννανάσες	11
1.4.1.δ. Μέταλλα και ιχνοστοιχεία.....	13
1.4.1.ε. Φαινολικές ενώσεις.....	13
1.5. Ευεργετικές ιδιότητες της γέλης <i>Aloe vera</i>	14
1.5.1. Αντικαρκινική δράση	14
1.5.2. Αντιοξειδωτική δράση.....	15
1.5.3. Δράση κατά του έλκους	15
1.5.5. Αντιδιαβητική δράση	16
1.6. Εμπορικά προϊόντα γέλης αλόης	16
Κεφάλαιο 2: Μέθοδοι επεξεργασίας τροφίμων	19
2.1. Εισαγωγή	19
2.2. Θερμικές μέθοδοι.....	19
2.2.1. Μαθηματική επεξεργασία της θερμικής παστερίωσης.....	20
2.2.1.α. Η τιμή D	21
2.2.1.β. Η τιμή z	22
2.2.1.γ. Χρόνος θερμικού θανάτου	23
2.2.2. Ένταση θερμικών μεθόδων.....	23
2.2.2.α. Ζεμάτισμα (Blanching)	24
2.2.2.β. Παστερίωση (Pasteurization)	25
2.2.2.γ. Αποστείρωση (Sterilization)	26
2.2.3. Εξοπλισμός θερμικών διεργασιών	27
2.2.4. Εναλλακτικές θερμικές μέθοδοι	29
2.2.4.α. Ωμική θέρμανση	30
2.2.4.β. Μικροκύματα και ραδιοσυχνότητες	30

2.2.5. Επίδραση των θερμικών μεθόδων στην ποιότητα των φυτικών τροφίμων.....	31
2.2.5.α. Βελτιστοποίηση ποιότητας	32
2.3. Μη θερμικές μέθοδοι.....	32
2.3.1. Υπερψηλή πίεση (ΥΠ), High pressure (HP).....	33
2.3.1.α. Αρχή λειτουργίας και εξοπλισμός της ΥΠ	34
2.3.1.β. Εξωγενείς παράγοντες της διεργασίας ΥΠ.....	36
2.3.1.γ. Μαθηματική μοντελοποίηση της ΥΠ.....	36
2.3.1.δ. Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς.....	38
2.3.1.ε. Επίδραση της ΥΠ στα συστατικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των χυμών	39
2.3.2. Παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ), Pulsed electric fields (PEF)	41
2.3.3. Υπέρηχοι, Ultrasounds (US).....	41
2.3.4. Υπεριώδης ακτινοβολία, Ultraviolet light (UV)	42
2.3.5. Ψυχρό πλάσμα, Cold atmospheric plasma (CP).....	42
Κεφάλαιο 3: Υλικά και μέθοδοι.....	43
3.1. Προετοιμασία δείγματος α' ύλης.....	43
3.1.1. Προετοιμασία χώρου εργασίας	43
3.1.2. Φιλετάρισμα.....	43
3.1.3. Άλεση.....	44
3.1.4. Γέλη αλόης με αφέψημα τσαγιού.....	45
3.1.5. Γέλη αλόης.....	45
3.2. Παστερίωση.....	46
3.2.1. Υπερψηλή πίεση.....	46
3.2.2. Θερμική παστερίωση	50
3.3. Αποθήκευση	51
3.4. Μεθοδολογίες μέτρησης ποιοτικών δεικτών γέλης αλόης	52
3.4.1. Μέτρηση αντιοξειδωτικής δράσης	52
3.4.2. Μέτρηση pH	53
3.4.3. Μέτρηση περιεχόμενης υγρασίας	54
3.4.4. Μικροβιολογική ανάλυση	55
3.4.5. Μέτρηση βιταμίνης C.....	56
3.4.6. Μέτρηση χρώματος.....	57
3.4.7. Οργανοληπτικός έλεγχος	59
3.5. Μέτρηση ακετυλομαννανών.....	60
3.6. Μέτρηση ενεργότητας β-μαννανασών	61
3.6.1. Ανάκτηση ενζύμου	61

3.6.2. Μέτρηση ενεργότητας ενζύμου	62
3.6.3. Μέθοδος Bradford	62
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και συζήτηση	63
4.1 Επίδραση της υπερυψηλής πίεσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της γέλης <i>Aloe vera</i>	63
4.1.1. Επίδραση της ΥΠ στο χρώμα	63
4.1.2. Επίδραση της ΥΠ στην αντιοξειδωτική δράση	64
4.1.3. Επίδραση της ΥΠ στο μικροβιακό φορτίο	66
4.2. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της γέλης <i>Aloe vera</i>	68
4.2.1. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στο χρώμα	68
4.2.2. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στην αντιοξειδωτική δράση	70
4.2.3. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στο μικροβιακό φορτίο	71
4.3. Επίδραση της ΥΠ στην ενεργότητα του ενζύμου β-μαννανάση της γέλης <i>Aloe vera</i> ..	72
4.4. Επίδραση της ΥΠ στον βιοδραστικό πολυσακχαρίτη ακετυλομαννάνη της γέλης <i>Aloe vera</i>	74
4.5. Συγκριτική μελέτη υποβάθμισης ποιοτικών δεικτών για προϊόντα γέλης <i>Aloe vera</i> επεξεργασμένα με ΥΠ και θερμική παστερίωση, σε διάφορες θερμοκρασίες αποθήκευσης	76
4.5.1. Βιταμίνη C.....	76
4.5.1.α. Προϊόν γέλη αλόης-τσάι.....	76
4.5.1.β. Προϊόν γέλη αλόης.....	80
4.5.2. Χρώμα.....	84
4.5.2.α. Προϊόν γέλη αλόης-τσάι.....	84
4.5.2.β. Προϊόν γέλη αλόης.....	88
4.5.3. Μικροβιολογική ανάλυση	92
4.5.4. Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	92
4.5.4.α. Προϊόν γέλη αλόης-τσάι.....	92
4.5.4.β. Προϊόν γέλη αλόης.....	98
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	108
Βιβλιογραφία	112
Παράρτημα 1.....	117
Παράρτημα 2.....	126

Εισαγωγή

Το φυτό *Aloe vera* παρουσιάζει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Η υψηλή περιεκτικότητα σε νερό και θρεπτικά συστατικά σε συνδυασμό με τις θεραπευτικές του ιδιότητες και δράσεις, έχουν καταστήσει την αλόη κέντρο ενδιαφέροντος όχι μόνο για το επιστημονικό αλλά και για το καταναλωτικό κοινό. Δρα ενάντια σε μολύνσεις, είναι ένα σημαντικό αντιοξειδωτικό, και αναφέρεται η θετική της επίδραση σε προβλήματα που σχετίζονται με τη χώνεψη, εγκαύματα και χρόνιες παθήσεις όπως ο διαβήτης και το άσθμα. Αυτά τα πολύπλευρα οφέλη της αλόης είναι ουσιαστικά ο πόλος έλξης για την ανάπτυξη και μελέτη προϊόντων της.

Η βιομηχανία μέχρι σήμερα χρησιμοποιεί τους συμβατικούς τρόπους παστερίωσης των φυτικών παραγώγων και κυρίως των χυμών, οι οποίοι είναι αμιγώς θερμικοί. Η γέλη αλόης δεν χαρακτηρίζεται ως χυμός, βέβαια την μεταχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο στη βιομηχανία. Είναι γνωστό ότι οι θερμικές μέθοδοι, παρ' όλο που είναι αρκετά αποτελεσματικές στην εξυγίανση των προϊόντων, παρουσιάζουν μειονεκτήματα στην διατήρηση των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων συμπεριλαμβανομένων και βιοενεργών συστατικών που στην περίπτωση της αλόης μπορεί να συνδέονται με ευεργετικές ιδιότητες της.

Σήμερα, καθώς η επιστήμη εξελίσσεται και οι απαιτήσεις των καταναλωτών για τρόφιμα με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά αυξάνονται, μελετώνται νέοι τρόποι που θα αυξήσουν τη διατηρησιμότητα των προϊόντων με εξασφάλιση ανώτερων ποιοτικών χαρακτηριστικών. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες μη θερμικές τεχνολογίες παστερίωσης, οι οποίες είναι και φιλικότερες προς το περιβάλλον αλλά και προς την ποιότητα των τροφίμων. Η κυριότερη είναι η διεργασία της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ), η οποία είναι και η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μη θερμική τεχνολογία στη βιομηχανία τροφίμων τα τελευταία χρόνια. Εργαστηριακές έρευνες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα των καινοτόμων μη θερμικών τεχνολογιών στην εξυγίανση των τροφίμων με τρόπο ανάλογο της θερμικής επεξεργασίας, πετυχαίνοντας παράλληλα μικρότερη ποιοτική και οργανοληπτική υποβάθμιση. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν σημαντικό αριθμό

παραμέτρων, από τις οποίες εξαρτάται η αποτελεσματικότητά τους. Η αποτελεσματικότητά εξαρτάται επίσης και από το είδος του προϊόντος. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η διερεύνηση των παραμέτρων των διεργασιών ξεχωριστά για κάθε είδος τροφίμου με σκοπό τον προσδιορισμό των βέλτιστων δυνατών. Πρόσφατα, έχουν δημοσιευθεί επιστημονικές εργασίες με στόχο τη συγκριτική μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας και της ΥΠ στη γέλη αλόης. Οι βιβλιογραφικές αναφορές είναι αρκετά περιορισμένες όσον αφορά στην επίδραση της ΥΠ στους βιοδραστικούς πολυσακχαρίτες της αλόης και στα ένζυμα που τους υποβαθμίζουν.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας και της ΥΠ σε βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά της γέλης αλόης (χρώμα, αντιοξειδωτική δράση και μικροβιακό φορτίο) και η επίδραση της στον κύριο πολυσακχαρίτη της αλόης, την ακετυλομαννάνη, καθώς και στα ένζυμα που την υποβαθμίζουν. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη της διατηρησιμότητας σε δύο προϊόντα (α) με γέλη αλόης και (β) γέλη αλόης με αφέψημα τσαγιού, τα οποία έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία και επεξεργασία με ΥΠ και έχουν αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C. Τα προϊόντα αξιολογήθηκαν ως προς το χρώμα, τη βιταμίνη C, το μικροβιακό φορτίο και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια τριών μηνών αποθήκευσης. Όλα τα παραπάνω έγιναν με σκοπό να γίνει σύγκριση μεταξύ της θερμικής επεξεργασίας και της ΥΠ εφαρμοζόμενων σε γέλη αλόης, με σκοπό να αναγνωριστεί η καταλληλότερη.

Κεφάλαιο 1: Ιδιότητες και σύσταση της Aloe vera

1.1. Ιστορικά

Το φυτό *Aloe vera* και τα παράγωγά προϊόντα του έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ιατρική και την φαρμακευτική ήδη από τον 4^ο αιώνα π.Χ., όπου Έλληνες βρήκαν αλόη στο νησί Σοκότρα στον ινδικό ωκεανό. Για την ακρίβεια ο Μέγας Αλέξανδρος πείστηκε από το μέντορά του Αριστοτέλη να κατακτήσει αυτό το νησί λόγω των προμηθειών σε αλόη, έτσι ώστε να θεραπεύσει τους πληγωμένους του στρατιώτες. Η αλόη χρησιμοποιήθηκε επίσης και από την Κλεοπάτρα σε θεραπείες ομορφιάς ενώ παράλληλα εμφανίζεται σε αιγυπτιακές τοιχογραφίες, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1. (Manvitha, 2014)



Εικόνα 1 Η *Aloe vera* σε αρχαίο αιγυπτιακό τοίχο

Παρ' όλα αυτά, οι πρώτες ιστορικές αναφορές σχετικά με την ύπαρξη της αλόης χρονολογούνται το 2100 π.Χ. σε μία συλλογή πήλινων πινακίδων από τους Σουμέριους. Το 1552 π.Χ. αναφέρθηκε ως καθαρτικό στον αιγυπτιακό πάπυρο Έμπερς. Εκτός από τους Αιγύπτιους, επίσης οι Ρωμαίοι, οι Έλληνες, οι Άραβες και οι Ινδοί αναγνώρισαν τις θεραπευτικές ιδιότητες του φυτού. Πιο συγκεκριμένα, ο Διόσκουρος, ένας Έλληνας ιατρός υποστήριξε ότι η αλόη θα μπορούσε να επουλώσει τραύματα και λοιμώξεις του δέρματος και να μειώσει την απώλεια μαλλιών.

Το 1920 το φυτό *Aloe vera* καλλιεργείται για πρώτη φορά με σκοπό την διανομή για φαρμακευτικούς λόγους. Στα μέσα της δεκαετίας του '30 χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για τη θεραπεία της χρόνιας και σοβαρής δερματίτιδας

από ακτινοβολία (Surjushe Amar, 2015). Η εμπορική χρήση της γέλης αλόης ξεκίνησε τη δεκαετία του 50 και τη δεκαετία του 60 ένας φαρμακοποιός στο Ντάλας (Τέξας, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής) πέτυχε να εξαγάγει τη γέλη της *Aloe vera* και παράλληλα να διατηρήσει τις θεραπευτικές της ιδιότητες. Η σταθεροποιημένη γέλη άνοιξε νέα πεδία εφαρμογών (Sánchez-Machado Jaime Dalia I., 2017).

1.2. Ονομασία και Ταξινόμηση

Το όνομα *Aloe vera* προέρχεται από το “alloeh” στα Αραβικά, το οποίο σημαίνει πικρή λαμπερή ουσία και το “vera” στα λατινικά, το οποίο σημαίνει αλήθεια (Baruah Adrisyanti, 2016). Σύμφωνα με τους διεθνείς αρχές της ονοματολογίας βοτάνων το επιστημονικό όνομα για την *Aloe vera* είναι *Aloe barbadensis* Miller και ένα συνώνυμο *Aloe vera* (L.) Burm. F. . Παρ’ όλα αυτά είναι γνωστή και με άλλα ονόματα, όπως *Aloe chinensis* Bak, *Aloe elongate* Murray, *Aloe indica* Royale, *Aloe officinalis* Forsk, *Aloe perfoliata*, *Aloe rubescens* DC, *Aloe vera* L. var. *littoralis* König ex Bak, *Aloe vera* L. *varchinensis* Berger, *Aloe vulgaris* Lam. Υπάρχουν πάνω από 350 είδη αλόης με πιο κοινά την *Aloe barbadensis* Miller και την *Aloe arborescens*.

Η αλόη ανήκει στο βασίλειο *plantae* (φυτά) και στο υποβασίλειο *tracheobionta* (ανώτερα φυτά ή τραχειόφυτα), στην υπερσυνομοταξία *spermatophyta* (σπερματοφύτα), στην συνομοταξία *magnoliophyta* (αγγειόσπερμα), στην ομοταξία *liliopsida*, στην υφομοταξία *lilidae*, στην τάξη *liliales* (λειριώδη), στο είδος *Aloeaceae* (αλοάκεια) και στο γένος *Aloe* L. (Sánchez-Machado Jaime Dalia I., 2017)

1.3. Φυτό-μορφολογία

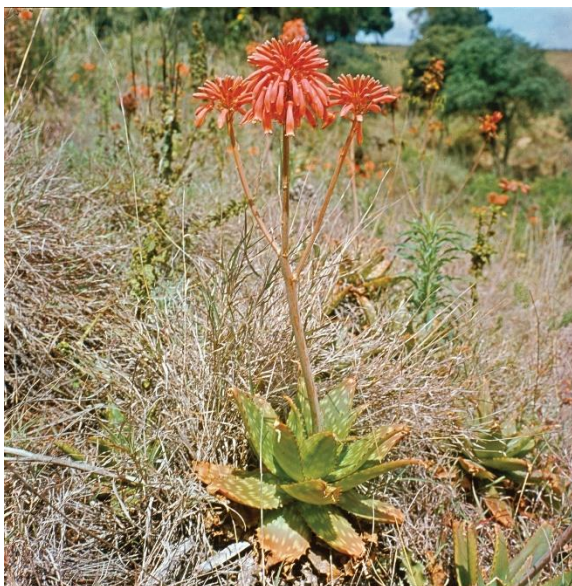
Το φυτό *Aloe vera* είναι ένα πολυετές, ανθεκτικό στην ξηρασία φυτό, το οποίο μπορεί να επιβιώσει περισσότερο από 7 χρόνια με έλλειψη νερού. Τα φύλλα του είναι παχιά, κωνικά και πράσινα σε σχήμα λόγχης, χυμώδη, αιχμηρά και οδοντωτά στα άκρα, τα οποία στη βάση τους ενώνονται και σχηματίζουν το σχήμα ροζέτας του φυτού (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Φυτό Aloe vera

Αναπτύσσεται σε μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών συνθηκών συμπεριλαμβανομένων εύκρατων και υποτροπικών περιοχών. Μπορεί να επιβιώσει στους 40 °C και επίσης σε θερμοκρασίες υπό του μηδέν, κυρίως αν η ρίζα βρίσκεται σε καλή κατάσταση (Baruaaha Adrisyanti, 2016). Έχει καταγωγή από τη νότια και την ανατολική Αφρική κατά μήκος του Νείλου, αλλά βρέθηκε και σε χώρες όπως η Ινδία, η Αϊτή και η Βενεζουέλα, και στη συνέχεια εισήχθη στη βόρεια Αφρική και στις μεσογειακές χώρες.

Κάθε φυτό φτάνει τα 60 - 100 cm και έχει κανονικά 12 έως 16 φύλλα, μήκους μεταξύ 25 και 30 cm και πλάτους 3 έως 10 cm. Τα φύλλα ζυγίζουν μέχρι 1,5 kg όταν ωριμάσουν και είναι πριονωτά κατά μήκος. Ανθίζει από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιανουάριο και η μακριά ταξιανθία έχει μεγάλο αριθμό μικρών κίτρινων και κόκκινων λουλουδιών, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3. Τα φρούτα αναπτύσσονται από τον Φεβρουάριο έως τον Απρίλιο και περιέχουν πολλούς σπόρους.



Εικόνα 3 Φυτό *Aloe vera* με άνθη

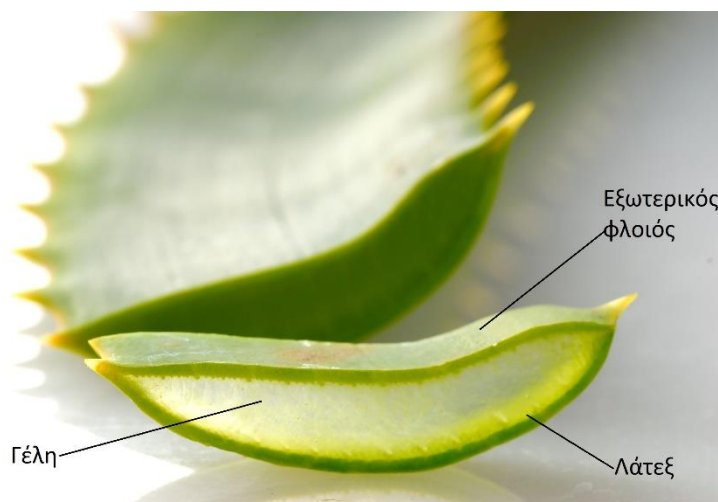
Η *Aloe vera* δεν είναι ένα απαιτητικό φυτό όσον αφορά το νερό. Επομένως, για περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της ξηρασίας, η καλλιέργεια της αλόης μπορεί να είναι μια καλή επιλογή, επειδή είναι οικονομικά ελκυστική για τους αγρότες. Ωστόσο, η καλλιέργεια αλόης απαιτεί δεξιότητες και είναι πολύ έντονη. Στην πραγματικότητα, τα φύλλα μπορούν να συγκομιστούν μετά από 7 με 8 μήνες μετά τη φύτευση χρησιμοποιώντας ένα κοφτερό μαχαίρι. Το έτος με τη μεγαλύτερη απόδοση είναι το δεύτερο, αλλά η καλή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί κατά τα 4-5 έτη. Η διάρκεια ζωής του φυτού είναι περίπου 12 χρόνια.

Συνήθως, 3 έως 4 φύλλα αποσύρονται από το μίσχο του φυτού, κομμένα στη λευκή βάση. Πρέπει να υπάρξει μεγάλη προσοχή ώστε να μην δημιουργηθεί βλάβη στην εξωτερική φλούδα των φύλλων και να διατηρηθεί η σφράγιση στη βάση του φύλλου, προκειμένου να αποφευχθεί η μικροβιακή μόλυνση.

Τα φύλλα αλόης εκκρίνουν δύο εξιδρώματα. Το ένα παράγεται από τα περικυκλικά κύτταρα κάτω από την επιδερμίδα των φύλλων και είναι ένας κίτρινος χυμός, ο οποίος ονομάζεται λάτεξ. Το άλλο εξίδρωμα παράγεται από τα σωληνοειδή κύτταρα με λεπτό τοίχωμα στην εσωτερική κεντρική ζώνη (παρέγχυμα) του φύλλου και είναι ένα διαφανές, ολισθηρό, βλεννώδες υλικό ή πήγμα, που ονομάζεται γέλη της *A. vera*. Αυτό το πήκτωμα είναι καθαρό, άγευστο και άοσμο. Το πρώτο εξίδρωμα

χρησιμοποιείται ως καθαρτικό, ενώ η γέλη χρησιμοποιείται για τη θεραπεία δερματικών εγκαυμάτων. Το πήκτωμα δεν είναι καθαρτικό, επειδή δεν περιέχει ανθρακινόνες, παρ' όλο που τα συνολικά εκχυλίσματα του φύλλου μπορεί να τις περιέχουν. (Sánchez-Machado Jaime Dalia I., 2017)

Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω, τα φύλλα της αλόης διακρίνονται σε τρία τμήματα: i) το φλοιό, που αποτελείται από φλοιούς, αγκάθια, άκρες και βάσεις, ii) τον κίτρινο χυμό, που αποτελείται κυρίως από ανθρακινόνες, παράγωγα των 1,8-διυδροξανθρακινονών και τους γλυκοζίτες τους, η αλοΐνη είναι συστατικό του συμπλόκου ανθρακινόνης, και iii) την εσωτερική γέλη ή φιλέτο. Μέσα στο δέρμα είναι αγγειακές δέσμες υπεύθυνες για τη μεταφορά ουσιών, όπως το νερό (ξύλημα), σάκχαρα και άλλα μικρά οργανικά μόρια (φλοίωμα) (Εικόνα 4).



Εικόνα 4 Τμήματα του φύλλου *Aloe vera*

1.4. Χημική σύσταση του φυτού *Aloe vera*

Το φυτό, όπως αναφέρεται και παραπάνω, έχει τριγωνικά, σαρκώδη φύλλα με οδοντωτά άκρα, κίτρινα σωληνοειδή άνθη και φρούτα που περιέχουν πολυάριθμους σπόρους. Κάθε φύλλο αποτελείται από τρία στρώματα: 1) Ένα εσωτερικό καθαρό τζελ που περιέχει 99% νερό και το υπόλοιπο αποτελείται από μαννάνες, αμινοξέα, λιπίδια, στερόλες και βιταμίνες, 2) το μεσαίο στρώμα του λατέξ που είναι ο πικρός κίτρινος χυμός και περιέχει ανθρακινόνες και γλυκοζίτες, 3) το εξωτερικό παχύ στρώμα των 15-20 κυττάρων, το οποίο ονομάζεται φλοιός και έχει προστατευτική λειτουργία και συνθέτει υδατάνθρακες και πρωτεΐνες.

Δεδομένου ότι η περιεκτικότητα τις αλόης σε νερό φτάνει το 99-99,5%, τα στερεά περιεχόμενα κυμαίνονται από 0,5-1% και αποτελούνται από μια ποικιλία δραστικών συστατικών, δηλαδή λιπαρά και υδατοδιαλυτά μέταλλα, βιταμίνες, μονο- και πολυσακχαρίτες, οργανικά οξέα, ένζυμα και φαινολικές ενώσεις.

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση των θρεπτικών συστατικών της αλόης, όπως είναι τα είδη και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες. Ωστόσο, παράγοντες όπως η ηλικία του φυτού μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη σύνθεσή του. Πολλές μελέτες αναφέρουν τη σύνθεση της αλόης σε διαφορετικές ενώσεις, αλλά καμία από τις επιμέρους χημικές ουσίες δεν δίνει τα αποτελέσματα της αλόης, υποδεικνύοντας μια συνεργιστική επίδραση.

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, η γέλη αλόης είναι χαμηλής θερμιδικής αξίας. Στην πραγματικότητα, λαμβάνοντας υπόψη μια δόση των 200 mL συμβάλλει με λιγότερα από 5 kcal. Η διατροφική διακύμανση οφείλεται στις συνθήκες καλλιέργειας, στο έδαφος, στο κλίμα και άλλες γεωγραφικές συνθήκες.

1.4.1. Χημική σύσταση της γέλης του φυτού *Aloe vera*

Η επιδερμίδα και η γέλη αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού βάρους των φύλλων (20-30% και 70-80%, αντίστοιχα). Σε βάση ξηρής ουσίας η γέλη αλόης αποτελείται από 55% πολυσακχαρίτες, 17% σάκχαρα, 7% πρωτεΐνες, 4% λιπίδια, 16% ανόργανα άλατα, 1% φαινολικές ενώσεις και μια ποικιλία βιταμινών, όπως η βιταμίνη Α, η Β₁₂, η νιασίνη, η χολίνη και το φολικό οξύ. (Maana Abid Aslam, 2018)

1.4.1.α. Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες αποτελούν το 0,25% της συνολικής σύνθεσης της γέλης και περίπου το 50% των στερεών συστατικών. Μέσα στους υδατάνθρακες της αλόης συγκαταλέγονται πολυσακχαρίτες που συνιστούν το μεγαλύτερο μέρος της ξηρής ουσίας του πηκτώματος της *Aloe vera*. Αυτά περιλαμβάνουν μονο- και πολυσακχαρίτες, ελεύθερα σάκχαρα και ίνες. Οι γραμμικοί πολυσακχαρίτες μακράς αλυσίδας είναι υπεύθυνοι για τη συνεκτικότητα της γέλης αλόης. Το ιξώδες της γέλης μειώνεται με την υδρόλυση των σακχάρων. Οι πολυσακχαρίτες περιλαμβάνουν καθαρή μαννάνη, ακετυλιωμένη γλυκομαννάνη, γαλακτάνη, ακετυλιωμένη μαννάνη,

αραβινάνη, πηκτίνη, κυτταρίνη, ξυλάνη, αραβινογαλακτάνη, γλυκογαλακτομαννάνη κλπ. Οι μονοσακχαρίτες περιλαμβάνουν μαννόζη, ελεύθερη γλυκόζη, φρουκτόζη και γαλακτόζη.

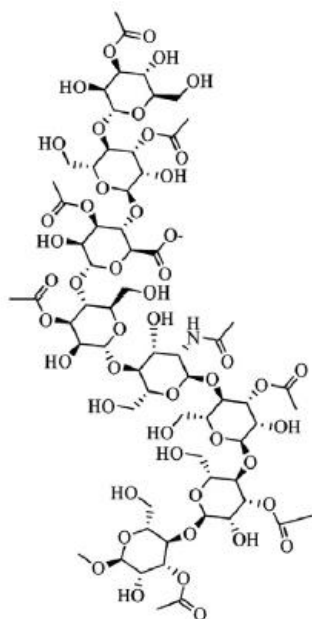
Η δραστικότητα των πολυσακχαριτών αλόης εξαρτάται από τον βαθμό ακετυλίωσης, το μοριακό βάρος και τη διακλάδωση των γλυκοζιτών. Η δομή των πολυσακχαριτών μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις συνθήκες ανάπτυξης της αλόης. Επιπλέον η επεξεργασία που υφίστανται τα προϊόντα αλόης μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμες τροποποιήσεις, επηρεάζοντας την αρχική δομή τους, η οποία μπορεί να προάγει σημαντικές αλλαγές στις φυσιολογικές και φαρμακολογικές ιδιότητες αυτών των συστατικών.

1.4.1.α.i Ακετυλομαννάνες

Οι ακετυλομαννάνες, ο κύριος πολυσακχαρίτης που βρίσκεται στη γέλη *Aloe vera*, αποτελείται κυρίως από μεγάλες ποσότητες μερικής ακετυλιωμένων μονάδων μαννόζης, ακολουθούμενης από γλυκόζη και, σε μικρότερο βαθμό, γαλακτόζη. Δομικά οι ακετυλομαννάνες, με μοριακό βάρος περίπου 40-50 kDa, θα μπορούσαν να αναπαρασταθούν από μία μονή αλυσίδα β-(1→4) μαννόζης με β-(1→4) γλυκόζη, που εισήχθη στη βασική αλυσίδα. Στις πλευρικές αλυσίδες μπορεί να υπάρχουν και μονάδες α-(1→6)γαλακτόζης. Η δόμη των ακετυλομαννάνων φαίνεται και στην Εικόνα 5. Οι ακετυλομάδες είναι οι μοναδικές λειτουργικές ομάδες χωρίς σάκχαρα που βρίσκονται στις ακετυλομαννάνες και φαίνεται να παίζει βασικό ρόλο όχι μόνο στις φυσικοχημικές ιδιότητες αλλά και στη βιολογική δραστικότητα της αλόης.

Οι ακετυλομαννάνες είναι αποταμιευτικοί πολυσακχαρίτες που βρίσκονται μέσα στα παρεγχυματικά κύτταρα της γέλης αλόης. Είναι ενδιαφέρον ότι το πολυμερές αυτό έχει αναφερθεί ως η κύρια βιοδραστική ουσία που περιέχεται στη γέλη αλόης και είναι υπεύθυνη για πολλές από τις ωφέλιμες ιδιότητες που αποδίδονται στην *Aloe vera*, όπως η μείωση της γλυκόζης στο αίμα και η μείωση της αρτηριακής πίεσης. Αυτά τα ευεργετικά αποτελέσματα αποδόθηκαν στα κλάσματα υψηλού μοριακού βάρους της ακετυλομαννάνης τα οποία αποικοδομούνται από την εντερική μικροβιοχλωρίδα για να σχηματίσουν ολιγοσακχαρίτες, που αναστέλλουν

την απορρόφηση γλυκόζης στο έντερο. Επιπλέον, αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι οι ακετυλομάδες των ακετυλομαννανών είναι υπεύθυνες όχι μόνο για την αλληλεπίδραση της ακετυλομαννάνης με άλλα βιομόρια, αλλά και για τη μεταφορά άλλων βιοδραστικών ενώσεων στο εντερικό επιθήλιο, ενισχύοντας έτσι την απορρόφηση τους στο έντερο. Ωστόσο, η ακετυλομαννάνη είναι αρκετά ασταθής και μπορεί εύκολα να αποικοδομηθεί από διάφορους φυσικοχημικούς παράγοντες, όπως η υψηλή θερμοκρασία, οι μεταβολές στο pH, η βακτηριακή μόλυνση ή ένζυμα, όπως οι μαννανάσες, που υπάρχουν στη γέλη. (Minjares-Fuentes R., 2016)



Εικόνα 5 Δομή των ακετυλομαννανών (Baruah A. Adrisyanti, 2016)

1.4.1.β. Βιταμίνες

Στη γέλη αλόης περιέχονται καροτενοειδή, όπως η Βιταμίνη Α (Β-καροτένιο), Βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ) και τοκοφερόλες, κυρίως α-τοκοφερόλη ή αλλιώς Βιταμίνη Ε, που είναι αντιοξειδωτικά. Επίσης συναντώνται Βιταμίνη Β₁ (θειαμίνη), Βιταμίνη Β₂ (ριβοφλαβίνη), Βιταμίνη Β₆ και Βιταμίνη Β₁₂, φολικό οξύ, χολίνη, νιασίνη.

1.4.1.γ. Πρωτεΐνες, ένζυμα και αμινοξέα

Από διάφορα είδη αλόης έχουν απομονωθεί γλυκοπρωτεΐνες που έχουν βιολογική δραστηριότητα. Εκτός από γλυκοπρωτεΐνες έχουν απομονωθεί και λεκτίνες

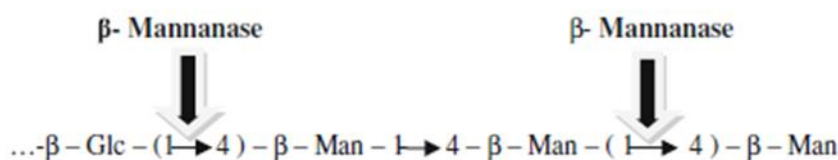
και λεκτινοειδείς ουσίες που έχουν αιμοσυγκολλητική δράση. Οι πρωτεΐνες αλοκτίνη A, με μοριακό βάρος 18 kDa αποτελούμενες από υπομονάδες 7,5 και 10,5 kDa με κλάσμα υδατάνθρακα 18%, και αλοκτίνη B, με μοριακό βάρος 24kDa που έχει δύο υπομονάδες 12 kDa και με κλάσμα υδατανθράκων 50% . Τέλος, βρέθηκε στη γέλη αλόης μία γλυκοπρωτεΐνη, η οποία προάγει τον γρήγορο πολλαπλασιασμό των κυττάρων.

Τα ένζυμα που υπάρχουν στη γέλη Aloe vera περιλαμβάνουν την καταλάση, την αμυλάση, την οξειδάση, την κυτταρινάση, την λιπάση, την καρβοξυπεπτιδάση, την όξινη φωσφατάση, την αλκαλική φωσφατάση, την αμυλάση, την βραδυκινάση και την υπεροξειδάση. Η βραδυκινάση συμβάλλει στη μείωση της υπερβολικής φλεγμονής, όταν εφαρμόζεται στο δέρμα τοπικά, ενώ άλλες βοηθούν στη διάσπαση των σακχάρων και των λιπών. (Surjushe Amar, 2015)

Στην αλόη είναι παρόντα, επίσης, 20 από τα 22 αμινοξέα, συμπεριλαμβανομένων 7 από τα 8 απαραίτητα αμινοξέα, τα οποία δεν μπορούν να παραχθούν από τον ανθρώπινο οργανισμό. (Rahman, 2014)

1.4.1.γ.ι β-μαννανάσες

Οι β-μαννανάσες είναι ένα από τα τρία πιο σημαντικά ένζυμα, τα οποία υποβαθμίζουν τις μαννάνες (πολυσακχαρίτες φυτικής προέλευσης). Ειδικότερα οι β-μαννανάσες είναι ενδο-υδρολάσες, οι οποίες προσβάλλουν τους εσωτερικούς γλυκοσιδικούς δεσμούς της κύριας αλυσίδας των μαννανών, απελευθερώνοντας έτσι β-1,4-μαννο-ολιγοσακχαρίτες. Η δράση τους φαίνεται στην Εικόνα 6 και 7. (Prakram Singh Chauhan, 2012)

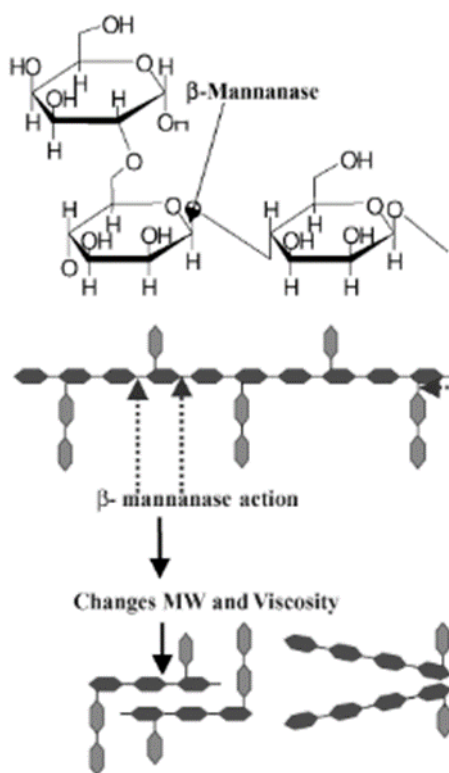


Εικόνα 6 Μηχανισμός δράσης β-μαννανασών (Prakram Singh Chauhan, 2012)

Παράγονται από ποικιλία βακτηρίων, μυκήτων, ακτινομυκήτων, φυτών και ζώων. Μεταξύ των βακτηρίων, η παραγωγή β-μαννανασών περιορίζεται κυρίως σε

θετικά κατά Gram, σε διάφορα είδη *Bacillus*. Ο πιο κοινός παραγωγός β-μαννανασών μεταξύ των μυκήτων ανήκει στο γένος *Aspergillus*.

Οι β-μαννανάσες στο φυτό *Aloe vera* αναφέρεται ότι δρουν ως αμυντικός μηχανισμός κατά τη συγκομιδή, έτσι ώστε να προστατεύσουν το φυτό από τον τραυματισμό, με αποτέλεσμα να καταστρέφουν σιγά σιγά τον βασικό βιοδραστικό πολυσακχαρίτη της αλόης, την ακετυλομαννάνη. Πολλές φορές οι β-μαννανάσες μπορεί να παραχθούν και από βακτήρια που υπάρχουν στο εσωτερικό παρέγχυμα (Reynolds, 2004). Κάποια εμπορικά προϊόντα αλόης επεξεργάζονται με κυτταρολάσες, οι οποίες ανάλογα με την πηγή και την καθαρότητα, συχνά μολύνονται με β-μαννανάσες, με αποτέλεσμα να προκαλέσουν την αποικοδόμηση της ακετυλομαννάνης.



Εικόνα 7 Σχηματική αναπαράσταση δράσης β-μαννανασών (Dhawan Samriti, 2008)

Όσον αφορά στην ανάκτηση των β-μαννανασών από τη γέλη αλόης, δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές. Σε πολλές πηγές αναφέρεται ότι γίνεται χρήση

των πολυσακχαριτών από το φυτό *Aloe vera*, ως υπόστρωμα, για την μελέτη των β-μαννανασών. Για παράδειγμα, οι Soni et al. (2016) χρησιμοποίησαν πολύ αλόης για ζύμωση στερεής κατάστασης, με σκοπό την παραγωγή β-μαννανάσης από το μύκητα *Aspergillus terreus*, ενώ οι Tai-Nin Chow et al. (2005) χρησιμοποίησαν β-μαννανάσες για την διάσπαση και τον χημικό χαρακτηρισμό των πολυσακχαριτών της αλόης.

Οι β-μαννανάσες είναι ένζυμα όχι μόνο ερευνητικού ενδιαφέροντος, αλλά έχουν και πιθανές βιοτεχνολογικές εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας τροφίμων και ζωοτροφών, της εκχύλιση καφέ, της παραγωγής βιοαιθανόλης, της φαρμακοβιομηχανίας, της βιομηχανίας χαρτοπολλτού και χαρτιού κ.λ.π..

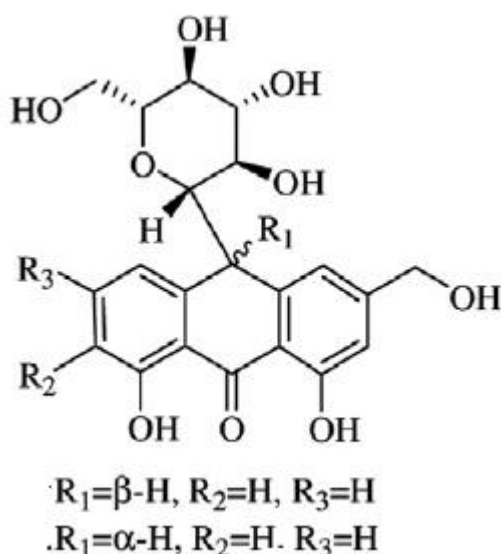
1.4.1.δ. Μέταλλα και ιχνοστοιχεία

Το κάλιο και το ανιόν χλωρίου υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες στη γέλη αλόης, ενώ το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο και ο σίδηρος περιέχονται σε μικρές ποσότητες. Τα Fe, P, Zn, Cu, Mn και Ni είναι παρόντα ως απαραίτητα μέταλλα ενώ υπάρχουν και ίχνη ποσοτήτων των τοξικών στοιχείων Pb, B, Sr, Ba, Al και Cd. Μερικά από τα στοιχεία που υπάρχουν είναι αντιοξειδωτικά και παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία διάφορων ενζύμων σε διάφορες μεταβολικές οδούς.

1.4.1.ε. Φαινολικές ενώσεις

Η συγκέντρωση φαινολικών ενώσεων στη γέλη αλόης είναι 1,25-3 φορές μικρότερη από ότι στον φλοιό αλόης. Αυτές οι πολυφαινόλες είναι υπεύθυνες για τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες της γέλης αλόης. Οι ανθρακινόνες οι οποίες είναι παρούσες στο λάτεξ της αλόης (κίτρινο εξίδρωμα) είναι οι φαινολικές ενώσεις (Εικόνα 8), που παράγονται κατά την οξείδωση αλοΐνης χαμηλού μοριακού βάρους, η οποία είναι το παράγωγο του γλυκοζίτη αλόης-εμοδίνης. Κατά τη διάρκεια της εξαγωγής της γέλης, αυτό το κίτρινο έκκριμα συχνά μολύνει το πήκτωμα και είναι υπεύθυνο για κοιλιακούς πόνους και καθαρτικά αποτελέσματα, όταν απορροφάται σε μεγάλη ποσότητα. Έως το 2011 το επιτρεπτό όριο αλοΐνης σε προϊόντα αλόης,

σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (EEC Council directive 88/388), ήταν 0,1 mg/kg (Bozzi A., 2006).



Εικόνα 8 Δομή της αλοΐνης Α (πάνω σειρά) και της αλοΐνης Β (κάτω σειρά) (Baruaha Adrisyanti, 2016)

1.5. Ευεργετικές ιδιότητες της γέλης *Aloe vera*

Πολυάριθμες επιστημονικές μελέτες σχετικά με το φυτό *Aloe vera* αποδεικνύουν τις αναλγητικές, αντιφλεγμονώδεις, ανοσοποιητικές και αντικαρκινικές του δράσεις, καθώς και αντι-υικές (Zandi Keivan, 2007), αντιβακτηριακές (Supreet Jain, 2016) και αντιμυκητιακές του ιδιότητες (Jasso de Rodríguez, 2005). Οι φαρμακευτικές ιδιότητες της αλόης μπορούν να αποδοθούν στη συνεργιστική δράση των συνδυασμένων θρεπτικών στοιχείων που παράγουν ένα ισχυρότερο αποτέλεσμα από τα μεμονωμένα συστατικά. Τα θρεπτικά συστατικά μαζί δημιουργούν έναν ισχυρό συνδυασμό που πιθανόν να έχει θετική επίδραση σε διαφορετικές παθήσεις (π.χ. διαβήτης, αφθώδης στοματίτιδα, δυσκοιλιότητα κ.α.)

1.5.1. Αντικαρκινική δράση

Οι γλυκοπρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες που υπάρχουν στην αλόη την καθιστούν ισχυρό χημειοπροστατευτικό παράγοντα, ο οποίος είναι χρήσιμος για διάφορους τύπους καρκίνων. Αυτοί οι παράγοντες διεγείρουν το ανοσοποιητικό σύστημα για την καταπολέμηση του καρκίνου. Η βαρβαλοΐνη, η αλόη-εμοδίνη και η αλλοεσίνη που εξαγονται από την αλόη βέρα έχουν δείξει κυτταροτοξικότητα έναντι

των καρκινικών κυττάρων οξείας μυελογενούς λευχαιμίας και οξείας λεμφοκυτταρικής λευχαιμίας. Έρευνες *in vivo* έχουν δείξει ότι η χορήγηση αυτών των δραστικών ενώσεων επεκτείνει σημαντικά το προσδόκιμο ζωής των ζώων, στα οποία έχουν γίνει δοκιμές με όγκους (El-Shemy, 2010).

1.5.2. Αντιοξειδωτική δράση

Ένας αριθμός αντιοξειδωτικών όπως η α-τοκοφερόλη, τα καροτενοειδή, το ασκορβικό οξύ, τα φλαβονοειδή, η βιταμίνη C και E υπάρχουν στην αλόη. Η αντιοξειδωτική ικανότητα των εκχυλισμάτων της *Aloe vera* (φύλλα και λουλούδια) έχουν αναφερθεί από τους Lopez et al. (2013). Η αλόη έχει μια δοσο-εξαρτώμενη αντιοξειδωτική δράση, η οποία είναι χρήσιμη στη θεραπεία διαφόρων ασθενειών. Έρευνες για το αντιοξειδωτικό δυναμικό ενός πολυσακχαρίτη, που απομονώθηκε από τη γέλη της αλόης, έδειξαν ότι είχε προστατευτική επίδραση έναντι στο οξειδωτικό στρες που προκαλείται από το διυδροχλωρίδιο και στον θάνατο των επιθηλιακών κυττάρων του νεφρού. (Zhan Hai Yu, 2009)

1.5.3. Δράση κατά του έλκους

Η γέλη της αλόης μπορεί να αποτρέψει και να θεραπεύσει τα γαστρικά έλκη μέσω ενός αριθμού μηχανισμών που περιλαμβάνουν αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, θεραπευτικά αποτελέσματα, διέγερση βλέννας και ρύθμιση των γαστρικών εκκρίσεων. Οι Mansour et al. (2014) έχουν αναφέρει ότι τα πηκτώματα με βάση την αλόη υπήρξαν αποτελεσματικά στη μείωση του μεγέθους του έλκους, του ερυθήματος και της υπερέκκρισης. Σε συγκεντρώσεις περίπου 80%, η αλόη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη θεραπεία των δερματικών ελκών συμπεριλαμβανομένων των στοματικών ελκών και των ελκών των ποδιών.

1.5.4. Αντιφλεγμονώδης δράση

Η γέλη της αλόης παρουσιάζει ισχυρά αντιφλεγμονώδη αποτελέσματα, λόγω της παρουσία ανθρακινών και χρωμόνης. Μια πρόσληψη γέλης αλόης (2%) έχει αναφερθεί ότι είναι αποτελεσματική στη μείωση της έντασης του πόνου και

το μέγεθος του τραύματος σε ασθενείς με αφθώδη στοματίτιδα. Το αντιφλεγμονώδες αποτέλεσμα της *Aloe vera* είναι επίσης χρήσιμο για την ανακούφιση από πόνους στις αρθρώσεις. Οι πολύπλοκοι μηχανισμοί του σώματος που προκαλούν επίπονη φλεγμονή περιλαμβάνουν την παραγωγή βραδυκινίνης (ένας φλεγμονώδης μεσολαβητής) σε αντίδραση σε διάφορους τύπους τραυματισμών. Έρευνες έχουν δείξει ότι η αλόη διαθέτει δραστηριότητα αντιβραδυκινίνης, επειδή αυτή περιέχει ένα ένζυμο, την βραδυκινάση, το οποίο καταστρέφει τη βραδυκινίνη και μειώνει τη φλεγμονή (Divya Pathak, 2017).

1.5.5. Αντιδιαβητική δράση

Η γέλη από *Aloe vera* είναι ένας αποτελεσματικός αντι-υπεργλυκαιμικός παράγοντας κατά του διαβήτη τύπου 2. Μειώνει το επίπεδο της γλυκόζης στο αίμα χωρίς να διαταράσσει το φυσιολογικό επίπεδο λιπιδίων στο αίμα και τη λειτουργία του ήπατος ή/και των νεφρών. Έχει προταθεί ότι το επίπεδο γλυκόζης στο αίμα μειώνεται λόγω του αυξημένου μεταβολισμού της (Maan Abid Aslam, 2018). Έχει αναφερθεί ότι υπήρξε μείωση κατά 44% στο επίπεδο γλυκόζης αίματος σε διαβητικούς ασθενείς στους οποίους χορηγήθηκε γέλη *Aloe vera* (Yongchaiyudha, 1996).

1.6. Εμπορικά προϊόντα γέλης αλόης

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη εμπορική διάθεση προϊόντων με βάση τη γέλη αλόης, στα οποία ο καταναλωτής έχει εύκολη πρόσβαση. Τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα αναφέρονται ως συμπληρώματα διατροφής και έχουν συνιστώμενη ημερήσια δόση από 50 έως 100 mL, είτε σκέτη είτε αραιωμένη σε νερό ή άλλο ρόφημα. Στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται σύσταση για τήρηση της ημερήσιας δόσης, διότι σε περίπτωση υπερδοσολογίας έχει υπακτική δράση. Επιπλέον η διατήρηση του προϊόντος προτείνεται να είναι σε θερμοκρασία μικρότερη των 4 °C και η διάρκεια ζωής ποικίλλει από 5 ημέρες έως 1 μήνα, μετά το άνοιγμα του προϊόντος, ενώ κατά τη διάθεση του στην αγορά πολλές φορές αποθηκεύεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25 °C).

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα εμπορικά προϊόντα γέλης αλόης δεν έχουν αμιγώς γέλη αλόης, αλλά συνηθίζεται συνδυασμός με χυμούς φρούτων, γλυκαντικά, αντιοξειδωτικά και κόμμεα. Η ανάμειξη με ποικίλους χυμούς φρούτων έχει ως στόχο την αντιμετώπιση της χαρακτηριστικής πικρής επίγευσης της αλόης, έτσι ώστε τα τελικά προϊόντα να είναι περισσότερο εύγευστα. Η χρήση άλλων συστατικών, όπως φυσικά αντιοξειδωτικά και κόμμεα, έχει ως στόχο το συνδυασμό των ιδιοτήτων της γέλης αλόης με ευεργετικές ιδιότητες άλλων φυτικών προϊόντων, ενώ βοηθούν και στην διατήρηση της ποιότητας του σκευάσματος και την επιμήκυνση της εμπορικής διάρκειας ζωής. Για την εξυγίανση των προϊόντων αλόης χρησιμοποιείται συνήθως η θερμική παστερίωση HTST (High Temperature Short Time) (§2.2.2.). Στις Εικόνες 9, 10 και 11 παρουσιάζονται ενδεικτικά εμπορικά προϊόντα γέλης αλόης.



Nutrition Facts		
Serving Size 8 fl. oz. (240 ml)		
Servings Per Container about 4		
Amount Per Serving		
Calories 40		
		% Daily Value*
Total Fat	0g	0%
Sodium	60mg	3%
Total Carbohydrate	12g	4%
	Sugars 0g	
Protein	0g	
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet.		

Εικόνα 9 Προϊόν σταθεροποιημένης γέλης αλόης Forever Aloe Vera Gel και διατροφική ετικέτα του προϊόντος (Products)



Εικόνα 10 Εμπορικό προϊόν Crealoe (δύο όψεις)



Εικόνα 11 Εμπορικό προϊόν kaloe, ενδεικτικά σε δύο γεύσεις

Κεφάλαιο 2: Μέθοδοι επεξεργασίας τροφίμων

2.1. Εισαγωγή

Οι διεργασίες στις οποίες υποβάλλονται τα τρόφιμα με σκοπό την απαλλαγή τους από παθογόνους μικροοργανισμούς και των σπορίων τους, αλλά και αλλοιογόνους μικροοργανισμούς και ενδογενή, ανεπιθύμητα ένζυμα αποτελούν πολύ σημαντικό στάδιο στην επεξεργασία και παραγωγή τροφίμων. Έχουν ως στόχο αρχικά να τα καταστήσουν ασφαλή για κατανάλωση αλλά και να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής τους. Η διάρκεια ζωής των τροφίμων είναι συνάρτηση του βαθμού ανάπτυξης των αλλοιογόνων μικροοργανισμών και δράσης ανεπιθύμητων ενζύμων, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της συσκευασίας και οι συνθήκες διακίνησης και αποθήκευσης (θερμοκρασία, υγρασία).

Οι μέθοδοι εξυγίανσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις θερμικές και τις μη θερμικές. Οι θερμικές μέθοδοι, κυρίως η θερμική παστερίωση, χρησιμοποιούνται ευρύτατα εδώ και πολλά χρόνια. Είναι αποτελεσματικές στην καταστροφή των μικροοργανισμών και την αδρανοποίηση των ενζύμων. Παράλληλα όμως, κατά τη διάρκεια των διεργασιών αυτών, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, εξελίσσονται με ταχύτερο ρυθμό δράσεις υποβάθμισης της ποιότητας του τροφίμου, όπως η αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και μεταβολές στα συστατικά τους. Με σκοπό της αποφυγής των παραπάνω, οι συνθήκες κάθε θερμικής κατεργασίας επιλέγονται, έτσι ώστε να δίνουν σταθερό προϊόν με τη μικρότερη δυνατή υποβάθμιση ποιότητας.

2.2. Θερμικές μέθοδοι

Η θερμική επεξεργασία είναι μια από τις σημαντικότερες τεχνικές που στοχεύει στην παραγωγή εμπορικής αποστειρωμένων συσκευασμένων τροφίμων με άριστη ποιότητα. Η εμπορική στείρωση της τροφής θεωρείται η κατάσταση που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή θερμότητας και απαλλάσσει την τροφή από βιώσιμους μικροοργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που έχουν γνωστή σημασία για τη δημόσια υγεία, που μπορούν να αναπτυχθούν στο φαγητό σε

θερμοκρασίες στις οποίες είναι πιθανό να διατηρηθεί το φαγητό κατά τη διάρκεια της διανομής και αποθήκευσης του. Η παραγωγή και η διανομή θερμικά επεξεργασμένων τροφίμων σε σχέση με εγγενείς και εξωγενείς παράγοντες μπορούν να διαιρεθούν σε ήπια θερμική επεξεργασία (παστερίωση) και διαδικασίες έντονης θερμικής επεξεργασίας (αποστείρωσης). Η επιτυχία κάθε διαδικασίας έγκειται στην καταστροφή όλων των βιώσιμων μικροοργανισμών, στην ερμητικά κλειστή συσκευασία και στη θερμοκρασία αποθήκευσης. Η επιλογή της επεξεργασίας εξαρτάται από τη σοβαρότητα της θερμικής επεξεργασίας και από τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν. Λόγω της χαμηλής οξύτητας ($pH > 6,0$), τα φυτικά προϊόντα υποβάλλονται σε σοβαρή θερμική επεξεργασία κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας προκειμένου να αδρανοποιηθούν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Η διαδικασία ονομάζεται συνήθως κονσερβοποίηση. Μερικές φορές, η διαδικασία κονσερβοποίησης έχει τροποποιηθεί, για την εφαρμογή σε λαχανικά, σε θερμικές διεργασίες σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, όπως η μείωση pH /ενεργότητας νερού, χρήση συντηρητικών, ψύξη και προστατευτική συσκευασία (Τεχνολογία Εμποδίων-Hurdle Technology).

2.2.1. Μαθηματική επεξεργασία της θερμικής παστερίωσης

Η εξάλειψη των μικροοργανισμών και η απενεργοποίηση των ενζύμων ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία θερμικής επεξεργασίας (T). Η ακόλουθη διαφορική εξίσωση μπορεί να εξηγήσει τον πληθυσμό των μικροοργανισμών ή της ενζυμικής δραστηριότητας (N) αλλάζοντας ανάλογα με τον χρόνο επεξεργασίας (t) σε σταθερή θερμοκρασία (T):

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)_T = -k \quad (\text{Εξίσωση 1})$$

Εισάγοντας τις αρχικές συνθήκες προκύπτουν οι παρακάτω τύποι, οι οποίοι ορίζουν με τον καλύτερο τρόπο τις καμπύλες επιβίωσης ως συνάρτηση του χρόνου σε μια ορισμένη θερμοκρασία:

$$\ln(N/N_0) = -kt \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

ή

$$N = N_0 \exp(-kt) \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

Όπου: k είναι η σταθερά ρυθμού της αντίδρασης (min^{-1} , για αντίδραση 1^{ης} τάξης). Συχνά η επίδραση της θερμοκρασίας στη σταθερά k ακολουθεί την μαθηματικό μοντέλο Arrhenius το οποίο περιγράφεται από την παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

$$k = k_0 \cdot \exp(-E_a/RT) \quad (\text{Εξίσωση 4})$$

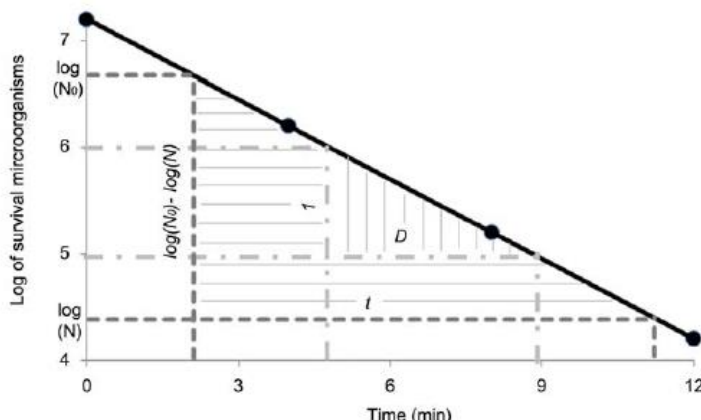
όπου k_0 η σταθερά Arrhenius (min^{-1}), E_a είναι η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol), R η παγκόσμια σταθερά αερίων ($8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$) και T η θερμοκρασία (K).

2.2.1.α. Η τιμή D

Η τιμή D ή αλλιώς χρόνος υποδεκαπλασιασμού (decimal reduction time) ορίζεται ως ο απαιτούμενος χρόνος θέρμανσης, ώστε να υπάρξει μείωση 90% ($N = N_0/10$) στους μικροοργανισμούς ή την ενεργότητα ενζύμων σε σταθερή θερμοκρασία. Η εξίσωση που εκφράζει τη μαθηματική σχέση μεταξύ της τιμής D και της σταθεράς k είναι :

$$D = 2,303/k \quad (\text{Εξίσωση 5})$$

Εάν οι λογάριθμοι των αριθμών των μικροοργανισμών που επιβίωσαν παρασταθούν γραφικά έναντι διαφορετικών χρόνων θέρμανσης σε σταθερή θερμοκρασία, θα εξαχθεί μια ευθεία γραμμή η οποία εκφράζεται μαθηματικά με μια ημιλογαριθμική εξίσωση. Η γραμμή που λαμβάνεται είναι επίσης γνωστή ως η καμπύλη θερμικής απενεργοποίησης (Michael Lewis, 2000).



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα επιζώντων μικροοργανισμών – χρόνου σε σταθερή θερμοκρασία (Erdal Agcam, 2018)

Στην καμπύλη αυτή, το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στο διάστημα ενός λογαριθμικού κύκλου ορίζεται ως η τιμή D (μικρό ορθογώνιο τρίγωνο, κλίση είναι $1/D$). Για τη μείωση του αριθμού μικροοργανισμών ή της ενζυμικής ενεργότητας από $\log(N_0)$ σε $\log(N)$, η απαιτούμενη διάρκεια σε σταθερή θερμοκρασία ορίζεται από το t στο Διάγραμμα 1 (μεγάλο ορθογώνιο τρίγωνο, κλίση είναι $\log(N_0/N)/t$). Οι παρακάτω τύποι μπορούν να γραφτούν με τη χρήση ορθογωνίων τριγώνων που έχουν παρόμοιες κλίσεις:

$$\frac{\log(N_0) - \log(N)}{t} = \frac{1}{D} \quad (\text{Εξίσωση 6})$$

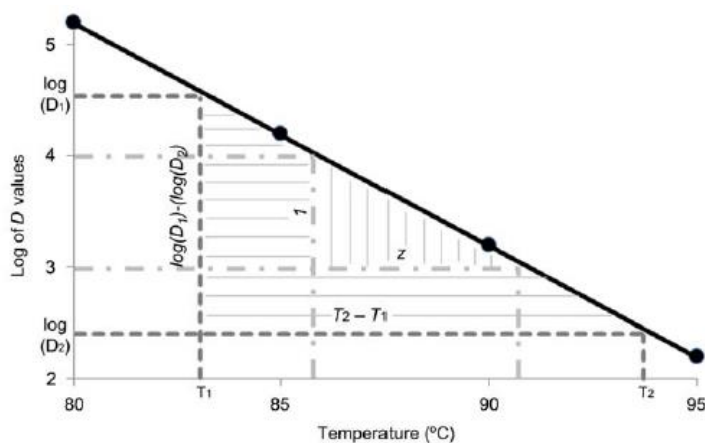
2.2.1.β. Η τιμή z

Η τιμή z ή αλλιώς σταθερά θερμικής αντίστασης, ορίζεται ως η διαφορά θερμοκρασίας που απαιτείται για να δεκαπλασιασθεί ή υποδεκαπλασιασθεί ο χρόνος θερμικού θανάτου. Με άλλα λόγια, για έναν μικροοργανισμό, εάν οι λογάριθμοι των τιμών D απεικονιστούν γραφικά συναρτήσει των θερμοκρασιών θα ληφθεί για την τιμή z μια ευθεία που είναι λογαριθμική εξίσωση.

Στην καμπύλη αυτή, το διάστημα θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε ένα διάστημα ενός λογαριθμικού κύκλου ορίζεται ως η τιμή z (μικρό ορθογώνιο τρίγωνο, η κλίση είναι $1/z$). Για τη μείωση της τιμής D του μικροοργανισμού από $\log(D_1)$ έως $\log(D_2)$, η θερμοκρασιακή απαίτηση ορίζεται ως $(T_2 - T_1)$ (μεγάλο ορθογώνιο τρίγωνο, η κλίση είναι $\log(D_1/D_2)/(T_2 - T_1)$), αυτό φαίνεται στο Διάγραμμα 2. Οι παρακάτω

χρήσιμοι τύποι μπορούν να γραφτούν χρησιμοποιώντας ορθογώνια τρίγωνα που έχουν παρόμοια κλίση:

$$\frac{\log(D_1) - \log(D_2)}{T_2 - T_1} = \frac{1}{z} \quad (\text{Εξίσωση 7})$$



Διάγραμμα 2 Διάγραμμα τιμών D – θερμοκρασιών (Erdal Agcam, 2018)

2.2.1.γ. Χρόνος θερμικού θανάτου

Ο χρόνος θερμικού θανάτου (thermal death time, TDT), ο οποίος συμβολίζεται και με F, ορίζεται ως ο χρόνος διατήρησης σε σταθερή θερμοκρασία που απαιτείται για την επίτευξη προκαθορισμένης μείωσης της συγκέντρωσης ενός πληθυσμού. Η εξίσωση που περιγράφει το χρόνο θερμικού θανάτου είναι η εξής:

$$F = \int 10^{\frac{T - T_{ref}}{z}} \cdot dt \quad (\text{Εξίσωση 8})$$

όπου F ο χρόνος θερμικού θανάτου (min), t ο χρόνος θέρμανσης (min), T η απόλυτη θερμοκρασία, T_{ref} η θερμοκρασία αναφοράς (°C) και z η σταθερά θερμικής αντίστασης (°C).

2.2.2. Ένταση θερμικών μεθόδων

Οι θερμικές μέθοδοι διακρίνονται σε ήπιες και έντονες ανάλογα με το προκαλούμενο θερμικό αποτέλεσμα. Ήπιες θερμικές επεξεργασίες είναι το ζεμάτισμα και η παστερίωση, ενώ ως έντονη θερμική επεξεργασία θεωρείται η παστερίωση.

2.2.2.α. Ζεμάτισμα (Blanching)

Το ζεμάτισμα είναι η επεξεργασία των λαχανικών σε ζεστό νερό ή ατμό για απενεργοποίηση οξειδωτικών ενζύμων. Η διαδικασία είναι εξαιρετικά σημαντική εάν τα λαχανικά πρόκειται να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία με ξήρανση, κατάψυξη ή κονσερβοποίηση, αλλιώς η ποιότητα του προϊόντος θα υποβαθμιστεί κατά τη διανομή και την αποθήκευση. Το θερμικό αποτέλεσμα απενεργοποιεί ένζυμα όπως πολυφαινολική οξειδάση, καταλάση, υπεροξειδάση, λιποξυγενάση και χλωροφυλάση. Εκτός από την απενεργοποίηση ενζύμων, το ζεμάτισμα βοηθά στην καταστροφή μικροοργανισμών στην επιφάνεια, καθαρίζει και κάνει λαχανικά όπως το μπρόκολο και το σπανάκι πιο συμπαγή. Η διαδικασία φωτίζει το χρώμα, επιβραδύνει την απώλεια των βιταμινών των λαχανικών και διευκολύνει τη συσκευασία.

Το ζεμάτισμα πραγματοποιείται με πολλούς τρόπους, όπως με ζεστό νερό, ζεμάτισμα με ατμό, ζεμάτισμα με φούρνο μικροκυμάτων (microwave-MW) και ζεμάτισμα υψηλής πίεσης. Με τη χρήση ζεστού νερού και ατμού παρατηρείται ανεπιθύμητη απώλεια θρεπτικών συστατικών, κυρίως βιταμινών και χρωστικών ουσιών ενώ είναι ενεργοβόρα διαδικασία. Έχει αναφερθεί ότι το ζεμάτισμα με χρήση μικροκυμάτων μειώνει την απώλεια θρεπτικών συστατικών. Ωστόσο, η διαδικασία μπορεί να μην είναι αποτελεσματική, δεδομένου ότι ορισμένα ένζυμα ενδέχεται να μην απενεργοποιηθούν. Το ζεμάτισμα υψηλής πίεσης των λαχανικών έχει σχεδιαστεί με βάση την ιδέα του ζεματίσματος με ζεστό νερό ή ατμό, αλλά χωρίς τη σχετική έκπλυση θρεπτικών ουσιών, τις απώλειες ποιότητας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ωστόσο, η διαδικασία δεν θα μπορούσε να επιτύχει πλήρη απενεργοποίηση των ενζύμων της πολυφαινολικής οξειδάσης (Polyphenol oxidase-PPO).

Η αποτελεσματικότητα του ζεματίσματος εξαρτάται από τη φύση του λαχανικού, τη γεωμετρία του δείγματος, το χρόνο παραμονής, την ποιότητα του νερού, τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και το αρχικό φορτίο του δείκτη-στόχου του ζεματίσματος (μικροοργανισμοί ή ενδογενή ένζυμα). Ο χρόνος ζεματίσματος είναι καθοριστικός και ποικίλλει ανάλογα με το λαχανικό και το μέγεθος/γεωμετρία

του δείγματος. Η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για το ζεμάτισμα των λαχανικών μπορεί να επηρεάσει την υφή ορισμένων λαχανικών. Για παράδειγμα, το σκληρό νερό θα μπορούσε να οδηγήσει σε ζύμωση των πράσινων φασολιών (Mnkeni AP, 1999). Επομένως, είναι σκόπιμο να ελεγχθεί η ποιότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί για το ζεμάτισμα.

2.2.2.β. Παστερίωση (Pasteurization)

Η παστερίωση είναι μια σχετικά ήπια θερμική επεξεργασία με μικρότερη επίπτωση στην ποιότητα του προϊόντος. Η διαδικασία εφαρμόστηκε για την απενεργοποίηση των ενζύμων και την μείωση αλλοιογόνων μικροοργανισμών στο τρόφιμο. Το *Mycobacterium tuberculosis* είναι ο ευρέως αποδεκτός στόχος, αλλά πρόσφατα η *Listeria monocytogenes* θεωρείται μικροοργανισμός-στόχος για παστερίωση, ειδικά για τα γαλακτοκομικά προϊόντα. Δεδομένου ότι η διαδικασία δεν είναι αρκετά έντονη για να σκοτώσει το *C. botulinum*, τα παστεριωμένα τρόφιμα απαιτούν ψύξη αμέσως μετά την επεξεργασία. Έτσι, τα παστεριωμένα προϊόντα έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής. Η ένταση και η διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας εξαρτώνται από τη φύση του προϊόντος, το pH, το αρχικό μικροβιακό φορτίο, τον τύπο της θερμικής επεξεργασίας, τη φύση του μικροοργανισμού κλπ.

Για τους παραπάνω λόγους, ανάλογα με την ένταση της εφαρμοζόμενης θερμικής επεξεργασίας, υπάρχουν τέσσερις ομάδες συμβατικής παστερίωσης:

- υψηλή θερμοκρασία για μεγάλο χρόνο (HTLT).
- υψηλή θερμοκρασία για σύντομο χρόνο (HTST).
- ήπια θερμοκρασία για μεγάλο χρόνο (MTLT); και
- ήπια θερμοκρασία για σύντομο χρόνο (MTST).

Η HTLT παστερίωση πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες στην περιοχή από 80 έως 100 ° C και διάρκεια μεγαλύτερη από 30 s. Τα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας με pH>4,5 χρειάζονται ισχυρότερες επεξεργασίες για να έχουν προστατευμένη ποιότητα. Αυτός ο τύπος επεξεργασίας μπορεί να επηρεάσει με θετικό τρόπο

ορισμένες βιοδραστικές ενώσεις (φαινολικές ενώσεις, φλαβονοειδή και ανθοκυανίνες) και μπορεί να μειώσει τη δραστικότητα ορισμένων ενζύμων, ενώ άλλες βιοδραστικές ενώσεις με οφέλη για την υγεία επηρεάζονται αρνητικά.

Η παστερίωση HTST αναπτύσσεται για να εξασφαλίσει υψηλή ποιότητα προϊόντος ελαχιστοποιώντας την ένταση της θερμικής επεξεργασίας. Στην HTST, οι θερμικές επεξεργασίες με θερμοκρασίες άνω των 80 °C για διάρκεια μικρότερη από 30 s θα μπορούσαν να απενεργοποιήσουν τα ένζυμα όπως η πηκτινομεθυλεστεράση (PME), η πολυφαινολική οξειδάση (PPO) και η περοξειδάση (POD) σε ορισμένους χυμούς.

Η διαδικασία παστερίωσης με συνδυασμό θερμοκρασίας μικρότερης των 80 °C και διάρκειας μεγαλύτερης των 30 s ονομάζεται παστερίωση MTLT. Πρόκειται για μια διαδικασία που εφαρμόζεται για τη βελτίωση των ελάχιστα επεξεργασμένων προϊόντων διατροφής με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Η παστερίωση MTST με εφαρμογή θερμοκρασίας και χρόνου κάτω από 80 °C και 30 s είναι μια διαδικασία πιο ήπια από τους άλλους τύπους παστερίωσης. Παρόλα αυτά, η επεξεργασία σε συνθήκες MTST μπορεί να επηρεάσει τις φυσικοχημικές, οργανοληπτικές και λειτουργικές ιδιότητες των τροφίμων (Petruzzi Leonardo, 2017).

Για τα προϊόντα αλόης εφαρμόζεται η HTST παστερίωση, θερμοκρασίες 85-95 °C και για χρόνους 1-2 min. Αμέσως μετά ακολουθεί ψύξη σε θερμοκρασία 5 °C ή λιγότερο (Ramachandra C.T., 2008). Αναφέρεται ότι αυτή η μέθοδος είναι η πιο αποδοτική για να διατηρήσει η γέλη τη δραστικότητα της και τα οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά, ενώ η παραμονή σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλους χρόνους μπορεί να προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση στα ποιοτικά της χαρακτηριστικά (Rahman, 2014).

2.2.2.γ. Αποστείρωση (Sterilization)

Θεωρητικά, η αποστείρωση αναφέρεται στην πλήρη αδρανοποίηση όλων των μικροοργανισμών που υπάρχουν στα τρόφιμα. Τα τρόφιμα αποστειρώνονται εμπορικά σε αυτόκλειστα ή σε σύστημα συνεχούς ροής σε θερμοκρασίες άνω των 100 °C. Ο πρωταρχικός στόχος της αποστείρωσης είναι να καταστραφεί το *C. botulinum* και τα σπόρια του και να παραχθεί ένα ασφαλές, σταθερό τρόφιμο. Με βάση αυτό το δεδομένο, για την αποστείρωση θεωρείται ως θερμοκρασία αναφοράς

οι 121 °C , διότι η ελάχιστη συνιστώμενη διαδικασία για την επίτευξη μείωσης 12D για το *Clostridium botulinum* απαιτεί θέρμανση στους 121 °C για χρόνο 3 min. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τιμές D και z για διάφορους μικροοργανισμούς και ένζυμα. Η επιτυχία της διαδικασίας εξαρτάται όχι μόνο από την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών, αλλά και από άλλους παράγοντες που σχετίζονται με την απενεργοποίηση των αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Αυτοί οι παράγοντες είναι η φύση των τροφίμων (pH, σ_w), της ερμητικής συσκευασίας και της θερμοκρασίας αποθήκευσης.

Πίνακας 1 Ενδεικτικές τιμές D, z για διάφορους μικροοργανισμούς και ένζυμα (Michael Lewis, 2000)

	$D_{121}(s)$	Z (°C)	Q_{10}
<i>B. stearothermophilus</i> NCDO 1096, milk	181	9.43	11.5
<i>B. stearothermophilus</i> FS 1518, conc. milk	117	9.35	11.8
<i>B. stearothermophilus</i> FS 1518, milk	324	6.7	31.1
<i>B. stearothermophilus</i> NCDO 1096, milk	372	9.3	12
<i>B. subtilis</i> 786, milk	20	6.66	31.7
<i>B. coagulans</i> 604, milk	60	5.98	57.6
<i>B. cereus</i> , milk	3.8	35.9	1.9
<i>Cl. sporogenes</i> PA 3679, conc. milk	43	11.3	7.7
<i>Cl. botulinum</i> NCTC 7272	3.2	36.1	1.89
<i>Cl. botulinum</i> (canning data)	13	10.0	10
Protease inactivation	0.5–27 min at 150°C	32.5–28.5	2.0–2.3
Lipase inactivation	0.5–1.7 min at 150°C	42–25	1.7–2.5
Browning		28.2, 21.3	2.26, 2.95
Total whey protein denaturation, 130°–150°C		30	2.2
Available lysine		30.1	2.15
Thiamin (vitamin B ₁) loss		31.4–29.4	2.08–2.19
Lactulose formation		27.7–21.0	2.30–3.00

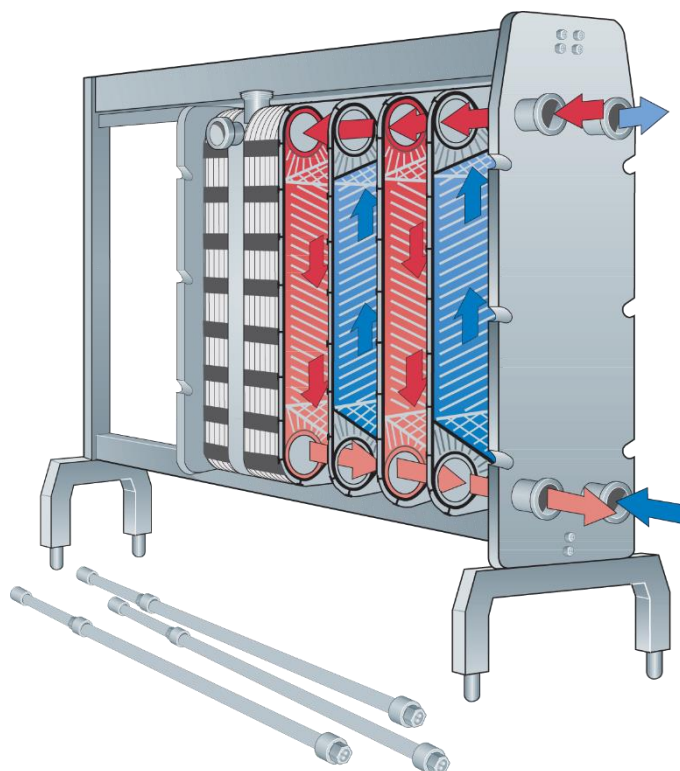
2.2.3. Εξοπλισμός θερμικών διεργασιών

Η θερμική επεξεργασία τροφίμων με συμβατικές μεθόδους πραγματοποιείται με συστήματα συνεχούς λειτουργίας για ρευστά και ημίρρευστα τρόφιμα, ενώ με συστήματα διαλείποντος έργου για στερεά τρόφιμα.

Για το ζεμάτισμα στις περισσότερες περιπτώσεις το τρόφιμο έρχεται απευθείας σε επαφή με το θερμό νερό ή ατμό. Το ζεμάτισμα με νερό μπορεί να γίνει

σε συστήματα ασυνεχούς λειτουργίας με εμβάπτιση των τροφίμων σε προθερμασμένο νερό. Συνήθως το τρόφιμο τοποθετείται σε διάτρητα τύμπανα με δυνατότητα περιστροφής. Τα συστήματα συνεχούς λειτουργίας είναι τύπου κοχλιωτού μεταφορέα, διάτρητου τυμπάνου ή σωλήνων. Το νερό μετά το διαχωρισμό του με το τρόφιμο ανακυκλώνεται και γίνεται συνεχής προσθήκη φρέσκου νερού. Το ζεμάτισμα με ατμό μπορεί να γίνει σε συστήματα ασυνεχούς λειτουργίας, αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται ζεματιστήρες συνεχούς λειτουργίας.

Για την παστερίωση συνήθως χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης θερμότητας με πλάκες (PHE) (Εικόνα 12) για την παστερίωση τροφίμων χαμηλού ιξώδους (<5 Pa·s). Το ψυχρό ρευστό αντλείται στο τμήμα ανάκτησης του εναλλάκτη που ακολουθείται από θέρμανση σε επιθυμητή θερμοκρασία (72 έως 75 °C), διατηρώντας ένα προκαθορισμένο χρόνο παραμονής (15 έως 30 δευτερόλεπτα) και τέλος ψύξη σε θερμοκρασία ψύξης. Το θερμό τρόφιμο στην έξοδο του εναλλάκτη μπορεί να ψυχθεί με εναλλαγή θερμότητας με το ψυχρό τρόφιμο που εισέρχεται σε αυτόν. Η ανάκτηση θερμότητας αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα των εναλλακτών. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αποφυγή επιμόλυνσης από την επαφή του θερμού επεξεργασμένου τροφίμου τόσο με το ψυχρό ανεπεξεργαστο τρόφιμο όσο και με το θερμαντικό μέσο.



Εικόνα 12 Πλακοειδής εναλλάκτης

Τα ιξώδη προϊόντα μπορούν να παστεριωθούν με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας με απόξεση, των οποίων η εσωτερική επιφάνεια σε επαφή με το προϊόν αποξέεται συνεχώς από χυτευμένο πλαστικό για να αποφευχθεί η ρύπανση. Σημαντικό πρόβλημα κατά την χρήση εναλλακτών είναι οι εναποθέσεις τροφίμου στα τοιχώματα. Γενικά, για την βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας, επιδιώκεται η τυρβώδης ροή του τροφίμου με αύξηση της ταχύτητας ροής τους μέσα στον εναλλάκτη (Richardson, 2001).

2.2.4. Εναλλακτικές θερμικές μέθοδοι

Εκτός από τις παραδοσιακές μεθόδους θερμικής επεξεργασία των τροφίμων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια κάποιες εναλλακτικές. Οι λόγοι που ώθησαν στην εμφάνιση τους ήταν τα θέματα υποβάθμισης ποιότητας των τροφίμων που προκαλούσαν οι συμβατικές μέθοδοι, οικονομικοί λόγοι, περιβαλλοντολογικοί λόγοι κ.α.

2.2.4.α. Ωμική θέρμανση

Η ωμική θέρμανση, επίσης θέρμανση Joule, θέρμανση με ηλεκτρική αντίσταση (άμεση ηλεκτρική αντίσταση) ορίζεται ως μια διαδικασία όπου τα ηλεκτρικά ρεύματα περνούν μέσα από τα τρόφιμα για να τα θερμάνουν. Η θερμότητα παράγεται εσωτερικά λόγω της ηλεκτρικής αντίστασης. Η ωμική θέρμανση διακρίνεται από άλλες ηλεκτρικές μεθόδους θέρμανσης με την παρουσία ηλεκτροδίων που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα (αν απουσιάζουν μικροκύματα και επαγωγικά ηλεκτρόδια θέρμανσης), τη συχνότητα που εφαρμόζεται (χωρίς περιορισμούς, η ειδική περιοχή ραδιοσυχνοτήτων ή μικροκυμάτων) και την κυματομορφή (επίσης χωρίς περιορισμούς, αν και τυπικά είναι ημιτονοειδής).

Η τεχνολογία της ωμικής θέρμανσης έχει αποκτήσει πρόσφατα ενδιαφέρον, διότι τα προϊόντα είναι καλύτερης ποιότητας σε σχέση με τα επεξεργασμένα με συμβατικές τεχνολογίες. Επιπλέον, μπορεί να ενσωματωθεί σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία αποστείρωσης ή μαγειρέματος. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων της είναι η ομοιομορφία της θέρμανσης και η βελτίωση της ποιότητας, με ελάχιστες δομικές, θρεπτικές ή οργανοληπτικές αλλαγές.

Οι δυνητικές εφαρμογές είναι πολύ ευρείες και περιλαμβάνουν εξάτμιση, αφυδάτωση, ζύμωση, παστερίωση και αποστείρωση. Το σύστημα της ωμικής θέρμανσης επιτρέπει την παραγωγή νέων, υψηλής προστιθέμενης αξίας προϊόντων με ποιότητα που προηγουμένως δεν ήταν εφικτή με εναλλακτικές τεχνικές αποστείρωσης, ειδικά για σωματιδιακά τρόφιμα. (Vicente António Augusto, 2006)

Δεν υπάρχουν αναφορές για τη χρήση της ωμικής θέρμανσης στην επεξεργασία της αλόης. Μια συγκριτική μελέτη μεταξύ ωμικής θέρμανσης και συμβατικής θερμικής αναφέρει ότι η ωμική προκάλεσε μεγαλύτερη απώλεια σε βιταμίνη C απ' ό,τι η συμβατική (Saberian Hamed, 2015).

2.2.4.β. Μικροκύματα και ραδιοσυχνότητες

Η θέρμανση με ραδιοσυχνότητες (RF) είναι μια τεχνολογία θέρμανσης που επιτρέπει την ταχεία και ομοιόμορφη θέρμανση σε ένα μέσο. Αυτή η τεχνολογία παράγει θερμική ενέργεια μέσα στο προϊόν και καθ' όλη τη μάζα του ταυτόχρονα,

λόγω των αλληλεπιδράσεων τριβής των πολικών διηλεκτρικών μορίων που περιστρέφονται σε απόκριση σε ένα εξωτερικά εφαρμοζόμενο AC ηλεκτρικό πεδίο. Η θέρμανση με ραδιοσυχνότητες προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μεθόδων θέρμανσης στην εφαρμογή της στα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένης της εξοικονόμησης ενέργειας με την αύξηση της θερμικής απόδοσης, της επίτευξης γρήγορης και ομαλής θέρμανσης, αποφεύγοντας τη ρύπανση, καθώς δεν υπάρχουν υποπροϊόντα καύσης.

Με ανάλογο τρόπο, η θέρμανση με μικροκύματα συμβαίνει λόγω της δυνατότητας ορισμένων υλικών να μετατρέπουν την απορροφημένη ενέργεια από τα μικροκύματα σε θερμότητα (Ramesh M.N., 2002). Οι μεσολαβητικοί διπολικοί και ιονικοί μηχανισμοί είναι κυρίως υπεύθυνοι για τη θέρμανση με μικροκύματα σε πλέγματα τροφίμων. Η παρουσία νερού στην πλειονότητα των τροφίμων σχετίζεται με τη διηλεκτρική θέρμανση καθώς το δίπολο νερού προσπαθεί να επαναπροσανατολίζει συνεχώς στο ταλαντευόμενο ηλεκτρικό πεδίο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ανάλογα με τη συχνότητα, το δίπολο μπορεί να μετακινηθεί εγκαίρως στο πεδίο, να παραμείνει πίσω του ή να παραμείνει προφανώς ανεπηρέαστο (Xanthakis E., 2017). Τα μικροκύματα έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκχύλιση βιοδραστικών συστατικών από φυτικούς ιστούς μέσω της διόγκωσης των κυττάρων, τα οποία τελικά θραύονται και απελευθερώνουν ακατέργαστο χυμό και ατμό (Muhammad Mushtaq, 2018).

2.2.5. Επίδραση των θερμικών μεθόδων στην ποιότητα των φυτικών τροφίμων

Δεδομένου ότι τα φυτικά τρόφιμα έχουν κυρίως χαμηλή οξύτητα, το πεδίο της παστερίωσης είναι περιορισμένο. Μερικές αναφορές είναι διαθέσιμες για τα αλεσμένα τρόφιμα και τους χυμούς όπου το pH μειώνεται σε περίπου 4,0 για να πραγματοποιηθεί παστερίωση ώστε να διατηρηθεί η οργανοληπτική ποιότητα. Ωστόσο, η οξίνιση υποβαθμίζει σημαντικά το χρώμα και τις χρωστικές ουσίες, ενώ δεν βρέθηκαν σημαντικές αλλαγές στην υφή ή τη γεύση αυτών των προϊόντων. Από την άλλη, η εμπορική αποστείρωση χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία τροφίμων, με την αντίστοιχη απώλεια ποιότητας λόγω των έντονων θερμικών συνθηκών.

Όσο πιο έντονη είναι η θερμική επεξεργασία, τόσο μεγαλύτερη απώλεια ποιότητας παρατηρείται σε ένα τρόφιμο. Παρατηρούνται αλλαγές στις χρωστικές και στο χρώμα των τροφίμων, ειδικά στα προϊόντα φυτική προέλευσης. Επίσης λόγω του ότι η θερμική επεξεργασία μαλακώνει τους ιστούς των τροφίμων δημιουργούνται αλλαγές στην υφή και στην ρεολογία των προϊόντων. Τελευταίος και σημαντικός παράγοντας είναι η απώλεια των θρεπτικών συστατικών. Με τη θέρμανση μειώνονται ή και καταστρέφονται οι βιταμίνες, πραγματοποιείται μετουσίωση των πρωτεϊνών και γίνεται απενεργοποίηση των ενζύμων. Όλα τα παραπάνω αποτελούν μέρος του υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών ενός τροφίμου.

2.2.5.α. Βελτιστοποίηση ποιότητας

Η βελτιστοποίηση της ποιότητας κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας συνεπάγεται τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ της απενεργοποίησης των αλλοιογόνων μικροοργανισμών και της διατήρησης των παραμέτρων ποιότητας. Γι' αυτό το λόγο πολλές φορές συνδυάζεται μια ηπιότερη μέθοδος επεξεργασίας με ρύθμιση του pH του τροφίμου (π.χ. με κιτρικό οξύ), μείωση της ενεργότητας νερού, αύξηση του NaCl ή χρήση προσθέτων (π.χ. αντιοξειδωτικών σκευασμάτων).

2.3. Μη θερμικές μέθοδοι

Οι καταναλωτές έχουν μια αυξανόμενη προτίμηση για φρέσκα, υγιεινά, εύγευστα, χωρίς πρόσθετα, πρακτικά, υψηλής ποιότητας και μικροβιολογικά ασφαλή τρόφιμα. Αυτές οι απαιτήσεις δημιουργούν εξαιρετικές προκλήσεις για τη συνεχή βελτίωση των συμβατικών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων καθώς και για την ανάπτυξη νέων προϊόντων.

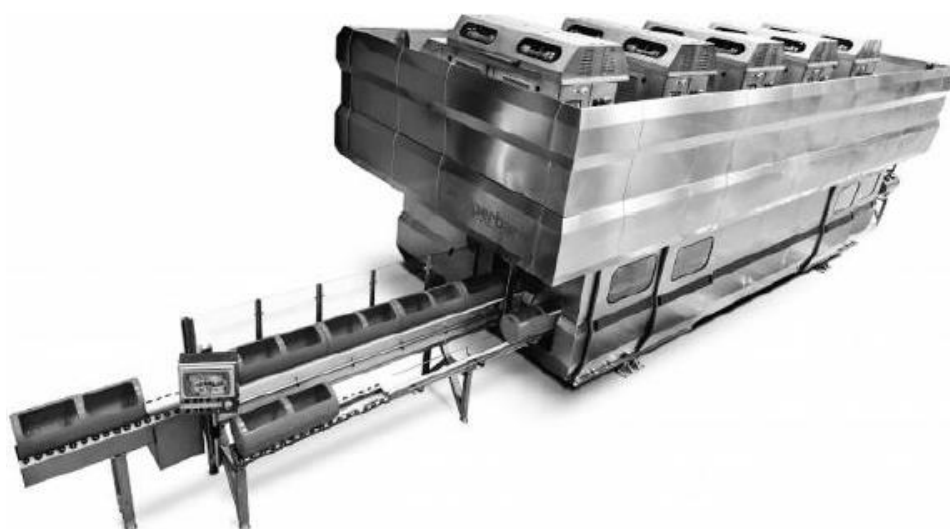
Η συμβατική θερμική επεξεργασία εφαρμόζεται για την παραγωγή ασφαλών προϊόντων με αύξηση της διάρκειας ζωής σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα. Παρόλο που οι θερμικές μέθοδοι έχουν βελτιστοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό, σε σύγκριση με το παρελθόν, εξακολουθούν να επηρεάζουν την ποιότητα των τροφίμων. Η βιομηχανία τροφίμων έχει ανταποκριθεί εφαρμόζοντας μια σειρά από νέες τεχνολογίες, που υπάγονται στην κατηγορία των μη θερμικών μεθόδων

επεξεργασίας, όρος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό τεχνολογιών που ο κύριος παράγοντας της μικροβιακής αδρανοποίησης δεν είναι η θερμότητα.

Κάποια παραδείγματα των μη θερμικών μεθόδων, τα οποία θα αναπτυχθούν και παρακάτω, είναι η υπερυψηλή πίεση (ΥΠ, High Pressure-HP), τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF), οι υπέρηχοι (US), το υπεριώδες φως (UV) και το ψυχρό πλάσμα (CP).

2.3.1. Υπερυψηλή πίεση (ΥΠ), High pressure (HP)

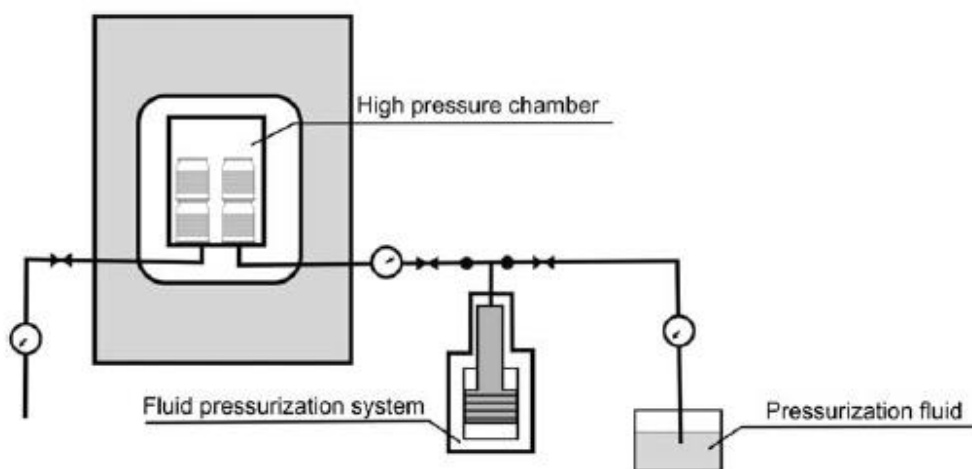
Η τεχνολογία επεξεργασίας τροφίμων με χρήση της υψηλής πίεσης αναπτύσσεται σε μεγάλο βαθμό, λόγω των πλεονεκτημάτων αυτής της τεχνολογίας έναντι άλλων μεθόδων επεξεργασίας και συντήρησης. Ένα σημαντικό ζήτημα στην εφαρμογή τεχνολογίας ΥΠ στη βιομηχανία τροφίμων είναι ότι μειώνει το μικροβιακό φορτίο στο ίδιο επίπεδο που επιτυγχάνεται και με τις παραδοσιακές τεχνολογίες, παρέχοντας παράλληλα προϊόντα υψηλότερης ποιότητας. Ο συνδυασμός υψηλής πίεσης με άλλες επεξεργασίες (π.χ. ήπια αύξηση της θερμοκρασίας, αποθήκευση υπό ψύξη και οξίνιση) κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης είναι μια πιθανή λύση για τη βιομηχανία τροφίμων, καθώς η απενεργοποίηση βακτηριακών σπόρων και ορισμένων ανθεκτικών στην πίεση ενζύμων δεν μπορεί να επιτευχθεί μόνο με πίεση.



Εικόνα 13 Εργοστασιακή μονάδα Υπερυψηλής πίεσης (Katsaros George, 2016)

2.3.1.α. Αρχή λειτουργίας και εξοπλισμός της ΥΠ

Η ΥΠ βασίζεται στην ισοστατική αρχή και την αρχή του Le Chatelier. Η ισοστατική αρχή υποθέτει ότι η πίεση εφαρμόζεται εξίσου σε όλες τις κατευθύνσεις, επομένως κατανέμεται ομοιογενώς και στιγμιαία, ανεξάρτητα από τη σύνθεση, το μέγεθος ή τη γεωμετρία του τροφίμου. Η αρχή εγγυάται ότι δεν μπορούν να εμφανιστούν μεταβολές στην πίεση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και επίσης ότι τα μη πορώδη τρόφιμα θα διατηρήσουν το αρχικό τους σχήμα μετά την επεξεργασία ΥΠ. Η αρχή Le Chatelier αναφέρει ότι οποιοδήποτε φαινόμενο (μετάβαση φάσης, χημική ή βιοχημική αντίδραση, κλπ) που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου ευνοείται από τη συμπίεση. Επομένως, όλες οι ενώσεις που υπόκεινται σε συνθήκες υπό πίεση θα καταλαμβάνουν το χαμηλότερο δυνατό όγκο. Η Εικόνα 14 δείχνει ένα σχηματικό μοντέλο λειτουργίας της ΥΠ (Wael M. Elamin, 2015).

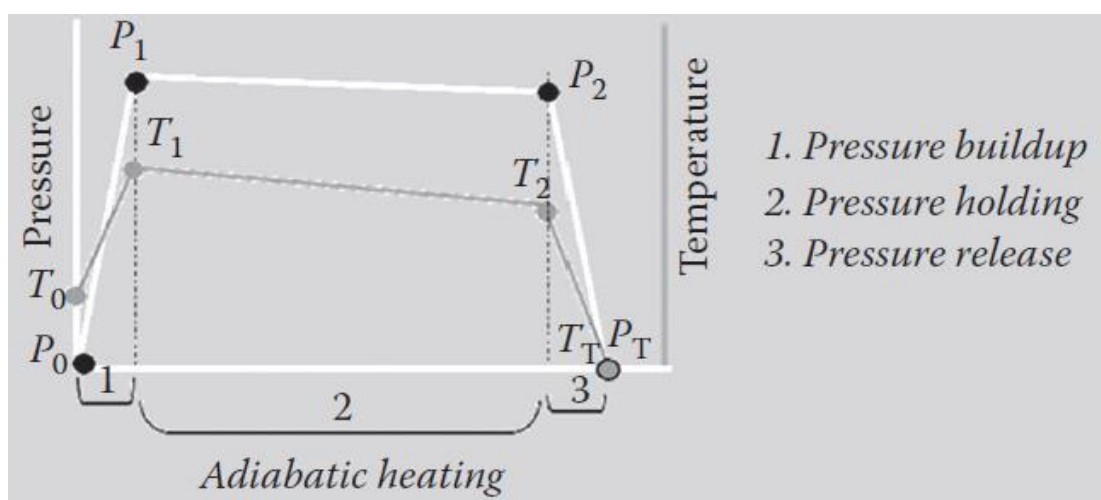


Εικόνα 14 Μοντέλο λειτουργίας της ΥΠ

Για την επεξεργασία, το τρόφιμο, το οποίο είναι συνήθως προσσκευασμένο, εισάγεται σε θάλαμο με υγρό συμπίεσης, κυρίως νερό συνήθως συνδυασμένο με ορυκτό ή φυτικό έλαιο για λίπανση, με αντιδιαβρωτικούς σκοπούς. Το επίπεδο πίεσης κυμαίνεται συνήθως από 100 έως 600 MPa. Ο θάλαμος επεξεργασίας, ο οποίος μπορεί να διατηρεί το επίπεδο πίεσης, φορτώνεται με το προϊόν και κλείνει και η συμπίεση λαμβάνει χώρα απευθείας, με ένα έμβολο, ή έμμεσα, με εισαγωγή

υγρού υπό πίεση εντός του θαλάμου μέχρι να φτάσει την επιθυμητή πίεση. Η πίεση παράγεται χρησιμοποιώντας μια αντλία. Ο ρυθμός συμπίεσης είναι περίπου 5-7 MPa/s, φθάνοντας σε πίεση 600 MPa μετά από περίπου 2 λεπτά συμπίεσης.

Η πίεση προκαλεί αδιαβατική θέρμανση του θαλάμου, περίπου 3 °C για κάθε 100 MPa, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του προϊόντος. Αυτή η αδιαβατική θέρμανση φαίνεται στο Διάγραμμα 1, διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο της ΥΠ. Όταν είναι απαραίτητο, η θερμοκρασία μέσα στο θάλαμο μπορεί να ελεγχθεί εσωτερικά ή εξωτερικά, με τη χρήση ψυκτικών μανδυνών, με τη χρήση ενός εσωτερικού εναλλάκτη θερμότητας στο δοχείο πίεσης ή με την ανακυκλοφορία του μέσου ψύξης/θέρμανσης. Ωστόσο, στην ΥΠ δεν υπάρχουν διαβαθμίσεις θερμοκρασίας ή πίεσης (όπως στη θερμική επεξεργασία), που δείχνουν ότι η επεξεργασία είναι ομοιόμορφη και στιγμιαία.



Διάγραμμα 3: Αναμενόμενο προφίλ της πίεσης και της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ΥΠ.
(Katsaros George I., 2015)

Η διεργασία της ΥΠ γίνεται είτε με διαλείποντα ή ημι-διαλείποντα τρόπο. Η διαδικασία με διαλείποντα τρόπο έχει πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, ο κίνδυνος μόλυνσης των τροφίμων από τον εξοπλισμό εξαλείφεται, επειδή το προϊόν τοποθετείται μέσα σε πλαστικά δοχεία. Μόλις τελειώσει η επεξεργασία, τα δοχεία απομακρύνονται και ο εξοπλισμός δεν απαιτεί καθαρισμό. Μεταξύ των υλικών που απαιτούνται για τη συσκευασία τροφίμων είναι τα φιλμ από αιθυλένιο, βινύλιο και πολυβινύλιο.

2.3.1.β. Εξωγενείς παράγοντες της διεργασίας ΥΠ

Στην επεξεργασία με ΥΠ, οι συνθήκες είναι συνάρτηση των ακόλουθων παραμέτρων: της εφαρμοζόμενης πίεσης (MPa), της θερμοκρασίας κατά τη χρήση της ΥΠ σε συνδυασμό με θέρμανση (°C), του χρόνου αναμονής (min), του χρόνου δημιουργίας πίεσης (min), του χρόνου απελευθέρωσης πίεσης (min), του αριθμού των παλμών και του χρονικού διαστήματος μεταξύ παλμών, όταν χρησιμοποιούνται παλμικές πιέσεις.

Η αποτελεσματικότητα μιας διεργασίας ΥΠ εξαρτάται επιπλέον από τη σύνθεση και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του υπό επεξεργασία τροφίμου, κυρίως από το pH και την ενεργότητα νερού a_w , τη φύση των ενζύμων και τη μικροβιακή του χλωρίδα. Όσο χαμηλότερο είναι το pH, τόσο ενισχύεται η καταστροφή και παρεμποδίζεται η αποκατάσταση των τραυματισμένων κυττάρων των μικροοργανισμών από την ΥΠ. Επομένως, σε τρόφιμα με χαμηλό pH, όπως οι χυμοί φρούτων και λαχανικών, αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της διεργασίας. Κατά την φάση συμπίεσης, επίσης, μπορεί να μεταβληθεί το pH του τροφίμου ως συνάρτηση της εφαρμοζόμενης πίεσης. Το πρόσημο και το εύρος της μεταβολής του pH πρέπει να προσδιορίζεται για κάθε επεξεργασία. Σχετικά με την ενεργότητα νερού (a_w), χαμηλότερες τιμές a_w προστατεύουν τους μικροοργανισμούς έναντι της πίεσης αλλά εμποδίζουν ταυτόχρονα την αποκατάσταση των τραυματισμένων κυττάρων (Smelt, 1998). Συνεπώς, η επίδραση της a_w στην απενεργοποίηση μικροοργανισμών με ΥΠ δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί (Katsaros George, 2016).

2.3.1.γ. Μαθηματική μοντελοποίηση της ΥΠ

Τα μαθηματικά μοντέλα που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία είναι εμπειρικά στην πλειονότητα τους και καθένα από αυτά αφορά στην επεξεργασία κάθε τροφίμου ξεχωριστά. Τα περισσότερα περιλαμβάνουν ως παραμέτρους την πίεση, τον χρόνο επεξεργασίας και την θερμοκρασία.

Αναφορικά με την κινητική απενεργοποίησης μικροοργανισμών και ενζύμων με ΥΠ έχει προταθεί η κινητική πρώτης τάξης, κατ' αναλογία με τις θερμικές διεργασίες:

$$\frac{C_t}{C_0} = \exp(-k \cdot t) \quad k=f(T,P,...) \quad (\text{Εξίσωση 9})$$

όπου το C_t είναι η συγκέντρωση ή ο πληθυσμός μικροοργανισμών την χρονική στιγμή t και C_0 η αρχική, k είναι η σταθερά ταχύτητας αντίδρασης σε σταθερές συνθήκες της διαδικασίας (min^{-1}), t ο χρόνος επεξεργασίας (min), T η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας ΥΠ (K) και η πίεση P (MPa). Ο ρυθμός απενεργοποίησης εξαρτάται από τον μικροοργανισμό, την θερμοκρασία και την πίεση. Η εξάρτηση του από την θερμοκρασία και την πίεση μπορεί να περιγραφεί από τις εξισώσεις Arrhenius και Eyring, αντίστοιχα:

$$k = k_{T_{ref}} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right] \quad (\text{Εξίσωση 10})$$

$$k = k_{P_{ref}} \exp \left[-\frac{V_a}{R} \frac{(P - P_{ref})}{T} \right] \quad (\text{Εξίσωση 11})$$

Όπου: το T_{ref} και το P_{ref} αντιπροσωπεύουν την τιμή αναφοράς και την πίεση αναφοράς αντίστοιχα, E_a (J/mol) και V_a (mL/mol) την ενέργεια ενεργοποίησης και τον όγκο αντίστοιχα και R τη παγκόσμια σταθερά αερίων (8,314 J/(mol·K)).

Η ενέργεια ενεργοποίησης ($E_{a,P}$) εκφράζει την εξάρτηση του ρυθμού απενεργοποίησης από την θερμοκρασία και εξαρτάται από την πίεση. Ο όγκος ενεργοποίησης ($V_{a,T}$) εκφράζει την εξάρτηση του ρυθμού απενεργοποίησης από την πίεση και εξαρτάται από την θερμοκρασία. Υψηλές τιμές $E_{a,P}$ και $V_{a,T}$ αυξάνουν την εξάρτηση του ρυθμού απενεργοποίησης από τη θερμοκρασία και την πίεση αντίστοιχα. Συνήθως, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση του όγκου ενεργοποίησης και συνεπώς ο ρυθμός απενεργοποίησης εξαρτάται λιγότερο από την πίεση. Αντίστοιχα, αύξηση της πίεσης συνήθως οδηγεί σε μείωση της ενέργειας ενεργοποίησης και συνεπώς ο ρυθμός απενεργοποίησης εξαρτάται λιγότερο από την θερμοκρασία.

Αναφορικά με την απενεργοποίηση μικροοργανισμών με ΥΠ, εκτός του ρυθμού απενεργοποίησης $k_{T,P}$, έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία τιμές για τον

χρόνο υποδεκαπλασιασμού ($D_{T,P}$) και για τις τιμές $z_{T,P}$ και $F_{T,P}$ συναρτήσει της θερμοκρασίας αλλά και της πίεσης για διάφορους μικροοργανισμούς, κατ' αναλογία με τις θερμικές μεθόδους. Σχετικά με την ανομοιογένεια της θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η δραστική θερμοκρασία (T_{eff}), δηλαδή η τιμή της σταθερής θερμοκρασίας που έχει το ίδιο αποτέλεσμα απενεργοποίησης με την ανομοιογενή θερμοκρασία μέσα στη δεξαμενή επεξεργασίας. Τέλος, έχουν προταθεί κινητικές πρώτης τάξης και για την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του τροφίμου λόγω της ΥΠ.

Η ανομοιογένεια της θερμοκρασίας και οι περίοδοι συμπίεσης και αποσυμπίεσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την μοντελοποίηση της διεργασίας. Μερικές από τις κρίσιμες παραμέτρους είναι η κατανομή της θερμοκρασίας στο τρόφιμο, η αρχική θερμοκρασία στο δοχείο, ο λόγος υγρού μετάδοσης προς το τρόφιμο, οι ρυθμοί συμπίεσης και αποσυμπίεσης και ο χρόνος επεξεργασίας. Επίσης, άλλες παράμετροι που πρέπει να προσδιορίζονται είναι η εξάρτηση των θερμικών ιδιοτήτων του τροφίμου και του υγρού μετάδοσης πίεσης συναρτήσει της πίεσης και της θερμοκρασίας, ο υπολογισμός της αδιαβατικής θέρμανσης κατά την συμπίεση και τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας μέσα στη δεξαμενή επεξεργασίας, αλλά και μεταξύ δεξαμενής και περιβάλλοντος (Katsaros George, 2016)

2.3.1.δ. Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς

Η ΥΠ προκαλεί μικροβιακή αδρανοποίηση με διάφορους μηχανισμούς. Οι αλλαγές στην κυτταρική μεμβράνη (μεταβολές στη κυτταρική δομή και διαπερατότητα) είναι οι κυριότερες που ευθύνονται για το θάνατο των μικροοργανισμών. Επιπλέον, η μείωση του όγκου που προκαλείται από την ΥΠ έχει σαν αποτέλεσμα: αναστολή της σύνθεσης πρωτεϊνών και ενζύμων, αλλαγές στην κυτταρική μορφολογία και μεταβολές των μηχανισμών αναπαραγωγής και επιβίωσης των μικροοργανισμών (Muntean, 2017). Όσον αφορά την αντοχή στην ΥΠ, οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί (όπως οι μύκητες και τα πρωτόζωα) είναι λιγότερο ανθεκτικοί από τους προκαρυωτικούς οργανισμούς (βακτήρια). Μεταξύ των βακτηρίων, τα θετικά κατά Gram βακτήρια είναι συνήθως πιο ανθεκτικά από τα

Gram-αρνητικά, λόγω της υψηλότερης ακαμψίας των κυτταρικών τοιχωμάτων τους. Επιπλέον, οι κόκκοι είναι συνήθως πιο ανθεκτικοί από τις ράβδους λόγω της χωρικής διαμόρφωσής τους (Hsiao-Wen Huang, 2014). Είναι δύσκολο να προσδιοριστούν πιέσεις ικανές να απενεργοποιήσουν κάθε ομάδα μικροοργανισμών, επειδή επηρεάζονται από την φάση ανάπτυξης και το επίπεδο της μόλυνσης, τα χαρακτηριστικά των τροφίμων (pH, a_w , οξύτητα, παρουσία αντιμικροβιακών, ζάχαρη, κλπ) και άλλες παραμέτρους διεργασίας (χρόνος, θερμοκρασία, αριθμός κύκλων).

Εκτός από τα φυτικά κύτταρα, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι μύκητες και τα σπόρια των βακτηρίων που μπορούν να βρεθούν στα τρόφιμα. Για τους χυμούς φρούτων με χαμηλό pH, το κύριο μέλημα είναι οι μύκητες από το γένος *Byssochlamys* και *Neosartorya*. Για τα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας, πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η παρουσία βακτηριακών σπορίων, από το γένος *Clostridium* και *Bacillus*, συμπεριλαμβανομένων παθογόνων όπως το *Clostridium botulinum* και το *Bacillus cereus*. Η επεξεργασία με ΥΠ (έως 1200 MPa) δεν είναι ικανή να προκαλέσει επαρκή μείωση των αριθμών σπορίων, αφού η επίδραση διεργασίας στη δομή των σπορίων είναι ελάχιστη ή δεν υπάρχει.

Οι πιέσεις της τάξεως των 600 MPa, σε θερμοκρασία δωματίου, για τουλάχιστον 3 έως 5 λεπτά είναι αρκετές για να προκαλέσουν μικροβιακή αδρανοποίηση παρόμοια με εκείνη που αναμένεται από μια θερμική διαδικασία παστερίωσης. Βάσει αυτών των αποτελεσμάτων, το 2010 η Επιτροπή Τροφίμων και Φαρμάκων (Food and Drug Administration, FDA) άρχισε να συστήνει την εφαρμογή των 580 MPa σε ποικίλους χρόνους, τουλάχιστον 3 λεπτά, για τη σταθεροποίηση των όξινων τροφίμων ή των τροφίμων χαμηλής οξύτητας, όταν η διαδικασία συνδυάζεται με την αποθήκευση σε ψυγεία (FDA, 2014). Η πλειονότητα των χυμών φρούτων χαρακτηρίζεται από χαμηλό pH (< 4,5), που ταξινομούνται στα όξινα τρόφιμα, για τα οποία μόνο η ΥΠ είναι σε θέση να εγγυηθεί την ασφάλεια των τροφίμων.

2.3.1.ε. Επίδραση της ΥΠ στα συστατικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των χυμών

Η ΥΠ ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις στα διατροφικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων σε σύγκριση με μια συμβατική θερμική διαδικασία, ικανή να παρέχει παρόμοια μικροβιολογική ασφάλεια, κυρίως επειδή η επεξεργασία της ΥΠ δεν είναι ικανή να επηρεάσει μικρά μόρια και

ομοιοπολικούς δεσμούς. Παρ' όλα αυτά, η υψηλή πίεση προκαλεί άλλες αλλοιώσεις στον χυμό, επηρεάζοντας την ακεραιότητα των κυττάρων, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες μακράς αλυσίδας με επακόλουθο τη δομή του χυμού και τις τεχνολογικές, οργανοληπτικές και θρεπτικές του ιδιότητες.

Ακόμη και σε χαμηλές πιέσεις (100 MPa), προκαλεί διάσπαση των ιστών με αποτέλεσμα η ρήξη των κυττάρων και των οργανιδίων να επιτρέπει την απελευθέρωση των βιοδραστικών ενώσεων και έτσι προκαλεί την επαφή μεταξύ ενζύμων και υποστρωμάτων, ευνοώντας σημαντικές ενζυμικές αντιδράσεις, όπως οξείδωση των φαινολικών ενώσεων και αποικοδόμηση των πηκτινών. Ανάλογα με το είδος του προϊόντος, αυτό μπορεί να είναι επιθυμητό (εκχύλιση συστατικών) ή ανεπιθύμητο (απώλεια φυσικής δομής και θρεπτικής σταθερότητας).

Συνήθως για την επεξεργασία χυμού χρησιμοποιείται πίεση μέχρι τα 600 MPa, για λίγα λεπτά και σε θερμοκρασία δωματίου. Υπό αυτές τις συνθήκες η αδρανοποίηση των ενζύμων που υποβαθμίζουν της ποιότητα του προϊόντος δεν είναι έντονη. Για παράδειγμα, υπάρχουν συνέπειες των οξειδωτικών ενζυμικών αντιδράσεων, όπου η οξείδωση των φαινολικών ενώσεων οδηγεί σε μαύρισμα του χυμού, λόγω του πολυμερισμού των κινόνων, επηρεάζοντας την οργανοληπτική αξιολόγηση του προϊόντος. Επιπλέον, η οξείδωση των φαινολικών ενώσεων επηρεάζει τη θρεπτική αξία επειδή στην οξειδωμένη μορφή η βιοδραστική ένωση χάνει τη θρεπτική της αξία. Εκτός από τις επιδράσεις των οξειδωτικών ενζύμων, άλλες αντιδράσεις οξείδωσης μπορεί να συμβούν κατά τη διάρκεια της ΥΠ, όπως η οξείδωση βιταμινών, όπως το ασκορβικό οξύ, και των βιοδραστικών και χρωστικών ενώσεων. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν εργαλεία για την αναστολή των οξειδωτικών αντιδράσεων, όπως η χρήση κενού αέρος, η προσθήκη αντιοξειδωτικών και η συσκευασία που δεν επιτρέπει την εισχώρηση του φωτός.

Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, οι κύριες αλλαγές μπορούν να παρατηρηθούν στη συνοχή και στο χρώμα του χυμού. Ωστόσο, η οργανοληπτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε κατά καιρούς σε διάφορα προϊόντα έδειξε ότι αυτές οι μεταβολές ήταν λιγότερο αισθητές σε σχέση με αυτές που προκλήθηκαν από τη συμβατική θερμική επεξεργασία. Συνεπώς οι χυμοί επεξεργασμένοι με ΥΠ είναι παρόμοιοι με τους φρέσκους χυμούς (Pedro E.D. Augusto, 2018).

2.3.2. Παλμικά ηλεκτρικά πεδία (ΠΗΠ), Pulsed electric fields (PEF)

Η τεχνολογία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) είναι μια μη θερμική τεχνολογία επεξεργασίας τροφίμων που βασίζεται στη χρήση ηλεκτρικών πεδίων για την εξάλειψη των παθογόνων παραγόντων που προέρχονται από τρόφιμα και για τον έλεγχο αλλοιογόνων μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Η τεχνολογία αυτή έχει την ικανότητά της να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων διατροφής, χωρίς την χρήση θερμότητας, διατηρώντας έτσι χαρακτηριστικά ποιότητας, όπως η οργανοληπτική ποιότητα και θρεπτική αξία καθώς και ο έλεγχος της μικροβιολογικής ασφάλειας των προϊόντων διατροφής.

Η διεργασία αυτή περιλαμβάνει την εφαρμογή παλμών υψηλής τάσης (20-80 kV/cm) σε τρόφιμα που τοποθετούνται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Μπορεί να εφαρμοστεί για λιγότερο από 1 s σε θερμοκρασία μικρότερη, ίση ή ελαφρά μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος με τη μορφή εκθετικά μειούμενων, τετραγωνικής κυματοειδούς μορφής, διπολικών ή ταλαντευτικών παλμών. Η τεχνολογία αυτή αποσκοπεί κυρίως στη βελτίωση της ποιότητας των τροφίμων και περιορίζεται σε τρόφιμα ανθεκτικά σε υψηλά ηλεκτρικά πεδία με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, που δεν περιέχουν ή σχηματίζουν φυσαλίδες (Iveda, 2005).

2.3.3. Υπέρηχοι, Ultrasounds (US)

Η επεξεργασία υπερήχων μπορεί να ταξινομηθεί μεταξύ των τεχνολογιών που δεν βασίζονται σε νερό ή στις τεχνολογίες μειωμένης χρήσης νερού. Ο υπέρηχος παράγει ηχητικά κύματα συγκεκριμένης έντασης και πλάτους ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας. Μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κύριες κατηγορίες: υπερήχους χαμηλής ισχύος, από 100 kHz και άνω, και υπερήχους υψηλής ισχύος, από 20 έως 100 kHz, τα οποία και τα δύο έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία τροφίμων. Η βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιεί υπερήχους χαμηλής ισχύος για να εκτιμήσει τις φυσικοχημικές ιδιότητες των προϊόντων, όπως η σύνθεση και η δομή, καθώς και άλλες αξιολογήσεις ποιότητας, ενώ οι υπέρηχοι υψηλής ισχύος έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που περιλαμβάνουν κρυστάλλωση,

γαλακτωματοποίηση, διεργασίες ξήρανσης και ψύξης, απενεργοποίηση ενζύμων όπως πολυφαινολοξειδάσες και υπεροξειδάσες που ευθύνονται για την αλλοίωση των χυμών, τροποποίηση των λειτουργικών ιδιοτήτων, όπως ζελατινοποίηση, ιξώδες και διαλυτότητα σε πρωτεΐνες που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά επίπεδα (π.χ., συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος, προϊόν απομόνωσης πρωτεΐνης σόγιας και πρωτεΐνη λευκού αυγού) και τέλος αδρανοποίηση μικροβίων (Abela Daniela A., 2014). Οι υπέρηχοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκχύλιση της αλοΐνης από τη γέλη αλόης και έχει αποδειχθεί ότι μειώνει το χρόνο εκχύλισης και τη θερμοκρασία ενώ αυξάνει το ρυθμό εκχύλισης (Jawadea Ninad R., 2013).

2.3.4. Υπεριώδης ακτινοβολία, Ultraviolet light (UV)

Η επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία περιλαμβάνει τη χρήση ακτινοβολίας από την υπεριώδη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (200-280 nm) και αποτελεί μια επιπλέον μέθοδο συντήρησης με εφαρμογή στην επεξεργασία χυμών φρούτων. Βρίσκει επίσης εφαρμογή στην απολύμανση σωλήνων νερού, δοχείων και επιφανειών που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα. Η μικροβιοκτόνος δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας οφείλεται σε αλλοιώσεις του DNA που προκαλούνται από την απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα μικρόβια. Η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες, όπως το όζον ή το υπεροξειδίο του υδρογόνου. Η γέλη αλόης εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία ως βήμα αποστείρωσης στη διαδικασία ψυχρής παστερίωσης (Kulveer Singh Ahlawat, 2011).

2.3.5. Ψυχρό πλάσμα, Cold atmospheric plasma (CP)

Ένα μη θερμικό πλάσμα δημιουργείται σε ατμοσφαιρική πίεση, καθώς ένα αέριο διεργασίας (μοριακό ή αδρανές αέριο, π.χ. αέρα, άζωτο, αργό, ήλιο) διέρχεται από ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το πλάσμα, ένα μείγμα μορίων ιονισμένου αερίου και ελεύθερων ηλεκτρονίων, αναφέρεται συχνά ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης. Είναι ένα θερμό ιονισμένο αέριο που αποτελείται από περίπου ίσους αριθμούς θετικά φορτισμένων ιόντων και αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων. Το πλάσμα διάφορων αερίων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για χρήση στα τρόφιμα, επειδή τα είδη

πλάσματος που προκαλούν αντίδραση είναι βραχύβια, με μέση διάρκεια ζωής μικροδευτερολέπτων έως και χιλιοστά του δευτερολέπτου και συνεπώς δεν υπάρχουν υπολείμματα στην επιφάνεια των επεξεργασμένων προϊόντων. Το ενδιαφέρον για τις εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας αυξάνεται, τροφοδοτούμενο από την αποτελεσματικότητα του πλάσματος έναντι ευρέος φάσματος μικροοργανισμών (Perni S, 2008). Προς το παρόν δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές για τη χρήση ψυχρού πλάσματος στην επεξεργασία της γέλης αλόης, είναι όμως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την εξυγίανση χυμών φρούτων, διότι διατηρεί την ποιότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, τα οποία δεν έχουν αντοχή στη θερμότητα (Shashi Kishor Pankaj, 2018).

Κεφάλαιο 3: Υλικά και μέθοδοι

3.1. Προετοιμασία δείγματος α' ύλης

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγινε εντατική μελέτη σε ποιοτικούς δείκτες στη γέλη αλόης. Η παραλαβή της αλόης έγινε σε φύλλα (*Aloe Barbadensis Miller*, Καλαμάτα, 2018), συνεπώς για την παραγωγή της γέλης αλόης έπρεπε να πραγματοποιηθεί συγκεκριμένη διαδικασία, τα βήματα της οποίας περιγράφονται παρακάτω.

3.1.1. Προετοιμασία χώρου εργασίας

Αρχικά γίνεται καθαρισμός του πάγκου εργασίας με σαπούνι και νερό και στη συνέχεια απολύμανση με αιθανόλη. Τα σκεύη που χρησιμοποιούνται καθαρίζονται με νερό και σαπούνι και απολυμαίνονται, επίσης, με χρήση αιθανόλης. Στον πάγκο τοποθετούνται διηθητικά χαρτιά, ώστε να περιοριστεί η επιμόλυνση του δείγματος από εξωτερικούς παράγοντες.

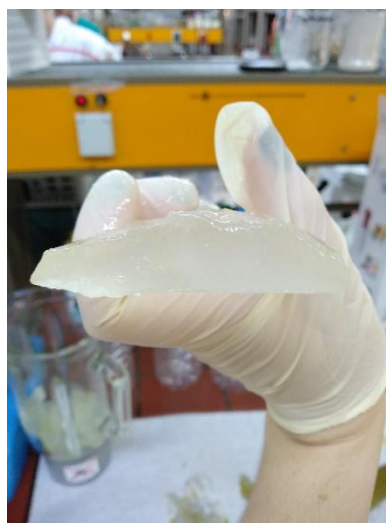
3.1.2. Φιλετάρισμα

Στη συνέχεια της διαδικασίας είναι το φιλετάρισμα. Αρχικά απομακρύνεται το μπροστά και το πίσω μέρος της αλόης και στη συνέχεια τα πλαϊνά τμήματα, τα οποία είναι αγκαθωτά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Φύλλο αλόης με τις τομές για φιλετάρισμα

Πλέον απομένει μόνο η πράσινη επιδερμίδα, η οποία αφαιρείται κατά τμήματα με το μαχαίρι φιλεταρίσματος, προσέχοντας να μην αφαιρείται το εσωτερικό και να απομακρύνεται το στρώμα αλοΐνης και τέλος απομένει το εσωτερικό παρέγχυμα του φύλλου (Εικόνα 16) .

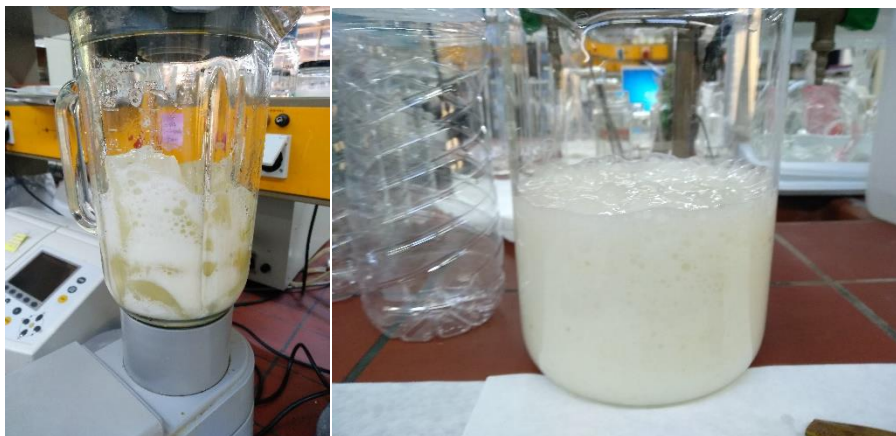


Εικόνα 16 Εσωτερικό φύλλου αλόης

3.1.3. Άλεση

Αφότου έχει γίνει το φιλετάρισμα των φύλλων αλόης ακολουθεί η παραγωγή της γέλης τοποθετώντας τα κομμάτια του εσωτερικού παρεγχύματος σε ένα οικιακό μπλέντερ, όπου γίνεται άλεση μέχρι την επιθυμητή σύσταση.

Παρατηρείται ότι δημιουργείται αφρισμός (Εικόνα 17), οπότε το δείγμα αφήνεται σε ηρεμία για να επανέλθει.



Εικόνα 17 Αλόη (αριστερά) κατά τη διάρκεια και (δεξιά) μετά την άλεση

Σε αυτή τη φάση έχει παρασκευαστεί αμιγής, μη παστεριωμένη γέλη αλόης με υγρασία 98,78% και pH= 4,7. Στη συνέχεια παρασκευάζονται δύο προϊόντα με βάση τη γέλη αλόης: (α) Γέλη αλόης με αφέψημα τσαγιού και (β) γέλη αλόης.

3.1.4. Γέλη αλόης με αφέψημα τσαγιού

Αρχικά γίνεται η παρασκευή αφεψήματος τσαγιού (*Sideritis*) ζυγίζοντας 30 g φύλλων τσάι ανά 1 l βραστό νερού. Στη συνέχεια ζυγίζονται κατάλληλες ποσότητες γέλης αλόης, εκχυλίσματος τσαγιού, στέβιας και κιτρικού ώστε να προκύψει μείγμα, του οποίου η σύσταση είναι 75,47 % w/w γέλη αλόης, 22,54 % w/w εκχύλισμα τσαγιού, 1,96 % w/w στέβια και 0,03 % w/w κιτρικό οξύ. Οι αναλογίες καθορίστηκαν ως εξής: η ποσότητα γέλης και τσαγιού καθορίστηκε με οργανοληπτικά κριτήρια και προέκυψε ένα μίγμα με pH = 4,9 . Στη συνέχεια προστίθεται το κιτρικό οξύ, ώστε να ρυθμιστεί το pH σε 3,9. Η ποσότητα της στέβιας καθορίστηκε και πάλι οργανοληπτικά.

3.1.5. Γέλη αλόης

Αυτό το προϊόν δημιουργήθηκε αμιγώς από γέλη αλόης και προσθήκη μικρής ποσότητας κιτρικού οξέος. Ανά 100 g γέλη προσθέσαμε 0,08 g κιτρικού οξέος, ώστε να ρυθμιστεί και πάλι το pH στο 3,9.

3.2. Παστερίωση

Για την παστερίωση των δειγμάτων επιλέχθηκε η θερμική και η μη θερμική παστερίωση, Υπερυψηλή Πίεση (ΥΠ).

3.2.1. Υπερυψηλή πίεση

Η παστερίωση της γέλης αλόης με την τεχνολογία της Υπερυψηλής Πίεσης (ΥΠ) πραγματοποιήθηκε στη μονάδα Food Pressure Unit FPU 1.01 (Resato International BV, Roden, Holland), η οποία αποτελεί συνιδιοκτησία του Ε.Μ.Π. και του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «ΔΗΜΗΤΡΑ»). Η συγκεκριμένη μονάδα είναι εγκατεστημένη και λειτουργεί σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στον ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (Εικόνα 18).



Εικόνα 18 Γενική άποψη του εργαστηρίου Υπερυψηλής Πίεσης και της μονάδας ΥΠ. Στο κέντρο διακρίνεται η μονάδα για την επεξεργασία τροφίμων όγκου 1,5 L και στα δεξιά η μονάδα με τα 6 δοχεία ΥΠ των 42 mL το καθένα

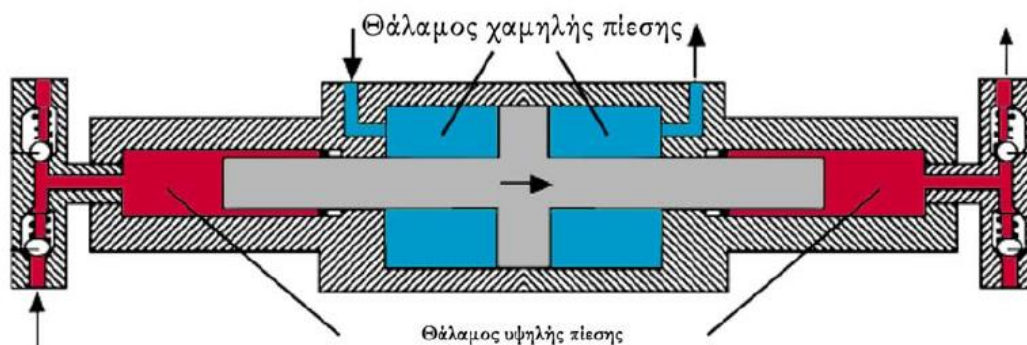
Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός περιλαμβάνει μία μονάδα ΥΠ, η οποία συνδέεται με δύο τύπους θαλάμων υπερυψηλών πιέσεων, που λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Ο πρώτος περιλαμβάνει μια συστοιχία 6 κυλινδρικών μικροθαλάμων πίεσης όγκου 42 mL έκαστος, όπως φαίνεται, συνδεδεμένων κατά τρόπο που επιτρέπει

ανεξάρτητο χειρισμό. Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει ένα θάλαμο υπερυψηλής πίεσης όγκου 1.5 L, ο οποίος χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων προϊόντων επεξεργασμένων με την τεχνολογία της υπερυψηλής πίεσης (Εικόνα 19).



Εικόνα 19 Λεπτομερής άποψη της μονάδας. Αριστερά: Τα 6 κελιά της ΥΠ των 42 mL το καθένα και Δεξιά: θάλαμος επεξεργασίας τροφίμων όγκου 1,5 L

Για τη δημιουργία των υπερυψηλών πιέσεων η μονάδα πίεσης χρησιμοποιεί έναν υδραυλικό ενισχυτή πίεσης (pressure intensifier), ο οποίος χρησιμοποιεί ως ρεύμα εισόδου υγρό μεταφοράς πίεσης προερχόμενο από αντλία χαμηλής πίεσης & υψηλής ογκομετρικής παροχής και παράγει ως ρεύμα εξόδου υγρό μεταφοράς πίεσης σε υψηλή πίεση & χαμηλή ογκομετρική παροχή. Σε έναν υδραυλικό ενισχυτή διπλής δράσης (double action), ο οποίος φαίνεται στην Εικόνα 20, αυτό επιτυγχάνεται με τη μηχανική σύνδεση εμβόλου μεγάλης επιφάνειας (πλευρά χαμηλής πίεσης) με ένα μικρότερης επιφάνειας (πλευρά υψηλής πίεσης). Ο κύκλος επαναλαμβάνεται με αντιστροφή των πλευρών παροχής ρευστού χαμηλής πίεσης: όταν το υδραυλικό έμβολο του ενισχυτή φτάσει στο τέλος της διαδρομής του ενεργοποιεί έναν ηλεκτρονικό διακόπτη και η ροή του υγρού χαμηλής πίεσης αντιστρέφεται, καθώς πλέον το έμβολο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

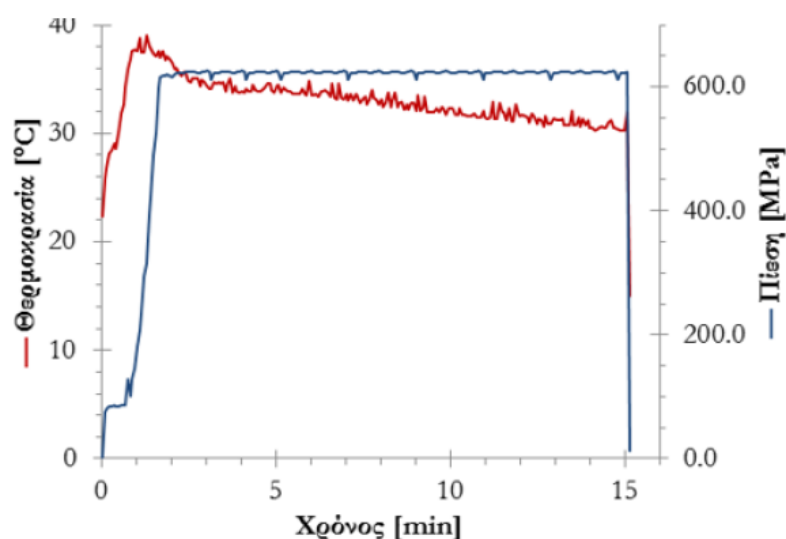


Εικόνα 20 Υδραυλικός ενισχυτής πίεσης διπλής δράσης

Ο παράγοντας αύξησης της πίεσης που επιτυγχάνει ένας υδραυλικός ενισχυτής ισούται με το λόγο επιφανείας του εμβόλου χαμηλής πίεσης προς την επιφάνεια του εμβόλου υψηλής πίεσης. Ο ενισχυτής πίεσης της συγκεκριμένης μονάδας λειτουργεί με τη βοήθεια μιας υδραυλικής αντλίας (τροφοδοτούμενης από ηλεκτρικό κινητήρα), η οποία διοχετεύει το απαιτούμενο υγρό χαμηλής πίεσης στον ενισχυτή και κατά συνέπεια η ρύθμιση της πίεσης εξόδου μπορεί να γίνει ρυθμίζοντας την πίεση λειτουργίας της αντλίας. Μια μικρότερη αντλία χρησιμοποιείται για την κυκλοφορία του υγρού μεταφοράς πίεσης μέσω ενός συστήματος ψύξης (για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του) και ενός φίλτρου χαμηλής πίεσης. Ο ενισχυτής πίεσης διαθέτει βαλβίδες ελέγχου εισόδου και εξόδου λειτουργώντας έτσι ως παλινδρομική αντλία. Η πίεση του υγρού αυξάνεται σύμφωνα με την παραπάνω αρχή και μεταβιβάζεται προς τους θαλάμους υπερυψηλής πίεσης μέσω της ροής του υγρού σε σωλήνες από ανοξείδωτο χάλυβα. Πνευματικές χειροκίνητες βαλβίδες ρυθμίζουν την εισαγωγή ή όχι του υγρού σε κάθε έναν από τους θαλάμους. Για λόγους ασφαλείας, το σύστημα περιλαμβάνει ειδικούς δακτυλίους, οι οποίοι διαρρηγνύονται σε περίπτωση προβλήματος για την εκτόνωση της υψηλής πίεσης.

Στα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μονάδας ΥΠ αναφέρονται τα 1000 MPa ως μέγιστη πίεση λειτουργίας. Το μέσο μεταφοράς της πίεσης του συστήματος είναι πολυγλυκόλη κατηγορίας (ISO viscosity class) VG 15 (Resato International BV, Roden, Holland), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εύρος των θερμοκρασιών από -40 °C έως +100 °C. Ο ρυθμός αύξησης της πίεσης είναι περίπου 100 MPa/7 s, ενώ ο χρόνος εκτόνωσης της πίεσης είναι μικρότερος από 3 s.

Η πίεση του συστήματος, καθώς και η πίεση στο εσωτερικό του μεγάλου θαλάμου, ελέγχονται και καταγράφονται μέσω δύο μετατροπέων σήματος (transducers), ενώ εμφανίζονται κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος στην οθόνη του προγραμματιζόμενου λογικού ρυθμιστή (programmable logic controller, PLC) της μονάδας ΥΠ, καθώς και σε ηλεκτρονικό υπολογιστή συνδεδεμένο με την μονάδα μέσω κατάλληλου λογισμικού. Η καταγραφή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό καθενός θαλάμου πίεσης του συστήματος γίνεται με τη χρήση θερμοστοιχείων και παρακολουθείται μέσω του ίδιου λογισμικού από την οθόνη του υπολογιστή. Η πίεση λειτουργίας της μονάδας ρυθμίζεται με τη βοήθεια των πλήκτρων του PLC με βήμα αύξησης ή μείωσης 25 MPa. Για την επίτευξη ταχύτερου ελέγχου της μονάδας, υπάρχει δυνατότητα άμεσης συμπίεσης στα 250, 500 και 750 MPa. Ο χρόνος επίτευξης της επιθυμητής πίεσης εξαρτάται από καθ'αυτή την πίεση και από το μέγεθος του υπό πίεση δοχείου.



Διάγραμμα 4 Διάγραμμα καταγραφής της θερμοκρασίας και της πίεσης εντός του θαλάμου πίεσης κατά την επεξεργασία χυμού στα 600 MPa σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Κατά την εφαρμογή πίεσης το σύστημα θερμαίνεται λόγω αδιαβατικής συμπίεσης του ρευστού. Η θερμοκρασία του ρευστού αυξάνεται κατά ~ 3 °C/100 MPa εφαρμοζόμενης πίεσης. Η αδιαβατική θέρμανση είναι αρχικά ομοιόμορφη σε όλο τον όγκο του δοχείου πίεσης και για μικρά δείγματα μπορεί να θεωρηθεί πως υπάρχει

θερμοδυναμική ισορροπία δείγματος-ρευστού συμπίεσης. Κατά την πάροδο χρόνου η θερμοκρασία ελαττώνεται λόγω απώλειας θερμότητας προς το περιβάλλον του δοχείου. Ένα τυπικό διάγραμμα της εξέλιξης της θερμοκρασίας και της πίεσης κατά τη διάρκεια της διεργασίας με ΥΠ εντός του θαλάμου πίεσης απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4. Για την προστασία και την αποφυγή μόλυνσης του επεξεργαζόμενου δείγματος, τα δείγματα συσκευάζονται κατάλληλα. Η χρήση προστατευτικής εξωτερικής συσκευασίας είναι απαραίτητη για να αποφευχθεί η επαφή της γλυκόλης με το δείγμα.

Για την διεξαγωγή των πειραμάτων επεξεργασίας της γέλης αλόης χρησιμοποιήθηκε το σύστημα του μεγάλου θαλάμου πίεσης. Τα δείγματα υπέστησαν κατεργασία με ΥΠ σε πίεση 600 MPa για χρόνο 3 min. Αυτές οι συνθήκες καθορίστηκαν με βάση βιβλιογραφική ανασκόπηση και με επιβεβαίωση από μια σειρά πειραμάτων σε διάφορες πιέσεις και χρόνους. Το δείγμα μεταφέρεται σε περιέκτες με όγκο 250 mL και προστίθεται σε κάθε περιέκτη 100 mL εκχυλίσματος δερδρόλιβανου (5% καρνοσόλη και καρνοσικό οξύ). Ο κάθε περιέκτης συσκευάζεται σε πλαστική συσκευασία (PE/PP) σε κενό αέρος. Στη συνέχεια τα δείγματα φορτώθηκαν ανά δύο περιέκτες στον θάλαμο ΥΠ, ο οποίος σφραγίστηκε. Κατά τη φάση συμπίεσης, η βαλβίδα εισαγωγής του υγρού πίεσης στο δοχείο παρέμεινε ανοιχτή, ώστε η επιθυμητή πίεση του συστήματος να μεταφερθεί στο δοχείο. Με την επίτευξη της επιθυμητής πίεσης, 600 MPa, η βαλβίδα του δοχείου έκλεισε, οπότε ο θάλαμος πίεσης απομονώθηκε και η πίεση διατηρήθηκε σταθερή. Η χρονική αυτή στιγμή θεωρήθηκε ως ο χρόνος έναρξης των πειραμάτων. Ο θάλαμος εκτονώθηκε ύστερα από το καθορισμένο χρονικό διάστημα, 3 min. Όλα τα δείγματα μετά την επεξεργασία με ΥΠ διατηρήθηκαν υπό ψύξη (0 °C) έως τον περαιτέρω χειρισμό τους.

3.2.2. Θερμική παστερίωση

Οι συνθήκες που επιλέχθηκαν για τη θερμική παστερίωση όλων των δειγμάτων, μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση και επιβεβαίωση των συνθηκών με μια σειρά προκαταρκτικών πειραμάτων, ήταν 90 °C για 1 min. Για τη θερμική παστερίωση των δειγμάτων έγινε προσομοίωση θερμικής παστερίωσης συνεχούς λειτουργίας, με χρήση διάταξης η οποία αποτελείται από μια αντλία και έναν εναλλάκτη (Εικόνα 21). Πιο συγκεκριμένα η γέλη τοποθετείται σε ένα ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 2 L και

προθερμαίνεται σε υδατόλουτρο στους 60 °C για χρόνο 15 min. Στη συνέχεια το ποτήρι τοποθετείται σε μαγνητικό αναδευτήρα με θέρμανση στους 60 °C και η γέλη μεταφέρεται με τη βοήθεια της αντλίας, μέσω ενός πλαστικού σωλήνα, στον εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης αποτελείται από ένα υδατόλουτρο που ρυθμίζεται σε θερμοκρασία 90 °C και από δύο σωλήνες που επιτρέπουν την ανταλλαγή θερμότητας της γέλης με το νερό του υδατόλουτρο. Στην έξοδο η γέλη μεταβιβάζεται σε αποστειρωμένο περιέκτη, ο οποίος έχει παραμείνει σε UV ακτίνες για 30 min ώστε να αποστειρωθεί πλήρως. Στην απόληξη του σωλήνα με τον οποίο εξέρχεται η γέλη από τον εναλλάκτη τοποθετούμε φλόγα με σκοπό να αποκλείσουμε την επιμόλυνση του δείγματος. Για να μην υποστεί υπερεπεξεργασία το δείγμα, οι περιέκτες κατά τη διάρκεια της πλήρωσης και έπειτα παραμένουν εντός παγόλουτρου. Όλη η διαδικασία πραγματοποιείται εντός εργαστηριακού απαγωγού. Στο προϊόν γέλης αλός ογκομετρήθηκε η ποσότητα της γέλης και έγινε η κατάλληλη προσθήκη αντιοξειδωτικού εκχυλίσματος δενδρολίβανου, ώστε να επιτευχθεί η συγκέντρωση των 400 ppm.



Εικόνα 21 Διάταξη προσομοίωσης θερμικής παστερίωσης συνεχούς λειτουργίας

3.3. Αποθήκευση

Προκειμένου να μελετηθεί η διατηρησιμότητα της γέλης αλός έγινε επιλογή τριών διαφορετικών θερμοκρασιών αποθήκευσης: 5 °C, 25 °C και 35 °C μετά την

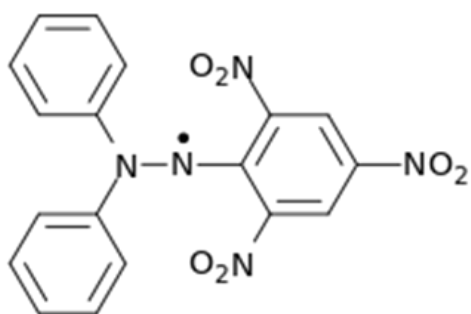
παστερίωση. Η επιλογή των 5 °C έγινε με σκοπό να υπάρχουν διαθέσιμα δείγματα, τα οποία έχουν υποστεί την ελάχιστη δυνατή ποιοτική υποβάθμιση θεωρώντας αυτά τα δείγματα ως δείγματα αναφοράς. Οι 25 °C επιλέχθηκαν ως θερμοκρασία περιβάλλοντος και οι 35 °C έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί μια θερμοκρασιακή συνθήκη επιταχυνόμενης γήρανσης (accelerated self-life testing). Από τη σειρά προϊόντων γέλης με τσάι του βουνού τα δείγματα επεξεργασμένα με ΥΠ αποθηκεύτηκαν στους 5 °C (Sanyo, Japan), 25 °C (Mettler, Germany) και 35 °C (Nüve, Turkey), ενώ αυτά που υπέστησαν θερμική επεξεργασία μόνο στους 25 °C. Από τη σειρά προϊόντων γέλης αλόης τα δείγματα και από τις δύο μεθόδους επεξεργασίας αποθηκεύτηκαν σε όλες τις θερμοκρασίες (5 °C, 25 °C, 35 °C).

3.4. Μεθοδολογίες μέτρησης ποιοτικών δεικτών γέλης αλόης

3.4.1. Μέτρηση αντιοξειδωτικής δράσης

Η μέτρηση της συνολικής αντιοξειδωτικής δράσης έγινε με τη μέθοδο ελευθέρων ριζών DPPH 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl (Brand-Williams W., 1995) ελαφρώς τροποποιημένη. Η εκτίμηση της αντιοξειδωτικής δράσης με αυτή τη μέθοδο βασίζεται στην αντίδραση των αντιοξειδωτικών ουσιών του δείγματος με την σταθερή δραστική ρίζα DPPH· σε διάλυμα μεθανόλης, το οποίο έχει μωβ χρώμα, προς σχηματισμό DPPH· το οποίο είναι άχρωμο. Η ένταση του μωβ χρώματος του διαλύματος είναι ανάλογο της συγκέντρωσης της ρίζα DPPH· (Εικόνα 22).

Δείγματα γέλης αλόης αραιώθηκαν σε αραιώση 1:10 με νερό. Το DPPH διαλύθηκε σε μεθανόλη με συγκέντρωση 2,5 mg/100 mL. Ποσότητα 3,9 mL του διαλύματος DPPH τοποθετήθηκε σε γυάλινες κυψελίδες και στη συνέχεια προστέθηκε ποσότητα 100 μL από τα αραιωμένα δείγματα γέλης. Το φασματοφωτόμετρο ρυθμίστηκε στα 515 nm, ώστε να μετρηθεί η απορρόφηση μετά από 30 min.



Εικόνα 22 Ελεύθερη ρίζα DPPH (αριστερά), διάλυμα DPPH πριν την αντιδραση με αντιοξειδωτικό (μωβ χρώμα) και μετά (αποχρωματισμένο)(δεξιά)

Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν Unicam Helios a (Helamco A.E.) (Εικόνα 23).



Εικόνα 23 Φασματοφωτόμετρο Unicam Helios a

3.4.2. Μέτρηση pH

Η μέτρηση pH έγινε με χρήση ηλεκτρονικού πεχαμέτρου (pHmeter 338, Amel instruments, Milan, Italy), με βύθιση του στελέχους σε γέλη αλόης.



Εικόνα 24 Συσκευή μέτρησης pH Amel pHmeter

3.4.3. Μέτρηση περιεχόμενης υγρασίας

Η μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας στο τζελ αλόης έγινε με τη μέθοδο της ξήρανσης υπό κατάψυξη (freeze-drying). Αρχικά καταγράφεται το βάρος άδειων προσημειωμένων τρυβλίων σε αναλυτικό ζυγό τεσσάρων δεκαδικών και στη συνέχεια οι περιέκτες ζυγίζονται αφότου έχουν πληρωθεί με τζελ αλόης. Έπειτα τα τρυβλία τοποθετούνται στο θάλαμο του λυοφιλιωτή (Alpha 1-2 LDplus, Christ, Germany) και παραμένουν εκεί για 48 ώρες. Μετά το τέλος της ξήρανσης τα τρυβλία ξαναζυγίζονται και καταγράφεται και πάλι το βάρος τους.



Εικόνα 25 Λυοφιλιωτής Alpha 1-2 LDplus

3.4.4. Μικροβιολογική ανάλυση

Για την μικροβιολογική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επιφανειακής επίστρωσης σε μη επιλεκτικό υπόστρωμα PCA (Plate Count Agar, Merck, Darmstadt, Germany) για την μέτρηση του ολικού μικροβιακού φορτίου αερόβιων μικροοργανισμών, σε επιλεκτικό υπόστρωμα RBC (Rose Bengal Chloramphenicol Agar, Biolife, Italy) για μέτρηση ζυμών και μυκήτων και η μέθοδος ενσωμάτωσης σε επιλεκτικό υπόστρωμα MRS (De Man, Rogosa and Sharpe agar, Biolife, Italy) για τη μέτρηση του ολικού φορτίου γαλακτικών βακτηρίων. Η μέθοδος βασίζεται στο ότι από ένα μικροβιακό κύτταρο αναπτύσσεται μια αποικία, συνεπώς μετρώντας τις αποικίες υπολογίζεται και αριθμός των μικροβίων από τα οποία προήλθαν.

Λαμβάνονται 10 mL δείγματος σε δοκιμαστικό σωλήνα χωρητικότητας 10 mL. Από αυτό 1 mL μεταφέρεται σε επόμενο δοκιμαστικό σωλήνα, ο οποίος περιέχει 9 mL αποστειρωμένου διαλύματος Ringer 25% (Ringer Tablets, Merck, Darmstadt, Germany) και γίνεται καλή ανακίνηση. Στη συνέχεια λαμβάνεται 1 mL από το ομογενοποιημένο μίγμα και μεταφέρεται σε επόμενο σωλήνα με 9 mL Ringer και δημιουργούνται διαδοχικές δεκαδικές αραιώσεις. Για τα τρυβλία που πραγματοποιούμε τη μέθοδο επίστρωσης λαμβάνεται με πιπέτα 0,1 mL από κάθε αραιώση και γίνεται επάλειψη με αποστειρωμένο πλαστικό στέλεχος. Για την μέθοδο ενσωμάτωσης, λόγω των αναερόβιων μικροοργανισμών, γίνεται ενσωμάτωση 1 mL του δείγματος σε άγαρ εντός του τρυβλίου και τοποθετείται μια δεύτερη στρώση από άγαρ στη συνέχεια, ώστε να επιτύχουμε πλήρως αναερόβιες συνθήκες. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις αραιώσεις και πραγματοποιούνται διπλά δείγματα για κάθε αραιώση.

Τα τρυβλία επωάζονται, στη συνέχεια, σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 30-35 °C και μετά από το πέρας τριών ημερών γίνεται καταμέτρηση των αποικιών. Επιλέγεται η αραιώση με αριθμό αποικιών 50-200 αποικίες/τρυβλίο και λαμβάνοντας υπ' όψη την αραιώση υπολογίζεται το μικροβιακό φορτίο που περιέχεται σε 1 mL δείγματος σε logCFU/mL.

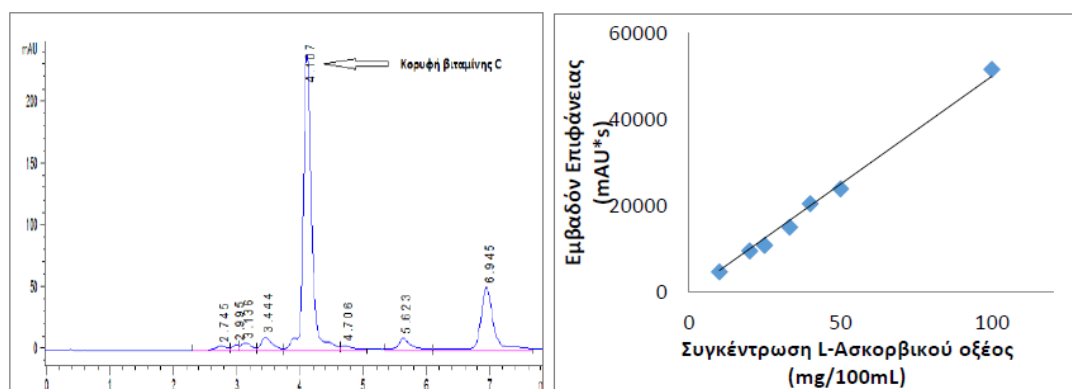


Εικόνα 26 Τρυβλίο Petri με RBC agar (αποικίες ζύμες και μύκητες)

3.4.5. Μέτρηση βιταμίνης C

Ο προσδιορισμός της περιεχόμενης βιταμίνης C στο τζελ αλόης γίνεται με τη χρήση της υγρής χρωματογραφίας υψηλής ανάλυσης (HPLC) με μια προηγούμενη επεξεργασία του δείγματος.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία Giannakourou & Taoukis (2003), ζυγίζονται 3 g γέλης και μεταφέρονται σε ποτήρι ζέσεως το οποίο περιέχει 9.0 mL διαλύματος μεταφωσφορικού οξέος (Sigma-Aldiich, USA) 4,5% (w/v). Στη συνέχεια το μίγμα υποβάλλεται σε μηχανική ανάδευση για 15 min, εντός λουτρού με πάγο. Μετά το πέρας της ανάδευσης πραγματοποιείται διήθηση υπό κενό και το διήθημα φιλτράρεται με φίλτρο 0,45 μm (Chromafil PVDF-45/25, Macherey-Nagel, Germany), στη συνέχεια εισάγεται στην χρωματογραφική στήλη. Η κινητή φάση που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της βιταμίνης C είναι νερό HPLC με προσθήκη μεταφωσφορικού οξέος ώστε να αποκτήσει pH ίσο με 2,2. Το χρωματογραφικό σύστημα που χρησιμοποιείται ανήκει στη σειρά HP 1100 και περιλαμβάνει βαθμωτή αντλία τεσσάρων καναλιών, απαερωτή κενού, στήλη ODS Hypersil (250x4.6 mm) με σωματίδια μεγέθους 5μm, βρόγχο όπου πραγματοποιείται η «ένεση» Rheodyne 20μL injection loop και ανιχνευτή Diode Array. Η ανίχνευση της βιταμίνης C (L- ασκορβικό οξύ) πραγματοποιείται στα 245nm. Η ποσοτικοποίηση της βιταμίνης C γίνεται με χρήση καμπύλης αναφοράς ($y = 498,69x$, $R^2 = 0,9934$) (Εικόνα 27).



Εικόνα 27 Τυπικό χρωματογράφημα για τον προσδιορισμό της βιταμίνης C (αριστερά), καμπύλη αναφοράς για ποσοτικοποίηση της βιταμίνης C (δεξιά)

3.4.6. Μέτρηση χρώματος

Η μέτρηση χρώματος έγινε με τη χρήση του χρωματόμετρου MINOLTA CR – 200 (Minolta Company, Chuo-Ku, Japan) με διάμετρο επιφάνειας μέτρησης 8mm. Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η CIE Lab (Commission International de l'Éclairage) με χρωματικούς δείκτες τους: L, a, b. Το L εκφράζει τη φωτεινότητα, το a με θετικές τιμές την ερυθρότητα, ενώ με αρνητικές το πράσινο χρώμα. Το b είναι η παράμετρος του κίτρινου χρώματος για τις θετικές τιμές και για τις αρνητικές προσδιορίζει το μπλε χρώμα. Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου με πρότυπη λευκή πλάκα (L = 97,50, a = - 0,31, b = - 3,83).



Εικόνα 28 Χρωματόμετρο Minolta

Από τις παραμέτρους L , a , b και την παρακάτω εξίσωση υπολογίζεται η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE :

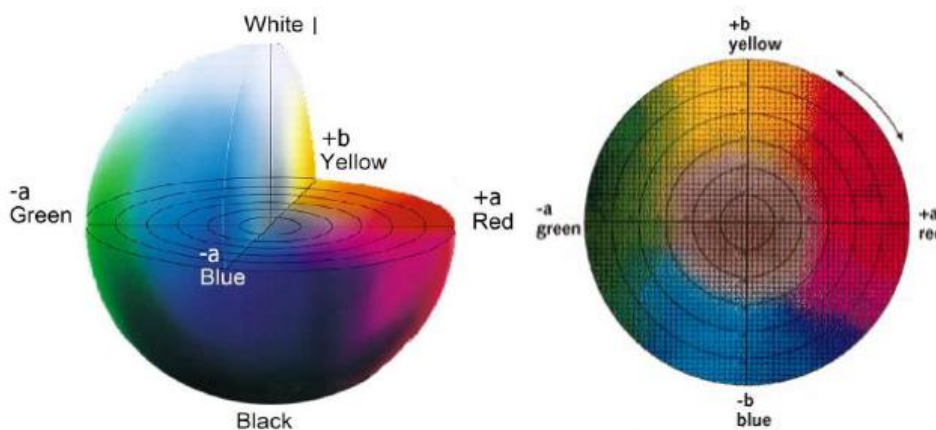
$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (\text{Εξίσωση 12})$$

,όπου L_0 , a_0 και b_0 οι παράμετροι του αρχικού δείγματος.

Άλλος δείκτης που μπορεί να υπολογιστεί από τις συνιστώσες L , a και b είναι ο δείκτης αμαύρωσης (Browning Index, BI), ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες σχετικά με τη μεταβολή του χρώματος διαφόρων σκουρόχρωμων τροφίμων. Ο δείκτης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

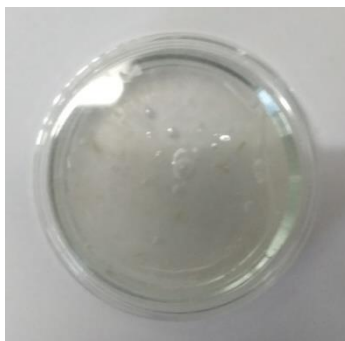
$$BI = \frac{100 \cdot (x - 0,31)}{0,172} \quad (\text{Εξίσωση 13})$$

$$\text{Όπου } x = \frac{a + 1,75 L}{5,645 L + a - 0,012 b}$$



Εικόνα 29 Απεικόνιση στο χώρο των L , a , b (αριστερά) και το χρωματικό διάγραμμα a , b (δεξιά)

Το δείγμα τοποθετείται σε γυάλινο διάφανο τρυβλίο διαμέτρου 25mm και το χρωματόμετρο τοποθετείται στην επιφάνεια. Η μέτρηση επαναλαμβάνεται τρεις φορές.



Εικόνα 30 Γυάλινο τρυβλίο με γέλη αλόης για μέτρηση χρώματος

3.4.7. Οργανοληπτικός έλεγχος

Η οργανοληπτική αξιολόγηση όλων των δειγμάτων, για τις διάφορες μεθόδους παστερίωσης και θερμοκρασίες αποθήκευσης, πραγματοποιήθηκε με σκοπό τα δείγματα να εξετασθούν ως προς το χρώμα, την εμφάνιση, τη γεύση, την υφή στο στόμα, το άρωμα και την συνολική εκτίμηση. Η ομάδα των δοκιμαστών αποτελείται από τέσσερα άτομα και η κλίμακα αξιολόγησης κυμαίνεται από 1: λιγότερο αρεστό έως 9: περισσότερο αρεστό, με όριο αποδοχής τον αριθμό 5. Τα αποτελέσματα επεξεργάζονται με τη μέθοδο της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA), με $\alpha = 0.05$ (Statistica®, Statsoft; Tulsa, OK, USA) . Το έντυπο του οργανοληπτικού ελέγχου παρουσιάζεται παρακάτω:

ΕΝΤΥΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗ

ΟΝΟΜΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΗ:.....

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:.....

Δοκιμή: Δοκιμή Αρέσκειας

Προϊόν: Aloe vera gel/τσάι του θουναού

Κωδικός αριθμός δείγματος	179	343	852	Παρατηρήσεις	
Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά	Χρώμα				
	Εμφάνιση				
	Γεύση				
	Υφή στο στόμα				
	Άρωμα				
	Μετάγευση (ένταση πικρής μετάγευσης)				
	Συνολική εκτίμηση				

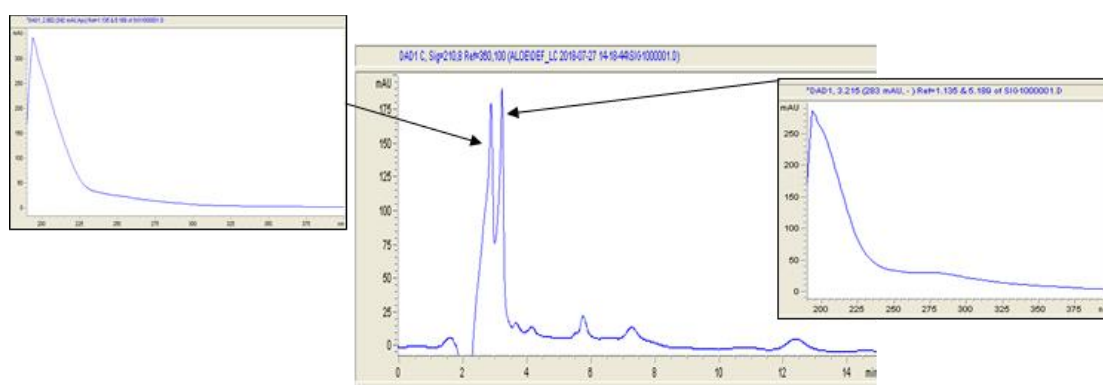
*Παρακαλώ βαθμολογήστε με κλίμακα 1-9 (1:λιγότερο, 9: περισσότερο)

Εικόνα 31 Έντυπο οργανοληπτικής αξιολόγησης γέλης αλόης

3.5. Μέτρηση ακετυλομαννανών

Η ποσότητα ακετυλομαννανών στο δείγμα έγινε με χρήση της υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC). Πριν την ανάλυση στην HPLC γίνεται προετοιμασία του δείγματος σύμφωνα με τους Badar et. al (2017), όπου 0,5 g λυοφιλωμένης γέλης αλόης αραιώνεται σε 60 mL MeOH:H₂O (20:80) και στη συνέχεια οδηγείται σε λουτρό υπερήχων (Elmasonic, Germany) για 15 min. Μετά το πέρας των ηπερήχων το δείγμα αναδεύεται σε Vortex και φιλτράρεται με φίλτρο 0,45μm (Chromafil PVDF-45/25, Macherey-Nagel, Germany). Η κινητή φάση της στήλης (80% νερό και 20% μεθανόλη) τοποθετείται επίσης σε λουτρό υπερήχων για

20 min για απαέρωση, πριν τη χρήση της στην HPLC. Η στήλη που χρησιμοποιείται είναι η C-18 (250 mm x 4,6 mm, R0086700C5, Agilent Technologies, Γερμανία) σε θερμοκρασία 37 °C. Η κινητή φάση αποτελείται από 80% νερό και 20% μεθανόλη. Η ανάλυση πραγματοποιείται με ισοκρατική έκλουση με ροή 1 mL/min, με όγκο «ένεσης» 20 µL. Η διάρκεια ολικής ανάλυσης κάθε δείγματος είναι 10 min ακολουθούμενη από πλύση με 100% μεθανόλη για 5 min. Η ανίχνευση έγινε στα 210 nm και ο χρόνος ανάσχεσης βάση βιβλιογραφίας θεωρήθηκε t=2,1 min. Για την σωστή ταυτοποίηση των κορυφών έγινε σύγκριση με το φάσμα των πολυσακχαριτών (Εικόνα 32).



Εικόνα 32 Χρωματογράφημα HPLC για την μέτρηση ακετυλομαννανών σε γέλη αλόης (μέση), φάσμα των κορυφών για την ταυτοποίηση των ακετυλομαννανών (δεξιά/αριστερά)

3.6. Μέτρηση ενεργότητας β-μαννανασών

3.6.1. Ανάκτηση ενζύμου

Πρώτη μέθοδος για ανάκτηση του ενζύμου είναι η ανάμειξη γέλης αλόης με ρυθμιστικό διάλυμα με pH=7 (phosphate buffer, 0,1 M) με αναλογία 1:1 και ανάδευση για 24 ώρες υπό ψύξη. Στη συνέχεια πραγματοποιείται φιλτράρισμα υπό κενό.

Στη δεύτερη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε έγινε ανάμειξη γέλης αλόης με ρυθμιστικό διάλυμα με pH=7 (phosphate buffer, 0,1 M) με αναλογία 1:1 και ανάδευση για 2 ώρες υπό ψύξη. Στη συνέχεια γίνεται φυγοκέντρηση των δειγμάτων σε θερμοκρασία 4 °C αρχικά για χρόνο 10 min με ταχύτητα ανάδευσης 3.000 rpm και στη συνέχεια για επιπλέον 10 min με ταχύτητα ανάδευσης 5.000 rpm. Μετά το τέλος

της φυγοκέντρωσης , πραγματοποιείται διαχωρισμός ιζήματος-υπερκείμενου υγρού και χρησιμοποιείται το υπερκείμενο υγρό στην μέτρηση.

Η τρίτη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι όμοια με τη δεύτερη με διαφορά ότι αντί για phosphate buffer χρησιμοποιείται citrate buffer με pH= 5.

3.6.2. Μέτρηση ενεργότητας ενζύμου

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ενεργότητας του ενζύμου βασίζεται στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε από τους Soni et al. (Soni Hemant, 2016) με κάποιες τροποποιήσεις. Παρασκευάζεται, αρχικά, το υπόστρωμα το οποίο είναι LBG (locust bean gum) περιεκτικότητα 0,5% w/v , διαλυμένο στο εκάστοτε ρυθμιστικό διάλυμα που χρησιμοποιείται και αναδεύεται για 1 h σε θερμοκρασία 60 °C. Σε δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετείται 900 µL υποστρώματος και 100 µL τα οποία επωάζουν σε υδατόλουτρο στους 50 °C για χρόνο 10 min. Στη συνέχεια προστίθενται 1,5 mL 3,5-δινιτροσαλικυλικό οξύ (3,5-Dinitrosalicylic acid, DNS) και οι δοκιμαστικοί σωλήνες οδηγούνται σε βρασμό για χρόνο 5 min. Στην συνέχεια τα δείγματα φωτομετρούνται σε μήκος κύματος 540 nm.

3.6.3. Μέθοδος Bradford

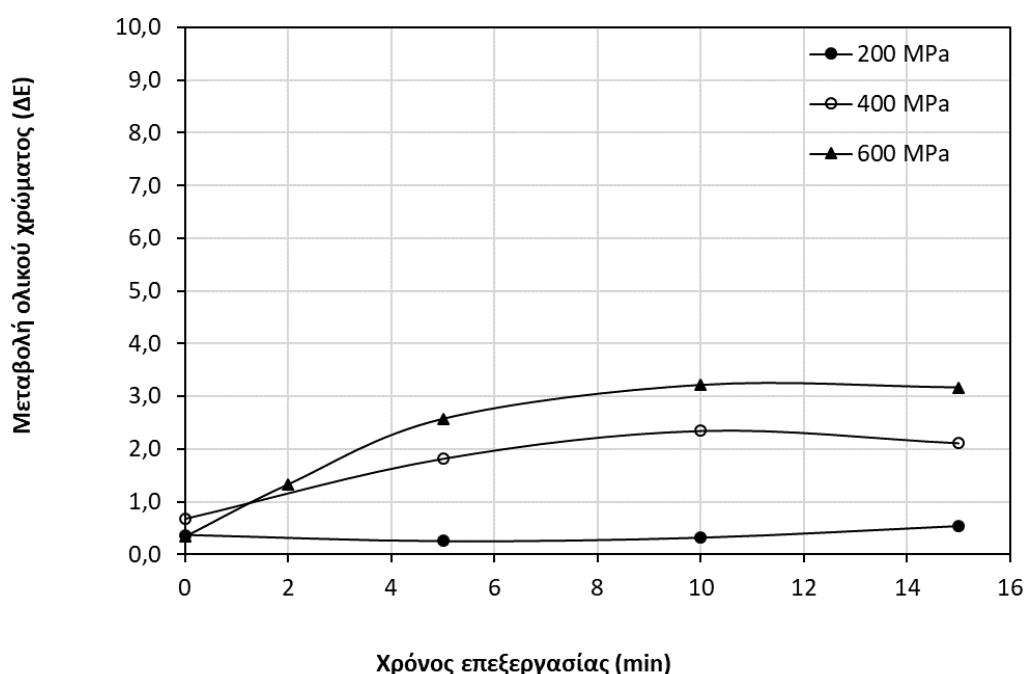
Η μέθοδος Bradford συνήθως χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των πρωτεϊνών, στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την ανίχνευση πρωτεϊνικού περιεχομένου. Σε δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετούνται 100 µL και 3 mL αντιδραστηρίου Bradford. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες αναδεύονται σε Vortex. Αφήνονται σε ηρεμία για 10 min σε απόλυτο σκοτάδι και στη συνέχεια φωτομετρούνται σε μήκος κύματος 595 nm (Bradford M., 1976).

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και συζήτηση

4.1 Επίδραση της υπερυψηλής πίεσης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της γέλης *Aloe vera*

4.1.1. Επίδραση της ΥΠ στο χρώμα

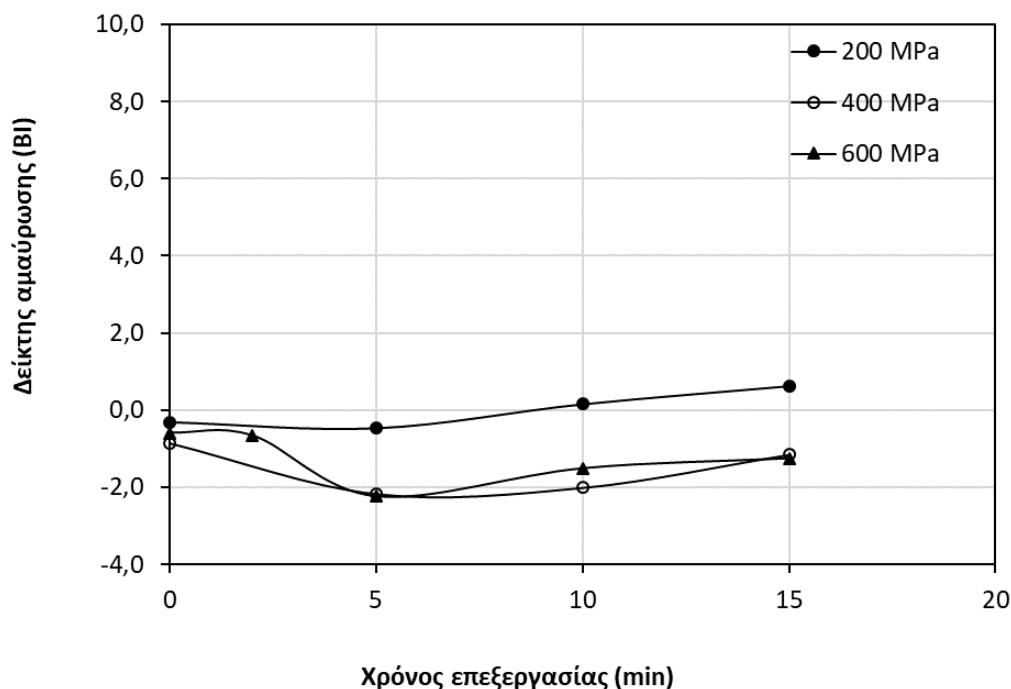
Επιλέχθηκε ότι οι καταλληλότεροι δείκτες ποιότητας για να παρουσιάσουν μια καλή εικόνα της επίδρασης της πίεσης σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας στο χρώμα της γέλης αλόης είναι η μεταβολή του χρώματος ΔΕ και ο δείκτης αμαύρωσης ΒΙ. Παρακάτω παρατίθενται στα Διαγράμματα 5 και 6.



Διάγραμμα 5: Μεταβολή του δείκτη ΔΕ σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας ΥΠ για 200, 400 και 600 MPa

Παρατηρείται ότι, εκτός από την πίεση των 200 MPa, που η μεταβολή χρώματος για όλους τους χρόνους επεξεργασίας παραμένει αρκετά χαμηλή και πρακτικά σταθερή, στις άλλες δύο πιέσεις, 400 και 600 MPa, αυξάνεται μαζί με το χρόνο και από κάποια στιγμή και μετά σταθεροποιείται. Ο ρυθμός αύξησης της διαφοράς χρώματος είναι μεγαλύτερος στα 600 MPa. Αυτό, όπως περιγράφεται και από τους Vega-Galvez et al. (2014), μπορεί να συμβαίνει λόγω αντιδράσεων

ενζυμικού μαυρίσματος, με τη ρήξη των κυτταρικών μεμβρανών να έρχεται σε επαφή το ένζυμο με το υπόστρωμα.



Διάγραμμα 6: Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης της γέλης αλόης σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας ΥΠ για πιέσεις 200, 400 και 600 MPa

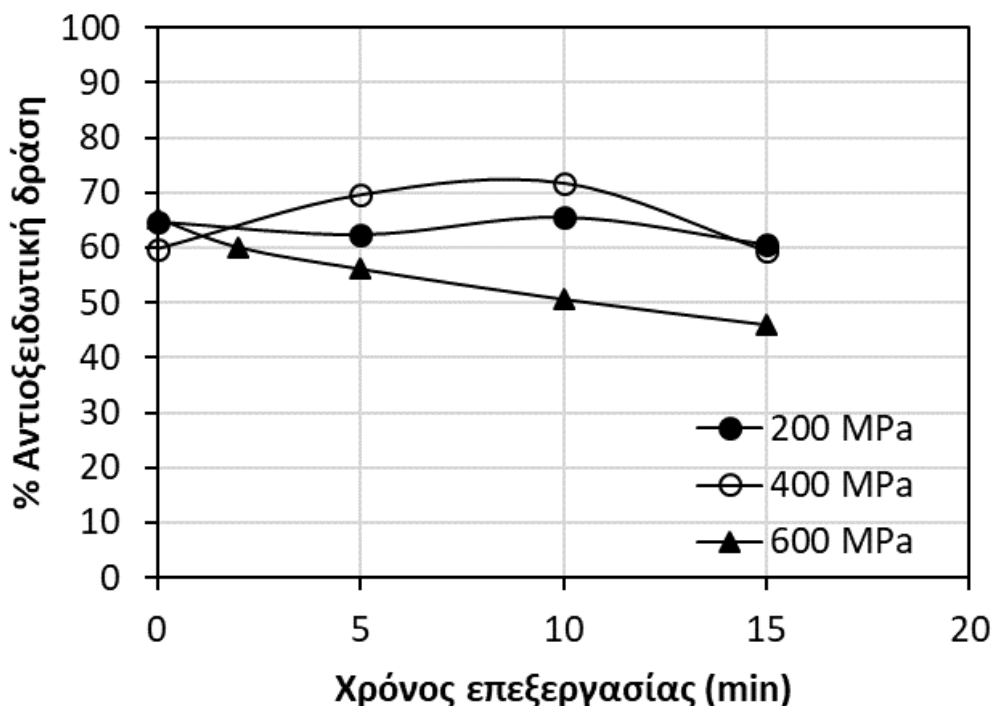
Στο διάγραμμα παρατηρείται ότι ο δείκτης αμαύρωσης έχει πολύ μικρές μεταβολές κατά την αύξηση του χρόνου της επεξεργασίας. Στην περίπτωση των 200 MPa ο δείκτης παραμένει σχεδόν σταθερός με τιμές που τείνουν στο μηδέν, αυτό δείχνει ότι δεν επηρεάζεται από τα 200 MPa. Στις άλλες δύο καμπύλες παρατηρείται μεταβολή, αλλά και πάλι αρκετά μικρή.

4.1.2. Επίδραση της ΥΠ στην αντιοξειδωτική δράση

Η επίδραση της επεξεργασίας με ΥΠ στην συνολική αντιοξειδωτική δράση (ΑΔ) της γέλης αλόης φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα. Το διαγράμματα παρουσιάζει την επί τοις % μεταβολή της αντιοξειδωτικής δράσης της επεξεργασμένης με ΥΠ γέλης αλόης σε σχέση με την αντίστοιχη της ανεπεξεργαστής. Αυτό υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{ΑΔ} = \left(1 - \frac{A_{515\text{nm}}}{A_{515\text{nmblank}}}\right) \cdot 100 \quad (\text{Εξίσωση 14})$$

Όπου %ΑΔ η επί τις εκατό μεταβολή της αντιοξειδωτικής δράσης της γέλης αλόης, A_{515nm} η απορρόφηση του δείγματος σε μήκος κύματος 515 nm και $A_{515nmblank}$ η απορρόφηση του «τυφλού» δείγματος. Η μεταβολή της %ΑΔ σε σχέση με το χρόνο επεξεργασίας φαίνεται στο Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7 Επί τις % μεταβολή της αντιοξειδωτικής δράσης της γέλης αλόης επεξεργασμένης με ΥΠ

Στο διάγραμμα φαίνεται ότι για τις πιέσεις 200 και 400 MPa με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας, μέχρι ένα σημείο, η αντιοξειδωτική ικανότητα αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα μιας υποβοηθούμενης, από την πίεση, εκχύλισης των αντιοξειδωτικών συστατικών από τους κυτταρικούς ιστούς. Έχει αναφερθεί και σε περίπτωση επεξεργασίας χυμού μήλου με ΥΠ, ότι στις πιέσεις 200-400 MPa, υπάρχει αύξηση της αντιοξειδωτικής δράσης του χυμού (Queiroz C., 2010). Στην περίπτωση των 600 MPa παρατηρείται μια συνεχής μείωση της αντιοξειδωτικής δράσης με την αύξηση του χρόνου. Η πίεση που επιβάλλεται είναι αρκετά υψηλή με πιθανό αποτέλεσμα να επιδρά στα αντιοξειδωτικά συστατικά της γέλης όπως οι αντιοξειδωτικές πολυφαινόλες, οι ινδόλες και τα αλκαλοειδή (Nejatzadeh-Barandozi, 2013).

4.1.3. Επίδραση της ΥΠ στο μικροβιακό φορτίο

Για τα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ΥΠ σε διαφορετικές πιέσεις και χρόνους πραγματοποιήθηκαν μικροβιολογικές αναλύσεις με σκοπό να διαπιστωθεί η επάρκεια των συνθηκών στην εξυγίανση της γέλης αλόης. Οι αναλύσεις αφορούσαν την μέτρηση του ολικού μικροβιακού φορτίου, των ζυμών και μυκήτων και των γαλακτικών βακτηρίων.

Αρχικά έγινε επιλογή ενδεικτικών πιέσεων και χρόνων, ώστε να διαπιστωθεί η τάξη μεγέθους του μικροβιακού φορτίου της γέλης αλόης. Το μικροβιακό φορτίο υπολογίστηκε με βάση την εξής σχέση:

$$\log \frac{CFU}{ml} = \frac{(\text{αριθμός αποικιών στο τρυβλίο}) \cdot (\text{τάξη αραιώσης})}{ml \text{ του δείγματος στο τρυβλίο}}$$

Το όριο ανίχνευσης για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι το 1 logCFU/mL . Επίσης όταν στο τρυβλίο δεν υπάρχει κάποια αποικία περιγράφεται ως not detected (<1 log).

Πίνακας 2 Αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων της γέλης αλόης για διάφορες πιέσεις και χρόνους επεξεργασίας

Δείγμα	Ολικό μικροβιακό φορτίο (logCFU/mL)	Ζύμες και μύκητες (logCFU/mL)	Γαλακτικά βακτήρια (logCFU/mL)
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	3,2	<1	2,0
300 MPa-5 min	1,3	<1	1,8
600 MPa- 2 min	<1	<1	<1
600 MPa- 5 min	<1	<1	1,1

Στον Πίνακα 2 παρατηρείται ότι το ολικό μικροβιακό φορτίο μειώθηκε κατά περίπου 2 logCFU/mL με τη χρήση της ΥΠ στα 300 MPa για χρόνο 5 min. Με τη χρήση των 600 MPa το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο όπως επιβεβαιώνεται και από τους Reyes et al. (2012) οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση της ΥΠ στην μικροβιακή

χλωρίδα της αλόης και σε πιέσεις άνω των 500 MPa δεν μπορούσε να ανιχνευθεί μικροβιακό φορτίο. Αντίστοιχα, ζύμες και μύκητες δεν υπήρχαν ούτε στο ανεπεξέργαστο δείγμα με αναμενόμενο αποτέλεσμα να μην υπάρχουν και μετά από την επιβολή πίεσης. Για τα γαλακτικά βακτήρια ήδη το φορτίο τους ξεκινάει αρκετά χαμηλά και μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της πίεσης και του χρόνου επεξεργασίας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πίεση 600 MPa για χρόνο επεξεργασίας 2 min και 5 min, που ενώ στον μικρότερο χρόνο δεν υπήρχαν αποικίες στον μεγαλύτερο δεν υπήρχαν. Το φορτίο είναι αρκετά χαμηλό με αποτέλεσμα να υπάρχουν σφάλματα. Από την πρώτη αυτή δοκιμή συμπεραίνεται ότι η γέλη αλόης έχει πολύ χαμηλό μικροβιακό φορτίο.

Στη νέα παρτίδα φύλλων αλόης έγινε δοκιμή για μεγαλύτερο εύρος πιέσεων και χρόνων επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3 Αποτελέσματα μικροβιολογικής ανάλυσης στη γέλη αλόης για διάφορες πιέσεις και χρόνους επεξεργασίας

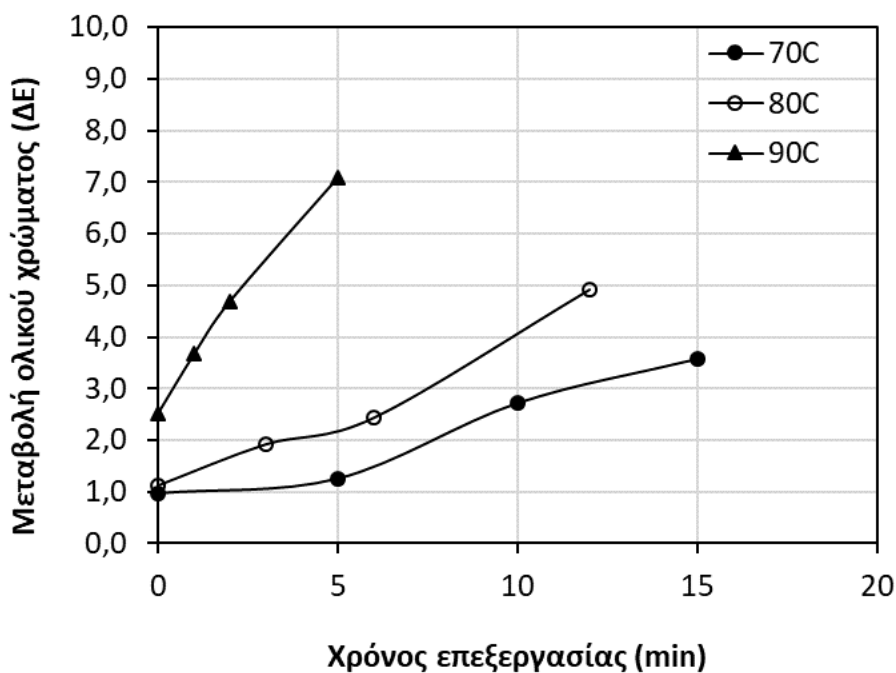
Δείγμα	Ολική μικροβιακή χλωρίδα log (CFU/mL)	Ζύμες και μύκητες log (CFU/mL)	Γαλακτικά βακτήρια log (CFU/mL)
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	<1	<1	<1
200 MPa-0 min	<1	<1	<1
200 MPa -10 min	<1	<1	<1
200 MPa -20 min	<1	<1	<1
200 MPa -30 min	<1	<1	<1
400 MPa -0 min	3,48	<1	<1
400 MPa -5 min	<1	<1	<1
400 MPa -10 min	<1	<1	<1
400 MPa -15 min	<1	<1	<1
600 MPa -0 min	<1	<1	<1
600 MPa -3 min	<1	<1	<1
600 MPa -6 min	<1	<1	<1
600 MPa-9 min	<1	<1	<1

Σχεδόν σε όλα τα τρυβλία δεν παρατηρήθηκαν αποικίες. Το κύριο ενδιαφέρον επικεντρώνεται στο ανεπεξέργαστο δείγμα που φαίνεται μικροβιολογικά «καθαρό» σε σχέση με το προηγούμενο. Αυτό πιθανότατα μπορεί να συμβαίνει διότι η αλόη από τη μία φάση συγκομιδής σε επόμενη και ανάλογα με την ηλικία του φυτού παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά και πιθανόν διαφορετική φυσική μικροβιακή χλωρίδα. Ενώ και όλα τα φύλλα αλόης προέρχονται από τον ίδιο παραγωγό, δεν μπορεί να εγυηθεί ότι συλλέχθηκαν και από τα ίδιο φυτά. Επίσης είναι πιθανό να μην ήταν επαρκείς οι αραιώσεις και να έπρεπε να γίνει καλλιέργεια για γέλη χωρίς αραίωση. Επιπλέον η αλόη έχει αντι-μικροβιακές ιδιότητες με αποτέλεσμα να έχει πολύ χαμηλό και μη ανιχνεύσιμο μικροβιακό φορτίο (Nejatzadeh-Barandozi, 2013). Στην πίεση 400 MPa και για χρόνο 0 υπάρχει ένα μικροβιακό φορτίο της τάξεως των $3 \log(\text{cfu/mL})$, με πιθανή αιτία την επιμόλυνση είτε από το περιβάλλον, είτε από το ίδιο το υπόστρωμα (“cross contamination”).

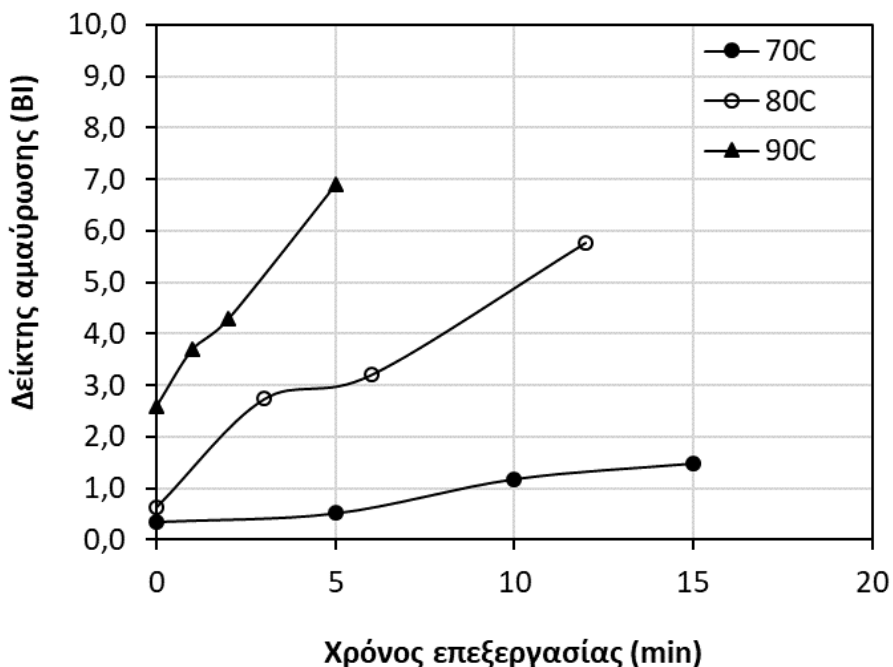
4.2. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της γέλης *Aloe vera*

4.2.1. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στο χρώμα

Αντίστοιχα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται για την επεξεργασία με ΥΠ, επιλέγονται ως δείκτες για το χρώμα η μεταβολή χρώματος (ΔE) και ο δείκτης αμαύρωσης (BI). Τα αποτελέσματα φαίνονται στα Διαγράμματα 8 και 9.



Διάγραμμα 8 Μεταβολή του ολικού χρώματος της γέλης αλόης για επεξεργασία στους 70,80 και 90 °C για διαφορετικούς χρόνους

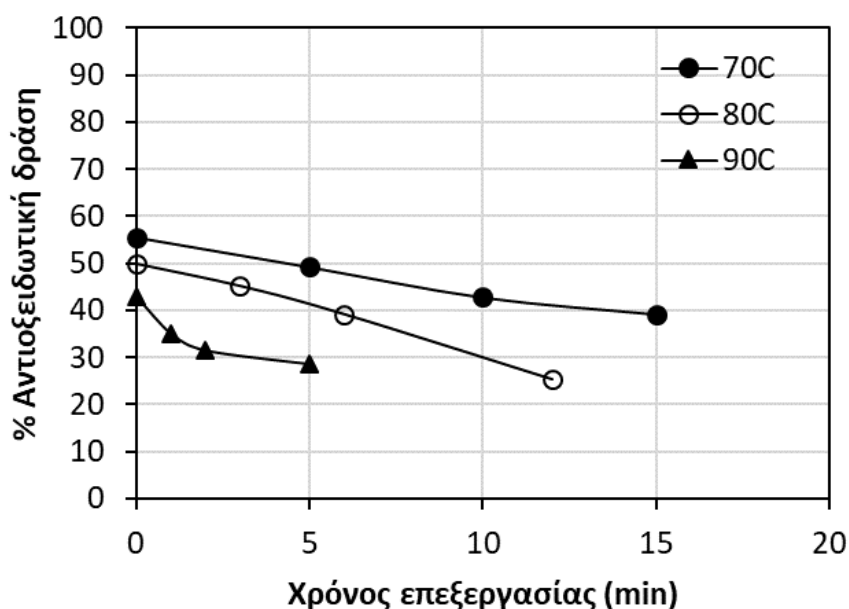


Διάγραμμα 9 Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης για θερμική επεξεργασία δείγματος αλόης στους 70,80 και 90°C για διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας

Παρατηρείται μια αναλογία στα αποτελέσματα των δύο δεικτών για τις θερμοκρασίες και τους χρόνους επεξεργασίας. Και η μεταβολή χρώματος αυξάνεται αλλά και ο δείκτης αμαύρωσης με την αύξηση της θερμοκρασίας και την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας. Ο ρυθμός αύξησης των δεικτών είναι μικρότερος για τους 70 °C, ακόμα μεγαλύτερος για τους 80 °C και ο μεγαλύτερος είναι για τους 90 °C. Επιπλέον, για τους 70 °C και για χρόνο επεξεργασίας 15 min ο δείκτης αμαύρωσης είναι αισθητά μικρότερος από το δείκτη αμαύρωσης των 90 °C σε κάθε χρόνο επεξεργασίας. Αυτό είναι ένας πρώτος δείκτης του πόσο έντονα είναι τα φαινόμενα που συμβαίνουν στην επεξεργασία των 90 °C. Η αλλαγή στο χρώμα και κυρίως στην τάση της γέλης να μαυρίζει οφείλεται σε ενζυμική δράση σε συνέργεια με αντιδράσεις Maillard όπως αναφέρεται και από τους Saberian et al. (2013).

4.2.2. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στην αντιοξειδωτική δράση

Μελετήθηκε η % μεταβολή της αντιοξειδωτικής δράσης θερμικά επεξεργασμένης γέλης αλόης, για θερμοκρασίες 70, 80 και 90 °C και διάφορους χρόνους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 10.



Διάγραμμα 10 Αποτελέσματα τις % μεταβολής της αντιοξειδωτικής δράσης της γέλης αλόης για θερμοκρασίες παστερίωσης 70, 80 και 90 °C και διάφορους χρόνους

Σύμφωνα με το διάγραμμα η αντιοξειδωτική δράση μειώνεται με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας και με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός μείωσης είναι μεγαλύτερο στην θερμοκρασία των 90 °C, αποτέλεσμα αναμενόμενο διότι τόσο μεγάλες θερμοκρασίες για μεγάλους χρόνους υποβαθμίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των φυτικών προϊόντων και του χυμούς φρούτων. Η αντιοξειδωτική ικανότητα της γέλης αλόης σχετίζεται τη συγκέντρωση των βιοδραστικών ενώσεων όπως οι βιταμίνες, οι φαινόλες, καροτενοειδή ή φλαβονοειδή. Πιθανότατα η θερμική επεξεργασία προκαλεί υποβάθμιση των συγκεκριμένων συστατικών με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντιοξειδωτική ικανότητα της γέλης. Αντίστοιχη αναφορά υπάρχει και για τη μείωση της αντιοξειδωτικής ικανότητας χυμού πορτοκαλιού, η οποία μειώνεται με την επιβολή θερμικής επεξεργασίας (Escudero-López Blanca, 2016).

4.2.3. Επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στο μικροβιακό φορτίο

Δεδομένου ότι η αλόη, με βάση τις μετρήσεις που έγιναν για την επεξεργασία της γέλης, διαπιστώθηκε ότι έχει πολύ χαμηλό μικροβιακό φορτίο, αναμένεται να έχει αξιοσημείωτη μείωση και με θερμική επεξεργασία σε μία υψηλή θερμοκρασία ακόμα και για μικρό χρόνο επεξεργασίας. Έγινε δοκιμή για τη θερμοκρασία των 80 °C για διάφορους χρόνους εντός του εύρους 0-15 min. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4 Μικροβιολογική ανάλυση δείγματος θερμικά παστεριωμένης γέλης αλόης στους 80 °C για διάφορους χρόνους

Δείγμα	Ολικό μικροβιακό φορτίο logCFU/mL	Ζύμες και μύκητες logCFU/mL	Γαλακτικά βακτήρια logCFU/mL
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	3.11	3.04	2.89
80 °C / t=0	<1	<1	<1
80 °C / t=2 min	<1	<1	<1
80 °C / t=5 min	<1	<1	<1
80 °C / t=10 min	<1	<1	<1
80 °C / t=15 min	<1	<1	<1

Το ανεπεξέργαστο δείγμα έχει μικροβιακό φορτίο περίπου 3 log(CFU/mL), και για τις τρεις κατηγορίες μικροοργανισμών. Μετά τη θερμική παστερίωση παρατηρείται πλήρης μείωση του μικροβιακού φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι οι 80 °C είναι μια πλήρως αποτελεσματική θερμοκρασία για την εξυγίανση της γέλης αλόης ακόμα και για πολύ μικρούς χρόνους επεξεργασίας.

4.3. Επίδραση της ΥΠ στην ενεργότητα του ενζύμου β-μαννανάση της γέλης *Aloe vera*

Η β-μαννανάση είναι ένα ένζυμο που υποβαθμίζει τους βιοδραστικούς πολυσακχαρίτες της αλόης, οπότε έγινε προσπάθεια μελέτης της ενεργότητάς του σε διάφορα δείγματα αλόης, μετά από διαφορετικές επεξεργασίες και χρόνους. Αρχικά έγινε μελέτη της ενεργότητας του ενζύμου για ανεπεξέργαστο δείγμα γέλης και συνδυασμούς πιέσεων και χρόνων, 300 MPa/5 min, 600 MPa/2 min και 600 MPa/5 min, χωρίς εκχύλιση του ενζύμου. Παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις απορροφήσεις. Αυτό πιθανότατα προέκυψε επειδή δεν διαθέταμε το ένζυμο σε καθαρή μορφή οπότε δεν ενέργησε στο υπόστρωμα. Στη συνέχεια, με σκοπό να επιβεβαιωθούν τα παραπάνω αποτελέσματα έγινε δοκιμή της μεθόδου σε ανεπεξέργαστο δείγμα και σε δείγμα που είχε υποβληθεί σε βρασμό (100 °C) για αρκετή ώρα ώστε να απενεργοποιηθεί κάθε ένζυμο. Στα αποτελέσματα παρατηρήθηκε διαφορά στην απορρόφηση του δείγματος, βέβαια δεν είναι η επιθυμητή, διότι δεδομένου ότι στο επεξεργασμένο δείγμα έχουν απενεργοποιηθεί όλα τα ένζυμα, θα έπρεπε να έχει μικρότερη απορρόφηση από το φρέσκο, ενώ συμβαίνει το αντίθετο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε εκχύλιση (phosphate buffer, 0,1M, pH=7) στη γέλη αλόης, με σκοπό να απομονωθεί το ένζυμο. Αυτή η διαδικασία έγινε για ανεπεξέργαστο δείγμα, για δείγμα που έχει υποστεί θερμική επεξεργασία στους 90 °C για t= 1min, για πίεση 400 MPa και t= 5min, για πίεση 600 MPa και t= 9min και για ανεπεξέργαστο με υποδιπλάσια, υποπενταπλάσια και υποδεκαπλάσια συγκέντρωση εκχυλίσματος ενζύμου. Τα αποτελέσματα για το μη επεξεργασμένο και τα επεξεργασμένα δείγματα δεν είναι τα αναμενόμενα, η απορρόφηση αυξάνεται κατά τις διάφορες επεξεργασίες. Στις διαφορετικές συγκεντρώσεις παρατηρείται μια

μείωση της απορρόφησης αντίστοιχη της συγκέντρωσης του ενζύμου. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποια βιβλιογραφία που να επιβεβαιώνει τον τρόπο εκχύλισης του ενζύμου β-μαννανάση από τη γέλη αλόης έγινε δοκιμή και σε μία ακόμα μέθοδο εκχύλισης, που συμπεριλαμβάνει το βήμα της φυγοκέντρωσης. Μεταξύ του ανεπεξέργαστου και του θερμικά επεξεργασμένου δείγματος δεν υπάρχει διαφορά στην απορρόφηση, αυτό πιθανότατα να συμβαίνει επειδή δεν υπήρχε απενεργοποίηση του ενζύμου κατά τη συγκεκριμένη επεξεργασία, αν όντως έχει απομονωθεί το ένζυμο. Τα αποτελέσματα της ΥΠ έχουν πολύ μικρή αύξηση της απορρόφησης και συμπεραίνεται ότι δεν είχε κάποια επίδραση στην ενεργότητα του ενζύμου.

Με σκοπό να επιβεβαιωθεί ότι οι υπόλοιπες παράμετροι της μεθόδου (χρόνος επώασης, ποσότητα ενζύμου και συγκέντρωση υποστρώματος) είναι οι κατάλληλοι, πραγματοποιήθηκαν διερευνητικές μετρήσεις για χρόνο επώασης 10 και 20 min , διπλασιασμός της ποσότητας ενζυμικού εκχυλίσματος για χρόνο επώασης 10 και 20 min και μείωση της συγκέντρωσης υποστρώματος (0,25 % w/v) για χρόνο επώασης 10 και 20 min. Μεταξύ των διάφορων χρόνων επώασης η διαφορά είναι αμελητέα, οπότε επιβεβαιώνεται ότι έχει γίνει ορθή επιλογή αυτής της παραμέτρου. Στη συνέχεια ο διπλασιασμός της ποσότητας του ενζύμου προκαλεί σχεδόν διπλασιασμό της απορρόφησης. Αυτό είναι το αναμενόμενο αποτέλεσμα, αφού θεωρητικά αυξάνεται ο αριθμός των αναγωγικών σακχάρων. Στην τελευταία περίπτωση η απορρόφηση είναι παρόμοια με την απορρόφηση των δειγμάτων με την αρχική συγκέντρωση του υποστρώματος, συνεπώς η συγκέντρωση του υποστρώματος φαίνεται να μην επηρεάζει τη μέθοδο.

Έγινε μια επαναληπτική μέτρηση σε δείγματα γέλης αλόης επεξεργασμένα και μη (φρέσκο-μη επεξεργασμένο), θερμικά παστεριωμένο στους 90 °C για 1 min, θερμικά επεξεργασμένο στους 100 °C, επεξεργασμένο με ΥΠ 200 και 400 MPa για χρόνο 10 min) σε συνδυασμό με τη μέθοδο Bradford ώστε να διαπιστωθεί αν όντως τα αποτελέσματα εμπίπτουν σε δράση του ενζύμου ή υπάρχει κάποιος άλλος παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει τη μέτρηση. Τα αποτελέσματα από την μέτρηση ενεργότητας και σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι τα αναμενόμενα, διότι η απορρόφηση στα θερμικώς επεξεργασμένα και στα δείγματα με επεξεργασία ΥΠ

είναι μεγαλύτερη της απορρόφησης στο μη επεξεργασμένο. Από την μέθοδο Bradford προκύπτει ότι το πρωτεϊνικό περιεχόμενο είναι αρκετά χαμηλό, αλλά συγκριτικά τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, διότι το ανεπεξέργαστο δείγμα αλόης έχει τη μεγαλύτερη απορρόφηση και είναι διπλάσια από το δείγμα που επεξεργάστηκε στους 100 °C . Επιπλέον για ίδιο χρόνο επεξεργασίας σε διαφορετική πίεση παρατηρείται ότι υπάρχει μείωση στην απορρόφηση, δηλαδή ότι η πίεση έχει επίδραση. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι είτε το ένζυμο βρίσκεται σε πάρα πολύ μικρή ποσότητα είτε δεν έχει γίνει εξαντλητική παραλαβή/εκχύλιση του ενζύμου, με αποτέλεσμα οι μετρήσεις μας να είναι κάτω από τα όρια ανίχνευσης της συγκεκριμένης μεθόδου.

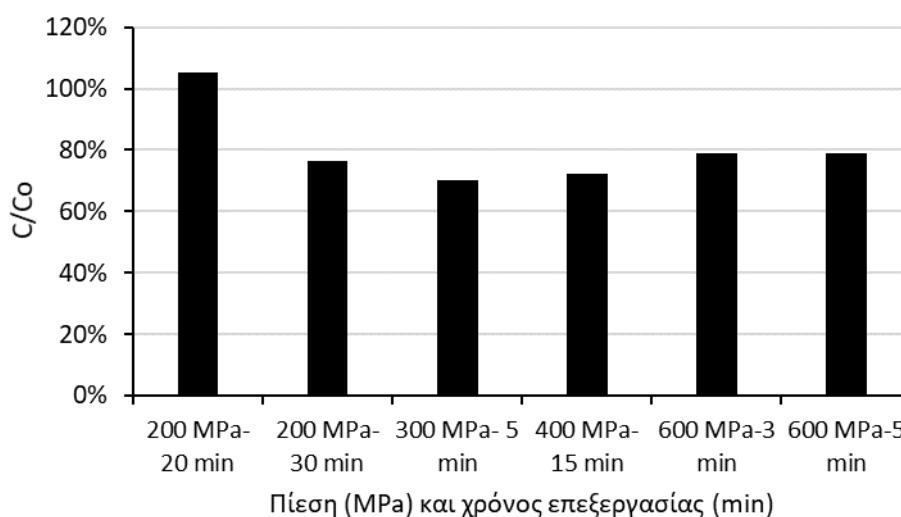
Πραγματοποιήθηκε μια ακόμα δοκιμή με αλλαγή της διαδικασίας εκχύλισης (citrate buffer, pH=5) για ανεπεξέργαστο δείγμα και για δείγμα που έχει υποστεί ΥΠ στα 200 MPa για t=0 min και στα 600 MPa για t=6 min. Αντίστοιχα ακολούθησε και δοκιμή με τη μέθοδο Bradford. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις απορροφήσεις μεταξύ επεξεργασμένης και μη γέλης αλόης, ενώ παράλληλα το πρωτεϊνικό περιεχόμενο έχει αυξομειώσεις δυσανάλογες των επεξεργασιών.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα θεωρείται πιθανό η συγκέντρωση των β-μαννανασών να είναι πολύ χαμηλή στη γέλη αλόης. Θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω η μέθοδος εκχύλισης των β-μαννανασών από τη γέλη αλόης. Επίσης θεωρείται πιθανό η μέθοδος DNS να πραγματοποιεί μέτρηση των σακχάρων που προϋπάρχουν στη γέλη αλόης και που αυξάνονται με την επιβολή θερμικής επεξεργασίας ή ΥΠ, διότι οι επεξεργασίες αυτές υποβαθμίζουν τους πολυσακχαρίτες της αλόης.

4.4. Επίδραση της ΥΠ στον βιοδραστικό πολυσακχαρίτη ακετυλομαννάνη της γέλης *Aloe vera*

Για δείγματα γέλης αλόης επεξεργασμένα σε διαφορετικούς συνδυασμούς πιέσεων και χρόνων επεξεργασίας 200 MPa -20 min, 200 MPa -30 min, 300 MPa -5 min, 400 MPa -15 min, 600 MPa -3 min, 600 MPa -5 min, έγινε μελέτη της % μεταβολής την συγκέντρωσης των ακετυλομαννανών στη γέλη αλόης, σε σχέση με την ανεπεξέργαστη γέλη. Η ταυτοποίηση των ακετυλομαννανών στο χρωματογράφημα

έγινε βάση του χρόνου έκλουσης ο οποίος στην εργασία των Badar et al. (2017) προσδιορίζεται στα 2,1 min. Ο χρόνος έκλουσης στην στήλη η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη αναγνωρίστηκε στα 2,7 min. Για να επιβεβαιωθεί ο χρόνος έκλουσης των ακετυλομαννανών συλλέχθηκαν τα φάσματα και συγκρίθηκαν με τα φάσματα γνωστών πολυσακχαριτών, όπως έχει ήδη περιγραφεί στην αντίστοιχη ενότητα του προηγούμενου κεφαλαίου (Παρ. 3.5). Δεδομένου ότι ακολουθήθηκε πρωτόκολλο για ακετυλομαννάνες και επειδή ο κύριος πολυσακχαρίτης της αλόης είναι οι ακετυλομαννάνες τα αποτελέσματα βασίζονται στα εμβαδά των δύο αυτών κορυφών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 11.



Διάγραμμα 11 % Μεταβολή της συγκέντρωσης της ακεμαννάνης σε δείγματα που έχουν υποστεί επεξεργασία ΥΠ (α) 200MPa-20min (β)200MPa-30min(γ)300MPa-5min(δ)400MPa-15min(ε)600MPa-3min(σ)600MPa-5min

Παρατηρείται ότι για επεξεργασία 200 MPa και χρόνο 20 min υπάρχει μια αύξηση 5% στο ποσοστό, αυτό συμβαίνει πιθανώς λόγω εκχύλισης της ακετυλομαννάνης από τους φυτικούς ιστούς, επειδή αποτελεί δομικό πολυσακχαρίτη της αλόης. Στις άλλες περιπτώσεις υπάρχει μείωση. Οι Butz et al. (2002) ανέφεραν ότι η ΥΠ μπορεί να μεταβάλει τη δομή των μακρομορίων, με το διαχωρισμό περίπλοκων μακρομορίων. Σύμφωνα με τους Yang et al. (2009) με την αύξηση της πίεσης οι πολυσακχαρίτες θα έπρεπε να φθίνουν, αντιθέτως εδώ παρατηρείται μείωση σε χαμηλές πιέσεις και αύξηση στις υψηλές. Βέβαια οι τιμές

είναι αρκετά κοντά και μπορεί η διαφορά αυτή να αποδίδεται στην εκχύλιση. Από τη γενικότερη εικόνα των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι υπάρχει μείωση των ακετυλομαννανών μετά από επεξεργασία με ΥΠ σε σχέση με το ανεπεξέργαστο δείγμα

4.5. Συγκριτική μελέτη υποβάθμισης ποιοτικών δεικτών για προϊόντα γέλης *Aloe vera* επεξεργασμένα με ΥΠ και θερμική παστερίωση, σε διάφορες θερμοκρασίες αποθήκευσης

4.5.1. Βιταμίνη C

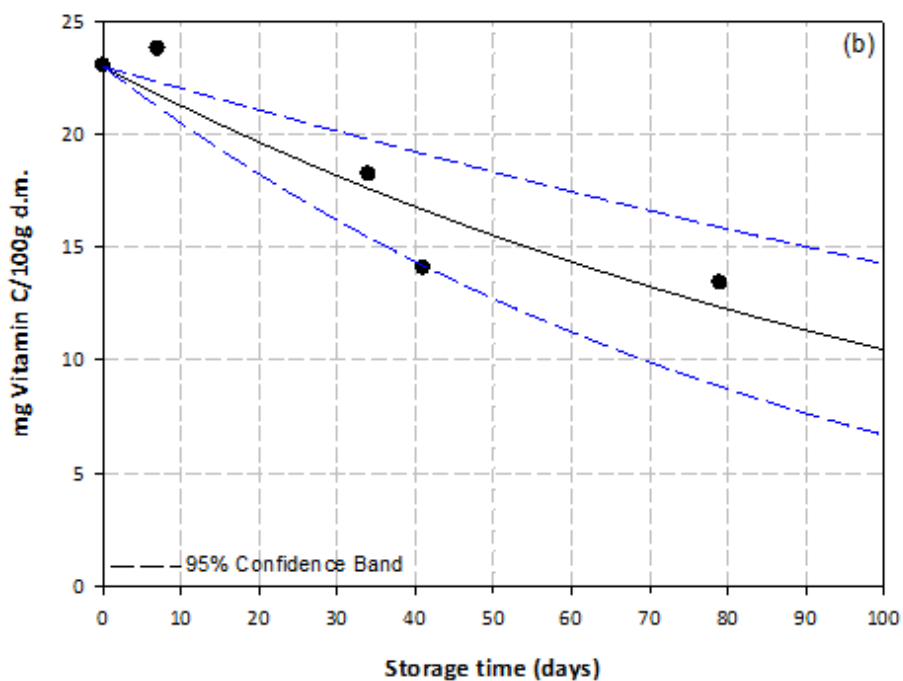
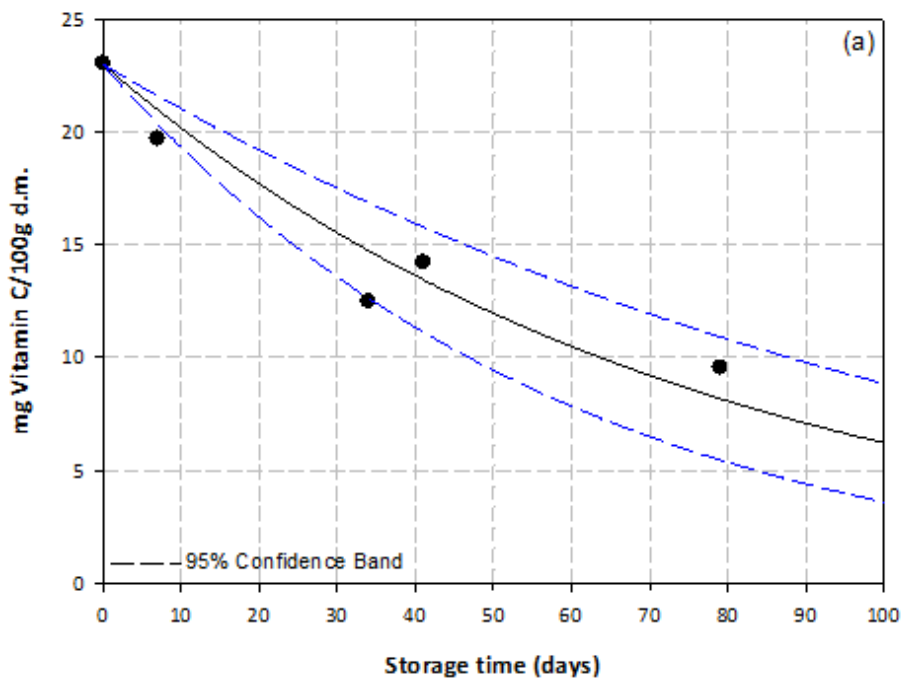
4.5.1.α. Προϊόν γέλη αλόης-τσάι

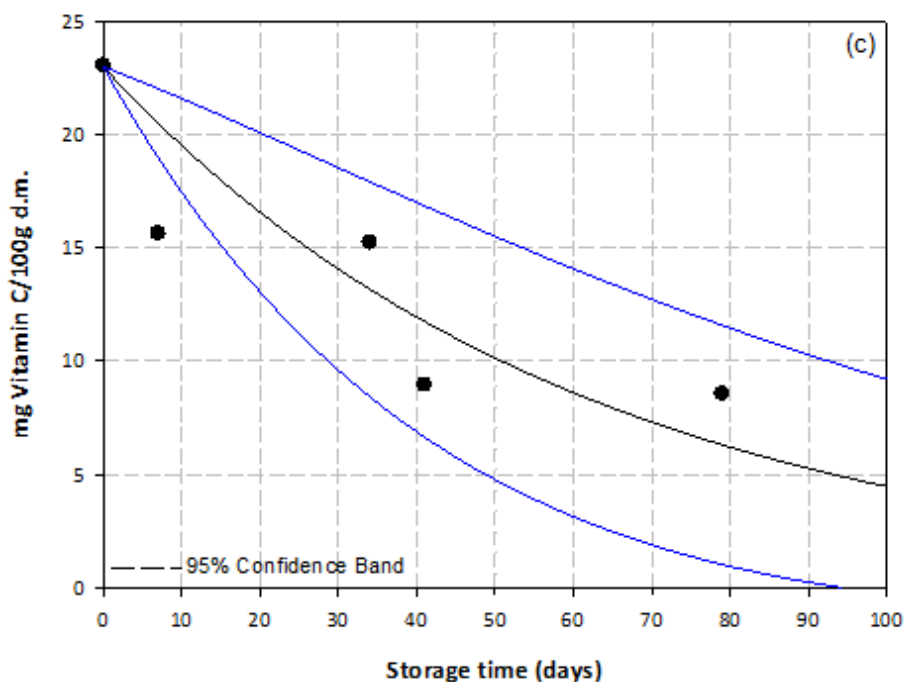
Με βάση τα αποτελέσματα της υγρή χρωματογραφίας γίνεται μετατροπή του εμβαδού των κορυφών, με βάση την καμπύλη αναφοράς για τη βιταμίνη C, και με βάση την υγρασία του δείγματος υπολογίζεται η περιεκτικότητα βιταμίνης C (mg) ανά 100 g ξηρής μάζας (dry matter, d.m.).

Μελετάται η εξέλιξη της συγκέντρωσης της βιταμίνης C, σε δείγματα επεξεργασμένα με ΥΠ, με την πάροδο του χρόνου αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C. Με βάση τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι η μείωση ακολουθεί εκθετική εξίσωση, δηλαδή κινητική 1^{ης} τάξης:

$$C = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (\text{Εξίσωση 15})$$

Όπου: C η συγκέντρωση της βιταμίνης C (mg/100 g d.m.), C₀ η αρχική συγκέντρωση βιταμίνης C (mg/100 g d.m.), k ο ρυθμός μείωσης της βιταμίνης C (d⁻¹) και t ο χρόνος αποθήκευσης (d). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 12.





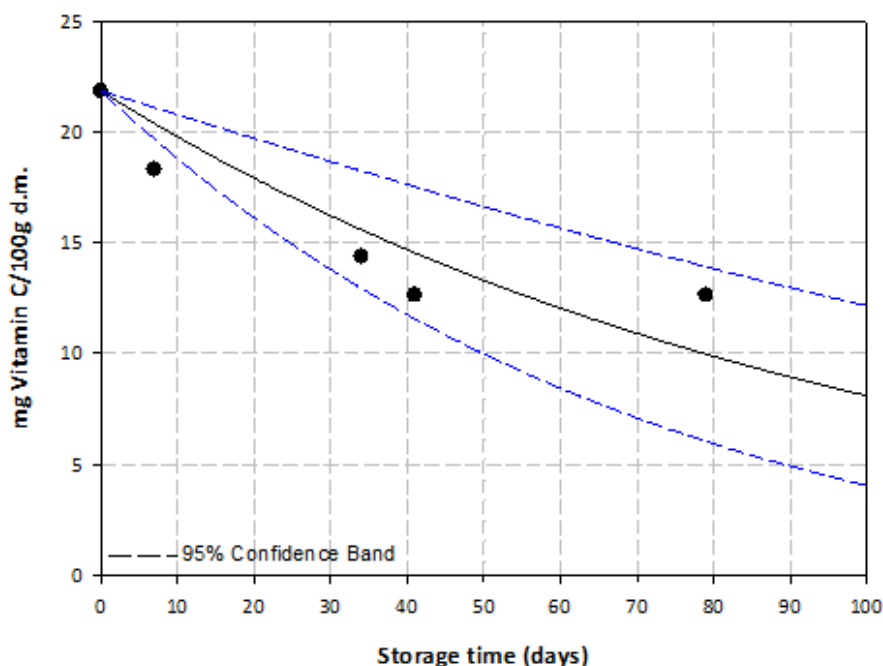
Διάγραμμα 12 Μείωση της βιταμίνης C των επεξεργασμένων με ΥΠ προϊόντων γέλης αλόης/τσάι για θερμοκρασίες αποθήκευσης (a) 5, (b) 25 και (c) 35 °C

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι σταθερές των ρυθμών μείωσης και οι συντελεστές συσχέτισης του εκθετικού μοντέλου μείωσης της βιταμίνης C για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης.

Πίνακας 5 Σταθερές ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης βιταμίνης C (k_{vitc}) και συντελεστές συσχέτισης (R^2) κατά την αποθήκευσης δειγμάτων γέλης αλόης/τσάι, τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία με ΥΠ, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

Θερμοκρασία (°C)	k_{vitc} (d ⁻¹)	R^2
5	0,0131±0,0015	0,9235
25	0,0079±0,0013	0,8698
35	0,0164±0,0038	0,7098

Αντίστοιχα και για τα θερμικώς επεξεργασμένα δείγματα η μείωση είναι εκθετική και η μεταβολή της συγκέντρωσης της βιταμίνης C με το χρόνο αποθήκευσης φαίνεται στο Διάγραμμα 13.



Διάγραμμα 13 Μεταβολή της συγκέντρωσης βιταμίνης C για δείγμα γέλης αλόης/τσάι που έχει υποστεί θερμική παστερίωση και έχει αποθηκευτεί στους 25 °C

Παρακάτω φαίνεται ο ρυθμός μείωσης της βιταμίνης C και ο συντελεστής συσχέτισης για θερμοκρασία 25 °C:

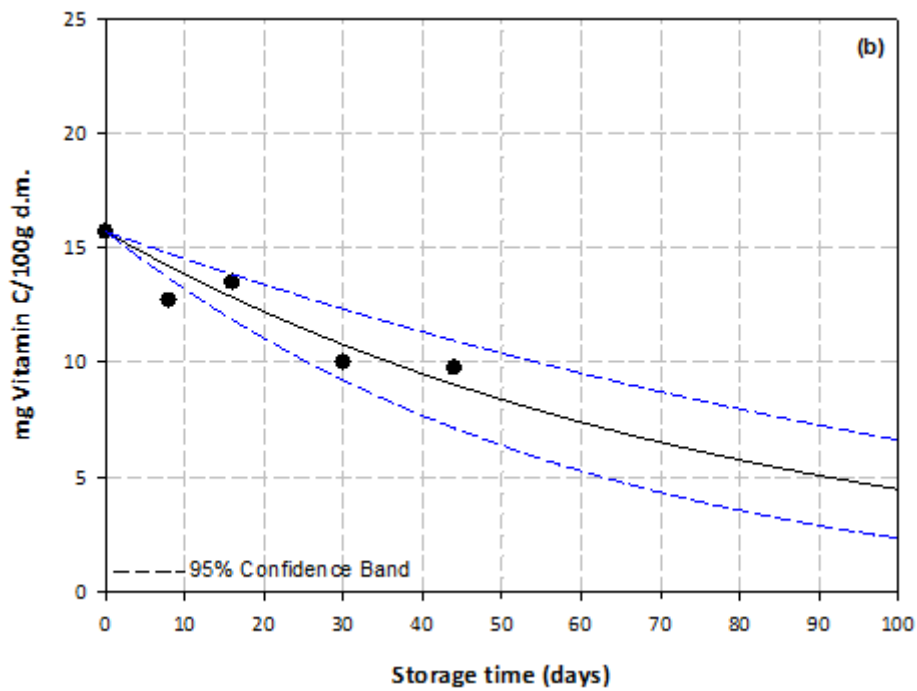
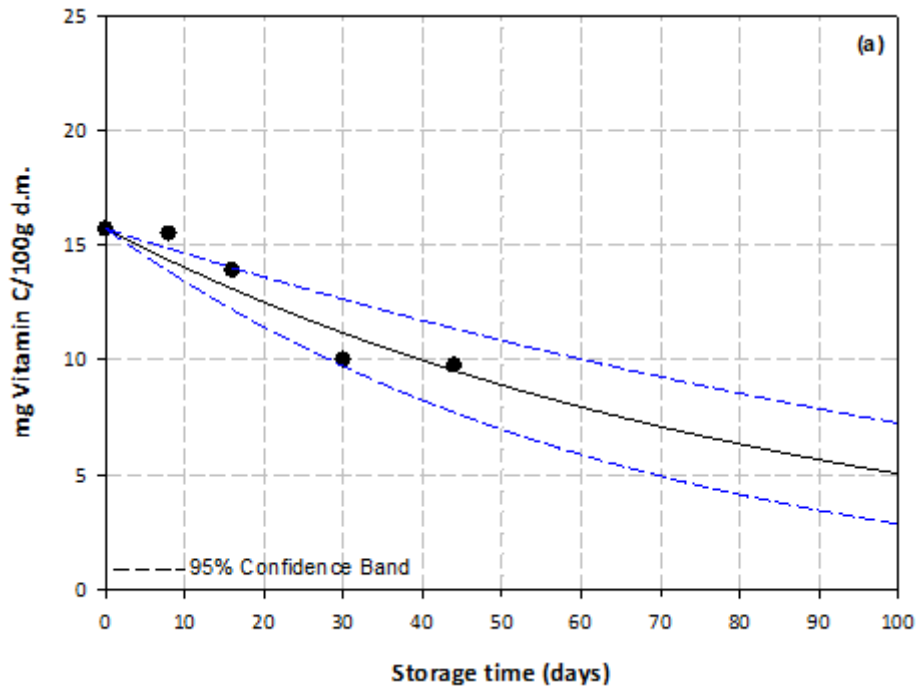
Πίνακας 6 Σταθερά ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης βιταμίνης C (k_{vitc}) και συντελεστής συσχέτισης (R^2) κατά την αποθήκευση δείγματος γέλης αλόης/τσάι θερμικά παστεριωμένο για θερμοκρασίες αποθήκευσης 25 °C

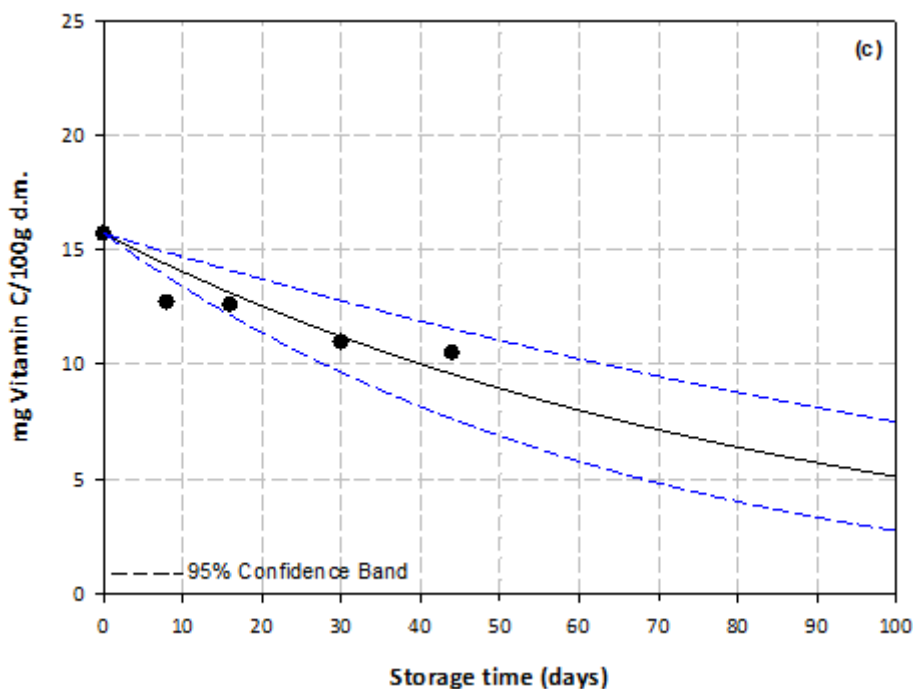
Θερμοκρασία (°C)	k_{vitc} (d ⁻¹)	R^2
25	0,0099±0,0018	0,7441

Παρατηρείται ότι για τις δύο επεξεργασίες σε θερμοκρασία αποθήκευσης ο ρυθμός είναι παραπλήσιος, αλλά η αρχική περιεχόμενη βιταμίνη C είναι μεγαλύτερη στο δείγμα που έχει υποστεί ΥΠ. Αυτό συμβαίνει επειδή η βιταμίνη C είναι μια ευαίσθητη στη θερμοκρασία ένωση (Margarita Miranda, 2009) με αποτέλεσμα να επηρεάζεται από τη θερμική παστερίωση.

4.5.1.β. Προϊόν γέλη αλόης

Αντίστοιχα για το προϊόν γέλη αλόης η μείωση της βιταμίνης C ακολουθεί εκθετική εξίσωση. Αρχικά στο Διάγραμμα 14 φαίνεται η μείωση της βιταμίνης C για τα δείγματα που έχουν υποστεί ΥΠ για τις θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35°C.





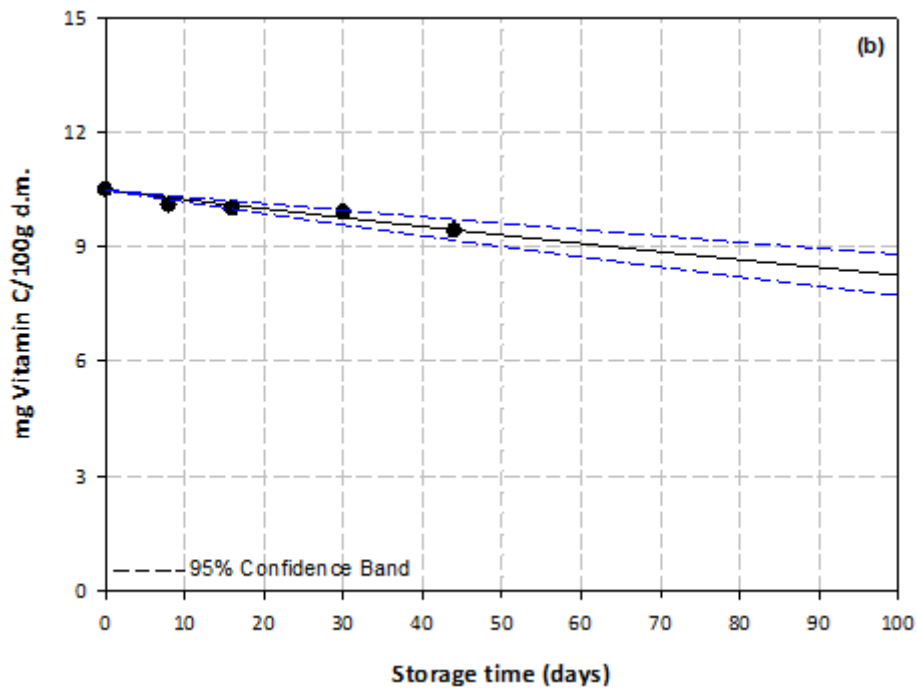
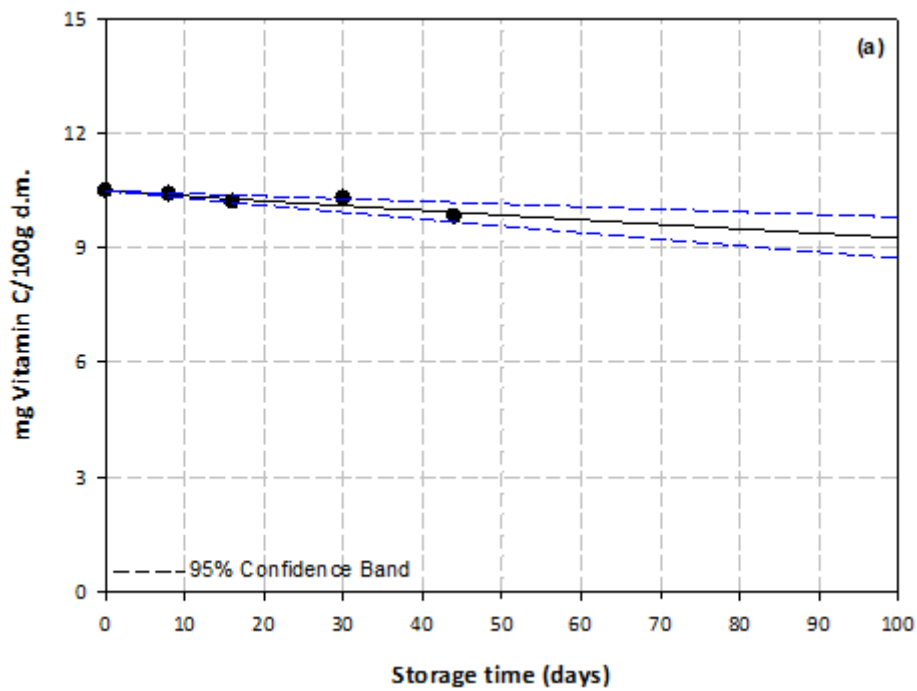
Διάγραμμα 14 Μείωση της βιταμίνης C των επεξεργασμένων με ΥΠ προϊόντων γέλης αλόης για θερμοκρασίες αποθήκευσης (a) 5, (b) 25 και (c) 35 °C

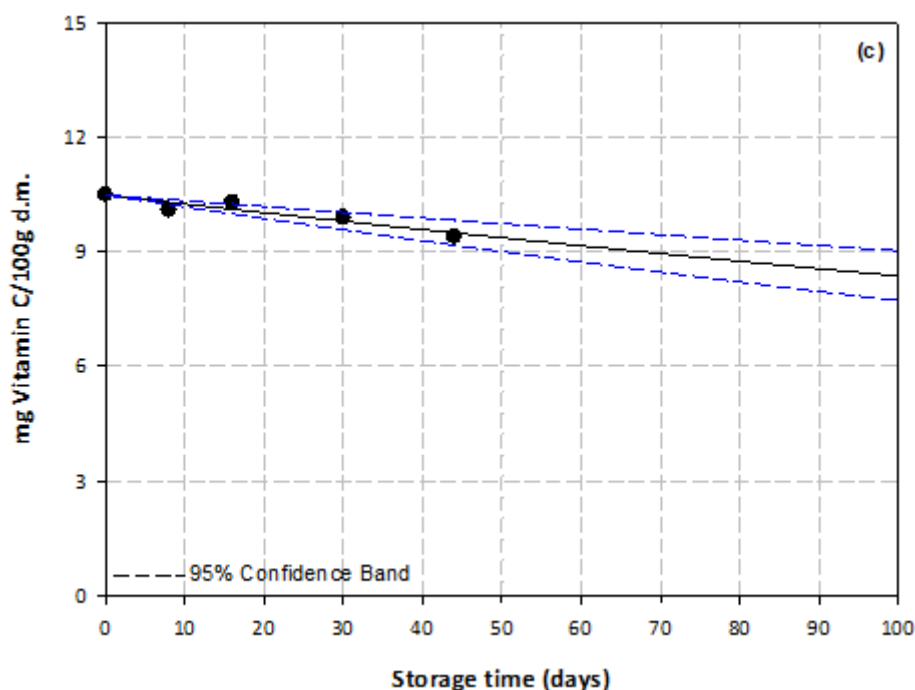
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ρυθμοί εκθετικής μείωσης της βιταμίνης C καθώς και οι συντελεστές συσχέτισης για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης:

Πίνακας 7 Σταθερές ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης βιταμίνης C (k_{vitc}) και συντελεστές συσχέτισης (R^2) κατά την αποθήκευση δειγμάτων γέλης αλόης, τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία με ΥΠ, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

Θερμοκρασία (°C)	k_{vitc} (d ⁻¹)	R^2
5	0,0114±0,0016	0,8996
25	0,0126±0,0017	0,8470
35	0,0112±0,0017	0,7654

Αντίστοιχα και για τα θερμικώς επεξεργασμένα δείγματα στο Διάγραμμα 15.





Διάγραμμα 15 Μείωση της βιταμίνης C των θερμικώς επεξεργασμένων προϊόντων γέλη αλόης για θερμοκρασίες αποθήκευσης (a) 5, (b) 25 και (c) 35 °C

Πίνακας 8 Σταθερές ρυθμού μείωσης της περιεχόμενης βιταμίνης C (k_{vitc}) και συντελεστές συσχέτισης (R^2) κατά την αποθήκευσης δειγμάτων γέλης αλόης, τα οποία έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία, για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

Θερμοκρασία (°C)	k_{vitc} (d ⁻¹)	R^2
5	0,0012±0,0002	0,7905
25	0,0024±0,0002	0,8910
35	0,0023±0,0003	0,8681

Παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μοιάζουν αρκετά μεταξύ των δύο επεξεργασιών. Παρ' όλα αυτά η αρχική συγκέντρωση στα δείγματα που έχουν υποστεί θερμική παστερίωση είναι αισθητά πιο χαμηλή απ' ότι στα ΥΠ δείγματα, στο πρώτο ξεκινάει από 10,49 mgVitC/100 g d.m. και στο δεύτερο από 15,71 mgVitC/100 g d.m. και καταλήγουν περίπου στα 9 mgVitC/100 g d.m. Η διαφορά, αυτή, των ρυθμών, οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός ότι η συγκέντρωση της βιταμίνης C είναι τόσο χαμηλή και φτάνει στο κατώτατο όριο ανίχνευσης της HPLC, συνεπώς τα

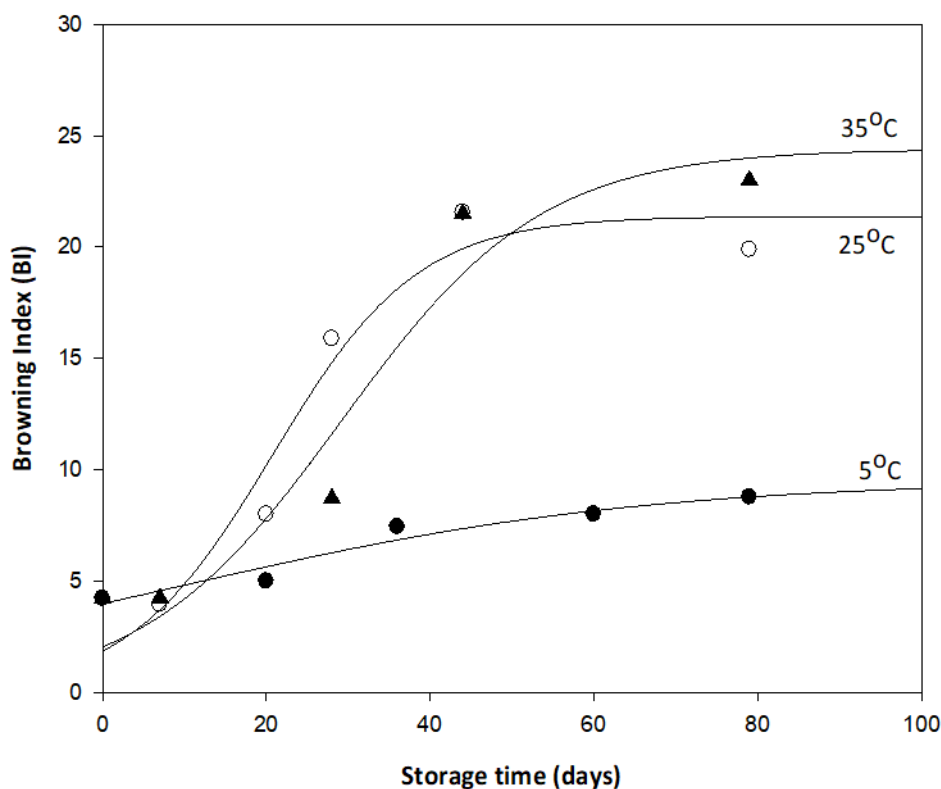
αποτελέσματα δεν είναι αξιόπιστα. Σύμφωνα, βέβαια, με τους Vega-Galvez et al. (2014) το περιεχόμενο της γέλης αλόης σε βιταμίνη C είναι της τάξεως των 130 mgVitC/100 g d.m., αλλά από ποικιλία σε ποικιλία ενδέχεται να υπάρχουν διαφορές.

4.5.2. Χρώμα

Το χρώμα αποτελεί βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό για ένα τρόφιμο, διότι ο καταναλωτής έχει συνδέσει το χρώμα με το κάθε προϊόν καθώς και το βαθμό ωρίμανσης, αν πρόκειται για φυτικό προϊόν. Για τα δείγματα μας θεωρήθηκε ικανοποιητικότερος δείκτης, μετά από δοκιμές, για να περιγράψει τις μεταβολές του χρώματος ο δείκτης αμαύρωσης (BI).

4.5.2.α. Προϊόν γέλη αλόης-τσάι

Για κάθε τύπο επεξεργασίας τα αποτελέσματα με βάση το χρόνο τοποθετούνται σε διαγράμματα. Αρχικά παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 16 οι καμπύλες για τα επεξεργασμένα με ΥΠ προϊόντα και αποθηκευμένα σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C.



Διάγραμμα 16 Διάγραμμα δείκτη αμαύρωσης σε σχέση με το χρόνο αποθήκευσης δειγμάτων αλόης-τσάι που έχουν υποστεί επεξεργασία ΥΠ για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35°C

Από το Διάγραμμα 16 παρατηρείται ότι τα δεδομένα ακολουθούν ικανοποιητικά ένα σιγμοειδές μοντέλο που περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

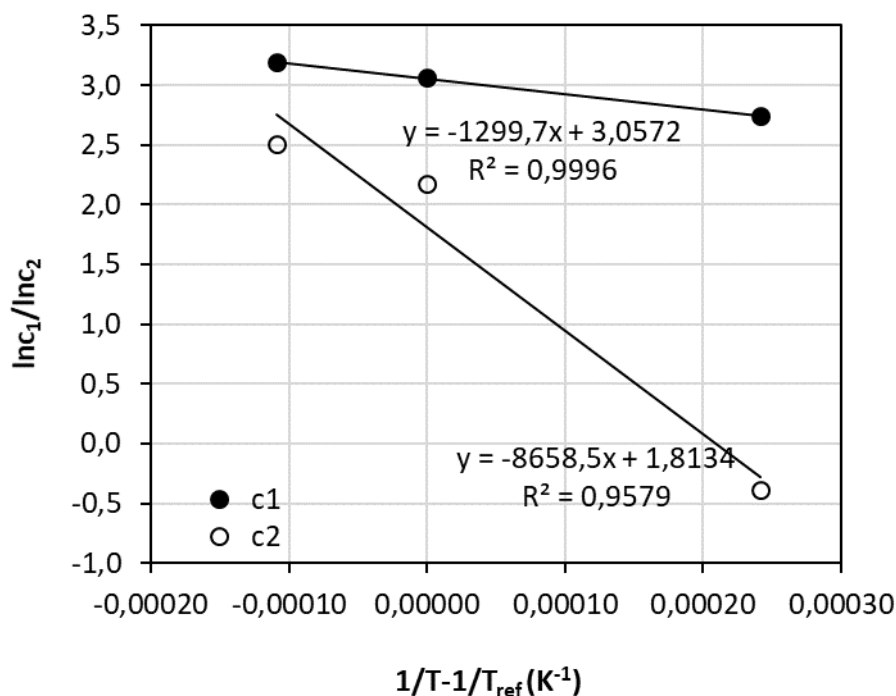
$$BI = BI_0 + \frac{c_1}{1 + \exp\left(-\frac{t-c}{c_2}\right)} \quad (\text{Εξίσωση 16})$$

, όπου BI ο δείκτης αμάρωσης του δείγματος την χρονική στιγμή t, BI₀ ο δείκτης αμάρωσης την χρονική στιγμή t=0 και c₁, c₂ και c σταθερές. Έχει παρατηρηθεί από προηγούμενες εργασίες στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων (Σαριδάκη, 2013) για χυμούς φρούτων, ότι η αύξηση του δείκτη αμάρωσης ακολουθεί τη συγκεκριμένη σιγμοειδή καμπύλη. Για κάθε θερμοκρασία οι σταθερές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9 Σταθερές για το μοντέλο αύξησης του δείκτη αμάρωσης για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης

Θερμοκρασία αποθήκευσης (°C)	c1	c2 (d)	R ²	C(d)
5	15,52±2,48	0,68±0,05	0,9760	26,20± 4,69
25	21,38±2,05	8,85±2,91	0,9470	
35	24,41±3,77	12,22±5,34	0,9356	

Οι σταθερές αυτές τοποθετήθηκαν στο μοντέλο Arrhenius έτσι ώστε να διαπιστωθεί η σχέση τους με τη θερμοκρασία. Από αυτή τη προσαρμογή προέκυψε το Διάγραμμα 17.



Διάγραμμα 17 Εξάρτηση των σταθερών της σιγμοειδούς καμπύλης από την θερμοκρασία αποθήκευσης

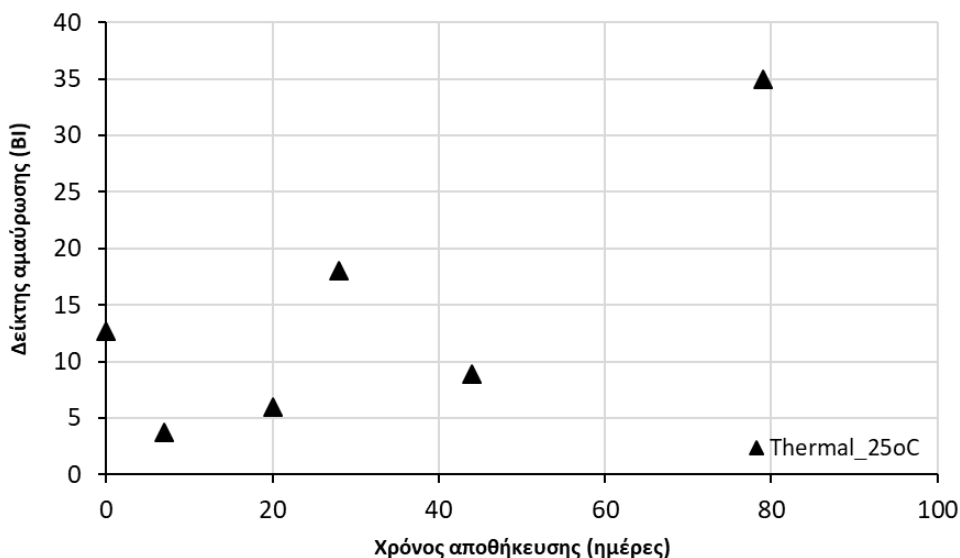
Και οι δύο σταθερές, όπως προκύπτει από το διάγραμμα, προσαρμόζονται στην μοντέλο Arrhenius με μεγάλους συντελεστές συσχέτισης (R^2).

Πίνακας 10 Σταθερές της εξίσωσης Arrhenius και συντελεστής συσχέτισης για τις σταθερές c_1 και c_2

Σταθερά	Ενέργεια ενεργοποίησης E_a (kJ/mol)	C_{ref} ($T_{ref}=25^\circ C$)	R^2
c1	$10,8 \pm 0,2$	$21,33 \pm 1,04$	0,99
c2	$72,0 \pm 15,1$	$6,11 \pm 1,32$ days	0,96

Η σταθερά c_2 έχει μεγάλη εξάρτηση από τις μεταβολές της θερμοκρασίας, ενώ αντίστοιχα η σταθερά c_1 έχει μικρή εξάρτηση, αυτό βέβαια επιβεβαιώνεται και από το διάγραμμα.

Για το θερμικά επεξεργασμένο δείγμα αλόη-τοάι, το οποίο αποθηκεύεται στους $25^\circ C$, τα αποτελέσματα για το δείκτη αμαύρωσης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης φαίνονται στο Διάγραμμα 18.

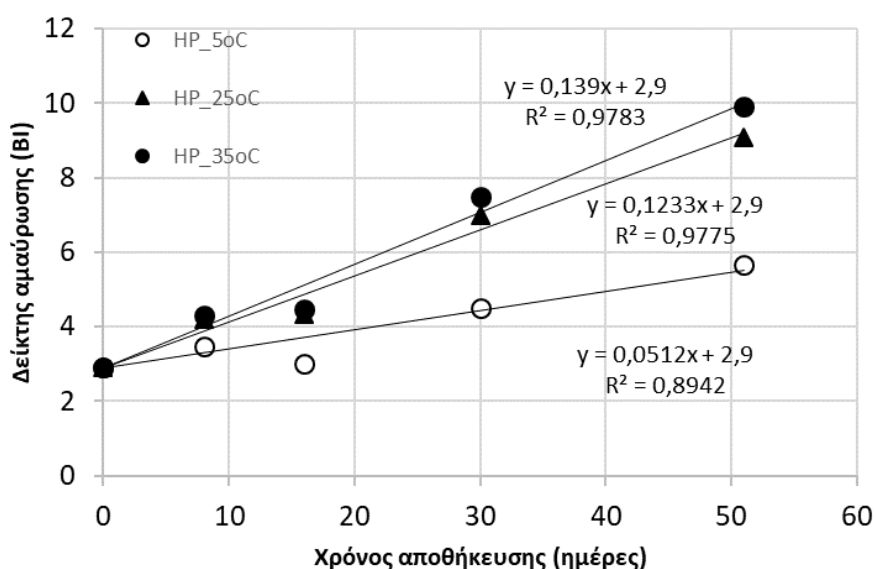


Διάγραμμα 18 Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης του θερμικά επεξεργασμένου δείγματος αλόη-τσάι κατά την διάρκεια αποθήκευσης στους 25°C

Από το παραπάνω διάγραμμα δεν είναι δυνατόν να εξάγουμε κάποιο συμπέρασμα για το είδος της εξίσωσης που ακολουθούν τα αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά είναι φανερό ότι ο δείκτης αμαύρωσης του δείγματος αυξάνεται και η τελική τιμή έχει αρκετά μεγάλη απόσταση από την αρχική. Συμπερασματικά, λοιπόν, φαίνεται ότι η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας είναι αρκετά μεγάλη στο χρώμα, γεγονός που οφείλεται στην καραμελοποίηση των σακχάρων και σε ενζυμική δράση, από ένζυμα που δεν έχουν απενεργοποιηθεί κατά την παστερίωση. Επίσης είναι φανερό ότι ο δείκτης αμαύρωσης των δειγμάτων που έχει γίνει επεξεργασία με ΥΠ, ακόμα και σε αποθήκευση στους 35 °C, έχουν σημαντικά χαμηλότερο δείκτη αμαύρωσης μετά από 80 ημέρες αποθήκευσης από το θερμικά παστεριωμένο δείγμα.

4.5.2.β. Προϊόν γέλη αλόης

Αντίστοιχα και για το προϊόν γέλη αλόης μελετήθηκε η εξέλιξη του δείκτη αμαύρωσης κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των δειγμάτων από την ΥΠ και την θερμική επεξεργασία για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C (Διάγραμμα 19).



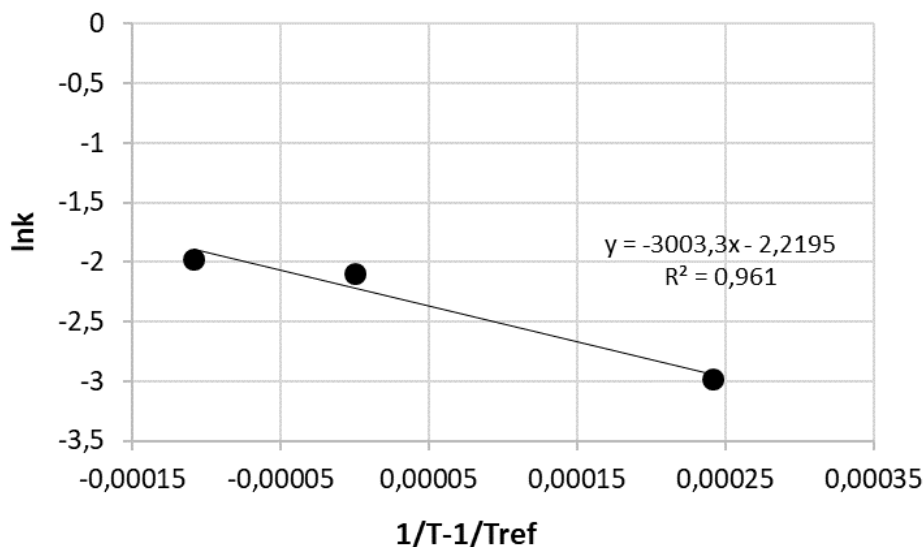
Διάγραμμα 19 Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης για δείγματα αλόης -κιτρικό οξύ επεξεργασμένα με ΥΠ και αποθηκευμένα στους 5, 25 και 35 °C

Παρατηρείται ότι η αύξηση του δείκτη αμαύρωσης σε σχέση με το χρόνο έχει ικανοποιητική προσαρμογή σε γραμμική εξίσωση. Στον ακόλουθο πίνακα φαίνονται οι ρυθμοί αύξησης του δείκτη αμαύρωσης για κάθε θερμοκρασία αποθήκευσης και οι συντελεστές συσχέτισης:

Πίνακας 11 Σταθερές ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης δειγμάτων με γέλη αλόης επεξεργασμένα με ΥΠ και αποθηκευμένα στους 5, 25 και 35 °C

Θερμοκρασία (°C)	k_{BI} (d ⁻¹)	R ²
5	0,051±0,011	0,894
25	0,123±0,011	0,978
35	0,139±0,012	0,978

Διαπιστώθηκε, επίσης, ότι οι ρυθμοί αύξησης προσαρμόζονται στο μοντέλο Arrhenius, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 20.



Διάγραμμα 20 Εξάρτηση του ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C δειγμάτων γέλης αλόης από τη θερμοκρασία (Arrhenius)

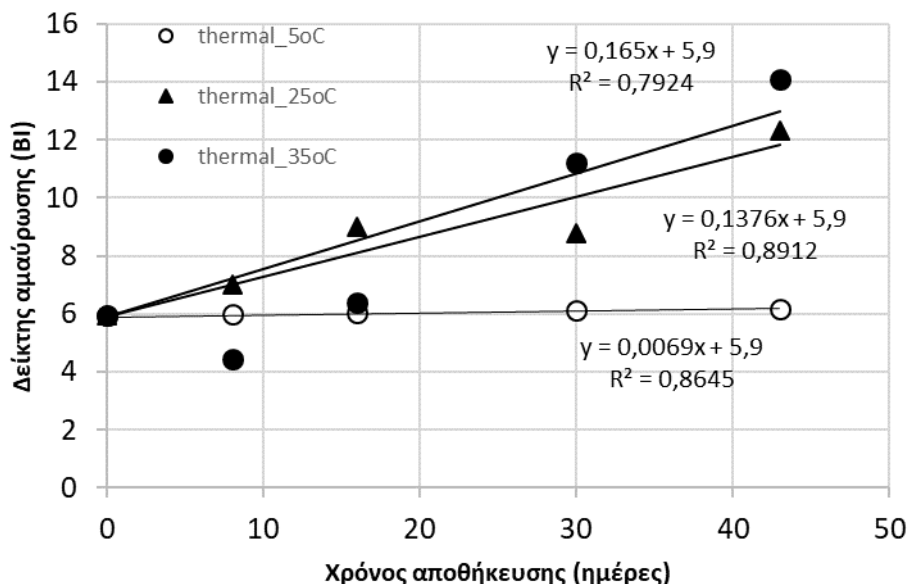
Με βάση τα παραπάνω, καθορίζεται η ενέργεια ενεργοποίησης (E_a) και η σταθερά του ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης στην θερμοκρασία αναφοράς.

Πίνακας 12 Ενέργεια ενεργοποίησης E_a (kJ/mol) και σταθερά του ρυθμού μείωσης στη θερμοκρασία αναφοράς $T_{ref}=25$ °C για τη μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης κατά την αποθήκευση δειγμάτων γέλης αλόης

E_a (kJ/mol)	k_{ref} (d ⁻¹) ($T_{ref}=25$ °C)	R^2
25,0±2,3	0,108±0,031	0,961

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης φαίνεται ότι αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου, αποτέλεσμα που οφείλεται πιθανότατα σε ενζυμική δράση. Επίσης παρατηρείται ότι για μεταβολή της θερμοκρασίας αποθήκευσης υπάρχει αύξηση του ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης, βέβαια λόγω του ότι η ενέργεια ενεργοποίησης δεν είναι πολύ υψηλή, η αύξηση αυτή δεν είναι εξίσου μεγάλη.

Αντίστοιχα και για τα δείγματα που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία παρουσιάζεται σε διάγραμμα η μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C (Διάγραμμα 21).



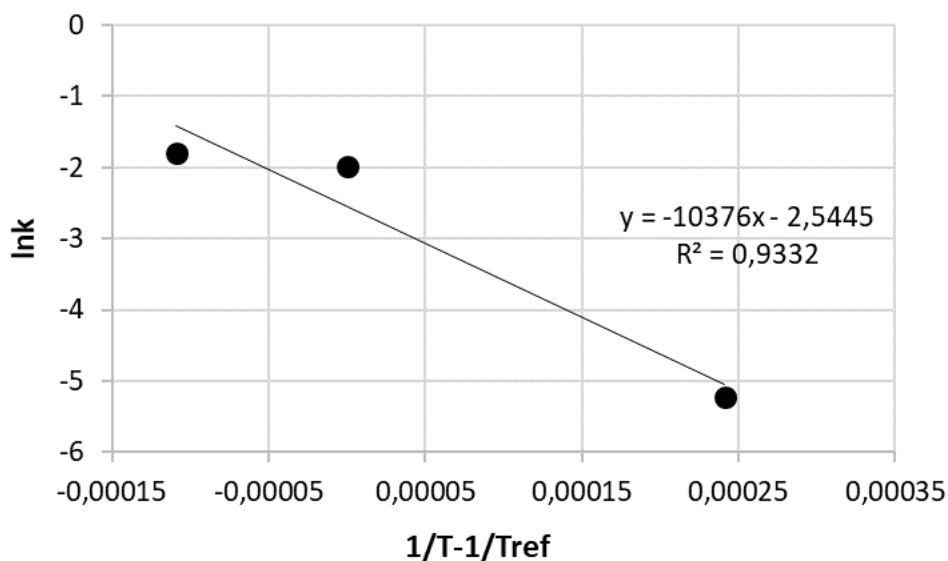
Διάγραμμα 21 Μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης για δείγματα αλόης-κιτρικό οξύ θερμικά επεξεργασμένα και αποθηκευμένα στους 5, 25 και 35 °C

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ρυθμοί αύξησης του δείκτη αμαύρωσης για τις τρεις θερμοκρασίες αποθήκευσης:

Πίνακας 13 Σταθερές ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης δειγμάτων με αλόης-κιτρικό οξύ θερμικώς με ΥΠ και αποθηκευμένα στους 5, 25 και 35 °C

Θερμοκρασία (°C)	k_{BI} (d ⁻¹)	R ²
5	0,007±0,0003	0,865
25	0,138±0,027	0,891
35	0,165±0,046	0,792

Τα δεδομένα προσαρμόζονται ικανοποιητικά σε γραμμική εξίσωση με ικανοποιητικούς συντελεστές συσχέτισης (R²) και παρατηρείται επίσης ότι οι ρυθμοί αύξησης του δείκτη αμαύρωσης προσαρμόζονται στην εξίσωση Arrhenius (Διάγραμμα 22).



Διάγραμμα 22 Εξάρτηση του ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C δειγμάτων γέλης αλόης, θερμικά επεξεργασμένα, από τη θερμοκρασία (Arrhenius)

Με βάση το Διάγραμμα 22 και το συντελεστή συσχέτισης παρατηρείται ότι υπάρχει προσαρμογή των ρυθμών στην εξίσωση Arrhenius.

Πίνακας 14 Ενέργεια ενεργοποίησης E_a (kJ/mol) και σταθερά του ρυθμού μείωσης στη θερμοκρασία αναφοράς $T_{ref}=25$ °C για τη μεταβολή του δείκτη αμαύρωσης κατά την αποθήκευση θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλης αλόης

E_a (kJ/mol)	k_{ref} (d ⁻¹) ($T_{ref}=25$ °C)	R^2
86,3±5,2	0,078±0,008	0,933

Από τα αποτελέσματα είναι φανερό ότι για μεταβολή της θερμοκρασίας αποθήκευσης υπάρχει αντίστοιχα μεγάλη αύξηση και του ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης. Εκτός από το δείγμα που αποθηκεύεται στους 5 °C στις άλλες δύο περιπτώσεις οι ρυθμοί είναι μεγαλύτεροι από ότι στα δείγματα που έχουν υποστεί ΥΠ. Αυτό ισχύει πιθανότατα επειδή η ΥΠ είναι αποτελεσματικότερη ώστε να μειώσει την ενζυμική δράση, απ' ότι η θερμική επεξεργασία. Εκτός από αυτό η θερμική επεξεργασία προωθεί και άλλες αντιδράσεις που συμβάλουν στην αύξηση του δείκτη αμαύρωσης όπως η καραμελοποίηση των σακχάρων και οι αντιδράσεις Maillard.

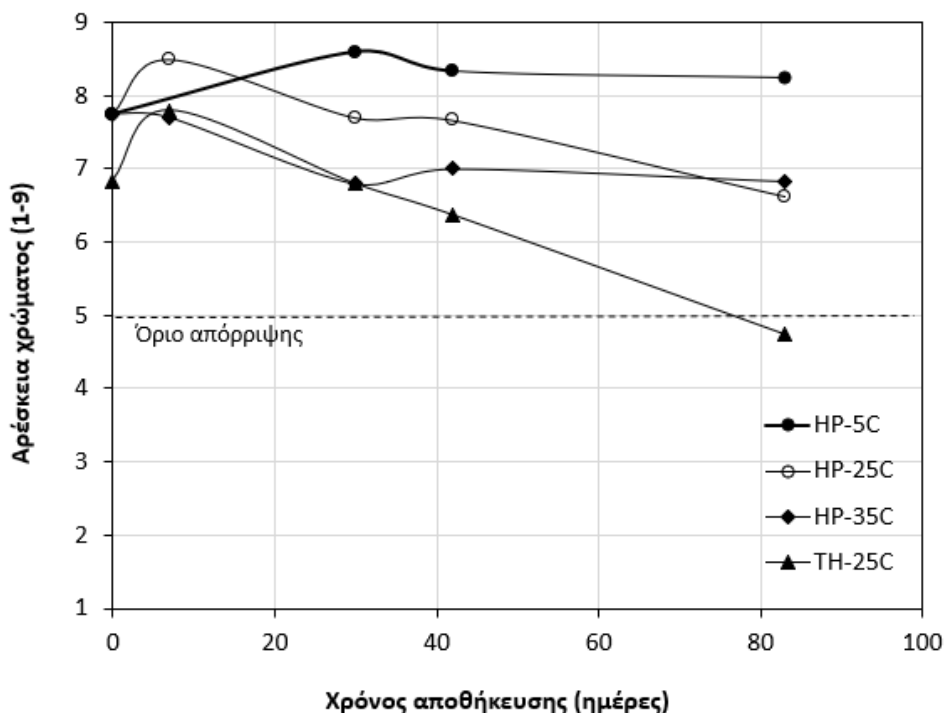
4.5.3. Μικροβιολογική ανάλυση

Η μικροβιολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για το ολικό μικροβιακό φορτίο, για ζύμες και μύκητες και για γαλακτικά βακτήρια για όλα τα δείγματα σε κάθε δειγματοληψία. Για κάθε δείγμα υπήρχαν τρεις αραιώσεις (0,-1,-2), παρ' όλα αυτά δεν εντοπίστηκαν αποικίες μικροοργανισμών σε καμία σειρά δειγμάτων ακόμα και μετά από 3, περίπου, μήνες αποθήκευσης. Αυτό αποδεικνύει ότι και η ΥΠ σε συνθήκες 600 MPa και χρόνο 3 min είναι εξίσου καταστροφικές για όλο το μικροβιακό φορτίο της γέλης αλόης, όσο και η θερμική επεξεργασία στους 90 °C για χρόνο 1 min. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα δεν μπορούμε να εξάγουμε παραπάνω αποτελέσματα για τη μικροβιακή ανάπτυξη. Τα παραπάνω, βέβαια, είναι αναμενόμενα, διότι η αλόη έχει αρκετά χαμηλό μικροβιακό φορτίο και είχαν ήδη γίνει δοκιμές οι οποίες είχαν αποδείξει ότι υπάρχει ολική καταστροφή, ακόμα και με ηπιότερες συνθήκες.

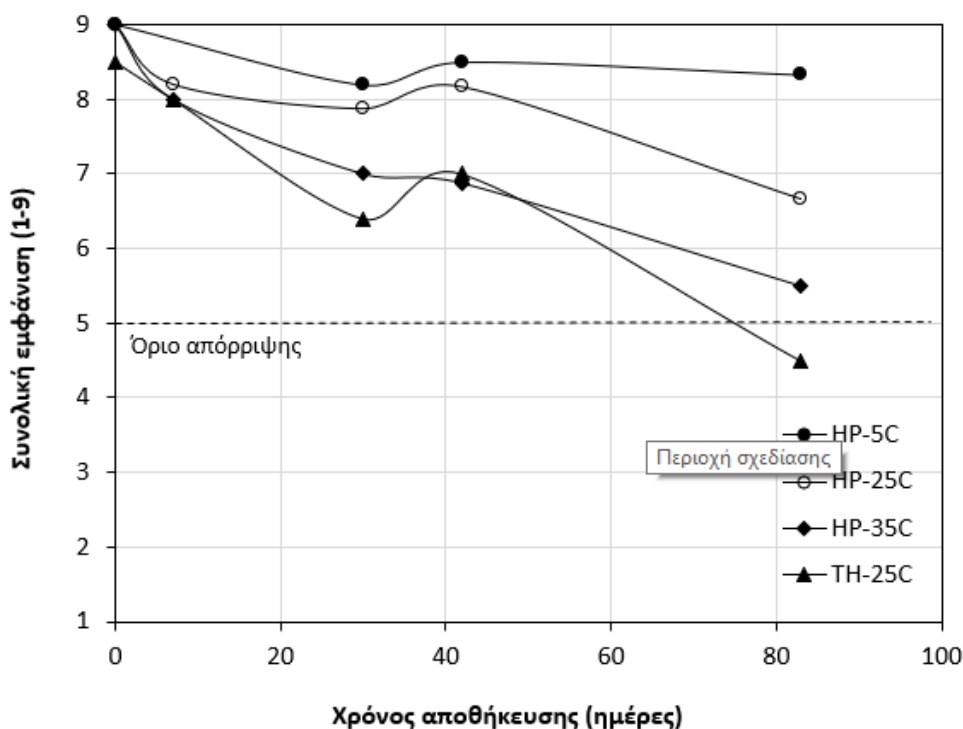
4.5.4. Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

4.5.4.α. Προϊόν γέλη αλόης-τσάι

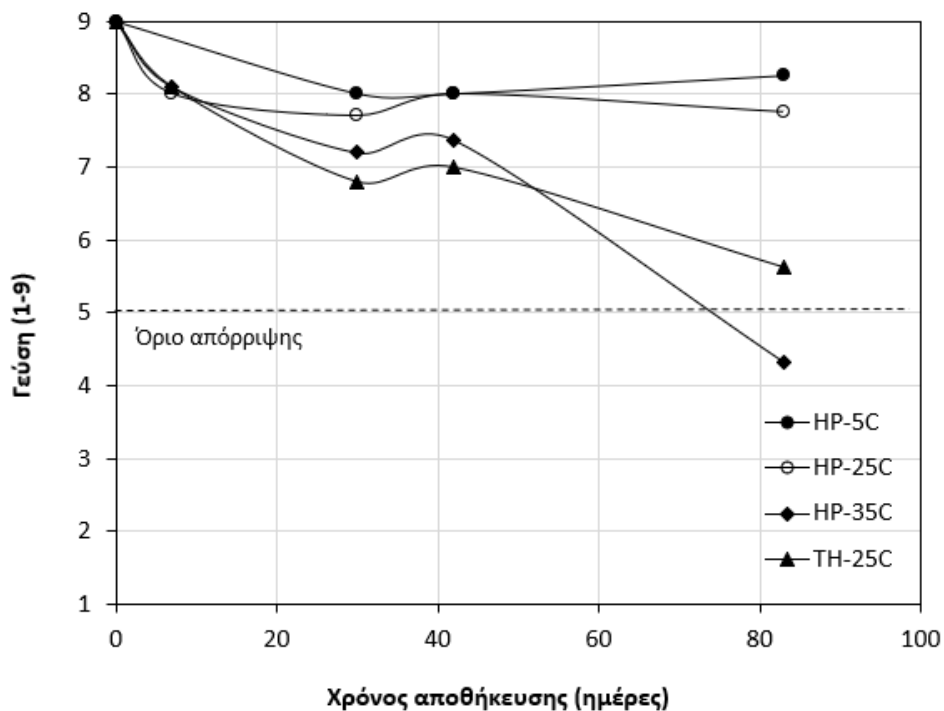
Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των προϊόντων, σε κάθε δειγματοληψία, με σκοπό να αξιολογηθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των προϊόντων, πραγματοποιείται οργανοληπτικός έλεγχος από ομάδα δοκιμαστών. Η εξέλιξη των αποτελεσμάτων, με βάση τους μέσους όρους, για κάθε ένα αξιολογούμενο χαρακτηριστικό (χρώμα, εμφάνιση, γεύση, άρωμα, υφή, συνολική αρέσκεια) φαίνεται στα Διαγράμματα 23, 24, 25, 26, 27 και 28.



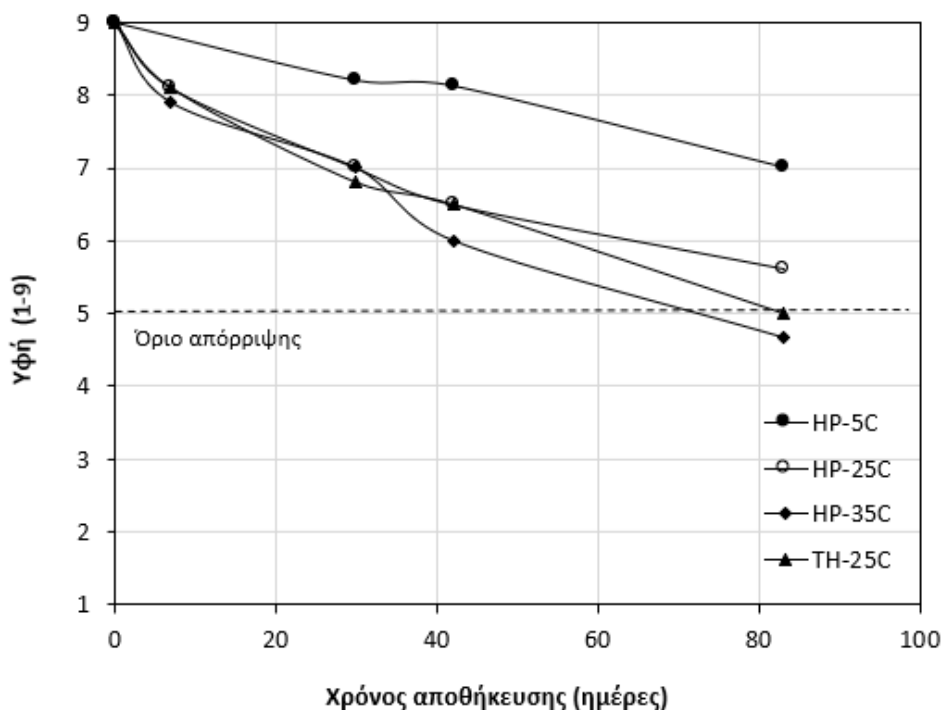
Διάγραμμα 23 Βαθμολογίες για το χρώμα των δειγμάτων αλόη-τσάι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για επεξεργασίες ΥΠ (HP) και θερμική (TH) και θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C



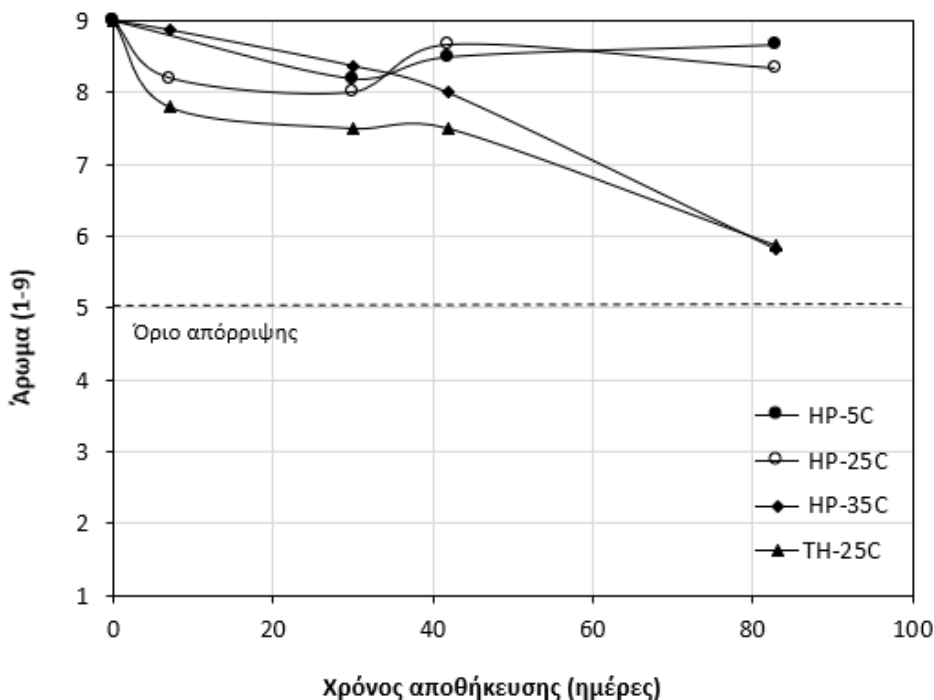
Διάγραμμα 24 Βαθμολογίες για την εμφάνιση των δειγμάτων αλόη-τσάι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για επεξεργασίες ΥΠ (HP) και θερμική (TH) και θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C



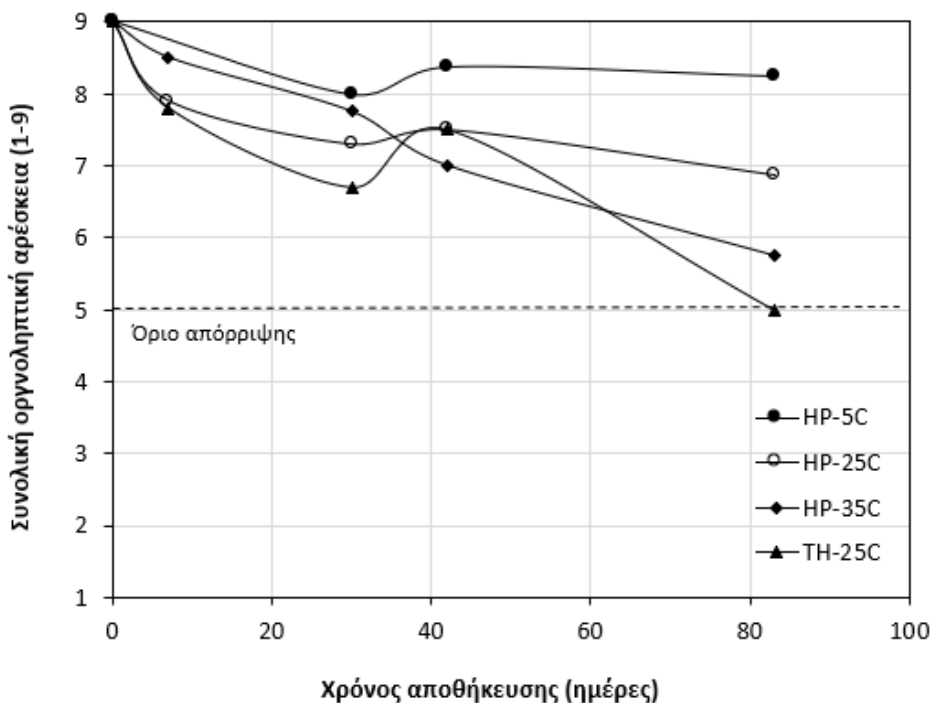
Διάγραμμα 25 Βαθμολογίες για τη γεύση των δειγμάτων αλόη-τσάι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για επεξεργασίες ΥΠ (HP) και θερμική (TH) και θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C



Διάγραμμα 26 Βαθμολογίες για την υφή των δειγμάτων αλόη-τσάι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για επεξεργασίες ΥΠ (HP) και θερμική (TH) και θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C



Διάγραμμα 27 Βαθμολογίες για το άρωμα των δειγμάτων αλόη-τσάι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για επεξεργασίες ΥΠ (HP) και θερμική (TH) και θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

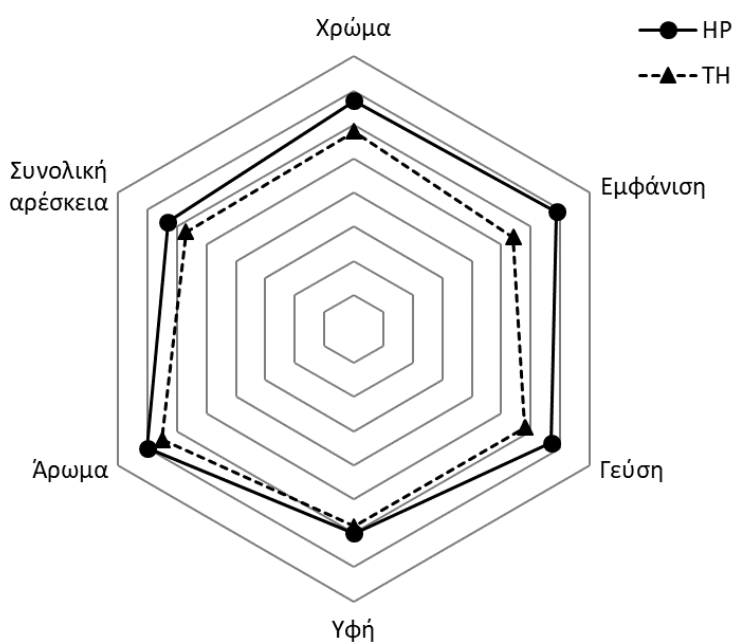


Διάγραμμα 28 Βαθμολογίες για τη συνολική αρέσκεια των δειγμάτων αλόη-τσάι κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για επεξεργασίες ΥΠ (HP) και θερμική (TH) και θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

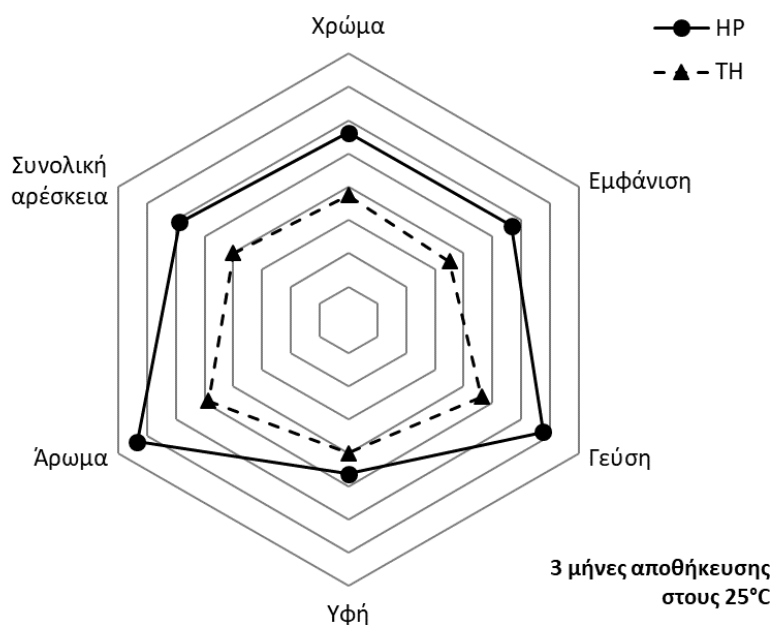
Στα διαγράμματα φαίνεται ότι τα προϊόντα σε θερμοκρασία αποθήκευσης 5 °C έχουν τη μικρότερη μείωση σε βαθμολογία σε όλα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά από όλα τα άλλα δείγματα. Από όλα τα δείγματα κυρίως το επεξεργασμένο με θερμική επεξεργασία μετά το πέρας των 80 ημερών αποθήκευσης βρίσκεται κάτω από το όριο απόρριψης. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι βαθμολογίες είναι αρκετά υψηλές, γεγονός που υποδεικνύει ότι η γέλη αλόης είναι ένα αρκετά σταθερό προϊόν ακόμα και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων για τα δείγματα αλόη/τσάι αποθηκευμένα σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C προέκυψε ότι η θερμοκρασία αποθήκευσης επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) όλα τα εξεταζόμενα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και ο χρόνος αποθήκευσης επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) την εμφάνιση, την γεύση, την υφή, το άρωμα και τη συνολική αρέσκεια. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ANOVA βρίσκονται στο Παράρτημα 1.

Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά μια σύγκριση μεταξύ των βαθμολογιών για το δείγμα που έχει υποστεί επεξεργασία με ΥΠ και θερμική παστερίωση αποθηκευμένο στο 25 °C για ένα μήνα (Διάγραμμα 29) και για τρεις μήνες (Διάγραμμα 30).



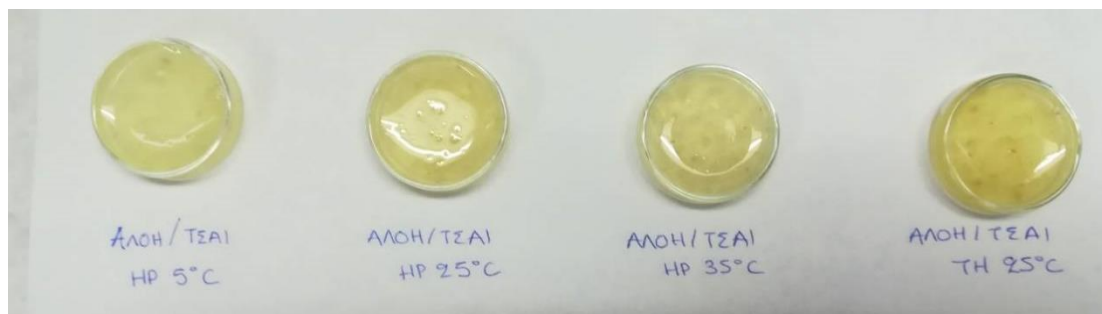
Διάγραμμα 29 Σύγκριση μεταξύ των βαθμολογιών για δείγματα αλόη-τσάι σε δείγμα επεξεργασμένο με ΥΠ (HP) και θερμική παστερίωση (TH) αποθηκευμένο στους 25 °C μετά από 1 μήνα αποθήκευσης



Διάγραμμα 30 Διάγραμμα 13 Σύγκριση μεταξύ των βαθμολογιών για δείγματα αλόη-τσάι σε δείγμα επεξεργασμένο με ΥΠ (HP) και θερμική (TH) παστερίωση αποθηκευμένο στους 25°C μετά από 3 μήνες αποθήκευσης

Τα δύο δείγματα έχουν παρόμοια αξιολόγηση στον ένα μήνα, με το θερμικά παστεριωμένο να αξιολογείται ελαφρώς χαμηλότερα, ενώ στους τρεις μήνες αποθήκευσης οι διαφορές είναι αισθητές με το θερμικά παστεριωμένο να έχει αξιολογηθεί με αρκετά χαμηλότερες βαθμολογίες. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι η θερμική επεξεργασία, ως μέθοδος παστερίωσης, υποβαθμίζει σημαντικά την ποιότητα των τροφίμων.

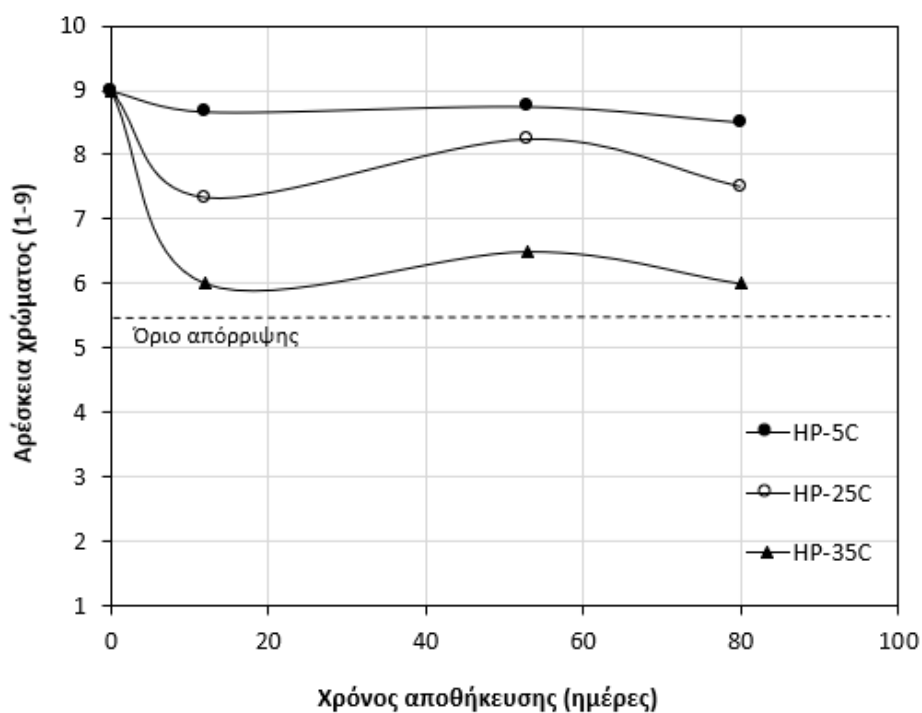
Συγκριτικά, για θερμοκρασία αποθήκευσης 25 °C, από την στατιστική επεξεργασία προκύπτει ότι το χρώμα, η εμφάνιση, η γεύση και το άρωμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0,05$) για τα δείγματα που έχουν υποστεί ΥΠ και θερμική επεξεργασία. Αντίθετα η υφή και η συνολική αρέσκεια, δεν επηρεάζονται στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$) από την μέθοδο επεξεργασίας, αλλά μόνο από τις ημέρες αποθήκευσης. Οπτικά αποτελέσματα της μεταβολής του χρώματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 33.



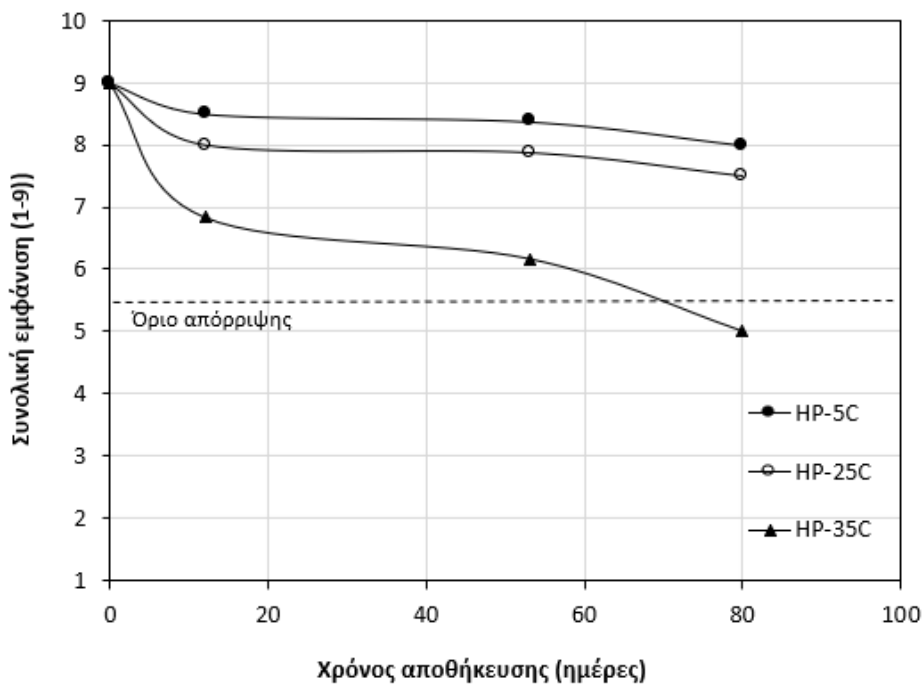
Εικόνα 33 Δείγματα γέλης αλόης με τσάι μετά από 80 ημέρες αποθήκευσης

4.5.4.β. Προϊόν γέλη αλόης

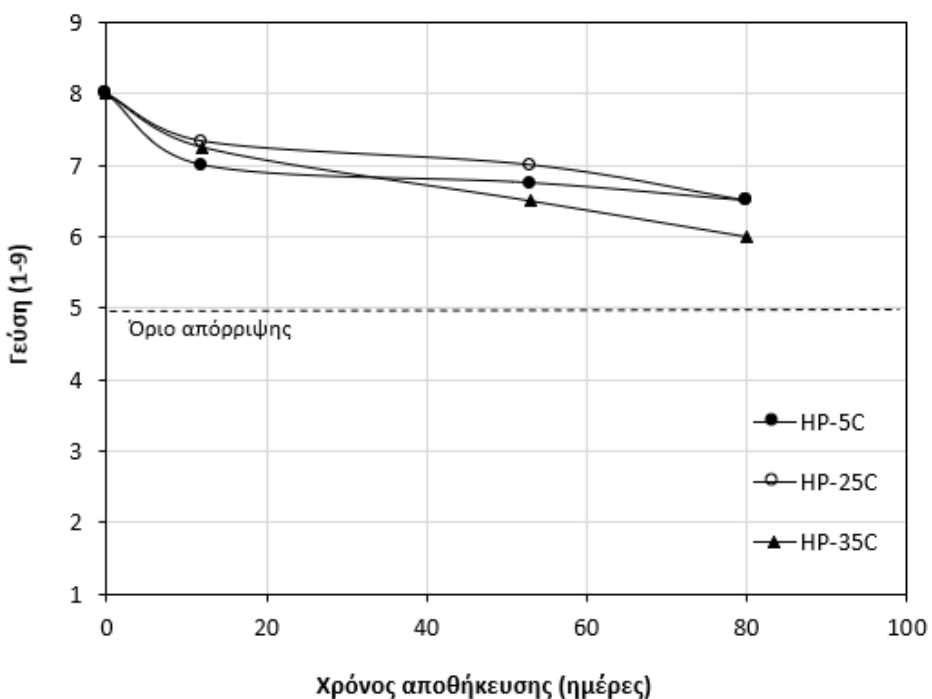
Αντίστοιχα, οργανοληπτική αξιολόγηση, πραγματοποιήθηκε και για το προϊόν γέλης αλόης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συγκριτικά Διαγράμματα 31, 32, 33, 34, 35 και 36 μεταξύ των δειγμάτων που έχουν επεξεργαστεί με ΥΠ και έχουν αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C.



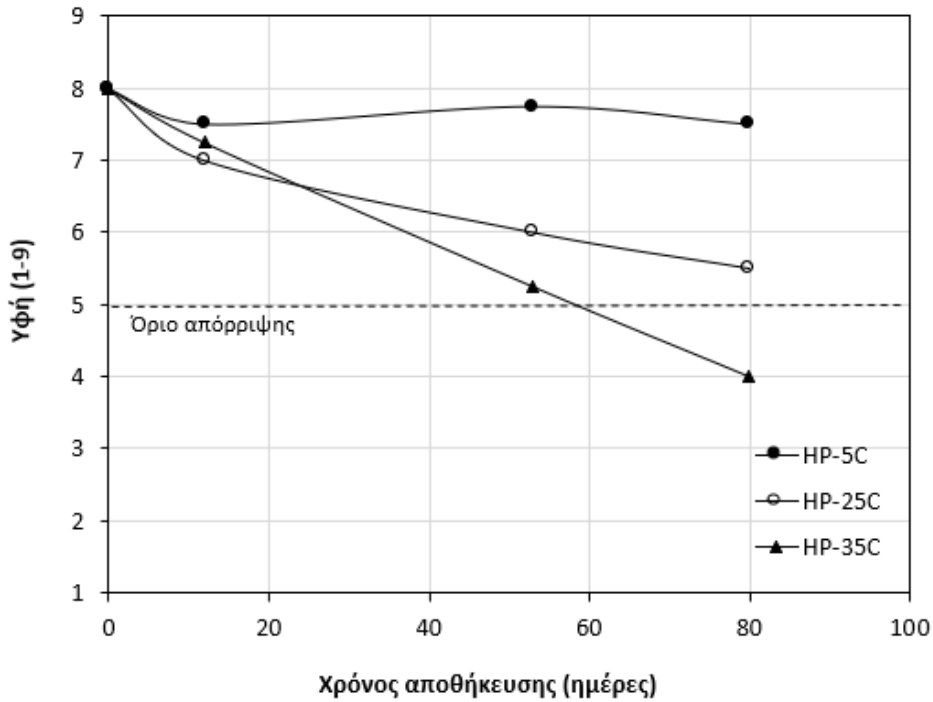
Διάγραμμα 31 Βαθμολογίες για την αρέσκεια χρώματος των επεξεργασμένων με ΥΠ (HP) δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



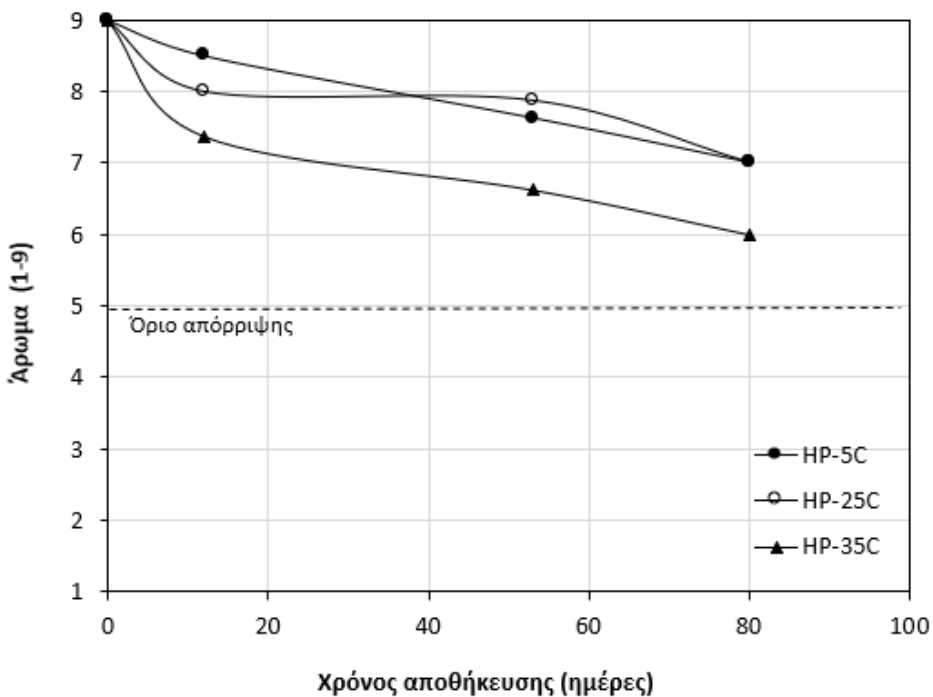
Διάγραμμα 32 Βαθμολογίες για την εμφάνιση των επεξεργασμένων με ΥΠ (HP) δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



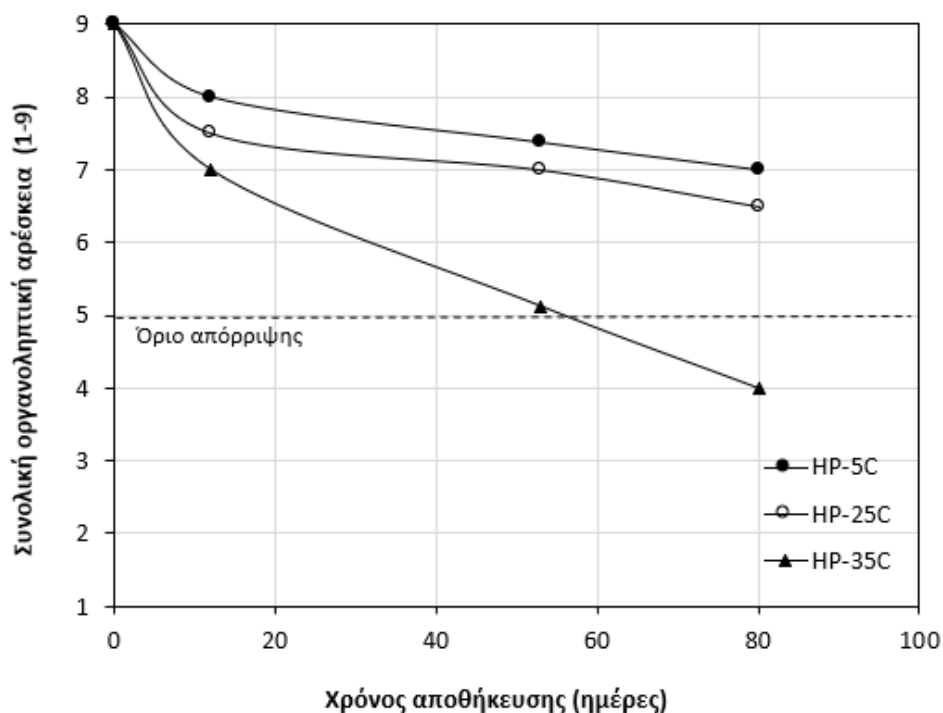
Διάγραμμα 33 Βαθμολογίες για την αρέσκεια γεύσης των επεξεργασμένων με ΥΠ δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



Διάγραμμα 34 Βαθμολογίες για την υφή των επεξεργασμένων με ΥΠ δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



Διάγραμμα 35 Βαθμολογίες για το άρωμα των επεξεργασμένων με ΥΠ δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C

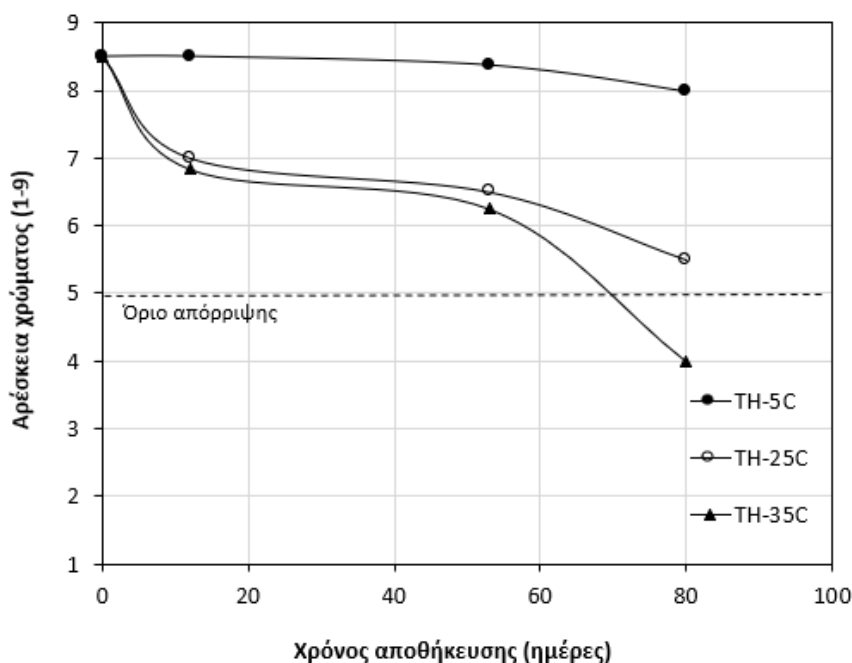


Διάγραμμα 36 Βαθμολογίες για την συνολική αρέσκεια των επεξεργασμένων με ΥΠ δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C

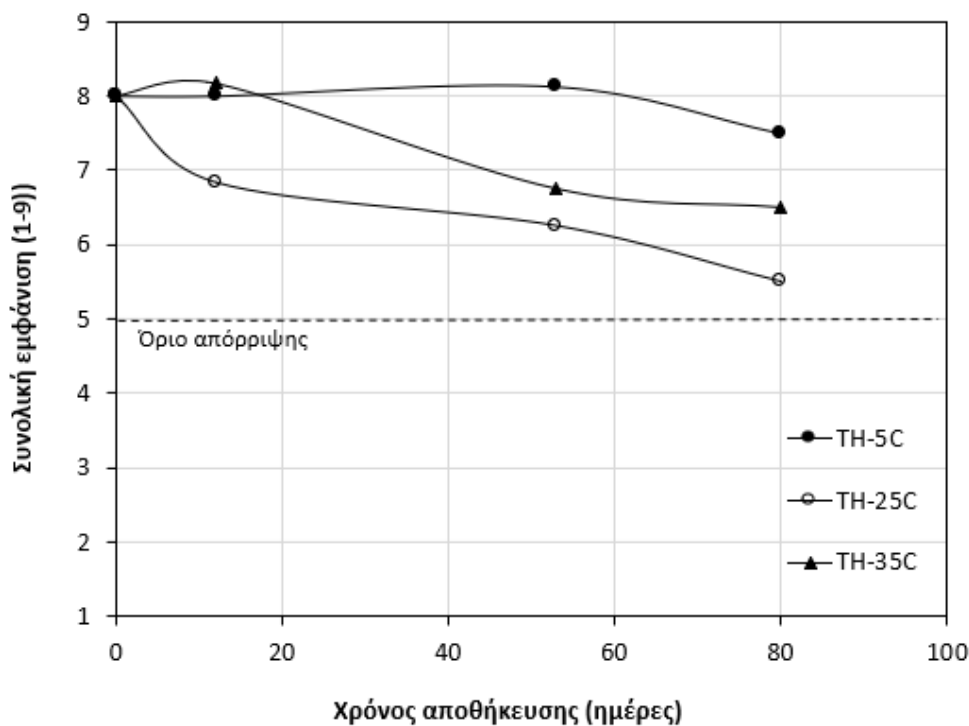
Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι κάτω από το όριο απόρριψης βρίσκεται μόνο το δείγμα που είναι αποθηκευμένο στους 35 °C, αποτέλεσμα αναμενόμενο διότι η συγκεκριμένη θερμοκρασία επιταχύνει την υποβάθμιση ποιότητας του προϊόντος. Βέβαια και πάλι είναι φανερό ότι το προϊόν είναι αρκετά σταθερό αφού ακόμα και μετά από 80 ημέρες αποθήκευσης τα αποτελέσματα είναι ελάχιστα κάτω από το όριο απόρριψης.

Πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (κάθε δειγματοληψίας) για τα διάφορα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων που έχουν υποστεί επεξεργασία με ΥΠ και έχουν αποθηκευτεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία και οι μέρες αποθήκευσης επηρεάζουν στατιστικά σημαντικά το χρώμα, την εμφάνιση, την υφή και την συνολική αρέσκεια των δειγμάτων ($p < 0,05$). Η γεύση των δειγμάτων επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά μόνο από τις μέρες αποθήκευσης ($p < 0,05$). Το άρωμα δεν επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά ούτε από την θερμοκρασία αποθήκευσης, ούτε από τις μέρες αποθήκευσης ($p > 0,05$).

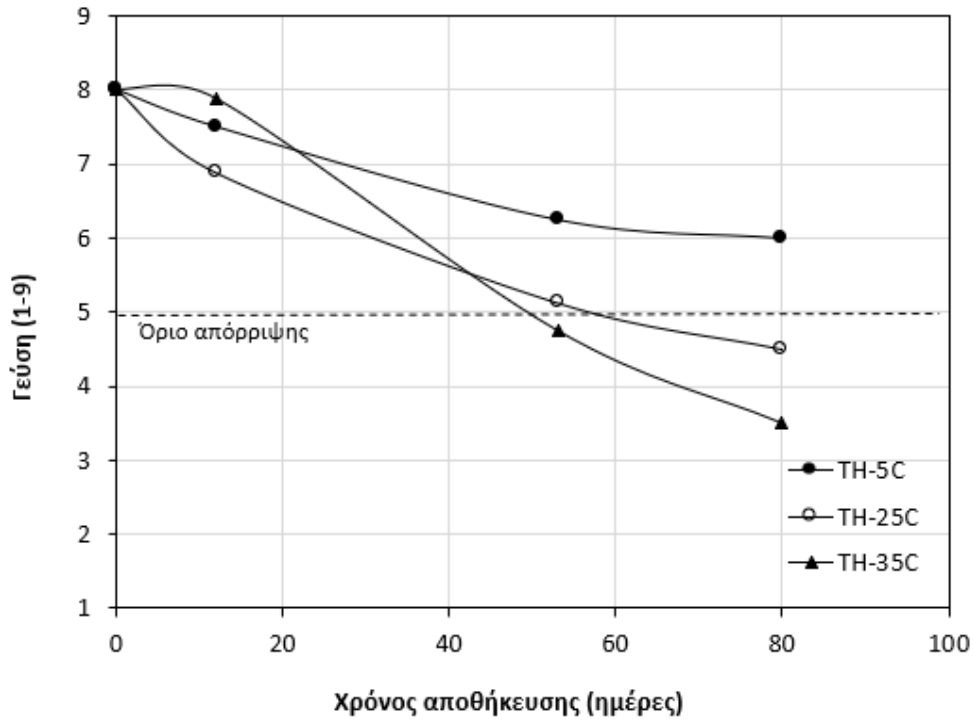
Αντίστοιχα παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα για τα δείγματα, τα οποία έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία (Διάγραμμα 37-42).



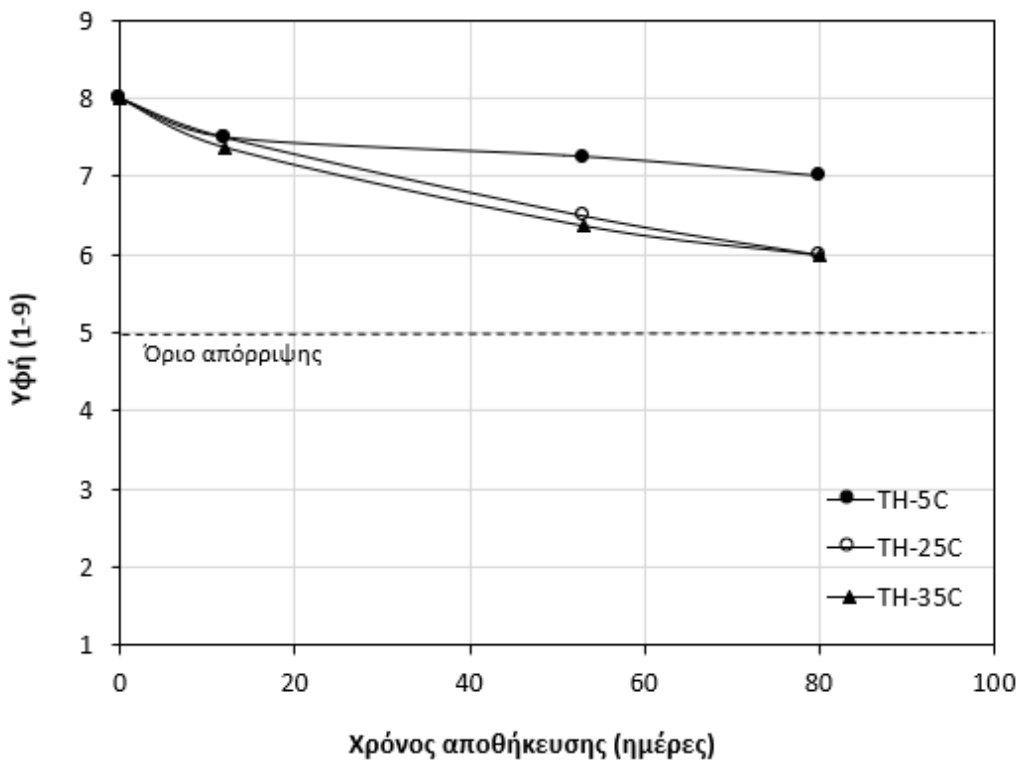
Διάγραμμα 37 Βαθμολογίες για την αρέσκεια χρώματος των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



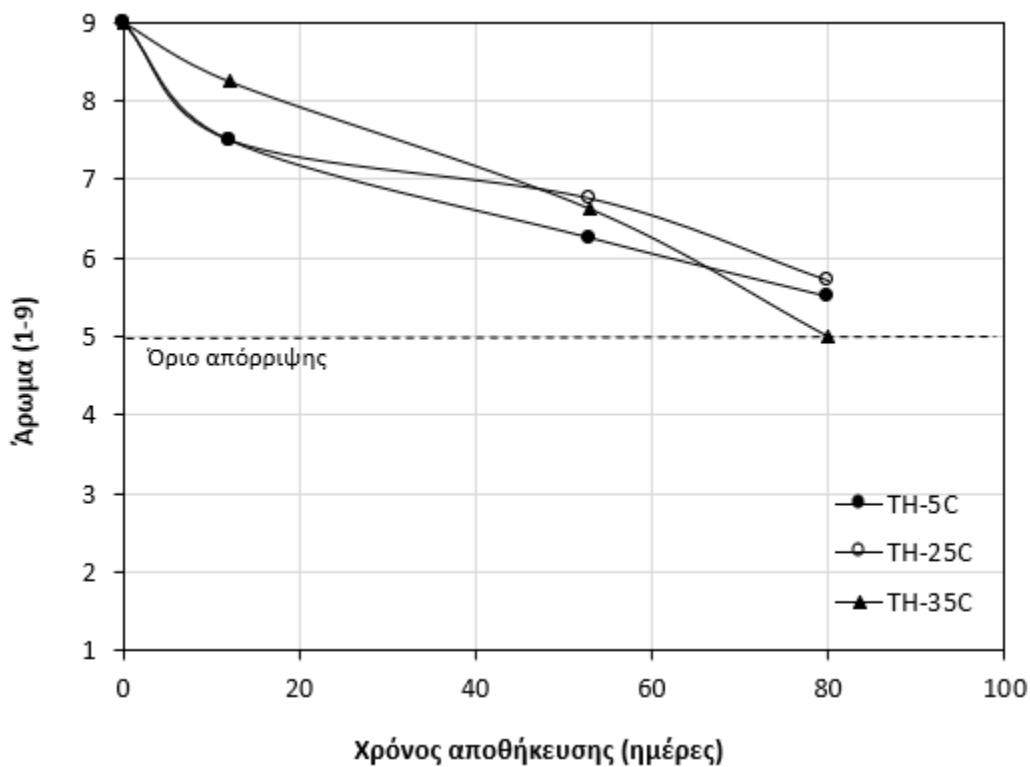
Διάγραμμα 38 Βαθμολογίες για την συνολική εμφάνιση των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



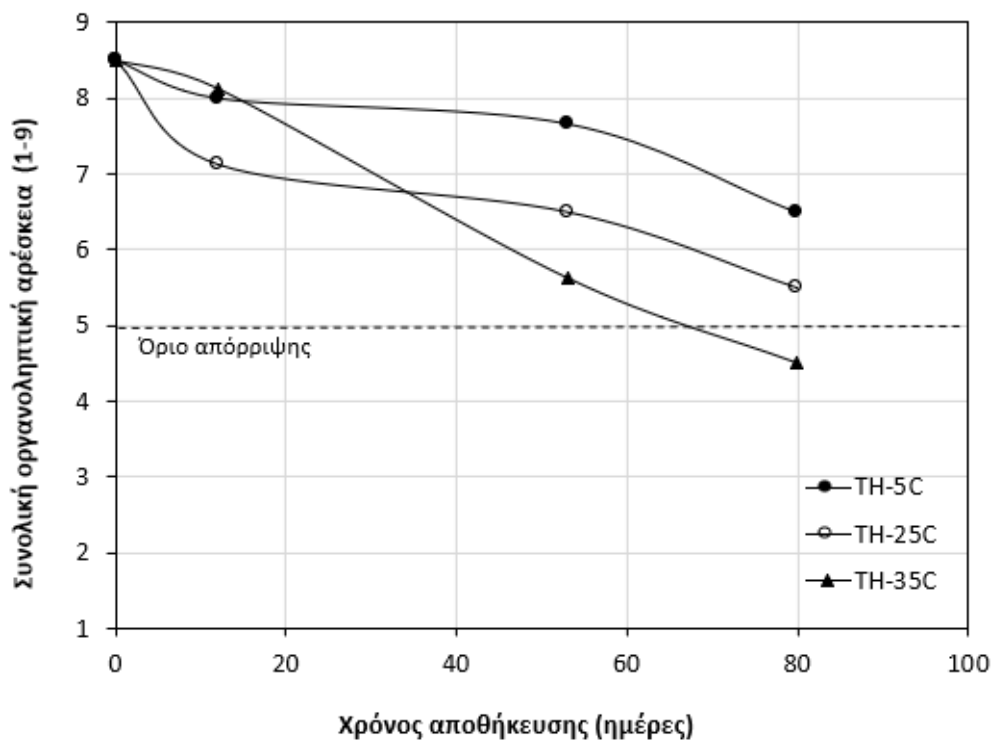
Διάγραμμα 39 Βαθμολογίες για τη γεύση των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



Διάγραμμα 40 Βαθμολογίες για την υφή των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C



Διάγραμμα 41 Βαθμολογίες για το άρωμα των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C

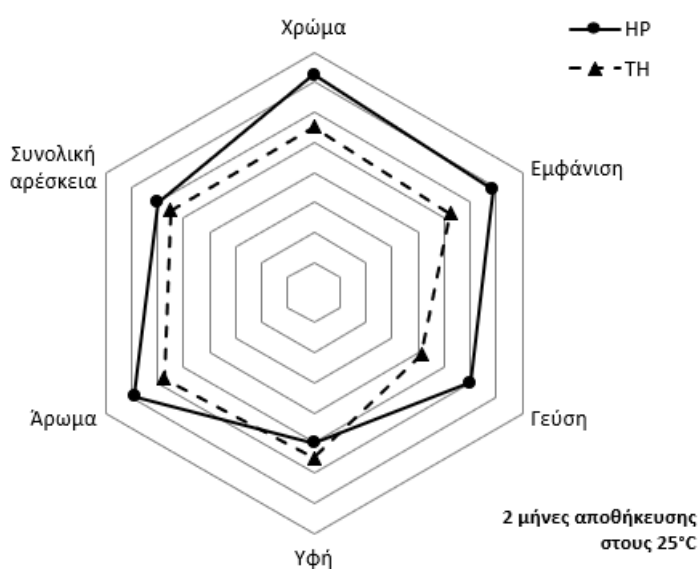


Διάγραμμα 42 Βαθμολογίες για την συνολική αρέσκεια των θερμικά επεξεργασμένων δειγμάτων γέλη αλόης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C

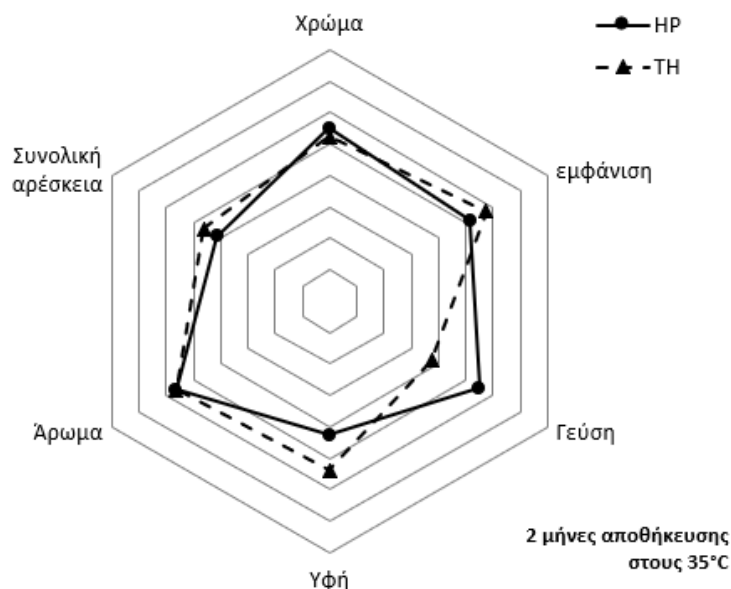
Στα συγκεκριμένα διαγράμματα παρατηρείται ότι η μείωση των καμπυλών είναι αρκετά πιο έντονη απ' ό τι στα δείγματα που έχουν υποστεί ΥΠ. Σε αρκετά οργανοληπτικά κριτήρια τα δείγματα βρίσκονται κάτω από το όριο απόρριψης και για τα δείγματα που έχουν αποθηκευτεί στους 25 ° C αλλά και στους 35 ° C. Στο δείγμα των 5 °C παρατηρείται αρκετά μεγάλη μείωση στις βαθμολογίες με τον χρόνο γεγονός που επιβεβαιώνει για ακόμα μια φορά την έντονη ποιοτική υποβάθμιση των δειγμάτων μετά από θερμική επεξεργασία.

Για τα θερμικώς επεξεργασμένα δείγματα, από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει ότι το χρώμα, η εμφάνιση και η συνολική αρέσκεια επηρεάζονται στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) από την θερμοκρασία αποθήκευσης και τις μέρες αποθήκευσης. Η θερμοκρασία αποθήκευσης δεν επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$) την γεύση, την υφή και το άρωμα των δειγμάτων, τα οποία επηρεάζονται στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) μόνο από τις μέρες αποθήκευσης.

Παρουσιάζονται επίσης συγκριτικά διαγράμματα για δείγματα γέλης αλόης με θερμική επεξεργασία και επεξεργασία με ΥΠ αποθηκευμένα στους 25 ° C (Διάγραμμα 43) και στους 35 ° C (Διάγραμμα 44) για χρόνο αποθήκευσης 2 μήνες.



Διάγραμμα 43 Σύγκριση μεταξύ των βαθμολογιών για δείγματα γέλη αλόης επεξεργασμένα με ΥΠ (HP) και θερμική (TH) παστερίωση αποθηκευμένο στους 25°C μετά από 2 μήνες αποθήκευσης

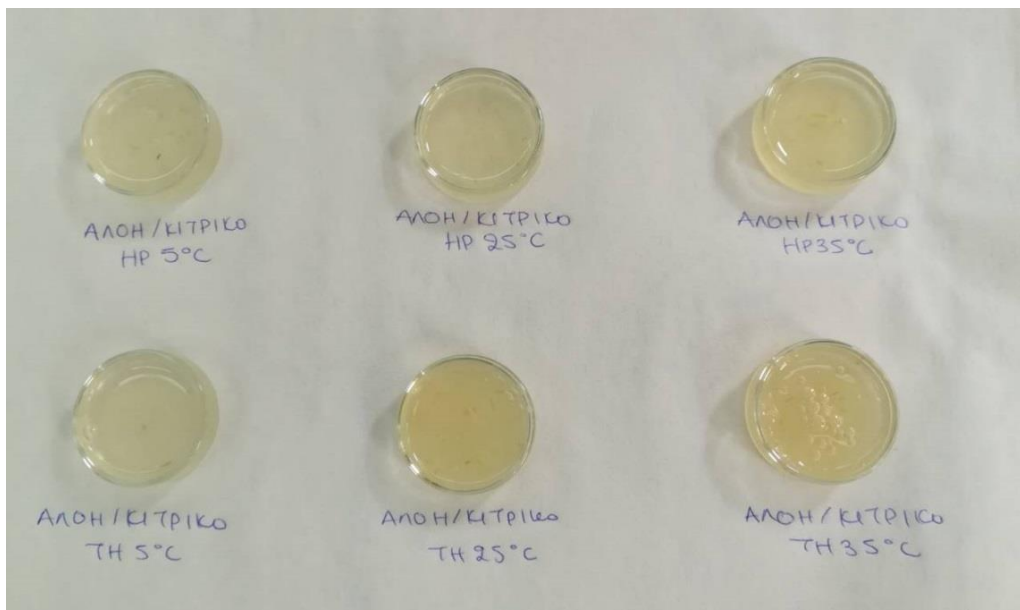


Διάγραμμα 44 Σύγκριση μεταξύ των βαθμολογιών για δείγματα γέλη αλόης επεξεργασμένα με ΥΠ (HP) και θερμική (TH) παστερίωση αποθηκευμένο στους 35°C μετά από 2 μήνες αποθήκευσης

Στους 25 °C το δείγμα που έχει υποστεί θερμική επεξεργασία είναι αρκετά πιο υποβαθμισμένο ποιοτικά, σύμφωνα με τις βαθμολογίες των δοκιμαστών, ενώ στους 35 °C κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Οπότε το προϊόν που έχει επεξεργαστεί με τη χρήση ΥΠ, στους 35 °C, έχει υποβαθμιστεί αρκετά σε σημείο ο δοκιμαστής να το αξιολογεί το ίδιο με το θερμικά επεξεργασμένο.

Τέλος, πραγματοποιείται στατιστική επεξεργασία για τα αποτελέσματα μεταξύ των επεξεργασιών (ΥΠ και θερμική επεξεργασία) για την ίδια θερμοκρασία αποθήκευσης. Για θερμοκρασία αποθήκευσης 5 °C, η μέθοδος επεξεργασίας και οι μέρες αποθήκευσης επηρεάζουν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) το άρωμα των δειγμάτων. Η μέθοδος επεξεργασίας επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) χρώμα και την εμφάνιση των δειγμάτων, ενώ δεν επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$) την γεύση, την υφή και την συνολική αρέσκεια. Για θερμοκρασία αποθήκευσης 25 °C, η μέθοδος επεξεργασίας επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) το χρώμα, την εμφάνιση, τη γεύση, το άρωμα και την συνολική αρέσκεια των δειγμάτων, ενώ φαίνεται να μην επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$) την υφή. Για θερμοκρασία αποθήκευσης 35 °C, η μέθοδος επεξεργασίας δεν επηρεάζει στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$) κανένα από τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τα

οποία αξιολογούνται. Οπτικά αποτελέσματα της μεταβολής χρώματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 34.



Εικόνα 34 Δείγματα γέλης αλός μετά από 80 ημέρες αποθήκευσης

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής αποτέλεσε η μελέτη της επίδρασης μιας θερμικής (θερμική παστερίωση) και μιας μη θερμικής (Υπερυψηλή Πίεση, ΥΠ) τεχνολογίας παστερίωσης τροφίμων σε βασικούς ποιοτικούς δείκτες της γέλης αλόης. Επίσης, έγινε προσπάθεια απομόνωσης και ανίχνευσης του ενζύμου β-μαννανάση και μελέτη της επίδραση της ΥΠ στην ενεργότητά του καθώς και στην συγκέντρωση του πολυσακχαρίτη μαννανάση στη γέλη αλόης. Τέλος, έγινε ανάπτυξη δύο προϊόντων (α) (γέλη αλόης με αφέψημα τσαγιού, (β) γέλη αλόης και συγκριτική μελέτη των δύο αυτών μεθόδων παστερίωσης κατά την αποθήκευση των προϊόντων σε θερμοκρασίες 5, 25 και 35 °C.

Αρχικά για την επίδραση της ΥΠ στο δείγμα γέλης αλόης διαπιστώθηκε ότι με την αύξηση του χρόνου και την πίεσης επεξεργασίας παρατηρήθηκε μικρή μεταβολή στο χρώμα, αν και ο δείκτης αμαύρωσης παραμένει πρακτικά σταθερός. Η ΥΠ, θεωρείται, ότι ως τεχνολογία δεν αυξάνει τα φαινόμενα, τα οποία προκαλούν μαύρισμα στα τρόφιμα (π.χ. αντιδράσεις Maillard). Αναφορικά με την αντιοξειδωτική δράση της γέλης αλόης μετά από επεξεργασία με ΥΠ, διαπιστώθηκε ότι αυξάνεται για χρόνους 5 και 10 min σε πίεση 200 και 400 MPa, ενώ για 600 MPa μειώνεται. Αυτό συμβαίνει επειδή οι χαμηλές αυτές πιέσεις προκαλούν πιθανότατα εκχύλιση των αντιοξειδωτικών ενώσεων και τις καθιστούν διαθέσιμες στη γέλη. Για τη μείωση του μικροβιακού φορτίου της γέλης, παρατηρείται ότι ανάλογα με το αρχικό μικροβιακό φορτίου του φρέσκου (μη επεξεργασμένο) προϊόντος, είναι ικανή από χαμηλές πιέσεις 200-300 MPa να το μειώσει κατά 2 log (cfu/ml) ή ακόμα και να το καταστήσει μη ανιχνεύσιμο.

Όσον αφορά τη θερμική επεξεργασία στο δείγμα γέλης αλόης η μεταβολή του χρώματος και του δείκτη αμαύρωσης αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου επεξεργασίας. Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο, καθ' ότι η αύξηση θερμοκρασίας είναι ευνοϊκή για αντιδράσεις ενζυμικού μαυρίσματος και αντιδράσεις Maillard. Η αντιοξειδωτική δράση της γέλης μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου, με αρκετά μεγάλη μείωση, περίπου 15% από τα πρώτα 5 min επεξεργασίας σε θερμοκρασία παστερίωσης 90 °C. Αυτό συμβαίνει, πιθανότατα, επειδή η θερμοκρασία επιδρά και υποβιβάζει τις

αντιοξειδωτικές ουσίες της γέλης. Τέλος, η θερμική παστερίωση είναι ικανή να μειώσει το μικροβιακό φορτίο της αλόης σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα, από τη θερμοκρασία των 80 °C.

Για την ανάκτηση και προσδιορισμό του ενζύμου β-μαννανάση χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί τρόποι (ρυθμιστικά διαλύματα με pH=7 και pH=5 , στάδιο φυγοκέντρησης) και διαφορετικές συνθήκες επώασης, σε συνδυασμό με αύξηση ποσότητας ενζύμου και μείωση συγκέντρωσης υποστρώματος. Παρ' όλα αυτά δεν υπήρξε κάποιο αποτέλεσμα που θα μπορούσε να επιβεβαιώσει την ύπαρξη του ενζύμου στη γέλη αλόης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε στην πολύ χαμηλή συγκέντρωση του ενζύμου στη γέλη, είτε σε πιθανή παρεμπόδιση της ενζυμικής δράσης της μαννανάσης από τα αναγωγικά σάκχαρα τα οποία υπάρχουν σε περίσσια στη γέλη αλόης. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές εργασίες που θα έχουν ως στόχο την ανάπτυξη νέων μεθόδων προσδιορισμού της ενζυμικής ενεργότητας του ενζύμου β-μαννανάση. Η μελέτη της συγκέντρωσης των ακετυλομαννανών στη γέλη αλόης έδειξε ότι για πίεση 200 MPa και χρόνο επεξεργασίας 20 min υπάρχει μικρή αύξηση (5 %) στην συγκέντρωση, πιθανότατα λόγω εκχύλισης του πολυσακχαρίτη από τους φυτικούς ιστούς, ενώ στις υπόλοιπες συνθήκες υπάρχει μείωση σε σχετικά σταθερά επίπεδα, η οποία προκαλείται πιθανόν από επίδραση της πίεσης στην δομή του πολυσακχαρίτη.

Κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των δύο προϊόντων (γέλη αλόης/ τσάι, γέλη αλόης) παρατηρήθηκε υποβάθμιση των ποιοτικών δεικτών, οι οποίοι μελετήθηκαν. Αρχικά για την συγκέντρωση της βιταμίνης C, το καλύτερα προσαρμοζόμενο πρωτογενές μοντέλο για όλες τις επεξεργασίες και τα προϊόντα ήταν η εκθετική μείωση της με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης. Για το προϊόν γέλη αλόης/ τσάι οι ρυθμοί μείωσης της βιταμίνης C για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C είναι αντίστοιχα $k_{vitC} = 0,0131 \text{ d}^{-1}$, $k_{vitC} = 0,0079 \text{ d}^{-1}$, $k_{vitC} = 0,0164 \text{ d}^{-1}$ ενώ αντίστοιχα για το θερμικά επεξεργασμένο και αποθηκευμένο στους 25 °C είναι $k_{vitC} = 0,0099 \text{ d}^{-1}$. Ο ρυθμός μείωσης, μεταξύ των δύο επεξεργασιών για τους 25 °C, είναι ελαφρώς μεγαλύτερος για το θερμικά παστεριωμένο δείγμα, λόγω πιθανής εναπομένουσας ενζυμικής δράσης οξειδασών, σημαντικό είναι όμως να παρατηρηθεί ότι η αρχική συγκέντρωση βιταμίνης C για τα ΥΠ δείγματα είναι 23,06 mgVitC/100g d.m. ενώ για

το θερμικά παστεριωμένο δείγμα 21,85 mgVitC/100g d.m., η διαφορά αυτή οφείλεται σε καταστροφή της βιταμίνης C κατά την διάρκεια της επεξεργασίας. Αντίστοιχα, για το προϊόν γέλη αλόης τσάι οι ρυθμοί μείωσης της βιταμίνης C για θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C είναι 0,0114, 0,0126, 0,0112 d⁻¹, αντίστοιχα. Ενώ για το θερμικά επεξεργασμένα και αποθηκευμένα στους 5, 25 και 35 °C είναι 0,0012, 0,0024, 0,0023 d⁻¹, αντίστοιχα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση της βιταμίνης C ήταν αρκετά χαμηλή για τη μέθοδο προσδιορισμού η οποία χρησιμοποιήθηκε οδηγώντας πιθανόν σε σχετικά μεγάλες διακυμάνσεις ποσοτικοποίησης. Μεγάλο ενδιαφέρον φαίνεται να έχει και στη συγκεκριμένη περίπτωση η αρχική συγκέντρωση της βιταμίνης C, η οποία στα ΥΠ δείγματα ξεκινάει από 15,71 mgVitC/100g d.m., ενώ στα δείγματα θερμικής επεξεργασίας από 10,49 mgVitC/100g d.m., όπου και πάλι φαίνεται ότι η βιταμίνη C είναι μια ένωση ευαίσθητη στη θερμοκρασία.

Για το χρώμα των δειγμάτων φαίνεται ότι η αύξηση του δείκτη αμαύρωσης στο δείγμα γέλη αλόης/ τσάι ακολουθεί μια σιγμοειδή καμπύλη τριών παραμέτρων, η οποία έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενες εργασίες στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων σε προϊόντα χυμών φρούτων. Η επίδραση της θερμοκρασίας στις σταθερές της συγκεκριμένης σιγμοειδούς εξίσωσης, εκφράστηκε από την εξίσωση Arrhenius με $E_a = 10,8$ kJ/mol για την σταθερά c_1 με $c_{ref} = 21,33$ και για $E_a = 72,0$ kJ/mol με $c_{ref} = 21,33$ d ($T_{ref} = 25$ °C). Για το θερμικώς επεξεργασμένο δείγμα δεν ήταν δυνατό να εξαχθεί αξιόπιστο πρωτογενές μοντέλο. Τα δείγματα γέλη αλόης και για τις δύο τεχνολογίες επεξεργασίας ακολουθούν ικανοποιητικά γραμμική αύξηση, ως πρωτογενές μοντέλο και ως δευτερογενές την εξίσωση Arrhenius. Για τα δείγματα που έχουν επεξεργαστεί με ΥΠ η $E_a = 25,0$ kJ/mol και $k_{ref} = 0,11$ d⁻¹ ($T_{ref} = 25$ °C) και για τα δείγματα που έχουν επεξεργαστεί με τεχνολογία θερμικής παστερίωσης έχουν αντίστοιχα $E_a = 86,3$ kJ/mol και $k_{ref} = 0,08$ d⁻¹ ($T_{ref} = 25$ °C). Από τα αποτελέσματα είναι φανερό ότι για μεταβολή της θερμοκρασίας αποθήκευσης υπάρχει αντίστοιχα μεγάλη αύξηση και του ρυθμού αύξησης του δείκτη αμαύρωσης. Πιθανότατα η ΥΠ είναι αποτελεσματικότερη ώστε να μειώσει την ενζυμική δράση, απ' ό,τι η θερμική επεξεργασία. Εκτός από αυτό η θερμική επεξεργασία προωθεί και άλλες αντιδράσεις που συμβάλουν στην αύξηση του δείκτη αμαύρωσης όπως η καραμελοποίηση των σακχάρων και οι αντιδράσεις Maillard.

Αναφορικά με τη μικροβιολογική ανάλυση των δειγμάτων φαίνεται ότι και οι δύο τεχνολογίες ήταν ικανές να εξαλείψουν το μικροβιακό φορτίο της αλόης, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ανιχνευθεί ακόμα και μετά από 80 ημέρες αποθήκευσης. Αυτό βέβαια είναι δυνατόν, επειδή, όπως φάνηκε και από τις πρωταρχικές μετρήσεις, η φρέσκια (μη επεξεργασμένη) γέλη αλόης έχει χαμηλό μικροβιακό φορτίο. Η οργανοληπτική αξιολόγηση (χρώμα, εμφάνιση, γεύση, άρωμα, υφή, συνολική αρέσκεια) έδειξε ότι τα δείγματα, τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία με ΥΠ, είναι αποδεκτά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στους δοκιμαστές, ενώ τα δείγματα με θερμική επεξεργασία βρίσκονται τις περισσότερες φορές κάτω από το όριο αποδοχής. Το γεγονός αυτό ενισχύει το συμπέρασμα ότι η ΥΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια μέθοδο επιμήκυνσης της διάρκειας ζωής προϊόντων γέλης αλόης. Επιπλέον φαίνεται ότι η γέλη αλόης είναι ένα αρκετά σταθερό προϊόν με μικρούς ρυθμούς υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, ακόμα και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Συνολικά, η παρούσα εργασία οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η παστερίωση με ΥΠ έναντι της συμβατικής θερμικής παστερίωσης μπορεί να προταθεί ως μια τεχνολογία η οποία οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων γέλης αλόης με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει την μικροβιολογική σταθερότητα τους.

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία προτείνονται τα ακόλουθα:

- Δοκιμή σε νέους τρόπους ή τροποποίηση των αναφερόμενων στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία για την ανάκτηση του ενζύμου β-μαννανάση από γέλη αλόης.
- Μελέτη της επίδρασης μεγαλύτερου εύρους πιέσεων και χρόνων επεξεργασίας στον βασικό πολυσακχαρίτη της αλόης, ακετυλομαννάνη.
- Μελέτη ενζύμων που εμπλέκονται σε δράσεις ποιοτικής υποβάθμισης της γέλης αλόης, την πολυφαινολική οξειδάση (PPO), η οποία σχετίζεται με τις μεταβολές στο χρώμα των δειγμάτων και την πηκτινομεθυλεστεράση (PME), η οποία σχετίζεται με μείωση του ιξώδους.

Βιβλιογραφία

- Abela Daniela A., David Millan Sango, Anna McElhatton, Vasilis P. Valdramidis.** 2014. Ultrasound Processing for Food Safety and Preservation. [συγγρ. βιβλίου] Ioannis S. Botziaris. *Novel Food Preservation and Microbial Assessment Techniques*. s.l. : CRC Press, 2014, σσ. 102-125.
- Baruaha Adrisyanti, Manobjyoti Bordoloia, Hari Prasanna Deka Baruah.** 2016. Aloe vera: A multipurpose industrial crop. *Industrial Crops and Products*. 2016, σσ. 951-963.
- Bozzi A., Perrin C., Austin S., Arce Vera F.** 2006. Quality and authenticity of commercial aloe vera gel powders. *Food Chemistry*. 2006, σσ. 22-30.
- Bradford M., Marion.** 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. May 1976, σσ. 248-254.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C.** 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 1995, σσ. 25-35.
- Butz, P., Edenharder, R., Fernández Garcia, A., Fister, H., Merkel, C., & Tauscher, B.** 2002. Changes in functional properties of vegetables induced by high pressure treatment. *Food Research International*. 2002, σσ. 295-300.
- Dhawan Samriti, Jagdeep Kaur.** 2008. Microbial Mannanases: An Overview of Production. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2008, σσ. 197-216.
- Divya Pathak, Rajesh Sharma.** 2017. REVIEW ON "ALOE VERA- MEDICINAL PLANT". *IJARIE*. 2017, σσ. 661-671.
- El-Shemy, Aboul-Soud, Nassr-Allah, Aboul-Enein, Kabash.** 2010. Antitumor Properties and Modulation of Antioxidant Enzymes' Activity by Aloe vera Leaf Active Principles Isolated via Supercritical Carbon Dioxide. *Current Medicinal Chemistry*. 2010, σσ. 129-138.
- Erdal Agcam, Asiye Akyıldız and Burcu Dundar.** 2018. Thermal Pasteurization and Microbial Inactivation of Fruit Juices. [συγγρ. βιβλίου] Brijesh K. Tiwari Gaurav Rajauria. *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*. s.l. : Academic Press, 2018, σσ. 309-339.
- Escudero-López Blanca, Isabel Cerrillo, Ángel Gil-Izquierdo, Dámaso Hornero-Méndez, Griselda Herrero-Martín, Genoveva Berná, Sonia Medina, Federico Ferreres, Franz Martín & María-Soledad Fernández-Pachón.** 2016. Effect of thermal processing on the profile of bioactive compounds and antioxidant capacity of fermented orange juice. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2016, σσ. 779-788.
- FDA.** 2014. U.S. Food and Drug Administration. *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing*. [Ηλεκτρονικό] 2014. <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/SafePracticesforFoodProcesses/uc>.
- Giannakourou M.C., Taoukis P.S.** 2003. Kinetic modelling of vitamin C loss in frozen green vegetables under variable storage conditions. *Food Chemistry*. 2003, σσ. 33-41.
- Hsiao-Wen Huang, Hsiang-Mei Lung, Binghuei Barry Yang, Chung-Yi Wang.** 2014. Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control*. 2014, σσ. 250-259.

- Jasso de Rodríguez, Hernández-Castillo, Rodríguez-García, Angulo-Sánchez. 2005.** Antifungal activity in vitro of Aloe vera pulp and liquid fraction against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products*. 2005, σσ. 81-87.
- Jawadea Ninad R., Chavan Abhijeet R. 2013.** Ultrasonic Assisted Extraction of Aloin from Aloe vera gel. *Procedia Engineering*. 2013, σσ. 487-493.
- Jimmy Tai-Nin Chow, David A. Williamson, Kenneth M. Yates and Warren J. Goux. 2005.** Chemical characterization of the immunomodulating polysaccharide of Aloe vera L. *Carbohydrate Research*. 2005, σσ. 1131-1142.
- Juan E. Reyes, Manuel I. Guanoquiza, Gipsy Tabilo-Munizaga, Antonio Vega-Galvez, Margarita Miranda, Mario Pérez-Won. 2012.** Microbiological stabilization of Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) gel by high hydrostatic pressure treatment. *International Journal of Food Microbiology*. 2012, σσ. 218-224.
- Katsaros George I., Taoukis Petros S. 2015.** New/Innovative Technologies. [συγγρ. βιβλίου] Konstantina Tzia Theodoros Varzakas. *Food Engineering Handbook*. s.l. : CRC Press, 2015.
- Katsaros George, Alexandrakis Z. , Taoukis Petros. 2016.** High-Pressure Processing of Foods Technology and Applications. [συγγρ. βιβλίου] Tzia Varzakas. *Handbook of Food Processing: Food Preservation*. s.l. : CRC Press, 2016, σσ. 443-468.
- Kulveer Singh Ahlawat, Bhupender Singh Khatkar. 2011.** Processing, food applications and safety of aloe vera products: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2011, σσ. 525-533.
- López Aroa, Miguel Suárez de Tangil, Orestes Vega-Orellana, Ana S. Ramírez, Milagros Rico. 2013.** Phenolic Constituents, Antioxidant and Preliminary Antimycoplasmic Activities of Leaf Skin and Flowers of Aloe vera (L.) Burm. f. (syn. A. barbadensis Mill.) from the Canary Islands (Spain). *Phytochemicals: Analytical and Medicinal Chemistry*. 2013, σσ. 4942-4954.
- Iveda, G.V. Barbosa-Canovas and David Sepu. 2005.** Present Status and the Future of PEF Technology. [συγγρ. βιβλίου] María S. Tapia, M. Pilar Cano Gustavo V. Barbosa-Cánovas. *Novel Food Processing Technologies*. s.l. : CRC Press, 2005.
- Maan Abid Aslam, Akmal Nazir, Muhammad Kashif Iqbal Khan, Tahir Ahmad, Rabia Zia Misbah Murid, Muhammad Abrar. 2018.** The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review. *Journal of Herbal Medicine*. 2018, σσ. 1-10.
- Maana Abid Aslam, Akmal Nazir, Muhammad Kashif Iqbal Khan, Tahir Ahmad, Rabia Zia, Misbah Murid, Muhammad Abrar. 2018.** The therapeutic properties and applications of Aloe vera: A review. *Journal of Herbal Medicine*. 2018, σσ. 1-10.
- Mansour, G., Ouda, S., Shaker, A., Abdallah, H.M. 2014.** Clinical efficacy of new Aloe vera and myrrh-based oral mucoadhesive gels in the management of minor recurrent aphthous stomatitis: a randomized, double-blind, vehicle-controlled study. *Journal of oral Pathology & Medicine*. 2014, σσ. 405-409.
- Manvitha, K., & Bidya, B. 2014.** Aloe vera : a wonder plant its history , cultivation and medicinal uses. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2014, σσ. 85-88.

- Margarita Miranda, Héctor Maureira , Katia Rodríguez , Antonio Vega-Gálvez. 2009.** Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and. *Journal of Food Engineering* . 2009, σσ. 297-304.
- Michael Lewis, Neil Heppell. 2000.** *Continuous Thermal Processing of Food Pasteurization and UHT Sterilization*. s.l. : Aspen Publication, 2000.
- Minjares-Fuentes R., Femenia A. , Comas-Serra F. , Rossello C. 2016.** Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *LWT - Food Science and Technology*. 2016, σσ. 378-386.
- Mnkeni AP, Gierschner K, Maeda EE. 1999.** Effect of blanching time and salt concentration on pectolytic enzymes, texture and acceptability of fermented green beans. *Plant foods for human nutrition*. 1999, σσ. 285-296.
- Muhammad Mushtaq, Sumia Akram, Ahmad Adnan. 2018.** Novel extraction Technologies. [συγγρ. βιβλίου] Brijesh K. Tiwari Gaurav Rajauria. *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*. s.l. : Academic Press, 2018.
- Muntean, Marian. 2017.** High Pressure Processing in Food Industry. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2017, σσ. 377-383.
- Nejatzadeh-Barandozi, Fatemeh. 2013.** Antibacterial activities and antioxidant capacity of Aloe vera. *Organic and Medicinal Chemistry Letters*. 2013, σ. 3:5.
- Pedro E.D. Augusto, Aline A.L. Tribst, Marcelo Cristianini. 2018.** HIGH HYDROSTATIC PRESSURE AND HIGH-PRESSURE HOMOGENIZATION PROCESSING OF FRUIT JUICES. [συγγρ. βιβλίου] Brijesh K. Tiwari Gaurav Rajauria. *Fruit Juices Extraction, Composition, Quality and Analysis*. 2018, σσ. 393-421.
- Perni S, Shama G, Kong MG. 2008.** Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms. *Journal of Food Protection*. 2008, σσ. 1619-1625.
- Petruzzi Leonardo, Daniela Campaniello, Barbara Speranza, Maria Rosaria Corbo, Milena Sinigaglia, and Antonio Bevilacqua. 2017.** Thermal Treatments for Fruit and Vegetable Juices and Beverages: A Literature Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017, σσ. 668-691.
- Prakram Singh Chauhan, Neena Puri, Prince Sharma, Naveen Gupta. 2012.** Mannanases: microbial sources, production, properties and potential biotechnological applications. *Applied Microbiolgy Biotechnoly*. 2012, σσ. 1817–18308.
- Products, Forever Living.**
https://s3.foreverliving.com/a1Pd0000002IlgEnEAK/1443027515238Aloe_Vera_Gel_UPDAT_ED_ENG.pdf. [Ηλεκτρονικό]
- Queiroz C., Moreira C.F.F., Lavinhas F.C. ,Lopes M.L.M. , Fialho E. and Valente-Mesquita V.L. 2010.** Effect of high hydrostatic pressure on phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity in cashew apple juice. *High Pressure Research*. 2010, σσ. 507–513.
- Rahman, Atta-ur-. 2014.** *Studies in Natural Products Chemistry*. s.l. : Elsevier, 2014. Τόμ. 41.

- Ramachandra C.T., Srinivasa Rao P. 2008.** Processing of Aloe Vera Leaf Gel: A Review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2008, σσ. 502-510.
- Ramesh M.N., Wolf W., Tevini D., Bognar A. 2002.** Microwave Blanching of Vegetables. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*. 2002, σσ. 390-398.
- Reynolds, Tom. 2004.** *Aloes the genus Aloe*. s.l. : CRC Press, 2004.
- Richardson. 2001.** *Thermal Technologies in Food Processing*. s.l. : Woodhead Publishing, 2001.
- Saberian Hamed, Hamidi-Esfahani Zohreh , Abbasi Soleiman. 2013.** Effect of pasteurization and storage. *Nutrition & Food Science*. 2013, σσ. 175-183.
- Saberian Hamed, Zohren Hamidi Esfahani, Soleiman Abbasi. 2015.** Effect of Conventional and Ohmic Pasteurization on Some Bioactive Components of Aloe vera Gel Juice. *IRANIAN JOURNAL OF CHEMISTRY & CHEMICAL ENGINEERING-INTERNATIONAL ENGLISH EDITION*. 2015, σσ. 99-108.
- Sánchez-Machado Jaime Dalia I., López-Cervantes, RaquelSendón, Ana Sanches-Silva. 2017.** Aloe vera: Ancient knowledge with new frontiers. *Trends in Food Science & Technology*. 2017, σσ. 94-102.
- Shashi Kishor Pankaj, Kevin M. Keener. 2018.** COLD PLASMA PROCESSING OF FRUIT JUICES. [συγγρ. βιβλίου] Brijesh K. Tiwari Gaurav Rajauria. *Fruit Juices Extraction, Composition, Quality and Analysis*. s.l. : Academic Press, 2018, σσ. 529-537.
- Shivhare, Jasim Ahmed and U.S. 2006.** Thermal Processing of Vegetables . [συγγρ. βιβλίου] Da-Wen Sun. *Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issues*. s.l. : CRC Press, 2006.
- Smelt. 1998.** Recent advances in the microbiology of high pressure processin. *Trends in Food Science & Technology*. 1998, σσ. 152-158.
- Soni Hemant, Hemant Kumar Rawat, Brett I. Pletschke, Naveen Kango. 2016.** Purification and characterization of b-mannanase from *Aspergillus terreus* and its applicability in depolymerization of mannans and saccharification of lignocellulosic biomass. *3Biotech*. 2016, σ. 136.
- **2016.** Purification and characterization of b-mannanase from *Aspergillus terreus* and its applicability in depolymerization of mannans and saccharification of lignocellulosic biomass. *3 Biotech*. 2016, σ. 6:136.
- Supreet Jain, Nirav Rathod, Ravleen Nagi, Jaideep Sur, Afshan Laheji, Naveen Gupta, Priyanka Agrawal, Swati Prasad. 2016.** Antibacterial Effect of Aloe Vera Gel against Oral Pathogens: An In-vitro Study. *Journal of clinical and diagnostic research*. 2016, σσ. ZC41–ZC44.
- Surjushe Amar, Resham Vasani, D G Saple. 2015.** ALOE VERA: A SHORT REVIEW. *Indian Journal of Dermatology*. 2015, σσ. 163-166.
- Vega-Gálvez Antonio, Margarita Miranda, Yissleen Nuñez-Mancilla, Purificación Garcia-Segovia, Kong Ah-Hen & Gipsy Tabilo-Munizaga, Mario Pérez-Won. 2014.** Influence of high hydrostatic pressure on quality parameters and structural properties of aloe vera gel (*Aloe barbadensis* Miller). *Jurnal of Food Science and Technology*. October 2014, σσ. 2481–2489.

- Vicente António Augusto, Inês de Castro, José António Teixeira. 2006.** Ohmic Heating for Food Processing. [συγγρ. βιβλίου] Da-Wen Sun. *Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issues*. 2006.
- Wael M. Elamin, Johari B. Endan, Yus A. Yosuf, Rosnah Shamsudin Anvarjon Ahmedov. 2015.** High Pressure Processing Technology and Equipment Evolution: A Review. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2015, σσ. 75-83.
- Xanthakis E., Valdramidis V.P. 2017.** Impact of heating operations on the microbial Ecology of foods. [συγγρ. βιβλίου] Anderson de Souza Sant'Ana. *Quantitative Microbiology in Food Processing: Modeling the Microbial Ecology*. 2017.
- Yang B, Jiang Y, Wang R, Zhao M, Sun J. 2009.** Ultra-high pressure treatment effects on polysaccharides and lignins of longan fruit pericarp. *Food Chemistry*. 2009, σσ. 428–431.
- Yongchaiyudha, S., Rungpitarangsi, V., Bunyapraphatsara, N., Chocheaijaroenporn, O. 1996.** Antidiabetic activity of Aloe vera L. juice I. Clinical trial in new cases of diabetes mellitus. *Phytomedicine* 3. 1996, σσ. 241-243.
- Zandi Keivan, Moloud Abbas Zadeh, Kohzad Sartavi, Zahra Rastian. 2007.** Antiviral activity of Aloe vera against herpes simplex virus type 2: An in vitro study. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*. 2007, σσ. 1770-1773.
- Zarreen Badar, Saifullah Khan, Shakeel Ahmed, Muhammad Iqbal Choudhary. 2017.** Enhanced Production of Aloe Mannan using Plant Biotechnology. *International Journal of Biotechnolog and Bioengineering*. 2017, σσ. 307-325.
- Zhan Hai Yu, Che Jin, Ma Xin, He JianMin. 2009.** Effect of Aloe vera polysaccharides on immunity and antioxidant activities in oral ulcer animal models. *Carbohydrate Polymers*. 2009, σσ. 307-311.
- Σαριδάκη, Αγγελική. 2013.** Μελέτη της επίδρασης των διεργασιών παστερίωσης και αποπύκρωσης στις φυσικοχημικές παραμέτρους χυμού πορτοκαλιού Navel και διερεύνηση της ενζυμικής αποπύκρωσής του. *Διπλωματική εργασία*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2013.

Παράρτημα 1

Αποτελέσματα ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA)

Δείγμα γέλη αλόης/τσάι

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων ΥΠ με θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2604,697	1	2604,697	2072,507	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	10,272	2	5,136	4,087	0,025404
t _{αποθ} (d)	1,890	3	0,630	0,501	0,683843
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	5,560	6	0,927	0,737	0,623091
Error	43,987	35	1,257		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2711,616	1	2711,616	3215,169	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	15,119	2	7,560	8,964	0,000747
t _{αποθ} (d)	27,449	3	9,150	10,849	0,000038
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	8,247	6	1,374	1,630	0,169124
Error	28,675	34	0,843		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3004,293	1	3004,293	2469,065	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	16,936	2	8,468	6,959	0,002602
t _{αποθ} (d)	31,465	3	10,488	8,620	0,000164
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	19,882	6	3,314	2,723	0,026302
Error	47,454	39	1,217		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2592,769	1	2592,769	2463,789	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	12,000	2	6,000	5,701	0,006728
t _{αποθ} (d)	62,368	3	20,789	19,755	0,000000
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	8,781	6	1,464	1,391	0,242777
Error	41,042	39	1,052		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3164,419	1	3164,419	4816,027	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	5,796	2	2,898	4,410	0,019355
t _{αποθ} (d)	11,544	3	3,848	5,856	0,002300
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	12,068	6	2,011	3,061	0,015930
Error	23,654	36	0,657		

- Συνολική αρέσκεια

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2808,013	1	2808,013	4556,863	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	8,754	2	4,377	7,103	0,002451
t _{αποθ} (d)	27,443	3	9,148	14,845	0,000002
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	7,289	6	1,215	1,972	0,094864
Error	22,800	37	0,616		

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων ΥΠ και θερμικής παστερίωσης με θερμοκρασίες αποθήκευσης 25 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2125,513	1	2125,513	1701,912	0,000000
Επεξεργασία/5°C	13,147	1	13,147	10,527	0,002641
t _{αποθ} (d)	25,248	4	6,312	5,054	0,002634
Επεξεργασία/5°C*t _{αποθ} (d)	2,053	4	0,513	0,411	0,799529
Error	42,462	34	1,249		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2165,384	1	2165,384	2630,278	0,000000
Επεξεργασία/5°C	11,899	1	11,899	14,453	0,000632
t _{αποθ} (d)	41,749	4	10,437	12,678	0,000003
Επεξεργασία/5°C*t _{αποθ} (d)	4,638	4	1,159	1,408	0,254342
Error	25,521	31	0,823		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2693,250	1	2693,250	2009,992	0,000000
Επεξεργασία/25°C	7,003	1	7,003	5,226	0,028241
t _{αποθ} (d)	26,819	4	6,705	5,004	0,002600
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	7,032	4	1,758	1,312	0,284086
Error	48,237	36	1,340		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2093,935	1	2093,935	1114,362	0,000000
Επεξεργασία/25°C	0,278	1	0,278	0,148	0,702998
t _{αποθ} (d)	71,899	4	17,975	9,566	0,000027
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	0,599	4	0,150	0,080	0,988058
Error	63,888	34	1,879		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2567,100	1	2567,100	3181,431	0,000000
Επεξεργασία/25°C	9,438	1	9,438	11,697	0,001727
t _{αποθ} (d)	16,288	4	4,072	5,046	0,002872
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	6,734	4	1,684	2,086	0,105693
Error	25,821	32	0,807		

- Συνολική αρέσκεια

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2349,900	1	2349,900	2927,956	0,000000
Επεξεργασία/25°C	2,802	1	2,802	3,491	0,070345
t _{αποθ} (d)	45,734	4	11,433	14,246	0,000001
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	5,206	4	1,302	1,622	0,191325
Error	27,287	34	0,803		

Δείγμα γέλη αλόης

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων ΥΠ με θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2820,079	1	2820,079	13074,91	0,000000
T _{αποθ}	27,056	2	13,528	62,72	0,000000
d _{αποθήκευσης}	21,579	3	7,193	33,35	0,000000
T _{αποθ} *d _{αποθήκευσης}	9,765	6	1,627	7,55	0,000034
Error	7,333	34	0,216		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2608,669	1	2608,669	4996,154	0,000000
hp/T _{αποθ}	22,999	2	11,499	22,024	0,000001
t _{αποθ} (d)	29,638	3	9,879	18,921	0,000000
hp/T _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	11,003	6	1,834	3,512	0,008786
Error	16,708	32	0,522		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2020,343	1	2020,343	2401,894	0,000000
hp/Ταποθ	4,202	2	2,101	2,498	0,098195
t _{αποθ} (d)	24,882	3	8,294	9,860	0,000093
hp/Ταποθ*t _{αποθ} (d)	7,897	6	1,316	1,565	0,189609
Error	26,917	32	0,841		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1956,018	1	1956,018	3016,510	0,000000
HP/Ταποθ	17,712	2	8,856	13,658	0,000051
t _{αποθ} (d)	36,722	3	12,241	18,877	0,000000
HP/Ταποθ*t _{αποθ} (d)	16,868	6	2,811	4,336	0,002608
Error	20,750	32	0,648		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4265,755	1	4265,755	32,72740	0,000002
HP/Τ _{αποθ}	195,542	2	97,771	0,75011	0,479553
t _{αποθ} (d)	323,016	3	107,672	0,82607	0,488192
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	671,125	6	111,854	0,85816	0,534593
Error	4692,313	36	130,342		

- Συνολική αρέσκεια

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2302,231	1	2302,231	3728,766	0,000000
HP/Τ _{αποθ}	20,834	2	10,417	16,872	0,000009
t _{αποθ} (d)	67,461	3	22,487	36,421	0,000000
HP/Τ _{αποθ} *t _{αποθ} (d)	12,549	6	2,091	3,387	0,010290
Error	20,375	33	0,617		

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων θερμικά παστεριωμένων με θερμοκρασίες αποθήκευσης 5, 25 και 35 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2259,014	1	2259,014	3349,641	0,000000
Thermal/Τ _{αποθ}	18,988	2	9,494	14,078	0,000033
d _{αποθήκευσης}	24,708	3	8,236	12,212	0,000013
Thermal/Τ _{αποθ} *d _{αποθήκευσης}	27,614	6	4,602	6,824	0,000074
Error	23,604	35	0,674		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2240,854	1	2240,854	8354,251	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$	10,360	2	5,180	19,313	0,000003
$t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	16,297	3	5,432	20,253	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$ * $t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	6,307	6	1,051	3,919	0,004784
Error	8,583	32	0,268		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1944,380	1	1944,380	777,2124	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$	7,948	2	3,974	1,5885	0,218219
$t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	91,724	3	30,575	12,2214	0,000012
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$ * $t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	11,635	6	1,939	0,7752	0,594662
Error	90,063	36	2,502		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2323,640	1	2323,640	1543,214	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$	3,037	2	1,518	1,008	0,375158
$t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	22,544	3	7,515	4,991	0,005497
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$ * $t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	4,192	6	0,699	0,464	0,830109
Error	52,700	35	1,506		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2469,635	1	2469,635	2406,954	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$	0,295	2	0,148	0,144	0,866419
$t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	86,556	3	28,852	28,120	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$ * $t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	2,786	6	0,464	0,453	0,838310
Error	36,938	36	1,026		

- Συνολική αρέσκεια

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2283,816	1	2283,816	4506,878	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$	7,993	2	3,997	7,887	0,001535
$t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	61,787	3	20,596	40,644	0,000000
thermal/ $T_{\sigma\pi\sigma\theta}$ * $t_{\sigma\pi\sigma\theta}(d)$	10,026	6	1,671	3,298	0,011491
Error	17,229	34	0,507		

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των ΥΠ και θερμικά παστεριωμένων δειγμάτων με θερμοκρασία αποθήκευσης 5 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2109,401	1	2109,401	9505,218	0,000000
Επεξεργασία/Τ _{αποθ}	6,021	1	6,021	27,131	0,000028
d _{αποθήκευσης}	0,912	3	0,304	1,370	0,276893
Επεξεργασία/Τ _{αποθ} *d _{αποθήκευσης}	1,708	3	0,569	2,566	0,079304
Error	5,104	23	0,222		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2059,320	1	2059,320	6422,286	0,000000
treatment/5°C	2,430	1	2,430	7,578	0,011330
t _{αποθ} (d)	2,370	3	0,790	2,464	0,087956
treatment/5°C*t _{αποθ} (d)	0,593	3	0,198	0,616	0,611611
Error	7,375	23	0,321		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1393,778	1	1393,778	915,3167	0,000000
treatment/5°C	0,111	1	0,111	0,0730	0,789581
t _{αποθ} (d)	14,818	3	4,939	3,2438	0,041454
treatment/5°C*t _{αποθ} (d)	1,091	3	0,364	0,2388	0,868329
Error	33,500	22	1,523		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1626,778	1	1626,778	1491,213	0,000000
επεξεργασία/5°C	0,444	1	0,444	0,407	0,529877
t _{αποθ} (d)	2,364	3	0,788	0,722	0,549443
επεξεργασία/5°C*t _{αποθ} (d)	0,455	3	0,152	0,139	0,935669
Error	24,000	22	1,091		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1822,570	1	1822,570	2372,431	0,000000
Επεξεργασία/5°C	7,508	1	7,508	9,773	0,004590
t _{αποθ} (d)	34,961	3	11,654	15,169	0,000010
Επεξεργασία/5°C*t _{αποθ} (d)	2,773	3	0,924	1,203	0,329798
Error	18,438	24	0,768		

- Συνολική εκτίμηση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1776,539	1	1776,539	6150,903	0,000000
Επεξεργασία/5°C	0,232	1	0,232	0,802	0,380259
t _{αποθ} (d)	16,788	3	5,596	19,375	0,000002
Επεξεργασία/5°C*t _{αποθ} (d)	0,843	3	0,281	0,973	0,423333
Error	6,354	22	0,289		

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των ΥΠ και θερμικά παστεριωμένων δειγμάτων με θερμοκρασία αποθήκευσης 25 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1647,363	1	1647,363	3637,378	0,000000
Επεξεργασία/25°C	14,963	1	14,963	33,039	0,000007
t _{αποθ} (d)	12,481	3	4,160	9,186	0,000351
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	2,926	3	0,975	2,153	0,121083
Error	10,417	23	0,453		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1438,380	1	1438,380	8268,532	0,000000
treatment/25°C	13,880	1	13,880	79,789	0,000000
t _{αποθ} (d)	16,769	3	5,590	32,132	0,000000
treatment/25°C*t _{αποθ} (d)	1,171	3	0,390	2,244	0,114473
Error	3,479	20	0,174		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1312,821	1	1312,821	801,3517	0,000000
treatment/25°C	8,667	1	8,667	5,2902	0,031306
t _{αποθ} (d)	28,925	3	9,642	5,8854	0,004151
treatment/25°C*t _{αποθ} (d)	5,772	3	1,924	1,1743	0,342146
Error	36,042	22	1,638		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1320,111	1	1320,111	1232,104	0,000000
επεξεργασία/25°C	1,000	1	1,000	0,933	0,344993
t _{αποθ} (d)	23,629	3	7,876	7,351	0,001500
επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	0,361	3	0,120	0,112	0,951863
Error	22,500	21	1,071		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1849,840	1	1849,840	2972,128	0,000000
Επεξεργασία/25°C	4,278	1	4,278	6,873	0,014953
t _{αποθ} (d)	29,021	3	9,674	15,543	0,000008
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	2,133	3	0,711	1,143	0,351989
Error	14,938	24	0,622		

- Συνολική εκτίμηση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1469,444	1	1469,444	3291,556	0,000000
Επεξεργασία/25°C	2,250	1	2,250	5,040	0,035666
t _{αποθ} (d)	30,911	3	10,304	23,080	0,000001
Επεξεργασία/25°C*t _{αποθ} (d)	0,456	3	0,152	0,341	0,796048
Error	9,375	21	0,446		

Ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των ΥΠ και θερμικά παστεριωμένων δειγμάτων με θερμοκρασία αποθήκευσης 35 °C

- Χρώμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1352,563	1	1352,563	2017,878	0,000000
Επεξεργασία/T _{αποθ} =35°C	1,763	1	1,763	2,631	0,118445
d _{αποθήκευσης}	58,037	3	19,346	28,862	0,000000
Επεξεργασία/T _{αποθ} =35°C*d _{αποθήκευσης}	7,667	3	2,556	3,813	0,023591
Error	15,417	23	0,670		

- Εμφάνιση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1414,596	1	1414,596	2084,667	0,000000
treatment/35°C	2,596	1	2,596	3,825	0,063921
t _{αποθ} (d)	33,955	3	11,318	16,679	0,000009
treatment/35°C*t _{αποθ} (d)	7,532	3	2,511	3,700	0,027843
Error	14,250	21	0,679		

- Γεύση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1256,258	1	1256,258	635,5771	0,000000
treatment/35°C	1,758	1	1,758	0,8893	0,355057
t _{αποθ} (d)	74,273	3	24,758	12,5257	0,000040
treatment/35°C*t _{αποθ} (d)	11,523	3	3,841	1,9433	0,149552
Error	47,437	24	1,977		

- Υφή

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1365,031	1	1365,031	1027,788	0,000000
επεξεργασία/35°C	5,281	1	5,281	3,976	0,057621
t _{αποθ} (d)	45,031	3	15,010	11,302	0,000081
επεξεργασία/35°C*t _{αποθ} (d)	5,281	3	1,760	1,325	0,289304
Error	31,875	24	1,328		

- Άρωμα

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1733,133	1	1733,133	2099,442	0,000000
Επεξεργασία/35°C	0,633	1	0,633	0,767	0,389962
t _{αποθ} (d)	42,273	3	14,091	17,069	0,000004
Επεξεργασία/35°C*t _{αποθ} (d)	8,898	3	2,966	3,593	0,028249
Error	19,813	24	0,826		

- Συνολική εκτίμηση

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1345,508	1	1345,508	1463,669	0,000000
Επεξεργασία/35°C	1,320	1	1,320	1,436	0,242446
t _{αποθ} (d)	100,148	3	33,383	36,314	0,000000
Επεξεργασία/35°C*t _{αποθ} (d)	2,711	3	0,904	0,983	0,417311
Error	22,063	24	0,919		

Παράρτημα 2

Αποτελέσματα απορροφήσεων των μεθόδων DNS και Bradford, για τον καθορισμό της ενεργότητας του ενζύμου β-μαννανάση, σε γέλη αλόης.

Πίνακας 1 Αποτελέσματα της μεθόδου DNS για το ένζυμο β-μαννανάση

Δείγμα	A _{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,472
300 MPa/5 min	0,494
600 MPa/2 min	0,473
600 MPa/5 min	0,486

Πίνακας 2 Αποτελέσματα μεθόδου DNS για την ενεργότητα της β-μαννανάσης σε ανεπεξέργαστο και επεξεργασμένο δείγμα γέλης αλόης

Δείγμα	A _{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,529
Επεξεργασμένο στους 100 °C	0,616

Πίνακας 3 Αποτελέσματα μεθόδου DNS για την ενεργότητα των β-μαννανασών (phosphate buffer)

Δείγμα	A _{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,501
Επεξεργασμένο στους 90 °C	0,559
400 MPa/ 5 min	0,655
600 MPa/ 9 min	0,655
C _{enzyme} /2	0,213
C _{enzyme} /5	0,055
C _{enzyme} /10	-0,005

Πίνακας 4 Αποτελέσματα μεθόδου DNS για την ενεργότητα του ενζύμου β-μαννανάση με διαφοροποίηση στην εκχύλιση

Δείγμα	A _{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,173
Επεξεργασμένο στους 90 °C	0,178
400 MPa/ 5 min	0,206
600 MPa/ 9 min	0,190

Πίνακας 5 Αποτελέσματα της μεθόδου DNS για τη μέτρηση ενεργότητας του ενζύμου β-μαννανάση για διάφορους χρόνους επώασης, ποσότητα ενζύμου και συγκέντρωση υποστρώματος

Δείγμα	A _{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο) t _{επώασης} =10 min	0,123
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο) t _{επώασης} =20 min	0,140
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο) 200 μL ενζυμικό εκχύλισμα t _{επώασης} =10 min	0,370
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο) 200 μL ενζυμικό εκχύλισμα t _{επώασης} =20 min	0,358
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο) 0,25% w/v substrate t _{επώασης} =10 min	0,179
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο) 0,25% w/v substrate t _{επώασης} =20 min	0,208

Πίνακας 6 Αποτελέσματα DNS για την μέτρηση ενεργότητας του ενζύμου β-μαννανάση για μη επεξεργασμένα και επεξεργασμένα δείγματα

Δείγμα	A _{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,197
Thermal	0,532
Επεξεργασμένο στους 100 °C	0,402
200 MPa/ 10 min	0,658
400 MPa/ 10 min	0,718
Επεξεργασμένο στους 100 °C C _{enzyme} /2	0,152

Επεξεργασμένο στους 100 °C C_{enzyme}/5	0,040
Επεξεργασμένο στους 100 °C C_{enzyme}/10	0,023

Πίνακας 7 Αποτελέσματα μεθόδου Bradford

Δείγμα	A_{595nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,028
Thermal	0,019
Επεξεργασμένο στους 100 °C	0,013
200 MPa/ 10 min	0,018
400 MPa/ 10 min	0,015

Πίνακας 8 Αποτελέσματα της μεθόδου DNS για τη μέτρηση ενεργότητας ενζύμου β-μαννανάσης (citrate buffer)

Δείγμα	A_{540nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,306
200 MPa t= 0 min	0,328
600 MPa t= 6 min	0,306

Πίνακας 9 Αποτελέσματα μεθόδου Bradford (citrate buffer)

Δείγμα	A_{595nm}
Φρέσκο (μη επεξεργασμένο)	0,060
200 MPa t= 0 min	0,046
600 MPa t= 6 min	0,061