

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ & ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΩΣΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΩΝ



**ΥΠΟΜΕΤΡΟ 16.1 – 16.2 “ΙΔΡΥΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ
ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΣΥΜΠΡΑΞΗΣ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ
ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ”**

**ΔΡΑΣΗ 2: «Υλοποίηση του επιχειρησιακού σχεδίου (project) των
Επιχειρησιακών Ομάδων της ΕΣΚ για την παραγωγικότητα και βιωσιμότητα
της γεωργίας»**

Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας παραδοσιακών και νέων φυτικών προϊόντων
για τη διεύρυσή τους σε διεθνείς αγορές, αξιοποιώντας καινοτόμες τεχνικές
αποξήρανσης

INNODRY

M16ΣΥΝ2-00343

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ

**Π4.4 2η πιλοτική ex situ παραγωγή αποξηραμένων προϊόντων με τη μέθοδο με
υπερκρίσιμο CO₂**

Φορέας Υλοποίησης	Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός Δήμητρα, Ινστιτούτο Γενετικής Βελτίωσης & Φυτογενετικών Πόρων
--------------------------	--



Εισαγωγή

Το παρόν παραδοτέο αφορά τη 2η πιλοτική *ex situ* παραγωγή αποξηραμένων προϊόντων με τη μέθοδο υπερκρίσιμου CO₂ (SCD), στο πλαίσιο του έργου INNODRY. Η αποξήρανση με υπερκρίσιμο CO₂ αναγνωρίζεται ως μια προηγμένη και ήπια τεχνική συντήρησης, που αξιοποιεί τις μοναδικές ιδιότητες του υπερκρίσιμου CO₂ για την αποτελεσματική απομάκρυνση της υγρασίας από τα φυτικά προϊόντα, κάτω από ήπιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

Στην παρούσα φάση, οι παραγωγικοί φορείς που συμμετέχουν στο έργο INNODRY εφάρμοσαν, υπό την επίβλεψη και την υποστήριξη του Ινστιτούτου Γενετικής Βελτίωσης & Φυτογενετικών Πόρων (ΙΓΒΦΠ), τα τελικά σχέδια πρωτοκόλλων της μεθόδου SCD στα είδη που παράγει ο κάθε φορέας: μελιτζάνα, επιτραπέζια ελιά, κρίταμο, πιπεριά και στέβια.

Σκοπός αυτού του παραδοτέου είναι να παρουσιάσει τις τελικές συνθήκες αποξήρανσης που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε είδος, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά των προϊόντων πριν και μετά τη διαδικασία. Η αξιολόγηση εστιάζει στην επιτυχία επίτευξης μικροβιολογικής σταθερότητας (μέσω χαμηλής ενεργότητας νερού, $a_w < 0.5$) και τη διατήρηση των ποιοτικών στοιχείων (χρώμα, υφή, άρωμα/λειτουργικά συστατικά). Η περιγραφή των οπτικών χαρακτηριστικών πριν και μετά την ξήρανση αναδεικνύει τις μεταβολές που επιτεύχθηκαν. Η συνολική αυτή πιλοτική εφαρμογή αποτελεί κρίσιμο βήμα για τη μεταφορά της τεχνογνωσίας στους παραγωγούς και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών φυτικών προϊόντων στις διεθνείς αγορές.

Γενικές Συνθήκες Συστήματος για όλα τα είδη (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά):

- Θερμοκρασία φούρνου: 50°C
- Θερμοκρασία διαχωριστήρα: 45°C
- Πίεση: 150 bar
- Ρυθμός ροής CO₂: 25 g min⁻¹

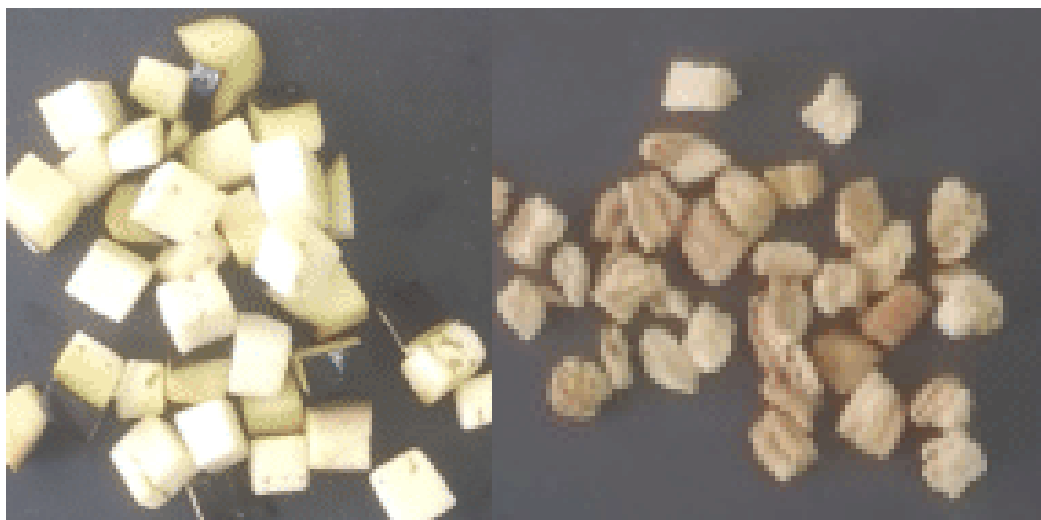
2. Αποξήρανση Φυτικών Προϊόντων με Υπερκρίσιμο CO₂

2.1. Μελιτζάνα

Εισαγωγικά: Η μελιτζάνα, ένα λαχανικό με υψηλή αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία, παρουσιάζει ιδιαίτερες προκλήσεις στην αποξήρανση, κυρίως όσον αφορά το ενζυμικό καφέτιασμα και τη διατήρηση της υφής. Η εφαρμογή της μεθόδου SCD στοχεύει στην υπέρβαση αυτών των προκλήσεων, προσφέροντας ένα σταθερό και ποιοτικό προϊόν.

Προετοιμασία Δείγματος: Οι καρποί της μελιτζάνας παραλήφθηκαν, καθαρίστηκαν σχολαστικά με απιονισμένο νερό και στεγνώθηκαν από την επιφανειακή υγρασία. Στη συνέχεια, τεμαχίστηκαν σε κύβους διαστάσεων 1x1 cm, συμπεριλαμβάνοντας και τον

φλοιό, καθώς οι προηγούμενοι πειραματισμοί έδειξαν ότι ο διαχωρισμός δεν ήταν απαραίτητος.



Εικόνα 2.1.1. Μελιτζάνα: Α. Πριν την ξήρανση (τεμαχισμένη). Β. Μετά από 15 ώρες SCD.

Εικόνα Α: Απεικονίζει τα φρέσκα, ομοιόμορφα τεμαχισμένα κομμάτια μελιτζάνας (σάρκα και φλοιός). Το χρώμα είναι λαμπερό, έντονο μωβ-μαύρο στον φλοιό και υπόλευκο στη σάρκα, με ακεραιότητα στη δομή τους μετά την προ-μεταχείριση.

Εικόνα Β: Παρουσιάζει τα κομμάτια μελιτζάνας μετά την ολοκλήρωση της 15ωρης υπερκρίσιμης ξήρανσης. Το χρώμα της σάρκας έχει μετατραπεί σε ένα ομοιόμορφο ανοιχτό μπεζ, ενώ ο φλοιός έχει επίσης αποχρωματιστεί. Η υφή είναι σκληρή και εμφανίζεται ελαστική, διατηρώντας το αρχικό σχήμα των κύβων, αλλά με αισθητή συρρίκνωση.

Τελικές Συνθήκες Αποξήρανσης: Χρονική Διάρκεια: 15 ώρες.

Βασικά Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος & Αξιολόγηση Αποτελεσματικότητας: Η 2^η εφαρμογή του πρωτοκόλλου οδήγησε σε πλήρη αφυδάτωση του προϊόντος, με την τελική ενεργότητα νερού (a_w) να ανέρχεται σε 0.387, τιμή που εξασφαλίζει την πλήρη μικροβιολογική σταθερότητα της μελιτζάνας. Ωστόσο, η υφή παρέμεινε σκληρή και ελαστική («λαστιχένια»), χαρακτηριστικό φαινόμενο πλαστικοποίησης. Παρά ταύτα, το SCD εκχύλισμα (υδατικό συμπύκνωμα) αποτελεί μια πλούσια πηγή υδατοδιαλυτών αντιοξειδωτικών.

2.2. Επιτραπέζια Ελιά

Εισαγωγικά: Η επιτραπέζια ελιά, ως προϊόν με υψηλή περιεκτικότητα σε έλαιο, απαιτεί ειδικές συνθήκες αποξήρανσης για τη διατήρηση των οργανοληπτικών της χαρακτηριστικών και των λιπόφιλων βιοδραστικών ενώσεων. Η μέθοδος SCD έχει αναδειχθεί ως η βέλτιστη για την ελιά, εκμεταλλευόμενη τη διπλή λειτουργία του υπερκρίσιμου CO₂.

Προετοιμασία Δείγματος: Χρησιμοποιήθηκαν επιτραπέζιες ελιές Καλαμών, οι οποίες αφαιρέθηκαν από τον πυρήνα και τεμαχίστηκαν προσεκτικά σε ομοιόμορφες ροδέλες.



Εικόνα 2.2.1. Επιτραπέζια Ελιά: Α. Πριν την ξήρανση (ροδέλες). Β. Μετά από 12 ώρες SCD.

Εικόνα Α: Δείχνει τις φρέσκες ροδέλες ελιάς, οι οποίες παρουσιάζουν μια φυσική ανομοιογένεια στο χρώμα, με συνύπαρξη σκούρων καφέ-κόκκινων, πρασινωπών και μωβ αποχρώσεων. Η υφή είναι σαρκώδης και στιλπνή.

Εικόνα Β: Παρουσιάζει τις ροδέλες ελιάς μετά την 12ωρη υπερκρίσιμη ξήρανση. Το χρώμα διατηρεί την αρχική του ποικιλομορφία. Η υφή είναι σκληρή, ξηρή και εύθρυπτη, διατηρώντας σε μεγάλο βαθμό το αρχικό σχήμα των ροδελών και έναν ελαφρύ ελαιώδη χαρακτήρα.

Τελικές Συνθήκες Αποξήρανσης:

Χρονική Διάρκεια: 12 ώρες.

Βασικά Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος & Αξιολόγηση Αποτελεσματικότητας: Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου SCD για την ελιά οδήγησε σε πλήρη αφυδάτωση, με την τελική ενεργότητα νερού (a_w) να ανέρχεται σε 0.518, τιμή που βρίσκεται στα όρια της μικροβιολογικής ασφάλειας, εξασφαλίζοντας ένα σταθερό προϊόν.

2.3. Κρίταμο

Εισαγωγικά: Το κρίταμο, ένα αρωματικό φυτό με σαρκώδη φύλλα, παρουσίασε αρχικά δυσκολίες στην αποξήρανση αυτούσιο, απαιτώντας κατάτμηση του ιστού. Η μέθοδος SCD εξετάστηκε για τη δυνατότητά της να διατηρήσει τα ευαίσθητα συστατικά του.

Προετοιμασία Δείγματος: Χρησιμοποιήθηκαν στη δεύτερη δοκιμή εναέρια τμήματα κρίταμου (φύλλα και άνθη). Μετά τον καθαρισμό, ο ιστός τεμαχίστηκε με ψαλίδι σε μικρότερα κομμάτια, καθώς η 1η πιλοτική εφαρμογή έδειξε ότι η ξήρανση αυτούσιου κρίταμου δεν ήταν αποτελεσματική. Αυτή η κατάτμηση διευκόλυνε την απομάκρυνση της υγρασίας.



Εικόνα 2.3.1. Κρίταμο: Α. Πριν την ξήρανση (τεμαχισμένα φύλλα). Β. Μετά από 12 ώρες SCD.

Εικόνα Α: Απεικονίζονται τα φρέσκα, τεμαχισμένα φύλλα κρίταμου με ζωηρό, έντονο πράσινο χρώμα και σαρκώδη, χυμώδη υφή.

Εικόνα Β: Παρουσιάζει τα τεμαχισμένα φύλλα κρίταμου μετά την 12ωρη υπερκρίσιμη ξήρανση. Το χρώμα έχει αποχρωματιστεί σημαντικά, αποκτώντας μια ανοιχτή μπεζ-κίτρινη απόχρωση. Η υφή είναι πολύ ξηρή, ελαφριά και εξαιρετικά εύθρυπτη, με τα τεμαχισμένα φύλλα να έχουν σπάσει σε μικρότερα, ακανόνιστα κομμάτια, σχηματίζοντας λεπτή σκόνη.

Τελικές Συνθήκες Αποξήρανσης:

Χρονική Διάρκεια: 12 ώρες.

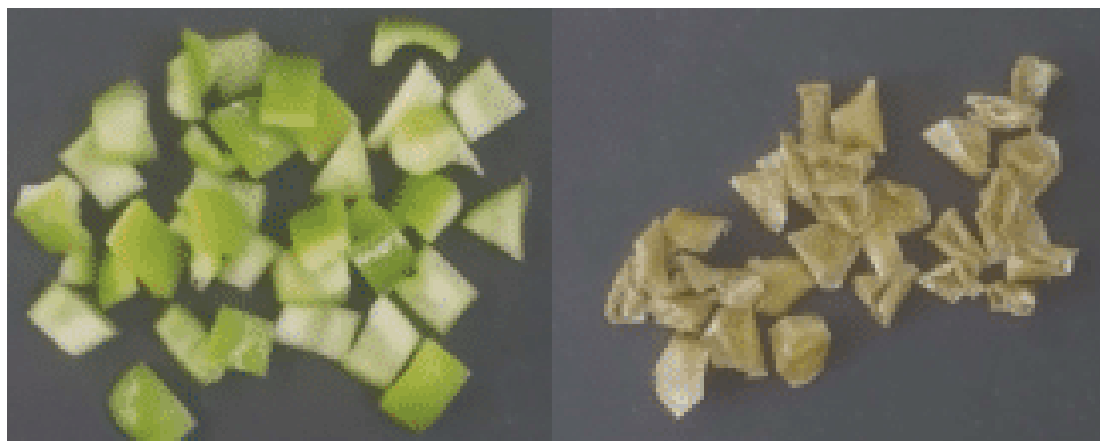
Βασικά Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος & Αξιολόγηση Αποτελεσματικότητας: Το πρωτόκολλο SCD για το κρίταμο οδήγησε σε πλήρη αφυδάτωση, με την τελική ενεργότητα νερού (aw) να ανέρχεται σε 0.438, εξασφαλίζοντας μικροβιολογική σταθερότητα. Ωστόσο, και πάλι παρατηρήθηκε

σημαντικός αποχρωματισμός. Η υφή του τελικού προϊόντος ήταν εξαιρετικά εύθρυπτη, καθιστώντας το ιδανικό για λειοτρίβηση σε σκόνη.

2.4. Πιπεριά

Εισαγωγικά: Η πιπεριά, με το ζωνρό πράσινο χρώμα της, αποτελεί προϊόν στο οποίο η διατήρηση του χρώματος κατά την αποξήρανση είναι κρίσιμη. Η SCD εξετάστηκε για την ικανότητά της να προσφέρει αποτελεσματική αφυδάτωση με ελαχιστοποίηση της ποιοτικής υποβάθμισης.

Προετοιμασία Δείγματος: Οι καρποί της πιπεριάς διαχωρίστηκαν σε δύο ίσα μέρη, αφαιρέθηκαν οι σπόροι και ο ιστός τεμαχίστηκε σε κύβους διαστάσεων 1x1 cm. Αυτή η προετοιμασία ήταν απαραίτητη για την ομοιόμορφη απομάκρυνση της υγρασίας και την επίτευξη συγκρίσιμων αποτελεσμάτων.



Εικόνα 2.4.1. Πιπεριά: Α. Πριν την ξήρανση (τεμαχισμένη). Β. Μετά από 9 ώρες SCD.

Εικόνα Α: Απεικονίζει τα φρέσκα, ομοιόμορφα τεμαχισμένα κομμάτια πράσινης πιπεριάς, με το χαρακτηριστικό ζωνρό πράσινο χρώμα και σαρκώδη υφή.

Εικόνα Β: Παρουσιάζει τα τεμαχισμένα κομμάτια πιπεριάς μετά την 15ωρη υπερκρίσιμη ξήρανση. Το χρώμα έχει μετατραπεί σε πρασινοκαφέ, με αισθητή απώλεια της αρχικής ζωνρότητας. Η υφή είναι σκληρή και εύθρυπτη, με τα κομμάτια να έχουν υποστεί συρρίκνωση.

Τελικές Συνθήκες Αποξήρανσης:

Χρονική Διάρκεια: 15 ώρες.

Βασικά Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος & Αξιολόγηση Αποτελεσματικότητας: Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου SCD για την πιπεριά οδήγησε σε αποτελεσματική αφυδάτωση, με την τελική ενεργότητα νερού (a_w) να ανέρχεται στο 0.43, εξασφαλίζοντας μικροβιολογική σταθερότητα. Ωστόσο, παρατηρήθηκε σταδιακή απώλεια του ζωνρού πράσινου χρώματος, οδηγώντας σε πρασινοκαφέ απόχρωση, γεγονός που υποδηλώνει σημαντική υποβάθμιση χρωστικών. Η υφή του

τελικού προϊόντος ήταν σκληρή και εύθρυπτη. Ενώ η SCD αναμένεται να διατηρήσει τις θερμοευαίσθητες φαινολικές ενώσεις καλύτερα από τη θερμική ξήρανση, η διατήρηση του αρχικού χρώματος παραμένει πρόκληση που απαιτεί περαιτέρω βελτιστοποίηση του πρωτοκόλλου, ενδεχομένως με προσαρμογή θερμοκρασίας/πίεσης ή προ-μεταχειρίσεις του ιστού.

2.5. Στέβια

Εισαγωγικά: Η στέβια είναι ένα φυτό με ιδιαίτερη σημασία λόγω των γλυκαντικών της ιδιοτήτων (στεβιογλυκοσίδες), οι οποίες είναι θερμοευαίσθητες. Η μέθοδος SCD, με τις ήπιες συνθήκες της, προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αποξήρανσή της, διατηρώντας παράλληλα τα λειτουργικά της συστατικά.

Προετοιμασία Δείγματος: Χρησιμοποιήθηκαν φύλλα από ανθισμένο φυτό στέβιας, τα οποία και αποξηράνθηκαν αυτούσια.



Εικόνα 2.5.1. Στέβια: Α. Πριν την ξήρανση (φύλλα). Β. Μετά από 6 ώρες SCD.

Εικόνα Α: Απεικονίζει τα φύλλα στέβιας πριν την ξήρανση, τα οποία παρουσιάζουν μια ελαφρώς μαραμμένη όψη και ανομοιόμορφο πρασινο-καφέ χρώμα, αντικατοπτρίζοντας την αρχική υπο-βέλτιστη κατάσταση του υλικού.

Εικόνα Β: Παρουσιάζει τα φύλλα στέβιας μετά την 6ωρη υπερκρίσιμη ξήρανση. Το χρώμα έχει σκουρύνει σε πρασινο-καφέ. Η υφή είναι ξηρή και άκαμπτη, με τα φύλλα να έχουν συρρικνωθεί.

Τελικές Συνθήκες Αποξήρανσης:

Χρονική Διάρκεια: 6 ώρες.

Βασικά Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος & Αξιολόγηση Αποτελεσματικότητας: Η εφαρμογή του πρωτοκόλλου SCD για τη στέβια οδήγησε σε πλήρη και ταχεία αφυδάτωση, με την τελική ενεργότητα νερού (aw) να ανέρχεται στο 0.388, εξασφαλίζοντας πλήρη μικροβιολογική σταθερότητα. Το χρώμα σκούρυνε και κατά την δεύτερη εφαρμογή με μεταβολή προς πρασινο-καφέ. Η υφή του τελικού προϊόντος ήταν ξηρή και άκαμπτη. Η μέθοδος SCD είναι πολλά υποσχόμενη για τη διατήρηση των θερμοευαίσθητων στεβιογλυκοσιδών.

3. Συμπεράσματα της 2ης Πιλοτικής Εφαρμογής

Η 2η πιλοτική εφαρμογή της μεθόδου υπερκρίσιμου CO₂ (SCD) επιβεβαίωσε την αποτελεσματικότητα των τελικών πρωτοκόλλων στην επίτευξη πλήρους αφυδάτωσης και μικροβιολογικής σταθερότητας ($a_w < 0.5$) για όλα τα εξεταζόμενα φυτικά προϊόντα: μελιτζάνα, επιτραπέζια ελιά, κρίταμο, πιπεριά και στέβια.

Η αξιολόγηση ανέδειξε τα ακόλουθα βασικά σημεία:

Ελιά: Η SCD αποτελεί τη βέλτιστη μέθοδο, διατηρώντας εξαιρετικά τα ποιοτικά και βιοδραστικά χαρακτηριστικά, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την παραγωγή πλούσιου εκχυλίσματος.

Μελιτζάνα & Πιπεριά: Η αφυδάτωση ήταν επιτυχής, αλλά παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στο χρώμα και την υφή του τελικού προϊόντος. Πιθανότατα προ-μεταχειρίσεις του καρπού με κάποιο παράγοντα (π.χ. κιτρικό οξύ) να βελτιώνει το χρωματικό αποτέλεσμα, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για τέτοιες προσαρμογές.

Κρίταμο: Παρότι η πλήρης αφυδάτωση επιτεύχθηκε, η διατήρηση των αντιοξειδωτικών παραμένει πρόκληση, κυρίως λόγω φαινομένων πλαστικοποίησης του ιστού.

Στέβια: Η μέθοδος SCD επιβεβαίωσε την ταχεία και αποτελεσματική αφυδάτωση, με τις ήπιες συνθήκες να είναι ιδανικές για τη διατήρηση των θερμοευαίσθητων στεβιογλυκοσιδών.

Συνολικά, η 2η πιλοτική εφαρμογή του έργου INNODRY υπήρξε επιτυχής, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα χρήσης της μεθόδου SCD για την παραγωγή καινοτόμων, σταθερών και ποιοτικών αποξηραμένων φυτικών προϊόντων όσον αφορά την ελιά, τη στέβια και σε ένα βαθμό το κρίταμο. Τα τελικά αυτά πρωτόκολλα παρέχουν μια ισχυρή βάση για τη μεταφορά της τεχνογνωσίας στους παραγωγούς για την περαιτέρω εμπορική αξιοποίηση των προϊόντων.

Ακολουθούν ενδεικτικά φωτογραφίες από τις ημέρες της 2ης πιλοτικής *ex situ* εφαρμογής με υπερκρίσιμο CO₂ στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του ΙΓΒΦΠ-ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ με τους παραγωγικούς φορείς στους οποίους επιδείχθηκε η προετοιμασία του δείγματος και η λειτουργία του συστήματος αποξήρανσης με υπερκρίσιμο CO₂ ενώ παράλληλα συζητήθηκαν και οι αρχές λειτουργίας και εφαρμογών του.



Εικόνα 1. Προετοιμασία δειγμάτων και τοποθέτηση στο basket του συστήματος



Εικόνα 2. Λειτουργία συστήματος υπερκρίσιμου CO₂ και εξαγωγή νερού από τα δείγματα προϊόντων