

Σπειρουλίνα (Arthrospira): Βιοδραστικά Συστατικά με Δυνητικές Επιδράσεις στην Υγεία

Δρ. Θεόδωρος Γ. Σωτηρούδης,
Διευθυντής Ερευνών,
Ινστιτούτο Βιολογικών Ερευνών και Βιοτεχνολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών,
Λεωφ. Βασ. Κωνσταντίνου 48, Αθήνα

Η σπειρουλίνα (*Spirulina*) είναι ένα μικροσκοπικό νηματοειδές κυανοπράσινο φύκος (τις περισσότερες φορές σπειροειδές) που αναπτύσσεται σε γλυκό ή θαλασσινό νερό, και σήμερα επιστημονικά ονομάζεται Αρθροσπείρα (*Arthrospira*). Ανήκει στα κυανοβακτήρια και έχει μακρά ιστορία ως διατροφικό προϊόν, με πλέον εκμεταλλεύσιμα είδη της αρθροσπείρας την *Spirulina platensis* και την *Spirulina maxima*. Έχει πολλά κοινά γνωρίσματα με τα φυτά και παράγει όλες τις θρεπτικές της ουσίες με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας (φωτοσύνθεση) το οποίο και μετατρέπεται σε κυανο-πράσινες χρωστικές ενώσεις, οι οποίες της δίνουν και το χαρακτηριστικό της χρώμα. Το κυανούν χρώμα οφείλεται σε μία πρωτεΐνη, την φυκοκυανίνη, που βρίσκουμε αποκλειστικά στη σπειρουλίνα σε πολύ μεγάλες ποσότητες, ενώ το πράσινο, στη χλωροφύλλη, την κύρια χρωστική ουσία των φυτών.

Χρησιμοποιήθηκε ως τροφή για αιώνες από διάφορους λαούς και μόλις τα τελευταία χρόνια ανακαλύφθηκε ξανά ως ένα πλήρες και πλουσιότατο σε θρεπτικές ουσίες τρόφιμο και γι' αυτό το λόγο δεν έχει σχέση με βιταμινούχα και άλλα διατροφικά πρόσθετα. Τα περισσότερα εμπορικά συμπληρώματα διατροφής δεν περιλαμβάνουν φυσικά προϊόντα αλλά αποτελούν μίγματα χημικών ενώσεων που δημιουργούνται στα εργαστήρια σε μία ανεπιτυχή προσπάθεια να αντιγραφεί η φύση. Πολλές από τις ουσίες αυτές, κυρίως όταν είναι λιποδιαλυτές, μπορεί όταν συσσωρευτούν στο σώμα να γίνουν τοξικές. Σε αντίθεση, η σπειρουλίνα με περισσότερες από 100 πολύτιμες θρεπτικές ουσίες, αποτελεί, ένα πλήρες τρόφιμο, από τα πιο πλούσια που μας έχει δώσει η φύση.

Η σημερινή παραγωγή της σπειρουλίνας παγκοσμίως ξεπερνά τους 3000 τόνους. Ως εμπορικό διατροφικό προϊόν παράγεται σε πολλά μέρη του κόσμου, εδώ και 20 περίπου χρόνια, με καλλιέργεια του μικροφύκου σε μεγάλες υπαίθριες δεξαμενές παρουσία αλκαλικών διαλυμάτων ορισμένων ανόργανων αλάτων για την

παροχή άνθρακα, αζώτου, φωσφόρου, θείου, καλίου, καθώς και ορισμένων ιχνοστοιχείων και βιταμινών, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, φωτισμού, pH, ανάδευσης και παροχής CO₂. Καλλιεργείται επίσης εμπορικά στην Ελλάδα από την εταιρεία ΑΛΓΗ Α.Ε. σε κλειστές δεξαμενές θερμοκηπίου στα Θερμά Νιγρίτας Σερρών. Στο εργαστήριο μας αναπτύσσεται κάτω από αξενικές συνθήκες (απουσία άλλων μικροοργανισμών) σε ειδικούς φωτοβιοαντιδραστήρες [1-3] .

Γενικά διατροφικά χαρακτηριστικά της σπειρουλίνας

Η σπειρουλίνα, σε αντίθεση με τα φυτά δεν περιέχει το σκληρό κυτταρινούχο κυτταρικό τους τοίχωμα. Το γεγονός αυτό αποτελεί τεράστιο διατροφικό πλεονέκτημα γιατί έτσι διευκολύνεται η πέψη της αφού παρουσιάζει πολύ μεγάλη πεπτικότητα (95%), σε σύγκριση με αυτή των περισσότερων τροφίμων που είναι μόνο 10-15%.

Από διατροφική άποψη, η σπειρουλίνα παρέχει μία εξισορροπημένη πρωτεϊνική διατροφή, με παράλληλη παρουσία ορισμένων σπάνιων απαραίτητων λιπιδίων και πολυσακχαριτών, καθώς και μία πληθώρα τροφικών ανόργανων συστατικών και βιταμινών. Αποτελεί την πλουσιότερη σε πρωτεΐνη τροφή, με 60-70% περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη η οποία και παρέχει τα 8 απαραίτητα αμινοξέα και 10 από τα 12 μη απαραίτητα αμινοξέα του οργανισμού. Το κύριο πρωτεϊνικό συστατικό της αποτελεί η **φυκοκυανίνη**, πρωτεΐνη με εξαιρετικές αντιοξειδωτικές ιδιότητες, η οποία και αποτελεί το 15-25% της ξηράς μάζας του μικροφύκου και η οποία περιέχει μία ομοιοπολικά συνδεδεμένη προσθετική τετραπυρρολική ομάδα, την **φυκοκυανομπιλίνη** .

Περιέχει 5% λιπαρά χωρίς καθόλου χοληστερόλη, ένα μεγάλο ποσοστό των οποίων βρίσκεται με τη μορφή των απαραίτητων για την υγεία ω-6 λιπαρών οξέων, κυρίως λινολεϊκού οξέος και γ-λινολενικού οξέος (**GLA**). Η σπειρουλίνα θεωρείται έτσι μία από τις καλύτερες πηγές γ-λινολενικού οξέως, το οποίο σπανίζει στην καθημερινή διατροφή μας. Τα λιπαρά οξέα αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο στη σύνθεση προσταγλανδινών, λευκοτριενίων και θρομβοξανών, κύριων χημικών διαμεσολαβητών του ανοσοποιητικού συστήματος. Για τους λόγους αυτούς η σπειρουλίνα έχει προταθεί ως διατροφικό συμπλήρωμα σε περιπτώσεις ανεπάρκειας των «απαραίτητων λιπαρών οξέων». Επιπλέον, η σπειρουλίνα είναι η πλουσιότερη πλήρης φυσική διατροφική πηγή σε αντιοξειδωτική προ-βιταμίνη Α (β-καροτένιο), σε βιταμίνη Β12 και σε οργανικό σίδηρο. Είναι επίσης μία καλή πηγή για τις βιταμίνες Β1, Β2, Β3, Β6 και για την αντιοξειδωτική βιταμίνη Ε. Τ

Τα σάκχαρα αποτελούν το 15-25% του ξηρού βάρους της σπειρουλίνας. Περιλαμβάνουν κυρίως πολυσακχαρίτες (γλυκοζαμίνη, ραμνοζαμίνη ή γλυκογόνο) τα οποία αφομοιώνονται εύκολα από τον οργανισμό. Από διαιτητικής άποψης, το σάκχαρο φωσφορική μεσοϊνσοσιτόλη, εξαιρετική πηγή οργανικού φωσφόρου και ινσοσιτόλης βρίσκεται σε σημαντική ποσότητα, περίπου οκτώ φορές μεγαλύτερη απ΄αυτήν του βοδινού κρέατος και μερικές εκατοντάδες φορές αυτής των λαχανικών. Η παρουσία στην σπειρουλίνα ενός θειικού πολυσακχαρίτη που ονομάζεται **σπειρουλάνη**, όπως θα τονισθεί και παρακάτω, είναι πολύ σημαντική, σε σχέση με τις ευεργετικές της ιδιότητες για την υγεία,

Παρ'όλον ότι οι πρωτεΐνες αποτελούν τα βασικά δομικά συστατικά της ζωής, πολλά ανόργανα συστατικά και ιχνοστοιχεία επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το μεταβολισμό του οργανισμού και κατ'επέκταση την υγεία μας. Η σπειρουλίνα περιέχει «απαραίτητα ανόργανα συστατικά» και ιχνοστοιχεία σε μορφή που μπορούν εύκολα να απορροφηθούν. Ιδιαίτερα ο σίδηρος της σπειρουλίνας απορροφάται κατά 60% καλύτερα από αυτόν που βρίσκεται συνήθως σε συμπληρώματα διατροφής και μπορεί να αποτελέσει κατάλληλη πηγή σιδήρου σε περιπτώσεις αναιμίας. Το ασβέστιο, ο φωσφόρος και το μαγνήσιο βρίσκονται στη σπειρουλίνα σε ποσότητες συγκρίσιμες με αυτές στο γάλα. Επίσης, ενώ παρουσιάζει σημαντική περιεκτικότητα σε κάλιο, περιέχει μικρές συγκεντρώσεις ιωδίου και νατρίου [3].

Σπειρουλίνα και υγεία

Η σπειρουλίνα θεωρείται ένα εξαιρετικό διατροφικό προϊόν, χωρίς καμία τοξικότητα, με πολύτιμη συνεισφορά για τη διατήρηση της υγείας. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αποδέχεται ότι η σπειρουλίνα αποτελεί εξαιρετική τροφή για ανθρώπινη κατανάλωση ενώ ο οργανισμός Food and Drug Administration (FDA) των ΗΠΑ έχει εγκρίνει την πώληση σκευασμάτων σπειρουλίνας ως φυσικής τροφής. Πρόσφατα, οι δύο μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής σπειρουλίνας παγκοσμίως, η Earthrise Nutrionals (Petaluma, California) και η Cyanotech Corporation (Kailua Kona, Hawaii) ανακοίνωσαν ότι ο FDA χαρακτήρισε επίσης την σπειρουλίνα ως ασφαλές τρόφιμο (GRAS -Generally Recognized as Safe).

Τα κύρια δυναμικά πλεονεκτήματα της σπειρουλίνας για την υγεία του καταναλωτή περιλαμβάνουν αντιοξειδωτικές, ανοσορυθμιστικές, αντι-ιικές και αντικαρκινικές επιδράσεις, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε τρία βιοδραστικά συστατικά του μικροφύκου αυτού: την πρωτεΐνη φυκοκυανίνη, τον πολυσακχαρίτη σπειρουλάνη και το πολυακόρεστο λιπαρό οξύ GLA. Οι ενδείξεις για τις ανωτέρω βιολογικές δράσεις της σπειρουλίνας περιλαμβάνουν πειράματα σε κυτταρικές σειρές

και μοντέλα πειραματόζων καθώς και ένα περιορισμένο αριθμό μελετών σε ανθρώπους. Λιγότερο μελετημένες επιδράσεις της σπειρουλίνας περιλαμβάνουν επίσης την ικανότητα της για: (i) ελάττωση των επιπέδων χοληστερόλης στον ορό του αίματος και την αύξηση του λόγου HDL/LDL, (ii) προβιοτικές επιδράσεις με αύξηση του πληθυσμού των γαλακτοβακτηρίων του εντερικού σωλήνα, (iii) ελάττωση των επιπέδων γλυκόζης στο αίμα, (iv) ελάττωση του σωματικού βάρους και της αρτηριακής πίεσης και (vi) προστασία έναντι της τοξικότητας από βαρέα μέταλλα και της ιονίζουσας ακτινοβολίας (ραδιοπροστασία) [2] .

(α) Αντιοξειδωτικές επιδράσεις

Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες της σπειρουλίνας σχετίζονται κυρίως με την ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, καθώς και την ικανότητα εξουδετέρωσης ελευθέρων ριζών της φυκοκυανίνης, αν και άλλα αντιοξειδωτικά συστατικά συνεισφέρουν επίσης στο συνολικό αντιοξειδωτικό δυναμικό του μικροφύκου. Έτσι αποδείχθηκε: (i) η ισχυρή δράση της φυκοκυανίνης και της φυκοκυανομπιλίνης για εξουδετέρωση των δραστικών ελευθέρων ριζών του υπεροξειδίου, υδροξειδίου και αλκοξειδίων καθώς και η εξουδετέρωση του υπεροξεινιτρώδους ανιόντος και (ii) η ισχυρή εκλεκτική αναστολή της κυκλοοξυγονάσης-2 (COX-2), η οποία είναι παρόμοια με αυτή των πολύ γνωστών εκλεκτικών COX-2 αναστολέων celecoxib και rofecoxib και πιθανόν σχετίζεται με τις αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες της φυκοκυανίνης [3].

(β) Ανοσορυθμιστικές/αντι-ιικές ιδιότητες

Πρόσφατα αποδείχθηκε ότι η σπειρουλίνα συνδέεται με τροποποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος του ξενιστή και ταυτοποιήθηκε ο μηχανισμός ενίσχυσης του ανθρώπινου ανοσοποιητικού συστήματος από το μικροφύκος μετά από ανάλυση κυττάρων του αίματος εθελοντών στους οποίους χορηγήθηκε δια του στόματος εκχύλισμα σπειρουλίνας (που περιέχει τον πολυσακχαρίτη σπειρουλάνη). Μετά την χορήγηση σπειρουλίνας ενισχύθηκαν λειτουργίες των φονικών κυττάρων με ενίσχυση της παραγωγής ιντερφερόνης-γ (IFN-γ), η οποία εξαρτάται από τις ιντερλευκίνες 12 και 18 [4] . Επιπλέον, αναφέρθηκε τελευταία ότι το κλάσμα μεγάλου Μοριακού Βάρους πολυσακχαριτών της σπειρουλίνας ενισχύει την παραγωγή ενός αριθμού χημειοκινών καθώς και την έκφραση του ενζύμου COX-2 σε ανθρώπινα βοηθητικά λεμφοκύτταρα T [5]. Σε συμφωνία με τα ανωτέρω αποτελέσματα, αποδείχθηκε σε διατροφική μελέτη η προστασία ατόμων έναντι της αλλεργικής ρινίτιδας όταν στα άτομα αυτά χορηγήθηκε σπειρουλίνα 2 g/ημερησίως [6]. Παράλληλα με τις ανοσορυθμιστικές ιδιότητες της, η σπειρουλίνα αποδείχθηκε ότι

παρουσιάζει ισχυρές αντι-ιικές ιδιότητες και κυρίως έναντι του ιού HIV-1 (ιός ανθρώπινης ανοσοανεπάρκειας-AIDS) καθώς και των ερπητοϊών HSV-1 και HSV-2, οι οποίες οφείλονται κυρίως στη δράση της σπειρουλίνης [7]. Οι αντι-ιικές δράσεις της σπειρουλίνης σε συνδυασμό με την ικανότητα της να ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα τονίζουν τον δυναμικό ρόλο του μικροφύκου αυτού στην πρόληψη και καθυστέρηση της πρόοδου της νόσου καθώς και στην συνολική βελτίωση της ποιότητας ζωής ατόμων που έχουν προσβληθεί από HIV.

(γ) **Αντικαρκινικές ιδιότητες**

Το χημειοπροστατευτικό δυναμικό της σπειρουλίνης συνδέεται σε ένα βαθμό με τις αντιοξειδωτικές και ανοσορυθμιστικές της ιδιότητες. Μεταξύ των πλέον σημαντικών μελετών σε σχέση με αντικαρκινικές ιδιότητες της σπειρουλίνης ή συστατικών της θα πρέπει να αναφερθούν: (i) Η πλήρης αναίρεση των συμπτωμάτων στοματικής λευκοπλακίας σε ανθρώπους (μία μορφή προκαρκινικής βλάβης), (ii) Η παρεμπόδιση της γονιδιοτοξικότητας που επάγεται σε πειραματόζωα από χημικά καρκινογόνα, (iii) ειδικές χημειοπροστατευτικές δράσεις συστατικών της σπειρουλίνης όπως η επαγωγή κυτταρικού θανάτου σε καρκινικά κύτταρα AK-5 και στην κυτταρική σειρά K562 (chronic myeloid cell line) από την φυκοκυανίνη, η αναστολή του πολλαπλασιασμού ανθρώπινων καρκινικών κυττάρων ήπατος HepG2 από εκχυλίσματα σπειρουλίνης και η αναστολή εισβολής και μετάστασης του όγκου από την σπειρουλίνη [8-12]. Σχετικά με το GLA έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί το πλέον υποσχόμενο πολυακόρεστο λιπαρό οξύ για την θεραπεία ανθρώπινων κακοηθών γλοιομάτων και άλλων προχωρημένων όγκων. Τελευταίες κλινικές δοκιμές στη φάση 2 με GLA απέδειξαν ταχύτερη κλινική απόκριση σε ασθενείς με καρκίνο του μαστού οι οποίοι ελάμβαναν GLA σε συνδυασμό με το μη-στεροειδές αντιοιστρογόνο ταμοξιφένη [13].

Μία τελευταία, πολλά υποσχόμενη εφαρμογή των βιοδραστικών μορίων της σπειρουλίνης, της φυκοκυανίνης και της φυκοκυανομπιλίνης, στην θεραπεία του καρκίνου, αποτελεί η φωτοδυναμική θεραπεία (ΦΔΘ). Η ΦΔΘ αποτελεί μία θεραπευτική αγωγή, η οποία επηρεάζει κυρίως στοχευόμενους ιστούς, στους οποίους χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό φως, οξυγόνο και μία φωτοδιεγερόμενη φαρμακευτική ουσία (φωτοευαισθητοποιητής). Η εκλεκτικότητα οφείλεται κυρίως στην στοχευόμενη επίδραση φωτεινής ακτινοβολίας (laser καθορισμένου μήκους κύματος) με τη βοήθεια οπτικών ινών, στον ιστό στόχο, στον οποίο έχει συσσωρευτεί ο φωτοευαισθητοποιητής, μετά την παροχή του στον οργανισμό του ασθενούς. Η φωτεινή ακτινοβολία ενεργοποιεί τα μόρια του φωτοευαισθητοποιητή, τα οποία στη

συνέχεια, παρουσία οξυγόνου, παράγουν δραστικά είδη οξυγόνου, τα οποία είναι και υπεύθυνα για την καταστροφή ζωτικών δομών και λειτουργιών των καρκινικών κυττάρων (3).

Γενικά όμως, θα πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα, ότι τα περισσότερα αποτελέσματα σε σχέση με αντικαρκινικές ιδιότητες της σπειρουλίνας ή συστατικών της αφορούν σε πειραματικά δεδομένα με κυτταρικές σειρές, πειραματόζωα ή περιορισμένο αριθμό ανθρώπων, και δεν αναφέρονται στην βιβλιογραφία εκτενείς μελέτες με μεγάλους αριθμούς ασθενών, σύμφωνες με την αποδεκτή πειραματική μεθοδολογία που ακολουθείται για τον έλεγχο της φαρμακευτικής δράσης ουσιών σε ανθρώπους (διπλά τυφλά πειράματα με έλεγχο placebo).

Αντενδείξεις-Προφυλάξεις

Στην συνιστώμενη δοσολογία (3-5 g ημερησίως) δεν υπάρχουν αντενδείξεις, αν και έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία ορισμένες σπάνιες παρενέργειες όπως ραβδομύλυση, δερματικές αντιδράσεις και ηπατοτοξικότητα [14]. Δεν υπάρχουν επίσης ενδείξεις για αλληλεπίδραση με φαρμακευτικές ουσίες ή διατροφικά συμπληρώματα. Λόγω των ανοσοδιεγερτικών της ιδιοτήτων θα πρέπει να αποφεύγεται η κατανάλωση σπειρουλίνας από άτομα που πάσχουν από αυτοάνοσες ασθένειες λόγω της πιθανότητας επιδείνωσης των συμπτωμάτων της νόσου [15,16]. Θα πρέπει επίσης να αποφεύγεται από άτομα που πάσχουν από φαινυλκετονουρία, επειδή είναι πρωτεϊνούχο τρόφιμο και περιέχει φαινυλαλανίνη [14]. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι η κατανάλωση σκευασμάτων σπειρουλίνας αγνώστου προέλευσης μπορεί να είναι επικίνδυνη λόγω της πιθανής παρουσίας στα σκευάσματα αυτά άλλων μικροοργανισμών που περιέχουν ισχυρές τοξίνες ή λόγω της συσσώρευσης στη βιομάζα της σπειρουλίνας βαρέων μετάλλων, εφόσον το νερό που χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια της ήταν μολυσμένο.

Περίληψη

Η σπειρουλίνα, που σήμερα ονομάζεται επιστημονικά Αρθροσπείρα, είναι ένα νηματώδες μικροφύκος και ανήκει στα κυανοβακτήρια. Έχει μακρά ιστορία ως ένα ασφαλές διατροφικό προϊόν που στερείται τοξικότητας και παράγεται εμπορικά σε μεγάλες ανοιχτές δεξαμενές κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Το πρόσφατο ενδιαφέρον για τα διατροφικά πλεονεκτήματα και τις δυναμικές επιδράσεις στην υγεία του μικροφύκου αυτού οφείλονται κυρίως στην χημική του σύσταση η οποία

περιλαμβάνει πρωτεΐνες (το υψηλότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο από κάθε φυσική τροφή), σάκχαρα, απαραίτητα αμινοξέα, τροφικά ανόργανα συστατικά (κυρίως σίδηρο), απαραίτητα λιπαρά οξέα, βιταμίνες και χρωστικές. Πρόσφατα πειραματικά δεδομένα υποδεικνύουν ότι οι θετικές επιδράσεις της σπειρουλίνας στην υγεία του καταναλωτή περιλαμβάνουν κυρίως αντιοξειδωτικές, ανοσορυθμιστικές, αντι-ιικές και χημειοπροστατευτικές επιδράσεις. Τρία κύρια βιοδραστικά συστατικά της σπειρουλίνας, η πρωτεΐνη φυκοκυανίνη, ο θειικός πολυσακχαρίτης σπειρουλάνη και το γ-λινολενικό οξύ (ένα ω-6 πολυακόρεστο λιπαρό οξύ) φαίνεται ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στις θετικές αυτές επιδράσεις.

Βιβλιογραφία

1. Ciferri, O. (1983) *Microbiol.Rev.* 47, 551-578.
2. Belay, A. (2002) *JANA*, 5, 27-48.
3. Sotiroudis, T.G (2006) *BIO*, 19, 66-69
4. Hirahashi, T. et al. (2002) *Int. Immun.* 2, 423-434.
5. Grzanna, R. et al. (2006) *J. Alt. Compl. Med.* 12, 429-435.
6. Mao, T.K. et al. (2005) *J. Med. Food*, 8, 27-30.
7. Hernandez-Corona, A. (2002) *Antiv. Res.* 56, 279-285.
8. Pardhasaradhi, B.V.V. et al. (2003) *Mol. Cancer Therap.* 2, 1165-1170.
9. Subhashini, J. (2004) *Biochem. Pharm.* 68, 453-462.
10. Li, B. et al. (2005) *Biomed. Pharm.* 59, 551-560.
11. Wu, L.-C. et al. (2005) *J. Agric. Food Chem.* 53, 4207-4212.
12. Mishima, T. et al. (1998) *Clin. Exp. Metastasis* 16, 541-550.
13. Das, U.N. (2004) *Prost. Leuc. Ess. Fatty Ac.*, 70, 539-552.
14. Mazokopakis et al. (2008) *Phytomedicine*, 15, 525-527
15. Lee, A.N. et al. (2004) *Arch. Dermatol.* 140, 723-727.
16. Kraigher et al. (2008) *Inter. Soc. Dermatol.* 47, 61-63.