

Evaluación nutricional y efectos fisiológicos de macroalgas marinas comestibles

Antonio Jiménez-Escrig, Isabel Goñi Cambrodón

Departamento de Metabolismo y Nutrición, Instituto del Frío, CSIC. Universidad Complutense de Madrid. España

RESUMEN. En este trabajo se realiza una revisión de las características nutricionales y efectos fisiológicos de macroalgas marinas comestibles. Las algas marinas son utilizadas tradicionalmente como alimento en la dieta oriental, siendo la obtención de ficocoloides industriales la principal utilización en el Occidente. Desde un punto de vista nutricional, son alimentos con un bajo contenido de calorías y lípidos, elevada concentración de minerales (Mg, Ca, K, P, I), vitaminas, proteínas y carbohidratos indigeribles. La calidad de la proteína y de la grasa es bastante aceptable en comparación con otros alimentos de la dieta habitual, principalmente debido al elevado contenido en aminoácidos esenciales y a la concentración relativamente alta de ácidos grasos insaturados. El contenido en fibra dietética total oscila entre 33% y 75% del material seco, con un alto porcentaje de polisacáridos solubles (17% - 59%). La fibra dietética presenta una composición distinta de la contenida en frutas, cereales y verduras, por lo que podría tener un comportamiento fisiológico diferente. Los datos revisados indican que algunos componentes de la fibra de algas marinas muestran acción antioxidante, antimutagénica y anticoagulante, así como efectos beneficiosos sobre el metabolismo lipídico. En conclusión, las algas tienen un alto valor nutricional, por lo que potenciar su consumo aumentaría la oferta de alimentos para la población.

Palabras clave: Algas comestibles, valor nutritivo, fibra dietética.

SUMMARY. Nutritional evaluation and physiological effects of edible seaweeds. A review concerning nutritional and physiological properties of edible seaweeds is presented. Seaweeds are traditionally consumed in Asia as sea vegetables, but in Western countries they have been used as sources of gelling or thickening agents. From a nutritional point of view, they are low-calorie foods, with a high concentration of minerals (Mg, Ca, P, K and I), vitamins, proteins and undigestible carbohydrates, and a low content in lipids. Quality of protein and lipid in seaweeds is acceptable comparing with other diet vegetables mainly due to their high content in essential aminoacids and their relative high levels of unsaturated fatty acids. Dietary fiber content range from 33% to 75% of dry weight, and mainly consist of soluble polysaccharides (range from 17% to 59%). Seaweeds constitute a source of dietary fiber that differ chemically and physicochemically from those of land plants and thus may induce different physiological effects. Referenced data indicate that algal dietary fiber may show important functional activities, such as antioxidant, antimutagenic and anticoagulant effect, antitumor activity, and an important role in the modification of lipid metabolism in human body. In conclusion, seaweeds have a high nutritional value, therefore an increase in their consumption, would elevate the foods offer to population.

Key words: Edible algae, nutritional value, dietary fiber.

INTRODUCCION

Las algas utilizadas como alimento son macroalgas bénticas talofitas, que presentan un aparato vegetativo unicelular o pluricelular sin órganos diferenciales (1).

Las algas marinas son utilizadas desde hace siglos como alimento o condimento en países como China, Japón o Corea, desde donde se extendió su uso a otros países asiáticos y más recientemente a países occidentales que albergan comunidades asiáticas. Las algas comestibles más comunes son las algas rojas del género *Porphyra* (nombre japonés: Nori), las algas verdes (nombre japonés: Ao Nori) y las algas pardas del género *Laminaria* (nombre japonés: Konbu), *Hizikafusiformis* (nombre japonés: Hiziki) y *Undaria pinnatifida* (nombre japonés: Wakame) (2).

En Asia el cultivo de algas se encuentra en un alto grado de desarrollo ya que la producción natural es inferior a la demanda. Sin embargo, en Europa ha habido un escaso o nulo

incremento en el cultivo de algas autóctonas, ya que la demanda actual es escasa. En los países en los que ha crecido el consumo de algas, habitualmente se recurre a la importación de estos alimentos desde países asiáticos (3). En Estados Unidos, el crecimiento de estas importaciones es de un 20% anual, en productos Nori, con un valor total estimado entre 20 y 25 millones de dólares/año en 1991 (4).

En España se está desarrollando a nivel experimental las posibilidades de producción de *Undaria pinnatifida*, mediante el diseño de diferentes parques de cultivo y la identificación de factores ambientales relacionados con la supervivencia de plántulas, su crecimiento y su calidad alimentaria (5).

Actualmente se utilizan cada año tres millones y medio de toneladas de algas, de una biomasa total que es cien veces superior a estas cifras. Dos millones de toneladas de macroalgas frescas (Nori, Wakame, y Konbu), son procesadas para alimentos en países orientales y aproximadamente un millón y medio, se destina a uso industrial, principalmente para la

medio, se destina a uso industrial, principalmente para la obtención de ficoloides, que a su vez se emplean en las industrias textil, química y alimentaria (6). Las algas más utilizadas con esta finalidad son *Gelidium* para obtención de agar, *Laminaria* y *Fucus*, para la obtención de alginatos y *Chondrus* y *Gigartina* para la obtención de carragenatos (2).

Considerando que el valor económico de las algas destinadas a alimentación, es seis veces mayor que el de las utilizadas para la obtención de productos industriales (6), y que su contenido en nutrientes es alto, se plantea que las macroalgas son una óptima fuente mundial de alimentos, que aún se encuentra por explotar.

Normativa legal

La comercialización de algas como producto alimentario se desarrolla en occidente bajo nulas o confusas reglamentaciones legales, que implican una ausencia de conocimiento en consumidores y responsables de la salud (7).

Francia ha sido el primer país de la Comunidad Europea en establecer una regulación específica relativa al uso de algas marinas para el consumo humano. Once macroalgas y una microalga (*Spirulina*) han sido autorizadas para su utilización como vegetal o condimento. En EE.UU., el uso de algas como alimento y condimento está permitido por la autoridad de salud pública. En países como Irlanda, Dinamarca, o Países Bajos, el consumo de algas está regulado por reglamentaciones alimentarias de carácter general. Sin embargo, en otros países, como por ejemplo, Grecia, las algas no son consideradas como alimento y por tanto su uso no está autorizado (8).

Procesado y almacenamiento

La preparación de las algas marinas utilizadas como alimento varía de forma importante de un país a otro en base a las materias primas disponibles y a la idiosincrasia del país (9). De forma general el alga recogida en las zonas de cultivo, se lava con agua de mar para eliminar contaminantes y parásitos, se trocea, se vuelve a lavar y se separan los talos. En el caso del alga Nori, posteriormente se prensa para obtener delgadas láminas rectangulares. A continuación el alga se deseca al aire o con calor forzado según las condiciones atmosféricas. Si el procedimiento de manufactura (cortado, picado, mezclado o ablandado) se realiza en condiciones controladas, su valor nutritivo es casi tan alto como el del producto fresco. Sin embargo, algunos componentes como por ejemplo el ácido ascórbico, al ser muy lábil y susceptible de destruirse por el calor, disminuye como consecuencia del procesado del alga (10). En el caso del alga *Undaria*, antes del secado, se cubre el producto fresco con cenizas alcalinas, para evitar la pérdida de color, por la acción de clorofilasas o alginasas. El alga *Hiziki* no se consume directamente en forma seca debido a su fuerte sabor amargo, por lo que previo a su comercialización, se somete a un proceso de cocción durante 4 o 5 horas (11), que puede afectar la composición, ya que durante la ebullición se solubilizan algunos componentes,

tales como parte de la fracción soluble de la fibra (12). El almacenamiento debe realizarse en atmósfera inerte de nitrógeno a temperatura menor de 5°C y humedad inferior al 4,5%, para evitar acción de las bacterias putrefactoras y preservar los pigmentos fotosintéticos y los aromas (13).

EVALUACION NUTRICIONAL

La composición química de las algas marinas depende de la especie, lugar de cultivo, condiciones atmosféricas y periodo de recolección. Desde un punto de vista nutricional, las algas se caracterizan por presentar un bajo contenido calórico (Tabla 1), ya que aunque presentan un elevado porcentaje de proteína (11, 14), la cantidad de lípidos es reducida y una gran parte de los carbohidratos son polisacáridos no digeribles por los enzimas digestivos humanos (15). Así mismo, las algas constituyen una buena fuente de minerales y vitaminas, fundamentalmente del grupo B.

TABLA 1
Composición nutricional de macroalgas.
(g por 100g de alimento seco comestible)

Alga	Proteína	Grasa	Cenizas (11)	Valor energético (kcal)
Nori (15)	33,62	1,64	8,54	149
Konbu (15)	8,13	1,83	25,4	49
Wakame (15)	14,12	2,73	32,8	81
Hiziki* (8)	12,30	1,50	21,2	61
Ulva sp. (8)	26,10	0,70	22,6	111

* Producto cocido

Contenido en proteínas y aminoácidos

En las Tablas 1 y 2, se puede observar el contenido proteico y el perfil de aminoácidos de las principales algas utilizadas como alimentos. Todas ellas, especialmente los productos *Hiziki*, tienen un elevado contenido en valina e isoleucina, mientras que leucina es más abundante en *Wakame* y *Nori*. Los contenidos en fenilalanina y treonina son altos en *Nori* e *Hiziki*, alcanzando la treonina los niveles más altos en *Wakame*. Al comparar el patrón de aminoácidos esenciales descrito por FAO/OMS (16) para alimentación humana con el perfil aminoácido de las algas, puede observarse que los aminoácidos limitantes en las algas son cisteína, histidina, lisina, metionina y triptófano, además de treonina en el caso de *Konbu*. Respecto al contenido en aminoácidos no esenciales, *Konbu* e *Hiziki* presentan alto contenido en glutámico, mientras que *Nori* presentan el más alto contenido en arginina y glicina. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que el alto contenido en algunos aminoácidos libres, tales como glutámico, aspártico y alanina de los productos *Konbu*, les confiere un fuerte sabor característico (11, 13).

Estudios en ratas (17), indican cómo los animales adaptan su ingesta al aprovechamiento biológico de las proteínas, ya

que la digestibilidad proteica va aumentando a lo largo del período experimental, hasta alcanzar valores cercanos a los de la proteína animal.

TABLA 2

Composición de aminoácidos proteínicos de macroalgas (11), ovoalbumina (42) y patrón FAO-OMS (16) para alimentación humana. (g de aminoácido por 100 g de proteína)

	Nori	Konbu	Hiziki	Wakame	Ovoal- búmina	Patrón FAO/OMS
Aspártico	8,8	12,0	9,9	5,9	6,2	-
Alanina	9,9	6,8	6,4	4,4	6,7	-
Arginina	5,9	3,6	4,9	3,0	1,7	-
Cisteína	-	1,6	1,2	0,9	1,4	-
Fenilalanina	5,2	4,4	5,7	3,6	4,1	-
Glutámico	9,2	24,0	11,8	6,5	9,9	-
Glycina	6,8	4,0	5,7	3,6	3,4	-
Histidina	1,1	0,7	0,5	0,5	4,1	1.6~
Isoleucina	4,0	3,6	6,2	2,8	4,8	1.3
Leucina	7,6	5,9	0,5	8,4	6,2	1.9
Lisina	2,5	1,0	2,8	3,6	7,7	1.6
Metionina	3,3*	1,7	3,2	2,0	3,1	1.7*
Prolina	4,6	5,2	4,8	3,0	2,8	-
Serina	4,8	3,2	3,8	2,5	6,8	-
Tirosina	2,4	3,6	3,0	1,6	1,8	-
Treonina	3,2	1,0	3,2	5,4	3,0	0.9
Triptofano	1,1	1,7	0,7	1,1	1,0	0.5
Valina	9,2	7,8	10,0	6,8	5,4	1.3

* Met + Cis

Evaluación organoléptica

Una de las razones para el desarrollo de algas como alimento en países orientales parece estar relacionado con el sabor y la textura (5,13). Los factores ambientales durante su cultivo determinan la composición y de esta depende en gran medida el sabor de estos alimentos. Los aminoácidos libres presentes en las algas, son los principales responsables de esta característica organoléptica (11).

Los productos desecados se evalúan teniendo en cuenta sus propiedades organolépticas, y según éstas, se clasifican en diversos grados de calidad, definida por el color, porosidad, sabor, aroma y textura. Por ejemplo, el hoshi-nori (producto seco y prensado de algas rojas) se considera un preparado de alta calidad, caracterizado por un color negro oscuro brillante, superficie no porosa, sabor y aroma intensos, textura blanda y suave al tacto (18).

Contenido en lípidos y ácidos grasos

El contenido lipídico de las algas es bajo, puede oscilar entre el 1,5% y el 3% de su peso seco (Tabla 1). La composición en ácidos grasos varía (Tabla 3), incluso dentro de la misma especie, según las condiciones ambientales (19) y la época del año en la que se realiza la recogida (11).

En general, las algas rojas presentan un elevado porcentaje de ácidos grasos polinsaturados, sobre todo los ácidos araquidónico (A) (C20:4w-6) y eicosapentanoico (EP) (C20:5w-3) (8,19). Los ácidos linoleico (C18:2w-6), linolénico (18:3w-3) y A constituyen en el alga roja *Porphyra yezoensis* el 10% del total de ácidos grasos, y el ácido EP el 50%. En las algas pardas Wakame, los constituyentes mayoritarios son palmítico (C16:0) y oleico (C18:1w-9) (10), mientras que en las algas pardas Konbu son los ácidos EP y octadecatetraénico (C18:4w3) los mayoritarios. Las algas verdes se caracterizan por presentar el ácido hexadecatetraenoico (C16:4), así como un alto contenido en los ácidos palmítico y oleico (19).

Las algas pardas presentan mayor contenido de esteroides que las algas verdes y rojas, excepto en los productos Konbu, cuyo contenido en esteroides es menor, a pesar de estar constituido por algas pardas (11).

TABLA 3

Composición de ácidos grasos de macroalgas. (g de ácido graso por 100 g de ácidos grasos totales)

Acido graso	<i>Porphyra sp.</i> (11)	<i>Laminaria sp.</i> (11)	<i>Ulva sp.</i> (19)
Láurico (12:0)	5.2	-	-
Dodecaenoico (12:1)	-	-	-
Mirístico (14:0)	1.8	15.7	0.7
Palmítico (16:0)	21.0	49.6	29.2
Hexadecaenoico (16:1)	3.7	8.7	6.1
Hexadecatetraenoico (16:4)	1.0	-	5.7
Octadecaenoico (18:0)	2.9	0.6	0.4
Oleico (18:1w-9)	5.5	10.7	44.5
Linoleico (18:2w-6)	1.9	5.4	9.8
Linolénico (18:3w-3)	1.6	0.9	1.1
Eicoenoico (20:1)	-	5.7	-
Eicosadienoico (20:2w-6)	1.8	8.2	-
Dihomolinolénico (20:3w-3)	3.0	-	-
Araquidónico (20:4w-6)	50.1	2.3	0.9
Eicosapentanoico (20:5w-3)	-	-	-

Minerales y vitaminas

Las algas presentan un elevado contenido mineral debido a su capacidad para absorber de un modo selectivo las sustancias inorgánicas del mar a través de sus polisacáridos superficiales (1) (Tabla 4). La composición en minerales, varía según el grupo taxonómico, y es función de factores ambientales, geográficos y variaciones fisiológicas (8). Ortega-Calvo y col. (7), encontraron correlación entre el contenido mineral y el tiempo de permanencia del alga en agua marina.

Las algas mas comúnmente utilizadas como alimento, excepto Nori, presentan mayores niveles de magnesio que otros de procedencia vegetal (legumbres, zanahorias, naranjas y manzanas, contenido medio en Mg < 0.19%) y animal (carne, pescado y lácteos, contenido medio en Mg < 0.04 %) (7). Los contenidos en calcio y en fósforo son mayores que en manzanas, naranjas, zanahorias y patatas y la relación calcio/fósforo es alta, por lo que la absorción de calcio no está limitada por la formación de sales insolubles de fosfato de calcio (14).

TABLA 4
Composición mineral de macroalgas
(mg por 100 g de alimento seco comestible)

Alga	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Zn	Mn	I
Nori (15)	790	2.840	430	12	350	20	2	6	6	2
Konbu (15)	1.830	450	900	610	210	12	<1	6	1	440
Hiziki* (11)	1.620	5.093	1.620	654	116	63	2	3	2	42
Wakame (15)	3.220	220	660	470	310	11	1	2	6	17

* Producto cocido

La disponibilidad de minerales está condicionada por el tipo de unión de los mismos a la fracción indigerible de los carbohidratos. Por ejemplo el calcio se une de forma selectiva al grupo carboxílico del alginato, mientras que el yodo, aunque existe en gran concentración, no puede enlazarse de esta forma (8). El contenido en arsénico es especialmente alto en algas pardas (2,27-13,8mg/100 g), alcanzando una concentración de 200 a 500 veces superior a la de las plantas terrestres (11). Esto hace necesario evaluar la toxicidad de las algas destinadas a consumo, haciendo especial hincapié en la concentración de algunos minerales cuyo consumo puede resultar tóxico para el hombre.

Los contenidos en vitaminas de las algas comestibles son altos, especialmente en los productos Nori (Tabla 5). Los contenidos en tocoferol son considerablemente altos en ciertas algas pardas (2,3-41,2 mg./100 g de peso seco) frente a valores más bajos en algas verdes y rojas (0,8 mg./100 g. de peso seco) (20).

Existe una controversia respecto a la biodisponibilidad de la vitamina B₁₂ de algas marinas en humanos. Dagnelie (21) sostiene que aunque los niveles sanguíneos de vitamina B₁₂ son normales en sujetos cuya única fuente de esta vitamina son las algas, sus índices sanguíneos de evaluación del estado de división celular no son los adecuados. Por otro lado, otros autores indican que un alto consumo de algas marinas puede suministrar cantidades adecuadas de vitamina B₁₂ biodisponible (22). La explicación a esta contradicción no está clara, parece que en las algas, fundamentalmente en Nori, están presentes análogos estructurales de vitamina B₁₂, pero que no presentan el ion cobalto y no tienen actividad de B₁₂ en el organismo. Estos corrinoides no cobalamínicos interfieren en los análisis de vitamina B₁₂, dando valores de B₁₂ mayores a los reales (21,23).

TABLA 5
Contenido en vitaminas y carotenos de macroalgas (15)
(Contenido en 100 gramos de alimento seco comestible)

Alga	Carotenos µg	Tiamina mg	Riboflavina mg	Niacina mg	Vit.B6 mg	Vit.B12 µg
Nori	14.910	0,24	1,34	5,50	0,07	13-47
Konbu	340	0,07	0,26	2,10	0,01	2,80
Wakame	515	0,11	0,14	2,16 ¹¹	0,01	2,50

Polisacáridos

Las algas pardas presentan laminaranos como polisacáridos de reserva y alginatos, furanos y celulosa como componentes estructurales. Las algas rojas y verdes presentan almidón como polisacárido de reserva y celulosa, xilanos y mananos, como estructurales. La pared celular de las algas rojas, además contiene galactanos sulfatados (agar y carragenatos) y en las algas verdes se encuentran otros polisacáridos ionizados con grupos sulfato y ácidos urónicos. Esta gran diversidad en polisacáridos implica diferentes propiedades fisicoquímicas, reológicas y químicas (24).

La mayor parte de los polisacáridos que forman parte de la composición de las algas, pueden ser considerados como compuestos fibra, ya que no son digeridos por el equipo enzimático humano, aunque en parte, son degradables por los enzimas producidos por las bacterias colónicas (9,25). Los contenidos en fibra alimentaria de las macroalgas más representativas se muestran en la Tabla 6. Estos valores están comprendidos entre 32,7% y 49,2% del peso seco. Los contenidos en fibra total y fibra soluble son superiores a los que se encuentran en las frutas y verduras más comunes.

TABLA 6
Contenido en fibra alimentaria de macroalgas (24)
(g por 100 g de alimento seco comestible.
Media ± desviación standard)

	Fibra soluble	Fibra insoluble	Fibra total
Algas rojas (<i>Rhodophyceae</i>)			
Nori (<i>Porphyra tenera</i>)	17,9±0,6	16,8±0,4	34,7
Algas pardas (<i>Phaeophyceae</i>)			
Hiziki (<i>Hiziki fusiformis</i>)	32,9±1,1	16,3±0,4	49,2
Wakame (<i>Undaria pinnatifida</i>)	30,0±1,7	5,3±0,1	35,3
Espaguetis de mar (<i>Himantalia elongata</i>)	25,7±0,7	7,0±0,2	32,7
Arame (<i>Eisenia bicyclis</i>)	59,7±1,6	14,9±0,1	74,6
Algas verdes (<i>Chlorophyceae</i>)			
Lechuga de mar (<i>Ulva lactuca</i>)	21,3±0,9	16,8±0,6	38,1
Ao Nori (<i>Enteromorpha spp.</i>)	17,2±1,5	16,2±0,4	33,4

Los valores de fibra total y fracciones soluble e insoluble, pueden variar en un amplio rango para los mismos productos, ya que tanto el contenido como la composición varían según el momento de la recolección y las condiciones ambientales (27).

Cuando el alga está totalmente sumergida, recibe poca radiación solar y los niveles de fibra insoluble permanecen bajos, pero al aumentar la fotoexposición los valores se incrementan considerablemente, ya que se polimerizan los

carbohidratos. Los factores ambientales que afectan al crecimiento del alga son fotoperiodicidad, temperatura, salinidad, grado de inmersión y disponibilidad de nutrientes. En la *Laminaria japonica* se ha estudiado la variación mensual del contenido en alginatos y de la relación ácido manurónico/ácido gulurónico, observándose que durante los meses de verano y hasta finalizar el otoño, la proporción de ácido manurónico se incrementa a expensas del ácido gulurónico, lo que favorece la retención de calcio (28). La composición de la fibra también puede verse afectada por el procesamiento al que se somete el alga después de su recolección (secado, molienda etc.) (25).

Aunque hay pocos datos experimentales, algunos indican que el grado de digestibilidad de los alginatos de alga parda en el intestino, se incrementa con el tiempo, posiblemente debido a la adaptación de la flora microbiana al tipo de sustrato y condiciones del medio intestinal (17). Así mismo, se observa que durante el proceso de adaptación, el ácido manurónico va incrementando su digestibilidad respecto al ácido gulurónico, por lo que disminuye la relación entre ambos.

EFFECTOS NUTRICIONALES DE LA FIBRA DIETÉTICA DE ALGAS

El elevado contenido en fibra de las algas puede determinar los principales efectos nutricionales y utilidad de estos alimentos. Viscosidad, capacidad para retener agua, grasa, sales biliares y minerales, son algunas de las propiedades físicas más significativas de la fibra alimentaria. Las propiedades físicas de las algas son semejantes a las de la fibra de vegetales, por tanto, los efectos derivados de estas propiedades físicas también podrían extrapolarse a la fibra de algas (24,28). Por otro lado la fibra alimentaria de algas marinas difiere química y fisicoquímicamente de las plantas terrestres y por tanto puede tener diferentes efectos fisiológicos en el hombre (25).

Localmente, la fibra alimentaria produce retraso en el vaciamiento gástrico, contribuye al incremento de la masa fecal, enlentece la digestión y disminuye la absorción de algunos nutrientes. Entre los efectos sistémicos, cabe destacar el papel hipolipemiante de algunos tipos de fibra y la menor liberación de insulina postprandial (29).

El concepto de fibra ha evolucionado científicamente y hoy existe la tendencia a considerar como fibra todos aquellos materiales de procedencia vegetal, presentes en los alimentos que no son degradados por los enzimas digestivos, por lo que llegan al colon sin digerir. En este concepto, se incluyen proteína, grasa, almidón resistente y compuestos bioactivos (polifenoles, carotenos y tocoferoles). La fibra de algas tiene asociados compuestos bioactivos que tienen actividad antioxidante y son secuestrantes de radicales libres (30).

Actividad antioxidante

A pesar del alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados, las algas marinas son estables frente a la oxidación durante su

almacenamiento (31). Como cualquier organismo fotosintético, las algas se encuentran expuestas a gran cantidad de luz y a altas concentraciones de oxígeno, combinación que origina radicales libres así como otros potentes oxidantes. La ausencia de daño oxidativo en los ácidos grasos poliinsaturados estructurales de membranas, sugiere que estos alimentos presentan mecanismos y compuestos de acción antioxidativa (32). Diversos compuestos identificados en extractos de algas, muestran capacidad para captar superóxidos e hidróxilos (31).

Las algas pardas contienen compuestos fenólicos denominados florotaninos constituidos por floroglucinol (trihidroxibenceno) y los derivados polimerizados del mismo, cuya actividad antioxidante es semejante a la del α -tocoferol (33). La intensidad de este efecto depende del grado de polimerización, presentando mayor eficacia los compuestos menos polimerizados. Estos compuestos se han mostrado como potentes antioxidantes. En las especies del género *Enteromorpha* y *Eisenia bicyclis*, se ha aislado un antioxidante relativamente hidrófobo, identificado como feofitina A, que constituye una clorofila sin magnesio (34).

La capacidad secuestrante de radicales libres y la inhibición de la actividad lipooxigenasa, es superior en las algas pardas. La actividad antioxidante, parece ser debida a compuestos de naturaleza polar que impiden la captación de oxígeno por el sustrato, (ácido graso), inhibiendo la formación de peróxidos y/o actuando como donante de electrones o de átomos de hidrogeno (32).

Actividad anticancerígena

En extractos procedentes de algas marinas se han aislado polisacáridos, tales como fucoidanos y alginatos, procedentes de algas pardas y porfiranos y carragenos de algas rojas. Los fucanos y porfiranos, son sulfatados y se relacionan con una acción antitumoral. Los alginatos también parecen mostrar una actividad antitumoral, pero se relaciona con el grado de polimerización o con la ultraestructura de los polianiones (35,36).

Actividad anticoagulante

Los fucanos sulfatados aislados de algas pardas *Ecklonia kusome*, además presentan una fuerte actividad anticoagulante, relacionada con su peso molecular (37). La composición de los polisacáridos de fucoidanos es muy heterogénea, pudiendo llegar a contener hasta cuatro residuos urónicos diferentes (galacturónico, gulurónico, glucurónico y manurónico) y seis azúcares simples (fucosa, galactosa, glucosa, manosa y ramnosa), (37), además de los grupos sulfatados característicos de estas especies (24). Parece ser que la presencia del grupo sulfato es necesaria para presentar esta actividad anticoagulante (37).

Acción sobre el metabolismo lipídico

Ratas alimentadas con una dieta rica en colesterol y polisacáridos procedentes de algas como alginato sódico.

agar, carragenato o furonano, presentan una disminución en los niveles de colesterol plasmático, correlacionado con la mayor excreción de esteroides en heces (39).

Ren y col. (40) observaron un efecto hipotensivo e hipolipidémico de polisacáridos procedentes de algas marinas en ratas alimentadas con una dieta rica en sodio y en colesterol. El mecanismo principal que sugieren los autores, es la retención del catión sodio procedente de la dieta por los polisacáridos, limitando su absorción. Por otro lado, los niveles de colesterol plasmático y el índice de riesgo aterogénico se reducen, produciéndose un moderado aumento de HDL-colesterol. Este efecto puede ser debido a la retención del colesterol exógeno por los polisacáridos que forman coloides de tipo iónico y posteriormente se excretan en heces.

Fermentación intestinal

Se ha visto que el alga verde comestible *Ulva lactuca*, aunque presenta un contenido elevado en fibra soluble, es pobremente fermentada por la flora intestinal humana (25). También en algas pardas se ha visto resistencia a la degradación enzimática, posiblemente debida a la alta concentración de fucosa y sulfato así como la peculiar estructura de estas algas. Así mismo los alginatos procedentes de algas pardas presentan un patrón de fermentación especial, caracterizándose por un largo periodo de latencia (6 horas) en la producción de gas y de ácidos grasos de cadena corta (41).

En conclusión, las algas marinas son alimentos hipocalóricos, especialmente ricos en minerales, vitaminas y fibra alimentaria de alta calidad, cuya composición difiere química y fisicoquímicamente de la fibra procedente de alimentos vegetales de consumo tradicional.

Potenciar el consumo de algas, ofrece un aumento considerable de la oferta alimentaria mundial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) la financiación del Proyecto de Investigación ALI98-0830.

REFERENCIAS

- Gómez-Pinilla I. Determinación de iodo en algas utilizadas en alimentación mediante electrodo selectivo a iones. Tesina de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid, 1994.
- Mc Huhh D. Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*. *Hydrobiol* 1991;221:19-29.
- Kain JM, Davies CP. Useful european seaweeds: past hopes and present cultivation. *Hydrobiol* 1987;151-152:173-181.
- Merrill JE. Development of nori markets in the Western World. *J Appl Phyco* 1993;5:149-154.
- Salinas J. Experiencias en cultivos de algas para alimentación humana. En Memoria del Instituto Español de Oceanografía. Programa marco 1993-1996. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, 1997.
- Jensen A. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiol* 1993;260-261:15-23.
- Ortega-Calvo JJ, Mazuelos C, Hermosín B, Saiz-Jiménez C. Chemical composition of *Spirulina* and eukariotic algae foods products marketed in Spain. *J Ap Phycol* 1993;5:425-35.
- Mabeu S, Fleurence J. Seaweed in food products: biochemical and nutritional aspects. *Trends Food Sci Tch* 1993;4:103-107.
- Pak N, Araya H. Macroalgas marinas comestibles de Chile como fuente de fibra alimentaria: Efecto en la digestibilidad aparente de proteínas, fibra y energía y peso de deposiciones en ratas. *Arch Latinoamer Nutr* 1996;46(1):42-46.
- Alemany M. Vitaminas. En Enciclopedia Dietas y Nutrición. Planeta, 1995.
- Nisizawa K, Noda H, Kikuchi R, Watamaba T. The main seaweeds food in Japan. *Hydrobiol* 1987;151-152:5-29.
- Suzuki T, Nakai K, Yoshie Y, Shirai T. Changes in dietary fibre during commercial heat processing. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993;59(8):1371-1375.
- Harada K, Osumi Y, Fukuda N, Amano H, Noda H. Changes of amino acid composition of nori, *Porphyra* spp. during storage. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990;56(4):606-612.
- Mc Cance and Widdowson's. The composition of foods. The fifth supplement. Vegetables, herbs and spices. Fourth edition. Royal Society of Chemistry. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1991.
- Jurkovic N, Kolb N, Colic I. Nutritive value of marine algae *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida*. *Nahrung* 1995;1:63-66.
- Young VR. Adult amino acid requirements: The case for a major revision in current recommendations. *J Nutr* 1994;124:1517S-1523S.
- Suzuki T, Nakai K, Yoshie Y, Shirai T, Hirano T. Digestibility of dietary fiber in brown alga Konbu by rats. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993;59(5):879-884.
- Ogawa K, Ochusa T, Saito T, Iso N, Mizuno H, Fujino A. Texture of nori *Porphyra* spp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991;7(2):301-306.
- Dembitsky V M, Pechenkina-Shubina E, Rozantsvet OA. Glycolipids and fatty acids of some seaweeds and marine grasses from the black sea. *Phytochem* 1991;30(7):2279-2283.
- Nakamura T, Nagayakama K, Kawaguchi S. High tocopherol content in a brown alga *Ishige okamurae*. *Fish Sci* 1994;60(6):793-794.
- Dagnelie P, Staveren WA, Berg H. Vitamin B-12 from algae appears not to be bioavailable. *Am J Clin Nutr* 1991;53:695-697.
- Rauma A, Torronen R, Hanninen O, Mykkanen H. Vitamin B-12 status of long term adherents of a strict uncooked vegan diet ("living food diet") is compromised. *J Nutr* 1995;125:2511-2515.
- Kanazawa S, Herbert V. Noncobalamin vitamin B-12 analogues in human red cells, liver, and brain. *Am J Clin Nutr* 1983; 37:774-777.
- Lahaye M. Marine algae as sources of fibres: Determination of soluble and insoluble dietary fiber contents in some sea vegetables. *J Sci Food Agric* 1991;54:587-594.
- Bobin-Dubigeon C, Lahaye M, Arry JL. Human colonic bacterial degradability of dietary fibres from sea-lettuce (*Ulva* sp.). *J Sci Food Agric* 1997;73:149-159.

26. Suzuki T, Ohsugi Y, Yoshie Y, Shiroy T, Hirano T. Seasonal variation in the dietary fiber content and molecular weight of soluble dietary fiber in brown alga. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993;59(9):1633.
27. Monthly determination of alginate, M/G ratio, mannitol and minerals in cultivated *Laminaria japonica*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993;59(2):295-299.
28. Suzuki T, Ohsugi Y, Yoshie Y, Shiroy T, Hirano T. Dietary fiber content, water holding capacity and binding capacity of seaweeds. *Fish Sci* 1996;62(3):454-461.
29. Goñi I, Saura-Calixto F. Aspectos fisiológicos de la fibra alimentaria. Ministerio de Sanidad y Consumo, 1990.
30. Saura-Calixto F. Evaluación de la calidad de las fibras del mercado nuevas tendencias. Conferencia, IV Congreso Internacional de la Sociedad Española de Dietética y Ciencia. Alimentación. Alicante, Febrero, 1998.
31. Ramarathanam N, Osawa T, Ochi H, Kawakishis T. The contribution of plant food antioxidant to human health. *Trends Food Sci Tch* 1995;6:75-82.
32. Matsukawa R, Dubinsky Z, Kishimoto E, Masakki K, Masuda Y, Takeuchi T. A comparison of screening methods for antioxidant activity in seaweeds. *J Appl Phyco* 1997;9:29-35.
33. Pavia H, Aberg P. Spatial variation in polyphenolic content of *Ascophyllum nodosum* (Fucales, Phaeophyta). *Hydrobiol* 1996;326-327:199-203.
34. Nakamura T, Nagayakama K, Udrida K, Tanaka R. Antioxidant activity of phlorotannins isolated from the brown alga *Eisenia bicyclis*. *Fish Sci* 1996;62(6):923-926.
35. Noda H, Amano H, Arashima K, Nisizawa K. Antitumour activity of marine algae. *Hydrobiol* 1990;204-205:577-584.
36. Noda H, Amano H, Arashima K, Hashimoto S, Nisizawa K. Antitumour activity of polisaccharides and lipids from marine algae. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1989;55(7):1265-1271.
37. Nishino T, Aizu Y, Nagumo T. The relationship between the molecular weight and the anticoagulant activity of two types of fucan sulfates from the brown seaweed *Ecklonia kurome*. *Agric Biol Chem* 1991;55(3):791-796.
38. Nishide E, Anzai H, Uchida N, Nisizawa K. Sugar constituents of fucose-containing polysaccharides from various Japanese brown algae. *Hydrobiol* 1990;204-205:523-576.
39. Ito K, Tsuchiya Y. The effect of algal polysaccharides on the depressing of plasma cholesterol level in rats. In *Proceeding of The Seventh International Seaweed Symposium*. pp 451-454, 1972. Tokio University Press.
40. Ren D, Noda H, Amano H, Nishino T, Nishizawa K. Study on hypertensive and antihyperlipidemic effect of marine algae. *Fish Sci* 1994;60(1):83-88.
41. Michel C, Lahaye M, Bonnet C, Mabeu S, Barry JL. In vitro fermentation by human faecal bacteria of total and purified fibres from brown seaweeds. *Brit J Nutr* 1996;75:263-280.
42. Arasaki A, Arasaki, T. Low calorie, high nutrition. Vegetables from the sea. To help you look and feel better. Japan Publications Inc. 1983.

Recibido: 13-08-1998

Aceptado:06-04-1999