

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ  
ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗΣ ΑΞΙΑΣ ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ**

**Α. Καραπατσιά<sup>1</sup>, Γ. Πενλόγλου<sup>1</sup>, Χ. Χατζηδούκας<sup>1</sup>, Κ. Κυπαρισσίδης<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Τ.Θ. 472, 54124, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

<sup>2</sup>Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, ΙΔΕΠ/ΕΚΕΤΑ

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα τελευταία χρόνια εκδηλώνεται έντονη ερευνητική δραστηριότητα γύρω από τη συστηματική καλλιέργεια των μικροφυκών δεδομένης της πολυδιάστατης δράσης τους τόσο στη δέσμευση του CO<sub>2</sub> που παράγεται από ρυπογόνες χημικές βιομηχανίες, ως αερίου του φαινομένου του θερμοκηπίου, όσο και στην διαχείριση και αξιοποίηση βιομηχανικών και αστικών λυμάτων. Επιπρόσθετα όμως, με την ιδιότητά τους ως «κυτταρικά εργοστάσια» να παράγουν ένα μεγάλο εύρος βιοχημικών υλικών (π.χ., λιπίδια πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, χρωστικές, αντιοξειδωτικά βιταμίνες κ.ά.) ως πρώτων υλών για την παραγωγή βιοκαυσίμων, φαρμακευτικών προϊόντων, καλλυντικών και διατροφικών προϊόντων για τον άνθρωπό, τα μικροφύκη προσελκύουν κι έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον. Η σύγχρονη παραγωγή βιοχημικών προϊόντων και βιοκαυσίμων από μικροφύκη κάτω από βέλτιστες συνθήκες, θεωρείται ως προαπαιτούμενο για την οικονομική και αειφόρο λειτουργία τέτοιων διεργασιών. Δεδομένης της σημαντικότητας των μικροφυκών αλλά και του πολυπαραμετρικού χαρακτήρα του προβλήματος της αποτελεσματικής καλλιέργειάς τους με υψηλές αποδόσεις σε προϊόντα, η παρούσα εργασία στοχεύει στη μελέτη της επίδρασης των σπουδαιότερων παραμέτρων της καλλιέργειας στη σύνθεση διαφόρων βιοϋλικών μέσω ενός στατιστικού σχεδιασμού πειραμάτων. Από την ανάλυση ευαισθησίας που προκύπτει από τα πειραματικά αποτελέσματα συνάγονται οι κατάλληλες πολιτικές λειτουργίας για την ενίσχυση της παραγωγής βιομάζας ή/και της συγκέντρωσης βιοπροϊόντων, αρχικά στο επίπεδο των κωνικών φιαλών. Οι βέλτιστες συνθήκες μεταφέρονται με επιτυχία στη μεγαλύτερη κλίμακα ενός φωτό-βιοαντιδραστήρα, με σκοπό τη μεγιστοποίηση της συγκέντρωσης βιομάζας και βιοϋλικών.

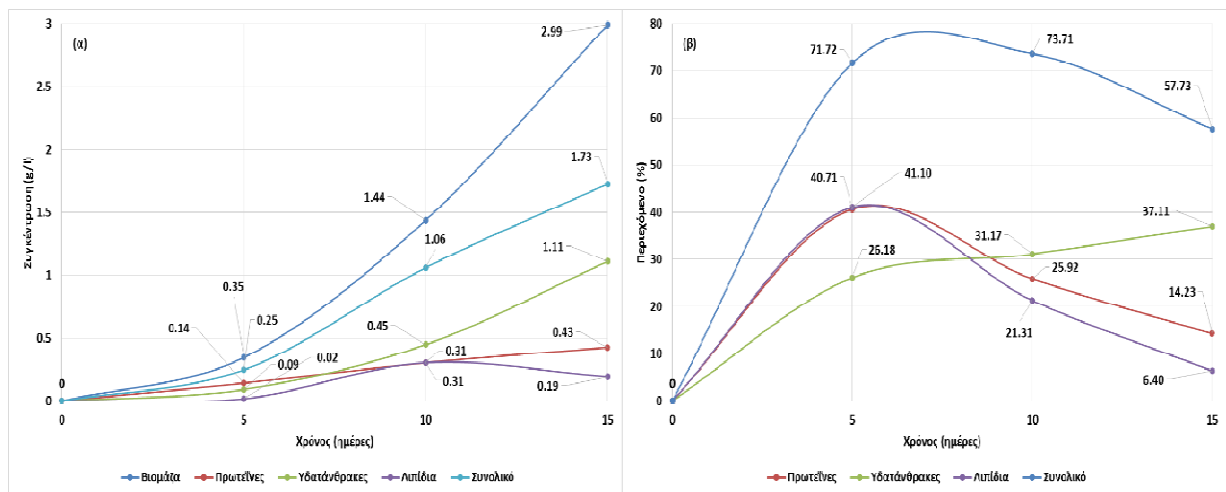
**ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Ο εντοπισμός των βέλτιστων συνθηκών καλλιέργειας των μικροφυκών για την παραγωγή στοχευμένων βιοπροϊόντων υψηλής αξίας, προϋποθέτει την ανάλυση ευαισθησίας της επίδρασης των σημαντικότερων παραμέτρων στα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Η ανάλυση ευαισθησίας ενός πολυπαραμετρικού συστήματος απαιτεί απαγορευτικά μεγάλο αριθμό χρονοβόρων πειραμάτων. Αντιθέτως, ένας αποτελεσματικός τρόπος ολοκληρωτικού πειραματικού σχεδιασμού είναι η εφαρμογή κατάλληλων στατιστικών μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο ορθογώνιος πειραματικός σχεδιασμός Taguchi, καθώς επιτρέπει τη μελέτη ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό πειραμάτων, οδηγώντας σε ασφαλή συμπεράσματα με στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα.

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Η καλλιέργεια του στελέχους *Stichococcus sp.* πραγματοποιήθηκε σε κωνικές φιάλες υπό ασυνεχείς συνθήκες, με βάση ένα πειραματικό σχεδιασμό μικτών επιπέδων κατά Taguchi (L<sub>18</sub>: 1 παράμετρος x 2 επίπεδα, 4 παράμετροι x 3 επίπεδα). Μελετήθηκε η επίδραση της έντασης του φωτός, του αερισμού της καλλιέργειας, της παροχής CO<sub>2</sub>, τη συγκέντρωσης

πηγής αζώτου και τη αλατότητα. Από τη στατιστική ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων προέκυψε ότι για τη μεγιστοποίηση της κυτταρικής ανάπτυξης (συγκέντρωση βιομάζας) και της συγκέντρωσης των υδατανθράκων, η συνεισφορά του προφίλ αερισμού αποτέλεσε τη σημαντικότερη των πέντε παραγόντων. Επιπρόσθετα, τόσο η συγκέντρωση του αζώτου, όσο και η παροχή διοξειδίου του άνθρακα εντοπίστηκαν ως οι πιο σημαντικοί παράγοντες για την σύνθεση υψηλού πρωτεϊνικού και λιπιδικού περιεχομένου. Ο βέλτιστος συνδυασμός πειραματικών συνθηκών, ο οποίος προσδιορίστηκε με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της τελικής συγκέντρωσης των βιοϋλικών, οδήγησε σε καλλιέργεια με τα εξής αποτελέσματα: κυτταρική βιομάζα 2,99 g/l με συνολικό περιεχόμενο βιοϋλικών 57,73% (37,11% υδατάνθρακες, 14,23% πρωτεΐνες και 6,40% λιπίδια). Οι βέλτιστες συνθήκες εφαρμόστηκαν επίσης κατά την προσπάθεια κλιμάκωσης της καλλιέργειας από το επίπεδο των κωνικών φιαλών σε αυτό ενός φωτό-βιοαντιδραστήρα εργαστηριακής κλίμακας (όγκου 5 λίτρων). Το δυναμικό προφίλ της ανάπτυξης της βιομάζας και της συσσώρευσης των προϊόντων παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Δυναμικό προφίλ (α) των συγκεντρώσεων βιομάζας και βιοπροϊόντων και (β) του ποσοστιαίου περιεχομένου βιοπροϊόντων, κατά την καλλιέργεια του *Stichococcus sp.* υπό βέλτιστες συνθήκες, σε φωτό-βιοαντιδραστήρα εργαστηριακής κλίμακας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραγωγή υδατανθράκων κατά την καλλιέργεια μικροφυκών ευνοείται από το ίδιο προφίλ ανάπτυξης που ευνοεί και την ανάπτυξη κυτταρικής βιομάζας, με κρίσιμες παραμέτρους τον αερισμό και την παροχή CO<sub>2</sub>. Η παραγωγή όμως των λιπιδίων και των πρωτεϊνών παρουσιάζει ανταγωνιστικό χαρακτήρα έναντι της αύξησης της κυτταρικής βιομάζας, ενώ ο βαθμός διαθεσιμότητας της πηγής αζώτου είναι καθοριστικής σημασίας για την εκλεκτική παράγωγή του ενός ή του άλλου προϊόντος. Έτσι οι συνθήκες καλλιέργειας μπορούν να επηρεάσουν και την παραγωγικότητα της διεργασίας αλλά και τη σύσταση της παραγόμενης βιομάζας. Η βελτιστοποίηση της διεργασίας με στατιστικά εργαλεία επιτρέπει την κατανόηση της επίδρασης των καθοριστικών παραμέτρων της καλλιέργειας με στόχο την μεγέθυνση της διεργασίας υπό κλίμακα από το επίπεδο του εργαστηριακού φωτό-βιοαντιδραστήρα σε μια πιλοτική ή/και βιομηχανική εγκατάσταση.