

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ : ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

ΤΑΓΚΑ ΖΩΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΕΤΣΙΟΥ ΣΟΦΙΑ

ΑΙΓΑΛΕΩ ΑΘΗΝΑ 2023-2024

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει την πτυχιακή εργασία με τίτλο
«ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ : ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ» που παρουσιάστηκε από τη
φοιτήτρια Τάγκα Ζωή με αριθμό μητρώου 16100 και
βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία & όνομα επιβλέποντος/μέλους 1 εξεταστικής επιτροπής:

ΣΟΦΙΑ ΛΕΤΣΙΟΥ

Ημερομηνία & όνομα μέλους 2 εξεταστικής επιτροπής :

ΔΗΜΗΤΡΑ ΧΟΥΧΟΥΛΑ

Ημερομηνία & όνομα μέλους 3 εξεταστικής επιτροπής :

ΔΙΟΝΥΣΗΣ ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η Τάγκα Ζωή του Ηρακλή με αριθμό μητρώου 16100 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογία Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δική μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Υπογραφή :



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Λέττσιου Σοφία για την καθοδήγηση που μου πρόσφερε και τον χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου συμβολές και σωστή καθοδήγηση για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	8
Σκοπός της εργασίας	9
Εισαγωγή	10
1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ	11
1.1 Κυτταρική οργάνωση	12
1.2 Ταξινόμηση των φυκιών	12
1.3 Φωτοσύνθεση μικροφυκών	13
1.4 Είδη μεγαλύτερου ενδιαφέροντος	14
1.4.1 <i>Dunaliella salina</i>	14
1.4.2 <i>Haematococcus pluvialis</i>	15
1.4.3 <i>Arthrospira platensis</i>	15
1.4.4 <i>Chlorella</i> spp	16
1.4.5 <i>Nostoc</i>	16
2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ	18
2.1 Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και αμινοξέα	18
2.2 Υδατάνθρακες	19
2.3 Βιταμίνες	19
2.4 Χρωστικές	20
2.4.1 Χλωροφύλλες.....	20
2.4.2 Καροτενοειδή	21
2.4.3 Φυκοβιλίνες	22
2.5 Λιπίδια	23
3. ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ	25
3.1 Πηγή απαραίτητων αμινοξέων	26
3.2 Πηγή απαραίτητων λιπαρών οξέων	26
3.3 Ιδιότητες υγείας	27
3.3.1 Αντιοξειδωτική δράση	27
3.3.2 Αντικαρκινικά φάρμακα	28
3.3.3 Αντιμικροβιακά.....	28
4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ	29
4.1 Τροφή και ζωοτροφές	30
4.1.1 Τροφές.....	31

4.1.2 Ζωοτροφές	31
4.2 Υγεία	35
4.3 Καλλυντικά.....	39
5. ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	41
5.1 Επισκόπηση των διαφορετικών εμπορικών χρήσεων	41
5.2 Συμπληρώματα διατροφής.....	42
5.3 Πρόσθετα	43
6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	45
6.1 Ανοιχτά και κλειστά συστήματα καλλιέργειας.....	46
6.2 Τεχνολογίες εκχύλισης για βιοδραστικές ενώσεις.....	47
7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ.....	50
7.1 Καθεστώς αναγνώρισης από τον FDA (Food and Drug Administration) και την EFSA (European Food Safety Authority)	52
7.2 Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί που ισχύουν για την εμπορία μικροφυκών	53
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	56

Περίληψη

Η πρωταρχική ανάγκη του ανθρώπου ήταν πάντα να τρέφεται, τόσο για την επιβίωσή του όσο και για την εξέλιξή του. Αλλά η διατροφή έχει γίνει, με την πάροδο του χρόνου, μια πραγματική απόλαυση. Αυτό οφείλεται στην ποικιλία των τροφίμων, στις ανακαλύψεις στον τομέα των τροφίμων και στη μεγαλύτερη προσβασιμότητα. Η ανθρώπινη ζωή έχει επιμηκυνθεί σημαντικά, αλλά ταυτόχρονα έχει αυξηθεί και οι διάφορες παθολογίες.

Ως εκ τούτου, τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον των ανθρώπων εστιάζεται στην αναζήτηση τροφών με ιδιαίτερες ιδιότητες, οι οποίες παρέχουν όφελος για την υγεία μετά την πρόσληψή τους και οι οποίες επομένως δεν έχουν απλώς διατροφική λειτουργία. Πολλά από αυτά δεν είναι καθημερινά τρόφιμα ή εύκολα διαθέσιμα, παράδειγμα των οποίων είναι τα μικροφύκη. Τα μικροφύκη μπορούν να ενισχύσουν το θρεπτικό περιεχόμενο της συμβατικής παρασκευής τροφίμων και ζωοτροφών και ως εκ τούτου να επηρεάσουν θετικά την υγεία των ανθρώπων και των ζώων λόγω της αρχικής τους χημικής σύνθεσης, δηλαδή της υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, αμινοξέα, καροτενοειδή, λιπαρά οξέα, βιταμίνες, πολυσακχαρίτες, στερόλες, φυκοβιλίνες και άλλες βιολογικά δραστικές ενώσεις.

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο να σκιαγραφήσει τα μορφολογικά και δομικά χαρακτηριστικά των μικροφυκών, να περιγράψει τη χημική τους σύσταση που οδηγεί στο να θεωρούνται ως ο πράσινος χρυσός του μέλλοντος και να παρέχει την τρέχουσα κατάσταση σχετικά με τη χρήση μικροφυκών στην παραγωγή τροφίμων, καλλυντικών κ.α. καθώς και τις νομικές πτυχές που συνδέονται με αυτή τη χρήση.

- Λέξεις- Κλειδιά: μικροφύκη, εμπορικές εφαρμογές, καλλιέργεια, βιωσιμότητα

Abstract

Human's primary need has always been to be nourished, both for his survival and for his evolution. But the diet has become, over time, a real pleasure. This is due to the variety of foods, discoveries in the food sector and greater accessibility. Human life has lengthened significantly, but at the same time various pathologies have also increased. Therefore, in recent years, people's interest has been focused on the search for foods with special properties, which provide a health benefit after their intake, and which therefore do not simply have a nutritional function. Many of these are not everyday foods or readily available, an example of which is microalgae. The present work aims to outline the morphological and structural characteristics of microalgae, to describe their chemical composition leading to their being considered as the green gold of the future, and to provide the current status regarding the use of microalgae in the production of food, cosmetics, etc. .a. as well as the legal aspects associated with this use.

Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην βιβλιογραφία σχετικά με τις χρήσεις των μικροφυκών, σε παγκόσμια κλίμακα, προκειμένου να τονιστούν οι πρόσφατες εξελίξεις στο θέμα.

Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο μέρος της εργασίας στοχεύει να συνοψίσει τις γενικές πληροφορίες σχετικά με τα μικροφύκη, όπως τα μορφολογικά και δομικά χαρακτηριστικά τους, τη χημική τους σύσταση καθώς και τις διατροφικές τους ιδιότητες.

Στη συνέχεια της εργασίας γίνεται εκτενής αναφορά στις εμπορικές εφαρμογές των μικροφυκών στον εμπορικό και βιομηχανικό τομέα, επισημαίνοντας τις πιθανές εξελίξεις, τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία και τις διάφορες εφαρμογές στους τομείς ανθρώπινων τροφών, ζωοτροφών, υγείας, βιοκαυσίμων, καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων, καθώς και ορισμένων περιβαλλοντικών εφαρμογών.

Τέλος στο τελευταίο μέρος της παρούσας εργασίας γίνεται περιγραφή των συστημάτων καλλιέργειας και των κανονισμών που πρέπει να τηρούνται για την ευρεία κατανάλωση αυτών των προϊόντων.

Εισαγωγή

Τα μικροφύκη είναι μικροσκοπικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια πιο αποτελεσματικά από τα ανώτερα φυτά. Αν και αυτοί οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα για περίπου 2000 χρόνια, η βιοτεχνολογία στον τομέα αυτό αναπτύχθηκε μόλις στα μέσα του περασμένου αιώνα. Οι πρώτες ιστορικές αναφορές στη χρήση μικροφυκών, ιδιαίτερα των μικροφυκών *Arthrospira platensis*, ως πηγή τροφής χρονολογούνται από το 1300 μ.Χ. χάρη στους Ισπανούς χρονικογράφους που περιέγραψαν ντόπιους ψαράδες κατά τη συλλογή γαλαζοπράσινων μαζών από τη λίμνη Texcoco που στη συνέχεια ξηράνθηκαν και καταναλώθηκαν ως ξηρά κέικ γνωστά ως «tecuitlatl» (García et al., 2017). Αυτοί οι μικροοργανισμοί θα είναι ολοένα και περισσότερο παρόντες στη διατροφή μας για δύο βασικούς λόγους:

- Παρουσιάζουν εμπορικά και τεχνολογικά πλεονεκτήματα. Μάλιστα, μεταξύ των μεταβολιτών που παράγονται από τα μικροφύκη, υπάρχουν καροτενοειδή που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικές χρωστικές στη βιομηχανία τροφίμων και στα καλλυντικά. Επιπλέον, χάρη στη χημική σύνθεση αυτών των οργανισμών και τις αντιοξειδωτικές, αντικαρκινογόνες και αντιμικροβιακές ιδιότητες που αποδίδονται σε ορισμένες ενώσεις που παράγονται από μικροφύκη, η χρήση τους στα τρόφιμα μας επιτρέπει να βελτιώσουμε τη θρεπτική τους αξία και να ικανοποιήσουμε τη ζήτηση για τρόφιμα με λειτουργικά και καινοτόμα χαρακτηριστικά.
- Αντιπροσωπεύουν μια σημαντική εναλλακτική πηγή μακροθρεπτικών συστατικών: σημαντικό γεγονός αν αναλογιστούμε ότι η ποσότητα των τροφίμων που παράγεται αυτή τη στιγμή δεν θα μπορέσει να ικανοποιήσει τις διατροφικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού το 2050, που εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 9,8 δισεκατομμύρια. Τα μικροφύκη μπορούν να αντιπροσωπεύουν μια απάντηση στην τρέχουσα αύξηση της ζήτησης πρωτεϊνών και έως το 2050 θα αντιπροσωπεύουν περίπου το 18% των πηγών πρωτεΐνης για διάφορα τμήματα της αγοράς (Caroergno et al 2018).

1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ

Στην εφαρμοσμένη φυκολογία, ο όρος μικροφύκη αναφέρεται τόσο στα μικροσκοπικά φύκη *sensu* αυστηρά όσο και στα οξυγονικά φωτοσυνθετικά βακτήρια, τα κυανοβακτήρια. Σε ταξινομικό επίπεδο, τα φύκη ανήκουν εξ ορισμού στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς, ενώ τα κυανοβακτήρια ανήκουν στα βακτήρια. Ανήκοντας σε δύο διαφορετικούς τομείς, αυτοί οι οργανισμοί παρουσιάζουν πολλές μορφολογικές, γενετικές και φυσιολογικές διαφορές. Σε μορφολογικό επίπεδο, οι μικροοργανισμοί που ανήκουν στα βακτήρια έχουν ένα κυτταρικό τοίχωμα εφοδιασμένο με ένα μικρό κλάσμα πεπτιδογλυκάνης, υπεύθυνο για την αντίσταση του ίδιου του τοιχώματος, και μια εξωτερική μεμβράνη που αποτελείται όχι μόνο από φωσφολιπίδια και πρωτεΐνες αλλά στο εξωτερικό φύλλο έχει ένα σύνθετο γλυκολιπίδιο, ένα λιποπολυσακχαρίτη (LPS). Στους μικροβιακούς ευκαρυώτες το κυτταρικό τοίχωμα είναι πολυστρωματικό με ποικίλη χημική σύνθεση στην οποία επικρατεί η κυτταρίνη, ένας δομικός πολυσακχαρίτης που αποτελείται από μονομερή β-γλυκόζης ενωμένα με β 1-4 γλυκοσιδικούς δεσμούς. Η κυτταρίνη δεν μεταβολίζεται από ένζυμα στο ανθρώπινο έντερο, αλλά ζυμώνεται από βακτήρια που υπάρχουν στην εντερική χλωρίδα. Αυτή η διαφορά στο κυτταρικό τοίχωμα εξηγεί γιατί τα μικροφύκη που ανήκουν στα βακτήρια έχουν υψηλή πεπτικότητα, λόγω της απουσίας κυτταρίνης. Αυτό το χαρακτηριστικό διευκολύνει επομένως τη χρήση του για ανθρώπινη κατανάλωση (Tomaselli, L., 2004).

Σε γενετικό επίπεδο, ενώ στους ευκαρυωτικούς οργανισμούς το μεγαλύτερο μέρος του γενετικού υλικού περικλείεται μέσα στον πυρήνα, απομονωμένο από το υπόλοιπο κύτταρο που οριοθετείται από το πυρηνικό περίβλημα, στα βακτήρια ο πυρήνας δεν υπάρχει και το κυκλικό μόριο DNA βρίσκεται ελεύθερο στο κυτταρόπλασμα. Σε φυσιολογικό επίπεδο, όλοι αυτοί οι οργανισμοί μοιράζονται τον φωτοτροφικό βιοενεργειακό μεταβολισμό, αλλά στους φωτοτροφικούς ευκαρυωτικούς οργανισμούς η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα σε χλωροπλάστες, ενδοκυτταρικά οργανίδια που λείπουν στα προκαρυωτικά φωτότροφα, στα οποία οι φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες ονομάζονται *lamatomelares* ή *lamatoroch* μεμβράνες, και οι δύο αυτές δομές σχηματίζονται από την εγκόλπωση της κυτταροπλασματικής μεμβράνης και παραμένουν συνεχείς μαζί της (Tomaselli, L., 2004).

1.1 Κυτταρική οργάνωση

Τα μικροφύκη παρουσιάζουν κυρίως τρεις τύπους κυτταρικής οργάνωσης: μονοκύτταρα, αποικιακά και νηματώδη. Τα μονοκύτταρα μικροφύκη μπορεί να είναι ή να μην είναι κινητικά, στις περισσότερες περιπτώσεις η κινητικότητα οφείλεται στην παρουσία του μαστιγίου. Τα είδη μικροφυκών που ανήκουν στο γένος *Dunaliella* έχουν μια μονοκύτταρη οργάνωση στην οποία το μεμονωμένο κύτταρο εκτελεί όλες τις λειτουργίες. Στην αποικιακή οργάνωση διακρίνονται αποικίες χωρίς κινητικότητα και κινητές αποικίες, όπως αυτές που υπάρχουν στο *Volvox spp.* στα οποία μεμονωμένα κύτταρα με μαστίγιο συσσωματώνονται για να σχηματίσουν κινητικές αποικίες. Ο μεμονωμένος οργανισμός έχει σφαιροειδές σχήμα εντός του οποίου τα κύτταρα αλληλοσυνδέονται με λεπτές κυτταροπλασματικές δέσμες που επιτρέπουν σε ολόκληρη την αποικία να κολυμπά με συντονισμένο τρόπο. Τα κύτταρα περιλαμβάνονται εντός της αποικίας από μια ζελατινώδη μήτρα. Στη νηματώδη οργάνωση, τα απλά συνδεδεμένα κύτταρα σχηματίζουν νήματα. Αυτός ο τύπος κυτταρικής οργάνωσης υπάρχει στα μικροφύκη που ανήκουν στα γένη *Spirogyra* και *Arthrospira* (Hickman et al., 2012).

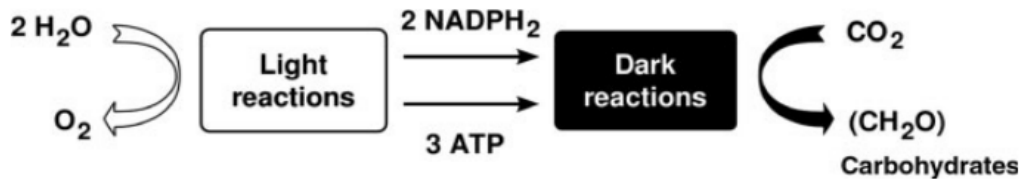
1.2 Ταξινόμηση των φυκιών

Τα φύκια περιλαμβάνουν μια σύνθετη και ετερογενή ομάδα οργανισμών που χαρακτηρίζονται από τη φωτοσυνθετική τους φύση. Μια πρώτη διάκριση με βάση τη μονοκύτταρα ή πολυκύτταρα οργάνωση και το μέγεθός τους τα χωρίζει σε ΜΑΚΡΟΦΥΚΗ και ΜΙΚΡΟΦΥΚΗ. Τα μακροφύκη είναι πολυκύτταροι οργανισμοί με μέγεθος που μπορεί να φτάσει τα 60-70 μέτρα, ονομάζονται επίσης θαλάσσια φύκια επειδή ζουν κυρίως σε θαλάσσια ενδιαίτηματα. Έχουν ένα βλαστικό σώμα θαλόζης που μπορεί να έχει νηματοειδές, παρεγχυματικό ή ομοιοκυτταρικό σχήμα στο οποίο ένα μόνο πρωτόπλασμα περιέχει χιλιάδες πυρήνες. Σύμφωνα με την τυπική ταξινόμηση, τα μακροφύκη χωρίζονται με βάση τη χρώση τους σε τρεις κύριες ομάδες: καφέ φύκη (*Phaeophyceae*), πράσινα φύκη (*Chlorophyceae*) και κόκκινα φύκη (*Rhodophyceae*). Στα καφέ φύκη, η χρωστική ουσία που ευθύνεται για το καφέ τους χρώμα είναι η φουκοξανθίνη. Υπάρχουν περίπου 1500-2000 είδη μακροφυκών που διαφέρουν από αυτά άλλων ομάδων και επειδή παρουσιάζουν μόνο πολυκύτταρο οργανισμό. Τα πράσινα φύκη είναι μια ποικιλόμορφη ομάδα περίπου 8000 ειδών, που αποκτούν τη χρώση τους από τη χλωροφύλλη -a και -b, τις ξανθοφύλλες και το β-καροτένιο. Αυτή η ομάδα έχει δύο διαιρέσεις: τα Χλωρόφυτα, τα οποία περιλαμβάνουν τόσο μονοκύτταρα (μικροφύκη) όσο και πολυκύτταρα φύκια, και τα Χαρόφυτα που αποτελούν μια μικρότερη ομάδα πολυκύτταρων

πράσινων φυκών. Στα κόκκινα φύκια, είναι οι φυκοβιλίνες που δίνουν το τυπικό κοκκινωπό χρώμα, αυτή η ομάδα αποτελείται από περίπου 6000 είδη. Τα μικροφύκη είναι μονοκύτταροι οργανισμοί που ζουν αιωρούμενοι σε ένα υδάτινο σώμα (φυτοπλαγκτόν) ή στερεωμένοι σε ένα υπόστρωμα (φυτοβένθος), έχουν διάμετρο που κυμαίνεται από 5-30 μm. Στα μικροφύκη οι πιο άφθονες διαιρέσεις είναι τα διάτομα (*Bacillariophyta*), τα χρυσοφύκη (*Chrysophyta*), τα πράσινα φύκια (*Chlorophyta*) και τα γαλαζοπράσινα φύκια (*Cyanophyta*) (Bleakley et al., 2017).

1.3 Φωτοσύνθεση μικροφυκών

Τα μικροφύκη είναι φωτοτροφικοί οργανισμοί, δηλαδή ικανοί να μετατρέπουν την φωτεινή ενέργεια σε χημική ενέργεια. Η φωτοτροφία χωρίζεται σε ανοξυγονική και οξυγονική. Τα μικροφύκη είναι οξυγονικά φωτότροφα επειδή το απόβλητο προϊόν της φωτοσύνθεσής τους είναι το μοριακό οξυγόνο (O_2), που προέρχεται από την οξείδωση του νερού. Εκτός από αυτή τη διάκριση, τα φωτότροφα διακρίνονται με βάση την πηγή άνθρακα σε αυτότροφα και ετερότροφα, με τα πρώτα να χρησιμοποιούν CO_2 ως μοναδική πηγή άνθρακα και την ενέργεια που λαμβάνεται από το φως για την αναγωγή του C σε οργανικές ενώσεις $(CH_2O)_n$. Για το λόγο αυτό, αυτοί οι οργανισμοί ορίζονται ως πρωτογενείς παραγωγοί επειδή συνθέτουν νέα οργανική ουσία ξεκινώντας από το CO_2 . Στα φωτοετερότροφα, οι μικροοργανισμοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν οργανικό άνθρακα ως πηγή C. Τα μικροφύκη είναι φωτοαυτοτροφικοί μικροοργανισμοί και η παρουσία φωτοευαίσθητων χρωστικών είναι θεμελιώδης για τη μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε χημική ενέργεια. Στα ευκαρυωτικά φωτότροφα, η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα σε χλωροπλάστες, στους οποίους οι φωτοσυνθετικές χρωστικές συνδέονται με μεμβράνες, και αυτά τα συστήματα φωτοσυνθετικών μεμβρανών, που ονομάζονται θυλακοειδή, διαιρούν τους χλωροπλάστες σε δύο περιοχές: στο στρώμα, στη μήτρα που περιβάλλει αυτά τα συστήματα μεμβρανών και ο χώρος μέσα στα θυλακοειδή. Στα προκαρυωτικά φωτότροφα, η χλωροφύλλη-α και οι φυκοχιλοπρωτεΐνες συγκεντρώνονται για να σχηματίσουν συσσωματώματα που ονομάζονται φυτοβιλιώματα τα οποία συνδέονται με φυλλώδεις μεμβράνες (Madigan et al., 2016).



Εικόνα 1 Κύρια προϊόντα των αντιδράσεων φωτός και σκότους της φωτοσύνθεσης (Masojidek et al., 2013).

Στα φύκη, τα κυανοβακτήρια και τα πράσινα φυτά, είναι οι χλωροφύλλες που απορροφούν την ενέργεια ακτινοβολίας και σηματοδοτούν την έναρξη της διαδικασίας φωτοσυνθετικής μετατροπής της φωτεινής ενέργειας σε χημική ενέργεια με τη μορφή ATP. Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης παραδοσιακά χωρίζεται σε δύο φάσεις: αντιδράσεις φωτός και αντιδράσεις στερέωσης άνθρακα. Στις αντιδράσεις φωτός, οι φωτοσυνθετικές χρωστικές απορροφούν φωτεινή ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε χημική ενέργεια και αποθηκεύεται με τη μορφή ATP και NADPH. Αυτά τα προϊόντα υψηλής ενέργειας χρησιμοποιούνται σε αντιδράσεις στερέωσης άνθρακα όπου το CO₂ ανάγεται σε τριόζη (Madigan et al., 2016). Είναι δυνατόν να συγκριθεί η οξυγονική φωτοσύνθεση με μια αντίδραση οξειδωσης-αναγωγής, που καθοδηγείται από την ενέργεια ακτινοβολίας που απορροφάται από τις χλωροφύλλες, στην οποία το διοξείδιο του άνθρακα ανάγεται σε υδατάνθρακες χάρη στα ηλεκτρόνια που δωρίζονται από το νερό, όπως τα άτομα υδρογόνου, για τα οποία το νερό αντιπροσωπεύει τον αναγωγικό παράγοντα που, με την οξείδωση, επιτρέπει τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα (Εικόνα 1) (Madigan et al., 2016; Masojidek et al., 2013).

1.4 Είδη μεγαλύτερου ενδιαφέροντος

Μόνο μερικές δεκάδες χιλιάδες είδη φυκών από ένα σύνολο που κυμαίνεται από 200.000 έως 800.000 είδη έχουν περιγραφεί στη βιβλιογραφία (Wolkers et al., 2011). Μεταξύ αυτών των γνωστών ειδών, τα μικροφύκη που έχουν μεγαλύτερη βιοτεχνολογική συνάφεια αντιπροσωπεύονται από: *Dunaliella salina*, *Haematococcus pluvialis*, *Arthrospira platensis*, και είδη που ανήκουν στο γένος *Chlorella* και *Nostoc*.

1.4.1 *Dunaliella salina*

Το *Dunaliella salina* είναι ένα από τα πιο μελετημένα μονοκύτταρα ευκαρυωτικά μικροφύκη, τα είδη που ανήκουν σε αυτό το γένος έχουν ωοειδές σχήμα, είναι κινητά χάρη στην παρουσία μαστιγίων και καλύπτονται από ένα στρώμα γλυκοπρωτεΐνης που ονομάζεται glycocalyx. Το ενδιαφέρον για αυτό το είδος φυκών έγκειται στην απόκρισή του στο οσμωτικό

στρες. Όντας ένα μικροφύκος ανθεκτικό στο αλογόνο παρουσία στρεσογόνου pH (το οποίο αναστέλλει την ανάπτυξη μη ανεκτικών οργανισμών), αυτό το είδος είναι σε θέση να συνθέσει μεγαλύτερη ποσότητα γλυκερίνης και β-καροτίνης, η τελευταία ένωση συντίθεται και συσσωρεύεται σε σφαιρίδια λιπιδίων που υπάρχουν σε το στρώμα χλωροπλάστη (Hickman et al., 2012). Το β-καροτένιο ανήκει στην κατηγορία των καροτενοειδών και έχει σημαντική διατροφική συνάφεια δεδομένου του ρόλου της προβιταμίνης A και του χαρακτηριστικού κάθε αντιοξειδωτικού, δηλαδή του αποκλεισμού των ελεύθερων ριζών. Εκτός από το β-καροτένιο, αυτό το είδος είναι επίσης σε θέση να συνθέτει ξανθοφύλλες, ιδιαίτερα ζεαξανθίνη, σε σημαντικές ποσότητες. Επίσης σε αυτή την περίπτωση, οι ξανθοφύλλες παράγονται σε μεγαλύτερες ποσότητες όταν τα μικροφύκη βρίσκονται σε μη βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης, σε αυτήν την περίπτωση παρουσία θερμικής καταπόνησης, άρα σε βιοτεχνολογικό επίπεδο είναι δυνατό να αξιοποιηθούν οι παράμετροι ανάπτυξης ως επιλεκτικά στοιχεία για να ληφθούν διαφορετικά καροτενοειδή (Plaza et al., 2009).

1.4.2 *Haematococcus pluvialis*

Το *Haematococcus pluvialis* είναι ένα μονοκύτταρο πράσινο φύκος κοινό σε γλυκά υδάτινα σώματα. Αυτό το μικροφύκη συνθέτει χλωροφύλλες τύπου α και β, ενώ ανάμεσα στα καροτενοειδή που παράγονται όπως β-καροτίνη, λουτεΐνη, βιολακανθίνη, νεοξανθίνη και ζεαξανθίνη, αυτό το είδος φυκιού χαρακτηρίζεται από το ότι υπό συνθήκες στρες μπορεί να συσσωρεύσει μεγάλη ποσότητα ασταξανθίνης, έως 2-3% του ξηρού βάρους (Plaza et al., 2009). Επιπλέον, η αντιοξειδωτική του δράση αποτρέπει την οξειδωτική βλάβη σε χρόνιους καπνιστές καταστέλλοντας την υπεροξείδωση των λιπιδίων (Park et al., 2010; Koyande et al., 2019). Η αντιοξειδωτική δράση του *H.pluvialis* συνδέεται με την περιεκτικότητά του σε καροτενοειδή. Όσον αφορά την ασταξανθίνη, η οποία αντιπροσωπεύει το κύριο καροτενοειδές που συντίθεται από αυτό το μικροφύκος, έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη σχέσης μεταξύ του βαθμού εστεροποίησης της ασταξανθίνης με λιπαρά οξέα και της αντιοξειδωτικής της δράσης. Στην πραγματικότητα, οι διεστέρες της ασταξανθίνης έχουν αντιοξειδωτική ικανότητα 60% υψηλότερη από το μονοεστεροποιημένο κλάσμα, ενώ σε σύγκριση με την ελεύθερη ασταξανθίνη η αντιοξειδωτική ικανότητα των διεστέρων είναι διπλή (Plaza et al., 2009).

1.4.3 *Arthrospira platensis*

Αυτό το μικροφύκος ονομάζεται *Spirulina* λόγω της σπειροειδούς νηματοειδούς κυτταρικής του οργάνωσης (Tang et al., 2011). Διαφέρει από τα άλλα είδη φυκιών γιατί ανήκει

στην ομάδα των κυανοβακτηρίων. Η εμπορική σημασία αυτού του μικροφυκιού συνδέεται με την υψηλή περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνη, η οποία μπορεί να φτάσει έως και το 70% του ξηρού βάρους. Το υπόλοιπο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από υδατάνθρακες που αποτελούν περίπου το 15% της ξηρής ουσίας και αντιπροσωπεύονται κυρίως από πολυσακχαρίτες, ενώ το λιπιδικό κλάσμα αποτελεί περίπου το 5% της ξηρής ύλης (Plaza et al., 2009). Η σημασία της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη έγκειται επίσης στο γεγονός ότι αυτό το είδος συνθέτει όλα τα απαραίτητα αμινοξέα, με εξαίρεση τα θειούχα αμινοξέα, τα οποία συντίθενται σε μικρότερες ποσότητες (Tang et al., 2011). Εκτός από εξαιρετική πηγή πρωτεΐνης, η *Spirulina* είναι επίσης μια φυσική πηγή βιοδραστικών ενώσεων όπως βιταμίνες, μέταλλα, απαραίτητα λιπαρά οξέα και ξανθοφύλλες και καροτενοειδή (Koyande et al., 2019). Η ετήσια παραγωγή της *Spirulina* είναι περίπου 3000 τόνοι, επομένως αυτό το μικροφύκος διατίθεται ευρέως στην αγορά παγκοσμίως. Στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιείται όχι μόνο για την υψηλή περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες, αλλά και για την παρουσία άλλων βιοδραστικών ενώσεων όπως η βιταμίνη B₁₂, το γ-λινολενικό οξύ και οι φυκοκυανίνες. Από το γένος *Arthrospira*, τα πιο εμπορευματοποιημένα είδη είναι τα *A. platensis* και *A. maxima* (Gouveia et al., 2008),

1.4.4 Chlorella spp

Το *Chlorella* είναι ένα ευκαρυωτικό γένος, το οποίο έχει μονοκυττάρια οργάνωση. Η ετήσια παραγωγή αυτού του μικροφύκου είναι περίπου 4000 τόνοι. Ο λόγος για αυτή την υψηλή παραγωγή έγκειται στη σύνθεση της βιομάζας των φυκών. Είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες (περίπου το 53% της ξηρής ουσίας) σε χλωροφύλλη, πολυσακχαρίτες, βιταμίνες, μέταλλα και απαραίτητα αμινοξέα. Τα μέταλλα και τα ιχνοστοιχεία αποτελούν το 5% της ξηρής ουσίας. Επιπλέον, αυτό το μικροφύκος είναι ικανό να συνθέσει υψηλή ποσότητα βιταμίνης B₁₂, κοβαλαμίνης, ζωτικής σημασίας για το σχηματισμό και την αναγέννηση των κυττάρων του αίματος. Η πιο σημαντική βιοδραστική ένωση που συντίθεται από το *Chlorella spp.* είναι ο ομοπολυσακχαρίτης 1,3-β-γλυκάνη, του οποίου η ανοσοδιεγερτική δραστηριότητα και η ικανότητα να μειώνει τις ελεύθερες ρίζες και τη χοληστερόλη στο αίμα είναι γνωστές (de Morais et al., 2015).

1.4.5 Nostoc

Το *Nostoc* είναι ένα βρώσιμο μικροφύκος που ανήκει στην ομάδα *Nostocaceae Cyanophyta* που σχηματίζει σφαιρικές αποικίες που συνδέονται μεταξύ τους ως νημάτια. Αυτό το μικροφύκος έχει ετεροκύστες με ένα σχέδιο ομοιογενών κυττάρων και μια κανονική

απόσταση μεταξύ των κυττάρων που συνθέτουν το νήμα. Οι ετεροκύστεις σταθεροποιούν το ατμοσφαιρικό άζωτο για τη σύνθεση αμινοξέων στη βιομάζα των μικροφυκών. Ελλείπει πηγής αζώτου κατά την καλλιέργεια μικροφυκών, σχηματίζονται ετεροκύστεις, αποφεύγοντας τον περιορισμό αυτής της θρεπτικής ουσίας για την ανάπτυξη των κυττάρων (Anshuman, S et al 2013).

Η βιομάζα μικροφυκών *Nostoc* έχει χρησιμοποιηθεί στον ιατρικό τομέα και ως συμπλήρωμα διατροφής λόγω της περιεκτικότητάς της σε πρωτεΐνες, βιταμίνες και λιπαρά οξέα. Η ιατρική αξία αυτού του μικροφύκου αποδείχθηκε από τη χρήση του στη θεραπεία του συριγγίου και για ορισμένες μορφές καρκίνου. Ιστορικά, η βιομάζα αυτού του μικροοργανισμού περιγράφεται ως αντιφλεγμονώδης και βοηθά επίσης στην πέψη, τον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης και την ενίσχυση του ανοσοποιητικού. Αρκετές μελέτες υποδηλώνουν ότι το *Nostoc* παράγει αρκετές ενώσεις με αντιμικροβιακή, αντιακτική και αντικαρκινική δράση. Αυτά τα αποτελέσματα έχουν ενθαρρύνει την καλλιέργειά του σε μεγάλη κλίμακα και έχει μεγάλες οικονομικές δυνατότητες λόγω της διατροφικής και φαρμακευτικής του σημασίας (Temina, M. et al 2007).

Η κυανοβιρίνη, ένα πιθανό μόριο πρωτεΐνης που παράγεται από ένα μικροφύκος *Nostoc*, έδειξε θετική επίδραση στη θεραπεία του HIV και της γρίπης Α (H1N1). Το *Nostoc* περιέχει ένα φάσμα πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFAs) που περιλαμβάνουν απαραίτητα λιπαρά οξέα, όπως λινολεϊκό, α -λινολενικό, γ -λινολενικό, οκταδεκατετραενοϊκό και εικοσαπεντανοϊκό οξύ. Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα είναι πρόδρομες ουσίες των προσταγλανδινών, προκαλώντας σημαντικό ενδιαφέρον από τη φαρμακοβιομηχανία (Wang, M. et al 2000).

2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ

Χάρη στη χημική τους σύνθεση, τα μικροφύκη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενός ευρέος φάσματος μεταβολιτών όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, βιταμίνες και χρωστικές. Η σύνθεση της βιομάζας των φυκών δεν είναι σταθερή αλλά ποικίλλει από το ένα είδος στο άλλο και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους ανάπτυξης, όπως: θερμοκρασία, pH, σταθερά υπολείμματα του νερού καλλιέργειας (δηλαδή η περιεκτικότητά του σε ανόργανα άλατα), έκθεση στο φως και ανάδευση. Αυτές οι παράμετροι ποικίλλουν ανάλογα με το σύστημα καλλιέργειας, το οποίο επομένως επηρεάζει σημαντικά τη χημική σύνθεση των μικροφυκών (Priyadarshani et al., 2012).

2.1 Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και αμινοξέα

Ένας από τους λόγους που οδήγησε το ενδιαφέρον της βιομηχανίας τροφίμων να θεωρήσει τα μικροφύκη ως μια νέα πηγή μακροθρεπτικών συστατικών είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες που υπάρχει σε ορισμένα είδη στα οποία η μέση ποσότητα πρωτεϊνών είναι η ίδια και μερικές φορές ακόμη μεγαλύτερη από αυτή των φυτικών πρωτεϊνών. Για παράδειγμα, το ποσοστό του N στη *Dunaliella salina* είναι 57%, υψηλότερο από τις συμβατικές πηγές πρωτεΐνης όπως το ρύζι. Το άζωτο δεν υπάρχει μόνο στις πρωτεΐνες αλλά εισέρχεται επίσης στη σύνθεση άλλων κυτταρικών συστατικών, όπως νουκλεϊκά οξέα, αμίνες, πρωτεογλυκάνες και συστατικά των κυτταρικών τοιχωμάτων. Επομένως, στο ποσοστό του N είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και το μη πρωτεϊνικό άζωτο που στο *Arthrospira spp.* είναι ίσο με 11,5% ενώ στο *Dunaliella spp.* είναι 6%. Κατά γενικό κανόνα, αφαιρείται περίπου το 10% του αζώτου που υπάρχει στα μικροφύκη που αντιπροσωπεύουν μη πρωτεϊνικό άζωτο (Chacón-Lee et al., 2010).

Είναι ξεκάθαρες οι υψηλές δυνατότητες των μικροφυκών για την εκχύλιση πρωτεϊνών, το οποίο είναι σχετικό δεδομένου ότι επί του παρόντος περίπου 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι έχουν ανεπαρκή πρόσληψη πρωτεΐνης και ότι οι συμβατικές πηγές πρωτεΐνης δεν θα είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τον παγκόσμιο πληθυσμό το 2050, ο οποίος εκτιμάται ότι θα φτάσει 9,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι. Επιπλέον, γινόμαστε μάρτυρες μιας αλλαγής στις διατροφικές συνήθειες, που αποδεικνύεται από την αυξανόμενη διάδοση της χορτοφαγικής και vegan διαίτας, και τη μεγαλύτερη ευαισθητοποίηση για περιβαλλοντικά ζητήματα. Οι πρωτεΐνες είναι πολυμερή αμινοξέων, μέσα στα οποία κάθε αμινοξύ συνδέεται με το επόμενο και το προηγούμενο μέσω ενός πεπτιδικού δεσμού. Δεδομένου ότι τα αμινοξέα είναι τα συστατικά των πρωτεϊνών, το

προφίλ αμινοξέων τους είναι θεμελιώδες καθώς καθορίζει τη θρεπτική ποιότητα των πρωτεϊνών. Το προφίλ αμινοξέων αναφέρεται στην περιεκτικότητα, την αναλογία και τη διαθεσιμότητα των αμινοξέων (Mišurcová, L., et al., 2014; Caporagno et al., 2018).

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί είναι ικανοί να συνθέσουν όλα τα αμινοξέα, απαραίτητα και μη. Τα αμινοξέα, εκτός από το ότι επηρεάζουν τη θρεπτική αξία των πρωτεϊνών, είναι επίσης σημαντικά για τον προσδιορισμό της γεύσης του φαγητού, για παράδειγμα στα θαλάσσια φύκη τα μη απαραίτητα αμινοξέα αλανίνη, γλυκίνη και γλουταμινικό οξύ είναι τα κύρια συστατικά της «γεύσης». Όπως και στα φυτά, η περιεκτικότητα σε θειούχα αμινοξέα (μεθειονίνη και κυστεΐνη) που επισημαίνεται με κόκκινο φαίνεται να λείπει (Mišurcová, L., et al., 2014).?????

2.2 Υδατάνθρακες

Η θρεπτική αξία των φυκών δεν επηρεάζεται μόνο από την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, αλλά και από άλλα συστατικά της βιομάζας των φυκών, όπως οι υδατάνθρακες, που είναι μακροθρεπτικά συστατικά και αποτελούν μία από τις κύριες πηγές ενέργειας στην ανθρώπινη διατροφή (Becker 2004). Οι υδατάνθρακες στα μικροφύκη βρίσκονται με τη μορφή απλών σακχάρων, αμύλου, κυτταρίνης και άλλων πολυσακχαριτών όπως αλγινικά, λαμιναρίνες, φουκάνες, άγαρ, καραγενάνες και ουλβάνες. Αυτοί οι πολυσακχαρίτες και οι ολιγοσακχαρίτες έχουν συσχετιστεί με ευεργετικές επιδράσεις στον μικροβιακό πληθυσμό του εντέρου, καθώς δρουν ως πρεβιοτικά, δηλαδή ως ενώσεις που, εάν ληφθούν σε επαρκείς ποσότητες, ευνοούν επιλεκτικά την ανάπτυξη και τη δραστηριότητα βακτηρίων (προβιοτικών) που υπάρχουν ήδη στον εντερικό σωλήνα. ή λαμβάνονται μαζί με το πρεβιοτικό (Pina-Pérez et al., 2017).

2.3 Βιταμίνες

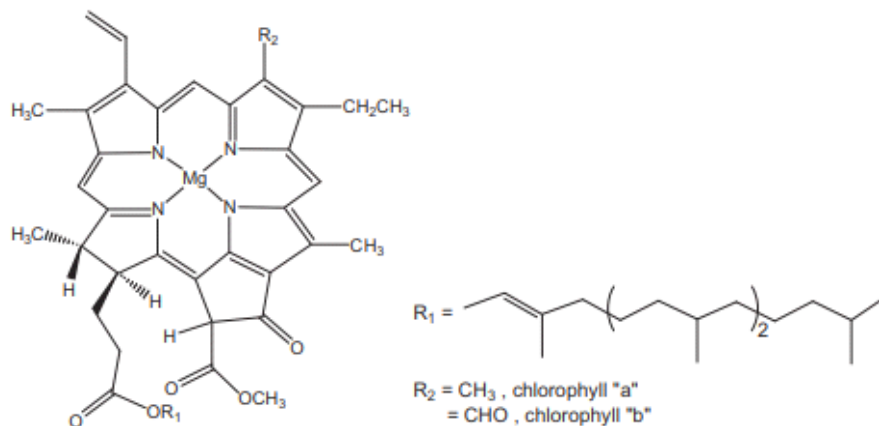
Για να επιβιώσει, ο ανθρώπινος οργανισμός απαιτεί τόσο μακροθρεπτικά συστατικά, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια, όσο και μικροθρεπτικά συστατικά, τα οποία δρουν ως συνένζυμα ή ως ενεργοί μεταφορείς ηλεκτρονίων/πρωτονίων στη διαδικασία της αποδόμησης των μακροθρεπτικών συστατικών. Οι βιταμίνες περιλαμβάνονται στα μικροθρεπτικά συστατικά και η βιομάζα των φυκών αντιπροσωπεύει μια έγκυρη πηγή αυτών των ιχνοστοιχείων, ειδικά στην περιεκτικότητα σε προβιταμίνη Α (β-καροτίνη), βιταμίνη Ε (τοκοφερόλη), βιταμίνη Β₁ (θειαμίνη) και βιταμίνη Β₉ (φολικό οξύ). τα οποία έχουν ιδιαίτερα υψηλή περιεκτικότητα σε μικροφύκη. Για παράδειγμα, το *Dunaliella tertiolecta*, εκτός από τις τέσσερις βιταμίνες που αναφέρθηκαν παραπάνω, συνθέτει επίσης βιταμίνη Β₂ (ριβοφλαβίνη), το *Tetraselmis suecica*,

εκτός από εξαιρετική πηγή θειαμίνης, μπορεί επίσης να συνθέσει τη βιταμίνη B₃ (νιασίνη), τη B₅ (παντοθενικό οξύ), βιταμίνη B₆ (πυριδοξίνη) και βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ). Επί του παρόντος, σε εμπορικό επίπεδο, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για την παραγωγή συμπληρωμάτων διατροφής της βιταμίνης B₁₂ (κοβαλαμίνη) που προορίζονται κυρίως για άτομα που ακολουθούν χορτοφαγική και vegan διατροφή, τα οποία εξαλείφουν την κύρια πηγή αυτής της βιταμίνης που αντιπροσωπεύεται από τα ζωικά τρόφιμα. λείπει εύκολα. Μεταξύ των μικροφυκών, τα γένη *Arthrospira* και *Chlorella* είναι ικανά να συνθέσουν αυτή τη βιταμίνη (Koyande et al., 2019).

2.4 Χρωστικές

Οι χρωστικές είναι μόρια που απορροφούν το φως από το ορατό φάσμα. Εκτός από τις χλωροφύλλες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις κύριες φωτοσυνθετικές πράσινες χρωστικές, τα μικροφύκη συνθέτουν διάφορες βοηθητικές ή δευτερεύουσες χρωστικές ουσίες όπως καροτενοειδή και φυκοβιλίνες (Gouveia et al., 2008).

2.4.1 Χλωροφύλλες

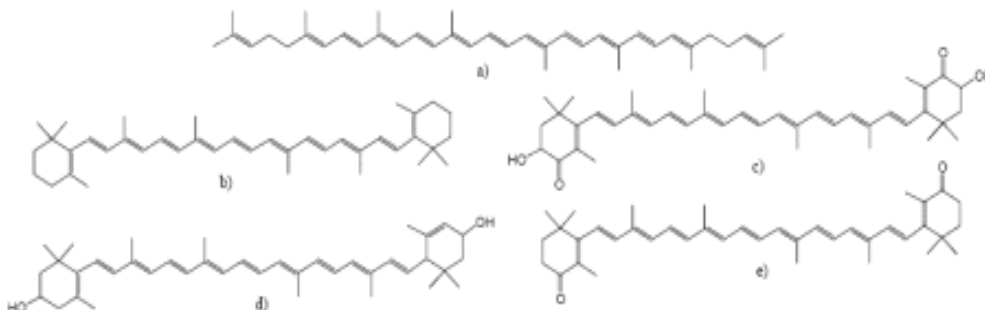


Εικόνα 2 Χημικές δομές της χλωροφύλλης α και β

Σε δομικό επίπεδο, οι χλωροφύλλες αποτελούνται από έναν δακτύλιο τετραπυρρολίου και, σε αντίθεση με τα κυτοχρώματα, περιέχουν μαγνήσιο αντί για σίδηρο στο κέντρο του δακτυλίου. Επιπλέον, η αλυσίδα φυτόλης συνδέεται με τον δακτύλιο που κάνει αυτά τα μόρια αδιάλυτα στο νερό. Οι διάφοροι τύποι χλωροφύλλης που ονομάζονται -a, -b, -c και -d διαφέρουν ως προς τους υποκαταστάτες της πλευρικής ομάδας του δακτυλίου της πορφυρίνης (Εικόνα 2). Όλα τα φύκη περιέχουν έναν ή περισσότερους τύπους χλωροφύλλης, η χλωροφύλλη-α υπάρχει σε όλα τα φύκη και είναι η μόνη χλωροφύλλη που υπάρχει στα μπλε-πράσινα φύκια και στα κόκκινα

φύκη (*Rhodophyta*). Τα πράσινα φύκη, όπως όλα τα ανώτερα φυτά, έχουν επίσης χλωροφύλλη-b, ενώ οι χλωροφύλλες -c,-b και -e υπάρχουν σε διάφορα θαλάσσια φύκη και διάτομα γλυκού. Οι φωτοτροφικοί οργανισμοί όπως τα μικροφύκη, εκτός από τις χλωροφύλλες, που είναι απαραίτητες για τη φωτοσύνθεση, περιέχουν και άλλες χρωστικές ουσίες, ιδιαίτερα καροτενοειδή και φυκοβιλίνες νερού (Madigan et al., 2018; Gouveia et al., 2008).

2.4.2 Καροτενοειδή

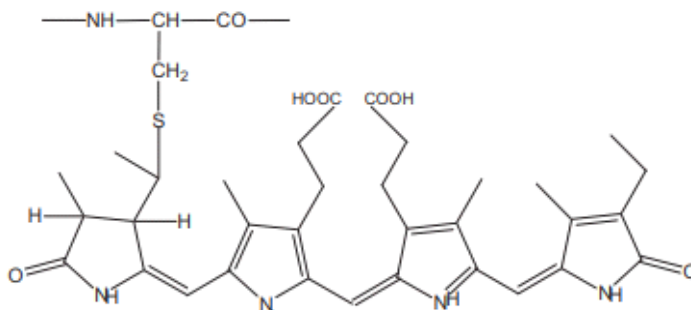


Εικόνα 3 Χημικές δομές ορισμένων καροτενοειδών. a) λυκοπένιο, b) -καροτίνη, c) ασταξανθίνη, d) λουτεΐνη, e) κανθαξανθίνη

Τα καροτενοειδή είναι κίτρινες ή πορτοκαλί, λιπόφιλες χρωστικές, με ισοπρενοειδή δομή, που υπάρχουν τόσο σε φωτοσυνθετικούς οργανισμούς όπως τα μικροφύκη και τα ανώτερα φυτά, όσο και σε μη φωτοσυνθετικούς οργανισμούς (Sathasivama et al., 2019). Σε οργανισμούς που από τη φύση τους ζουν παρουσία φωτός, τα καροτενοειδή αντιπροσωπεύουν φωτοπροστατευτικούς παράγοντες καθώς το έντονο φως μπορεί να είναι επιβλαβές για τα κύτταρα καθώς είναι καταλύτης για αντιδράσεις φωτοοξειδωσης, οι οποίες μπορούν να παράγουν τοξικές μορφές οξυγόνου, δηλαδή παραπροϊόντα του όπως το ανιόν υπεροξειδίου (O_2^{2-}), υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) και ρίζα υδροξυλίου ($-OH^*$). Τα καροτενοειδή αποτρέπουν τις επιβλαβείς φωτο-οξειδώσεις, δηλαδή τους παραγωγούς τοξικών παραπροϊόντων οξυγόνου, απορροφώντας μεγάλο μέρος του επιβλαβούς φωτός (Madigan et al., 2018). Σε σύγκριση με άλλους πόρους, τα μικροφύκη είναι ανώτερη πηγή καροτενοειδών επειδή η ικανότητα σύνθεσης τους επιτρέπει να παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα φυσικών χρωστικών. Χωρίζονται σε δύο ομάδες: καροτίνες και ξανθοφύλλες, η ταξινόμηση αυτή γίνεται με βάση τις λειτουργικές τους ομάδες. Τα καροτένια, όπως το λυκοπένιο και το β-καροτένιο, έχουν μόνο υδρογονάνθρακες ως λειτουργικές ομάδες, ενώ οι ξανθοφύλλες έχουν υδροξυλικές και εποξειδικές ομάδες. Υπάρχουν περισσότερα από 400 καροτενοειδή αλλά σε βιομηχανικό επίπεδο τα κύρια προϊόντα που

διατίθενται στο εμπόριο είναι το β-καροτένιο και η ασταξανθίνη, τα οποία αντίστοιχα συντίθενται σε υψηλές ποσότητες από *Dunaliella salina* και *Haematococcus pluvialis*, ακολουθούμενα από τη ζεαξανθίνη, τη λουτεΐνη και το λυκοπένιο. Το β-καροτένιο αντιπροσωπεύει το 10-14% της ξηρής ουσίας του *D. salina*, ενώ στο *H. pluvialis* η ασταξανθίνη αντιπροσωπεύει το 4-5% της ξηρής ουσίας. Ένα άλλο μικροφύκος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ασταξανθίνης είναι το *Chlorella zofingiensis*. Ο ρυθμός παραγωγής του είναι χαμηλότερος από αυτόν του *H. pluvialis*, αλλά είναι δυνατό να αυξηθεί η παραγωγή αυτής της χρωστικής μεταβάλλοντας τις συνθήκες ανάπτυξης, δηλαδή τοποθετώντας το *C. zofingiensis* σε ανεπάρκεια N και σε συνθήκες στρεσογόνου φωτός (Gouveia et al. 2008; Koyande et al., 2019; Sathasivama et al., 2019) (Εικόνα 3).

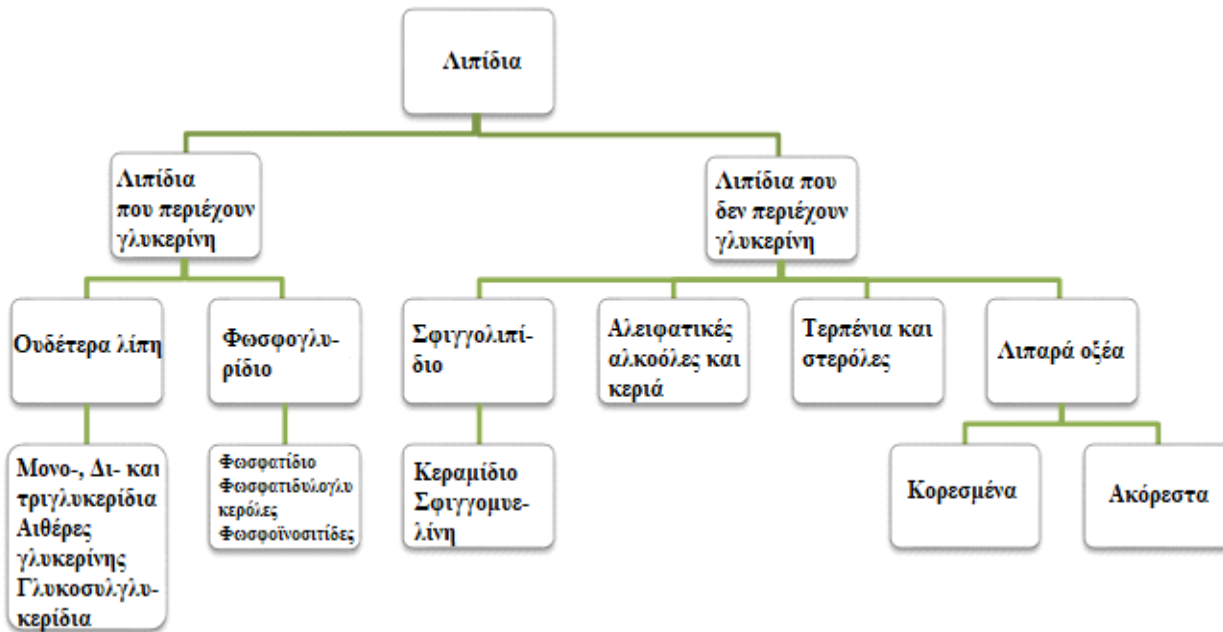
2.4.3 Φυκοβιλίνες



Εικόνα 4 Χημική δομή μιας φυκοκυανοβιλίνης που συνδέεται με σύνδεση θειοαιθέρα στην αποπρωτεΐνη

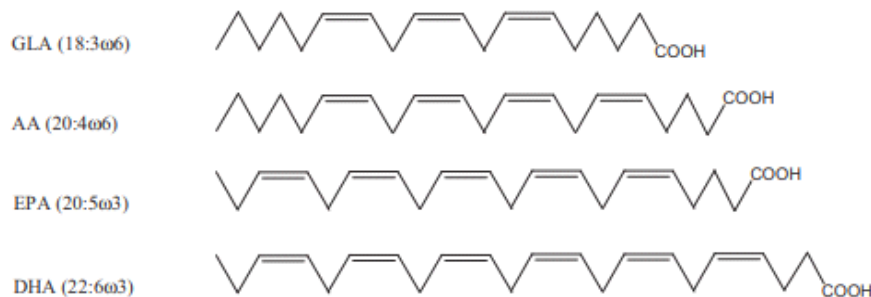
Οι φυκοβιλίνες είναι γραμμικές τετραπυρρόλες και, σε αντίθεση με τα καροτενοειδή, δεν σχετίζονται με ένα άτομο Mg. Αυτές οι βοηθητικές χρωστικές αντιπροσωπεύονται από φυκοκυανίνη, φυκοερυθρίνη και αλλοφυκοκυανίνη. Συντίθενται κυρίως από κόκκινα φύκη που ανήκουν στο γένος *Porphyridium* που συνθέτουν τη φυκοερυθρίνη, μια κόκκινη χρωστική ουσία, και από μπλε-πράσινα φύκη που ανήκουν στο γένος *Arthrospira* που παράγουν φυκοκυανίνη, ένα μπλε χρώμα. Αυτές οι χρωστικές συνδέονται με πρωτεϊνικά συστατικά που οδηγούν στο σχηματισμό υδρόφιλων πρωτεϊνών, των φυκοχλοπρωτεϊνών που αντιπροσωπεύουν τα κύρια συστήματα δέσμευσης φωτός για τα κυανοβακτήρια (Gouveia et al., 2008; Becker 2004) (Εικόνα 4).

2.5 Λιπίδια



Σχήμα 1 Ταξινόμηση λιπιδίων

Τα λιπίδια υπάρχουν σε όλη τη ζωντανή ύλη, ο ορισμός των "λιπιδίων" είναι πολύ γενικός, στην πραγματικότητα περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά μόρια, μεταξύ των οποίων τα πιο σημαντικά από την άποψη των τροφίμων είναι οι τριακυλογλυκερίνες ή τα τριγλυκερίδια (η κύρια μορφή παροχής διατροφικών λιπαρών οξέων), στα μικροφύκη αυτά τα μόρια εκτός από τη λειτουργία αποθήκευσης ενέργειας έχουν και αυτή της στήριξης και της θερμομόνωσης. Το Σχήμα 1 δείχνει μια σχηματική ταξινόμηση των κύριων λιπιδίων.



Εικόνα 5 Χημική δομή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων υψηλής φαρμακευτικής και θεραπευτικής αξίας.

Πίνακας 1 Απαραίτητα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και οι πηγές μικροφυκών τους (Gouveia et al., 2008; Sathasivama et al, 2019)

Omega 3	Ακρωνύμιο	Πηγή μικροφυκών
α-λινολενικό οξύ	18:3, ω3,6,9	<i>Dunaliella salina</i> <i>Dunaliella tertiolecta</i> <i>Chlorella vulgaris</i>
Εικοσιπεντανοϊκό οξύ (EPA)	20:5, ω3,6,9,12,15	<i>Chlorella minutissima</i> <i>Schizochytrium spp.</i> <i>Nannochloropsis spp.</i> <i>Phaeodactylum spp.</i> <i>Nitzschia spp.</i> <i>Diacronema spp.</i> <i>Isochrysis spp.</i>
Εικοσιδυοϊκό οξύ (DHA)	22:6, ω3,6,9,12,15,18	<i>Cryptocodinium cohnii</i> <i>Schizochytrium spp.</i> <i>Ulkenia spp.</i>
Omega 6		
γ-λινολενικό οξύ (GLA)	18:3, ω6,9,12	<i>Arthrospira spp.</i> <i>Nostoc spp.</i>
Αραχιδονικό οξύ (AA)	20:4, ω6,9,12,15	<i>Parietochloris incisa</i> <i>Porphyridium spp.</i>
Λινολενικό οξύ	18:2, ω6,9	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Dunaliella bardawil</i>

Στα ακόρεστα λιπαρά οξέα, εκτός από τη διαμόρφωση του διπλού δεσμού, πολύ σημαντικός είναι και ο αριθμός των ακόρεστων. Στην πραγματικότητα, όταν τα λιπαρά οξέα έχουν περισσότερους από έναν διπλούς δεσμούς ονομάζονται πολυακόρεστα ή PUFA (ακρωνύμιο από τον αγγλικό όρο Polyunsaturated fatty acid). Οι διπλοί δεσμοί δεν είναι γειτονικοί, αλλά μεταξύ του ενός και του άλλου υπάρχει μια ομάδα μεθυλενίου (-CH₂-) και με βάση τη θέση του διπλού δεσμού ως προς το τερματικό μεθύλιο, είναι δυνατόν να διαιρεθούν τα ακόρεστα λιπαρά οξέα σε σειρά . Στην επίσημη ονοματολογία η θέση των διπλών δεσμών

μετράται ξεκινώντας από το καρβοξυλικό, ενώ στη διατροφή η απόσταση του πρώτου διπλού δεσμού από το τερματικό του μεθυλίου και όχι από το καρβοξυλικό είναι πολύ σημαντική. Αυτή η σημασία συνδέεται με το γεγονός ότι η πιθανότητα που έχει ο ανθρώπινος οργανισμός να συνθέσει ακόρεστα λιπαρά οξέα εξαρτάται από την απόσταση του διπλού δεσμού από το μεθύλιο. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα των σειρών ω3 και ω6 ορίζονται ως απαραίτητα επειδή ο ανθρώπινος οργανισμός, όπως και ο ζωικός, δεν είναι σε θέση να τα συνθέσει αφού δεν έχει τα ένζυμα δεσατουράσης που είναι απαραίτητα για την εισαγωγή των διπλών δεσμών σε θέσεις 3 και 6 (ένζυμα που υπάρχουν στα φυτικά κύτταρα). Τα μικροφύκη είναι πλούσια σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και είναι σε θέση να συνθέτουν απαραίτητα λιπαρά οξέα, γι' αυτό και αντιπροσωπεύουν ένα έγκυρο υποκατάστατο για παράδειγμα για τα ψάρια και το ιχθυέλαιο (που χρησιμοποιούνται συνήθως ως πηγή πολυακόρεστων λιπαρών οξέων). Τα κύρια είδη μικροφυκών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή λιπαρών οξέων ανήκουν στα γένη *Arthrospira*, *Cryptocodinium*, *Schizochytrium*, *Ulkenia* και *Chlorella*. Από το γένος *Chlorella* χρησιμοποιείται το είδος *C. minutissima* επειδή παράγει υψηλή ποσότητα εικοσαπεντανοϊκού οξέος, ποσότητα που μπορεί να αυξηθεί αυξάνοντας την αλατότητα και τη θερμοκρασία του μέσου καλλιέργειας (δηλαδή του νερού). Το *Arthrospira platensis* αντιπροσωπεύει την καλύτερη πηγή φυκών γ-λινολενικού οξέος (Sathasivama et al., 2019) (Πίνακας 1) (Εικόνα 5).

3. ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ

Η αξία των τροφών οφείλεται στο γεγονός ότι ο οργανισμός μπορεί να λάβει τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για τις ενεργειακές του ανάγκες από αυτά. Ένα θρεπτικό συστατικό αναφέρεται σε ένα μόριο που υπάρχει στο προϊόν διατροφής και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει απευθείας το ανθρώπινο σώμα, όπως στην περίπτωση των αμινοξέων και της γλυκόζης. Τα σύνθετα θρεπτικά συστατικά ή οι αρχές των τροφίμων, από την άλλη πλευρά, είναι μεγαλύτερα μόρια από τα οποία λαμβάνονται θρεπτικά συστατικά με υδρόλυση, επομένως μέσω της πέψης. Οι θρεπτικές ιδιότητες των μικροφυκών συνδέονται με την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά και σύνθετα θρεπτικά συστατικά, ενώ οι λειτουργικές τους ιδιότητες συνδέονται με την παρουσία στη βιομάζα τους βιοδραστικών ενώσεων με ευεργετικές επιδράσεις για την υγεία..

3.1 Πηγή απαραίτητων αμινοξέων

Στη διατροφή, η παρουσία όλων των απαραίτητων αμινοξέων σε επαρκείς ποσότητες αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη απαίτηση για τη διασφάλιση της διατήρησης της μάζας του σώματος και του θετικού ισοζυγίου αζώτου. Μία από τις θρεπτικές ιδιότητες των μικροφυκών δίνεται από την περιεκτικότητά τους σε απαραίτητα αμινοξέα, στο *Chlorella spp.* και στο *Arthrospira spp.* είναι πιο ισορροπημένη η περιεκτικότητα σε απαραίτητα αμινοξέα σε σύγκριση με άλλα είδη. Στην πραγματικότητα, επί του παρόντος η αγορά των μικροφυκών κυριαρχείται από αυτά τα δύο γένη (Koyande et al., 2019· Priyadarshani et al., 2012).

Εκτός από το υψηλό προφίλ αμινοξέων τους, τα μικροφύκη διακρίνονται από την παραγωγή αμινοξέων που μοιάζουν με μυκοσπορίνη (MAAa). Αυτές οι ενώσεις παράγονται ως δευτερογενείς μεταβολίτες και αποτελούνται από ένα αμινοξύ συνδεδεμένο με ένα χρωμοφόρο κυκλοεξυλαμίνης, έχουν χαμηλό μοριακό βάρος, είναι άχρωμα και διαλυτά στο νερό. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα τη μυκοσπορίνη-αλανίνη και τη μυκοσπορίνη-σερίνη, αυτές οι ενώσεις μοιράζονται την ίδια χημική δομή, αλλά διαφέρουν με βάση το αμινοξύ που υπάρχει. Εκτός από τη διάκριση αυτών των δευτερογενών μεταβολιτών, τα αμινοξέα εμπλέκονται στην προστασία του οργανισμού από την υπεριώδη ακτινοβολία. Συνήθως περιγράφονται ως «μικροβιακά αντηλιακά φίλτρα» ακριβώς επειδή η πιο σημαντική και πιο μελετημένη λειτουργία αυτών των ενώσεων είναι η φωτοπροστασία. Το μικροφύκος *Chlamydomonas nivalis*, που ανήκει στα *Chlorophyta* (πράσινα μικροφύκη), συνθέτει μεγάλη ποσότητα αυτών των δευτερογενών μεταβολιτών (Sathasivam et al., 2019).

3.2 Πηγή απαραίτητων λιπαρών οξέων

Μεταξύ των ω3 βασικών λιπαρών οξέων που συντίθενται από τα μικροφύκη, το δοκοσαενοϊκό οξύ (DHA) και το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) έχουν υψηλή θρεπτική αξία. Το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) είναι πολύ σημαντικό στη νεογνική ανάπτυξη, διότι στο νεογνό ρυθμίζει τη σωστή ανάπτυξη του εγκεφάλου και των ματιών, ενώ το εικοσιπεντανοϊκό οξύ (DHA) πάντα κατά τους πρώτους μήνες της ζωής αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό δομικό λιπαρό οξύ για την ανάπτυξη το νευρικό μας σύστημα και τις οπτικές μας ικανότητες. Η κατανάλωση ω3 λιπαρών οξέων έχει συσχετιστεί με τη ρύθμιση της παραγωγής βιολογικά ενεργών μορίων, δηλαδή των εικοσανοειδών. Αυτά τα μόρια που προέρχονται από το αραχιδονικό οξύ επηρεάζουν διάφορες κυτταρικές και ιστικές λειτουργίες (για παράδειγμα παρεμβαίνουν σε φλεγμονώδεις διεργασίες) είναι σημαντικά για την προφύλαξη και τη θεραπεία χρόνιων και

εκφυλιστικών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της χοληστερόλης στο αίμα και στην προστασία από καρδιαγγειακές παθήσεις, όπως η στεφανιαία νόσος, μια παθολογία στενά συνδεδεμένη με μια διατροφική ανεπάρκεια σε ω3 λιπαρά οξέα. Το γ-λινολενικό οξύ (GLA) είναι ένας σημαντικός πρόδρομος παράγοντας στη σύνθεση των προσταγλανδινών, οι οποίες έχουν θεμελιώδη ρόλο στη ρύθμιση της λειτουργίας των αιμοπεταλίων και του αγγειακού τόνου. Επιπλέον, ορισμένες κλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι αυτό το ω6 λιπαρό οξύ είναι χρήσιμο στη θεραπεία ασθενειών όπως η αρθρίτιδα, η παχυσαρκία, ο αλκοολισμός, η κατάθλιψη, η σχιζοφρένεια, η νόσος του Πάρκινσον και η σκλήρυνση κατά πλάκας (Sathasivam et al., 2019; Milledge, 2010).

3.3 Ιδιότητες υγείας

Τα μικροφύκη είναι πηγή πολλών πολύτιμων ενώσεων, που αντιπροσωπεύονται από: πρωτεΐνες, πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, υδατάνθρακες, χρωστικές ουσίες και βιταμίνες. Αυτές οι ενώσεις, εκτός από την αύξηση των θρεπτικών ιδιοτήτων των προϊόντων διατροφής στα οποία ενσωματώνονται, έχουν σημαντικές ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία, χάρη στην αντιοξειδωτική, αντικαρκινική και αντιμικροβιακή τους δράση (Caporagno et al., 2018).

3.3.1 Αντιοξειδωτική δράση

Τα αντιοξειδωτικά είναι μόρια ικανά να εμποδίσουν την ανάπτυξη ριζικών αλυσιδωτών αντιδράσεων, να αποτρέψουν την οξείδωση ενός οξειδώσιμου υποστρώματος από μη ριζικά οξειδωτικά και προοξειδωτικές ρίζες. Με βάση την προέλευσή τους, είναι δυνατόν να διακρίνουμε τα αντιοξειδωτικά σε ενδογενή, που συντίθενται από τον οργανισμό μας, και σε εξωγενή, δηλαδή που εισάγονται μέσω της τροφής και επομένως ονομάζονται επίσης αντιοξειδωτικά θρεπτικά συστατικά. Τα εξωγενή αντιοξειδωτικά αντιπροσωπεύονται από τη ρετινόλη (βιταμίνη Α), την τοκοφερόλη (βιταμίνη Ε), το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) και τις δύο μεγάλες οικογένειες καροτενοειδών και πολυφαινολών. Τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου ή ROS (ακρωνύμιο από τον αγγλικό όρο Reactive oxygen species) παράγονται συνεχώς από τον ανθρώπινο οργανισμό ως απόκριση σε εξωτερικές πιέσεις που αντιπροσωπεύονται για παράδειγμα από το κάπνισμα και την υπερβολική έκθεση στο ηλιακό φως. Για να εξουδετερώσουν αυτές τις ελεύθερες ρίζες, τα κύτταρα του σώματός μας συνθέτουν αντιοξειδωτικά τα οποία ορίζονται επακριβώς ως ενδογενή. Υπάρχει μια φυσιολογική ισορροπία στη σχέση μεταξύ οξειδωτικών και αντιοξειδωτικών, η σημασία αυτής της ισορροπίας είναι θεμελιώδης στον οργανισμό μας, καθώς οποιαδήποτε ολίσθηση με προοξειδωτική έννοια οδηγεί

σε συσσώρευση ελεύθερων ριζών. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως οξειδωτικό στρες, το οποίο εκτός του ότι παίζει θεμελιώδη ρόλο στη βλάβη των κυττάρων και των ιστών σχετίζεται με πολυάριθμες ασθένειες όπως ο διαβήτης, οι αυτοάνοσες διαταραχές, η αθηροσκλήρωση, το Αλτσχάιμερ και η ρευματοειδής αρθρίτιδα. Σε περίπτωση οξειδωτικού στρες, η πρόσληψη εξωγενών αντιοξειδωτικών έχει θεμελιώδη σημασία. Είναι δυνατόν να θεωρηθεί η βιομάζα μικροφυκών ως ένα πολυσυστατικό αντιοξειδωτικό σύστημα, στο οποίο ένα μεμονωμένο είδος μικροφυκών είναι ικανό να συνθέσει πολλαπλά στοιχεία, όπως για παράδειγμα στη *Chlorella sorokiniana* στην οποία η περιεκτικότητα σε α-τοκοφερόλη, β-καροτίνη και λουτεΐνη είναι αντίστοιχα 112, 600 και 4300 µg/g ξηρής ύλης. Η βιομάζα μικροφυκών αντιπροσωπεύει μια πλούσια φυσική πηγή αντιοξειδωτικών, και αυτό αυξάνει τις οικονομικές και διατροφικές της δυνατότητες για τις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων (Koyande et al., 2019).

3.3.2 Αντικαρκινικά φάρμακα

Ο καρκίνος είναι σήμερα η πιο κοινή αιτία θανάτου σε άνδρες και γυναίκες παγκοσμίως και η παγκόσμια επίπτωσή του έχει διπλασιαστεί την τελευταία δεκαετία. Η πρώτη γραμμή θεραπείας είναι η χημειοθεραπεία και η ακτινοθεραπεία. Ωστόσο, αυτές οι θεραπείες συνδέονται με σοβαρές παρενέργειες, για παράδειγμα η αποτελεσματικότητα του ανοσοποιητικού συστήματος των ασθενών επηρεάζεται αρνητικά από την ακτινοβολία. Αυτές οι παρενέργειες μπορούν να μειωθούν παρέχοντας συμπληρωματικές και εναλλακτικές φαρμακευτικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να ληφθούν από μικροφύκη. Οι ενώσεις φυκών με αντικαρκινική δράση περιλαμβάνουν καροτενοειδή. Για παράδειγμα, η αντικαρκινική δράση της φουκοξανθίνης, που απομονώθηκε από το *Undaria pinnatifida*, δοκιμάστηκε έναντι ανθρώπινων λευχαιμικών κυττάρων HL-60. Μεταξύ των καροτενοειδών που συντίθενται από τα μικροφύκη, η ασταξανθίνη έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον λόγω της αντικαρκινικής της ικανότητας. Αυτή η ένωση αναστέλλει αποτελεσματικά τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό και ο μηχανισμός δράσης της περιλαμβάνει τον αποκλεισμό του κυτταρικού κύκλου πέρα από τη φάση G1, αποτρέποντας έτσι την αντιγραφή του DNA και κατά συνέπεια την είσοδο του πυρήνα στη μίτωση (Amaro et al., 2013).

3.3.3 Αντιμικροβιακά

Το ερευνητικό ενδιαφέρον για τις πρωτεΐνες φυκών δεν συνδέεται αποκλειστικά με μια διατροφική πτυχή αλλά και με τη δυνατότητα παραγωγής βιοδραστικών πεπτιδίων με αντιμικροβιακή δράση. Αυτές οι ενώσεις αποτελούνται γενικά από 12-50 αμινοξέα και η

βιοδραστηριότητά τους εκδηλώνεται μόνο μετά από υδρόλυση από τη «γονική πρωτεΐνη». Εκτός από τα πεπτίδια, οι πολυσακχαρίτες, τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα και τα αντιοξειδωτικά έχουν επίσης επιδείξει αντιμικροβιακό δυναμικό (Pina-Pérez et al., 2017). Μεταξύ των πολυσακχαριτών, οι καρραγενάνες, που συντίθενται από τα μικροφύκη *Porphyridium cruentum*, είναι σε θέση να αναστέλλουν ένα από τα σημαντικότερα παθογόνα των τροφίμων, όπως η *Salmonella enteritidis*. Η αντιμικροβιακή δράση των λιπαρών οξέων επηρεάζεται από το μήκος της ανθρακικής τους αλυσίδας και τον βαθμό κορεσμού, και έχει αποδοθεί στο παλμιτικό, το ελαϊκό, το μυριστικό οξύ και το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA). Ο μηχανισμός δράσης τους επηρεάζει διάφορες δομές μικροοργανισμών, ωστόσο οι πιο κατεστραμμένες είναι οι κυτταρικές μεμβράνες (de Morais et al., 2014).

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ



Εικόνα 6 Τρέχουσες χρήσεις μικροφυκών, από την άμεση χρήση έως τον σχηματισμό υποπροϊόντων.

Ανάλογα με το είδος και τις εξαγόμενες ενώσεις η βιομάζα των μικροφυκών έχει ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς, όπως η διατροφή του ανθρώπου και των ζώων, τα φαρμακευτικά προϊόντα, τα καλλυντικά προϊόντα και η παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Εικόνα 6 απεικονίζει γραφικά την ποικιλία των χρήσεων της βιομάζας των μικροφυκών, από την άμεση

χρήση ως τροφή και ζωοτροφή έως τα βιοπροϊόντα και τα βιοκαύσιμα, που προέρχονται από καλλιέργειες μικροφυκών, με παράλληλες περιβαλλοντικές διακλαδώσεις.

4.1 Τροφή και ζωοτροφές

Τα μικροφύκη και τα κυανοβακτήρια είναι γνωστό ότι καλλιεργούνται για διατροφικούς σκοπούς. Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), έχει επισημάνει την τάση για αύξηση της ζήτησης για προϊόντα φυκών σε παγκόσμια κλίμακα, ως συμπληρώματα διατροφής ή ως πρόσθετα τροφίμων (FAO, 2016). Άλλες βιομηχανικές ακόμη και διατροφικές ανησυχίες οδήγησαν την έρευνα για τα φύκη στην ανάπτυξη νέων προϊόντων διατροφής και συμπληρωμάτων διατροφής (Borowitzka 2013).

Τα μικροφύκη μπορούν να επηρεάσουν θετικά την ευημερία του ανθρώπου και των ζώων λόγω της βιοχημικής τους σύνθεσης. Τα μικροφύκη και τα κυανοβακτηριακά είδη είναι γνωστό ότι έχουν υψηλά επίπεδα πρωτεΐνης με ζωτικά αμινοξέα και λιπίδια με λιπαρά οξέα, που βρίσκονται επίσης στα συμβατικά τρόφιμα, σε μεγαλύτερες ποσότητες και καλύτερη ποιότητα (Ward O.P and Singh, A. 2005)

Τα μικροφύκη και τα κυανοβακτήρια αποτελούν σημαντική πηγή σχεδόν της πλειονότητας των βιταμινών που απαιτούνται για τον ανθρώπινο οργανισμό, επισημαίνοντας την αξία της βιομάζας των μικροφυκών για διατροφικούς σκοπούς. Η σημαντική περιεκτικότητα σε βιταμίνες περιλαμβάνει βιταμίνες A, B₁, B₂, B₆, B₁₂, C, E, K, νικοτινικό οξύ, βιοτίνη, φολικό οξύ και παντοθενικό οξύ. Η συγκέντρωση των βιταμινών όμως επηρεάζεται άμεσα από περιβαλλοντικούς παράγοντες, καθώς και από τις μεθόδους επεξεργασίας ξήρανσης και συγκομιδής (Becker, 2004).

Η πλειονότητα των προϊόντων με βάση τα μικροφύκη και τα κυανοβακτήρια είναι εμπορικά διαθέσιμα με τη μορφή κάψουλων, δισκίων ή ως πρόσθετα σε προϊόντα όπως ποτά, ζυμαρικά, καραμέλες και τσίχλες, για διατροφικούς σκοπούς ή ως χρωστικές ουσίες. Το κυανοβακτήριο *Arthrospira platensis* (γνωστό και ως *Spirulina*) και είδη μικροφυκών, όπως εμπορικά είδη του γένους *Chlorella* είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά, ως συμπληρώματα διατροφής, χωρίς καμία επεξεργασία, εκτός από την ξήρανση (Liang et al., 2004).

Τα *Dunaliella*, το *Haematococcus* και το *Aphanizomenon*, παράγονται σε μεγάλη κλίμακα για χρήση στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων. Μάλιστα, εκτιμάται ότι το 30% της

ετήσιας παραγωγής μικροφυκών κατευθύνεται σε ζώα και υδατοκαλλιέργειες, με σκοπό την παροχή βιταμινών, ζωτικών λιπαρών οξέων και μετάλλων και την ενίσχυση του ανοσοποιητικού και αναπαραγωγικού συστήματος, τον έλεγχο του βάρους και τη βελτίωση της εμφάνισης (Forján et al. , 2015).

4.1.1 Τροφές

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1950 τα μικροφύκη θεωρούνταν καλό συμπλήρωμα σε δίαιτες για υποσιτισμένα παιδιά και ενήλικες, ως μονοκυτταρική πρωτεΐνη, αλλά σήμερα τα μικροφύκη για την ανθρώπινη διατροφή διατίθενται στο εμπόριο σε διάφορες μορφές δισκίων, καψουλών και υγρών (Spolaore et al. , 2006).

Η καθημερινή κατανάλωση φυκών πρέπει να περιοριστεί σε περίπου 20 g, χωρίς να εμφανιστούν επιβλαβείς παρενέργειες, ακόμη και μετά από παρατεταμένη περίοδο πρόσληψης όπως αναφέρεται σε ορισμένες μελέτες. Μετρήθηκαν αιματολογικά δεδομένα, ούρα, πρωτεΐνη ορού, συγκέντρωση ουρικού οξέος και αλλαγές βάρους και δεν βρέθηκαν αλλαγές στις παραμέτρους που αναλύθηκαν, εκτός από μια ελαφρά αύξηση του βάρους, ιδιαίτερα σημαντική για τα παιδιά (Becker, 2004).

Ωστόσο, οι ενήλικες είναι πολύ ανθεκτικοί στην αποδοχή νέων τροφών με ενσωμάτωση μικροφυκών επειδή συχνά επηρεάζει συντηρητικούς εθνικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων θρησκευτικών και κοινωνικοοικονομικών πτυχών είναι πολύ πιο εύκολο με τα παιδιά που είναι πιο πρόθυμα να δεχτούν ασυνήθιστα σκευάσματα. Αυτό αποδείχθηκε στο Μεξικό, όπου ένα ρόφημα που σχηματιζόταν από το 50% ενός εναιωρήματος *Spirulina* («πράσινο γάλα») δόθηκε, χωρίς προβλήματα, ως τροφή από μπουκάλι (Becker, 2004).

4.1.2 Ζωοτροφές

Αρκετά μικροφύκη (π.χ. *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Spirulina*, *Nannochloropsis*, *Nitzschia*, *Navicula*, *Chaetoceros*, *Scenedesmus*, *Haematococcus*, *Cryptocodinium*), μακροφύκη (π. χ. *Vibrio marinus*) μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε χερσαίες όσο και σε υδρόβιες ζωοτροφές (Harel and Clayton, 2004).

Οι ζωοτροφές μπορούν να παρασκευαστούν χρησιμοποιώντας πηγές φυτικών πρωτεϊνών, πηγές φυτικών ελαίων, ιχθυάλευρα, προμίγματα μετάλλων και βιταμινών προκειμένου να επιτευχθούν οι κατάλληλες θρεπτικές ιδιότητες για κάθε ομάδα ζώων και να προαχθούν τα οφέλη για την υγεία και την ευημερία. Η χρήση ακόμη και πολύ μικρών ποσοτήτων βιομάζας

μικροφυκών μπορεί να επηρεάσει θετικά τη φυσιολογία των ζώων με βελτιωμένη ανοσοαπόκριση, με αποτέλεσμα την προώθηση της ανάπτυξης, την αντίσταση στις ασθένειες, την αντική και αντιβακτηριακή δράση, τη βελτιωμένη λειτουργία του εντέρου, τη διέγερση του αποικισμού προβιοτικών, καθώς και τη βελτίωση της μετατροπής της τροφής, την αναπαραγωγική απόδοση και έλεγχο βάρους. Η εξωτερική εμφάνιση των ζώων μπορεί επίσης να βελτιωθεί, με αποτέλεσμα υγιές δέρμα και λαμπερό τρίχωμα, τόσο για ζώα εκτροφής (πουλερικά, αγελάδες, ταύροι αναπαραγωγής) όσο και για κατοικίδια (γάτες, σκύλους, κουνέλια, ψάρια και πουλιά) (Harel και Clayton, 2004).

Δεδομένου ότι οι ζωοτροφές αντιστοιχούν στον πιο σημαντικό εξωγενή παράγοντα που επηρεάζει την υγεία των ζώων και επίσης στη σημαντική δαπάνη στη ζωική παραγωγή, ενθαρρύνεται η χρήση εναλλακτικών συμπληρωμάτων πρωτεΐνης υψηλής ποιότητας που αντικαθιστούν τις συμβατικές πηγές πρωτεΐνης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ζωοτροφές βρίσκονται στην αρχή της τροφικής αλυσίδας, είναι εμφανές το αυξανόμενο δημόσιο και νομικό ενδιαφέρον, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη τις έντονες συνθήκες αναπαραγωγής και την πρόσφατη τάση για αποφυγή «χημικών» όπως τα αντιβιοτικά. Στην πραγματικότητα, το 30% της τρέχουσας παγκόσμιας παραγωγής φυκιών πωλείται για εφαρμογές ζωοτροφών (Breithaupt, 2007).

Πουλερικά

Η αντικατάσταση της συμβατικής πρωτεΐνης σε σιτηρά κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής έγινε από διάφορες δοκιμές διατροφής, χρησιμοποιώντας διάφορα είδη μικροφυκών, συγκεκριμένα *Chlorella*, *Euglena*, *Oocystis*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, με ενσωμάτωση % ανάλογα με το είδος φυκιών (συνήθως έως 10%). Στις όρνιθες ωοπαραγωγής δεν βρέθηκαν διαφορές στον ρυθμό παραγωγής αυγών και στην ποιότητα των αυγών (μέγεθος, βάρος, πάχος κελύφους, περιεκτικότητα σε στερεά αυγά, δείκτης αλβουμίνης, κ.λπ.) και στην αποτελεσματικότητα μετατροπής της τροφής (Becker, 2004).

Για τους σκοπούς της μελάγχρωσης των κοτόπουλων κρεατοπαραγωγής ή/και των κρόκων αυγού, η διαίτα πρέπει να περιέχει μια πηγή καροτενοειδών. Παραδοσιακά, χρησιμοποιήθηκε αφυδατωμένο αλεύρι μηδικής και κίτρινο καλαμπόκι. Ωστόσο, σήμερα, τα εργοστάσια ζωοτροφών χρησιμοποιούν πρώτες ύλες χαμηλού κόστους για να παρέχουν δίαιτες υψηλής ενέργειας και να ελέγχουν την περιεκτικότητα σε χρωστική ουσία με κατάλληλα συμπληρώματα. Τα πέταλα του κατιφέ των Αζτέκων (*Tagetes erecta*), πλούσια σε λουτεΐνη, έχουν αναφερθεί ότι

είναι πολύ αποτελεσματικά ως παράγοντας χρωστικής του κρόκου καθώς και ως συνθετική κανθαξανθίνη (Breithaupt, 2007).

Τις τελευταίες δεκαετίες, μικροοργανισμοί όπως τα μικροφύκη, έχουν δοκιμαστεί για σκοπούς μελάγχρωσης στα πουλερικά. Το *Dunalliella bardawil* μπορεί να είναι πηγή βιταμίνης Α και παράγοντας ενίσχυσης του κρόκου όταν χορηγείται σε όρνιθες ωοπαραγωγής. Το μικροφύκη *Haematococcus* μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως φυσική χρωστική τροφής για κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής (Waldenstedt et al., 2003).

Κοτόπουλα που τρέφονται με βιομάζα κόκκινου μικροφύκου *Porphyridium sp.* εμφάνισαν μειωμένο επίπεδο χοληστερόλης στο αίμα και τροποποιημένη σύνθεση λιπαρών οξέων στον κρόκο αυγού. Ο κρόκος αυγού κοτόπουλων που τρέφονταν με φύκια τείνει να έχει μειωμένα επίπεδα χοληστερόλης και αυξημένα επίπεδα λινολεϊκού και αραχιδονικού οξέος (Ginzberg et al., 2000).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1831/2003 καθορίζει τη χρήση προσθέτων στη διατροφή των ζώων και ορίζει κανόνες για την έγκριση, την εμπορία και την επισήμανση των πρόσθετων υλών ζωοτροφών.

Χοίροι

Το *Chlorella* και το *Scenedesmus* χρησιμοποιήθηκαν για την υποκατάσταση του αλεύρου σόγιας και του βαμβακόσπορου. Η βιομάζα μικροφυκών είναι ένα συστατικό ζωοτροφής καλής διατροφικής ποιότητας και είναι πολύ κατάλληλο για την εκτροφή χοίρων. Μπορεί να αντικαταστήσει τις συμβατικές πρωτεΐνες όπως το σογιάλευρο ή τα ιχθυάλευρα και δεν έχουν αναφερθεί δυσκολίες στην αποδοχή των φυκών από αυτά τα ζώα. Η *Spirulina* έχει επίσης δοκιμαστεί ως πρόσθετο (Becker, 2004).

Μηρυκαστικά

Θα πρέπει να αναμένεται ότι τα μηρυκαστικά αντιπροσωπεύουν την ομάδα των ζώων που είναι πιο κατάλληλα για διατροφή με φύκη, καθώς αυτά τα ζώα είναι σε θέση να αφομοιώσουν ακόμη και το μη επεξεργασμένο υλικό φυκών (π.χ. κυτταρικά τοιχώματα). Ωστόσο, τα πρόβατα, τα αρνιά και τα βοοειδή δείχνουν ανικανότητα να αφομοιώσουν αποτελεσματικά το κλάσμα υδατανθράκων των φυκών (*Chlorella*, *Scenedesmus obliquus* και *Scenedesmus quadricauda*).

Καλύτερη μεταβολική ικανότητα επιτεύχθηκε με τη *Spirulina* που αποτελεί το 20% μιας πλήρους διαίτας προβάτων (Becker, 2004).

Υδατοκαλλιέργεια

Οι τροφές μικροφυκών χρησιμοποιούνται επί του παρόντος κυρίως για την καλλιέργεια προνυμφών και νεαρών οστρακοειδή, καθώς και για την εκτροφή του ζωοπλαγκτού που απαιτείται για τη διατροφή των νεαρών ζώων. Απαιτούνται για τη διατροφή των προνυμφών κατά τη διάρκεια μιας σύντομης περιόδου, είτε για άμεση κατανάλωση στην περίπτωση μαλάκιων και γαρίδων είτε έμμεσα ως τροφή για τα ζωντανά θηράματα, κυρίως *rotifers*, *copepods* και *Artemia nauplii*, τα οποία με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται για τη σίτιση καρκινοειδών και προνυμφών ψαριών (Xu et al., 2007).

Το 1999, η παραγωγή μικροφυκών για την υδατοκαλλιέργεια έφτασε τους 1000 τόνους (62% για τα μαλάκια, 21% για τις γαρίδες και 16% για τα ψάρια) για μια παγκόσμια παραγωγή υδατοκαλλιέργειας 43×10⁶ t φυτών και ζώων. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είδη στην υδατοκαλλιέργεια είναι τα *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* και *Thalassiosira* (Muller-Feuga, 2000).

Τα μικροφύκη περιέχουν απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που καθορίζουν την ποιότητα, την επιβίωση, την ανάπτυξη και την αντοχή σε ασθένειες των καλλιεργημένων ειδών. Αυτά δείχνουν τη σημασία του ελέγχου της βιοχημικής σύνθεσης μικροφυκών για την επιτυχία των αλυσίδων τροφοδοσίας υδατοκαλλιέργειας, ανοίγοντας νέες προοπτικές για τη μελέτη της διατροφής των προνυμφών ψαριών και την ανάπτυξη τροφών με βάση τα μικροφύκη για την υδατοκαλλιέργεια. Για την υποστήριξη μιας καλύτερης ισορροπημένης διατροφής για την ανάπτυξη των ζώων, συνιστάται συχνά η χρήση μικτών καλλιέργειες μικροφυκών, προκειμένου να έχετε ένα καλό προφίλ πρωτεΐνης, επαρκή περιεκτικότητα σε βιταμίνες και υψηλά πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, κυρίως EPA, AA και DHA, που αναγνωρίζονται ως απαραίτητα για την επιβίωση και ανάπτυξη κατά τα πρώτα στάδια της ζωής πολλών θαλάσσιων ζώων. Ένα από τα ευεργετικά αποτελέσματα που αποδίδονται στην προσθήκη φυκιών είναι η αύξηση των ρυθμών κατάποσης τροφής από προνύμφες θαλάσσιων ψαριών που ενισχύουν την ανάπτυξη και την επιβίωση καθώς και την ποιότητα του γόνου. Επιπλέον, η παρουσία φυκών σε δεξαμενές εκτροφής προνυμφών ευρωπαϊκού λαβρακιού έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει την έκκριση πεπτικών ενζύμων (Fábregas et al., 2001).

Υδρόβια είδη, όπως οι σολομοί (σολομός και πέστροφα), οι γαρίδες, ο αστακός, η τσιπούρα, το χρυσόψαρο και ο κυπρίνος υπό συνθήκες εντατικής εκτροφής χρειάζονται συμπλήρωμα καροτενοειδών χρωστικών στη διατροφή τους, για να αποκτήσουν το χαρακτηριστικό μυϊκό τους χρώμα. Εκτός από τις επιδράσεις της μελάγχρωσης, τα καροτενοειδή, συγκεκριμένα η ασταξανθίνη και η κανθαξανθίνη, ασκούν οφέλη στην υγεία και την ευημερία των ζώων, προάγουν την ανάπτυξη των προνυμφών και παρέχουν διεγερτικά αποτελέσματα ανάπτυξης και απόδοσης σε εκτρεφόμενα ψάρια και γαρίδες (Baker and Gunther, 2004).

Ωστόσο, δεδομένου του υψηλού κόστους των καροτενοειδών, έχουν αναπτυχθεί προσπάθειες για την αξιολόγηση του δυναμικού ορισμένων φυσικών χρωστικών που λαμβάνονται από την κόκκινη μαγιά *Phaffia rhodozyma*, το θαλάσσιο βακτήριο *Agrobacterium aurantiacum*, το πράσινο φύκος *Haematococcus pluvialis*, *Chlorella zofingiensis* και *Chlorella vulgaris* ως διαιτητικές πηγές καροτένιο. Πολυάριθμες αναφορές δείχνουν ότι τα καροτενογόνα μικροφύκη εμφανίζονται ως κατάλληλη πηγή καροτενοειδών στις ιχθυοτροφές (Gouveia et al. 2005).

Η *Spirulina* (πλούσια σε β-καροτίνη) χρησιμοποιείται συνήθως σε τροφές υδατοκαλλιέργειας έως και 5-20% ως τροφή για ψάρια και γαρίδες και για να ενισχύσει τα κόκκινα και κίτρινα σχέδια στον κυπρίνο ενώ αφήνει ένα λαμπρό λευκό χρώμα και σε διακοσμητικά χρυσόψαρα. (Gouveia et al., 2005, Spolaore et al., 2006)

Το *Haslea ostrearia*, ένα διάτομο, προκαλεί ένα γαλαζοπράσινο χρώμα στα βράγχια και τις χειλικές παλάμες των στρειδιών, το οποίο αυξάνει την αξία της αγοράς κατά 40% (Spolaore et al., 2006).

4.2 Υγεία

Τα μικροφύκη και τα κυανοβακτήρια είναι μια εξαιρετική πηγή βιοδραστικών ενώσεων. Έχουν την ικανότητα να παράγουν πολυσακχαρίτες, με βάση μονομερή σάκχαρα, όπως γλυκόζη, σημαντικά για ιατρικούς σκοπούς, συνθέτουν κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, β-καροτένιο και άλλα καροτενοειδή (0,1% έως 0,2% ξηρού βάρους - 14% ξηρού βάρους για β. -καροτίνη *Dunaliella salina*), εμπορικά εφαρμόσιμες φυσικές χρωστικές, όπως ασταξανθίνη (που προέρχεται κυρίως από το *Haematococcus pluvialis*), που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία υγείας για τη θεραπεία του Alzheimer και της νόσου του Πάρκινσον, για τη θεραπεία του μεταβολικού συνδρόμου και

τη βελτίωση του ύπνου, χλωροφύλλη (0,5% έως 1% του ξηρού βάρους), και φυκοχλωροπρωτεΐνες. Οι προαναφερθείσες ουσίες είναι απαραίτητες για τη θεραπεία όγκων, νευρωνικών διαταραχών και διαταραχών της όρασης. Οι αυξημένες ποσότητες υδατανθράκων τους καθιστούν εξαιρετική πηγή ενέργειας (Spolaore et al., 2005; Guil-Guerrero et al., 2004).

Τα λιπίδια που παράγονται στα κύτταρα των μικροφυκών, είναι σε μεγάλες ποσότητες και χαρακτηρίζονται από την ποικιλία τους ανάλογα με το είδος. Ορισμένα προϊόντα μικροφυκών βοηθούν στον έλεγχο της υπεργλυκαιμίας και της υπερλιπιδαιμίας, συμβάλλοντας ιατρικά στις διαταραχές του διαβήτη και της παχυσαρκίας (Duong et al., 2015).

Τα λιπαρά οξέα μικροφυκών είναι ενδιαφέροντα τόσο για τις θρεπτικές τους όσο και για τις θεραπευτικές τους εφαρμογές. Τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), όπως τα Ωμέγα-3 και Ωμέγα-6 προερχόμενα από μικροφύκη, θεωρούνται σημαντικά για τη θεραπεία του άσθματος, της αρθρίτιδας και των καρδιακών παθήσεων. Το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το εικοσιδυεξανοϊκό οξύ (DHA), το λινολεϊκό οξύ, το γάμμα-λινολενικό οξύ και το αραχιδονικό οξύ έχουν επίσης εμπορικό ενδιαφέρον και είναι γνωστό ότι εξισορροπούν τη χοληστερόλη, προλαμβάνουν καρδιαγγειακές διαταραχές και έχουν αντιγηραντική δράση, καθώς και θεραπεία φλεγμονωδών ασθενειών. Παραδείγματα ειδών μικροφυκών που συνθέτουν λιπαρά οξέα είναι το *Arthrospira platensis* (*Cyanobacterium*), στο οποίο ανιχνεύονται σιτοστερόλη, στιγμαστερόλη και γ-λινολενικό οξύ, *Odontella*, *Porphyridium cruentum*, *I. galbana* και *Pavlova lutheri*, το τελευταίο είναι γνωστό για τη μεγάλη του ποσότητα. (Santhosh et al., 2016; Bannenberg et al., 2017).

Άλλα είδη μικροφυκών παράγουν ουσίες με δράση ως αντιοξειδωτικά, με υψηλό φαρμακευτικό όφελος, προστατεύουν τον ανθρώπινο οργανισμό από τις επιπτώσεις των ελεύθερων ριζών συμβάλλοντας στην πρόληψη του οξειδωτικού στρες (Khan et al., 2018). Λόγω της ικανότητας των μικροφυκών να παράγουν βιοδραστικές φυσικές αντιοξειδωτικές ενώσεις, μπορούν να γίνουν μια από τις πιο κερδοφόρες πηγές στον τομέα των φυσικών φαρμακευτικών φυτών. Οι εντατικές προσπάθειες μάρκετινγκ καθώς και ο διάσημος τύπος υγιεινής διατροφής οδήγησαν την προσοχή του κοινού στα οφέλη των αντιοξειδωτικών, τονίζοντας τη σημασία της χρήσης φυσικών πηγών εκτός από συνθετικές ενώσεις. Για παράδειγμα, η Phycoerythrobilin (από την *Porphyr* sp.) αναφέρει σημαντικές αντιοξειδωτικές δραστηριότητες, ενώ η χλωροφύλλη και οι μεταβολίτες της καθώς και οι περισσότερες χρωστικές που παράγονται

(φουκοξανθίνη και ουροξανθίνη από το *Undaria pinnatifida*) θεωρείται ότι έχουν καλύτερα αντιοξειδωτικά ιδιότητες από το β-καροτένιο (Cornish and Garbary 2010; Sangeetha et al., 2009).

Η φουκοξανθίνη, η φουκοξανθινόλη και η σιφωναξανθίνη έχουν επίσης αποδειχθεί ότι αναστέλλουν την αγγειογένεση, η οποία, παρά το γεγονός ότι είναι μια φυσική διαδικασία, μπορεί να γίνει παθολογική σε περιπτώσεις καρκίνου, ισχαιμικού εγκεφαλικού, διαβητικής αμφιβληστροειδοπάθειας και αθηροσκλήρωσης. Επιπλέον, η φουκοξανθίνη έχει αποδειχθεί ότι προστατεύει το DNA από τη φωτοξείδωση. Τα κυανοβακτήρια πιστεύεται ότι είναι σημαντικές πηγές δραστικών ουσιών που μπορούν να βοηθήσουν στη θεραπεία του καρκίνου (Armstrong et al., 2011).

Εκχυλίσματα *Synechocystis sp.* και *Synechococcus sp.*, *Lyngbya sp.*, *Anabaena sp.*, είδη *Nostoc*, το εκχύλισμα *Oscillatoria boryana* και *Microcystis sp.* όλα έχουν αποδειχθεί ότι παράγουν ουσίες που προκαλούν απόπτωση. Επίσης, παράγουν βιοδραστικούς μεταβολίτες και ποικίλες τοξικές ενώσεις με σημαντική αντικαρκινική δράση, η απομόνωση των οποίων αποτελεί αντικείμενο διαφόρων ερευνητικών μελετών, οι οποίες ταυτόχρονα καθιερώνουν νέες βιοτεχνολογικές και τοξικολογικές εφαρμογές (Welker et al., 2006 Singh et al., 2011).

Τέλος, η αντιμικροβιακή και αντιβακτηριακή δράση των μεταβολιτών των μικροφυκών έχει αποδειχθεί σημαντική. Το *Chlorella* έχει την ικανότητα να αναστέλλει την ανάπτυξη θετικών και αρνητικών κατά Gram βακτηρίων. Οι αντιμικροβιακοί παράγοντες παράγονται από το *Prorocentrum lima* και το *Amphidinium*. Τα *Chaetoceros lauderi* και *Dunaliella salina* έχουν επίσης αποδειχθεί ότι παράγουν ουσίες που επηρεάζουν διάφορα βακτήρια και μύκητες, όπως τα *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger*. Το *D. salina* δρα κατά της *Klebsiella pneumoniae*, ενώ το *Dunaliella primolecta* δρα κατά του *Staphylococcus aureus* και άλλων βακτηρίων, με μεγάλη αντιαναπτυξιακή δράση (Washida et al., 2006; Mendiola et al., 2008; Pane et al., 2015).

Παρόλα αυτά, τα μικροφύκη παράγουν ορισμένους δευτερογενείς μεταβολίτες, τις φυτοτοξίνες, με σοβαρές δυσμενείς επιπτώσεις. Στην πραγματικότητα, τα ήδη αναγνωρισμένα είδη που παράγουν τοξίνες ταξινομούνται ως (Caruana and Amzil, 2018):

- Μη τοξικά είδη, που όμως έχουν την ικανότητα να φτάσουν σε υψηλότερα επίπεδα τοξινών με υψηλή παραγωγή βιομάζας (HABs), με αποτέλεσμα την καταστροφή της θαλάσσιας πανίδας και της ανοξίας.
- Είδη που παράγουν τοξίνες, τα οποία είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο, μέσω της τροφικής αλυσίδας.
- Είδη τοξικά για τα ψάρια ή άλλους υδρόβιους οργανισμούς, μέσω αιμολυτικών τοξινών.
- Τοξικά είδη με άμεσο αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία μέσω εισπνοής ή επαφής με το δέρμα.

Κατά τη διάρκεια μιας τοξικολογικής αξιολόγησης, οι τοξίνες μικροφυκών χαρακτηρίζονται ως:

- Βιογενή, που σημαίνει ότι συντίθενται από το είδος ή σχηματίζονται από την αποσύνθεση των μεταβολικών προϊόντων, και επομένως θεωρούνται μέρος του οργανισμού, και
- Μη βιογενή, τα οποία αποτελούνται από περιβαλλοντικούς ρύπους και μπορούν να αποφευχθούν με ορισμένες μεθόδους καλλιέργειας και προσεκτική διαχείριση των διαδικασιών παραγωγής βιομάζας, επιλέγοντας περιοχές που δεν είναι κοντά σε ρύπανση.

Ως εκ τούτου, οι βιογενείς τοξίνες μπορεί να είναι, υπό ορισμένες συνθήκες, τα νουκλεϊκά οξέα και τα μικροφύκη που παράγουν τοξίνες, ενώ οι μη βιογενείς τοξίνες αφορούν κυρίως τη συσσώρευση βαρέων μετάλλων στη βιομάζα των φυκών (Becker, 2004).

Τα τελευταία 40 χρόνια, έχουν παρατηρηθεί αυξημένα περιστατικά τοξικότητας, με διάρροια και δηλητηρίαση από αζασπιραξίνη (AZA) μέσω της κατανάλωσης ψαριών. Η αιτία των επεισοδίων είναι ο ανθρωπογενής παράγοντας, καθώς η ρύπανση και η κλιματική αλλαγή συνδέονται άμεσα με την τοξική επίδραση των μικροφυκών (Caruana and Amzil, 2018). Ειδικά η παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων διευκολύνει την ανάπτυξη τοξικών μικροφυκών, τα οποία εξαπλώνονται και αναπαράγονται γρήγορα. Η δηλητηρίαση έχει παρατηρηθεί στις ακτές της Ευρώπης, της Ασίας, της Νότιας Αμερικής, της Νότιας Αφρικής και της Αυστραλίας κυρίως από κυανοβακτήρια (*M. aeruginosa*, *Anabaena* και *Aphanizomenon*) τα οποία είναι δύσκολο να διαφοροποιηθούν από τα μη τοξικά είδη (Becker, 2004).

Σχετικά με την Ελλάδα, η οποία διαθέτει 18.000 χιλιόμετρα ακτογραμμής, είναι μια από τις χώρες στην οποία οι επιπτώσεις των τοξικών φυκών είναι εμφανείς. Εξαιτίας ανθρώπινων παρεμβάσεων λόγω της αυξημένης παροχής θρεπτικών στοιχείων σε είδη μικροφυκών και κυανοβακτηρίων, από χερσαίες πηγές, έχουμε ως αποτέλεσμα φαινόμενα θνησιμότητας ψαριών καθώς και παλίρροιες, λόγω της ανάπτυξης ειδών υψηλής βιομάζας. επιβλαβής άνθιση φυκιών (HAB). Περιστασιακές δειγματοληψίες μικροφυκών σε όλους τους μεγάλους κόλπους της ελληνικής ακτογραμμής έχουν αποδείξει την παρουσία τοξικών και δυνητικά τοξικών ειδών μικροφυκών. Στην πλειονότητα τους τα τοξικά είδη παρατηρήθηκαν στους κόλπους του Θερμαϊκού και του Αμβρακικού, κυρίως λόγω της συνεχούς παροχής θρεπτικών ουσιών από τα ποτάμια και το αστικό σύστημα αποχέτευσης, με αποτέλεσμα μεγάλη υποβάθμιση των θαλάσσιων οργανισμών και της ποιότητας του νερού (Ignatiades and Gotsis-Skretas, 2010; Nikolaidis et al., 2005).

4.3 Καλλυντικά

Η παραγωγή καλλυντικών προϊόντων που αποτελούνται από μικροφύκη και κυανοβακτήρια, εμπλουτισμένα με αντιοξειδωτικά και διάφορες άλλες βιοδραστικές ουσίες, θεωρείται ένας αναπτυσσόμενος και με υψηλές δυνατότητες τομέα. Η ανάγκη δημιουργίας ασφαλών προϊόντων, που αναπτύχθηκαν με φιλικές προς το περιβάλλον βιοδιεργασίες, έχει τοποθετήσει τα μικροφύκη ως βιώσιμη πηγή βιοπροϊόντων (Michalak and Chojnacka, 2014). Ο Πίνακας 2 αναφέρει μια ποικιλία ειδών μικροφυκών και τη συμβολή τους στη βιομηχανία καλλυντικών, μέσω μιας πληθώρας εφαρμογών, πολλαπλών για επιλεγμένα είδη:

Πίνακας 2 Μικροφύκη και κυανοβακτηριακές εφαρμογές στα καλλυντικά (Ariede et al., 2017; Wang et al., 2015)

Μικροφύκη και Κυανοβακτήρια	Εμπορικές εφαρμογές
<i>Arthrospira</i> και <i>Chlorella</i>	Προϊόντα περιποίησης δέρματος, προϊόντα περιποίησης μαλλιών και αντηλιακής προστασίας
<i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Alaria esculenta</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Mastocarpus stellatus</i> , <i>Spirulina platensis</i> , <i>Dunaliella salina</i>	Αντιγηραντικοί παράγοντες

<i>Chlorogloeopsis sp, Isochrisis, Nannochloropsis, Fucus vesiculosus, Nostoc sp.</i>	Αποτρέπει τη φωτογήρανση, το σχηματισμό ρυτίδων και τη χαλάρωση του δέρματος
<i>Porphyra, Spirulina sp. και Chlorella sp.</i>	Ενυδατικές κρέμες για δέρμα, μαλλιά, πρόσωπο και σώμα
<i>Thraustochytrium, Aurantiochytrium και Schizochytrium</i>	Ενίσχυση της επιδερμίδας, με μη τοξικές, μη ερεθιστικές και μη ευαισθητοποιητικές ενώσεις
<i>Monodus sp., Thalassiosira sp., Chaeloceros sp., και Chlorococcum sp</i>	Αντιγηραντικά προϊόντα που ενισχύουν το ερέθισμα κολλαγόνου
<i>Cocoid και Filamentous</i>	Φωτογήρανση δέρματος
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Ελαστικότητα και σφριγηλότητα του δέρματος
<i>Chlamydocapsa sp.</i>	Φωτογήρανση, προϊόντα για προστασία δέρματος και μαλλιών
<i>Nannochloropsis oculata</i>	Λεύκανση δέρματος
<i>Monodus sp., Thalassiosira sp., Chaeloceros sp. και Chlorococcum sp.</i>	Απώλεια μαλλιών

Εξαιρετική φυσική πηγή αποτελούν οι δευτερογενείς μεταβολίτες που παράγουν τα είδη μικροφυκών κατά την καλλιέργεια τις καθιστούν σημαντική δραστηριότητα στην κοσμετολογία. Φυσικοί πολυσακχαρίτες, όπως *carrageenans* από κόκκινα φύκια, *fucoidans* από καφέ φύκια και *ulvans* από πράσινα φύκια, ενυδατικά μέταλλα, αντιοξειδωτικά, καροτενοειδή, αντιφλεγμονώδεις ενώσεις και αντιμικροβιακές ουσίες είναι άφθονα στα είδη μικροφυκών και έχουν αποτελέσει αντικείμενο επιστημονικής παρατήρησης στην παραγωγή καλλυντικών, ως ισχυρή και ευεργετική βιοτεχνολογική εφαρμογή (Ariede et al., 2017; Wang et al., 2015)

5. ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται σε διαφορετικούς βιομηχανικούς τομείς. Στη βιομηχανία τροφίμων, η αυξανόμενη ζήτηση για υγιεινά και φυσικά προϊόντα οδήγησε στην αναζήτηση τέτοιων μικροοργανισμών χάρη στον πλούτο τους σε βιοδραστικές ενώσεις (Chacòn-Lee et al., 2010).

5.1 Επισκόπηση των διαφορετικών εμπορικών χρήσεων

Στη βιομηχανία τροφίμων, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή συμπληρωμάτων διατροφής, προσθέτων και ως συστατικό για τη βελτίωση της διατροφικής ποιότητας ενός προϊόντος διατροφής. Στις ζωοτροφές, η βιομάζα μικροφυκών χρησιμοποιείται ως ζωοτεχνικό συμπλήρωμα και ως χρωστικός παράγοντας με αποτελεσματικότητα στη χρώση του κρόκου αυγού συγκρίσιμη με αυτή των συνθετικών χρωστικών (Gouveia et al., 2008). Στην παραγωγή υδρόβιων οργανισμών, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται ευρέως ως μία από τις πιο σημαντικές πηγές τροφής για πολλές ομάδες εμπορικά σημαντικών υδρόβιων οργανισμών, τόσο στην υδατοκαλλιέργεια του γλυκού νερού όσο και στη θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια (Skjånes et al., 2013). Η προσοχή της φαρμακοβιομηχανίας προς αυτούς τους μικροοργανισμούς έγκειται στο σύστημα καλλιέργειάς τους, το οποίο επιτρέπει την παραγωγή σε καλλιέργεια βιοδραστικών ενώσεων που είναι δύσκολο να παραχθούν μέσω χημικής σύνθεσης. Στα καλλυντικά, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται στην παραγωγή προϊόντων περιποίησης προσώπου και δέρματος, όπως αντηλιακά και αντιγηραντικές κρέμες, εκμεταλλευόμενοι την υψηλή περιεκτικότητά τους σε αντιοξειδωτικά. για τη λήψη βιοδραστικών ενώσεων που αντιπροσωπεύονται για παράδειγμα από χρωστικές, που χρησιμοποιούνται ως χρωστικές ουσίες, και η καραγενάνη που χρησιμοποιείται ως πηκτικό μέσο. Στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ, αλλά επί του παρόντος το κόστος τους δεν είναι επαρκώς ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα (Priyadarshan et al., 2012). Στη γεωργική βιομηχανία, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιολιπασμάτων. Σε αυτό το πεδίο εφαρμογής, χρησιμοποιούνται κυανοβακτηριακά μικροφύκη τα οποία, χάρη στην ικανότητά τους να δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο, βελτιώνουν τη θρεπτική λειτουργία του εδάφους, καθιστώντας αυτό το στοιχείο διαθέσιμο για απορρόφηση των ριζών. Ένα παράδειγμα καλλιέργειας στην οποία χρησιμοποιούνται κυανοβακτήρια δίνεται από τροπικούς ορυζώνες,

στους οποίους χρησιμοποιούνται μικροφύκη που ανήκουν στο γένος *Nostoc* (Priyadarshan et al., 2012).

5.2 Συμπληρώματα διατροφής

Στην διατροφή του ανθρώπου, τα μικροφύκη διατίθενται στο εμπόριο κυρίως ως συμπληρώματα διατροφής, δηλαδή ως συμπυκνωμένες πηγές θρεπτικών συστατικών, όπως απαραίτητα λιπαρά οξέα και βιταμίνες ή άλλες ουσίες, με θρεπτική ή φυσιολογική επίδραση. Αυτά τα προϊόντα διατίθενται στο εμπόριο με τη μορφή "δόσεων" και παγκοσμίως περισσότερο από το 75% της βιομάζας μικροφυκών που παράγεται ετησίως χρησιμοποιείται για την παραγωγή σκονών, καψουλών μαλακής γέλης και δισκίων (Πίνακας 3). Εκτός από αυτά τα τρία κοινά εμπορικά σκευάσματα, τα μικροφύκη χρησιμοποιούνται για παράδειγμα από την κινεζική εταιρεία "Taiwan *Chlorella* Manufacturing Company (TCMC)", για την παραγωγή ενός υγρού εκχυλίσματος *Chlorella spp.* 65 cc που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ημερήσια δόση. (Chacòn-Lee et al. 2010; Priyadarshani et al., 2012; TCMC, 2013).

Πίνακας 3 Εμπορικά σκευάσματα συμπληρωμάτων διατροφής με βάση τα μικροφύκη (Lafarga, 2019; Priyadarshani et al., 2012).

Παραγωγός	Μικροφύκη	Εμπορική φόρμουλα
Smart Organic, Γερμανία	<i>Chlorella spp.</i> <i>Arthrospira spp.</i>	Δισκία, Ταμπλέτες
Apollo Pharmacy, Ινδία	<i>Arthrospira spp.</i>	Κάψουλα
Label Spiruline, Γαλλία	<i>Arthrospira spp.</i>	Νιφάδες
Alghitaly, Ιταλία	<i>Arthrospira spp.</i>	Δισκία, σκόνη και νιφάδες
Taiwan <i>Chlorella</i> Manufacturing Company, Κίνα	<i>Chlorella spp.</i>	Υγρό, σκόνη και δισκία

Δεδομένης της αυξανόμενης ζήτησης για υγιεινά προϊόντα διατροφής με συγκεκριμένες ιδιότητες, η βιομάζα μικροφυκών, εκτός από τη χρήση ως συμπλήρωμα διατροφής, χρησιμοποιείται ως συστατικό για την αύξηση των θρεπτικών και λειτουργικών ιδιοτήτων των προϊόντων διατροφής. Μία από τις τρέχουσες τάσεις είναι η ενσωμάτωση της βιομάζας

μικροφυκών σε παραδοσιακά προϊόντα διατροφής, όπως στην περίπτωση των «κριτσίνια Greenzilla Mavericks» που περιέχουν 2% *Arthrospira spp* (Lafarga, 2019) (Πίνακας 4).

Πίνακας 4 Διαφορετικά εμπορικά προϊόντα που περιέχουν μικροφύκη (Lafarga, 2019).

Επωνυμία	Εταιρία	Περιγραφή προϊόντος	Περιεκτικότητα σε μικροφύκη
Gullón Vitalday	Galletas Gullón, Ισπανία	Κέικ βρώμης και ρυζιού με <i>Spirulina</i>	1%
NataliPotaBio	Natureet Aliments, Γαλλία	Στιγμαϊά σούπα με σπανάκι και <i>Spirulina</i>	1.5%
Helga	Evasis Edibles, Αυστρία	Κρακερ με φύκια αρωματισμένα με θαλασσινό αλάτι	5%
Cesare Carraro	Incar, Ιταλία	Πράσινο τσάι και καραμέλες από φύκια <i>Spirulina</i>	0.05%
Casino Bio	Casino, Γαλλία	Μπισκότα με <i>Spirulina</i> και κράνμπερι	2.6%
Severino Becagli	Severino Becagli, Ιταλία	Γιγαντιαίες έλικες με <i>Spirulina</i>	2%

Οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις που χρησιμοποιούνται σε ορισμένα προϊόντα, όπως στις καραμέλες Cesare Carraro, υποδηλώνουν ότι η βιομάζα μικροφυκών ενσωματώνεται σε αυτά τα προϊόντα περισσότερο για τεχνολογικούς σκοπούς, δηλαδή ως χρωστική ουσία, παρά για διατροφικούς σκοπούς (Lafarga, 2019).

5.3 Πρόσθετα

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1333/2008 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου «σχετικά με τα πρόσθετα τροφίμων» ορίζει ως πρόσθετο τροφίμων «κάθε ουσία που δεν καταναλώνεται συνήθως ως τρόφιμο από μόνη της και δεν χρησιμοποιείται ως χαρακτηριστικό συστατικό τροφίμων, με ή χωρίς θρεπτική αξία, των οποίων η σκόπιμη προσθήκη σε τρόφιμα για

τεχνολογικό σκοπό στην παρασκευή, επεξεργασία, προετοιμασία, επεξεργασία, συσκευασία, μεταφορά ή αποθήκευση τους, έχει ή είναι πιθανό να έχει ως αποτέλεσμα η ουσία ή τα υποπροϊόντα της να γίνουν, άμεσα ή έμμεσα, συστατικά από τέτοια τρόφιμα». Επιπλέον, στο παράρτημα I του παρόντος κανονισμού παρατίθενται οι λειτουργικές κατηγορίες προσθέτων τροφίμων στα τρόφιμα και όπως αναφέρεται στον Πίνακα 5, με βάση την τεχνολογική επίδραση που ασκείται στα τρόφιμα είναι δυνατόν να διακριθούν αυτές οι ουσίες σε τέσσερις κατηγορίες. Από αυτές τις τέσσερις τεχνολογικές κατηγορίες, τα μικροφύκη, χάρη στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε χρωστική, με χρωματισμό που κυμαίνεται από το πράσινο των χλωροφύλλων έως το κιτρινοκόκκινο των καροτενοειδών έως το μπλε της φυκοκυανίνης, χρησιμοποιούνται κυρίως ως πηγή φυσικών χρωστικών. Οι χρωστικές δεν έχουν θρεπτική αξία, δεν είναι ούτε απαραίτητες ούτε χρήσιμες για τον οργανισμό μας, αλλά στη βιομηχανία τροφίμων παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην καθοδήγηση των επιλογών των καταναλωτών. Η αγορά για φυσικές βαφές αυξάνεται, αυτό συμβαίνει επειδή οι περισσότεροι καταναλωτές συνδέουν συνθετικές ενώσεις όπως συνθετικές βαφές με ανθυγιεινές ουσίες (Caporgno et al., 2018). Αυτό οδήγησε τη βιομηχανία τροφίμων να πρέπει να προσαρμοστεί σε αυτή τη νέα και αυξανόμενη ζήτηση για «πιο φυσικά» προϊόντα. Ένα παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής μικροφυκών που χρησιμοποιούνται ως φυσικός χρωματισμός υπάρχει στη Nestlé Rowntree η οποία το 2008 επανέφερε τα μπλε Smarties αφού βρήκε στα κυανοβακτηριακά μικροφύκη μια φυσική πηγή για τον μπλε χρωματισμό αυτών των προϊόντων ζαχαροπλαστικής, που αντιπροσωπεύεται από τη φυκοκυανίνη (Chacòn-Lee et al. , 2010). Τα μικροφύκη, χάρη στην αντιμικροβιακή τους δράση και την παρουσία ενώσεων με αντιοξειδωτική δράση, παρουσιάζουν τεράστιες δυνατότητες για τη λήψη φυσικών συντηρητικών παραγόντων, αλλά επί του παρόντος δεν έχουν δημοσιευθεί αποτελέσματα σχετικά με τη χρήση συντηρητικών που προέρχονται από μικροφύκη σε τρόφιμα (Caporgno et al., 2018).

Πίνακας 5 Τεχνολογική ταξινόμηση των προσθέτων σύμφωνα με την επίδραση που ασκείται (Mozzon, 2017)

Τάξη	Τεχνολογικό αποτέλεσμα
Συντηρητικοί παράγοντες	Αντιμικροβιακά, αντιμυκητιακά και αντιοξειδωτικά
Πράκτορες που τροποποιούν τη δομή και τη συνοχή	Γαλακτωματοποιητές, πηκτωματοποιητές, σταθεροποιητές,

	πυκνωτικά και τροποποιημένα άμυλα
Παράγοντες που τροποποιούν τα οργανοληπτικά και αισθητηριακά χαρακτηριστικά	Αρώματα, χρωστικές, γλυκαντικές ουσίες, οξινιστές και ενισχυτικά γεύσης
Παράγοντες με κατεξοχήν τεχνολογική δράση	Λιπαντικά και παράγοντες επικάλυψης

6. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Τα μικροφύκη μπορούν να καλλιεργηθούν με διαφορετικές μεθόδους, αλλά σε κάθε περίπτωση, ως φωτοαυτοτροφικοί μικροοργανισμοί, απαιτούν το φως ως πηγή ενέργειας, με τη μορφή φωτονίων, για να μετατρέψουν το CO₂ σε ανοιγμένες οργανικές ενώσεις (π.χ. υδατάνθρακες). Το νερό χρησιμοποιείται ως δότης ηλεκτρονίων, με την παραγωγή O₂ (οξυγονική φωτοσύνθεση). Για την καλλιέργεια μικροφυκών είναι απαραίτητα και θρεπτικά συστατικά, τα οποία διαφοροποιούνται σε: μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά. Εντός των μακροθρεπτικών συστατικών, που απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες, υπάρχουν βασικά στοιχεία για τα ζωντανά συστήματα που αντιπροσωπεύονται από: C, H, O, N, P, S, K, Mg, Na, Ca. Η ουσιαστικότητα αυτών των στοιχείων συνδέεται με τη χημική σύνθεση του μικροβιακού κυττάρου, όπου το νερό αποτελεί το 70-80% του υγρού βάρους του κυττάρου και το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείται από μόρια και μακρομόρια που αποτελούνται από τα απαραίτητα στοιχεία. Η ποσότητα των μακροθρεπτικών συστατικών που πρέπει να παρέχονται κατά την ανάπτυξη (ιδιαίτερα ο άνθρακας, το άζωτο και ο φώσφορος που αποτελούν την πλειονότητα της βιομάζας μικροφυκών), ποικίλλει στα διάφορα είδη φυκών. για παράδειγμα, η βέλτιστη συγκέντρωση αζώτου για το *Chlorella vulgaris* είναι ίση με 0,5 g/L. Όταν αυτή η συγκέντρωση δεν τηρείται, υπάρχει μείωση της ταχύτητας ανάπτυξης των κυττάρων που κατά συνέπεια οδηγεί σε μείωση της παραγωγικότητας της βιομάζας. Οι μικροοργανισμοί χρειάζονται επίσης διάφορα μέταλλα, τα οποία, καθώς απαιτούνται σε μικρές ποσότητες, ανήκουν στην κατηγορία των μικροθρεπτικών συστατικών. Στην καλλιέργεια φυκών τα μικροθρεπτικά συστατικά αντιπροσωπεύονται από: Se, Mo, Mn, B, Co, Fe και Zn και άλλα ιχνοστοιχεία. Αυτά τα θρεπτικά συστατικά, παρόλο που απαιτούνται σε μικρές ποσότητες, έχουν ισχυρό αντίκτυπο

στην ανάπτυξη των μικροφυκών, καθώς επηρεάζουν πολλές ενζυμικές δραστηριότητες στα κύτταρα των φυκών (Brock, 2016; Khan et al, 2018).

6.1 Ανοιχτά και κλειστά συστήματα καλλιέργειας

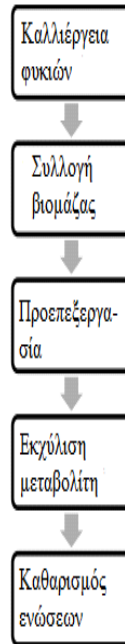
Στην καλλιέργεια μικροφυκών διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι: ανοιχτά συστήματα και κλειστά συστήματα. Τα ανοιχτά συστήματα αντιπροσωπεύουν την πρώτη μέθοδο καλλιέργειας μικροφυκών. Εισήχθησαν για πρώτη φορά το 1950 και αποτελούν ακόμη και σήμερα το κύριο σύστημα παραγωγής που χρησιμοποιείται για τη λήψη βιομάζας μικροφυκών. Τα ανοιχτά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιούν μεγάλες δεξαμενές, λίμνες, λιμνοθάλασσες ή βάλτους ως περιβάλλον ανάπτυξης. Υπάρχουν και τα δύο συστήματα που χρησιμοποιούν νερό από λίμνες, λιμνοθάλασσες και λίμνες και ως μέσο ανάπτυξης τεχνητά συστήματα. Τα πιο κοινά ανοιχτά συστήματα για την καλλιέργεια μικροφυκών είναι οι μικρές λίμνες, οι οποίες έχουν μέγιστο βάθος 30 cm. Γίνεται διάκριση μεταξύ κυκλικών και κυκλωμάτων (τα τελευταία κατασκευάζονται ως κανάλια κλειστού βρόχου στα οποία η κυκλοφορία του νερού γίνεται χάρη σε έναν τροχό σε παλετοποίηση ενώ στα κυκλικά συστήματα πραγματοποιείται από έναν μηχανικό βραχίονα). Η κίνηση της καλλιέργειας είναι θεμελιώδης επειδή σας επιτρέπει να διανείμετε θρεπτικά συστατικά, να αφαιρέσετε το οξυγόνο που παράγεται από τη φωτοσύνθεση, να αποφύγετε το σχηματισμό κλίσεων θερμοκρασίας και να αποτρέψετε την καθίζηση και τη φωτοαναστολή, γνωστά και ως αποτέλεσμα αυτοσκίασης. Στην πραγματικότητα, ελλείψει ανάδευσης, τα φύκια των ανώτερων στρωμάτων σκιάζουν τα κατώτερα στρώματα τα οποία επομένως δέχονται μικρότερη ένταση φωτός. Τα κλειστά συστήματα, που γενικά ονομάζονται φωτοβιοαντιδραστήρες (που υποδεικνύονται με το αγγλικό ακρωνύμιο PBRs, από: photobioreactors) χρησιμοποιούν υδατοστεγή δοχεία κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο, γυαλί ή πολυανθρακικό ως περιβάλλον καλλιέργειας. Σε αντίθεση με τα ανοιχτά συστήματα, οι φωτοβιοαντιδραστήρες είναι απομονωμένοι από τον έξω κόσμο και προσφέρουν απόλυτο έλεγχο σε όλες τις παραμέτρους ανάπτυξης των μικροοργανισμών που τοποθετούνται σε καλλιέργεια. Υπάρχουν διαφορετικοί φωτοβιοαντιδραστήρες: σωληνοειδείς, κυλινδρικοί, πλάκες, ελικοειδείς, κάθετοι σωλήνας και οριζόντιοι σωλήνας. Οι δύο τελευταίοι φωτοβιοαντιδραστήρες αντιπροσωπεύουν τα πιο χρησιμοποιούμενα συστήματα καλλιέργειας για την παραγωγή βιομάζας φυκών (Shen et al., 2009; Chacón-Lee et al., 2010; Enzing et al., 2014).

Τα ανοιχτά συστήματα έχουν δύο μεγάλα πλεονεκτήματα: είναι φθηνά και χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για φωτισμό, αλλά, έχουν πολλά μειονεκτήματα που έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη κλειστών συστημάτων καλλιέργειας, ικανών να λύσουν τα περισσότερα τους. Για παράδειγμα, τα ανοιχτά συστήματα δεν είναι κατάλληλα για μεγάλη παραγωγή, επειδή η κυτταρική πυκνότητα αυτών των συστημάτων μπορεί να φτάσει το μέγιστο 0,7 g κυττάρων ανά λίτρο, ενώ οι φωτοβιοαντιδραστήρες μπορούν να λάβουν υψηλή πυκνότητα καλλιέργειας, έως και 30 φορές μεγαλύτερη από τα ανοιχτά συστήματα (Khan et al., 2018; Chacòn-Lee et al., 2010). Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των κλειστών συστημάτων είναι η δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών ανάπτυξης που αντιπροσωπεύονται από: θερμοκρασία, pH, θρεπτικά συστατικά και πίεση CO₂ και O₂. Αυτός ο μεγαλύτερος έλεγχος των παραμέτρων ανάπτυξης, μαζί με μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού και πιο προστατευμένο περιβάλλον, καθιστά τους φωτοβιοαντιδραστήρες ασφαλέστερους από τον κίνδυνο μικροβιακής μόλυνσης. Τα ανοιχτά συστήματα, ως υπαίθρια καλλιέργεια, παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο μόλυνσης, γεγονός που αποτελεί πραγματικό πρόβλημα, λόγω της ευκολίας με την οποία αυτές οι καλλιέργειες μολύνονται από άλλα μικροφύκη, βακτήρια και πρωτόζωα με ταχύτερη ανάπτυξη, με συνέπεια την απώλεια της επιλεκτικότητας των καλλιέργειών. (Tredici, 2004).

Η θερμοκρασία είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος ανάπτυξης που επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη και την επιβίωση των μικροοργανισμών. Τα περισσότερα μικροφύκη εμπίπτουν στην κατηγορία των μεσόφιλων. Στην πραγματικότητα, η βέλτιστη θερμοκρασία του *Arthrospira spp.* κυμαίνεται από 35 έως 38°C. Σε αντίθεση με τα κλειστά συστήματα στα οποία αυτή η παράμετρος παρακολουθείται συνεχώς, στα ανοιχτά συστήματα ένα από τα προβλήματα συνδέεται με τη δυσκολία ελέγχου της θερμοκρασίας. Στην πραγματικότητα, αυτά τα συστήματα συχνά υπόκεινται σε υψηλές απώλειες βιομάζας λόγω αύξησης ή μείωσης της θερμοκρασίας που βγάζει τα μικροφύκη από το βέλτιστο εύρος ανάπτυξής τους (Khan et al., 2018).

6.2 Τεχνολογίες εκχύλισης για βιοδραστικές ενώσεις

Η παραγωγή βιοδραστικών ενώσεων που προέρχονται από μικροφύκη απαιτεί την εκτέλεση πέντε λειτουργιών κύριας μονάδας που απεικονίζονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2 Λειτουργίες κύριας μονάδας που υπάρχουν στη διαδικασία εκχύλισης βιοδραστικών ενώσεων

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην καλλιέργεια μικροφυκών διακρίνονται δύο συστήματα καλλιέργειας (ανοιχτό και κλειστό), ενώ στη συλλογή βιομάζας οι μικροοργανισμοί μπορούν να διαχωριστούν από τα υγρά της καλλιέργειας μέσω: φυγοκέντρωσης, κροκίδωσης, καθίζησης και διήθησης. Αυτή η λειτουργία μονάδας συμβάλλει 20-30% στο συνολικό κόστος παραγωγής και η μέθοδος συγκομιδής για την ανάκτηση βιομάζας πρέπει να μπορεί να λειτουργεί με μεγάλους όγκους καθώς το υγρό μέρος της καλλιέργειας είναι πολύ αραιωμένοι. Δεν υπάρχει καθολική διαδικασία που να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα είδη φυκών, στην πραγματικότητα οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό και η επιλογή γίνεται με βάση δύο κριτήρια: χαρακτηριστικά των ειδών μικροφυκών και τελική χρήση της βιομάζας. Για παράδειγμα, όταν ο σκοπός της παραγωγής είναι η λήψη ενώσεων υψηλής αξίας από βιομάζα φυκών, η ανάκτηση με φυγοκέντρωση προτιμάται ως μέθοδος συλλογής (Khanra et al., 2018; Grima et al., 2003).

Με βάση το τελικό προϊόν και την τεχνολογία που υιοθετήθηκε, διαφοροποιούνται δύο προκαταρκτικές θεραπείες: σπάσιμο του κυτταρικού τοιχώματος και αφυδάτωση. Η πρώτη θεραπεία παρεμβαίνει στη δομή που προστατεύει περισσότερο το κύτταρο από τη λύση, το κυτταρικό τοίχωμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν φυσικές μέθοδοι και χημικές μέθοδοι: οι πρώτες βασίζονται στη μηχανική δράση (για παράδειγμα ομογενοποιητές) ή στη δράση των

υπερήχων όπως στην περίπτωση των υπερηχητών. Οι χημικές μέθοδοι αντιπροσωπεύονται από την αλκαλική, ενζυματική λύση και τη χρήση οργανικών διαλυτών (Khanra et al., 2018). Οι φυσικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως όταν ο στόχος της διαδικασίας παραγωγής είναι η εκχύλιση ενδοκυτταρικών ενώσεων, στην πραγματικότητα, στη διαδικασία εκχύλισης καροτενοειδών, η ομογενοποιημένη βιομάζα φυκών επιτρέπει τη λήψη ποσότητας ασταξανθίνης τρεις φορές υψηλότερη από τη βιομάζα που έχει υποστεί επεξεργασία με άλλες μεθόδους. Η προεπεξεργασία αφυδάτωσης πραγματοποιείται όταν το επιθυμητό τελικό προϊόν είναι ολόκληρη η βιομάζα φυκών, στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται ξήρανση που επιτρέπει την παράταση της διάρκειας ζωής της βιομάζας φυκών. Μια άλλη μέθοδος αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται ευρέως στα ερευνητικά εργαστήρια είναι η λυοφιλοποίηση, αλλά αυτή η μέθοδος, λόγω του υψηλού κόστους της, δεν είναι εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα ως προεπεξεργασία (Lee et al., 2010; Cerón-García et al., 2018; Khanra et al., 2018.) Οι κύριες τεχνολογίες που υιοθετήθηκαν για την εξαγωγή μεταβολιτών από τη βιομάζα φυκών είναι:

- Εκχύλιση με οργανικούς διαλύτες
- Εκχύλιση με υπερκρίσιμα υγρά

Στην εκχύλιση χρωστικών, ιδιαίτερα χλωροφύλλων, είναι δυνατή η χρήση οργανικών διαλυτών όπως: μεθανόλη (CH_4O), αιθανόλη ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), ακετόνη ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) και διμεθυλοφορμαμίδιο $[(\text{HCON}(\text{CH}_3)_2]$. Εκτός από την προεπεξεργασία της κυτταρικής καταστροφής, άλλες παράμετροι παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση της εκχύλισης, όπως η φύση του χρησιμοποιούμενου διαλύτη, στην πραγματικότητα, η μεθανόλη και η αιθανόλη έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην εκχύλιση χρωστικών σε σύγκριση με την ακετόνη, οι χρωστικές, εκχυλίζονται με αυτή τη μέθοδο άλλες ενώσεις όπως: πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Στην εκχύλιση πρωτεϊνών χρησιμοποιείται συμβατικά ως οργανικός διαλύτης μείγμα τριχλωροξικού οξέος (TCA) και ακετόνης, ενώ στην εκχύλιση λιπιδίων οι κύριοι διαλύτες αντιπροσωπεύονται από: εξάνιο (C_6H_{14}), αιθανόλη, χλωροφόρμιο (CHCl_3) και διαιθυλαιθέρα ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$) (Khanra et al., 2018). Ο κύριος περιορισμός αυτής της τεχνολογίας εκχύλισης έγκειται στη χρήση διαλυτών που είναι τοξικοί και επιβλαβείς για το περιβάλλον. Στην τεχνολογία εκχύλισης με υπερκρίσιμα ρευστά, οι οργανικοί διαλύτες αντικαθίστανται από ρευστά που χαρακτηρίζονται από πίεση και θερμοκρασία υψηλότερη από τις αντίστοιχες κρίσιμες τιμές τους. Το πιο χρησιμοποιούμενο υγρό είναι το υπερκρίσιμο CO_2 , το οποίο έχει το

πλεονέκτημα ότι είναι αδρανές και μη εύφλεκτο αέριο. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η απόκτηση ενός καθαρού εκχυλίσματος χωρίς διαλύτες, αλλά τα κύρια μειονεκτήματα που περιορίζουν την εφαρμογή της είναι η πολυπλοκότητα του εξοπλισμού και το υψηλό κόστος τους. Ο καθαρισμός των εκχυλισμένων ενώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω ηλεκτροφόρησης, υπερδιήθησης και χρωματογραφίας. Η τελευταία μέθοδος, χάρη στη μεγάλη ποικιλία φυσικοχημικών αλληλεπιδράσεων που είναι διαθέσιμες για την εκτέλεση της απομόνωσης, παρουσιάζει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές ενώσεις και τις αντίστοιχες διαδικασίες παραγωγής τους (Grima et al., 2003).

7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΦΥΚΩΝ

Ο στόχος της ασφάλειας των τροφίμων είναι να εγγυηθεί την παραγωγή τροφίμων που είναι ασφαλή για την ανθρώπινη υγεία. Στον τομέα της ασφάλειας των τροφίμων, δύο σημαντικοί φορείς ξεχωρίζουν σε διεθνές επίπεδο:

- Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων ή European Food Safety Authority (EFSA)
- Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων ή Food and Drug Administration (FDA)

Η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) είναι ένας ανεξάρτητος οργανισμός επιστημονικών συμβουλών που ιδρύθηκε βάσει του άρθρου 22 του κανονισμού αριθ. 178/2002 και χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η βασική δραστηριότητα της EFSA είναι η αξιολόγηση και η κοινοποίηση όλων των κινδύνων που σχετίζονται με την τροφική αλυσίδα. Το πεδίο αρμοδιοτήτων της EFSA, εκτός από τη διατροφή του ανθρώπου, περιλαμβάνει: ασφάλεια τροφίμων και ζωοτροφών, καλή μεταχείριση και υγεία των ζώων και υγεία και προστασία των φυτών. Η επιστημονική αξιολόγηση που πραγματοποιείται από την EFSA καλύπτει όλους τους τομείς που άμεσα ή έμμεσα μπορούν να επηρεάσουν την ασφάλεια των τροφίμων. Υπάρχουν δέκα ομάδες (πάνελ) επιστημονικών εμπειρογνομώνων:

- Ομάδα για την υγεία και την ευημερία των ζώων
- Ομάδα για τους βιολογικούς κινδύνους

- Ομάδα για τα υλικά, τα ένζυμα και τα βοηθήματα επεξεργασίας που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα
- Ομάδα για τους ρύπους στην τροφική αλυσίδα
- Ομάδα για τα πρόσθετα και τα αρώματα τροφίμων
- Ομάδα για τα πρόσθετα και τα προϊόντα ή τις ουσίες που χρησιμοποιούνται στις ζωοτροφές
- Ομάδα για τους Γενετικά Τροποποιημένους Οργανισμούς
- Ομάδα για τα διαιτητικά προϊόντα, τη διατροφή και τις αλλεργίες
- Ομάδα Ομάδα για την υγεία των φυτών
- Ομάδα Πάνελ για τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα και τα υπολείμματά τους

Κάθε μονάδα εμπειρογνομόνων είναι αφιερωμένη σε διαφορετική περιοχή της αλυσίδας τροφίμων και ζωοτροφών (EFSA-Scientific experts). Σε αντίθεση με την EFSA, η οποία είναι υπεύθυνη για τη διεξαγωγή της φάσης αξιολόγησης κινδύνου, η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) είναι μια κυβερνητική υπηρεσία που πραγματοποιεί τόσο την αξιολόγηση κινδύνου όσο και τη διαχείριση κινδύνου. Ιδρύθηκε το 1906 χάρη στην έγκριση του νόμου «Καθαρά Τρόφιμα και Φάρμακα». Εξαρτάται από το Υπουργείο Υγείας και Ανθρωπίνων Υπηρεσιών των Ηνωμένων Πολιτειών και σε οργανωτικό επίπεδο αυτή η ομοσπονδιακή υπηρεσία χωρίζεται σε:

- Γραφείο Επιτρόπου
- Γραφείο Ρυθμιστικών Υποθέσεων
- Ογκολογικό Κέντρο Αριστείας
- Εθνικό Κέντρο Τοξικολογικών Ερευνών
- Κέντρο για τα προϊόντα καπνού
- Κέντρο Κτηνιατρικής
- Κέντρο Συσκευών και Ακτινολογικής Υγείας

- Κέντρο Βιολογικής Αξιολόγησης και Έρευνας
- Κέντρο Αξιολόγησης και Έρευνας Φαρμάκων
- Κέντρο για την Ασφάλεια των Τροφίμων και την Εφαρμοσμένη Διατροφή

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα τρόφιμα ελέγχονται από το Κέντρο για την Ασφάλεια των Τροφίμων και την Εφαρμοσμένη Διατροφή. Μία από τις αρμοδιότητες του κέντρου είναι η δημοσίευση οδηγιών και κανονισμών για την παραγωγή και διανομή τροφίμων, συμπληρωμάτων διατροφής και καλλυντικών ασφαλών για την υγεία των καταναλωτών (FDA-About FDA).

7.1 Καθεστώς αναγνώρισης από τον FDA (Food and Drug Administration) και την EFSA (European Food Safety Authority)

Τα μικροφύκη και τα προϊόντα μικροφυκών που αναγνωρίζονται από τον FDA ως επαρκώς ασφαλή για κατανάλωση υπό τις προβλεπόμενες συνθήκες χρήσης παρατίθενται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 Είδη μικροφυκών και οι ενώσεις τους αναγνωρισμένα από τον FDA στην κατηγορία GRAS

Είδος μικροφυκών	Ενώσεις μικροφυκών
<i>Spirulina sp</i>	Έλαια που λαμβάνονται από το <i>Ulkenia sp.</i>
<i>Chlorella sp.</i>	Έλαια που λαμβάνονται από το <i>Schyzochitrium sp.</i>
<i>Dunaliella sp</i>	Πρωτεΐνες και λιπίδια που προέρχονται από <i>Chlorella sp.</i>
<i>Haematococcus sp.</i>	
<i>Porphyridium cruentum</i>	
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	

Η EFSA εισήγαγε την έννοια του ειδικού τεκμηρίου ασφαλείας που υποδεικνύεται από το ακρωνύμιο QPS από τον αγγλικό όρο "qualified presumption of security", ως μια γενική προσέγγιση αξιολόγησης κινδύνου που στοχεύει στην εναρμόνιση της διαδικασίας αξιολόγησης βιολογικών παραγόντων που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα σε τρόφιμα ή ζωοτροφές, ένζυμα

τροφίμων. και ως νέα τρόφιμα ή φυτοφάρμακα. Ο πρώτος κατάλογος βιολογικών παραγόντων με καθεστώς QPS δημιουργήθηκε το 2007 και ενημερώνεται ως επιστημονική γνώμη από την Ομάδα Εμπειρογνομόνων για τους Βιολογικούς Κινδύνους κάθε τρία χρόνια. Από το 2014, κάθε έξι μήνες δημοσιεύεται μια δήλωση της επιστημονικής ομάδας στην οποία παρουσιάζονται ειδοποιήσεις μικροοργανισμών για πιθανή απόκτηση κατάστασης QPS. Επί του παρόντος τα μικροφύκη που περιλαμβάνονται στον κατάλογο QPS, είναι το *Tetraselmis chuii*, *Euglena graciles*, *Haematococcus pluvialis*, *Schizochytrium limacinum* (EFSA, 2022).

7.2 Οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί που ισχύουν για την εμπορία μικροφυκών

Υπάρχουν τρεις κανονισμοί που ισχύουν για την εμπορία μικροφυκών και των συστατικών τους:

- Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 178/2002 «που θεσπίζει τις γενικές αρχές και απαιτήσεις της νομοθεσίας για τα τρόφιμα, ιδρύει την Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων και θεσπίζει διαδικασίες στον τομέα της ασφάλειας των τροφίμων».
- Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1924/2006 «σχετικά με ισχυρισμούς θρεπτικών και υγιεινών ιδιοτήτων που διατυπώνονται στα τρόφιμα».
- Κανονισμός (ΕΕ) 2015/2283 «σχετικά με τα νέα τρόφιμα».

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η εισαγωγή στην αγορά προϊόντων διατροφής που περιλαμβάνουν ολόκληρη τη βιομάζα μικροφυκών ή που χρησιμοποιούν ορισμένες ενώσεις φυκών υπόκεινται σε πρότυπα ασφάλειας τροφίμων που ισχύουν για όλα τα τρόφιμα και στον Καν. (ΕΚ) αρ. Το άρθρο 178 του 2002 προβλέπει λεπτομερείς κανόνες που καλύπτουν όλες τις φάσεις παραγωγής, μεταποίησης και διανομής τροφίμων και ζωοτροφών. Όσον αφορά τη φάση παραγωγής, αυτό απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή όταν τα φύκια καλλιεργούνται μέσω ανοιχτών συστημάτων, καθώς, ο κύριος περιορισμός αυτών των συστημάτων καλλιέργειας συνδέεται με το γεγονός ότι έχουν αποδειχθεί ότι υπόκεινται εύκολα σε μικροβιακή μόλυνση (Κανονισμός [ΕΚ] 178/2002, Enzing et al., 2014; Rani et al., 2018).

Χάρη στον πλούτο τους σε βιοδραστικές ενώσεις, τα μικροφύκη καθιστούν δυνατή τη βελτίωση του διατροφικού προφίλ των προϊόντων διατροφής στα οποία χρησιμοποιούνται ως συστατικό. Ο κανονισμός (ΕΚ) 1924/2006 σχετικά με ισχυρισμούς θρεπτικών και υγιεινών

ιδιοτήτων που υπάρχουν στην επισήμανση του προϊόντος, ορίζει ότι η χρήση ισχυρισμών υγείας επιτρέπεται μόνο εάν οι ισχυρισμοί βασίζονται και αποδεικνύονται από επιστημονικά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η παρουσία ενός θρεπτικού ή άλλης ουσίας έχει ευεργετική θρεπτική ή φυσιολογική επίδραση για ανθρώπινη κατανάλωση (Rani et al., 2018· Κανονισμός [EK]1924/2006). Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν ο αριθμός των εμπορικά διαθέσιμων τροφίμων που περιέχουν μικροφύκη έχει αυξηθεί τα τελευταία 4-5 χρόνια, πρωταγωνιστικό ρόλο σε αυτή την αύξηση σίγουρα μπορεί να αποδοθεί στον κανονισμό για τα νέα τρόφιμα, τον Κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 που τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2018, καταργώντας τον προηγούμενο κανονισμό (ΕΚ) 258/97. Ο νέος κανονισμός λαμβάνει υπόψη τη συνεχή εξέλιξη των επιστημονικών και τεχνικών δεδομένων, στόχος είναι να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας έγκρισης για νέα τρόφιμα, στην πραγματικότητα με την έναρξη ισχύος του νέου κανονισμού το αίτημα για έγκριση για νέα τρόφιμα είναι υποβάλλονται απευθείας στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή και όχι πλέον στο κράτος μέλος στο οποίο προορίζεται να διατεθεί στην αγορά το νέο τρόφιμο, επιτρέποντας έτσι τη συντόμευση της διαδικασίας αδειοδότησης. Για τη διασφάλιση της συνέχειας με τους προηγούμενους κανονισμούς, τόσο στον νέο κανονισμό όσο και στον προηγούμενο, ως νέα τρόφιμα νοούνται όλα εκείνα τα τρόφιμα και ουσίες που από τις 15 Μαΐου 1997 (ημερομηνία που αντιστοιχεί στην έναρξη ισχύος του προηγούμενου κανονισμού) δεν έχουν καταχωρηθεί στην Ένωση σημαντικό ιστορικό ανθρώπινης κατανάλωσης και τα οποία εμπίπτουν σε μία από τις κατηγορίες που προβλέπει ο κανονισμός (Κανονισμός [ΕΕ] 2015/2283). Τα μικροφύκη εμπίπτουν στις κατηγορίες του άρθρου 3, παράγραφος 2, στοιχείο α), σημείο ii) και vi): «τρόφιμα που αποτελούνται από, απομονωμένα ή παράγονται από μικροοργανισμούς, μύκητες ή φύκια», «τρόφιμα που αποτελούνται, απομονώνονται ή παράγονται ξεκινώντας από καλλιέργειες κυττάρων ή ιστών που προέρχονται από ζώα, φυτά, μικροοργανισμούς, μύκητες ή φύκια». Για να διατεθούν στην ευρωπαϊκή αγορά, τα εγκεκριμένα νέα τρόφιμα πρέπει πρώτα να περιλαμβάνονται στον κατάλογο της Ένωσης, ο οποίος αποτελείται από εγκεκριμένα νέα τρόφιμα, ο οποίος καθορίζει τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νέο τρόφιμο και, εάν προσδιορίζεται, τις απαιτήσεις επισήμανσης. Ο κατάλογος της Ένωσης έχει θεσπιστεί με τον κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283, αλλά εφαρμόζεται με τον κανονισμό (ΕΕ) 2017/2470 «για τη θέσπιση του ενωσιακού καταλόγου νέων τροφίμων σύμφωνα με τον κανονισμό (ΕΕ) 2015/2283 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου που σχετίζονται με νέα τρόφιμα» (Κανονισμός [ΕΕ] 2015/2283· Κανονισμός [ΕΕ] 2017/2470).

Στο άρθρο 7 του κανονισμού για τα νέα τρόφιμα, υπάρχουν τρεις προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν τα νέα τρόφιμα για να συμπεριληφθούν στον κατάλογο της Ένωσης από την Επιτροπή:

- Με βάση επιστημονικά στοιχεία, δεν πρέπει να παρουσιάζουν κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου.
- Η προβλεπόμενη χρήση δεν πρέπει να παραπλανά τον καταναλωτή, ιδίως όταν το τρόφιμο προορίζεται να αντικαταστήσει άλλο και αυτό επιφέρει σημαντική αλλαγή στη θρεπτική του αξία.
- Εάν πρόκειται να αντικαταστήσει άλλο τρόφιμο, σε διατροφικό επίπεδο δεν πρέπει να υπάρχει τέτοιο κενό που να καθιστά την κανονική κατανάλωσή του μειονέκτημα για τον καταναλωτή.

Η νέα νομοθεσία για τα νέα τρόφιμα έχει ως στόχο να ενθαρρύνει το άνοιγμα των εταιρειών αγροδιατροφής προς την εμπορία νέων προϊόντων. νέα συστατικά τροφίμων. Το εμπόριο ειδών μικροφυκών που ανήκουν στα γένη *Arthrospira* και *Chlorella* δεν υπόκειται στον κανονισμό για τα νέα τρόφιμα επειδή λόγω της μακράς ιστορίας χρήσης τους δεν εμπίπτουν στον ορισμό της νέας τροφής.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Χάρη στη χημική τους σύνθεση, τα μικροφύκη αντιπροσωπεύουν μια πλούσια πηγή αντιοξειδωτικών, απαραίτητων λιπαρών οξέων και άλλων δευτερογενών μεταβολιτών που έχουν ευεργετική επίδραση στην υγεία. Η αφθονία πρωτεϊνών και άλλων απαραίτητων θρεπτικών συστατικών στα μικροφύκη μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη μιας βιομηχανίας τροφίμων με βάση τα φύκια που επικεντρώνεται στην παραγωγή και χρήση μικροφυκών για λειτουργικά και καινοτόμα προϊόντα διατροφής (Koyande et al., 2019; Caporgno et al., 2018).

Αυτοί οι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί έχουν τεράστιες δυνατότητες να επιβραδύνουν το ποσοστό υποσιτισμού στις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά για να εκμεταλλευτούν όλες τις δυνατότητες που παρουσιάζουν τα μικροφύκη και επίσης να καθορίσουν με βεβαιότητα τις

πτυχές που συνδέονται με την ασφάλεια των τροφίμων τους, είναι απαραίτητη μια βελτίωση στην κλίμακα της οικονομίας και στην έρευνα, που μας επιτρέπει να αξιοποιήσουμε με τον καλύτερο τρόπο αυτόν τον φυσικό και βιώσιμο πόρο (Koyande et al., 2019; Caporgno et al., 2018).

Ο συνδυασμός της εξαιρετικής θρεπτικής αξίας των μικροφυκών με τις χρωστικές και τις θεραπευτικές ιδιότητες, που συνδέονται με την αυξημένη ζήτηση φυσικών προϊόντων, καθιστούν τα μικροφύκη άξια εξερεύνησης για χρήση στο μέλλον σε βιομηχανίες ζωοτροφών, τροφίμων, καλλυντικών και φαρμακευτικών προϊόντων, με αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την παραδοσιακή συστατικά (Koyande et al., 2019; Caporgno et al., 2018).

Η επιλογή της σωστής τροφής για κατανάλωση σε πρώιμο στάδιο της ζωής που σχετίζεται με έναν υγιεινό τρόπο ζωής μπορεί να έχει σημαντικά οφέλη στη μελλοντική ζωή. Μια υγιεινή διατροφή που βασίζεται σε νέα προϊόντα διατροφής με μικροφύκη μπορεί να έχει σημαντική σημασία (Koyande et al., 2019; Caporgno et al., 2018).

Στο εγγύς μέλλον, θα ήταν ενδιαφέρουσα η περαιτέρω παρακολούθηση των προϊόντων καθώς κι ο έλεγχος της ασφαλούς κατανάλωσης τους με βάση τον ευρωπαϊκό κανονισμό.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amaro, H. M., Barros, R., Guedes, A. C., Sousa-Pinto, I., & Malcata, F. X. (2013). Microalgal compounds modulate carcinogenesis in the gastrointestinal tract. *Trends in Biotechnology*, 31(2), 92–98. doi:10.1016/j.tibtech.2012.11.004

Anshuman, S., Deepika, M., Sharmila, G., & Muthukumaran, C. (2013). Effect of glucose and phytohaemagglutinin (PHA) rich *Phaseolus vulgaris* extract on growth and protein synthesis of pharmaceutically important cyanobacteria *Nostoc ellipsosporum* NCIM 2786. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 11(1), 33–37. doi:10.1016/j.jgeb.2013.04.002

Ariede, M. B., Candido, T. M., Jacome, A. L. M., Velasco, M. V. R., de Carvalho, J. C. M., & Baby, A. R. (2017). Cosmetic attributes of algae - A review. *Algal Research*, 25, 483–487. doi:10.1016/j.algal.2017.05.019

- Armstrong, A. W., Voyles, S. V., Armstrong, E. J., Fuller, E. N., & Rutledge, J. C. (2011). Angiogenesis and oxidative stress: Common mechanisms linking psoriasis with atherosclerosis. *Journal of Dermatological Science*, 63(1), 1–9. doi:10.1016/j.jdermsci.2011.04.007
- Baker, R. (2004). The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. *Trends in Food Science & Technology*, 79959283. doi:10.1016/j.tifs.2004.04.009
- Bannenber, G., Mallon, C., Edwards, H., Yeadon, D., Yan, K., Johnson, H., & Ismail, A. (2017). Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Content and Oxidation State of Fish Oil Supplements in New Zealand. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/s41598-017-01470-4
- Becker, W. (2004). Microalgae in Human and Animal Nutrition. *Handbook of Microalgal Culture*, 312–351. doi:10.1002/9780470995280.ch18
- Bleakley, S., & Hayes, M. (2017). Algal Proteins: Extraction, Application, and Challenges Concerning Production. *Foods*, 6(5), 33. doi:10.3390/foods6050033
- Borowitzka, M. A. (2013). High-value products from microalgae—their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, 25(3), 743–756. doi:10.1007/s10811-013-9983-9
- Breithaupt, D. E. (2007). Modern application of xanthophylls in animal feeding – a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(10), 501–506. doi:10.1016/j.tifs.2007.04.009
- Caporgno, M. P., & Mathys, A. (2018). Trends in Microalgae Incorporation Into Innovative Food Products With Potential Health Benefits. *Frontiers in nutrition*, 5, 58. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058>
- Caruana, Amandine M.N, Zouher ,Amzil (2018). Microalgae and Toxins. *Microalgae in Health and Disease Prevention*, Pages 263-305
- Cerón-García, M. C., González-López, C. V., Camacho-Rodríguez, J., López-Rosales, L., García-Camacho, F., & Molina-Grima, E. (2018). Maximizing carotenoid extraction from microalgae used as food additives and determined by liquid chromatography (HPLC). *Food chemistry*, 257, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.154>

- Chacón-Lee, T. L., & González-Mariño, G. E. (2010). Microalgae for “Healthy” Foods- Possibilities and Challenges. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(6), 655–675. doi:10.1111/j.1541-4337.2010.00132.x
- Cornish, M. L., & Garbary, D. J. (2010). Antioxidants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. *ALGAE*, 25(4), 155–171. doi:10.4490/algae.2010.25.4.155
- De Moraes, M. G., Vaz, B. da S., de Moraes, E. G., & Costa, J. A. V. (2015). Biologically Active Metabolites Synthesized by Microalgae. *BioMed Research International*, 2015, 1–15. doi:10.1155/2015/835761
- Duong, V. T., Ahmed, F., Thomas-Hall, S. R., Quigley, S., Nowak, E., & Schenk, P. M. (2015). High Protein- and High Lipid-Producing Microalgae from Northern Australia as Potential Feedstock for Animal Feed and Biodiesel. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 3. doi:10.3389/fbioe.2015.00053
- Enzing, C. & Ploeg, Matthias & Barbosa, M.J. & Sijtsma, Lolke. (2014). Microalgae-based products for food and feed sector: an outlook for Europe. 10.2791/3339.
- Fábregas, J., Otero, A., Domínguez, A., & Patiño, M. (2001). Growth Rate of the Microalga *Tetraselmis suecica* Changes the Biochemical Composition of *Artemia* Species. *Marine Biotechnology*, 3(3), 256–263. doi:10.1007/s101260000074
- FAO (2016) The State of the World Fisheries and Aquaculture 2016. Contribution to Food Security and Nutrition for All. Rome. 200 pp
- Forján, E., Navarro, F., Cuaresma, M., Vaquero, I., Ruíz-Domínguez, M. C., Gojkovic, Ž., ... Garbayo, I. (2014). Microalgae: Fast-Growth Sustainable Green Factories. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(16), 1705–1755. doi:10.1080/10643389.2014.966426
- García, J. L., de Vicente, M., & Galán, B. (2017). *Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. Microbial Biotechnology*, 10(5), 1017–1024. doi:10.1111/1751-7915.12800
- Ginzberg, Ariel & Cohen, Merav & Sod-Moriah, Uriel & Shany, Shraga & Rosenshtrauch, Avi & Arad, Shoshana. (2000). Chickens fed with biomass of the red microalga *Porphyridium* sp. have

reduced blood cholesterol level and modified fatty acid composition in egg yolk. *Journal of Applied Phycology*, 12, 325-330. [10.1023/A:1008102622276](https://doi.org/10.1023/A:1008102622276).

Gouveia, L., Batista, A.P., Sousa, I., Raymundo, A., Bandarra, N.M., (2008). Microalgae in novel food products. *K.N. Papadopoulos Algae: Nutrition, Pollution Control and Energy Sources*.

Gouveia, l., & Rema, P. (2005). Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquaculture Nutrition*, 11(1), 19–23. [doi:10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x)

Grima, E. M., Belarbi, E.-H., Fernández, F. G. A., Medina, A.R., Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology advances*, 20(7-8), 491–515. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(02\)00050-2](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(02)00050-2)

Guil-Guerrero, J. ., Navarro-Juárez, R., López-Martínez, J. ., Campra-Madrid, P., & Reboloso-Fuentes, M. (2004). Functional properties of the biomass of three microalgal species. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 511–517. [doi:10.1016/j.jfoodeng.2004.02.01](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.01)

Harel, M., and Clayton, D. (2004). Feed formulation for terrestrial and aquatic animals. US Patent 20070082008 (WO/2004/080196).

Hickman C.P., Roberts Jr. L. S. , Keen S L. , Eisenhour D. J., Larson A., l'Anson E., (2012). *Zoologia*. McGraw-Hill

Ignatiades, L., & Gotsis-Skretas, O. (2010). A review on toxic and harmful algae in Greek coastal waters (E. Mediterranean Sea). *Toxins*, 2(5), 1019–1037. <https://doi.org/10.3390/toxins2051019>

Khan, M. I., Shin, J. H., & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17(1)

Khanra, S., Mondal, M., Halder, G., Tiwari, O. N., Gayen, K., & Bhowmick, T. K. (2018). Downstream processing of microalgae for pigments, protein and carbohydrate in industrial application: A review. *Food and Bioproducts Processing*, 110, 60–84. [doi:10.1016/j.fbp.2018.02.002](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.02.002)

Krishna Koyande, A., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D.-T., & Show, P.-L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*. doi:10.1016/j.fshw.2019.03.001

Lafarga, T. (2019). Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products. *Algal Research*, 41, 101566. doi:10.1016/j.algal.2019.101566

Lee, J.-Y., Yoo, C., Jun, S.-Y., Ahn, C.-Y., & Oh, H.-M. (2010). Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology*, 101(1), S75–S77. doi:10.1016/j.biortech.2009.03.058

Liang, S., Liu, X., Chen, F., & Chen, Z. (2004). Current microalgal health food R & D activities in China. *Hydrobiologia*, 512(1-3), 45–48. doi:10.1023/b:hydr.0000020366.65760.98

Madigan M.T., Martinko J.M., Bender K.S., David N. Stahl D.A.,(2018) BROCK BIOΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Masojídek, J., Torzillo, G., & Koblížek, M. (2013). Photosynthesis in Microalgae. *Handbook of Microalgal Culture*, 21–36. doi:10.1002/9781118567166.ch2

Mendiola, J. A., Santoyo, S., Cifuentes, A., Reglero, G., Ibáñez, E., & Señoráns, F. J. (2008). Antimicrobial activity of sub- and supercritical CO₂ extracts of the green alga *Dunaliella salina*. *Journal of food protection*, 71(10), 2138–2143. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.10.2138>

Michalak, I., & Chojnacka, K. (2014). Algal extracts: Technology and advances. *Engineering in Life Sciences*, 14(6), 581–591. doi:10.1002/elsc.201400139

Milledge, J. J. (2010). Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10(1), 31–41. doi:10.1007/s11157-010-9214-7

Mišurcová, L., Buňka, F., Vávra Ambrožová, J., Machů, L., Samek, D., & Kráčmar, S. (2014). Amino acid composition of algal products and its contribution to RDI. *Food Chemistry*, 151, 120–125. doi:10.1016/j.foodchem.2013.11.040

Mozzon, M.,2017. Additivi, enzimi ed aromi alimentari.

Muller-Feuga, Arnaud. (2000). The role of microalgae in aquaculture: Situation and trends. *Journal of Applied Phycology* (0921-8971) (Kluwer), 2000-10 , Vol. 12 , N. 3-5 , P. 527-534. 12. 10.1023/A:1008106304417.

Nikolaidis, G, Koukaras, K, Aligizaki, K, Heracleous, A, Eleni Kalopesa, Kimonas Moschandreu, Eleftheria Tsolaki And Apostolis Mantoudis (2005). Harmful microalgal episodes in Greek coastal waters. *Journal of Biological Research*. 3. 77-85.

Pane, G., Cacciola, G., Giacco, E., Mariottini, G., & Coppo, E. (2015). Assessment of the Antimicrobial Activity of Algae Extracts on Bacteria Responsible of External Otitis. *Marine Drugs*, 13(10), 6440–6452. doi:10.3390/md13106440

Park, J., Chyun, J., Kim, Y., Line, L. L., & Chew, B. P. (2010). Astaxanthin decreased oxidative stress and inflammation and enhanced immune response in humans. *Nutrition & Metabolism*, 7(1), 18. doi:10.1186/1743-7075-7-18

Pina-Pérez, M. C., Rivas, A., Martínez, A., & Rodrigo, D. (2017). Antimicrobial potential of macro and microalgae against pathogenic and spoilage microorganisms in food. *Food Chemistry*, 235, 34–44. doi:10.1016/j.foodchem.2017.05.033

Plaza, M., Herrero, M., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2009). Innovative Natural Functional Ingredients from Microalgae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(16), 7159–7170. doi:10.1021/jf901070g

Priyadarshani, I., and Rath, B.,(2012). Commercial and Industrial applications of microalgae. *J.Algal Biomass Utln*. H

Rani, K., Dr. Sandal, N., Sahoo, P.,(2018). A comprehensive review of Chlorella- its composition, health benefits, market and regulatory scenario. *The Pharma Innovation Journal*.

Sangeetha, R. K., Bhaskar, N., & Baskaran, V. (2009). Comparative effects of beta-carotene and fucoxanthin on retinol deficiency induced oxidative stress in rats. *Molecular and cellular biochemistry*, 331(1-2), 59–67. <https://doi.org/10.1007/s11010-009-0145-y>

Santhosh S, Dhandapani R, Hemalatha R. (2016). Bioactive compounds from Microalgae and its different applications—a review. *Adv Appl Sci Res*.7(4):153–158

Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd_Allah, E. F. (2017). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*. doi:10.1016/j.sjbs.2017.11.003

Shen, Ying & Yuan, W. & Pei, Z.J. & Wu, Q. & Mao, E.. (2009). Microalgae Mass Production Methods. *Transactions of the ASABE*. 52. 1275-1287. 10.13031/2013.27771.

Singh, R. K., Tiwari, S. P., Rai, A. K., & Mohapatra, T. M. (2011). Cyanobacteria: an emerging source for drug discovery. *The Journal of Antibiotics*, 64(6), 401–412. doi:10.1038/ja.2011.21

Skjånes, K., Rebours, C., & Lindblad, P. (2012). Potential for green microalgae to produce hydrogen, pharmaceuticals and other high value products in a combined process. *Critical Reviews in Biotechnology*, 33(2), 172–215. doi:10.3109/07388551.2012.681625

Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., & Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87–96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>

Taiwan Chlorella Manufacturing Company (TCMC),2013.

Tang, Guangwen & Suter, Paolo. (2011). Vitamin A, Nutrition, and Health Values of Algae: Spirulina, Chlorella, and Dunaliella. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*. 1. 111-118. 10.6000/1927-5951.2011.01.02.04.

Temina, M., Rezankova, H., Rezanka, T., & Dembitsky, V. M. (2007). Diversity of the fatty acids of the Nostoc species and their statistical analysis. *Microbiological Research*, 162(4), 308–321. doi:10.1016/j.micres.2006.01.010

Tomaselli, L.,(2004). *The Microalgal Cell. Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Ed., Richmond, A., Blackwell Science.

Tredici, M. R.,(2004). *Mass Production of Microalgae: Photobioreactors. Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology* Edited by Amos Richmond. Blackwell Publishing Ltd.

Waldenstedt, L & Inborr, J & Hansson, Ingrid & Elwinger, K. (2003). Effects of astaxanthin-rich algal meal (*Haematococcus pluvalis*) on growth performance, caecal campylobacter and

clostridial counts and tissue astaxanthin concentration of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology - ANIM FEED SCI TECH.* 108. 119-132. doi:10.1016/S0377-8401(03)00164-0.

Wang, M. & Xu, Y.-N & Jiang, Gaoming & Li, L.-B & Kuang, T.-Y. (2000). Membrane lipids and their fatty acid composition in *Nostoc flagelliforme* cells. *Acta Botanica Sinica.* 42. 1263-1266.

Ward, O. P., & Singh, A. (2005). Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production. *Process Biochemistry*, 40(12), 3627–3652. doi:10.1016/j.procbio.2005.02.020

Washida, K., Koyama, T., Yamada, K., Kita, M., & Uemura, D. (2006). Karatungiols A and B, Two Novel Antimicrobial Polyol Compounds, from the Symbiotic Marine Dinoflagellate *Amphidinium* sp. *ChemInform*, 37(28). doi:10.1002/chin.200628202

Welker, M., & Von Döhren, H. (2006). Cyanobacterial peptides — Nature's own combinatorial biosynthesis. *FEMS Microbiology Reviews*, 30(4), 530–563. doi:10.1111/j.1574-6976.2006.00022.x

Wolkers, H. & Barbosa, M.J. & Kleinegris, Dorinde & Bosma, Rouke & Wijffels, René & Harmsen, Paulien. (2011). *Microalgae: the green gold of the future? : large-scale sustainable cultivation of microalgae for the production of bulk commodities.*

Xu, Z., Yan, X., Pei, L., Luo, Q., & Xu, J. (2007). Changes in fatty acids and sterols during batch growth of *Pavlova viridis* in photobioreactor. *Journal of Applied Phycology*, 20(3), 237–243. doi:10.1007/s10811-007-9230-3