

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΝΘΥΛΑΚΩΜΕΝΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ *Yarrowia lipolytica*, ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΨΗ

A. Αθανασιάδη^{1,2}, A. Τσιρίγκα^{1,2}, Σ.Ι. Πάτσιος², Π. Βαρελτζής^{1,*}

¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

²Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Θέρμη, Ελλάδα

(*pkvareltzis@cheng.auth.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η δυνατότητα αφυδάτωσης κυττάρων *Yarrowia lipolytica* έχοντας ως κύριο στόχο την αξιοποίησή τους ως πρόσθετα τροφίμων. Για το σκοπό αυτό εξετάζεται η σταθερότητα των χαρακτηριστικών των αφυδατωμένων κυττάρων και μελετάται η ικανότητα επιβίωσής τους κατά την έκθεση στις ακραίες συνθήκες της ξήρανσης ψεκασμού και της ανθρώπινης πέψης.

Για την αφυδάτωση των κυττάρων εφαρμόστηκε η διαδικασία ξήρανσης ψεκασμού (SD). Δοκιμάστηκαν 6 διαφορετικές συνθήκες μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία εισόδου (100 – 130 °C) και χρησιμοποιώντας διαφορετικές ποσότητες υλικών ενθυλάκωσης (μαλτοδεξτρίνης ή ινουλίνης). Ως βάση σύγκρισης χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα ενός λυοφιλιωμένου δείγματος κυττάρων (FD). Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των SD και FD δειγμάτων όσον αφορά την περιεκτικότητα πρωτεϊνών και καροτενοειδών, με το FD δείγμα να δίνει τα πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα (45,21% w/w dwt. και 7,84 μg καροτ./g ξ. βιομάζας, αντίστοιχα). Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις και ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες συνθήκες ξήρανσης και τη χρήση προσθέτων, οι αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού λιπιδίων, αντιοξειδωτικής ικανότητας και βαθμού οξείδωσης, δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα με αυτά του FD δείγματος, πιθανώς λόγω της μορφολογίας των κόκκων που επιτρέπει την αποτελεσματική εκχύλιση αυτών των βιοδραστικών ενώσεων.

Στην ξήρανση ψεκασμού, τα δείγματα που δίνουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε πρωτεΐνες και καροτενοειδή προκαλώντας ταυτόχρονα μικρότερη οξείδωση λιπιδίων είναι αυτά στα οποία χρησιμοποιείται μαλτοδεξτρίνη (5, 10 και 15% w/v) και θερμοκρασία ξήρανσης 100 °C. Από την άλλη πλευρά, η ενθυλάκωση με ινουλίνη 1% w/v στους 100 °C οδηγεί σε καλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα αποξηραμένα δείγματα ψεκασμού. Όσον αφορά την επιβίωση των αποξηραμένων δειγμάτων κατά τη διαδικασία της ξήρανσης ψεκασμού, τη μεγαλύτερη βιωσιμότητα την παρουσιάζει η ενθυλακωμένη σκόνη με ινουλίνη 1% w/v ($5,40 \cdot 10^9$ CFU/g ξ. βιομάζας), ενώ κατά τη διαδικασία της πέψης (INFOGEST) προκύπτει ότι η μαλτοδεξτρίνη (10% w/v) προστατεύει αποτελεσματικότερα τα κύτταρα ($0,93 \cdot 10^7$ CFU/g ιζήματος και $0,82 \cdot 10^4$ CFU/mL υπερκείμενου).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: *Yarrowia lipolytica*, ενθυλάκωση, διατροφικά χαρακτηριστικά, αντιοξειδωτική ικανότητα, βιωσιμότητα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η *Yarrowia lipolytica* έχει ταξινομηθεί ως μία "μη συμβατική ζύμη" και τα τελευταία χρόνια έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και των ευέλικτων εφαρμογών της ^[1]. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία ζύμη για διατροφικές εφαρμογές, η οποία αποδομεί πολύ αποτελεσματικά υδρόφοβα υποστρώματα όπως λιπαρά οξέα, λίπη και έλαια με σκοπό να παράγει πολύτιμα βιοτεχνολογικά μεταβολικά προϊόντα. Σε αυτά συμπεριλαμβάνεται μία ποικιλία διάφορων πρωτεϊνών, ενζύμων, οργανικών οξέων και λιπιδίων.

Παράλληλα, έχει ταξινομηθεί ως ένας μη παθογόνος μικροοργανισμός και έχει αναγνωριστεί ως ασφαλής για εφαρμογές σε τρόφιμα και ζωοτροφές από την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) [2]. Επίσης, αρκετές είναι οι έρευνες που αποδεικνύουν τις προβιοτικές της ιδιότητες [3], οι οποίες της δίνουν τη δυνατότητα να διαμορφώνει τη σύνθεση του εντερικού μικροβιόκοσμου και να παρέχει οφέλη στην υγεία του ξενιστή.

Γενικά για την εύχρηστη διαχείριση των μικροοργανισμών σε βιομηχανικές και βιοτεχνολογικές διεργασίες, έχει προταθεί η ξήρανσή τους και η μετατροπή τους σε μορφή σκόνης μέσω διάφορων τεχνικών ξήρανσης όπως είναι η λυοφιλίωση και η ξήρανση με ψεκασμό. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι απομακρύνουν την υγρασία από τα κύτταρα, ωστόσο μπορεί να προκαλέσουν μειωμένη βιωσιμότητα στις παραγόμενες αποξηραμένες σκόνες ζυμομυκήτων. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι βλάβες και να διατηρηθεί η ακεραιότητα της κυτταρικής μεμβράνης, εφαρμόζεται η τεχνική της μικροενθυλάκωσης [4]. Παράλληλα, με την ενθυλάκωση, οι προβιοτικοί μικροοργανισμοί προστατεύονται από τις δυσμενείς συνθήκες του γαστρεντερικού συστήματος κατά τη διαδικασία της πέψης, με αποτέλεσμα να καταφέρνουν να φτάνουν σε επαρκή αριθμό στο έντερο και να ασκούν τα ευεργετικά τους αποτελέσματα στον ξενιστή.

Αντικείμενο της συγκεκριμένης μελέτης αποτελεί, σε πρώτο στάδιο, ο χαρακτηρισμός ενθυλακωμένων κυττάρων *Y. lipolytica*. Αρχικά προσδιορίζονται τα θρεπτικά χαρακτηριστικά των αποξηραμένων σκονών, που περιλαμβάνουν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, λιπίδια και καροτενοειδή. Στη συνέχεια, εκτιμάται η αντιοξειδωτική ικανότητα των δειγμάτων, η οποία με βάση πρόσφατες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις δεν έχει διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Επιπλέον εξετάζεται ο βαθμός οξειδωσης των λιπιδίων που μπορεί να προκληθεί κατά την έκθεση των κυττάρων στις υψηλές θερμοκρασίες της διαδικασίας ξήρανσης ψεκασμού. Σε δεύτερο στάδιο μελετάται η επιβίωση των κυττάρων στα αποξηραμένα δείγματα ώστε να διαπιστωθεί η προστατευτική ικανότητα των ενθυλακωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται. Τέλος, μελετάται η ικανότητα επιβίωσης των κυττάρων κατά τη διάρκεια της πέψης και συγκεκριμένα κατά την έκθεση τους στις ακραίες συνθήκες του στομάχου και του εντέρου.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας μελετώνται, κατά κύριο λόγο, τα αποξηραμένα κύτταρα *Y. lipolytica*, τα οποία προέρχονται από διεργασίες ξήρανσης ψεκασμού (spray drying) μέσω ενός ξηραντήρα ψεκασμού ADL311S (Yamato Scientific Co., Ltd., Tokyo, Japan). Συνολικά εφαρμόζονται 6 διαφορετικές συνθήκες, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και αφορούν δοκιμές πάνω στο υλικό ενθυλάκωσης, στην ποσότητα του υλικού ενθυλάκωσης και στη θερμοκρασία εισόδου αέρα στον ξηραντήρα. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται ενδεικτικά μία από τις παραγόμενες σκόνες αποξηραμένης βιομάζας, οι οποίες διαθέτουν ανοιχτό μπεζ χρώμα και μία ελαφριά οσμή μαγιάς.

Πίνακας 1. Συνθήκες ξήρανσης ψεκασμού κυττάρων *Y. lipolytica*

a/a	Ενθυλάκωση (%)	Θερμοκρασία εισόδου (°C)
1.	Χωρίς ενθυλάκωση	-
2.	Ινουλίνη	1%
3.	Μαλτοδεξτρίνη	5%
4.	Μαλτοδεξτρίνη	10%
5.	Μαλτοδεξτρίνη	15%
6.	Μαλτοδεξτρίνη	10%



Εικόνα 1. Παραγόμενη σκόνη κυττάρων *Y. lipolytica* μετά από ξήρανση ψεκασμού

Ένα προκαταρκτικό στάδιο για την ανάλυση των προαναφερθέντων δειγμάτων αποτελεί η απελευθέρωση των ενδοκυττάρων προϊόντων του ζυμομύκητα, μέσω διάσπασης του κυτταρικού τοιχώματος. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται η επεξεργασία υπερήχων (με ομογενοποιητή υπερήχων ή λουτρό υπερήχων). Εφόσον απελευθερωθούν τα ενδοκυττάρια προϊόντα, μπορούν στη συνέχεια να εφαρμοστούν οι κατάλληλες αναλυτικές μέθοδοι για την ανίχνευση των πρωτεϊνών, λιπιδίων, καροτενοειδών και αντιοξειδωτικών ουσιών.

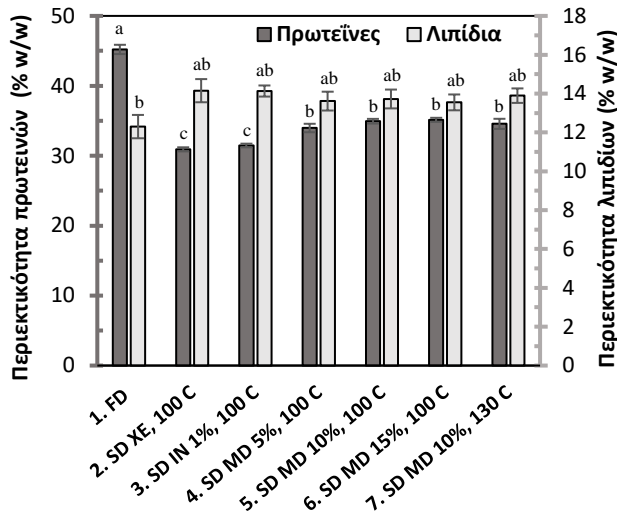
Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της υδατοδιαλυτής πρωτεΐνης εφαρμόζεται η αναλυτική μέθοδος Lowry^[5]. Η εξαγωγή και η ποσοτικοποίηση των λιπιδίων πραγματοποιείται με τη μέθοδο Folch, σύμφωνα με τους Tsigirika et al. (2022)^[6]. Η εξέταση της οξείδωσης των λιπιδικών σωμάτων γίνεται με δύο διαφορετικές μεθόδους^[7]: (α) την Peroxide value (PV) και (β) την TBARS με τις οποίες μπορούν να ανιχνευθούν τα πρωτογενή και τα δευτερογενή προϊόντα οξείδωσης, αντίστοιχα. Για την ποσοτικοποίηση των καροτενοειδών χρησιμοποιείται η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Yang et al (1998)^[8]. Το αντιοξειδωτικό δυναμικό των δειγμάτων ζυμομύκητα προσδιορίζεται με 3 διαφορετικές φασματοφωτομετρικές μεθόδους^[9]: (α) την Folin–Ciocalteu για το ολικό φαινολικό περιεχόμενο, (β) την ικανότητα δέσμευσης ελευθέρων ριζών DPPH και (γ) την αναγωγική ικανότητα (FRAP). Η προσομοίωση της ανθρώπινης πέψης γίνεται εφαρμόζοντας το στατικό *in vitro* πρωτόκολλο INFOGEST^[7], το οποίο μιμείται τα τρία κύρια στάδια της πέψης, τη φάση του στόματος, τη φάση του στομάχου και τη φάση του εντέρου. Τέλος, για τη μελέτη της βιωσιμότητας των κυττάρων *Y. lipolytica*, εφαρμόζεται η κλασική μέθοδος μέτρησης αποικιών σε τρυβλίο θρεπτικού υποστρώματος YPG (yeast extract 10 g/L, peptone 20 g/L, glycerol 2% v/v) με τη μέθοδο των διαδοχικών αραιώσεων ($1 - 10^{-4}$).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

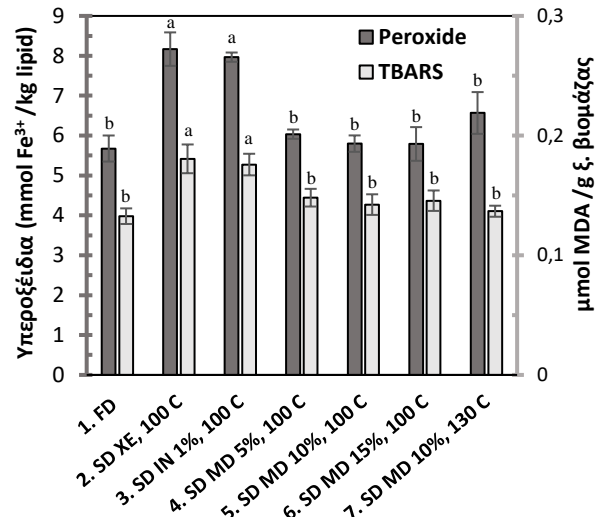
Στα Σχήματα 1 έως 6, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλυτικών μεθόδων για το λυοφιλιωμένο δείγμα και τις παραγόμενες με ψεκασμό σκόνες. Οι μετρήσεις διεξάγονται εις τριπλούν και υπολογίζεται ο μέσος όρος τους. Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων εφαρμόζεται η ανάλυση διακύμανσης one way ANOVA σε συνδυασμό με τον έλεγχο Tukey, με διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Οι διαφορές θεωρούνται σημαντικές για $p < 0,05$.

Το Σχήμα 1 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας πρωτεϊνών και λιπιδίων, η τάξη μεγέθους των οποίων βρίσκονται σε συμφωνία με τη διεθνή βιβλιογραφία^[2]. Όσον αφορά τις πρωτεΐνες, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα φαίνεται να την παρουσιάζει το λυοφιλιωμένο δείγμα (~45% w/w), το οποίο εμφανίζει σημαντικές στατιστικές διαφορές με τις σκόνες ξήρανσης ψεκασμού που κυμαίνονται σε σχετικά χαμηλότερα ποσοστά. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει την πιθανή αρνητική επίδραση της θερμικής καταπόνησης κατά τη διαδικασία ξήρανσης ψεκασμού. Επίσης παρατηρείται ότι η ενθυλάκωση με ινουλίνη φαίνεται να μην συμβάλει στην προστασία αυτών των βιοδραστικών ενώσεων, σε αντίθεση με τη μαλτοδεξτρίνη που δίνει πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα ακόμα και κατά την επεξεργασία των 130 °C.

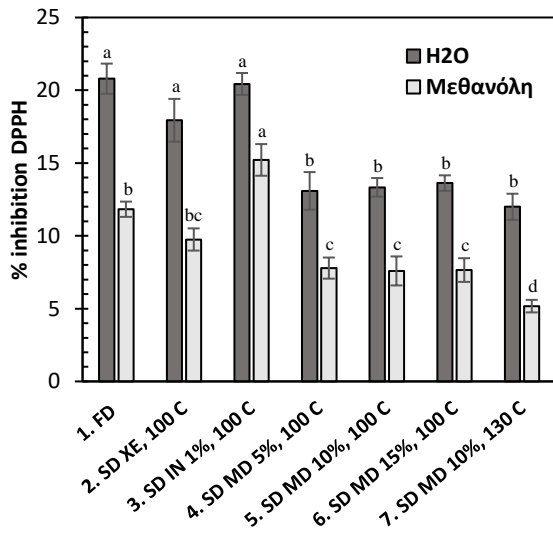
Όσον αφορά τα λιπίδια, οι σκόνες ξήρανσης ψεκασμού δίνουν συγκρίσιμα μεταξύ τους αποτελέσματα που κυμαίνονται σε ποσοστό ~14% w/w. Αντίθετα, η λυοφιλιωμένη σκόνη εμφανίζει μικρότερη περιεκτικότητα, χωρίς όμως να παρουσιάζει σημαντικές στατιστικές διαφορές με τις σκόνες ψεκασμού. Αυτό πιθανώς αποδίδεται στη διαφορετική μορφολογία των κόκκων που μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική εκχυλισιμότητα των λιπιδίων. Επιπλέον, προκύπτει ότι ούτε η ποσότητα του ενθυλακωτικού παράγοντα, ούτε η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 100 στους 130 °C επηρεάζουν το ποσοστό των λιπιδίων. Ωστόσο, από το Σχήμα 2, αποδεικνύεται η αναποτελεσματική χρήση της ινουλίνης ως προστατευτικός παράγοντας λιπιδίων, εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης πρωτογενών και δευτερογενών προϊόντων οξείδωσης που διαθέτει το δείγμα. Αντίθετα, η μαλτοδεξτρίνη οδηγεί σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις αυτών των προϊόντων, με αποτέλεσμα να εμφανίζει σαφώς αποτελεσματικότερη συμπεριφορά στη προστασία λιπιδίων.



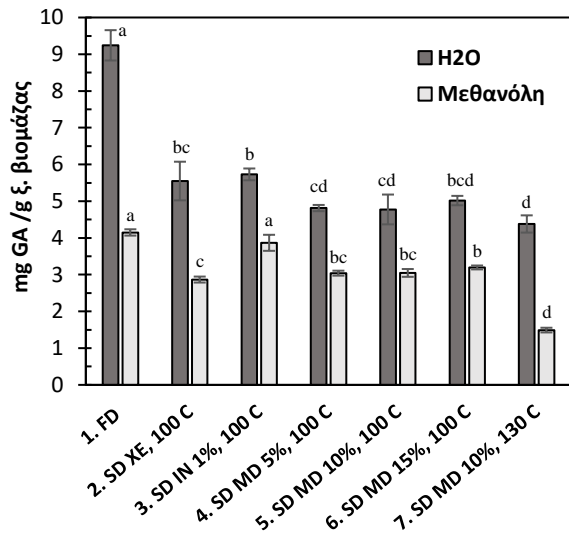
Σχήμα 1. Περιεκτικότητα πρωτεϊνών και λιπιδίων στα δείγματα ξηρής βιομάζας.



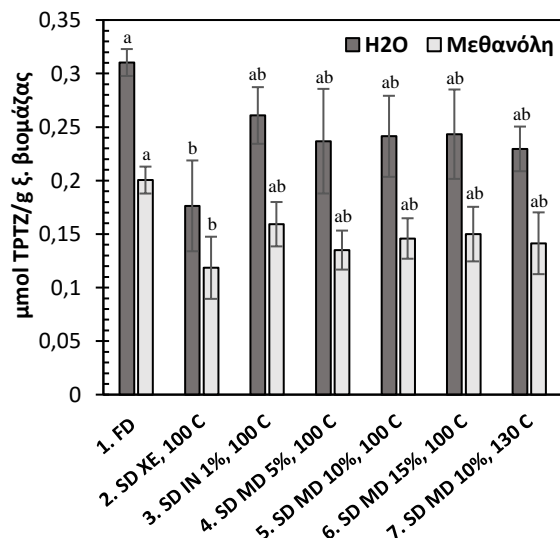
Σχήμα 2. Συγκέντρωση υπεροξειδίων και MDA στα δείγματα ξηρής βιομάζας.



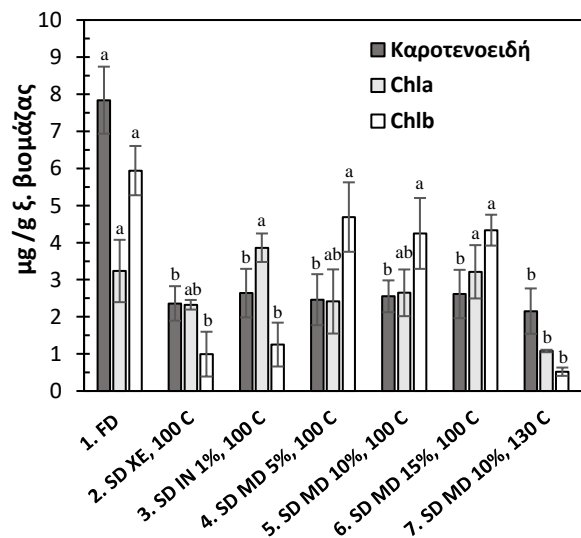
Σχήμα 3. % Inhibition DPPH στα δείγματα ξηρής βιομάζας



Σχήμα 4. Συγκέντρωση ολικών φαινολικών στα δείγματα ξηρής βιομάζας.



Σχήμα 5. Αναγωγική ικανότητα στα δείγματα ξηρής βιομάζας.

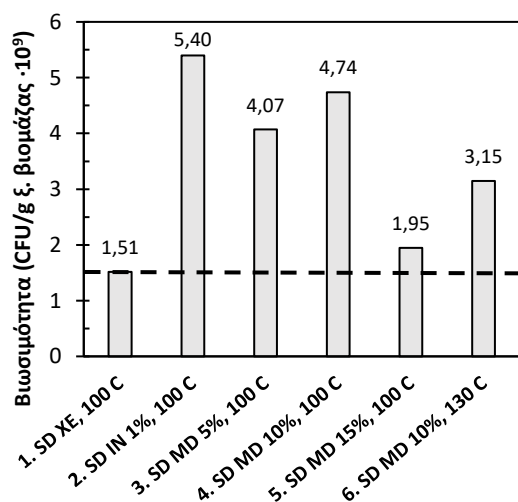


Σχήμα 6. Συγκέντρωση καροτενοειδών και χλωροφυλλών στα δείγματα ξηρής βιομάζας.

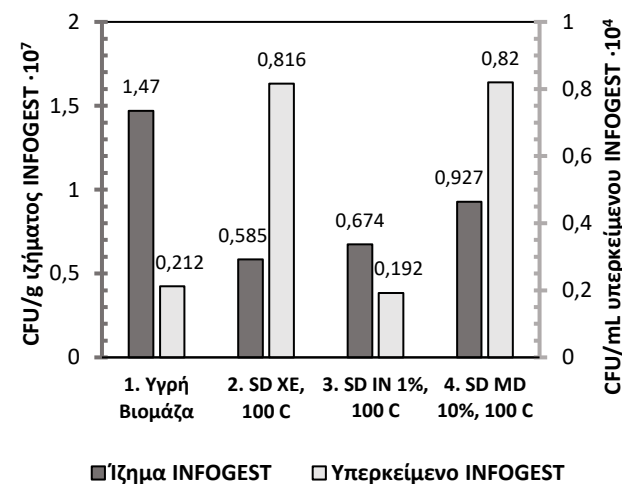
* Διαφορετικά πεζά λατινικά γράμματα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά (p < 0,05)

* Όπου FD: freeze dried, SD: spray dried, XE: χωρίς ενθυλάκωση, IN: ινουλίνη, MD: μαλτοδεξτρίνη

Στα Σχήματα 3, 4 και 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεθόδων DPPH, Folin και FRAP αντίστοιχα. Η εκχύλιση των αντιοξειδωτικών ουσιών πραγματοποιείται σε δύο ειδών διαλύματα: σε (α) υδατικό και (β) μεθανολικό διάλυμα. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η βέλτιστη εκχύλιση και για τις τρεις μεθόδους είναι η υδατική, καθώς οδηγεί σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αντιοξειδωτικών ουσιών σε σχέση με τη μεθανολική. Επίσης, όπως και στις πρωτεΐνες, το λυοφιλιωμένο δείγμα εμφανίζει τη μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα σε σχέση με τις σκόνες ψεκασμού, παρόλο που σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Όσον αφορά την ενθυλάκωση, η μαλτοδεξτρίνη φαίνεται να δυσχεραίνει την εκχύλιση σε αντίθεση με την ινουλίνη που οδηγεί σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αντιοξειδωτικών, πιθανώς λόγω της μορφολογίας των κόκκων. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας από τους 100 στους 130 °C προκαλεί αισθητή μείωση των αντιοξειδωτικών. Σε γενικές γραμμές αποδεικνύεται η μέτρια αντιοξειδωτική ικανότητα της ζύμης όπως αυτή προσδιορίζεται από τις μεθόδους DPPH (12-21% w/w) και FRAP (0,18–0,31 μmol TPTZ/g ξ. βιομάζας). Ωστόσο, η Folin δίνει πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα (4,4–9,2 mg GA/g ξ. βιομάζας), καθώς οι υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτερες από αυτές που έχουν βρεθεί βιβλιογραφικά για τη συγγενή ζύμη *S. cerevisiae* [10]. Το Σχήμα 6 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των καρτενοειδών και των χλωροφυλλών α και β. Τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα καρτενοειδών, και σε αυτή την περίπτωση, φαίνεται να την έχει η λυοφιλιωμένη σκόνη (~ 7,8 μg/g ξ. βιομάζας). Επίσης προκύπτει ότι ούτε η μαλτοδεξτρίνη ούτε η ινουλίνη αποτελούν αποτελεσματικούς θερμοπροστατευτικούς παράγοντες αυτών των συστατικών, γεγονός που αποδεικνύεται από τις μικρές συγκεντρώσεις στις υψηλές θερμοκρασίες των 100 και 130 °C. Σε γενικές γραμμές οι υπολογιζόμενες ποσότητες καρτενοειδών είναι χαμηλές, ωστόσο δεν θεωρούνται αμελητέες καθώς είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτές που περιέχονται σε ορισμένα είδη μανταρινιών και κολοκύνθων [11].



Σχήμα 7. Βιωσιμότητα αποξηραμένων κυττάρων



Σχήμα 8. Βιωσιμότητα δειγμάτων INFOGEST

* Όπου FD: freeze dried, SD: spray dried, XE: χωρίς ενθυλάκωση, IN: ινουλίνη, MD: μαλτοδεξτρίνη

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιωσιμότητας των αποξηραμένων σκονών εκφρασμένα σε CFU · 10⁹/g ξ. βιομάζας. Δεδομένου ότι η ελάχιστη ποσότητα ζωντανών κυττάρων που συνίσταται να έχουν τα προβιοτικά τρόφιμα τη στιγμή της κατανάλωσης είναι 10⁷ CFU/g ξ. βιομάζας [12], προκύπτει ότι όλες οι παραγόμενες σκόνες ψεκασμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυναμικά στα τρόφιμα ως προβιοτικά. Τη μεγαλύτερη βιωσιμότητα κυττάρων την παρουσιάζει η ενθυλακωμένη σκόνη με ινουλίνη, η οποία φαίνεται να είναι ικανή να δημιουργήσει ένα προστατευτικό περιβάλλον γύρω από τα κύτταρα. Η μαλτοδεξτρίνη με τη σειρά της προσφέρει επίσης υψηλή προστασία, ιδιαίτερα όταν αυτή βρίσκεται σε ποσοστό 10% w/v, ενώ η αποτελεσματική της δράση αποδεικνύεται και κατά την επεξεργασία στους 130 °C. Τέλος, στο Σχήμα 8 φαίνονται τα αποτελέσματα της βιωσιμότητας των κυττάρων μετά από τη διαδικασία της

πέψης. Η μελέτη αυτή πραγματοποιείται τόσο στο ίζημα όσο και στο υπερκείμενο που προκύπτουν μετά από φυγοκέντριση του τελικού δείγματος της διαδικασίας της πέψης, διότι οι δύο αυτές φάσεις επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό τη λειτουργία του εντέρου. Συγκεκριμένα, το υπερκείμενο αντιπροσωπεύει το βιοδιαθέσιμο μέρος του προβιοτικού τροφίμου το οποίο μπορεί να απορροφηθεί από τις εντερικές λάχνες του λεπτού εντέρου και να ανταγωνιστεί την εντερική μικροχλωρίδα για θρεπτικά συστατικά ή σημεία προσκόλλησης. Αντίθετα το ίζημα είναι το άπεπτο μέρος του προβιοτικού τροφίμου, το οποίο λόγω της ταχείας διέλευσης δεν καταφέρνει να απορροφηθεί στο λεπτό έντερο, με αποτέλεσμα να οδηγείται προς το παχύ έντερο (κόλον). Στο κόλον βρίσκεται η κυριότερη λειτουργική θέση των προβιοτικών κυττάρων τα οποία μπορούν να δράσουν με δύο τρόπους: (α) είτε ανταγωνιζόμενα τη βακτηριακή πυκνότητα για θρεπτικά συστατικά και θέσεις προσκόλλησης, όπως συμβαίνει και στην περιοχή του λεπτού εντέρου, είτε (β) χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη εντερικών μικροοργανισμών ωφέλιμων για την υγεία, εις βάρος άλλων παθογόνων βακτηρίων. Τελικά, προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη βιωσιμότητα, τόσο στο υπερκείμενο όσο και στο ίζημα, την παρουσιάζει η ενθυλακωμένη σκόνη με μαλτοδεξτρίνη. Αντίθετα η ινουλίνη φαίνεται να μην προσφέρει αποτελεσματική προστασία στα κύτταρα πιθανώς λόγω της μικρής ποσότητας που χρησιμοποιείται (1% w/v). Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αποξηραμένη ζύμη *Y. lipolytica* με ξήρανση ψεκασμού είναι πολύ ενδιαφέρουσα για χρήση σε εφαρμογές τροφίμων δεδομένων των θρεπτικών χαρακτηριστικών της ζύμης, της εξαιρετικής βιωσιμότητας των αποξηραμένων κυττάρων, της βιωσιμότητας σε συνθήκες πέψης, και της προβιοτικής της δράσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια της προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας της Αθανασιάδη Α., υπό την επίβλεψη του καθηγητή Βαρελτζή Π. και την επιστημονική καθοδήγηση του δόκτορα Πάτσιου Σ.Ι. και της υποψήφιας διδακτόρισσας Τσιρίγκα Α.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Darvishi Harzevili, F. (2014). *SpringerBriefs in Microbiology*, ISBN: 978-3-319-06437-6.
- [2] Turck, D., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K., Kearney, J., Maciuk, A., et al. (2019). *EFSA J.*, 17 (2), e05594.
- [3] Guardiola, F.A., Esteban, M.Á., and Angulo, C. (2021). *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 105 (20), 7577–7592.
- [4] Wanderley, L.A. dos S., Aguiar, G.P.S., Calisto, J.F.F., Magro, J.D., Rossato, G., Zotti, C.A., et al. (2023). *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 39 (4), 88.
- [5] Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L., and Randall, R.J. (1951). *J. Biol. Chem.*, 193 (1), 265–275.
- [6] Tsiirigka, A., Ntola, M., Kontogiannopoulos, K.N., Karabelas, A.J., and Patsios, S.I. (2022). *Fermentation*, 9 (1), 35.
- [7] Floros, S., Toskas, A., Pasidi, E., and Vareltzis, P. (2022). *Molecules*, 27 (2), 415.
- [8] Yang Chi-Ming, Chang Kuo-Wei, Yin Ming-Horng, and Huang Hsu-Men (1998). *Taiwania*, 43 (2), 116–122.
- [9] Kyroglou, S., Thanasouli, K., and Vareltzis, P. (2021). *J. Sci. Food Agric.*, 101 (11), 4789–4798.
- [10] Cui, N., Perré, P., Michiels, E., and Pozzobon, V. (2023). *Bioengineering*, 10 (2), 246.
- [11] Dias, M.G., Borge, G.I.A., Kljak, K., Mandić, A.I., Mapelli-Brahm, P., Olmedilla-Alonso, B., et al. (2021). *Foods*, 10 (5), 912.
- [12] Semyonov, D., Ramon, O., Kaplun, Z., Levin-Brener, L., Gurevich, N., and Shimoni, E. (2010). *Food Res. Int.*, 43 (1), 193–202.