

## Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society

Vol 61, No 3 (2010)



### The use of algae in animal nutrition

E. CHRISTAKI (Ε. ΧΡΗΣΤΑΚΗ), M. KARATZIA (Μ. ΚΑΡΑΤΖΙΑ), P. FLOROU-PANERI (Π. ΦΛΩΡΟΥ-ΠΑΝΕΡΗ)

doi: [10.12681/jhvms.14894](https://doi.org/10.12681/jhvms.14894)

#### To cite this article:

CHRISTAKI (Ε. ΧΡΗΣΤΑΚΗ) Ε., KARATZIA (Μ. ΚΑΡΑΤΖΙΑ) Μ., & FLOROU-PANERI (Π. ΦΛΩΡΟΥ-ΠΑΝΕΡΗ) Ρ. (2017). The use of algae in animal nutrition. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 61(3), 267–276. <https://doi.org/10.12681/jhvms.14894>

## The use of algae in animal nutrition

Christaki E.<sup>1</sup>, DVM, PhD, Karatzia M.<sup>2</sup>, DA, MSc, Florou-Paneri P.<sup>1</sup>, DVM, PhD

<sup>1</sup>Laboratory of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

<sup>2</sup>Doctoral Thesis Candidate, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

## Η χρήση των φυκιών στη διατροφή των ζώων

E. Χρηστάκη<sup>1</sup>, DVM, PhD, M. Καρατζιά<sup>2</sup>, DA, MSc, Π. Φλώρου-Πανέρη<sup>1</sup>, DVM, PhD

<sup>1</sup>Εργαστήριο Διατροφής, Κτηνιατρική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

<sup>2</sup>Υποψήφια Διδάκτορας Κτηνιατρικής Σχολής Α.Π.Θ.

**ABSTRACT.** In this review article the use of algae as feed in animal nutrition is being examined. The algae evolved on earth 3.5 billion years ago. They are primitive, generally aquatic and photosynthetic organisms, which range in size from 0,2-2,0 μm in diameter –microalgae (phytoplankton) up to 60 m length- macroalgae and may divide once or more per day. Algae are classified using a combination of characteristics in the chlorophyta, phaeophyta, chrysophyta, rhodophyta (all of them are macroalgae), pyrrhophyta and cyanophyta (they are microalgae). The chemical composition of algae varies over a wide range and depends on environmental conditions. Algae are necessary in the reduction of greenhouse gas emissions. They can be used as biodiesel from their bio-lipid oil, as feed additives (alginates, carrageenans, agar, pigments), as therapeutic agents, as cosmetics, as organic fertilizer. Moreover, edible algae are considered sources of minerals and a complementary source of food protein for human –especially in functional foods and animal nutrition, both in ruminants and monogastric animals. Algae in the rations of lactating cows increased milk production, the average milk protein, the amount of lactose, and prolonged the lactation period, while algae rich in (n-3) fatty acids effected positively on this fatty acid content of milk. In calves the dietary algae enhanced immune function and improved carcass characteristics. Regarding the ewes, the algae nutrition affected milk fat composition and their dairy products. Researches on monogastric animals showed that the dietary supplementation of algae rich in docoshexaenoic acid increased its content in muscle tissue of rabbits, heavy pigs (live weight around 160 kg) and in the egg yolk of laying hens. In addition, algae in poultry diets can be used effectively as pigment sources both in egg yolk and in broiler skin and shanks. Algae have been found also to be a valuable food for fish farmed by aquaculture. However, further investigation is needed concerning the use of algae in human and animal nutrition.

**Keywords:** algae, nutrition, human, cows, ewes, pig, hen, broiler, fish

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ.** Τα φύκια είναι οι πρώτοι υδρόβιοι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που εμφανίστηκαν στη Γη πριν από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Είναι μονοκύτταροι (μικροφύκια ή φυτοπλαγκτόν) ή πολυκύτταροι οργανισμοί (μακροφύκια) με μέγεθος από 0,2–2 μm ή ακόμη και 60 m, αντίστοιχα, καθώς και χημική σύσταση που ποικίλλει ευρέως. Τα μακροφύκια διακρίνονται σε chlorophyta, phaeophyta, chrysophyta και rhodophyta, ενώ τα μικροφύκια σε pyrrhophyta και cyanophyta. Τα φύκια με τη φωτοσύνθεση συγκρατούν το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως: βιοκαύσιμα, πρόσθετες ύλες διατροφής (αλγινικό οξύ και τα άλατά του, αγάρ, καραγεννάνες,

Correspondence: Christaki E.

Laboratory of Animal Nutrition, Faculty of Veterinary Medicine, Aristotle University of Thessaloniki, 541 24 Thessaloniki, Greece

Tel.: +30 2310 999973, Mob.: +30 6937314256, E-mail: efchris@vet.auth.gr

Αλληλογραφία: E. Χρηστάκη

Εργαστήριο Διατροφής, Κτηνιατρική Σχολή Α.Π.Θ., 541 24 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2310 999973, Κιν.: 6937314256, E-mail: efchris@vet.auth.gr

Submission date: 04.02.2010

Approval date: 30.04.2010

Ημερομηνία υποβολής: 04.02.2010

Ημερομηνία εγκρίσεως: 30.04.2010

χρωστικές), καλλυντικά, οργανικό λίπασμα κ.ά. Επιπλέον, τα εδώδιμα φύκια θεωρούνται ως αξιόλογες πηγές ανόργανων ουσιών και πρωτεϊνών, τόσο στη διατροφή του ανθρώπου όσο και των ζώων. Μελέτες σε γαλακτοπαραγωγές αγελάδες έδειξαν ότι η προσθήκη φυκιών στο σιτηρέσιό τους αυξάνει τη γαλακτοπαραγωγή και επιμηκύνει τη γαλακτική περίοδο, ενώ των μικροφυκιών εμπλουτίζει το γάλα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Τα φύκια στη διατροφή των μοσχαριών ενδυναμώνουν το ανοσοποιητικό τους σύστημα και βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά του κρέατος, ενώ στη διατροφή των αιγών αυξάνουν τη λιποπεριεκτικότητα του γάλατος. Φύκια, ιδιαίτερα αυτά που είναι πλούσια σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή κουνελιών, χοίρων και κρεοπαραγωγών ορνιθίων εμπλουτίζοντας το κρέας τους σε αυτά. Σε ό,τι αφορά τη διατροφή αυγοπαραγωγών ορνιθίων φαίνεται ότι τα φύκια αυξάνουν την περιεκτικότητα της λεκίθου του αυγού σε λιπαρά οξέα και ενδυναμώνουν το χρώμα της. Ακόμη, τα φύκια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα σιτηρέσια των εκτρεφόμενων ψαριών. Χρειάζονται, όμως, περαιτέρω μελέτες σχετικά με τη χρήση φυκιών σε πολλά επιστημονικά πεδία, αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς της έρευνας.

**Λέξεις ευρετηρίασης:** φύκια, διατροφή, άνθρωπος, μηρυκαστικά, μονογαστρικά

## Εισαγωγή

Τα φύκια εμφανίστηκαν στη Γη πριν τον άνθρωπο, 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν, και μάλιστα θεωρούνται ως η πρώτη μορφή ζωής (Margulis 1981). Τα φύκια εξασφαλίζουν την τροφή τους μέσω της φωτοσύνθεσης, η οποία πραγματοποιείται με τα οργανίδια που λέγονται χλωροπλάστες και παράλληλα μπορούν να παράγουν οξυγόνο. Έτσι, ενώ ανήκουν σε μια μεγάλη ομάδα απλών αυτότροφων οργανισμών που φωτοσυνθέτουν όπως τα φυτά, στερούνται όμως φύλλων, στελεχών, ανθέων και ριζών (Harlin και Darley 1988). Ακόμη, τα φύκια μπορεί να είναι μονοκύτταροι (μικροφύκια ή φυτοπλαγκτόν) ή πολυκύτταροι οργανισμοί (μακροφύκια) με μέγεθος 0,2-2,0 μm έως ακόμη και 60 m, αντίστοιχα (Harlin και Darley 1988). Αναπαράγονται με απλή διαίρεση και εξαιτίας της απλής δομής τους μεγαλώνουν πιο γρήγορα από οποιοδήποτε άλλο φυτό, διαιρούμενα μάλιστα ακόμη και μια ή δύο φορές την ημέρα, γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως τα πιο παραγωγικά φυτά του πλανήτη (Marsall 2007).

Σύμφωνα με το National Museum of Natural History, Department of Botany (2008) των Η.Π.Α., υπάρχουν περίπου 320.500 είδη φυκιών, αριθμός ο οποίος δεν είναι πλήρως εξακριβωμένος.

Τα τελευταία χρόνια αναφέρεται ότι η ποσότητα καλλιεργούμενων ή αυτοφυών μακροφυκιών που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ανέρχεται σε 7,5-8 εκατομμύρια τόνους ετησίως (McHugh 2003). Σε ό,τι αφορά τα μικροφύκια που καλλιεργούνται σε βιομηχανική κλίμακα, η ετήσια παγκόσμια παραγωγή τους εκτιμάται σε 10.000 τόνους, περίπου (Becker 2007).

Εκτεταμένες τοξικολογικές μελέτες σε φύκια, σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA, 2004), τα κατέταξαν ως προϊόντα

GRAS (generally regarded as safe- γενικά θεωρούμενα ως ασφαλή).

Τα φύκια στην πλειονότητά τους είναι υδροβία φυτά που ζουν είτε στα γλυκά νερά, είτε στις θάλασσες. Όμως, σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορούν να βρεθούν σε πάγο ή χιόνι, ενώ άλλα μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ζουν σε θερμές πηγές (Harlin και Darley 1988). Ο Dixon (1973) αναφέρει ότι για πρώτη φορά ταξινομήθηκαν σύμφωνα με το χρωματισμό τους σε 4 κατηγορίες από τον W.H. Harvey (1811-1866). Όμως, επιστήμονες που ασχολούνται με τη Φυκολογία, όπως λέγεται η επιστήμη που μελετά τα φύκια, αναφέρουν ότι για τη σωστή τους ταξινόμηση χρειάζεται ένας συνδυασμός χαρακτηριστικών, όπως χρωστικές, μαστίγια και θρεπτικές ουσίες (Bold και Wynne 1985). Στον πίνακα 1 αναφέρεται αυτή η ταξινόμηση των σημαντικότερων ειδών φυκιών.

Από τις παραπάνω ομάδες φυκιών, τα πράσινα φύκια (Chlorophyta) είναι κυρίως φύκια του γλυκού νερού (Mattox και Stewart 1984), ενώ τα καφέ φύκια (Phaeophyta) και τα κόκκινα (Rhodophyta) βρίσκονται κυρίως στις θάλασσες (Tseng 1981). Οι τρεις παραπάνω ομάδες φυκιών αποτελούν τα μακροφύκια (Harlin και Darley 1988). Σε ό,τι αφορά τα Pyrrhophyta, θεωρούνται τα αρχέγονα φύκια που ζουν είτε στα γλυκά νερά, είτε στις θάλασσες και είναι μικροφύκια γνωστά κυρίως για την τοξικότητά τους, τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα με συμπτώματα από το νευρικό σύστημα, όπως αναφέρουν οι Steidinger και Vargo (1988). Στα μικροφύκια ανήκουν και τα γαλαζοπράσινα φύκια ή κυανοβακτήρια που είναι η απλούστερη μορφή φυκιών, μοιάζουν με τα βακτήρια και γι' αυτό θεωρούνται ενδιάμεσο είδος μεταξύ βακτηρίων και φυτών (Bold και Wynne 1985).

**Table 1.** Classification of major groups of algae.**Πίνακας 1.** Ταξινόμηση των κυριότερων ειδών φυκιών.

Διάκριση φυκιών (ομάδες)	Χρωστικές	Θρεπτικές ουσίες που σχηματίζονται (μετά από φωτο- σύνθεση)	Χημική σύσταση κυτταρικού τοιχώματος	Ύπαρξη ή όχι μαστιγίου
Chlorophyta (πράσινα φύκια)	Χλωροφύλλη a, b καροτενοειδή	Άμυλο	Κελλουλόζη και άλλα πολυμερή	2,4 ή περισσότερα
Phaeophyta (καφέ φύκια)	Χλωροφύλλη a, c β-καροτένιο φουκοξανθίνη	Λαμιναρίνη, μανιτόλη	Κελλουλόζη, αλγινικό οξύ	Συνήθως 2
Chrysophyta (χρυσά και κίτρινο- πράσινα φύκια)	Χλωροφύλλη a, c αρκετά καροτενοειδή και ξανθοφύλλες, συμπεριλαμβανομένης της φουκοξανθίνης	Λαμιναρίνη	Κελλουλόζη, silica, CaCO <sub>3</sub> , χιτίνη ή και απουσία αυτών	1-3 ανόμοια ή όμοια
Pyrrhophyta (δινομαστιγωτά)	Χλωροφύλλη a, c β-καροτένιο και αρκετές ξανθοφύλλες	Άμυλο	± Κελλουλόζη	2 ανόμοια
Phodophyta (κόκκινα φύκια)	Χλωροφύλλη a (±d) φυκοχολοχρωστικές	Άμυλο	Κελλουλόζη, ξυλάνες,θειούχες γαλακτάνες	Λείπει
Cyanophyta (γαλαξοπράσινα φύκια)	Χλωροφύλλη a φυκοχολοχρωστικές καροτενοειδή	Κόκκοι που μοι- άζουν με γλυκογόνο	Διάφορα αμινοξέα	Λείπει

## Χημική σύσταση φυκιών

### α. Θρεπτικά συστατικά φυκιών (πρωτεΐνες, αμινοξέα, λιπαρές ουσίες, υδατάνθρακες, κυτταρίνες, ανόργανες ουσίες, βιταμίνες, χρωστικές)

Η θρεπτική αξία των φυκιών εξαρτάται από το μέγεθός τους, την πεπτικότητά τους, την παραγωγή τοξικών ουσιών και τη χημική τους σύσταση (Becker 1994). Αν και μεταξύ όλων των φυκιών υπάρχουν διαφορές στη σύσταση, παρ' όλα αυτά αποτελούν αξιόλογη πηγή πρωτεϊνών, με περιεκτικότητα που κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, 10-15% στα μακροφύκια (Oliveira et al. 2009) και 28-71% στα μικροφύκια (Becker 1994). Εξάλλου, ο Becker (2007) αναφέρει ότι η περιεκτικότητα των πρωτεϊνών των φυκιών σε ορισμένα αμινοξέα (λυσίνη, μεθειονίνη, τρυπτοφάνη, θρεονίνη, βαλίνη, ιστιδίνη, ισολευκίνη) είναι συγκρίσιμη με εκείνη του αυγού ή των σπερμάτων σόγιας. Η πεπτικότητα των πρωτεϊνών διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος των φυκιών, την εποχή του έτους και την παρουσία φαινολών ή και πολυσακχαριτών,

καθώς και από τα πεπτικά ένζυμα που διαθέτουν οι ζωικοί οργανισμοί για τη διάσπασή τους (Goñi et al. 2002). Επιπρόσθετα, σε θαλάσσια φύκια παρατηρήθηκε ότι η περιεκτικότητά τους σε πρωτεΐνες ήταν υψηλότερη στο τέλος των χειμερινών μηνών και χαμηλότερη κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Fleurence 1999). Οι Spoehr και Milner (1949) ήταν από τους πρώτους που δημοσίευσαν πληροφορίες για την επίδραση του περιβάλλοντος στη χημική σύσταση των φυκιών.

Οι λιπαρές ουσίες στα φύκια κυμαίνονται από 1-40% (Borowitzka 1988). Τα λιπαρά οξέα μπορεί να είναι κορεσμένα ή ακόρεστα και μάλιστα κάποια κυανοβακτήρια τείνουν να περιέχουν μεγάλα ποσά ακόρεστων λιπαρών οξέων (25-60%) στο σύνολο των ολικών λιπαρών ουσιών τους (Becker 1994). Ειδικότερα, φύκια του είδους *Spirulina* περιέχουν λινολενικό οξύ σε περιεκτικότητα 20-30% (Hudson και Karis 1974), ενώ τα κόκκινα φύκια *Porphridium cruentum* είναι μία από τις πλουσιότερες πηγές αραχιδονικού οξέος – 36% των ολικών λιπαρών ουσιών σε θερμο-

κρασία 25° C, ενώ στους 16° C αυξάνεται σε ποσοστό 60% (Borowitzka 1988). Πολλά είδη φυκιών μπορούν και παράγουν έλαια παρόμοιας δομής με εκείνα των φυτών, π.χ. σόγιας, τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε υψηλής ποιότητας εμπορικά προϊόντα, όπως τα βιοκαύσιμα (Becker 1994).

Επιπλέον, σε ορισμένα είδη φυκιών, π.χ. *Botryococcus branhii*, υπάρχουν υδρογονάνθρακες, μίγμα μονοενίων, διενίων και τριενίων, το οποίο μίγμα μπορεί να διασπαστεί σε προϊόντα απόσταξης, όπως το πετρέλαιο (Jassby 1988, Becker 1994).

Σε ό,τι αφορά την περιεκτικότητα των φυκιών σε υδατάνθρακες βρέθηκε να είναι περίπου 60% (Jensen 1993, Oliveira et al. 2009). Οι υδατάνθρακες αυτοί δεν πέπτονται στον πεπτικό σωλήνα του ανθρώπου, όμως η κατανάλωσή τους σχετίζεται με ευεργετικά αποτελέσματα στην υγεία του ανθρώπου, π.χ. μείωση κινδύνου εμφάνισης καρμίνου του παχέος εντέρου (Gudiel-Urbano και Goñi 2002). Εν τούτοις, τα διάφορα είδη φυκιών αποτελούν πολύ καλές πηγές κυτταρινών με περιεχόμενο να κυμαίνεται από 35-50 g/100 g ξηρής ουσίας (Lahaye 1991). Γενικά, η περιεκτικότητα των φυκιών σε κυτταρίνες είναι υψηλότερη σε σχέση με εκείνες των περισσότερων φρούτων και λαχανικών (Oliveira et al. 2009).

Το περιεχόμενο των φυκιών σε ανόργανη ουσία αναφέρεται από τους Oliveira et al. (2009) αρκετά υψηλό (13-25%) σε σχέση με άλλους φυτικούς οργανισμούς (5-10% - USDA 2001). Πράγματι, ο Rupérez (2002) αναφέρει ότι τα φύκια είναι γενικά πλούσια σε ανόργανες ουσίες που χρειάζεται ο ανθρώπινος οργανισμός. Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητά τους τόσο σε μακροστοιχεία (Na, K, Ca, Mg) όσο και σε ιχνοστοιχεία (Fe, Zn, Mn, Cu) είναι υψηλή, 8,083-17,875 mg/100 g φυκιών και 5,1-15,2 mg/100 g φυκιών, αντίστοιχα. Επιπλέον, τα φύκια περιέχουν αξιόλογη ποσότητα I (0,1-1,1%), όπως αναφέρουν οι Indegaard και Minsaas (1991).

Επιπρόσθετα, τα διάφορα είδη φυκιών αποτελούν αξιόλογη πηγή όλων σχεδόν των σημαντικών βιταμινών, όπως τοκοφερόλες, ασκορβικό οξύ, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, νικοτινικό οξύ, προβιταμίνη A κ.λπ., με αποτέλεσμα να βελτιώνεται ακόμη περισσότερο η θρεπτική αξία τους (Simoons 1991). Μάλιστα, 1 g *Spirulina* βρέθηκε να περιέχει ποσότητα βιταμίνης B<sub>12</sub> ίση με 0,5-2,0 μg, γεγονός παράδοξο για φυτικής προέλευσης προϊόν, δείχνει όμως ότι υπάρχει φυλογενετική σύν-

δεση του φυκιού αυτού με τα βακτήρια τα οποία μπορούν και συνθέτουν τη βιταμίνη B<sub>12</sub> (Becker 1994).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι τα διάφορα είδη φυκιών περιέχουν χρωστικές ουσίες και μάλιστα τα φύκια είναι από τις πλουσιότερες πηγές μεταξύ όλων των φυτικών ειδών, τόσο σε χλωροφύλλη (0,5-1,5% της ξηρής ουσίας) όσο και σε καροτενοειδή (0,1-2% της ξηρής ουσίας), όπως αναφέρεται από τον Becker (1994). Ακόμη, στα φύκια υπάρχουν και κάποιες σκουρόχρωμες, υδατοδιαλυτές χρωστικές πρωτεϊνικής φύσης, οι φυκοχολοπρωτεΐνες, που συνεισφέρουν ιδιαίτερα στην απορρόφηση του φωτός από τα φύκια (Becker 1994).

## β. Ανεπιθύμητα συστατικά των φυκιών

Στα φύκια μπορεί να βρεθούν διάφορες ουσίες με τοξική δράση ή με αντιδιατροφικές ιδιότητες. Στους τοξικούς παράγοντες για τους ζωικούς οργανισμούς συγκαταλέγονται οι λεκτίνες (Vasconcelos και Oliveira, 2004), οι οποίες συγκολλούν τα ερυθρά αιμοσφαίρια (Oliveira et al. 2009). Στους αντιδιατροφικούς παράγοντες κατατάσσονται εκείνοι που παρεμποδίζουν τη δράση των ενζύμων θρυψίνης και α-αμυλάσης, καθώς επίσης οι ταννίνες και το φυτικό οξύ (Rehman και Shah 2004). Ακόμη, η περιεκτικότητα των φυκιών σε νουκλεϊκά οξέα κυμαίνεται από 4-6%. Οι πουρίνες, που προέρχονται από τα νουκλεϊκά οξέα RNA και DNA, μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του ουρικού οξέος στο πλάσμα του αίματος, με επιπτώσεις τελικά στην υγεία του ανθρώπου και λιγότερο στην υγεία των ζώων (Becker 1994). Σε ό,τι αφορά τα βαριά μέταλλα, στα διάφορα είδη φυκιών ανιχνεύθηκαν κάποια που θεωρούνται τοξικά, όπως κάδμιο, χρώμιο, νικέλιο και βανάδιο, σε υψηλές σχετικά τιμές (Oliveira et al. 2009).

## Χρήσεις των φυκιών

### α. Γενικά

Ο άνθρωπος εξαρχής δεν κατανόησε τη μεγάλη σπουδαιότητα των φυκιών στη βιόσφαιρα. Συγκεκριμένα, τα φύκια με τη φωτοσύνθεση μπορούν και συγκρατούν το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας, που προέρχεται κυρίως από τις βιομηχανίες και προκαλεί περιβαλλοντολογική μόλυνση, οπότε τα φύκια έτσι συμβάλλουν στη μείωση της μόλυνσης του πλανήτη. Μέχρι σήμερα, ακόμη δεν πιστεύουμε ότι τα παραγόμενα φύκια βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά καθημερινά μας προϊόντα: από την οδοντόκρεμα μέχρι το παγωτό (Harlin και Darley 1988).

Τα φύκια, και κυρίως τα μικροφύκια, φαίνεται να αποτελούν μια νέα πηγή πρωτεϊνών με ποιότητα ίδια ή και ανώτερη σε σύγκριση με τις πρωτεΐνες των συμβατικών φυτών (Becker 2007). Εξάλλου, σύμφωνα με τον Fleurence (1999), τα μακροφύκια αποτελούν σημαντική πηγή ανόργανων ουσιών και παράλληλα περιέχουν πολυσακχαρίτες με «λειτουργικές ιδιότητες», οπότε θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παρασκευή νέων τροφίμων κατάλληλων για τον άνθρωπο – κυρίως σε προϊόντα υγιεινής διατροφής. Επιπρόσθετα, ο Nonomura (1988) αναφέρει ότι οι κυτταρίνες των πράσινων φυκιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χαρτιού ως μια εναλλακτική φθηνή λύση για χώρες με μεγάλη ακτογραμμική και περιορισμένο αριθμό δασών. Επιπλέον, τα λιπαρά οξέα των μικροφυκιών και κυρίως τα πολύτιμα για τους ζωικούς οργανισμούς ω-3 λιπαρά οξέα, εκτός της χρησιμοποίησής τους στη διατροφή των ζώων, παράγουν βιοκαύσιμα φθηνά και φιλικά στο περιβάλλον. Πράγματι, το παραγόμενο από φύκια βιοντήζελ δίνει καλύτερη καύση και παράγει λιγότερο CO<sub>2</sub> απ' ό,τι εκείνο του πετρελαίου. Ακόμη, τα φύκια, σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ελαιούχα σπέρματα, παράγουν πέντε φορές περισσότερη βιομάζα/ανά εκτάριο και περιέχουν 30-40% έλαιο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (Becker 1994).

Από τα θαλάσσια μακροφύκια, Phaeophyta και Rhodophyta, λαμβάνονται διάφορα προϊόντα, που κατατάσσονται στις πρόσθετες ύλες διατροφής, όπως αλγινικό οξύ και τα άλατά του, αγάρ, καρραγεννάνες. Τα παραπάνω προϊόντα χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των τροφών ως γαλακτοματοποιητές, σταθεροποιητές, συνδετικές ή αντισυσσωματικές ύλες με πολλές εφαρμογές σε γαλακτοκομικά προϊόντα, ζαχαρωτά, χυμούς φρούτων, μαρμελάδες, κατεψυγμένα τρόφιμα κ.λπ. (Lewis et al. 1988).

Επίσης, στην κατηγορία των πρόσθετων υλών διατροφής, ανήκουν και οι χρωστικές των φυκιών, οι οποίες σύμφωνα με τον Becker (1994), είναι φυσικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά με τις συνθετικές χρωστικές. Όλα άλλωστε τα είδη φυκιών περιέχουν έναν ή περισσότερους τύπους χλωροφύλλης, η οποία είναι φωτοσυνθετική χρωστική. Μια άλλη σπουδαία κατηγορία χρωστικών που βρίσκονται στα φύκια είναι τα καροτενοειδή, από τα οποία εμπορική αξία έχουν τα: β-καροτένια, το λυκοπένιο, η ζεαξανθίνη, η ασταξανθίνη και η λουτεΐνη, που χρησιμοποιούνται στα διάφορα τρόφιμα. Η χρήση των μακρο-

φυκιών ως λίπασμα του εδάφους για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων ήταν γνωστή από τους αρχαίους χρόνους (Stephenson 1974), ενώ τα μικροφύκια άρχισαν να χρησιμοποιούνται στη γεωργία από τον 11<sup>ο</sup> αιώνα (Dao και Tran 1979). Πράγματι, τα φύκια δίνουν οργανικό λίπασμα υψηλής απόδοσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σήμερα, με πολύ καλά αποτελέσματα, στις καλλιέργειες λαχανικών, φρούτων και ανθέων, ενώ ταυτόχρονα προστατεύουν το περιβάλλον (McHugh 2003). Διάφορα είδη φυκιών εμφανίζουν και θεραπευτικές ιδιότητες, όπως π.χ. το είδος *spirulina* στην ίαση τραυμάτων ή στον καταρράκτη (Jassby 1988). Ακόμη, μερικά θαλάσσια φύκια παράγουν αντιβιοτικά, ενώ κάποια μακροφύκια ή και μικροφύκια περιέχουν φαινόλες που είναι γνωστές για τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες (Becker 1994). Τα φύκια βρίσκουν εφαρμογή και στην κοσμετολογία για την παρασκευή διάφορων κρεμών, αλάτων μπάνιου και άλλων καλλυντικών (McHugh 2003). Τελευταία, όπως αναφέρεται από τους Wharton et al. (1988), τα φύκια θα μπορούσαν να αποτελέσουν τροφή για τους αστροναύτες στο διάστημα, ενώ χρησιμοποιούνται ως μοντέλα οργανισμών για πειραματικές και θεωρητικές μελέτες εξαιτίας της δυνατότητάς τους να υποστηρίξουν τη ζωή σε συνθήκες εκτός της γήινης ατμόσφαιρας, όπως π.χ. σε άλλους πλανήτες.

## β. Η χρήση των φυκιών στη διατροφή του ανθρώπου

Από πολύ παλιά πολλοί λαοί χρησιμοποιούσαν τα θαλάσσια φύκια στη διατροφή τους. Πιο συγκεκριμένα, στην Κίνα ο Sze Tsu τον 6<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. αναφέρει ότι τα «φύκια είναι έδεσμα αντάξιο των τιμών των προσώπων» (Tseng 1981). Αλλά και στην αρχαία Ελλάδα τα φύκια αποτελούσαν μέρος της τροφής του ανθρώπου. Υπάρχουν άλλωστε αναφορές του Διοσκουριδίου σύμφωνα με τις οποίες τα φύκια βοηθούν στην ευεξία του ανθρώπου. Ακόμη, μελετητές υποστηρίζουν ότι στη Μ. Ανατολή, στα βιβλικά χρόνια, η τροφή που ονομαζόταν «μάννα» προερχόταν από είδη φυκιών της Νεκρής Θάλασσας. Αργότερα, οι Κέλτες, οι Βίκινγκς και οι Αζτέκοι συμπεριέλαβαν και αυτοί στη διατροφή τους τα φύκια. Ακόμη και σήμερα, διάφορα είδη φυκιών αποτελούν εθνικό τρόφιμο για πολλούς λαούς, ιδιαίτερα της Ασίας (Harlin και Darley 1988).

Τα τελευταία μάλιστα χρόνια τα φύκια προσέλκυσαν το ενδιαφέρον του δυτικού κόσμου, ο οποίος θέλησε να τα εντάξει στα διατροφή του και γενικότερα στη ζωή του (Dawczynski et al. 2007). Και αυτό γιατί,

σύμφωνα με τους Lahaye (1991), τα φύκια, εξαιτίας των πολυσακχαριτών που περιέχουν, δεν πέπτονται πλήρως στο πεπτικό σύστημα του ανθρώπου όπως ήδη αναφέρθηκε, οπότε ως κυτταρινούχες τροφές θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στα προϊόντα υγιεινής διατροφής. Άλλωστε σε πειράματα των Nigam et al. (1985) αναφέρεται η προσθήκη φυκιών στο ψωμί και σε άλλα προϊόντα αροποιίας. Ο Becker (1994) σημειώνει ότι η χρήση αλεύρου φυκιών σε τρόφιμα, σε ποσοστό 5-15%, θεωρείται ασφαλής.

Σήμερα, καλλιεργούνται τα φύκια σε πολλές χώρες της γης, κυρίως στις Η.Π.Α., στη Γαλλία και τη Νορβηγία. Όπως αναφέρουν οι Hundley και Ing (1956), η καλλιέργεια των φυκιών ξεκίνησε εξαιτίας του γεγονότος ότι αποτελούν μια εναλλακτική πηγή πρωτεϊνών και μάλιστα υψηλής ποιότητας, που θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των υποσιτιζόμενων ανθρώπων στις αναπτυσσόμενες χώρες.

#### γ. Η χρήση των φυκιών στη διατροφή των ζώων

Από τη δεκαετία του '50 έρευνες αναφέρουν ότι τα φύκια θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων (Soeder 1986, Halama 1990). Σήμερα εκτιμάται ότι το 30% περίπου των παραγόμενων φυκιών στον κόσμο χρησιμοποιείται κυρίως εξαιτίας της υψηλής ποιότητας πρωτεϊνών που περιέχουν (Becker 2007).

##### ι) Μηρυκαστικά ζώα

Οι Chowdhury et al. (1995) χορήγησαν σε παχυνόμενα μοσχάρια εναιώρημα μικροφυκιών (*Chlorella* και *Scenedesmus* 5-10 ml όγκος κυττάρων / l νερού) σε ποσότητα περίπου 10% του σωματικού βάρους και βρήκαν βελτίωση της πεπτικότητας των ολικών κυτταρινών και μείωση του κόστους διατροφής των ζώων σε σχέση με εκείνα που διατρέφονταν με ελαιούχα σπέρματα σιταμιού. Άλλοι ερευνητές (Braden et al. 2007) αναφέρουν ότι η χορήγηση μακροφυκιών (*Ascophyllum nodosum*) στο σιτηρέσιο μοσχαριών ενδυναμώνει το ανοσοποιητικό τους σύστημα και βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του κρέατος. Επιπλέον, η ενσωμάτωση του παραπάνω είδους μακροφυκιών στο σιτηρέσιο μοσχαριών που μολύνθηκαν με *E. coli*, επέφερε μείωση της συγκέντρωσης των παθογόνων αυτών μικροοργανισμών στα κόπρανα των ζώων (Bach et al. 2008).

Σε ό,τι αφορά τα αρνιά, η προσθήκη των μακροφυκιών *Ascophyllum nodosum* στο σιτηρέσιό τους δεν βρέθηκε να βελτιώνει τις αποδόσεις τους (Bach et al. 2008), ενώ οι Elmore et al. (2005) βρήκαν ότι

εμπλουτίστηκε το κρέας των αρνιών σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα.

Σύμφωνα με τον McHugh (2003), η χορήγηση φυκιών (*Ascophyllum nodosum*) με την τροφή σε γαλακτοπαραγωγές αγελάδες μεγάλου σωματικού βάρους, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες του έτους, είχε ως αποτέλεσμα τον αυξημένο αριθμό κηύσεων των ζώων, καθώς και αύξηση της γαλακτοπαραγωγής. Με τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν και άλλοι ερευνητές (Simkus et al. 2007, Kulpys et al. 2009), οι οποίοι βρήκαν και αύξηση της περιεκτικότητας του γάλατος σε λίπος, πρωτεΐνες και λακτόζη σε σχέση με τις αγελάδες των οποίων το σιτηρέσιο δεν περιελάμβανε φύκια.

Ακόμη, ο McHugh (2003) αναφέρει ότι σε διατροφικά πειράματα σε αίγες, στις οποίες προστέθηκαν στην τροφή τους μακροφύκια *Ascophyllum nodosum* για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 2 ετών, διαπιστώθηκε ότι τους χειμερινούς μήνες τα ζώα είχαν μεγαλύτερο σωματικό βάρος και έδιναν περισσότερη ποσότητα μαλλιού σε σχέση με αίγες στις οποίες δεν συμπεριλαμβάνονταν φύκια στη διατροφή τους.

Τα τελευταία, όμως, χρόνια γίνεται χρήση των φυκιών στη διατροφή των μηρυκαστικών ζώων με σκοπό την προσφορά των πολυτιμών για την υγεία του ανθρώπου πολυακόρεστων λιπαρών οξέων. Ερευνητές έχουν δείξει ότι η προσθήκη μικροφυκιών (*Schizochytrium* sp.) στα σιτηρέσια γαλακτοπαραγωγών αγελάδων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του εικοσιεξανοϊκού οξέος (DHA) και του συζευγμένου λινελαϊκού οξέος (CLA) στο λίπος του γάλατος, ενώ παράλληλα μείωσε την περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά οξέα σε αυτό (Franklin et al. 1999). Ακόμη, σε μελέτη των Or-Rashid et al. (2008) αναφέρεται ότι η προσθήκη φυκιών (*Cryptocodinium cohnii*) στην τροφή αγελάδων επέφερε τροποποίηση των λιπαρών οξέων του υγρού της μεγάλης κοιλίας, ιδιαίτερα του CLA και του DHA. Επιπρόσθετα, η χορήγηση των παραπάνω φυκιών στο σιτηρέσιο γαλακτοπαραγωγών αγελάδων διαφοροποίησε τις φυσικές ιδιότητες (κρυστάλλωση) του λίπους του γάλατος, αυξάνοντας τη συνεκτικότητα αυτού σε σχέση με εκείνο αγελάδων που λάμβαναν ένα συνηθισμένο εμπορικό σιτηρέσιο (Singh et al. 2004). Επίσης, σύμφωνα με τους Papadopoulos et al. (2002), η χορήγηση φυκιών (*Schizochytrium* sp.) στην τροφή αιγών που βρίσκονταν στο στάδιο της γαλακτοπαραγωγής, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιεκτικότητας του γάλατος σε λίπος και πρωτεΐνες,

καθώς και τον εμπλουτισμό του γάλατος σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, δηλαδή DHA, EDA και εικοσιδυαπενταενοϊκό οξύ. Ακόμη, παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας του γάλατος στο σύνολο των λιπαρών οξέων σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με αυτή στο γάλα των αγελάδων (Franklin et al. 1999). Σε ό,τι αφορά τα γαλακτοκομικά προϊόντα των αιγών, δηλαδή γιαούρη και τυρί φέτα, βρέθηκαν εμπλουτισμένα στα προαναφερθέντα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα σε σχέση με εκείνα που προέρχονται από γάλα αιγών που δεν διατρέφονταν με φύκια (Papadopoulos et al. 2002). Οι προαναφερόμενοι ερευνητές επεσήμαναν ότι η αποθήκευση του τυριού φέτα για διάστημα 5 μηνών δεν επηρέασε την περιεκτικότητά του σε λιπαρά οξέα.

## ii) Μονογαστρικά ζώα

Για τη χρησιμοποίηση των φυκιών στα διάφορα είδη των μονογαστρικών ζώων θα μπορούσαν να αναγραφούν τα παρακάτω.

### I. Κουνέλια

Σύμφωνα με έρευνες των Battaglini (1979), Raju και Sreemannaayana (1995), φύκια χρησιμοποιήθηκαν στη διατροφή των κουνελιών με σκοπό τη μερική ή ολική αντικατάσταση του σογιαλεύρου της τροφής τους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μελέτες αυτών ήταν αντιφατικά, και αυτό γιατί άλλοτε παρατηρήθηκε αύξηση του τελικού σωματικού βάρους των κουνελιών και άλλοτε μείωση αυτού. Αργότερα, μελέτη των Colla et al. (2008) έδειξε ότι η χορήγηση μικροφυκιών *Spirulina platensis* σε σιτηρέσια κουνελιών με υψηλή ποσότητα χοληστερόλης μείωσε τα επίπεδά της στον ορό του αίματος των ζώων, ενώ αύξησε τα επίπεδα της λεγόμενης «καλής» χοληστερόλης (HDL). Επιπλέον, σε έρευνα των Peiretti και Meineri (2008) σε κουνέλια απογαλακτισθέντα, ηλικίας 9-13 εβδομάδων, που η τροφή τους συμπεριλάμβανε μικροφύκια *Spirulina platensis*, δεν εμφανίστηκαν αρνητικά αποτελέσματα στις αποδόσεις τους, γιατί η μειωμένη πεπτικότητα των φυκιών ισορρόπησε με την αύξηση κατανάλωσης της τροφής. Αντίθετα, οι ίδιοι ερευνητές σε μελέτη τους, το 2009, σε ενήλικα κουνέλια, βρήκαν ότι η χορήγηση της *Spirulina platensis* στο σιτηρέσιό τους με παράλληλη προσθήκη λίπους αύξησε την πεπτικότητα των ολικών πρωτεϊνών. Επιπρόσθετα, η κατανάλωση φυκιών πλούσιων σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, εμπλούτισε το κρέας των κουνελιών σε αυτά (Tassinari et al. 2002).

### II. Χοίροι

Οι Grinstead et al. (2000) πρότειναν τη χρήση μικροφυκιών (*Spirulina platensis*) ως πρωτεϊνούχο συμπλήρωμα στη διατροφή των απογαλακτισμένων χοιριδίων. Τα αποτελέσματα των μελετών έδειξαν ότι όταν οι χοίροι προσλάμβαναν με την τροφή τους μικρές ποσότητες φυκιών (έως 2%), εμφάνισαν μικρή βελτίωση στην αύξηση του σωματικού τους βάρους. Ανάλογα είναι και τα ευρήματα του McHugh (2003), με 3% ποσοστό προσθήκης φυκιών στο σιτηρέσιο των χοίρων. Επιπλέον, οι Grinstead et al. (2000) αναφέρουν ότι η πρόσληψη τροφής από απογαλακτισμένα χοιρίδια ήταν σημαντικά μειωμένα, όταν το σιτηρέσιο που περιείχε τα φύκια ήταν σε μορφή συμπύκνων παρά σε αλευρώδη μορφή. Εξάλλου οι Marriot et al. (2002), όταν χορήγησαν φύκια πλούσια σε DHA σε χοίρους που βρίσκονταν στο τελευταίο στάδιο της πάχυνσης (σωματικό βάρος περίπου 100 kg), δεν βρήκαν ουσιώδεις διαφορές τόσο στο σωματικό βάρος τους όσο και στην απόδοση σε σφάγιο σε σχέση με χοίρους που δεν κατανάλωναν φύκια. Παρεμφερή, επίσης, είναι τα αποτελέσματα των Sardi et al. (2006) ύστερα από χορήγηση σιτηρεσίου που περιείχε παρόμοιας φύσης φύκια, σε χοίρους σωματικού βάρους 160 kg. Όμως, και οι δύο παραπάνω ομάδες ερευνητών βρήκαν ότι τα φύκια αυτά εμπλούτισαν σε DHA τόσο το κρέας όσο και το υποδόριο λίπος των χοίρων.

### III. Πτηνά

#### • Αυγοπαραγωγές όρνιθες

Ήδη από το 1936, οι Sumita et al. διαπίστωσαν ότι η χορήγηση αλεύρου φυκιών σε ποσότητα 4-10% στο σιτηρέσιο αυγοπαραγωγών ορνίθων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του περιεχόμενου ιωδίου τόσο στη λέκιθο όσο και στο λεύκωμα του αυγού. Αντίθετα, ο McHugh (2003) δεν βρήκε αύξηση του περιεχόμενου ιωδίου στα αυγά ορνίθων που διατράφηκαν με μακροφύκια (*Ascophyllum*). Σύμφωνα με τους Herber και Elswyk (1996), η χορήγηση θαλάσσιων φυκιών (4,8%) στην αρχή της αυγοπαραγωγής σε όρνιθες ηλικίας 24 εβδομάδων, επέφερε μείωση του βάρους τόσο του αυγού όσο και της λεκίθου, ενώ δεν επηρεάστηκε η αυγοπαραγωγή. Αντίθετα, όταν οι ίδιοι ερευνητές πρόσθεσαν τα φύκια στην τροφή ορνίθων ηλικίας 56 εβδομάδων, βρήκαν μείωση της αυγοπαραγωγής. Όμως, η χορήγηση αυτών των φυκιών στις όρνιθες ανεξαρτήτως ηλικίας επέφερε αύξηση του DHA στη λέκιθο των αυγών τους. Με το τελευταίο εύρημα φαι-



νεται να συμφωνούν και οι Grigorigova et al. (2006). Οι ερευνητές αυτοί βρήκαν ότι ενσωμάτωση μικροφυκιών, είδους *Chlorella*, σε ποσοστό 2% και 10% στο σιτηρέσιο αυγοπαραγωγών ορνίθων είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του λινολενικού οξέος ( $\omega$ -3) στη λέκιθο των αυγών και την παράλληλη μείωση του εικοσιτετραενοϊκού οξέος ( $\omega$ -6), ειδικότερα όταν το ποσοστό προσθήκης των φυκιών στο σιτηρέσιο ήταν 10%. Επιπλέον, εμφανίστηκε τάση μείωσης της ολικής χοληστερόλης/100 g λεκίθου, γεγονός που ανέφεραν και άλλοι ερευνητές (Ginzberg et al. 2000). Οι Carrillo et al. (2008), όταν ενσωμάτωσαν μακροφύκια (*Macrocystis pyrifera*) σε ποσοστό 10% στο σιτηρέσιο ορνίθων, βρήκαν αύξηση του ύψους του λευκόματος των αυγών και όπως οι προηγούμενοι ερευνητές, αύξηση των περιεχόμενων  $\omega$ -3 λιπαρών οξέων. Ακόμη, η προσθήκη φυκιών (*Spirulina* ή *Macrocystis pyrifera*) στην τροφή των αυγοπαραγωγών ορνίθων ενδυνάμωσε το χρώμα της λεκίθου των αυγών (Carrillo et al. 2008).

- Κρεοπαραγωγά ορνίθια

Σύμφωνα με έρευνα των Yoshida και Hoshii (1982), χρησιμοποιήθηκαν μικροφύκια (*Chlorella*) στο σιτηρέσιο κρεοπαραγωγών ορνιθίων για αντικατάσταση παραδοσιακών πρωτεϊνούχων τροφών (π.χ. σογιάλευρο). Βρέθηκε ότι σε ποσοστό προσθήκης μέχρι 10% τα αποτελέσματα σχετικά με τις αποδόσεις των πτηνών ήταν ευνοϊκά, ενώ σε ποσοστό 20% εμφανίστηκε μείωση της ανάπτυξής τους, ιδιαίτερα στην αρχή της εκτροφής. Από την άλλη μεριά, ο δείκτης μετατρεψιμότητας τροφής δεν φάνηκε να επηρεάζεται από τα διάφορα ποσοστά προσθήκης φυκιών. Αντίθετα, οι Χρηστάκη και συν. (2006) αναφέρουν ότι η χορήγηση εκχυλίσματος μακροφυκιών *Ascophyllum nodosum* σε κρεοπαραγωγά ορνίθια σε ποσότητα 20 kg/τόνο τροφής, επέφερε σημαντική βελτίωση του δείκτη μετατρεψιμότητας τροφής σε σχέση με εκείνον της ομάδας των μαρτύρων. Ακόμη, άλλοι ερευνητές (Lipstein και Talpaz 1984) αναφέρουν ότι το άλευρο

φυκιών (*Chlorella* ή *Micractinium*) μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή χρωστικών ουσιών στη διατροφή των κρεοπαραγωγών ορνιθίων. Σχετικά πρόσφατα, ο Becker (2007) αναφέρει γενικά ότι η εμπορική χρήση φυκιών ως ζωοτροφή είναι περισσότερο κατάλληλη στα σιτηρέσια των πτηνών.

#### IV. Εκτρεφόμενα ψάρια

Στη διατροφή των εκτρεφόμενων ψαριών θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα φύκια με ευνοϊκά αποτελέσματα σε ό,τι αφορά την αύξηση του σωματικού βάρους των ψαριών, καθώς και τη μεγαλύτερη εναπόθεση τριγλυκεριδίων ή πρωτεϊνών στους μυς τους (Mustafa et al. 1995). Σε άλλη έρευνα των Mustafa και Nakagawa (1995) αναφέρεται ότι τα φύκια στην τροφή των ψαριών αύξησαν την αντίστασή τους σε διάφορες καταστάσεις καταπόνησης (stress) και σε ασθένειες.

Εξάλλου, ο McHugh (2003) προτείνει το λεπτοαλεσμένο άλευρο μακροφυκιών (*Macrocystis pyrifera* ή *Gracilaria edulis*) είτε ως συνδετική ύλη στο σιτηρέσιο των ψαριών –εξαιτίας των αλγινικών οξέων και αλάτων που περιέχονται– είτε ως τροφή. Επιπλέον, ο Fleurence (1999) αναφέρει ότι η χρήση φυκιών στην τροφή των ψαριών θα μπορούσε μερικώς να αντικαταστήσει άλλες πρωτεϊνούχες ζωοτροφές. Οι Senthil et al. (2005) υποστηρίζουν ότι η προσθήκη 10% αλεύρου φυκιών (*Eucheuma*) στο σιτηρέσιο ψαριών δεν είχε αρνητική επίδραση στις αποδόσεις τους. Άλλωστε τα φύκια αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή τροφής για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς.

Συμπερασματικά, τα φύκια, οι απλοί αυτοί υδρόβιοι, φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη διατροφή των ζωικών οργανισμών εξαιτίας των σημαντικών ιδιοτήτων τους. Έτσι, η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση αποτελεί το έναυσμα για τη διεξαγωγή περαιτέρω μελετών σχετικά με τη χρήση φυκιών σε πολλά επιστημονικά πεδία, αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς της έρευνας. ■

## REFERENCES - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bach SJ, Wang Y, McAlister TA (2008). Effect of feeding sun-dried seaweed (*Asco-phyllum nodosu*) on fecal shedding of *Escherichia coli* O157: H7 by feed pot cattle and on growth performance of lambs 142: 17-32.
- Battaglini M (1979). Algae and yeasts for rabbits. *Coniglicolt.* 16: 39-40.
- Becker EW (1994). *Micro-algae: Biotechnology and Microbiology.* Cambridge University Press, Cambridge: p. 293.
- Becker EW (2007) Microalgae as a source of protein. *Biotechnology Advances* 25: 207-210.
- Bold HC, Wynne MJ (1985). *Introduction to the Algae: Structure and Reproduction.* 2<sup>nd</sup> ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ: pp. 706.
- Borowitzka MA (1988). Fats, oils and hydrocarbons. In: *Micro-algal Biotechnology*, ed MA Borowitzka & LJ Borowitzka, Cambridge University Press: pp. 257-287.
- Braden KW, Blanton JR, Montgomery JL, van Santen E, Allen VG and Miller MF (2007). Tascosupplementation: effects on carcass characteristics, sensory attributes and retail display shelf-life. *Journal Animal Science* 85: 754-768.
- Carrillo S, López E, Casas MM, Avila E, Castillo RM, Carranco ME, Calvo C, Pérez-Gil F (2008). Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n-3 fatty acid enriched eggs. *Journal of Applied Phycology* 20: 271-278.
- Christaki E, Florou-Paneri P, Giannenas E, Botsoglou N (2006). The effect of dietary supplementation of algae extract (*Ascophyllum nodosum*) on performance of broilers. 10<sup>th</sup> Greek Veterinary Conference, Athens.
- Chowdhury SA, Huque KS, Khatum M, Quamrun N (1995). Study on the use of algae as a substitute for oil cake for growing calves. *Livestock Research for Rural Development* 6: 8-16.
- Colla LM, Maccillo-Baisch AL, Costa JA (2008). *Spirulina platensis* effects of the levels of total cholesterol, HDL and triacylglycerols in rabbits fed with a hypercholesterolemic diet. *Brazilia, Archives of Biology and Technology* 51: 35-43.
- Dao T-T, Tran Q-T (1979). Use of Azolla in rice production in Vietnam. In: *Nitrogen and Rice*, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines: pp. 395-405.
- Dawczynski C, Schubert R, Jahreis G (2007). Amino acids, fatty acids and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry* 103: 891-899.
- Dixon PS (1973). *Biology of the Phodophyta.* Edinburgh: Oliver and Boyd. p. 232.
- Elmore JS, Cooper SL, Enser M, Mottram DS, Sinclair LA, Wilkinson RG, Wood JD (2005). Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compound of grilled lamb. *Meat Science* 69: 233-242.
- FDA (2004). GRAS: Time-Tested and Trusted, Food Ingredients. U.S. Food and Drug Administration (on line): <http://www.fda.gov/fdac/features/2004/204-gras.html>, accessed July 5 2007).
- Fleurence J (1999). Seaweed proteins: Biochemical nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science and Technology* 10: 25-28.
- Franklin ST, Martin KR, Baer RJ, Schingoethe DJ, Hippen AR (1999). Dietary marine algae (*Schizochytrium* sp.). Increases concentrations of conjugated linoleic, docosahexaenoic and transvaccenic acids in milk dairy cows. *Journal of Nutrition*, 129: 2048-2054.
- Ginzberg A, Cohen M, Sod-Moriah UA, Shany S, Rosenshtauch A, Arad SM (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.
- Goni I, Gudiel-Urvano M, Saura-Calixto F (2002). In vitro determination of digestible and unavailible protein in edible seaweeds. *Journal of Science, Food and Agriculture* 82: 1850-1854.
- Grigirova S, Surdjiiska S, Banskaliieva V, Dimitrov G (2006). The effect of biomass from green algae of *Chlorella* genus on the biochemical characteristics of table eggs. *Journal Central European Agriculture* 7: 111-116.
- Grinstead GS, Tokach MD, Dritz SS, Goodband RD, Nelssen JL (2000). Effects of *Spirulina platensis* on growth performance of weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology* 83: 237-247.
- Gudiel-Urbano M, Goni I (2002). Effect of edible seaweeds (*Undaria pinnatifida* and *Porphyra tenera*) on the metabolic activities of intestinal microflora in rats. *Nutrition Research* 22: 323-331.
- Halama D (1990). Single cell protein. In: *Non-conventional feeds stuffs in the nutrition of farm animals.* ed. Kolman Boda, Elsevier Science Publishing Company, New York: pp. 34-49.
- Harlin MM, Darley WM (1988). The algae: an overview. In: *Algae and Human Affairs* ed. CA Lembi and JR Waaland, Cambridge University Press, Cambridge: pp 3-27.
- Herber SM, Van Elswyk ME (1996). Dietary marine algae promotes efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs. *Poultry Sci* 75: 1501-1507.
- Hudson B, Karis IG (1974). The lipids of the alga *Spirulina*. *Journal of Science, Food and Agriculture* 25: 759-763.
- Hundley JM, Ing RB (1956). Algae as sources of lysine and threonine in supplementing wheat and bread diets. *Science* 124: 536-537.
- Indegaard M, Minsaas J (1991). Animal and human nutrition. In: *Seaweed resources in Europe: uses and potential.* ed. MD Guiry and G Blunden, John Wiley and Sons Ltd. Chichester.
- Jassby A (1988). Some public health aspects of microalgal products. In: *Algae and Human Affairs*, ed. CA Lembi and JR Waaland, Cambridge University Press, Cambridge: pp. 181-202.
- Jensen A (1993). Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* 260: 15-23.
- Kulpys J, Paulauskas E, Simkus A, Jeresiuonas A (2009). The influence of weed *Spirulina platensis* on production and profitability of milking cows. *Veterinarija ir zootechnika* 46: 68.
- Lahaye M (1991). Marine algae as sources of fibers: Determination of soluble and insoluble dietary fiber contents in some sea vegetables. *Journal of Science, Food and Agriculture* 54: 587-594.
- Lewis JG, Stanley NF, Guist GG (1988). Commercial production and applications of algal hydrocolloids. In: *Algae and Human Affairs.* ed CA Lembi and JR Waaland, Cambridge University Press, Cambridge: pp. 205-236.
- Lipstein B, Talpaz H (1984). Sewage-grown algae as a source of pigments for broilers. *British Poultry Science* 25: 159-165.
- Margulis L (1981). *Symbiosis in Cell Evolution.* W.H. Freeman and Co, San Francisco 419 pp.
- Marriot NG, Garret JE, Sims MD, Abrul JR (2002). Composition of pigs fed a diet with docosahexaenoic acid. *J. Muscle Foods* 13: 265-277.
- Marshall H (2007). Micro-algae as a superfood source: Phytoplankton for future nutrition. *Vegetarian Issues* (Jun): 1-2.
- Mattox KR, Stewart KD (1984). Classification of the green algae: a concept based on comparative cytology. In: *Systematics of the*

- Green Algae, ed. DEG Irvine and DM John. Systematics Association Special vol. 27 Academic Press, London: pp. 29-72.
- McHugh DJ (2003). A guide to the seaweed industry FAO Fisheries Technical Paper No 441 Rome.
- Mustafa MG, Nakagawa H (1995). A review: dietary benefits of algae as an additive in fish feed. *The Israeli Journal of Aquaculture* 47: 155-162.
- Mustafa MG, Wakamatsu S, Takeda TA, Umino T, Nakagawa H (1995). Effects of algae meal as feed additive on growth, feed efficiency and body composition in Red Sea Bream. *Fisheries Sciences* 61: 25-28.
- National Museum of Natural History, Department of Botany (2008). <http://botany.si.edu/projects/algae/herbarium.htm> [Retrieved 19 December 2008].
- Nigam BP, Venkataramam LV, Seibel LV, Brummer W, Seiler JM and Stephan H (1985). Addition of algae to wheat bread and wheat extrudates. *Getreide, Mehl und Brot* 39: 53-56.
- Nonomura AM (1988). A future of phycotechnology. In: *Algae and Human Affairs*. ed CA Lembi and JR Waaland, Cambridge University Press, Cambridge: pp. 529-552.
- Oliveira MN, Freitas ALP, Carvalho AFU, Sampaio TMT, Farias DF, Teixeira DIA, Gouveia ST, Pereira JG, Sena MM (2009). Nutritive and non-nutritive attributes of washed-up seaweeds from the coast of Cear, Brasil. *Food Chemistry* 115: 254-259.
- Or-Rashid NM, Kramer JKG, Wood MA, McBride BW (2008). Supplemental algal meal alters the ruminal trans-18:1 fatty acid and conjugated linoleic acid composition in cattle. *Journal Animal Science* 86: 187-196.
- Papadopoulos G, Goulas C, Apostolaki E, Abril R (2002). Effects of dietary supplements of algae containing polyunsaturated fatty acids, on milk yield and the composition of milk products in dairy ewes. *Journal of Dairy Research* 69: 357-365.
- Peiretti PG, Meineri G (2008). Effects of diets with increasing levels of *Spirulina platensis* on the performance and apparent digestibility in growing rabbits. *Livestock Science* 118: 173-177.
- Raju KVS, Sreemannarayana O (1995). Feeding of *Ulva fasciata* to rabbits-feed efficiency and carcass characteristics. *Indian Vet. Journal* 72: 1331-1332.
- Rehman Z, Shah WH (2004). Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chemistry* 91: 327-331.
- Rupérez P (2002). Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry* 79: 23-26.
- Sardi L, Martelli G, Lambertini L, Parisini P, Mordenti A (2006). Effects of a dietary supplement of DHA-rich marine algae on Italian heavy pig production parameters. *Livestock Science* 103: 95-103.
- Senthil A, Mamatha BS, Mahadevaswamy M (2005). Effect of using seaweed (*eucheulma*) powder on the quality of fish cutlet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56: 327-335.
- Simkus A, Oberauskas V, Laugalis J, Zelvyté R, Monkeviciené I, Sederevicius A (2007). The effect of weed *spirulina platensis* on the milk production in cows. *Veterinarija ir zootechnika* 38: 60.
- Simoons FJ (1991). Seaweeds and other algae food in China: A cultural and historical inquiry. CRC Press: pp. 179-190.
- Singh AP, Avramis CA, Kramer JK, Marangoni AG (2004). Algal meal supplementation of the cows' diet alters the physical properties of milk fat. *Journal of Dairy Research* 71: 66-73.
- Soeder CJ (1986). An historical outline of applied algology. In: ed. A Richmond, *Handbook of Microalgal Mass Cultures*, CRC Press, Boca Raton.
- Spoehr HA, Milner HW (1949). The chemical composition of *Chlorella*. Effect of environmental conditions. *Plant Physiology* 24: 120-149.
- Steidinger KA, Vargo GA (1988). Marine dinoflagellate blooms: dynamics and impacts. In: *Algae and Human Affairs*, Cambridge University Press, Cambridge: pp. 373-401.
- Stephenson WA (1974). *Seaweed in Agriculture and Horticulture* 3<sup>rd</sup> ed. Bargyla and Glyver Rateaver Conservation Gardening and Farming Ser. C Reprints, Pauma Valley, CA: pp. 241.
- Sumita E, Kawabata A, Fujioka Y (1936). The influence of kelp meal feed on the iodine contents of the hen's eggs. Proc. 6<sup>th</sup> World's Poultry Congress, Berlin 343.
- Tassinari M, Mordenti AL, Testi S, Zotti A (2002). Esperienze sulla possibilità di arricchire con la dieta la carne di coniglio di LCPUFA n-3, *Prog. Nutr.* 4: 119-124.
- Tseng CK (1981). Commercial cultivation. In: *The Biology of Seaweeds*, ed. CS Loban and MJ Wynne. Botanical Monographs, vol. 17. University of California Press, Berkeley: pp. 680-725.
- USDA United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service (2001). Nutrient database for standard reference, Release 14: New York.
- Vasconcelos IM, Oliveira JTA (2004). Antinutritional properties of plant lectins. *Toxi-con* 44: 385-403.
- Wharton RA, Smernoff DT, Averner MM (1988). Algae in space. In: *Algae and Human Affairs*. ed CA Lembi and JR Waaland, Cambridge University Press, Cambridge: pp. 485-509.
- Yoshida M, Hoshii H (1982). Nutritive value of new type of *chlorella* for poultry feed. *Japanese Poultry Science* 19: 56-58.