

## Cultivo de *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) en Galicia

J.L. PÉREZ-CIRERA\*, J.M. SALINAS\*\*, J. CREMADES\*\*\*, I. BÁRBARA\*\*\*  
A. GRANJA,\* A.J. VEIGA\*\*\* & C. FUERTES\*\*

\*Departamento de Biología Vexetal. Facultade de Biología (Botánica). Universidade de Santiago de Compostela. 15706 Santiago de Compostela

\*\*Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Santander. Promontorio de San Martín s/n. Ap. 240. 39080 Santander

\*\*\*Departamento de Biología Animal, Biología Vexetal e Ecoloxía. Universidade da Coruña Campus da Zapateira. 15071 A Coruña

(Recibido, octubre de 1996. Aceptado, febrero de 1997)

### Resumen

PÉREZ-CIRERA, J.L., SALINAS, J.M., CREMADES, J., BÁRBARA, I., GRANJA, A., VEIGA, A.J. & FUERTES, C. (1997). Cultivo de *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) en Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 7: 3-28

Se realiza por primera vez en España el cultivo en laboratorio y en el mar de *Undaria pinnatifida*, alga parda marina del Pacífico asiático utilizada en la alimentación humana, detectada en aguas de Galicia en 1988. La utilización de la «técnica europea» de cultivo en laboratorio para la obtención de individuos sexuados a partir de zoósporas (condiciones controladas y variables de hidrodinamia, luz, fotoperíodo, temperatura, nutrientes, etc.), ha permitido determinar los valores más adecuados de los parámetros utilizados, así como eliminar algunas fases del cultivo. La experimentación con diferentes colectores de semilla ha conducido al diseño de un nuevo colector que facilita una siembra más completa y uniforme, así como una mayor resistencia al epifitismo y patologías. El cultivo en el mar, en cuerdas verticales y horizontales (*long-line*) durante varias épocas del año, se ha realizado en dos zonas de condiciones oceanográficas diferentes, lo que ha permitido comparar el grado de desarrollo de los esporófitos bajo estas circunstancias, observar la aparición de malformaciones, patologías y alteraciones fisiológicas, estudiar la competencia intra e interespecífica, así como estimar la producción y las condiciones óptimas en que ésta llega a su máximo. Los resultados revelan como más rentable el sistema de cultivo temprano (octubre-diciembre) en *long-line* entre 1,5 y 2m de profundidad, en localidades con un cierto hidrodinamismo y valores relativamente bajos de iluminación, fotoperíodo y temperatura, obteniéndose la mayor producción comercial a los 4,5 meses de inmersión. La producción resultante (10,7 kg/m de cuerda) y su valor alimentario es similar a la obtenida en otros países productores.

**Palabras clave:** *Undaria pinnatifida*, cultivo, desarrollo, producción, Océano Atlántico, Península Ibérica, Galicia.

### Abstract

PÉREZ-CIRERA, J.L., SALINAS, J.M., CREMADES, J., BÁRBARA, I., GRANJA, A., VEIGA, A.J. & FUERTES, C. (1997). Culture of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) in Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 7: 3-28

The culture of *Undaria pinnatifida* in laboratory, as well as in the sea, is performed in Spain for the first time. This brown seaweed of the Asiatic Pacific is used for human food and it was detected on Galician coasts in 1988. The utilisation of the "European technique" of culture in the laboratory for obtaining sexed individuals starting with zoospores (variable and controlled conditions of hidrodinamism, light, photoperiod, temperature, nutrients, etc.) allowed us to determine the more suitable values of the parameters likewise to eliminate some stages of culture. The testing of different collectors has conducted to design a new type that allows a more complete and uniform sown as well as a greater resistance to epiphytes and pathogens. Culture into the sea, both vertical and horizontal ropes (long-line) was performed in two places with different oceanographic conditions. It has allowed to compare the growth rate of sporophytes, to observe the appearance of malformations, pathologies and physiological alterations, to study intra and interspecific competition as well as estimating production and the most favourable conditions to reach their maximum development. The results suggest that the most profitable system is the early crop (October-December) on *long-line*, from 1,5-2m depth, in quite hydrodynamic spots and relatively low values for illumination, photoperiod and temperature. The greatest yield was harvested at 4,5 months after their immersion. The final productivity (10,7kg per meter of horizontal rope) and its nutritional value are quite similar to results obtained in another producing countries.

**Key words:** *Undaria pinnatifida*, seaweed-culture, aquaculture, development, productivity, Atlantic Ocean, Iberian Peninsula, Galicia.

## INTRODUCCIÓN

*Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, alga marina conocida en Japón con el nombre de «Wakame», es una de las tres principales especies utilizadas en la alimentación humana. Posee un alto valor comercial por sus cualidades organolépticas y nutricionales: elevado contenido en proteínas y calidad de éstas en relación con las de otras algas pardas (ARASAKI *et al.*, 1983), alto contenido en vitaminas, minerales y oligoelementos, alta tasa de digestibilidad, presencia de todos los aminoácidos esenciales y un bajo contenido en lípidos y glúcidos asimilables. Además, tiene otros muchos usos sobre los que se está investigando actualmente. Por ejemplo, puede ser un complemento muy adecuado en la dieta de diversas especies en acuicultura (YI & CHANG, 1994; LI *et al.*, 1995), tiene propiedades antimutagénicas (OHGASHI *et al.*, 1992; OHKAWA & SUZUKI, 1993; OKAI *et al.*, 1993) y puede servir como eliminador de productos carcinogénicos en conservas (KIM *et al.*, 1987; AHN *et al.*, 1993).

En 1960, la producción de los campos naturales de *U. pinnatifida* fue, aproximadamente, de 60.000 toneladas, cantidad insuficiente para cubrir la demanda del producto; por ello, y desde entonces, se explota mediante cultivo, técnica

que actualmente suministra más del 90% de la producción total y que ha permitido alcanzar en 1990 más de 500.000 toneladas anuales, en peso fresco (YAMANAKA & AKIYAMA, 1992).

*U. pinnatifida* se introdujo en las costas europeas en 1971 (Laguna de Thau, Mediterráneo francés; PEREZ *et al.*, 1981), relacionándose su presencia con las importaciones de la ostra japonesa [*Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)] que desde 1971 a 1975 se hicieron a este país (GRIZEL & HERAL, 1991), extendiéndose posteriormente a otras zonas del Mediterráneo (BOUDOURESQUE *et al.*, 1985) y Adriático (CURIEL *et al.*, 1994; RISONDO *et al.*, 1994). Esta especie ha sido introducida por el mismo vector en otros países como Tasmania (SANDERSON & BARRETT, 1989) y Nueva Zelanda (HAY, 1990). En Europa, actualmente se cultiva en la Bretaña francesa desde 1983 (PEREZ *et al.*, 1984, 1992), región en la que el área de distribución de esta especie se ha extendido considerablemente en los últimos años (cf. CASTRIC-FEY *et al.*, 1993). En las costas peninsulares fue detectada su presencia por primera vez en Galicia (ría de Arousa), en 1988 (SANTIAGO CAAMAÑO *et al.*, 1990), y sin duda fue también introducida debido a las importaciones de ostra japonesa. Actualmente, en algunas rías gallegas las poblaciones de *U. pinnatifida* se

encuentran irreversiblemente asentadas y en franca expansión a lo largo del litoral, especialmente en la ría de Arousa CREMADES UGARTE (1995) y en la ensenada de Cirro y puerto de Sada (ría de Betanzos; *obs. pers. inéd.*). Muy recientemente ha sido hallada en el litoral del Cantábrico, en Gijón (*obs. pers. inéd.*).

Las condiciones oceanográficas de las rías gallegas permiten un adecuado crecimiento de esta especie, lo que es un hecho fundamental para plantear su posible cultivo en Galicia.

La viabilidad de este cultivo requiere conocer previamente la biología de *U. pinnatifida* y reproducir todas las fases de su ciclo vital, digenético, siguiendo un cronograma que permita el desarrollo de los ejemplares adultos en condiciones naturales.

Las fases más importantes de este proceso son: obtención y mantenimiento de los individuos sexuales (gametófitos) en *free-living*, siembra de colectores con gametófitos maduros, obtención de cigotos tras la fecundación, germinación de los mismos, aclimatación de las jóvenes plántulas y posterior implante en el mar para el desarrollo de los esporófitos. Además, requiere averiguar cuales son los períodos idóneos de inicio y fin del cultivo y estimar la productividad y el valor comercial, para así poder evaluar su rentabilidad.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El ciclo vital digenético de *U. pinnatifida*, propio de laminariales, obliga a dividir el estudio en dos fases. La primera fase, de laboratorio, se dedica a la obtención de gametófitos microscópicos, cigotos, embriones y, finalmente, jóvenes esporófitos -la denominada "semilla"- para su implante en el mar. La segunda fase, de cultivo en el mar, tiene como fin conocer la biología de esta especie en cultivo y estimar el tiempo de cosecha y la producción, en relación con el momento de introducción en el mar y otras variables de cultivo: método de transporte, zona de cultivo, profundidad, etc.

### Cultivo en laboratorio (Figs. 1, 2, 3; Tabla I)

Para la producción de gametófitos en laboratorio y obtención de pequeñas plántulas de esporófitos se ha seguido, en líneas generales, el método europeo desarrollado por PEREZ *et al.* (1984, 1992). Las partes fértiles de esporófitos han sido obtenidas de poblaciones naturales de la ría de Arousa (puerto de Tragove). Después de la valoración del estado de madurez, se procedió al fraccionamiento, limpieza de epífitos y esterilización con agua de Javel. Posteriormente, las porciones fértiles seleccionadas se sometieron a deshidratación superficial -en oscuridad y durante 12 h- para facilitar la emisión de zoósporas. El extracto definitivo de zoósporas se obtiene por rehidratación de los esporófitos y filtrado final a 20µm. Se estimó la motilidad de las zoósporas y densidad por unidad de volumen, con el fin de descartar las fracciones menos funcionales en la puesta en cultivo. Por término medio, en función de la densidad, 40ml de extracto de zoósporas se añaden a 2l de agua de mar estéril con medios nutritivos MIQUEL A, MIQUEL B, oligoelementos, antibióticos y óxido de germanio. La germinación de las zoósporas requiere previamente su fijación, aunque, posteriormente, para el desarrollo del *free-living* se hace necesario que éstas permanezcan en suspensión. Esta contradicción metodológica se resuelve ofreciendo a las zoósporas un sustrato formado por microcristales de fosfato cálcico, obtenidos directamente en los recipientes de cultivo, controlando el pH durante la mezcla del agua de mar y el reactivo MIQUEL B.

La técnica de *free-living* permite la obtención de grandes cantidades de gametófitos por desdoblamiento de los cultivos, además de una total independencia del ciclo de maduración de los esporófitos.

Para la realización de los experimentos previstos se desarrollaron múltiples cultivos clónicos de gametófitos (Fig. 1A) en balones de 6l, con el objeto de diversificar los riesgos de contaminación y contrarrestar las desviaciones de la *sex-ratio*. Los cultivos se mantuvieron en cámara isoterma a 22°C, con agitación por borboteo de

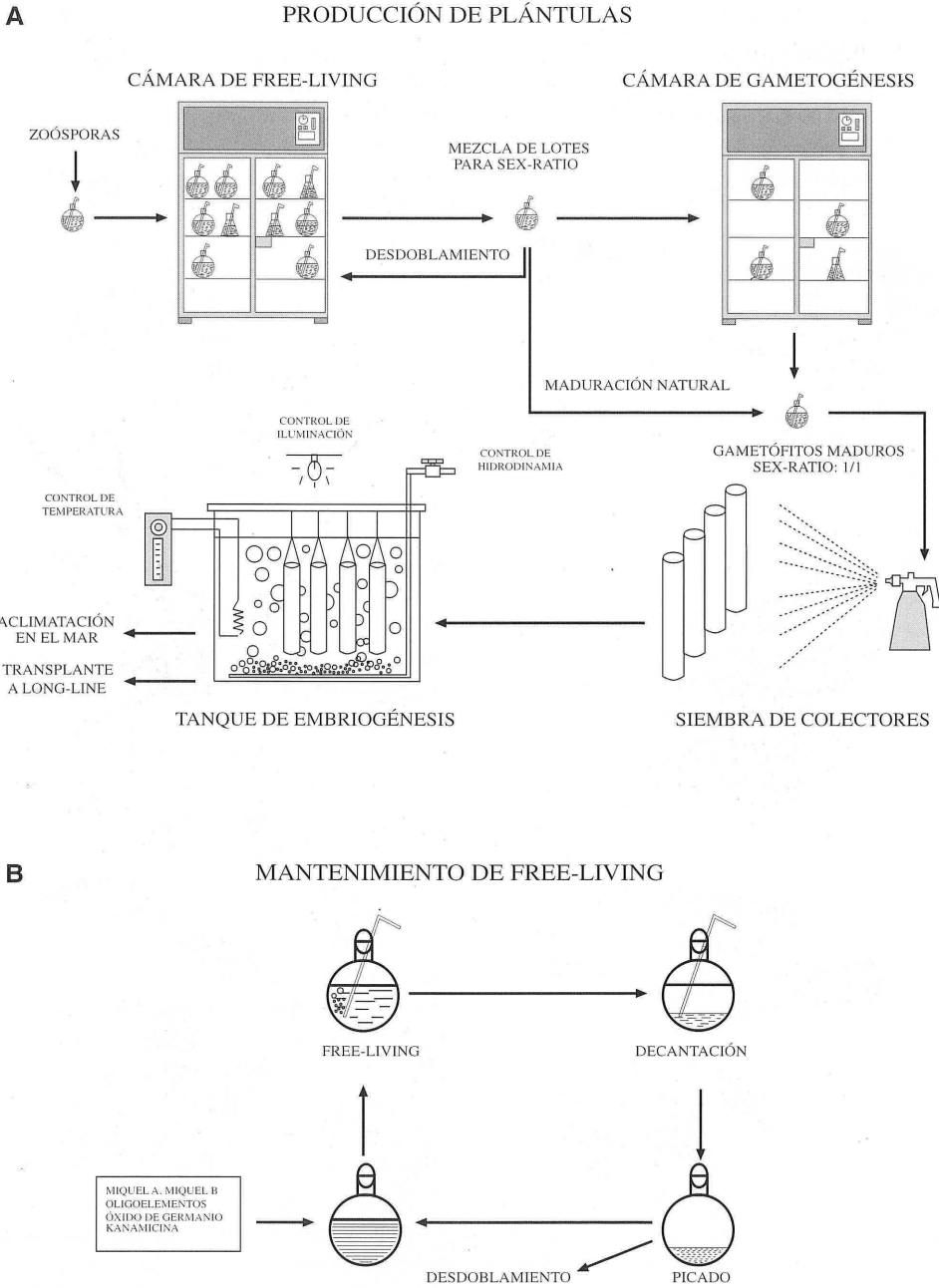


Fig. 1. Síntesis del cultivo en laboratorio de *Undaria pinnaefida*. A, producción de plántulas; B, mantenimiento en *free-living*.

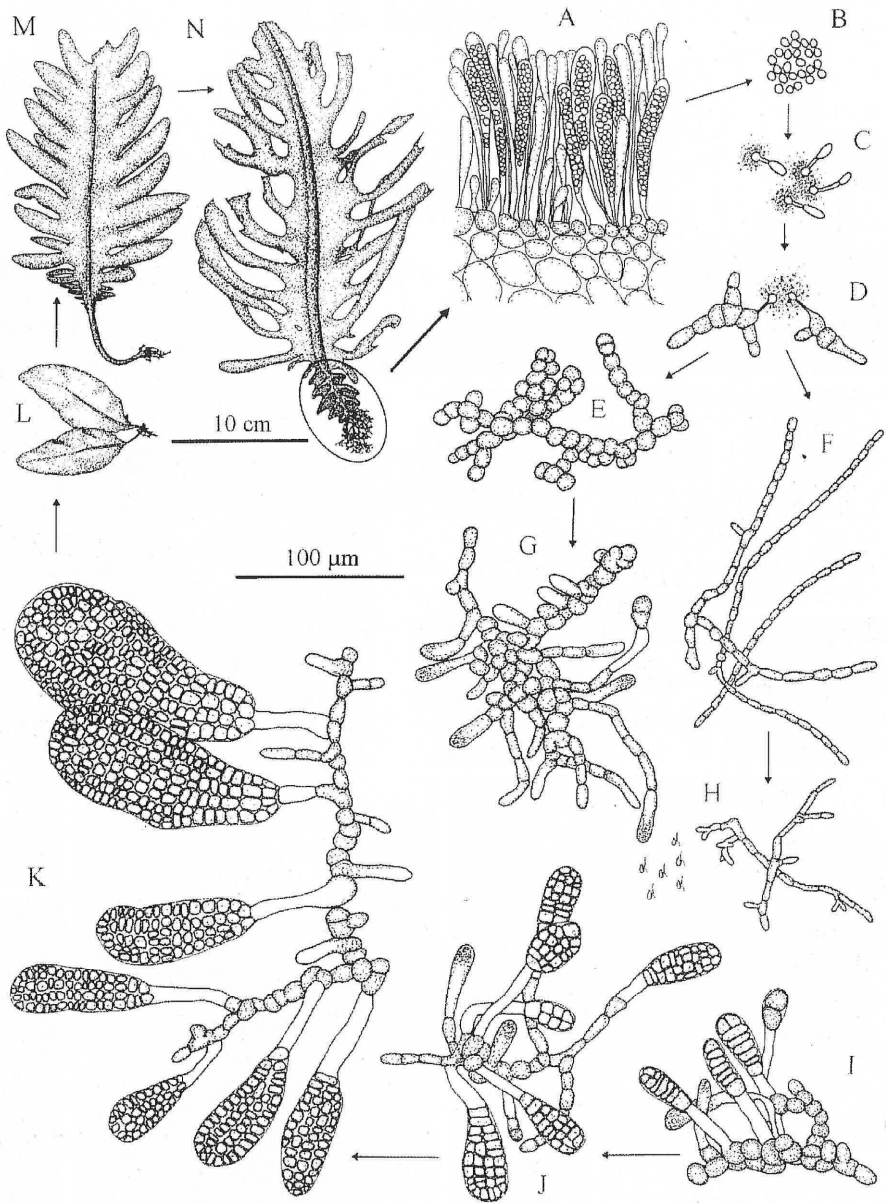


Fig. 2. Desarrollo del ciclo digenético de *Undaria pinnatifida*. A, sección transversal en un soros, en el que se observan numerosos esporocistios y paráfisis; B, grupo de zoosporas maduras; C, esporas germinando y fijándose a microcristales de fosfato cálcico; D, gametófitos jóvenes; E, gametófito femenino maduro; G, gametófito femenino reproducido en fases 0 a 2; F, gametófito masculino maduro; H, gametocistios masculinos liberando gámetas; I-K, crecimiento de plántulas viviendo a expensas del gametófito; L y M, secuencia de desarrollo de esporófitos independizados del gametófito; N, talo esporofítico con esporófilos maduros.

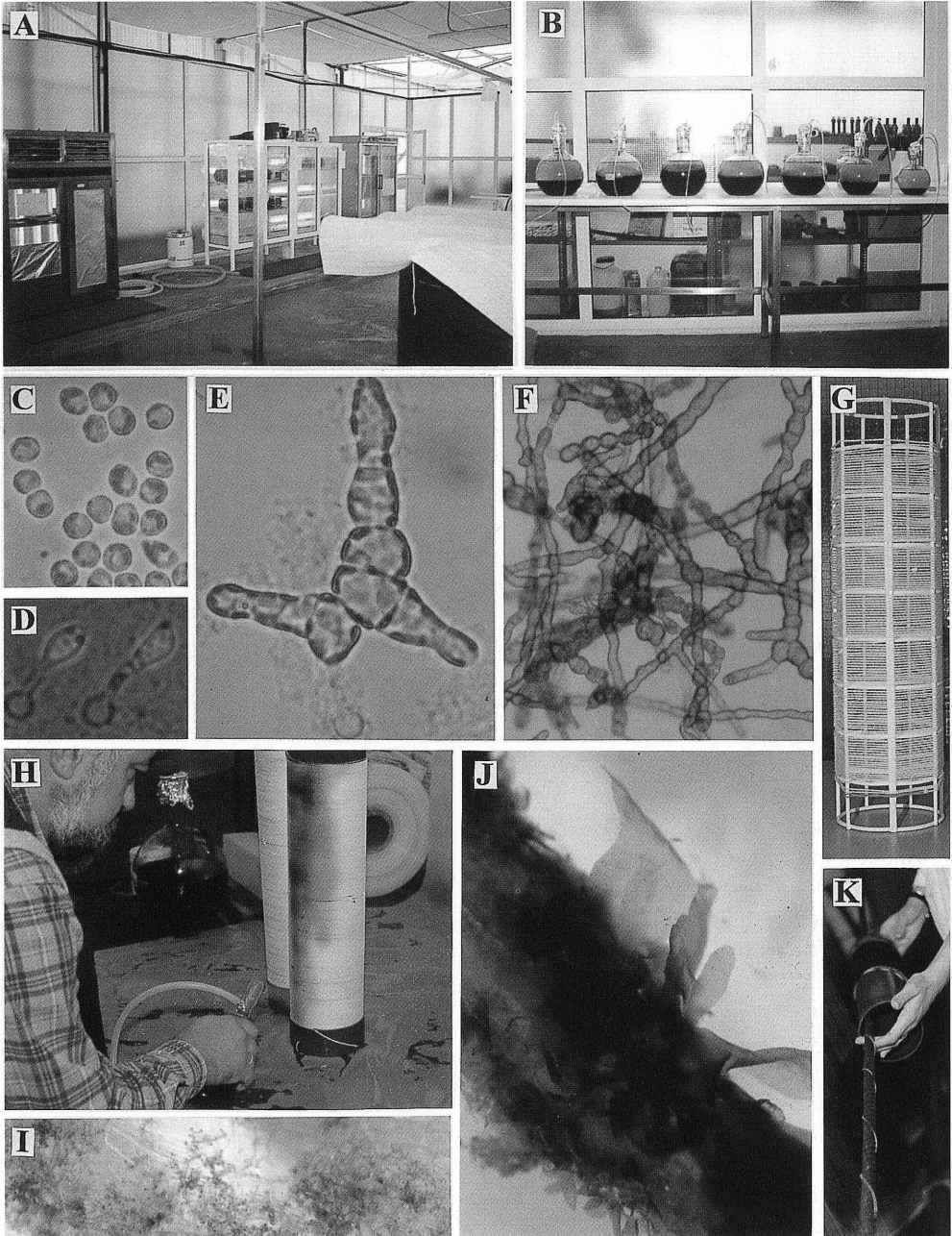


Fig. 3. (A) Laboratorio de Biología del I.E.O. (Santander), de izquierda a derecha se observan las cámaras de gametogénesis, *free-living* y baja temperatura; en primer plano los tanques refrigerados para eclosión de plántulas; (B) desdoblamiento de los cultivos en *free-living*, el cultivo sedimentado ocupa la mitad del botellón; (C) zoósporas recién extraídas de los esporófilos; (D) las mismas germinando sobre microcristales de fosfato cálcico fotografiadas por fluorescencia; nótese el disco de fijación; (E) primeras divisiones de un gametófito; todavía son visibles el disco de fijación y el sustrato de fosfato cálcico; (F) gametófitos masculinos y femeninos en *free-living* al inicio de la maduración, los femeninos presentan células redondeadas y muy pigmentadas; (G) colector de malla metálica plastificada diseñado especialmente para mejorar la calidad del implante; (H) siembra de colectores de tipo francés con gametófitos maduros; (I) detalle del hilo de semilla con embriones; (J) hilo de semilla con plántulas en diferentes estadios de desarrollo; (K) enrollado manual del hilo de siembra sobre el cabo portador pasando éste por el interior de un colector tipo francés.

aire e iluminación continua de  $20\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  con lámparas de luz día. A los 7 días del inicio del cultivo ya fueron observados gametófitos de 5 a 7 células (Fig. 2D, 3E).

Esta fase inicial precisa un período de 24h de reposo absoluto para permitir la fijación y germinación de las zoósporas (Fig. 3D), superado el cual, se provoca la disgregación de los microcristales de fosfato cálcico con una fuerte agitación, para que los gametófitos adquieran su modo de vida definitivo en suspensión.

Un buen ajuste en la dosis inicial de zoósporas (Fig. 3C) garantizará un crecimiento futuro con gametófitos independientes, ya que la formación de acúmulos de esporas por competencia por el sustrato producirá cultivos de mala calidad, con mezcla de gametófitos que tenderán a sedimentar y morir. El mantenimiento de los cultivos en *free-living* requiere cambios de medio de cultivo cada 15 días, observación del desarrollo de los gametófitos (Fig. 3F) y estimación de la *sex-ratio* (óptimo 1/1), fraccionamiento de gametófitos y desdoblamiento de cultivos para mantener una densidad óptima (Figs. 1B, 3B). Asimismo, es necesario establecer un riguroso control de los cultivos para detectar precozmente las posibles contaminaciones.

La inducción de la gametogénesis tiene lugar en cámaras climatizadas (Fig. 3A) en las que, a lo largo de una semana, se reduce la temperatura de  $22^\circ\text{C}$  hasta  $17^\circ\text{C}$  y se incrementa la luz de 20 a  $35\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , introduciendo también, paulatinamente, un fotoperíodo de día corto. Al término de este proceso son fácilmente distinguibles los gametocistes (Fig. 2G, H). Finalmente, es preciso determinar la *sex-ratio* de cada cultivo con el fin de realizar las mezclas idóneas antes de la siembra.

La siembra de gametófitos maduros se realiza nebulizando directamente el cultivo sobre los colectores (Figs. 1A, 3H). Éstos están formados por un soporte cilíndrico de malla metálica plastificada (Fig. 3G), que lleva enrollado un hilo de poliamida de tres hebras y 2mm de diámetro, tratado previamente (hervido y deshilachado en filamentos de 1mm de longitud, por raspado y quema parcial) para proporcionarles

una textura apta para la fijación de gametófitos y el posterior desarrollo y supervivencia de las jóvenes plántulas. El hilo de semilla debe ser enrollado cuidadosamente sobre el colector, de forma que las vueltas del mismo permanezcan separadas para una buena circulación del agua. El diámetro y longitud de los colectores condiciona en gran medida las operaciones de resiembra posteriores, por lo que los colectores utilizados fueron de 40cm de longitud y 10cm de diámetro, con capacidad para 40m de hilo de semilla. Este modelo de colector presenta características intermedias entre el coreano clásico y el francés utilizado por el IFREMER (PEREZ *et al.*, 1992).

Los colectores sembrados son sumergidos en tanques de embriogénesis isotermos de 1000 l (Fig. 1A), donde se produce la fecundación, la obtención de embriones y el desarrollo de las plántulas (Fig. 2I-K). La primera semana se mantuvieron unas condiciones de baja hidrodinamia, día corto (12:12) y penumbra, para asegurar la fecundación y evitar el desprendimiento de gametófitos. Durante este período se completa la maduración de los gametófitos masculinos (Fig. 2H) y la formación del oogonio en los femeninos (fase 0; Fig. 2G). Dos semanas después de la siembra son visibles cigotos y embriones de dos y más células (fases 1 y 2; Fig. 2G, I). El período que comprende la maduración, fecundación y formación del cigoto puede ser completado en condiciones de casi oscuridad. La opción de baja iluminación y día corto se ajusta a las condiciones en las que se produce la embriogénesis en el medio natural y reduce los riesgos de contaminación por clorofíceas. Con la presencia de embriones se incrementó la luz e hidrodinamia, a la vez que se redujo la temperatura y se iniciaron cambios del medio de cultivo cada tres días. El cronograma y la rutina de cultivo seguida para la producción de plántulas aparece detallada en la Tabla I.

Transcurridos 20 días de cultivo, se fomentó el crecimiento de los embriones, modificando paulatinamente los parámetros hacia las siguientes condiciones: luz continua  $100\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , temperatura ( $12^\circ$  a  $14^\circ\text{C}$ ), relación nitrógeno-fósforo 14,58/1, e hidrodinamia continua y muy fuerte,

TABLA I. Establecimiento de parámetros durante la producción de plántulas de *Undaria pinnatifida* en laboratorio

Días cultivo	Luz $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$	Fotp. L/O	Temp. °C	Nutrientes Antibióticos	Cambio de medio	Agitación	Desarrollo esperable	Alternativas al cultivo indoor
1	10	12/12	17	No		Muy suave	Fijación y gametogénesis	
2	"	"	"	"		"		
3	"	"	"	"		"		
5	"	"	"	"		"	Emisión de gametos	
6	"	"	16	"		Suave		
7	20	"	"	N/P=14,58	Cambio	"		
10	"	"	"	$\text{NO}_3\text{NH}_4$		"	Fase 0 (fecundación)	Introducción temprana de colectores
11	"	"	"	50mg/l		"		
13	"	"	15,5	$\text{PO}_4\text{HNa}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		"	Fases 1 y 2 (cigotos)	en el mar
14	30	"	"	7mg/l		"		
15	"	"	"		Cambio	"		
16	"	"	"			"	Fase 3	
17	40	"	15			"		
19	50	16/8	14	Gentamicina	Cambio	Fuerte	Embriones de 16 céls.	Trasplante de aclimatación a long-line
20	"	"	"	"		"		
21	60	"	13	"		"		
22	"	20/4	"	"	Cambio	Muy fuerte	Embriones de 32-64 céls.	
23	100	24/0	12-13			"		
25	"	"	"		Cambio	"	$\geq 200$ céls.	
30	"	"	"		Cambio	"	Plántulas	
35	150	"	"		Cambio	"	Plántulas 2mm	trasplante definitivo

que favorece el desarrollo de los hapterios de fijación, necesarios para la supervivencia de la planta en el mar (Fig. 3I). En esta fase es preciso controlar la aparición de enfermedades bacterianas que afectan rápidamente a los colectores, favorecidas por la densidad de embriones. La aplicación de antibióticos de amplio espectro (gentamicina 15mg/l) durante cuatro días permite controlar las infecciones. A pesar de tratarse de un cultivo sincrónico es normal la presencia, en el hilo de semilla, de todos los estadios embrionarios. En el protocolo de producción de semilla se consideraron plántulas a los ejemplares poliestromáticos, circunstancia claramente visible en la zona estipo-frondal, y que posteriormente dará lugar al nervio central (Fig. 3J).

A partir de los 30-35 días, la longitud de las plántulas es de unos 2-3mm, con una densidad media de 19 plántulas por milímetro de hilo, muy

superior a la necesaria para el cultivo en la fase adulta.

El transporte al mar se realizó en contenedores, manteniendo los colectores humedecidos y en oscuridad. Tras las 12 horas invertidas en el traslado desde las instalaciones del Instituto Español de Oceanografía en Santander hasta las del Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGAGA, Xunta de Galicia) de la Illa de Arousa, no se detectaron mortalidades.

Una vez en estas instalaciones, los colectores de los primeros experimentos fueron sumergidos, hasta su siembra, en baños de 1000 l con agua de mar microfiltrada, enriquecida con N y P, sometida a fuerte hidrodinamia y con iluminación elevada y continua. En los últimos experimentos se optó por introducir los colectores provisionalmente en el mar, suspendidos de la batea experimental del IGAGA.

## Cultivo en el mar

Los experimentos en el mar se realizaron en dos períodos diferentes octubre-julio de 1993-94 y enero-junio de 1995. En el primer año se contruyeron dos parques de cultivo, en la ría de Arousa (42°34'29"N, 8°53'10"O; Fig. 3B) y en la ría de Baiona (42°07'38"N, 8°50'10"O; Fig. 4A). En el segundo año se construyó un único parque en la ría de Arousa (42°32'86"N, 8°54'41"O; Fig. 3C). Para la instalación de todos ellos se eligieron zonas de fondo arenoso y/o cascajo, batimetría entre 9 y 13m, hidrodinamia media y alejadas del tráfico marítimo.

Con el fin de aproximar la metodología de cultivo de *U. pinnatifida* a la del mejillón en batea, se ensayó, junto al sistema tradicional en *long-line*, otro alternativo de cuerdas verticales, diseñado también con la idea de obtener la máxima producción por unidad de superficie.

Las cuerdas verticales (Fig. 5A) se colocaron separadas 10m entre ellas, lastradas con 30kg y reflotadas con una boya. Para evitar que la cuerda se destense en la bajamar se coloca un lastre adicional de 0,5kg, a 4m del fondo. El sistema en *long-line* (Fig. 5B) constó el primer año de cuerdas horizontales de 20m de longitud, montadas a 1,5m de profundidad, sobre una estructura vertical lastrada de manera similar a las cuerdas de cultivo verticales. En el segundo año se construyó un pequeño polígono (Fig. 5C) análogo en su diseño a los utilizados en las explotaciones comerciales francesas (cf. PEREZ *et al.*, 1992).

La resiembra de los cabos de cultivo se realizó en las instalaciones del IGAFa, enrollan-

do helicoidalmente el hilo de siembra sobre el cabo portador de polipropileno (Fig. 3K) y fijándolo con bridas cada 50cm. Los cabos con la semilla fueron introducidos cuidadosamente en recipientes estancos con agua de mar y transportados en el día a los polígonos de cultivo de Arousa y Baiona.

El período óptimo de cultivo en el mar se estableció, fundamentalmente, entre octubre y febrero en base a los conocimientos de la biología de *U. pinnatifida* en las rías bajas, cuyas condiciones de temperatura y luz son favorables para el desarrollo de los esporófitos de esta especie invernal. En la Tabla II se describen las siembras en mar realizadas.

### Metodología de muestreo

El cultivo del mar fue muestreado, según los casos, a partir del primer o segundo mes desde su implante, extrayendo cada 15 días algunas cuerdas verticales y diversos tramos (en total 5m) del *long-line*. En el laboratorio se contaba el número de individuos, el tamaño de los mismos por clases de valores (talla 1=0-9cm; talla 2=10-19cm ... talla 22=220-229cm) y la biomasa, para submuestras de 50cm de cabo. Para obtener el peso fresco de *U. pinnatifida* comercial, en cada tramo se procedía a separar los ejemplares del cabo portador, cortándolos a la altura de los hapterios. También eran anotadas características de interés, como estado general del cultivo, el grado de epifitismo, distribución del *fouling*, presencia de diversas patologías o malformaciones, etc.

TABLA II. Cronograma del cultivo de *Undaria pinnatifida* en el mar

Fecha	Arousa	Baiona
	Cuerdas verticales	Cuerdas verticales
29/10/93	1ª generación (18 cabos)	1º generación (10 cabos)
2/12/93	2ª generación (18 cabos)	2ª generación (10 cabos)
		2ª generación, 20m
7/2/94	3ª generación (6 cabos)	
1/6/94		4ª generación, 20m
18/2/95	4 generaciones de tamaño de plántula diferente	

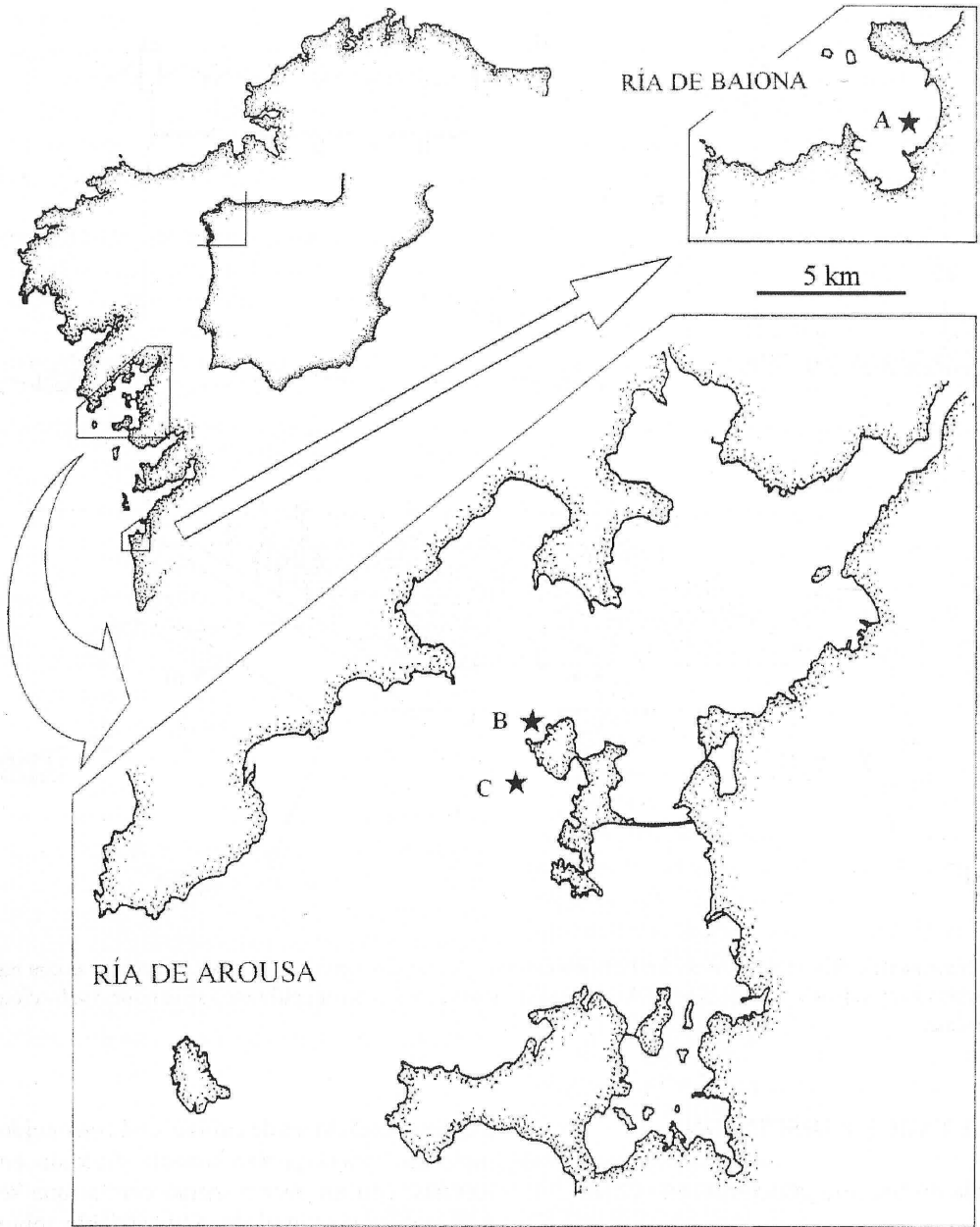


Fig. 4. Localización geográfica de los polígonos de cultivo en las rías de Arousa y Baiona.

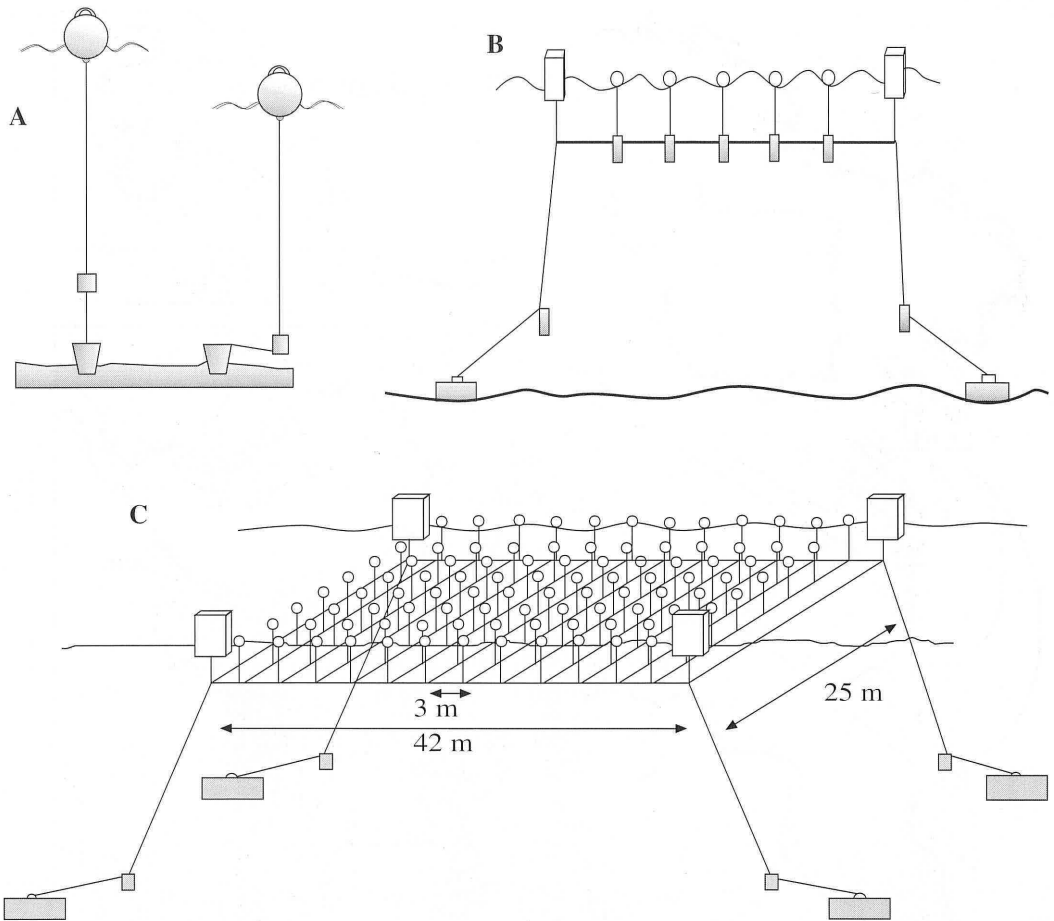


Fig. 5. Sistema de cultivo en el mar de *Undaria pinnatifida*. A, cuerdas verticales lastradas y reflotadas con una boya en pleamar y bajamar; B, *long-line* fijado por sus extremos; C, polígono de cultivo con sistema de conducción en *long-line*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Biología de *Undaria pinnatifida* en cultivo

#### *Morfología y tasa de crecimiento* (Figs. 6, 7)

Los esporófitos cultivados en el mar presentan un aspecto variable según su edad y las condiciones del medio donde se desarrollan. La influencia de las diferentes condiciones de cultivo sobre el mismo serán tratadas específicamente más adelante. El ejemplar adulto obtenido en las

mejores condiciones de cultivo, está constituido por una lámina profundamente dividida en laciniás, con un nervio medio central que se prolonga en un estipe de longitud variable, sobre el que se desarrolla el esporófito, y más abajo un sistema de fijación constituido por hapterios dicótomos. Hasta 5cm de tamaño la lámina es indivisa y muy delicada, en la cual se deja entrever el esbozo de un nervio medio. Con un tamaño de 10cm presenta un nervio medio evidente y un sistema de hapterios desarrollado (Fig. 6B), aunque la lámina permanece todavía

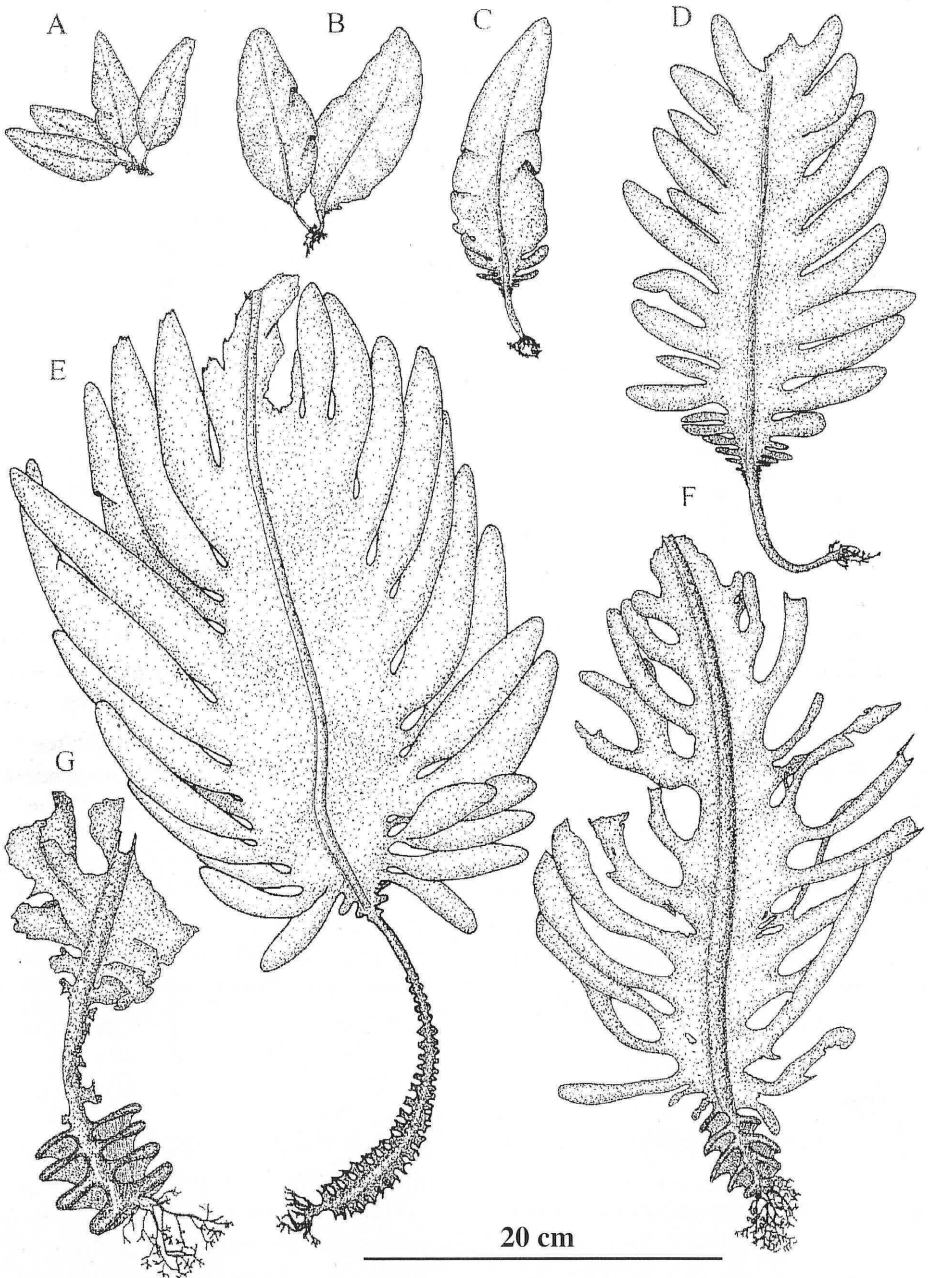


Fig. 6. Cultivo de *Undaria pinnatifida* en el mar. A-E, secuencia de desarrollo de los esporófitos; F, aspecto de un ejemplar característico de los tramos superiores de la cuerda; G, esporófito totalmente maduro y deteriorado.

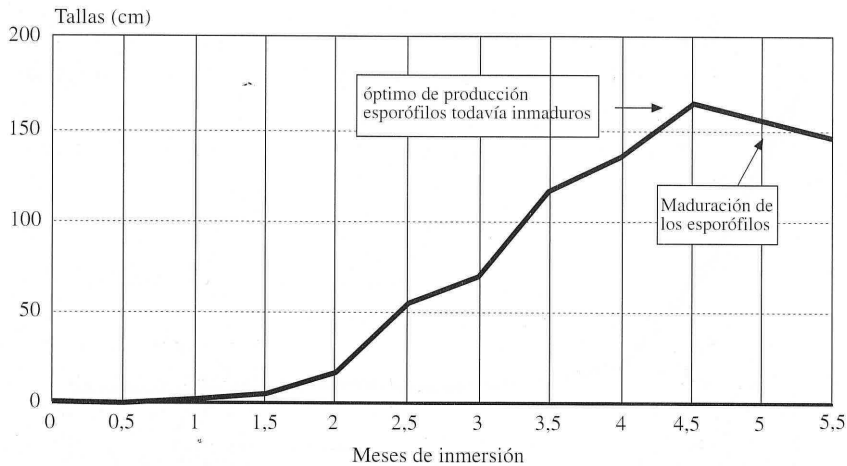


Fig. 7. Evolución en el tiempo del tamaño medio y maduración de los esporófitos.

indivisa, presentando todo el conjunto una forma lanceolada. Con tamaños superiores se observan divisiones en la lámina (Fig. 6C), y en la base de ésta aparecen unas proliferaciones, con aspecto de dientes de sierra, que al desarrollarse formarán las futuras lacinias (Fig. 6F), que darán posteriormente al alga un aspecto piramidal. Esta morfología se mantiene hasta que alcanza 50-90cm, tamaño en el que empiezan a desarrollarse los esporófitos en la base del estipe (Fig. 6E). Una vez que los esporófitos están completamente formados, se produce una degeneración rápida de la lámina por su parte apical. Finalmente, el esporófito se reduce a un estipe con esporófitos muy desarrollados, y a la parte basal del nervio medio en la que existen restos de lámina totalmente deteriorada (Fig. 6G).

En los cultivos se han encontrado dos formas de *U. pinnatifida*, menos frecuentes, que difieren de la descrita en el apartado anterior. Una corresponde a los ejemplares que, en las cuerdas verticales, crecen en los tramos superficiales (entre 0-50cm), y se caracteriza por tener una lámina más ancha y corta, lacinias más desarrolladas y anchas, y un estipe más corto, en el que los esporófitos adquieren un gran desarrollo y cubren completamente toda su longitud (Fig. 6F). La segunda forma (no ilustrada) corresponde a

los individuos que se desarrollan en profundidad (a partir de 7m), o que crecen en grupos muy densos. Estos ejemplares se caracterizan, sobre todo, por la gran longitud relativa que adquieren sus estipes; este crecimiento exagerado del estipe es consecuencia de un fototropismo positivo.

Para el estudio de la tasa de crecimiento (Fig. 7) se siguió el desarrollo de la generación con la que se obtuvieron los mejores resultados de producción y calidad comercial (2ª generación de los experimentos realizados en 1993-94, introducidos en Arousa en sistema *long-line*). El desarrollo, aunque espectacular en las etapas adultas, es aparentemente lento en las primeras, existiendo un período de mes y medio, desde el inicio del cultivo, en el que casi no se detecta el crecimiento de las plántulas. A partir del segundo mes se incrementa el desarrollo, hasta que a los cuatro meses y medio se produce un descenso en la curva de crecimiento debido a que empieza a aparecer una deterioro en las partes apicales de la lámina, degeneración que coincide, en el tiempo, con la casi finalización de la formación de los esporófitos y el comienzo de maduración de éstos. A partir de este momento la degeneración de la lámina se acelera, originándose una drástica disminución de la talla.

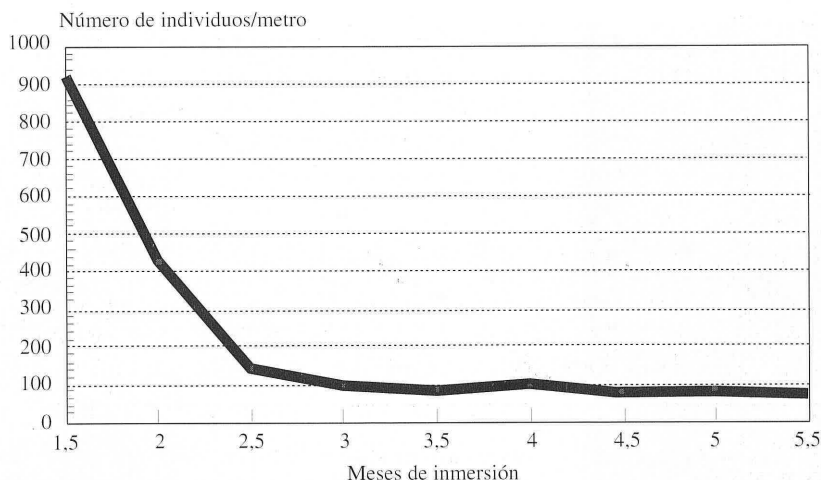


Fig. 8. Evolución en el tiempo del número de individuos por metro lineal de cultivo en cuerdas verticales.

#### *Competencia intra e interespecífica*

En el cultivo en el mar se establecen competencias intraespecíficas debidas a la alta densidad del implante, lo que condiciona que de un gran número de individuos a tiempo cero (190 por milímetro) se obtenga, finalmente, una densidad de aproximadamente 80 individuos por metro de cuerda. Para el estudio de la evolución del número de individuos en las cuerdas de cultivo se utilizó la misma generación con la que se determinó la tasa de crecimiento. Como puede observarse en la Fig. 8, hay un brusco descenso en el número de individuos hasta los 2,5 meses de introducción en el mar, momento a partir del cual se estabiliza. Este momento coincide con el aumento espectacular en la tasa de crecimiento de los individuos sobrevivientes (Fig. 9B) que se comentó en el apartado anterior (Fig. 7).

Podría pensarse que con una baja densidad de implante se obtendrían los mismos valores de producción por la gran merma en el número de individuos debida a los fenómenos de competencia intraespecífica; sin embargo, esta alta densidad es necesaria ya que selecciona los mejores individuos (Fig. 9C) e imposibilita los fenómenos de una competencia mucho más pernicioso para el cultivo, la interespecífica. Ejemplo de esta competencia interespecífica es la coloniza-

ción, en las primeras fases del cultivo, por especies del *fouling* como *Hincksia granulosa* (Smith) Silva, *Polysiphonia brodiaei* (Dillwyn) Sprengel y diatomeas pennales coloniales, que pueden cubrir totalmente el cabo portador en menos de un mes (Fig. 9D), especialmente en los primeros metros de profundidad. A más profundidad la luz incidente es menor, por lo que dominan animales como *Bugula neritina* (Linnaeus) y *Tubularia* sp.

Otras veces la competencia interespecífica no se manifiesta en las primeras fases del cultivo, sino que es tardía, como sucede con *Saccorhiza polyschides* (Lightfoot) Batters, alga parda de gran tamaño que puede desarrollarse en un amplio intervalo de profundidades. Esta especie presenta una alta tasa de crecimiento, colonizando rápidamente el cultivo y entrando en competencia con *U. pinnatifida*, al igual que sucede en las comunidades naturales (cf. CASTRIC-FEY *et al.*, 1993). *S. polyschides* se fija a las cuerdas de cultivo, preferentemente en aquellas zonas donde el implante de *U. pinnatifida* no fue lo suficientemente denso o se desprendió del cabo portador. Si el desprendimiento de los ejemplares coincide con espacios de tiempo en que la colonización por *S. polyschides* es elevada, esta zona del cabo portador se ve rápidamente colo-

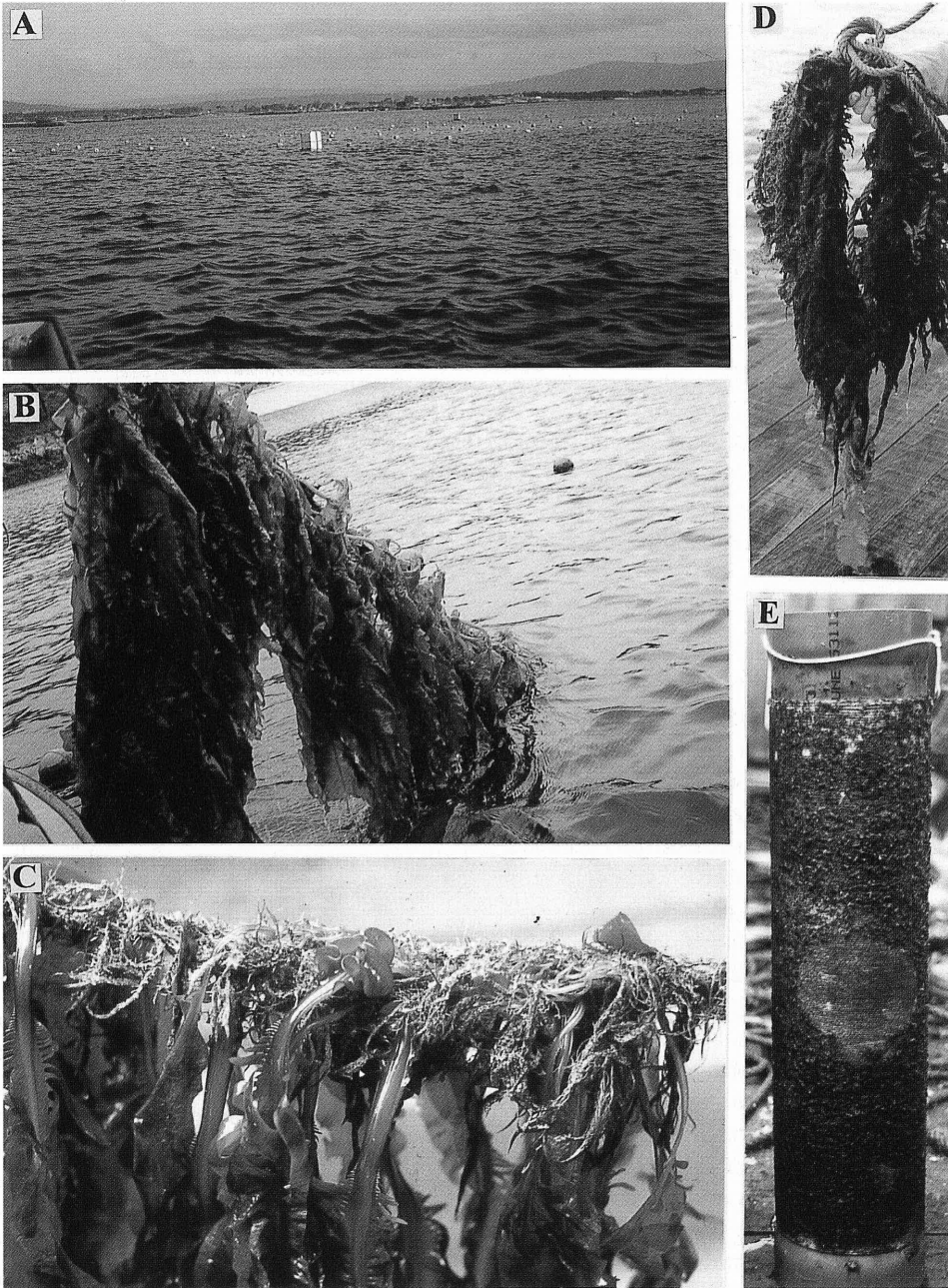


Fig. 9. (A) polígono de cultivo en *long-line* ubicado en las inmediaciones de la Illa de Arousa; (B) aspecto de una cuerda de cultivo en *long-line* a los 3 meses de inmersión; (C) detalle de la fijación de los ejemplares de *Undaria pinnatifida* al cabo portador; (D) cabo portador después de un mes de inmersión totalmente colonizado por especies del *fouling* y en el que el cultivo ha desaparecido casi por completo; (E) aspecto de un colector con bacteriosis, nótese la presencia de un círculo en el que las plántulas de *U. pinnatifida* han desaparecido totalmente.

nizada por esta especie y, debido a su alta tasa de crecimiento, en poco tiempo puede alcanzar gran tamaño, con los perjuicios que de ello se derivan.

Se empezó a detectar la colonización por *S. polyschides* (algunos ejemplares de 2cm) sobre los cabos portadores en la segunda quincena de febrero, a los 2,5 meses después de iniciado el cultivo de la segunda generación (diciembre de 1993). A los 3,5 meses el tamaño medio era de 16cm y a los 4,5 meses de 55cm, llegando hasta los 130cm a los 5,5 meses. Podemos concluir, por tanto, que el inicio del cultivo en fechas próximas al mes de marzo, aparte de un negativo desarrollo de los esporófitos de *U. pinnatifida* por causas que veremos posteriormente, puede verse condicionado, además, por un no deseado desarrollo conjunto y sincrónico de ambas especies.

#### *Malformaciones, patologías y alteraciones fisiológicas*

En el laboratorio, uno de los principales problemas que pueden surgir en la evolución del cultivo es la degeneración de éste debido a la aparición de diversas bacteriosis. Las bacteriosis se manifiestan sobre los colectores ya inseminados con gametófitos e introducidos en los tanques de eclosión. Estas bacteriosis han sido observadas en estadios variables del desarrollo de los esporófitos de *U. pinnatifida*, desde embriones hasta plántulas de 5mm. A nivel microscópico es manifiesta una degeneración de las plántulas en su zona meristemática -lo que se denomina enfermedad del punto blanco-, o la aparición sobre los colectores de grandes zonas circulares con bordes mucilaginosos, pigmentación variable amarillo-naranja y desprovistas de embriones y plántulas (Fig. 9E). La aparición de estas contaminaciones parece estar directamente relacionada con un aumento de la temperatura en el cultivo, estando su umbral próximo a los 15°C. No obstante, pueden aparecer también en cultivos perfectamente controlados, favorecidas por la alta densidad de plántulas en los colectores, que limitan la circulación del agua y favorecen el contagio. El control de las bacteriosis se realiza

por tratamiento de los colectores con antibióticos, dando muy buen resultado el uso de gentamicina previa reducción del volumen de los tanques de cultivo y de la temperatura del tanque de eclosión a 12-13°C. También se han utilizado con éxito tratamientos puntuales con Betadine® sobre las manchas.

En el desarrollo de las jóvenes plantas, ya en el mar, se han manifestado una serie de malformaciones: *Abortos de lámina o de nervio medio*, que determinan tipos de plantas deformes por la ausencia de lámina o nervio medio. Han sido detectados en un muy bajo porcentaje y siempre dentro de grupos muy densos de individuos, por lo que es posible que esté relacionado con una limitación de luz o competencia intraespecífica. *Ejemplares recurvados*, en los que el esporófito sólo presenta lámina por un lado y aparece fuertemente curvada. Este tipo de malformación es más frecuente que la anterior y no mantiene relación con la presencia de grupos densos de *U. pinnatifida*. *Plantas con zona meristemática difusa*, en las que la lámina es rizada, sin nervio medio y carente de zona apical. *Plantas torsionadas helicoidalmente*, malformación que parece ser frecuente en ejemplares de baja vitalidad por haber sido implantados en época tardía, estando acompañada de una manifiesta clorosis por fotoxidación. Wu *et al.* (1983) citan una alteración similar en *Laminaria japonica* Areschoug y la relacionan con el desarrollo de un micoplasma favorecido por variaciones de la intensidad luminosa y temperatura del agua.

La *clorosis* de los talos de *U. pinnatifida* es una alteración fisiológica importante, ligada a unas determinadas condiciones de luz y temperatura, que limita el cultivo de la especie en períodos tardíos.

Otra patología común es la aparición de *punteaduras* o *perforaciones* sobre la fronde, en especial sobre las partes apicales (más viejas y degradadas), que son producidas por el ataque de copépodos. HO & HONG (1988), PARK *et al.* (1990) y RHO *et al.* (1993) estudian los ataques de copépodos sobre los cultivos de *U. pinnatifida* en Corea, encontrando como más frecuentes diversas especies de copépodos harpaticoides

(Thalestridae); en nuestros cultivos el más abundante fue *Jassa falcata* (Montagu). Estas perforaciones llegan a producir importantes mermas en la producción y en la calidad comercial del producto. La presencia de copépodos en los cultivos de Arousa se detectó en la primera quincena de marzo de 1994, siendo máxima la abundancia en la segunda quincena de abril y mínima a finales de mayo. En Baiona el número de copépodos encontrados es despreciable, en comparación con el de Arousa. Esta diferencia puede ser debida a las condiciones de los parques de cultivo (el de Arousa está en una situación bastante protegida y con elevada sedimentación). La sedimentación se ve magnificada por la presencia de bateas de cultivo de mejillón en las inmediaciones, por lo que los depósitos de pseudoheces sobre las láminas son muy notorios. El parque de Baiona presenta una mayor hidrodinamia y reducida sedimentación. Según PEREZ *et al.* (1992) existe una relación directa entre el acúmulo de detritos orgánicos sobre la fronde de *U. pinnatifida* y la presencia de copépodos.

Finalmente, aunque no apareció en los cultivos realizados, hay que considerar que se ha hallado el endófito *Gononema aecidioides* (Rosenvinge) Pedersen en las comunidades naturales de *U. pinnatifida* de la ría de Arousa (cf. VEIGA *et al.*, 1997), como novedad para las costas de la Península Ibérica. Esta pequeña alga parda es parásita de diversas laminariales, desarrollando sobre las superficie de éstas manchas pardo-oscuras de hasta 2cm de diámetro. Las zonas afectadas acaban siendo más gruesas y arrugadas que las contiguas y pueden perforarse centrifugamente por podredumbre de los tejidos; algunos cultivos japoneses resultan afectados por esta especie (cf. YOSHIDA & AKIYAMA, 1977).

### Factores que influyen en la viabilidad y crecimiento de *U. pinnatifida* en cultivo

#### *Cultivo en el laboratorio*

Los estudios de acilatación de la técnica europea original (PEREZ *et al.*, 1992) han permiti-

do eliminar la fase de adaptación térmica de las zoósporas, las cuales inician su desarrollo después de 24h de reposo. De la misma manera, el período de gametogénesis puede ser eliminado si se mantienen lotes de gametófitos en cultivo en *free-living* a 22°C e iluminación de 30µmol/m<sup>2</sup>s. Bajo estas condiciones se produce una maduración natural de los gametófitos que permite la siembra directa del *free-living* en los colectores.

#### *Diseño de los colectores de semilla*

Se han apreciado diferencias significativas en el empleo de uno u otro tipo de colector para la realización de la siembra de los gametófitos de *U. pinnatifida*. El colector de marco coreano o marco cuadrado es simple y de bajo coste, pero resulta lenta y tediosa la tarea de encordado sobre el cabo portador. El colector de tubo de P.V.C. de 50cm de largo y 12cm de diámetro, con capacidad para 50m de hilo de siembra, utilizado en Francia por el IFREMER, presenta la ventaja de ser más fácil el encordado helicoidal sobre el cabo portador y reduce los daños a la semilla por manipulación. Sin embargo, la nebulización de gametófitos no es total en el hilo de siembra, al quedar una parte de éste en contacto con la superficie del cilindro, problema que se acentúa cuando el encordado se realiza muy denso (para reducir costes de producción) y las vueltas del hilo contactan unas con otras. Esto influye en la rotura de plántulas que comparten vueltas contiguas (cuando se realiza la resiembra en las cuerdas portadoras), en la uniformidad del cultivo en el mar y en la aparición, en las zonas no sembradas, de especies oportunistas no deseadas y que entran en competencia con *U. pinnatifida*.

Partiendo de un colector cilíndrico que permitiera el paso del cabo portador por su interior y que mantuviese separados los hilos de siembra, para evitar que los hapterios de fijación de *Undaria* engloben a los hilos vecinos, se diseñó un colector experimental. Éste consta de un cilindro constituido por un entramado metálico plastificado (Fig. 3G) sobre el que se dispone el hilo de siembra en vueltas separadas. Este colec-

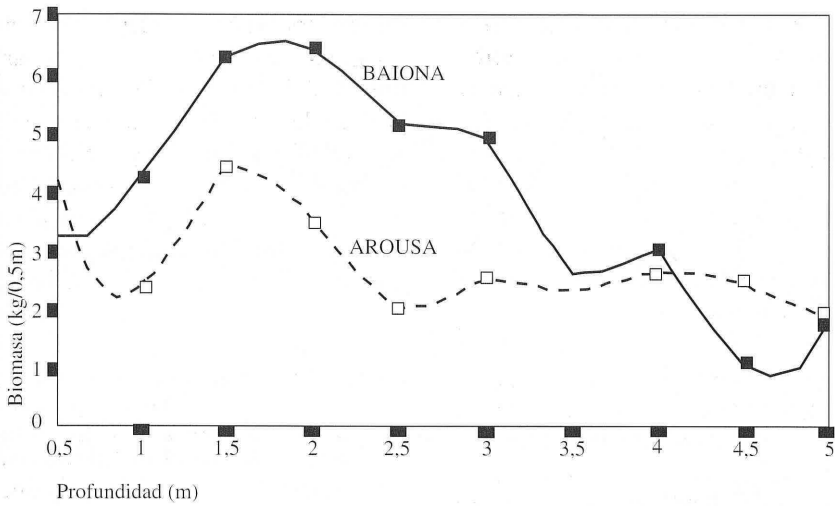


Fig. 10. Relación entre la biomasa obtenida y la profundidad del cultivo en el mar, para Arousa y Baiona, en cultivo en cuerda vertical.

tor tiene la ventaja de que facilita una siembra completa y uniforme, un mejor reparto de la hidrodinamia, evita en gran medida los fenómenos de sedimentación y aumenta la resistencia al epifitismo y patologías.

#### Zona y profundidad de cultivo

Aunque sólo se han realizado experimentos en dos zonas diferentes, se han podido obtener algunas conclusiones sobre la elección adecuada de la zona de cultivo. En general, *U. pinnatifida* es una especie que prefiere un grado de hidrodinamia medio y valores de iluminación, fotoperíodo y temperatura relativamente bajos. Estas condiciones pueden orientar en la elección de la zona de cultivo. Es importante señalar que la mayoría de las condiciones óptimas de cultivo pueden encontrarse en muchas zonas si se combina con otros factores, como son la época de introducción en el mar (que afecta a la hidrodinamia, luz, fotoperíodo y temperatura del medio), así como la profundidad del cultivo (que afecta a la iluminación y temperatura).

Un inconveniente adicional es la negativa influencia que puede llegar a tener la presencia

de otros cultivos marinos en las inmediaciones del cultivo, en particular bateas de mejillón. Los inconvenientes son debidos a que en estas áreas hay un mayor reclutamiento de las especies del *fouling* (estas estructuras actúan como reservorios) y un mayor grado de sedimentación (pseudoheces), que pueden exacerbar los ataques por copépodos u otros parásitos. Este inconveniente parece ser recíproco, ya que *U. pinnatifida* y otras especies producen una serie de compuestos capaces de repeler la fijación de larvas de mitílidos (KATSUOKA *et al.*, 1990), por lo que la alternativa del policultivo de ambas especies no parece tener un buen futuro.

Los experimentos realizados con una misma generación introducida en el mar en la misma fecha (2ª generación de los experimentos realizados en 1993-94), pero en dos localidades diferentes (Arousa y Baiona), muestran que, tras los mismos períodos de tiempo, en Baiona se obtiene en el cultivo en cuerdas verticales una producción siempre superior a la obtenida en Arousa (Fig. 10). La causa de que los cultivos de Baiona dieran mejores resultados que los de Arousa no está demostrada, pero muy probablemente sea

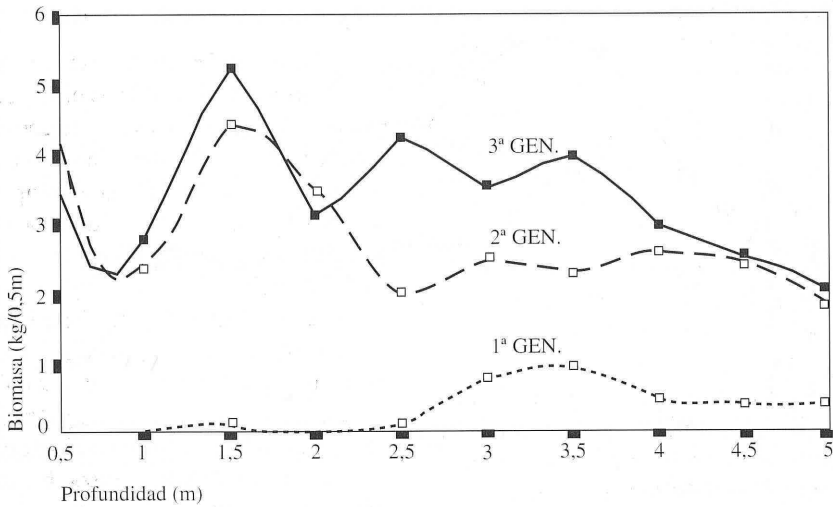


Fig. 11. Relación entre la biomasa obtenida en el tiempo en Arousa, para tres generaciones o períodos de inmersión en el mar en cuerdas verticales.

debido a que la primera localidad es más oceánica y en ella el hidrodinamismo es más acusado, a la vez que la temperatura del agua durante el período de cultivo fue, como media, entre 1-2°C inferior.

Como muestra esta misma gráfica, y como se observó en los estudios de producción, la profundidad óptima de cultivo en nuestras costas está comprendida entre 1,5 y 2m. De esta manera, el establecimiento del *long-line* a una profundidad de 1,5 m [1m en los cultivos franceses, cf. PEREZ *et al.* (1992)], ha permitido trabajar con datos de producción cercanos al óptimo del cultivo y, además, paliar los efectos negativos de la competición con otras especies, más abundantes en el primer metro de profundidad.

*Época de introducción en el mar y tiempo de recolección*

De todas las generaciones cultivadas para el ensayo de optimización en el tiempo (octubre, diciembre y febrero), la segunda y tercera (diciembre y febrero) han dado los resultados más positivos (Fig. 11). El escaso rendimiento de la primera (octubre) fue debido a fenómenos de

*fouling*, mientras que la segunda y tercera tuvieron resultados semejantes en biomasa. La elección de fechas relativamente tardías para la introducción del cultivo en el mar tiene la ventaja de que los pequeños talos encuentran menos competencia con otros organismos en su período más vulnerable, manteniendo unas bajas tasas de crecimiento en los meses más fríos y desfavorables y alcanzando rápidamente la talla comercial en el mes o mes y medio siguiente, época coincidente con un incremento notable del fotoperíodo.

Una vez que los talos de *U. pinnatifida* están completamente formados, y antes de que sean fértiles, es el momento óptimo para efectuar la recogida de la producción, ya que, aunque el crecimiento no se paraliza totalmente, se produce una degeneración rápida de la lámina que comienza por el ápice. De esta de forma, aunque el peso de los ejemplares puede seguir aumentando, este incremento es debido fundamentalmente al engrosamiento del estipe y el desarrollo de los esporófilos, partes del alga con menor valor comercial, y no a una mayor talla y, por lo tanto, superficie de lámina, parte de mayor valor económico.

En la Fig. 11, en la que para cada generación se representan las biomásas obtenidas en la quincena en que el cultivo tuvo mayor calidad comercial, queda de manifiesto que la época de inicio de cultivo tiene una influencia notoria en la tasa de crecimiento y el tamaño de los ejemplares maduros. Cuanto más temprana sea la introducción en el mar, más tardíamente se obtienen las biomásas máximas. La mayor biomasa comercial se obtiene en las introducciones de octubre, a los 5 meses de cultivo, a los 4,5 en las de diciembre y a los 3,5 en las de febrero. Este adelanto que sufre el tiempo de recolección es obligado por la paulatina precocidad reproductora originada por el acusado aumento de la temperatura y, sobre todo, de la luz y fotoperíodo.

A la vista de estos resultados podría pensarse que es mejor realizar siembras tardías, pero esto no es cierto ya que la biomasa útil y, sobre todo, la calidad de la producción obtenida, es mayor cuanto más tiempo se tarda en alcanzar el momento de su recolección. Esto hace que aunque los datos de biomasa de la segunda y tercera generación sean semejantes, incluso superiores en la última, haya diferencias notables en la calidad de la producción. La tercera generación (febrero), debido a un sinérgismo entre alta temperatura y elevado fotoperíodo, sufrió una maduración precoz (que exagera los datos de biomasa) y una marcada clorosis y debilidad de sus láminas. Este desarrollo anómalo se repitió en las siembras realizadas durante el segundo año de los experimentos de cultivo en mar, siembras que, por diversos imponderables, se retrasaron también hasta el mes de febrero (Tabla II).

En conclusión, el cultivo de *U. pinnatifida* en Galicia debe comenzar preferiblemente en una época temprana (octubre-diciembre); sin embargo, hay que tomar medidas para que el implante inicial, si es muy temprano, no sufra daños por el ataque de especies competidoras de alto reclutamiento, ya que en el otoño suele haber un fuerte incremento de las mismas.

### *Diseño de los sistemas de cultivo*

La instalación, en Arousa, de un cultivo en conducción vertical y horizontal, en el mismo período de tiempo, permitieron obtener datos significativos de la distribución de la población en ambos sistemas de cultivo y comparación, con vistas a una optimización, de la producción obtenida en cada uno de ellos.

*Cuerdas verticales:* En este sistema de cultivo, la producción por tramos a lo largo del gradiente vertical es muy variable: desde mínima en profundidad, a máxima entre 1,5 y 2m de profundidad (Figs. 10, 11). La escasa biomasa obtenida a partir de 3,5m, debida al ensombrecimiento que producen los tramos anteriores, se suele incrementar de nuevo a partir de los 4m de profundidad.

Estas variaciones en el desarrollo de los ejemplares conlleva también una heterogeneidad del cultivo en cuanto a la distribución de tallas (Fig. 13).

*Long-line:* En este sistema de cultivo, tanto la producción por tramos como las clases de talla presentan una mayor homogeneidad (Figs. 12, 13). Esta homogeneidad es debida a que no existe un gradiente vertical que condicione diferencias entre tallas, estando las oscilaciones correlacionadas únicamente con el tiempo que lleva creciendo el cultivo. A diferencia de lo que sucedía en las cuerdas verticales, a partir de los cuatro meses y medio se produce un descenso acusado de las frecuencias de tallas grandes (Fig. 13) y una dispersión de tallas muy inferior, consecuencia de la acusada sincronía del cultivo en *long-line*.

La secuencia de producción de biomasa útil es el doble de la obtenida por cultivo en cuerdas verticales, debido a sus nulas fluctuaciones entre tramos considerados (Figs. 12, 14). Al igual que en ellas, se obtiene el máximo de producción comercial a los cuatro meses y medio de inmersión (Fig. 15).

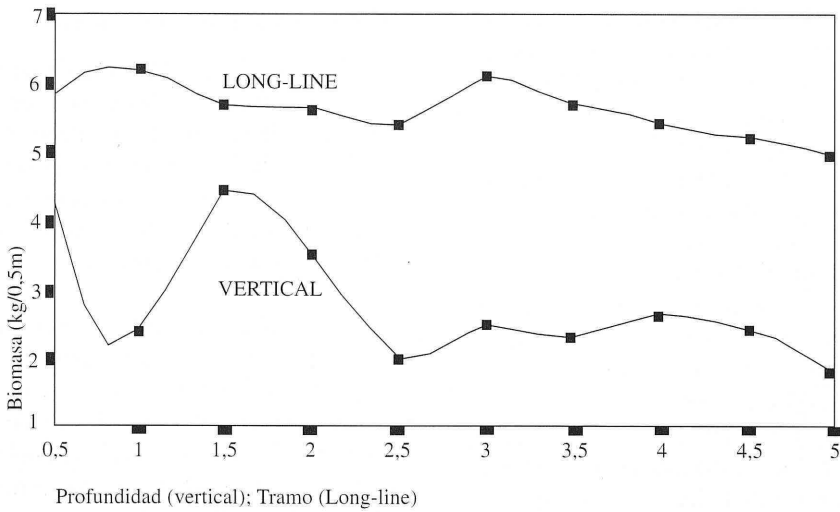


Fig. 12. Relación entre la biomasa obtenida en el tiempo, en función de la profundidad, para el sistema de conducción en vertical y en *long-line*.

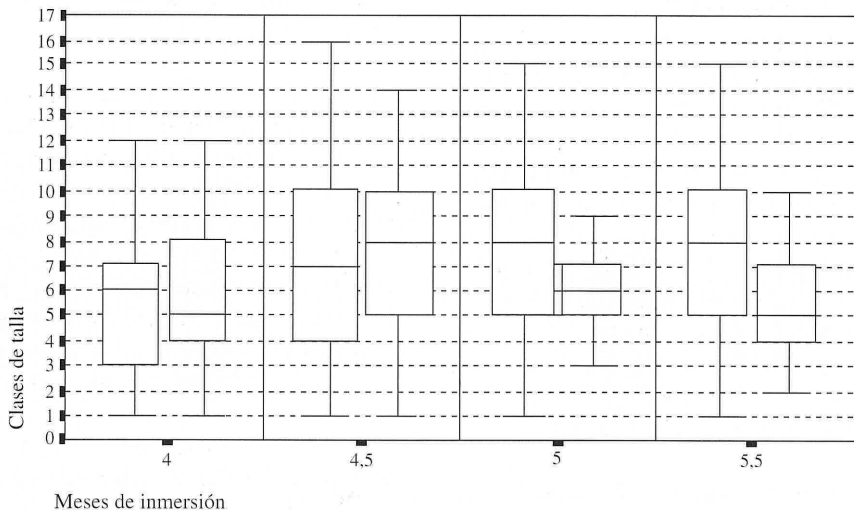


Fig. 13. Distribución de las clases de tallas en cuartiles, desde 4 a 5,5 meses de cultivo en el mar, para cuerdas verticales (izquierda) y en *long-line* (derecha).

En conclusión, se puede afirmar que en el momento de recogida de la segunda generación (4,5 meses) para la conducción en cuerdas horizontales, se obtiene una producción muy constante en todos los tramos que casi duplica la

media de producción de las cuerdas verticales, y, además, la distribución de tallas es muy homogénea y con mayor número de individuos de tallas comerciales en comparación con las cuerdas verticales.

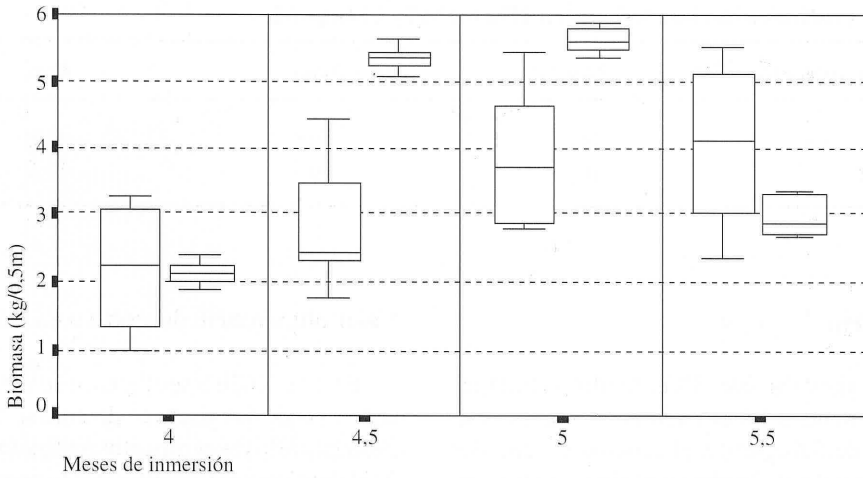


Fig. 14. Distribución de las clases de biomasa en cuartiles, desde 4 a 5,5 meses de cultivo en el mar, para cuerdas verticales (izquierda) y en *long-line* (derecha).

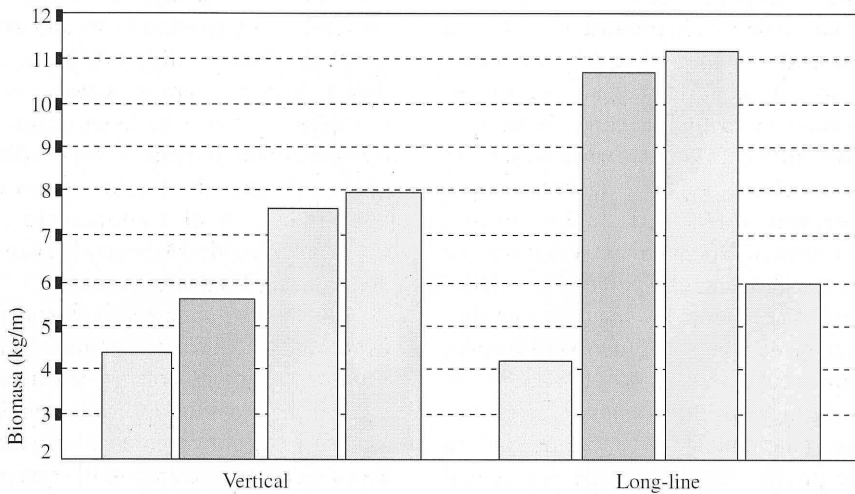


Fig. 15. Biomasa obtenida, desde 4 a 5,5 meses por metro lineal de cultivo, para el sistema de conducción vertical y en *long-line* (en kg/m de cuerda).

Por otra parte, el sistema de conducción en cuerdas verticales presenta, frente al sistema en *long-line*, una mayor dificultad de manejo a la hora del implante de los cabos y en el momento de la cosecha, teniendo sólo como ventajas el

poder usar zonas no aptas para el establecimiento de un *long-line*, permitir la cómoda navegación entre las boyas y diversificar riesgos de pérdida de cuerdas por imponderables (accidentes, robos, etc.).

TABLA III. Producción obtenida en la conducción vertical y en *long-line*

Tipo de conducción	Mín.	Med.	Máx
Vertical	3,5	5,6	9,9
<i>Long-line</i>	10,1	10,7	11,2

## Producción

La producción obtenida en los diversos experimentos tiene un valor máximo medio en peso húmedo de 5,6kg/m en el sistema de cuerdas verticales y de 10,7kg/m en el sistema en *long-line* (Tabla III), siendo siempre claramente superiores para una misma época de introducción y localidad, los valores obtenidos en el sistema de conducción en *long-line* frente a los de las cuerdas verticales. Además, la producción obtenida en *long-line* es de mayor calidad, debido a la gran homogeneidad de tallas (lo que facilita el procesado industrial de la producción), frente a la obtenida del cultivo en cuerdas verticales. En el *long-line*, en el momento de la recolección, aproximadamente el 80% de los individuos tienen talla comercial (70cm o más), mientras que en las cuerdas verticales este porcentaje se reduce hasta un 50%. Las grandes fluctuaciones en la producción son debidas sobre todo a fallos en las primeras fases del cultivo en mar, fenómenos de competencia interespecífica de los componentes del *fouling*, o un implante en el mar demasiado tardío que provoca fenómenos de precocidad reproductiva y clorosis laminar.

En Galicia se obtienen unas producciones análogas a las de los actuales países productores, como por ejemplo Francia (PÉREZ *et al.*, 1992); no obstante, esta producción podría ser sensiblemente mejorada realizando estudios de optimización del cultivo, en particular aquellos encaminados a investigar los procesos de aclimatación de la semilla, prevención del *fouling*, introducción temprana en el mar, cultivos en localidades más idóneas, selección clonal, etc.

## Valor alimentario del cultivo en Galicia

Para los análisis se eligieron 10 individuos en cada uno de los parques de cultivo (Arousa y Baiona), de los experimentos realizados en 1993-94, seleccionando aquellos que se encontraban a una profundidad de 1,5 metros, con un tamaño comercial considerado como óptimo y tras un tiempo de cultivo de 4,5 meses. Los ejemplares fueron cortados a la altura de los hapterios y sometidos a un proceso de secado mediante aire templado durante 48 horas, hasta alcanzar un contenido de agua aproximado de un 14%. Cada ejemplar fue fraccionado en cuatro partes, correspondientes a lámina, esporófilo, estipe y nervio, obteniendo 4 submuestras que fueron analizadas en el Laboratorio Agrario y Fitopatológico de Mabegondo (Consellería de Agricultura, Xunta de Galicia).

Los análisis muestran valores similares en cuanto al contenido de proteínas, fibra, glúcidos, lípidos y minerales, con respecto a los valores de referencia obtenidos por cultivo en Francia (Tabla IV). En cuanto al contenido en metales pesados, únicamente se analizó el contenido en cromo presente en las muestras, ya que este metal es uno de los principales contaminantes de la Ría de Arousa (REAL *et al.*, 1993), de forma que al encontrarse en valores tan reducidos (tanto en los ejemplares de Arousa como los de Baiona), indica que la absorción de este metal por parte de los ejemplares de *U. pinnatifida* cultivados en ambas zonas es despreciable. Sin embargo, algunos autores han visto que esta especie puede ser útil para extraer del medio marino algunos metales pesados especialmente perniciosos, en particular el plomo (cf. KIM *et al.*, 1995).

TABLA. IV. Análítica del valor alimentario de *Undaria pinnatifida* en Galicia

Determinaciones realizadas	Láminas			Esporófilo		Estipes y Nervio medio	
	Arousa	Baiona	Ouessant	Arousa	Baiona	Arousa	Baiona
Materia seca %	86,88	87,52	91	89,06	89,61	90,78	91,31
Cenizas % s/s	29,63	33,04	25-30	34,34	35,5	48,34	49,14
Proteína bruta % s/s	23,3	22,21	22-25	14,03	15,55	8,5	7,76
Fibra bruta % s/s	5,73	5,5	4,5-6	4,25	3,8	7,28	6,95
Glúcidos solubles	42	37,56	39-46	41,52	39,08	34,68	35,24
Grasa bruta % s/s	1,63	1,33	1-3	5,86	6,07	1,2	0,91
P % s/s	0,46	0,44		0,31	0,43	0,18	0,20
CA % s/s	1	0,96		0,65	0,69	0,71	0,72
Mg % s/s	1,94	1,93		1,13	1,2	1,12	1,29
K % s/s	4,8	3,6		2,85	3,06	4,51	3,36
Na % s/s	4,62	5,79		3,54	3,51	4,8	6,47
Cu (ppm) s/s	6	5		8	2	2	inap
Fe (ppm) s/s	326	322		251	233	113	71,50
Zn (ppm) s/s	28	22		11	12	9	7,50
Mn (ppm) s/s	30	15		9	12	9	5,50
Cr (ppm) s/s	1	3		1	2	inap	inap

La analítica de diferentes partes del talo (Tabla IV) ilustra diferencias en cuanto al valor nutritivo, destacando la lámina como la parte del talo con mejores características alimenticias al presentar un contenido de proteína y fibras más elevado y un menor contenido en grasa bruta, siendo el esporófilo la parte del talo con mayor contenido en grasa bruta.

## AGRADECIMIENTOS

El equipo investigador quiere agradecer a la dirección y personal del Instituto Galego de Formación en Acuicultura (IGafa, Xunta de Galicia) de la Isla de Arousa su colaboración al poner a nuestra disposición todos los medios necesarios para realizar este trabajo especialmente a Ricardo Figueiro y a Emilio Muñiz, el interés demostrado desde el primer momento por este estudio y su inestimable ayuda.

Este trabajo ha sido financiado por la Consellería de Pesca, Marisqueo e Acuicultura (Xunta de Galicia) y JACUMAR, mediante convenio de colaboración de la Universidad de Santiago de Compostela con la citada Consellería y el Instituto Español de Oceanografía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, B.W., LEE, D.H., YEO, S.G., KANG, J.H., DO, J.R., KIM, S.B. & PARK, Y.H. (1993). Inhibitory action of natural food components on the formation of carcinogenic nitrosamine. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **26**(4): 289-295.
- ARASAKI, T., ARASAKI, S., MINO, N. & KURODA, M. (1983). The proteine value in human nutrition of edible seaweeds. *Proc. 11th Inter. Seaweed Symp.*: 513-517.
- BOUDOURESQUE, C.F., GERBAL, M. & KNOEPFFLER-PEGUY, M. (1985). L'algue japonaise *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) en Méditerranée. *Phycologia*, **24**(3): 364-366.

- CASTRIC-FEY, A., GIRARD, A. & L'HARDY-HALOS, M.T.H. (1993). The distribution of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae, Laminariales) on the coast of St. Malo (Brittany, France). *Botanica Marina*, **36**: 351-358.
- CREMADES UGARTE, J. (1995). A introducción de algas mariñas alóctonas nas costas de Galiza. *Cerna*, **16**: 12-15.
- CURIEL, D., RISMONDO, A., MARZOCCHI, M. & SOLAZZI, A. (1994). *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Laminariales, Phaeophyta) nella laguna di Venezia. *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat.*, **19**: 121-126.
- GRIZEL, H. & HERAL, M. (1991). Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). *J. Cons. Ciém.*, **47**(3): 399-403.
- HAY, C.H. (1990). The dispersal of sporophytes of *Undaria pinnatifida* by coastal shipping in New Zealand, and implications for further dispersal of *Undaria* in France. *Br. Phycol. J.*, **25**(4): 301-313.
- HO, J.S. & HONG, J.S. (1988). Harpacticoid copepods (Thalestridae) infesting the cultivated Wakame (brown alga, *Undaria pinnatifida*) in Korea. *J. Nat. Hist.*, **22**(6): 1623-1637.
- KATSUOKA, M., OGURA, C., ETOH, H., SAKATA, K. & INA, K. (1990). Galactosyl and sulfoquinovosil-diacylglycerols isolated from the brown algae, *Undaria pinnatifida* and *Costaria costata* as repellents of the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Agric. Biol. Chem.*, **54**(11): 3043-3044.
- KIM, S.B., AHN, B.W., YEUM, D.M., LEE, D.H., PARK, Y.H. & KIM, D.S. (1987). Degradation of carcinogenic nitrosamine formation factor by natural food components. 2. Nitrite-scavenging effects of seaweed extracts. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **20**(5): 469-475.
- KIM, Y.H., YOO, Y.J. & LEE, H.Y. (1995). Characteristics of lead adsorption by *Undaria pinnatifida*. *Biotechnol. Lett.*, **17**(3): 345-350.
- LI, T., DING, M., LIU, J. & NIE, L. (1995). Studies on the nutrition of *Haliotis discus hannai* and its diets. *Mar. Sci. Haiyang Kexue*, **1**: 52-57.
- OHIGASHI, H., SAKAI, Y., YAMAGUCHI, K., UMEZAKI, I. & KOSHIMIZU, K. (1992). Possible anti-tumor promoting properties of marine algae and in vivo activity of wakame seaweed extract. *Biosci., Biotechnol., Biochem.*, **56**(6): 994-995.
- OHKAWA, I. & SUZUKI, T. (1993). Desmutagenic effects of various marine algae used as foodstuffs in Japan. *J. Food. Hyg. Soc. Japan*, **34**(2): 120-127.
- OKAI, Y., HIGASHI-OKAI, K. & NAKAMURA, S. (1993). Identification of heterogenous antimutagenic activities in the extract of edible brown seaweeds, *Laminaria japonica* (Makonbu) and *Undaria pinnatifida* (Wakame) by the umu gene expression system in *Salmonella typhimurium* (TA1535/pSK1002). *Mutat. Res.*, **303**(2): 63-70.
- PARK, T.S., RHO, Y.G., GONG, Y.G. & LEE, D.Y. (1990). A harpacticoid copepod parasitic in the cultivated brown alga *Undaria pinnatifida* in Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **23**(6): 439-442.
- PEREZ, R., KAAS, R. & BARBAROUX, O. (1984). Culture expérimentale de l'algue *Undaria pinnatifida* sur les côtes de France. *Sci. Pêche*, **343**: 3-15.
- PEREZ, R., KAAS, R., CAMPELLO, F., ARBAULT, S. & BARBAROUX, O. (1992). *La culture des algues marines dans le Monde*. Service de la Documentation et des Publications (SDP). IFREMER - Centre de Brest. Francia.
- PEREZ, R., LEE, J.Y. & JUGE, C. (1981). Observations sur la biologie de l'algue japonaise *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar introduite accidentellement dans l'étang de Thau. *Sci. Pêche*, **315**: 1-12.
- REAL, C., BARREIRO, R. & CARBALLEIRA, A. (1993). Heavy metal mixing behaviour in estuarine sediments in the Ría de Arousa (NW Spain). Differences between metals. *Sci. Tot. Environ.*, **128**: 51-67.
- RHO, Y.G., GONG, Y.G., LEE, D.Y., CHO, Y.C. & JANG, J.W. (1993). On the parasitic copepod (Harpacticoida) in the cultivated brown alga, *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar. *Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Agency Korea*, **47**: 197-210.
- RISMONDO, A., VOLPE, S., CURIEL, D., HELMAN, P., MARZOCCHI, M. & SOLAZZI, A. (1994). Osservazioni preliminari su *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, recentemente segnalata a Chioggia (Laguna di Venezia). *Biol. Mar. Medit.*, **1** (1): 377-378.
- SANDERSON, J.C. & BARRETT, N. (1989). A survey of the distribution of the introduced Japanese macroalga *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar in Tasmania, December 1988. *Tech. Rep. Mar. Lab. Dep. Sea Fish. Tasm.*, **38**: 35 pp.
- SANTIAGO CAAMAÑO, J., DURÁN NEIRA, C. & ACUÑA CASTROVIEJO, R. (1990). Aparición de *Undaria pinnatifida* en las costas de Galicia (España). Un nuevo caso en la problemática de introducción de especies foráneas. *Informes técnicos del C.I.S.*, **3**.
- VEIGA, A.J., CREMADES, J. & BÁRBARA, I. (1997). *Gononema aecidioides* (Ectocarpaceae), un nuevo feófita para la Península Ibérica. *Anales Jard. Bot. Madrid*, **55**(1): 155-156.
- WU, C.Y., CHEN, D. & LI, J. (1983). On the diseases of cultivated *Laminaria japonica*. In: Tseng, C.K. (Ed.), *Proceedings of the Joint China-U.S.*

- Phycology Symposium*: 211-220. Science Press, Beijing, China.
- YAMANAKA, R. & AKIYAMA, K. (1992). Cultivation and utilization of *Undaria pinnatifida* (wakame) as food. *J. Appl. Phycol.*, **5**(2): 249-253.
- YI, Y.H. & CHANG, Y.J. (1994). Physiological effects of sea mustard supplement diet on the growth and body composition of young rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **27**(1): 69-82.
- YOSHIDA, T. & AKIYAMA, K. (1977). *Streblonema* (Phaeophyceae) infection in the frond of cultivated *Undaria* (Phaeophyceae). *Proc. 9th Int. Seaweed Simp.*: 219-223.