

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΜΜΕΣΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΨΥΧΡΟΥ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΦΡΕΣΚΟΚΟΜΜΕΝΗΣ ΣΑΛΑΤΑΣ ΡΟΚΑΣ

Μ. Γιαννόγλου^{1,3}, Π. Δημητρακέλλης², Ξανθού Ζαχαρούλα-Μαρία³, Στεργίου Παναγιώτα⁴, Ν. Στοφόρος⁴, Π. Ταούκης³, Ε. Γογγολίδης², Γ. Κατσαρός^{1*}

¹Ινστιτούτο Τεχνολογίας Αγροτικών Προϊόντων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός-ΔΗΜΗΤΡΑ, Αθήνα, Ελλάδα ([*gkatsaros@itap.com.gr](mailto:gkatsaros@itap.com.gr))

²Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας, Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος», Αθήνα, Ελλάδα

³Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα

⁴Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής Ανθρώπου, ΓΠΑ, Αθήνα, Ελλάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για φρέσκα και ελάχιστα επεξεργασμένα τρόφιμα σε συνδυασμό με τον αναγκαίο χρόνο από την επεξεργασία των τροφίμων μέχρι την κατανάλωσή τους, απαιτούν ακριβή έλεγχο της μικροβιακής σταθερότητας τους για τη διασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειάς τους. Για ευαίσθητα προϊόντα όπως είναι οι έτοιμες προς κατανάλωση φυλλώδεις σαλάτες, η θερμική επεξεργασία καθώς και άλλες τεχνικές παστερίωσης δεν μπορούν να εφαρμοστούν λόγω της έντονης ποιοτικής και διατροφικής υποβάθμισης που επιφέρουν.

Αντικείμενο της έρευνας αποτέλεσε η μελέτη της άμεσης εφαρμογής Ψυχρού Πλάσματος Ατμοσφαιρικής Πίεσης στην ποιότητα φρεσκοκομμένης σαλάτας ρόκας και σύγκριση με την έμμεση εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας, μέσω παραγωγής και χρήσης «ενεργοποιημένου» με Ψυχρό Πλάσμα νερού ως μέσο έκπλυσης ίδιας σαλάτας. Για τη μελέτη της άμεσης εφαρμογής του Ψυχρού Πλάσματος (πλάσμα αέρα) το προϊόν επεξεργάστηκε σε διάταξη Επιφανειακής Εκκένωσης Διηλεκτρικού Φράγματος (Surface Dielectric Barrier Discharge-SDBD) σε 4 χρόνους επεξεργασίας (5-20 min). Για την έμμεση εφαρμογή, τα φύλλα ρόκας εμβαπτίστηκαν για 1-15 min σε στείρο απεσταγμένο νερό, «ενεργοποιημένο» με χρήση πλάσματος ατμοσφαιρικής πίεσης τύπου Τζετ (Atmospheric pressure plasma jet-APPJ) σε περιβάλλον ηλίου-αέρα. Όλα τα επεξεργασμένα και ανεπεξέργαστα δείγματα αναλύθηκαν ως προς το μικροβιακό τους φορτίο, την τιμή pH, τη σκληρότητα, το χρώμα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Ός προς την άμεση επεξεργασία των φύλλων ρόκας, η αύξηση του χρόνου επεξεργασίας οδήγησε σε εντονότερη μείωση του μικροβιακού φορτίου. Ειδικότερα το φορτίο της ΟΜΧ υπολογίστηκε ότι μειώθηκε κατά 1.0 LogCFU/g σε χρόνο επεξεργασίας 10 min. Αύξηση του χρόνου επεξεργασίας οδήγησε σε μείωση της σκληρότητάς τους, μείωση της τιμής pH, ενώ το χρώμα παρέμεινε αμετάβλητο. Η έμμεση εφαρμογή με χρήση «ενεργοποιημένου» νερού, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του φορτίου ΟΜΧ έως και 1.5 LogCFU/g, για χρόνο εμβάπτισης 15 min, χωρίς να παρατηρείται υποβάθμιση ποιότητας των φρεσκοκομμένων φύλλων ρόκας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την εξυγίανση ευαίσθητων τροφίμων τα οποία δε δύναται να επεξεργαστούν θερμικά, όπως είναι τα φρούτα και τα λαχανικά, στη βιομηχανία γίνεται συνήθως εφαρμογή διαλυμάτων χλωρίου, παρά τη σύνδεσή του με πιθανό σχηματισμό επικίνδυνων ενώσεων^[1]. Συνεπώς απαιτείται η εύρεση εναλλακτικών λύσεων για τη διατήρηση της ποιότητας και τη διασφάλιση της ασφάλειας των φρέσκων λαχανικών. Το αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον για τη χρήση νέων μη θερμικών τεχνολογιών επεξεργασίας τροφίμων, δύναται να οδηγήσει σε ασφαλή προϊόντα αυξημένης

ποιότητας. Μη θερμικές θεωρούνται οι διεργασίες που δεν προκαλούν (ή προκαλούν ελάχιστα) θερμική βλάβη στο επεξεργασμένο τρόφιμο όπως για παράδειγμα η υπερυψηλή πίεση, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία, η υπεριώδης ακτινοβολία και η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα^[3]. Ωστόσο, στην παραγωγή των ιδιαίτερα ευαίσθητων σε επεξεργασίες έτοιμων προς κατανάλωση σαλάτων, το ψυχρό πλάσμα δυνητικά υπερτερεί των άλλων διεργασιών όσον αφορά την υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών τους. Το ψυχρό πλάσμα, είναι σχετικά νέα τεχνολογία για τα τρόφιμα κι έχει παρουσιάσει μεγάλες δυνατότητες για μελλοντική εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων^[4]. Το πλάσμα θεωρείται ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης και μπορεί να οριστεί ως ένα μερικώς ιονισμένο αέριο που αποτελείται από ηλεκτρόνια, ιόντα, ουδέτερα άτομα και μόρια και επίσης ελεύθερες ρίζες και φωτόνια^[4]. Το πλάσμα μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με τις θερμοδυναμικές του ιδιότητες σε θερμικό (θερμό) και μη θερμικό (ψυχρό). Στο μη θερμικό πλάσμα, η θερμοκρασία των ηλεκτρονίου μπορεί να είναι περίπου 10000 K, ενώ αντίθετα η θερμοκρασία των υπολοίπων σωματιδίων του αερίου κοντά στο περιβάλλον. Το πλάσμα αέρα σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης μελετάται ευρέως τα τελευταία χρόνια καθώς πέρα από τις ευεργετικές ιδιότητες στην κατεργασία επιφανειών, έχει αποδειχθεί επίσης ότι μπορεί να αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς (antimicrobial activity). Επομένως, η μη-θερμική κατεργασία σε συνδυασμό με την αντιμικροβιακή δράση καθιστούν το πλάσμα ατμοσφαιρικής πίεσης κατάλληλο για επεξεργασία θερμικά ευαίσθητων τροφίμων.

Η απενεργοποίηση μικροοργανισμών κατά την επαφή με το πλάσμα στηρίζεται κυρίως σε τρεις μηχανισμούς: (α) ακτινοβολία UV στο κυτταρικό DNA, (β) υπεριώδη ακτινοβολία στην κυτταρική μεμβράνη και στα ενδοκυτταρικά συστατικά και (γ) χημική αλληλεπίδραση με φορτισμένα σωματίδια και δραστικές ρίζες οξυγόνου-αζώτου (RONS)^{[2],[4]}. Η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα μπορεί να γίνει άμεσα μέσω επαφής του τροφίμου με την ενεργή περιοχή του πλάσματος είτε επίσης και με τις παραγόμενες ρίζες RONS που προκύπτουν από το πλάσμα και διαχέονται στο τρόφιμο (κατεργασία με Surface Dielectric barrier Discharge – SDBD). Η κατεργασία του τροφίμου με πλάσμα μπορεί ωστόσο να γίνει και 'έμμεσα', μέσω έκπλυσης με νερό 'ενεργοποιημένο' με πλάσμα. Στην περίπτωση αυτή, η κατεργασία νερού με πλάσμα αέρα οδηγεί στο σχηματισμό δευτερευόντων ριζών RONS που παρουσιάζουν επίσης αντιμικροβιακή δράση.

Αντικείμενο της έρευνας ήταν η μελέτη της άμεσης και έμμεσης επεξεργασίας ψυχρού πλάσματος σε ατμοσφαιρική πίεση, σε έτοιμες προς κατανάλωση σαλάτες ρόκας, με στόχο την αύξηση της διάρκειας ζωής και τη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα δείγματα έτοιμης προς κατανάλωση φυλλώδους σαλάτας ρόκας αγοράστηκαν σε εμπορικές συσκευασίες.

Για την άμεση εφαρμογή Ψυχρού Πλάσματος (πλάσμα αέρα) τα φύλλα ρόκας επεξεργάστηκαν απευθείας με χρήση διάταξης Επιφανειακής Εκκένωσης Διηλεκτρικού Φράγματος (Surface Dielectric Barrier Discharge-SDBD) με εναλλασσόμενη τάση πλάτους 2,5 -3 kV σε συχνότητα 45 kHz, και για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min.

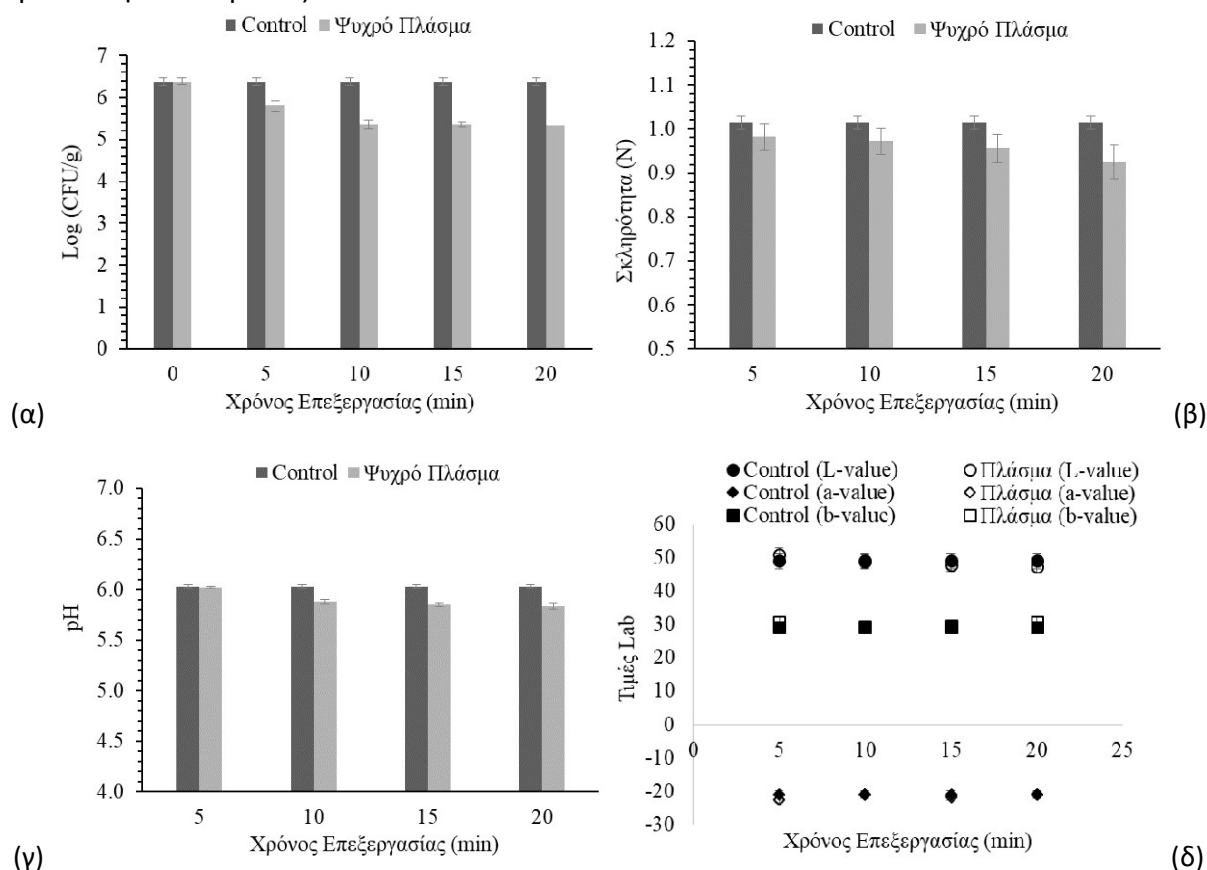
Για την έμμεση εφαρμογή του ψυχρού πλάσματος, απεσταγμένο νερό επεξεργάστηκε με χρήση πλάσματος ατμοσφαιρικής πίεσης τύπου Τζετ (Atmospheric pressure plasma jet-APPJ). Για την «ενεργοποίησή» του έγινε χρήση αερίου He ροής 1 mL/min (σε περιβάλλον αέρα) για χρόνο επεξεργασίας 15 min με εφαρμοζόμενη τάση πλάτους 3-4 kV σε συχνότητα 85 kHz. Η διαδικασία έκπλυσης αφορούσε τη βύθιση 10 g φύλλων ρόκας σε 100 mL «ενεργοποιημένου» νερού για χρόνους εμβάπτισης 1, 5 και 15 min.

Η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας σε όλες τις περιπτώσεις αξιολογήθηκε μέσω μικροβιολογικών αναλύσεων και ανάλυση ποιοτικών δεικτών. Πιο συγκεκριμένα, αμέσως μετά την επεξεργασία, όλα τα δείγματα αναλύθηκαν ως προς το φορτίο σε Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα (OMX), *Pseudomonas spp.*, ζύμες/μύκητες και Οξυγαλακτικά βακτήρια. Η ποιότητα των φύλλων

ρόκας αξιολογήθηκε μέσω μέτρησης του χρώματος (τιμές CIELab, CR-300 Minolta Chromameter, Minolta Co., Japan), μέτρηση της τιμής pH και ανάλυση υφής (Texture Analyzer HD-plus). Σε όλες τις περιπτώσεις, για συγκριτική αξιολόγηση, χρησιμοποιήθηκαν και ανεπεξέργαστα δείγματα (Control).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

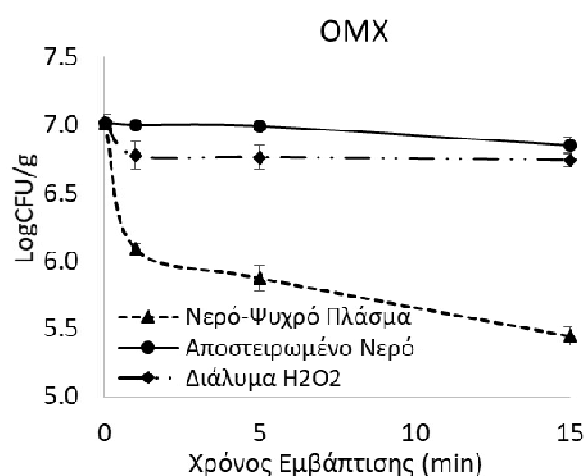
Τα επεξεργασμένα με απευθείας εφαρμογή ψυχρού πλάσματος φύλλα ρόκας σε διαφορετικούς χρόνους επεξεργασίας, αναλύθηκαν ως προς το μικροβιακό τους φορτίο, την τιμή pH, τη σκληρότητα και το χρώμα τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν την εντονότερη μείωση του φορτίου όλων των μικροοργανισμών που μελετήθηκαν με αύξηση του χρόνου επεξεργασίας. Ειδικότερα για χρόνο επεξεργασίας 10 min το φορτίο των ΟΜΧ, *Pseudomonas spp.*, Ζυμών/Μυκήτων και Οξυγαλακτικών βακτηρίων μειώθηκε κατά περίπου 1.0, 0.3, 0.5 και 1.0 LogCFU/g, αντίστοιχα. Το μικροβιακό φορτίο δεν εμφάνισε σημαντική μεταβολή ($p > 0.05$) για υψηλότερους χρόνους επεξεργασίας. Η τιμή του pH των φύλλων ρόκας μειώθηκε κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας από 6.02 σε 5.88 για 10 min και 5.84 για 20 min χρόνο επεξεργασίας. Η σκληρότητα των δειγμάτων παρουσίασε μείωση με αύξηση του χρόνου επεξεργασίας. Ειδικότερα παρουσιάστηκε μείωση κατά 3.2, 4.2, 5.8 και 8.8% για χρόνους επεξεργασίας 5, 10, 15 και 20 min, αντίστοιχα. Ως προς το χρώμα των φύλλων δε φάνηκε να επηρεάζεται στο μελετώμενο εύρος συνθηκών. Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται η επίδραση του ψυχρού πλάσματος στην ΟΜΧ, τη σκληρότητα, την τιμή pH και το χρώμα των φύλλων ρόκας.



Σχήμα 1. Απεικόνιση της επίδρασης της άμεσης εφαρμογής ψυχρού πλάσματος σε φύλλα ρόκας (Ψυχρό Πλάσμα) ως προς **α)** την ΟΜΧ, **β)** τη σκληρότητα, **γ)** την τιμή pH και **δ)** το χρώμα των φύλλων ρόκας-Σύγκριση με ανεπεξέργαστα δείγματα (Control)

Ως προς την εφαρμογή του ψυχρού πλάσματος σε νερό για χρήση του ως μέσο εξυγίανσης της ρόκας, ακριβώς μετά την επεξεργασία του για χρόνο 15 min, προσδιορίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων ενεργοποίησής του. Το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την έκπλυση των φύλλων

αναλύθηκε ως προς τη συγκέντρωση των H_2O_2 , NO_2^- , NO_3^- , την τιμή pH και την αγωγιμότητά του και υπολογίστηκαν ως $28.5 \cdot 10^{-5}$ M, $7.1 \cdot 10^{-6}$ g/mL, $8.28 \cdot 10^{-5}$ g/mL, 4.1 and 41 μ S, αντίστοιχα. Τα φύλλα ρόκας εμβάπτιστηκαν για χρόνους 1, 5 και 15 min στο επεξεργασμένο νερό και ακολούθησε μικροβιολογικός και ποιοτικός έλεγχος. Αύξηση του χρόνου εμβάπτισης των φύλλων ρόκας στο επεξεργασμένο με ψυχρό πλάσμα νερό, είχε ως αποτέλεσμα την εντονότερη μείωση του μικροβιακού φορτίου. Ειδικότερα χρόνος εμβάπτισης 15 min οδήγησε σε μείωση κατά 1.5 LogCFU/g της OMX και μείωση των *Pseudomonas spp.*, Ζυμών/Μυκήτων και Οξυγαλακτικών βακτηρίων κατά 2.5, 1.0 και 0.9 LogCFU/g, αντίστοιχα. Για συγκριτικούς λόγους, πραγματοποιήθηκε εμβάπτιση των φύλλων ρόκας για 15 min σε στείρο απεστεργασμένο νερό και σε διάλυμα H_2O_2 ίδιας συγκέντρωσης με το επεξεργασμένο νερό. Ωστόσο, το στείρο ανεπεξέργαστο νερό και το διάλυμα H_2O_2 οδήγησαν σε μείωση της OMX μικρότερη των 0.2-0.3 LogCFU/g. Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η επίδραση στην OMX μετά από έκπλυση της ρόκας σε επεξεργασμένο με ψυχρό πλάσμα νερό, σε ανεπεξέργαστο νερό και σε διάλυμα H_2O_2 ίδιας συγκέντρωσης με το επεξεργασμένο με ψυχρό πλάσμα νερό.



Σχήμα 2. Επίδραση του χρόνου έκπλυσης με ενεργοποιημένο με ψυχρό πλάσμα νερό, με στείρο ανεπεξέργαστο νερό (Control) και με διάλυμα H_2O_2 στην Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα φύλλων ρόκας

Η τιμή του pH των φύλλων παρέμεινε σε σταθερή τιμή 6.0, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στο χρώμα και την υφή των φύλλων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει των αποτελεσμάτων, η άμεση εφαρμογή ψυχρού πλάσματος σε φύλλα ρόκας για 10 min οδήγησε σε μείωση της OMX κατά 1.0 LogCFU/g, μείωση της τιμής pH κατά 0.15 μονάδες, μείωση της σκληρότητας των φύλλων κατά 4.2%, ενώ το χρώμα παρέμεινε αμετάβλητο. Η έμμεση εφαρμογή μέσω έκπλυσης των φύλλων σε «ενεργοποιημένο» με ψυχρό πλάσμα νερό για 15 min είχε ως αποτέλεσμα μείωση της OMX κατά 1.5 LogCFU/g, ενώ δεν παρουσιάστηκε καμία μεταβολή στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Τα αποτελέσματα της έρευνας αναδεικνύουν την δυνατότητα τόσο της άμεσης όσο και της έμμεσης εφαρμογής της καινοτόμου τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος σε ατμοσφαιρική πίεση στα τρόφιμα και ιδιαίτερα στην παραγωγική διαδικασία ιδιαίτερα ευαίσθητων προϊόντων όπως οι έτοιμες προς κατανάλωση φυλλώδεις σαλάτες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Baier, M., Görgena, M., Ehlbeck, J., Knorr, J., Herppicha, W.B, Schlüter, O. IFSET 22 (2014), 147-157
- [2] Moisan, M., Barbeau, J., Crevier, M., Pelletier, J., Phillip, N., Saoudi, B. (2002). Pure Appl. Chem. 74, 349-358.
- [3] Pasquali, F., Stratakos, A., Koidis, A., Berardinelli, A., Cevoli, C., Ragni, L. Food Control 60 (2016), 552-559.
- [4] Schlüter, O. & Frohling, A. Encyclopedia of Food Microbiology 2 (2014) 948-942.