

**ΧΡΗΣΗ ΕΞΑΝΤΛΗΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ, ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΦΑΒΑΣ ΚΑΙ ΚΑΦΕ ΕΣΠΡΕΣΟ ΣΕ ΖΥΜΩΣΕΙΣ ΣΤΕΡΕΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ *Pleurotus ostreatus***

**Μ. Δεδούση<sup>1,2,\*</sup>, Η. Διαμάντης<sup>1,2</sup>, Ε.-Μ. Μελανούρη<sup>1,2</sup>, Π. Αντωνοπούλου<sup>2</sup>, Γ. Χερουβείμ<sup>2</sup>, Χ. Γαρδέλη<sup>1</sup>, Π. Διαμαντοπούλου<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, ΓΠΑ, Αθήνα, Ελλάδα

<sup>2</sup> Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, Ινστιτούτο Τεχνολογίας Αγροτικών Προϊόντων (ΙΤΑΠ), Εργαστήριο Εδώδιμων Μυκήτων (ΕΕΜ), Λυκόβρυση, Ελλάδα

(\*[mdedousi@aua.gr](mailto:mdedousi@aua.gr))

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγήμανιταριών παγκοσμίως, λόγω της θρεπτικής τους αξίας και της μοναδικής τους γεύσης έχει οδηγήσει στην συσσώρευση του κύριου παραπροϊόντος της καλλιέργειάς τους, του εξαντλημένου υποστρώματος καλλιέργειαςμανιταριών (ΕΥΚΜ, spent mushroom substrate) <sup>[1]</sup>. Πρόκειται για ένα σύνθετο μείγμα οργανικής ύλης και μυκηλίου, ενώ έχει υπολογιστεί ότι από την παραγωγή ενός κιλού φρέσκωνμανιταριών παράγονται περίπου πέντε κιλά ΕΥΚΜ <sup>[2], [3]</sup>. Στην παρούσα μελέτη επαναχρησιμοποιήθηκε το ΕΥΚΜ που παράγεται σε εγχώρια φάρμαμανιταριών μόνο του ή σε συνδυασμό με στερεά αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα (υπολείμματα συγκομιδής φάβας *Lathyrus clymenum* - ΥΦ, υπολείμματα καφέ εσπρέσο - ΥΚ) για τον σχηματισμό νέων υποστρωμάτων καλλιέργειας του *Pleurotus ostreatus* σε ζυμώσεις στερεής κατάστασης σε γυάλινους σωλήνες (200x28 mm, 80 mL όγκο) με σκοπό τη βιομετατροπή των παραπροϊόντων σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας σε συνδυασμό με την οικολογική τους διαχείριση. Η αξιολόγηση των υποστρωμάτων έγινε βάσει της βιολογικής αποδοτικότητας (Β.Α. %, το πηλίκο του νωπού βάρους των παραγόμενων καρποφοριών προς το ξηρό βάρος του υποστρώματος x100), του μέσου νωπού βάρους, της διαμέτρου του πύλου και του μήκους/πάχους του στίπου των καρποφοριών, ενώ το υπόστρωμα αχύρου σίτου χρησιμοποιήθηκε σαν μάρτυρας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ικανοποιητικές τιμές Β.Α. σημειώθηκαν στα εναλλακτικά υποστρώματα, 63,06% στο ΕΥΚΜ-ΥΦ, 67,02% στο ΕΥΚΜ, ενώ ο συνδυασμός ΕΥΚΜ-ΥΚ οδήγησε στην αύξησή της, 71,00%, τιμή πιο κοντά σε αυτή του μάρτυρα (78,34%). Όσον αφορά στο μέσο βάρος και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρποφοριών, αυτά φαίνεται να μην επηρεάστηκαν από το υπόστρωμα καλλιέργειας. Το μέσο βάρος κυμάνθηκε από 2,01 έως 2,30 g, η διάμετρος πύλου από 27,70 έως 29,63 mm, το πάχος του στίπου από 3,25 έως 3,86 mm, ενώ ελαφρώς πιο κοντοί ήταν οι στίποι των καρποφοριών που παρήχθησαν στα εναλλακτικά υποστρώματα (25,35-26,71 mm) σε σχέση με του μάρτυρα (29,34 mm), στοιχείο θετικό για τομανιτάρι αυτό. Συμπερασματικά, το ΕΥΚΜ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δεύτερο κύκλο καλλιέργειας τουμανιταριού *P. ostreatus*, μόνο του ή σε συνδυασμό με άλλα αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης και της κυκλικής οικονομίας. Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα για το διατροφικό προφίλ των καρποφοριών θα παρείχε περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση αυτών των εναλλακτικών υποστρωμάτων στο συγκεκριμένο προϊόν.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα, βιολογική αποδοτικότητα, πύλος, στίπος

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η καλλιέργειαμανιταριών αυξάνεται συνεχώς παγκοσμίως, αφού ταμανιτάρια αποτελούν μία υγιεινή τροφή λόγω των θρεπτικών τους συστατικών, αλλά και της ιδιαίτερης γεύσης τους <sup>[4]</sup>. Λόγω της ταχείας ανάπτυξης της βιομηχανίαςμανιταριών, τα παραπροϊόντα της καλλιέργειάς τους

αναμένεται να φτάσουν περίπου τους 104 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2026 <sup>[1]</sup>. Το κύριο παραπροϊόν της καλλιέργειας μανιταριών, ονομάζεται εξαντλημένο υπόστρωμα καλλιέργειας μανιταριών (EYKM, spent mushroom substrate) και πρόκειται για ένα σύνθετο μείγμα οργανικής ύλης και μυκηλίου. Έχει υπολογιστεί ότι από την παραγωγή ενός κιλού φρέσκων μανιταριών παράγονται περίπου πέντε κιλά EYKM <sup>[2], [3]</sup>. Η καύση και άλλες πρακτικές που εφαρμόζονται για την διαχείριση του όγκου αυτών των παραπροϊόντων μπορεί να προκαλέσουν περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως μόλυνση του εδάφους, ρύπανση του αέρα και των υδάτων <sup>[5]</sup>. Για αυτόν τον λόγο, οι ερευνητές αναζητούν περισσότερο βιώσιμες/ οικολογικές πρακτικές διαχείρισης του EYKM και γενικότερα των αγροτο-βιομηχανικών παραπροϊόντων, όπως η επαναχρησιμοποίησή τους σε νέους κύκλους καλλιέργειας μανιταριών μέσω ζυμώσεων στερεάς κατάστασης. Έτσι, στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας τα αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά υποστρώματα καλλιέργειας, με σκοπό την ταυτόχρονη παραγωγή μανιταριών, υψηλής θρεπτικής και εμπορικής αξίας <sup>[6], [7]</sup>. Μεταξύ των μυκήτων, τα *Pleurotus* spp. είναι τα καταλληλότερα για να αποικίσουν πληθώρα υποστρωμάτων. Τα ένζυμα που εκκρίνουν είναι ικανά να αποικοδομήσουν γρήγορα την βιομάζα των υποστρωμάτων <sup>[7], [8]</sup>. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η επαναχρησιμοποίηση του EYKM, μόνο του ή σε συνδυασμό με στερεά αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα, υπολείμματα συγκομιδής φάβας *Lathyrus clymenum* και υπολείμματα καφέ εσπρέσο, για την δημιουργία εναλλακτικών υποστρωμάτων καλλιέργειας του *Pleurotus ostreatus*. Τα υποστρώματα θα αξιολογηθούν βάσει της βιολογικής αποδοτικότητας και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων καρποφοριών.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε το στέλεχος *P. ostreatus* AMRL 144 που διατηρείται στην τράπεζα καθαρών καλλιέργειών του Εργαστηρίου Εδώδιμων Μυκήτων (ΕΕΜ/ΙΤΑΠ/ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ) και παρασκευάστηκε σπόρος <sup>[6]</sup>.

Σχετικά με τα στερεά αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα, εξαντλημένο υπόστρωμα καλλιέργειας μανιταριών - EYKM, υπολείμματα συγκομιδής φάβας *Lathyrus clymenum* - ΥΦ, υπολείμματα καφέ εσπρέσο - ΥΚ), συλλέχθηκαν από ελληνικές φάρμες και βιομηχανίες. Πριν από την παρασκευή των τελικών υποστρωμάτων καλλιέργειας, όλα τα αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα εμβαπτίστηκαν σε νερό έως 12 ώρες και στη συνέχεια παρέμειναν για στράγγιση.

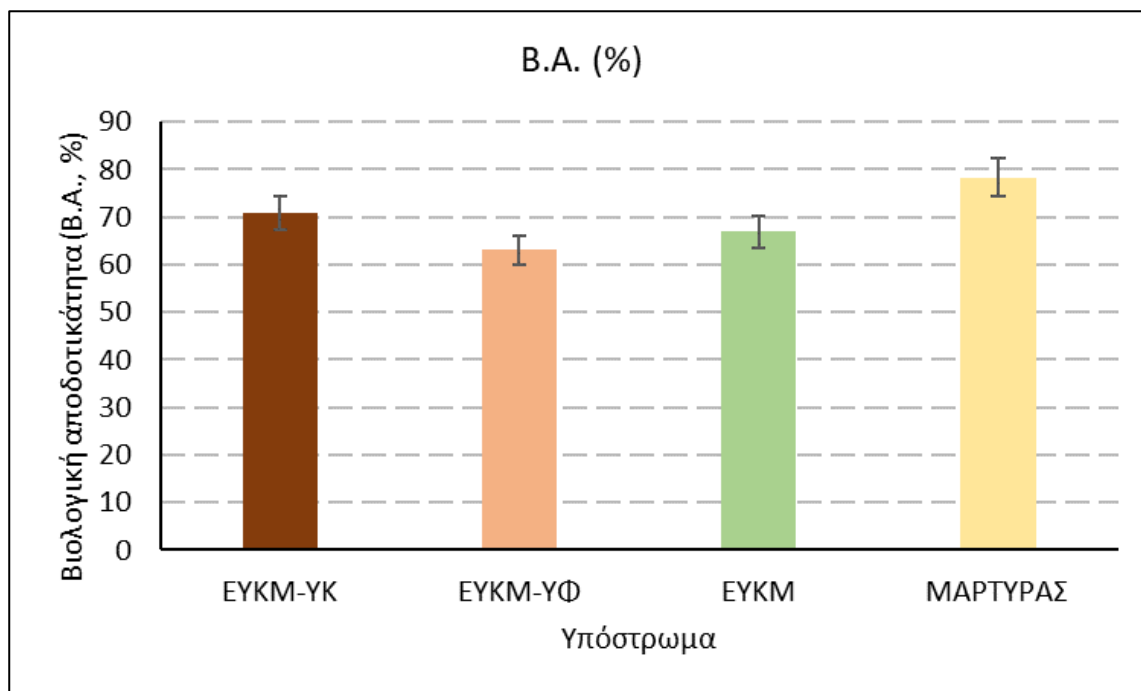
Η σύσταση των τελικών υποστρωμάτων και τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**. Η μέτρηση ολικού αζώτου πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl (Total Kjeldahl, Nitrogen, TKN) <sup>[9]</sup> και η οργανική ύλη υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μέθοδο της διαφυγής βάρους κατά την καύση <sup>[10]</sup>, έτσι ώστε να προσδιοριστεί ο λόγος C/N. Επιπλέον, η μέτρηση του pH έγινε με όργανο μέτρησης τύπου Crison GLP 21 (Barcelona, Spain). Για την ρύθμιση του pH, στα τελικά υποστρώματα προστέθηκε CaCO<sub>3</sub> 1% κ.β.. Ακολούθως, τα τελικά υποστρώματα πληρώθηκαν σε γυάλινους σωλήνες (200x28 mm, 80 mL όγκο – 5 επαναλήψεις/ υπόστρωμα) και αποστειρώθηκαν στους 121±1 °C για δύο ώρες. Ακολούθησε ο εμβολιασμός στο κέντρο της επιφάνειάς τους με “σπόρο” μανιταριού και οι σωλήνες μεταφέρθηκαν σε επωαστικό θάλαμο θερμοκρασίας 25±0,1 °C και σχετικής υγρασίας 85%, στο σκοτάδι. Στο τέλος της επώασης, τα αποικισμένα υποστρώματα μεταφέρθηκαν για καρποφορία σε θαλάμους με συνθήκες θερμοκρασίας 16±0,5 °C, φωτισμού 700 Lux, 12 h/ημ, υγρασίας 90%. Η συλλογή των καρποφοριών γινόταν καθημερινά με σκοπό να εξεταστεί η βιολογική αποδοτικότητα (B.A. %, το πηλίκο του νωπού βάρους των παραγόμενων καρποφοριών προς το ξηρό βάρος του υποστρώματος x100), το μέσο νωπό βάρος των παραγόμενων καρποφοριών (μέτρηση με ζυγό 2 δεκαδικών ψηφίων KERN AGB, Germany), η διάμετρος πύλου και το μήκος/πάχος του στίπου (μέτρηση με μικρόμετρο).

**Πίνακας 1.** Σύνθεση και φυσικοχημικά χαρακτηριστικά υποστρωμάτων. ΕΥΚΜ: εξαντλημένο υπόστρωμα καλλιέργειας μανιταριών, ΥΚ: υπολείμματα καφέ εσπρέσο, ΥΦ: υπολείμματα συγκομιδής φάβας.

Υπόστρωμα	Συστατικά	Αναλογίες (% , ξ.β.)	Υγρασία (%)	C/N	pH
ΕΥΚΜ-ΥΚ	ΕΥΚΜ	60	68.21	24.49	6.49
	ΥΚ	20			
	ΠΙΤΟΥΡΟ	15			
	ΣΟΓΙΑΛΕΥΡΟ	5			
ΕΥΚΜ-ΥΦ	ΕΥΚΜ	60	70.71	26.34	6.55
	ΥΦ	20			
	ΠΙΤΟΥΡΟ	15			
	ΣΟΓΙΑΛΕΥΡΟ	5			
ΕΥΚΜ	ΕΥΚΜ	80	68.81	27.26	6.76
	ΠΙΤΟΥΡΟ	15			
	ΣΟΓΙΑΛΕΥΡΟ	5			
ΜΑΡΤΥΡΑΣ	ΑΧΥΡΟ ΣΙΤΟΥ	80	67.39	33.14	6.67
	ΠΙΤΟΥΡΟ	15			
	ΣΟΓΙΑΛΕΥΡΟ	5			

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε όλα τα εναλλακτικά υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, σημειώθηκαν ικανοποιητικές τιμές βιολογικής αποδοτικότητας (Β.Α.). Σύμφωνα με τους Patra και Pani <sup>[11]</sup>, τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια των μανιταριών του είδους *P. ostreatus*, θα πρέπει να παρέχουν τιμές Β.Α. τουλάχιστον 50%. Στο πλαίσιο αυτό, τα εναλλακτικά υποστρώματα με ΕΥΚΜ που χρησιμοποιήθηκαν, θεωρούνται κατάλληλα για την ανάπτυξη του *P. ostreatus*, ακόμα και αν οι τιμές τους ήταν μικρότερες από του μάρτυρα. Πιο συγκεκριμένα, στο ΕΥΚΜ η Β.Α. ήταν 67,02%, ενώ ο συνδυασμός ΕΥΚΜ-ΥΚ οδήγησε στην αύξησή της, 71,00%, τιμή που δεν διέφερε σημαντικά με αυτή του μάρτυρα (78,34%). Μικρή μείωση της Β.Α. στο 63,06%, σημειώθηκε στο ΕΥΚΜ-ΥΦ (**Σχήμα 1**). Σε προηγούμενες μελέτες, η Β.Α. του *P. ostreatus* AMRL 144 κυμάνθηκε από 31.50% έως 75.30% όταν καλλιεργήθηκε σε διάφορα αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα σε σάκους του 1kg, τιμές μικρότερες ή παρόμοιες με της παρούσας μελέτης <sup>[12]</sup>, ενώ παρόμοιες τιμές Β.Α. (66,48-72,67 %) για το *P. ostreatus* σημειώθηκαν σε μίγματα υποστρωμάτων που αποτελούνταν από ΕΥΚΜ (10-30%) και άχυρο σίτου (70-30%) <sup>[13]</sup>. Επιπλέον, η θετική επίδραση της προσθήκης υπολείμματος καφέ εσπρέσο σε ΕΥΚΜ στην Β.Α. του *P. ostreatus* έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενη μελέτη, όπου η Β.Α. στο ΕΥΚΜ ήταν 62,88%, ενώ με την προσθήκη ΥΚ αυξήθηκε στο 73,38% <sup>[7]</sup>. Όσον αφορά στο μέσο βάρος των καρποφοριών, κυμάνθηκε από 2,01 έως 2,30 g, υποδεικνύοντας πως αυτή η παράμετρος δεν επηρεάζεται από το υπόστρωμα καλλιέργειας (**Πίνακας 2**). Σχετικά με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρποφοριών, η διάμετρος πύλου κυμάνθηκε από 27,70 έως 29,63 mm, το πάχος του στίπου από 3,25 έως 3,86 mm, ενώ ελαφρώς πιο κοντοί ήταν οι στίποι των καρποφοριών που παρήχθησαν στα εναλλακτικά υποστρώματα (25,35-26,71 mm) σε σχέση με του μάρτυρα (29,34 mm), στοιχείο θετικό για το μανιτάρι αυτό (**Πίνακας 2**). Συμπερασματικά, τα αγροτο-βιομηχανικά παραπροϊόντα δεν επηρέασαν αρνητικά την βιολογική αποδοτικότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρποσώματων *P. ostreatus*, καθιστώντας εφικτή την επαναχρησιμοποίησή τους σε δεύτερο κύκλο καλλιέργειών στερεής κατάστασης μανιταριών *Pleurotus*. Ωστόσο, περαιτέρω έρευνα σε πειράματα πιλοτικής κλίμακας θα παρέχει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον αντίκτυπο αυτών των παραπροϊόντων, όχι μόνο στις παραμέτρους ανάπτυξης, αλλά και στο διατροφικό προφίλ των μανιταριών.



**Σχήμα 1.** Επίδραση υποστρωμάτων εξαντλημένου υποστρώματος καλλιέργειας μανιταριών (EYKM), υπολειμμάτων καφέ εσπρέσο (YK) και υπολειμμάτων συγκομιδής φάβας (YΦ) στην βιολογική αποδοτικότητα του μύκητα *P. ostreatus*.

**Πίνακας 2.** Επίδραση υποστρωμάτων εξαντλημένου υποστρώματος καλλιέργειας μανιταριών (EYKM), υπολειμμάτων καφέ εσπρέσο (YK) και υπολειμμάτων συγκομιδής φάβας *Lathyrus clymenum* (YΦ) στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μύκητα *P. ostreatus*.

Υπόστρωμα	Μέσο βάρος (g)	Διάμετρος πύλου (mm)	Πάχος στίπου (mm)	Μήκος στίπου (mm)
EYKM-YK	2.06	28.92	3.25	26.71
EYKM-YΦ	2.30	27.70	3.37	25.35
EYKM	2.23	29.33	3.28	25.62
ΜΑΡΤΥΡΑΣ	2.01	29.63	3.86	29.34

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ερευνητική εργασία υποστηρίχτηκε από το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ.) στο πλαίσιο της «4<sup>ης</sup> Προκήρυξης ΕΛ.ΙΔ.Ε.Κ. για Υποψήφιους/ες Διδάκτορες» (Αριθμός Υποτροφίας: 363.0005)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Atallah E, Zeaiter J, Ahmad M-N, Leahy J-J, Kwapinski W. (2021). *Fuel Process. Technol.* 216, 106795.
- [2] Medina E, Paredes C, Bustamante MA, Moral R, Moreno-Caselles J. (2012). *Geoderma* 173, 152-161.
- [3] Guo J, Zhang M, Fang Z. (2022). *J. Sci. Food Agric.* 102 (13), 5593-5605.
- [4] Valverde ME, Hernandez-Perez T, Paredes-Lopez O. (2015). *Int. J. Microbiol.* 2015, 1-14.
- [5] Lam SS, Lee XY, Nam WL, Phang XY, Liew RK, Yek PNY, Ho YL, Ma NL, Rosli MHNB. (2019). *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 94, 1406-1415.
- [6] Economou C, Philippoussis A, Diamantopoulou P. (2020). *FEMS Microbiol. Lett.* 367, fnaa060.

- [7] Dedousi M, Melanouri EM, Karayannis D, Kaminarides EI, Diamantopoulou P. (2024). *Carbon Resour. Convers.* 7, 100196.
- [8] Economou C, Diamantopoulou P, Philippoussis A. (2017). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 101, 5213-5222.
- [9] APHA AWWA W., (1995). *Am. Public Health Assoc. Am. Water Work Assoc. Water Environ. Fed. Wash. DC.*
- [10] Sparks DL, Fendorf SE, Toner IV CV, Carski TH. (1996). *Methods Soil Anal. Part 3 Chem.* 1275-1307.
- [11] Patra AK, Pani BK. (1995). *Curr. Agric. Res.* 8, 11-4.
- [12] Melanouri EM, Dedousi M, Diamantopoulou P. (2022). *Carbon Resour. Convers.* 5, 52-60.
- [13] Lisiecka J, Prasad R, Jasinska A. (2021). *Horticulturae.* 7, 396.