



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΕΠΑνεΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

**ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ:
«ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ»**



**Αξιοποίηση υγρών αποβλήτων για καλλιέργεια μικροφυκών και
χρησιμοποίηση αυτών προς παραγωγή βιοντίζελ και συμπληρωμάτων
ιχθυοτροφών**

«Alga4Fuel&Aqua»

**Παραδοτέο 23: Έκθεση αξιολόγησης των μικροφυκών στη διατροφική αξία
των ιχθύων**

Έκδοση 1.0.: 08/01/2022

*Αυτό το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
«Ανταγωνιστικότητα – Επιχειρηματικότητα - Καινοτομία (ΕΠΑνεΚ) 2014-2020,
Δράση Εθνικής Εμβέλειας «Ερευνώ-Δημιουργώ-Καινοτομώ», με Κωδικό Έργου
Τ1ΕΔΚ-01580*

Λεπτομέρειες Έργου:

Πρόγραμμα: **ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ (ΕΠΑνΕΚ) 2014-2020**

Τίτλος Έργου: **Αξιοποίηση υγρών αποβλήτων για καλλιέργεια μικροφυκών και χρησιμοποίηση αυτών προς παραγωγή βιοντήζελ και συμπληρωμάτων ιχθυοτροφών**

Ακρωνύμιο Έργου: **Alga4Fuel&Aqua**

Αριθμός Πρότασης: **Τ1ΕΔΚ-01580**

Συντονιστής: **Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**

Διάρκεια: **09/07/2018 – 08/10/2022**

Λεπτομέρειες Παραδοτέου

ΕΕ5: Δοκιμή ΜΦ για διατροφή ιχθύων

Εργασία ΥΕ 5.3.: Αξιολόγηση θρεπτικής αξίας και μεταβολικών επιδράσεων στους εκτρεφόμενους ιχθύες

Τίτλος Παραδοτέου: Έκθεση αξιολόγησης των μικροφυκών στη διατροφική αξία των ιχθύων

Υπεύθυνος Φορέας: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Συμμετέχων Εταίρος: BIOMAR

Προθεσμία Παράδοσης: Μήνας 42

Ημέρα Παράδοσης έκδοσης 1.0: 08/01/2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|-----------|---|-----------|
| | ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 1 |
| 1. | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 3 |
| 2. | ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ | 6 |
| 2.1 | Δειγματοληψίες | 6 |
| 2.2 | Προσδιορισμός υγρασίας-ξηρής ουσίας | 8 |
| 2.3 | Προσδιορισμός ολικών αζωτούχων ουσιών | 8 |
| 2.4 | Προσδιορισμός ολικών λιπών με τη μέθοδο Soxhlet | 10 |
| 2.5 | Προσδιορισμός τέφρας | 10 |
| 2.6 | Προσδιορισμός ολικής ενέργειας | 11 |
| 2.7 | Προσδιορισμός ολικών λιπαρών οξέων | 11 |
| 2.8 | Ιστολογική εξέταση ήπατος | 14 |
| 2.9 | Στατιστική ανάλυση δεδομένων | 15 |
| 3. | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 16 |
| 3.1 | Θρεπτική αξία τσιπούρας διατρεφόμενη με εμπορικά μικροφύκη (1ο διατροφικό πείραμα) | 16 |
| 3.1.1 | Θρεπτική σύσταση σώματος και μυϊκού ιστού | 16 |
| 3.1.2 | Προφίλ λιπαρών οξέων μυϊκού ιστού | 18 |
| 3.1.3 | Ιστολογική εξέταση ήπατος | 19 |
| 3.2 | Θρεπτική αξία λαβρακιού διατρεφόμενο με εμπορικά μικροφύκη (2ο διατροφικό πείραμα) | 22 |
| 3.2.1 | Θρεπτική σύσταση σώματος και μυϊκού ιστού | 22 |
| 3.2.2 | Προφίλ λιπαρών οξέων μυϊκού ιστού | 24 |
| 3.2.3 | Ιστολογική εξέταση ήπατος | 26 |
| 3.3 | Θρεπτική αξία τσιπούρας διατρεφόμενη με μικροφύκη υγρών αποβλήτων (3ο διατροφικό πείραμα) | 28 |
| 3.3.1 | Θρεπτική σύσταση σώματος και μυϊκού ιστού | 28 |
| 3.3.2 | Προφίλ λιπαρών οξέων μυϊκού ιστού | 29 |
| 3.3.3 | Ιστολογική εξέταση ήπατος | 31 |
| 3.4 | Θρεπτική αξία λαβρακιού διατρεφόμενο με μικροφύκη υγρών αποβλήτων (4ο διατροφικό πείραμα) | 32 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.4.1 | Θρεπτική σύσταση σώματος και μυϊκού ιστού | 32 |
| 3.4.2 | Προφίλ λιπαρών οξέων μυϊκού ιστού | 33 |
| 3.4.3 | Ιστολογική εξέταση ήπατος | |
| 4. | ΣΥΖΗΤΗΣΗ | |
| 4.1 | Η επίδραση των μικροφυκών <i>C. vulgaris</i> , <i>Schizochytrium</i> sp. και <i>Nannochloropsis</i> sp. που προήλθαν από εμπορικά σκευάσματα στη διατροφική αξία της τσιπούρας και του λαβρακιού (1ο και 2ο διατροφικό πείραμα) | 36 |
| 4.2 | Η επίδραση των μικροφυκών <i>Schizochytrium</i> sp. και <i>Nannochloropsis</i> sp. που παράχθηκαν από την αξιοποίηση των υγρών αποβλήτων στη διατροφική αξία της τσιπούρας και του λαβρακιού (3ο και 4ο διατροφικό πείραμα) | 42 |
| | ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 44 |

Κατάλογος Πινάκων

| | | |
|------------------|---|----|
| Πίνακας 1 | Θρεπτική σύσταση (% ξηρής ουσίας) ολόκληρου του σώματος και του μυϊκού ιστού ιχθυδίων τσιπούρας διατρεφόμενα με εμπορικά μικροφύκη (1ο διατροφικό πείραμα). | 17 |
| Πίνακας 2 | Προφίλ λιπαρών οξέων (% ολικών λιπαρών οξέων) του μυϊκού ιστού ιχθυδίων τσιπούρας διατρεφόμενα με εμπορικά μικροφύκη (1ο διατροφικό πείραμα). | 20 |
| Πίνακας 3 | Θρεπτική σύσταση (% ξηρής ουσίας) ολόκληρου του σώματος και του μυϊκού ιστού λαβρακιού διατρεφόμενα με εμπορικά μικροφύκη (2ο διατροφικό πείραμα). | 23 |
| Πίνακας 4 | Προφίλ λιπαρών οξέων (% ολικών λιπαρών οξέων) μυϊκού ιστού ιχθυδίων λαβρακιού διατρεφόμενα με εμπορικά μικροφύκη (2ο διατροφικό πείραμα) | 25 |
| Πίνακας 5 | Θρεπτική σύσταση (% επί ξηρής ουσίας) ολόκληρου σώματος και μυϊκού ιστού ιχθυδίων τσιπούρας διατρεφόμενα είτε με μικροφύκη | 28 |

| | | |
|--------------------------|--|----|
| | καλλιεργούμενα με χρήση υγρών αποβλήτων (SMoS) είτε με εμπορικά σκευάσματα μικροφυκών (SMcS) (3ο διατροφικό πείραμα) | |
| Πίνακας 6 | Προφίλ λιπαρών οξέων (% ολικών λιπαρών οξέων) του μυϊκού ιστού τσιπούρας διατρεφόμενη είτε με μικροφύκη καλλιεργούμενα με χρήση υγρών αποβλήτων (SMoS) είτε με εμπορικά σκευάσματα μικροφυκών (SMcS) (3ο διατροφικό πείραμα) | 30 |
| Πίνακας 7 | Θρεπτική σύσταση (% επί ξηρής ουσίας) ολόκληρου του σώματος και του μυϊκού ιστού ιχθυδίων λαβρακιού διατρεφόμενα είτε με μικροφύκη καλλιεργούμενα με χρήση υγρών αποβλήτων (SMoS) είτε με εμπορικά σκευάσματα μικροφυκών (SMcS) (4ο διατροφικό πείραμα) | 32 |
| Πίνακας 8 | Προφίλ λιπαρών οξέων (% ολικών λιπαρών οξέων) του μυϊκού ιστού ιχθυδίων λαβρακιού διατρεφόμενα είτε με μικροφύκη καλλιεργούμενα με χρήση υγρών αποβλήτων (SMoD) είτε με εμπορικά σκευάσματα μικροφυκών (SMcD) (4ο διατροφικό πείραμα) | 34 |
| Κατάλογος Εικόνων | | |
| Εικόνα 1 | Ιστοπαθολογικές αλλοιώσεις στο ήπαρ της τσιπούρας (<i>S. aurata</i>) που διατράφηκε με ιχθυοτροφές που περιείχαν εμπορικά μικροφύκη (1ο διατροφικό πείραμα) | 21 |
| Εικόνα 2 | Χαρακτηριστική φυσιολογική εικόνα ήπατος ιχθυδίων λαβρακιού (<i>D. labrax</i>) διατρεφόμενα με εμπορικά μικροφύκη (2ο διατροφικό πείραμα): | 27 |
| Εικόνα 3 | Χαρακτηριστική φυσιολογική εικόνα ήπατος ιχθυδίων τσιπούρας διατρεφόμενα με την ομάδα ελέγχου (ControlS, πάνω αριστερά), με την τροφή μικροφυκών υγρών αποβλήτων (SMoS, πάνω δεξιά) και με την τροφή εμπορικών μικροφυκών (SMcS, κάτω) (3ο διατροφικό πείραμα) | 31 |
| Εικόνα 4 | Χαρακτηριστική φυσιολογική εικόνα ήπατος ιχθυδίων λαβρακιού διατρεφόμενα με την ομάδα ελέγχου (ControlD, πάνω αριστερά), με την τροφή μικροφυκών υγρών αποβλήτων (SMoD, πάνω δεξιά) και με την τροφή εμπορικών μικροφυκών (SMcD, κάτω) (4 ^ο διατροφικό πείραμα) | 35 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Παραδοτέο Π23 «Έκθεση αξιολόγησης των μικροφυκών στη διατροφική αξία των ιχθύων» εντάσσεται στην Υποενότητα Εργασίας ΥΕ5.3 «Αξιολόγηση θρεπτικής αξίας και μεταβολικών επιδράσεων στους εκτρεφόμενους ιχθύες». Πρόκειται για τα αποτελέσματα της διατροφικής αξίας (υγρασίας, ολικών πρωτεϊνών, ολικών λιπών, ολικής ανόργανης ουσίας, ολικής ενέργειας και λιπαρών οξέων) των ιχθύων, τσιπούρας και λαβρακιού, που προήλθαν από τα τέσσερα (4) διατροφικά πειράματα που υλοποιήθηκαν και περιγράφονται στα Παραδοτέα Π21 (διατροφικά πειράματα σε τσιπούρα και λαβράκι με τη χρήση εμπορικών σκευασμάτων μικροφυκών) και Π22 (διατροφικά πειράματα σε τσιπούρα και λαβράκι με τη χρήση μικροφυκών από καλλιέργεια αξιοποίησης υγρών αποβλήτων) χρησιμοποιώντας τις πειραματικές ιχθυοτροφές που περιγράφονται στο Παραδοτέο Π20 (ιχθυοτροφές τσιπούρας και λαβρακιού με χρήση εμπορικών μικροφυκών και ιχθυοτροφές τσιπούρας και λαβρακιού με χρήση μικροφυκών υγρών αποβλήτων). Οι μεταβολικές επιδράσεις της χρήσης των μικροφυκών περιλάμβαναν αναλύσεις της θρεπτικής σύστασης ολόκληρου του σώματος και του μυϊκού ιστού των ιχθυδίων, καθώς και του προφίλ των λιπαρών οξέων στον εδώδιμο μυϊκό ιστό τους. Παράλληλα, έγινε ιστομορφολογική παρατήρηση στο ήπαρ των ιχθύων προκειμένου να μελετηθούν πιθανές επιδράσεις των διαιτητικών μικροφυκών σε ιστομορφολογικές αλλοιώσεις/διαφοροποιήσεις στο κύριο αποθηκευτικό όργανο των θρεπτικών συστατικών των ιχθύων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μείγμα αποξηραμένων βιομαζών των *Schizochytrium* sp. και *Nannochloropsis* sp., που προήλθαν από εμπορικά σκευάσματα, μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως το διαιτητικό ιχθυέλαιο σε τροφές τσιπούρας και λαβρακιού που περιέχουν ιχθυάλευρα χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά τόσο τη θρεπτική σύσταση ολόκληρου του σώματος και του μυϊκού ιστού όσο και τη σύσταση του μυϊκού ιστού σε EPA και DHA, ακόμα κι αν αυτό είχε ως αποτέλεσμα κάποιες ιστομορφολογικές αλλοιώσεις στο ήπαρ, οι οποίες χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης. Επιπλέον, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αντικατάσταση της πρωτεΐνης του ιχθυάλευρου από άλευρο *C. vulgaris* έως και 30% που ήταν το

μέγιστο επίπεδο που δοκιμάστηκε αύξησαν τα επίπεδα των 18:2n-6 και 18:3n-3 και μείωσαν αυτά των EPA και DHA στον μυϊκό ιστό, χωρίς ωστόσο αυτή η μείωση να είναι σημαντική.

Όταν χρησιμοποιήθηκαν στις τροφές μικροφύκη που παρήχθησαν κατά τη διάρκεια του έργου μέσω της καλλιέργειας τους σε υγρά απόβλητα της βιομηχανίας βιοκαυσίμων, και παράλληλα συγκρίθηκαν με τροφές που περιείχαν εμπορικά σκευάσματα μικροφυκών, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση των πρώτων είναι εξίσου επιτυχής για τη μερική υποκατάσταση του ιχθυελαίου και του ιχθυαλεύρου στα σιτηρέσια της τσιπούρας και του λαβρακιού, χωρίς να υποβαθμίζουν τη θρεπτική αξία των ψαριών. Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, παράλληλα με εκείνα των Παραδοτέων Π21 και Π22 όπου δείχθηκε ότι τα μικροφύκη *Schizochytrium sp.*, *Nannochloropsis sp.* και *C. vulgaris* μπορούν να υποκαταστήσουν τα διαιτητικά ιχθυέλαια και ιχθυάλευρα χωρίς να μειώνουν την αποδοτικότητα της εκτροφής των ιχθύων αποδεικνύουν τη χρησιμότητα των συγκεκριμένων ειδών μικροφυκών ως εναλλακτικές και βιώσιμες πρώτες ύλες στις ιχθυοτροφές.

Η παρούσα μελέτη, λοιπόν, προτείνει ότι το *Schizochytrium sp.* και το *Nannochloropsis sp.* είναι πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις για την αντικατάσταση των ιχθυελαίων και το *C. vulgaris* για την αντικατάσταση των ιχθυάλευρων στη διατροφή των ιχθυδίων της τσιπούρας και του λαβρακιού, είτε αυτά είναι παραγόμενα με χρήση υγρών απόβλητων της βιομηχανίας βιοκαυσίμων είτε από συμβατικές καλλιέργειες (εμπορικά προϊόντα που παρήχθησαν σε βιοαντιδραστήρες και συμβατικά θρεπτικά μέσα), συμβάλλοντας αποτελεσματικά τόσο στην ανακύκλωση θρεπτικών όσο και στην ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας μεταξύ της βιομηχανίας βιοκαυσίμων και του τομέα της ιχθυοκαλλιέργειας, ενώ παράλληλα ενισχύουν την περιβαλλοντική βιωσιμότητα του τομέα των ιχθυοκαλλιεργειών.