

## ***Ulva* spp. (Ulvales, Chlorophyta) en sistemas de acuicultura multitrófica integrada en recirculación**

J. Cremades<sup>1</sup>, J. Pintado<sup>2</sup>, J. Oca<sup>3</sup>, A. Alamrousi<sup>1</sup>, P. Ruiz<sup>2</sup>, I. Masaló<sup>3</sup>, L. Reig<sup>3</sup> y P. Jimenez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo BioCost, Facultad de Ciencias y Centro de Investigaciones Científicas Avanzadas (CICA), Universidad de A Coruña. Campus da Zapateira s/n, 15071 A Coruña. E-mail: javier.cremades@udc.es

<sup>2</sup>Instituto de Investigacións Mariñas (IIM - CSIC). Eduardo Cabello 6, 36208 Vigo.

<sup>3</sup>Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH. Esteve Terrades 8, 08860 Castelldefels.

### **Abstract**

The seaweeds have a key role in the integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) for being the only organisms capable of extracting inorganic nutrients such as CO<sub>2</sub>, nitrates and phosphates that tend to accumulate in these systems, especially those working in water recirculation. In this communication the green algae of the genus *Ulva* as a study model for the development of these techniques are described from the point of view of its hydrodynamic behavior, ecophysiological requirements, chemical composition, nutritional and potentially probiotic properties due to microbial biofilms that developed from them.

### **Resumen**

Las macroalgas marinas tienen un papel fundamental en la acuicultura multitrófica integrada (AMTI) por ser los únicos organismos capaces de extraer nutrientes inorgánicos como el CO<sub>2</sub>, nitratos y fosfatos que tienden a acumularse en estos sistemas, sobre todo en aquellos que trabajan en recirculación de agua. En la presente comunicación se describen las algas verdes del género *Ulva* como modelo de estudio para el desarrollo de este tipo de técnicas tanto desde el punto de vista de su comportamiento hidrodinámico, requerimientos ecofisiológicos, composición química, propiedades nutricionales y potencialmente probióticas debidas a las biopelículas microbiana que se desarrollan sobre ellas.

### **Justificación**

La acuicultura multitrófica integrada en sistemas de recirculación de agua es una de las más prometedoras líneas de investigación y desarrollo hacia la diversificación y sostenibilidad de la acuicultura. En ella además es un pilar fundamental el uso de macroalgas ya que estas son las únicas capaces de retirar del sistema los nitratos y fosfatos que tienden a acumularse. Por otra parte, no todas las algas tienen las mismas aplicaciones en estos sistemas y, entre ellas, las especies de *Ulva* (Ulvales, Chlorophyta) por muchos de sus caracteres son quizá las más prometedoras. El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de las características genéricas e interespecíficas de las especies de *Ulva* para su empleo en este tipo de sistemas.

### **Material y métodos**

Para la elaboración de este trabajo se ha partido de un hipotético sistema final de cultivo integrado de lenguado (*Solea senegalensis*) y lechuga de mar (*Ulva* spp.) basado en la coincidencia de los requerimientos ecofisiológicos de ambos cultivos y del interés comercial del lenguado cuyo cultivo hoy en día se lleva a cabo enteramente en instalaciones en tierra. Se han utilizado tanto los antecedentes bibliográficos disponibles como los primeros resultados del proyecto IntegRAS financiado por el MINECO. Este proyecto tiene una perspectiva multidisciplinar que metodológicamente incluye tres grandes áreas de actuación: i) identificación molecular (rbcl), comportamiento en cultivo y calidad de la biomasa obtenida en distintas especies de *Ulva*, ii) aspectos de ingeniería relacionados con el diseño del sistema IMTA-RAS para el cultivo de *Ulva*, tales como el diseño de tanques, sistemas de movimiento de las algas, iluminación, densidades de cultivo y estrategias de renovación de agua, y iii) selección, identificación y colonización de la superficie de las algas con bacterias probióticas con antagonismo frente a patógenos de peces (*Vibrio anguillarum*) como estrategia de control bacteriano en sistemas AMTI con recirculación.

### **Resultados y discusión**

Hasta el momento se han identificado molecularmente y se está estableciendo el comportamiento en cultivo de 5 especies laminares de *Ulva*: *U. australis*, *U. fasciata*, *U. ohnoi*, *U. pseudocurvata* y *U. rigida*. Se han seleccionado especies laminares frente a tubulares por su mejor comportamiento hidrodinámico al no tener tendencia a la flotación ni a enredarse una con otras. Aunque todas estas especies pierden o alteran muchas de sus características diferenciales tendiendo a su convergencia morfológica al ser cultivadas en suspensión siguen manteniendo, sin embargo, características diferenciales anatómicas y de composición química bajo unas mismas condiciones de cultivo. Queda de manifiesto también que las especies de *Ulva* en sistemas muy cargados en nutrientes aumentan considerablemente su porcentaje en proteínas, lo que tiene una gran relevancia en la valorización de la biomasa obtenida para su uso en la alimentación animal o humana.

La tasa de crecimiento en cultivo tiene una gran variabilidad tanto inter como intraespecífica. Esta última está muy ligada a los fenómenos cíclicos de gametogénesis y esporulación, fenómenos que deben poder predecirse o controlarse y que nuestros resultados dejan de manifiesto que están muy ligados al estrés debido a los cambios ambientales (régimen de luz, pH, nutrientes, salinidad, temperatura).

Aparte de la influencia del sistema y velocidad de movimiento de las algas dentro de los tanques, parámetro de primer orden que está siendo estudiado desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica, uno de los parámetros

físicos que más influyen en la productividad es la calidad y cantidad de la luz en relación con la densidad de cultivo; por ello, se están haciendo experiencias para establecer los umbrales de saturación de luz para cada especie en la densidad óptima para una máxima producción neta.

En cuanto a los nutrientes la mayoría de las experiencias realizadas con *Ulva* están encaminadas a establecer la tasa de asimilación de amonio, lo que es lógico porque se trata casi siempre de sistemas abiertos, y son pocos los trabajos que estudian la asimilación de nitratos y fosfatos, que son los macronutrientes que tienden a acumularse en los sistemas cerrados. Menos datos se encuentran en la bibliografía en cuanto a los umbrales de tolerancia de las especies de *Ulva* para estos nutrientes. Nuestras experiencias indican que las especies de *Ulva* tienen una gran capacidad de asimilación y tolerancia frente a estos nutrientes, incluso en las altísimas concentraciones que suelen encontrarse en los sistemas de cultivo de peces en recirculación. Lo que sí puede ocurrir en estos sistemas son deficiencias en micronutrientes como el Fe y en oligoelementos que en estos sistemas pueden ser limitantes. En este momento estamos empezando a estudiar más en detalle estos aspectos ya que es posible que en la práctica deban ser suministradas formas de Fe y algunos oligoelementos como Mn, I, Br, Mo, Cu, Zn, o Co para su óptimo funcionamiento.

Desde el punto de vista bacteriológico nuestros resultados muestran que bajo las mismas condiciones de cultivo las distintas especies mantienen una biopelícula bacteriana cuantitativamente semejante pero cualitativamente distinta. En las poblaciones naturales de algunas de estas especies hemos podido aislar algunas bacterias con fuerte acción antagonista frente a *Vibrio anguillarum*. Se trata de especies *Pseudomonas* sp., *Agarivorans* sp., *Phaeobacter gallaeciensis* y *P. inhibens*. Estas últimas cepas de *Phaeobacter* serán utilizadas en los estudios futuros de colonización experimental. Estamos haciendo también experiencias para analizar las modificaciones de la biopelícula bacteriana natural tras distintos períodos de cultivo de la especie en suspensión y en función de la concentración de nutrientes del medio. Estos resultados serán muy útiles para establecer las estrategias de colonización futuras de las especies de *Ulva* con bacterias probióticas que ejerzan un control bacteriano en los sistemas AMTI con recirculación, disminuyendo la incidencia de enfermedades. Por otra parte las propiedades de la biopelícula que se genere en estas condiciones de cultivo podría tener también influencia en el valor nutricional de la biomasa de *Ulva* cosechada regularmente y, por tanto, en su uso para la alimentación animal o humana.

Todas estas experiencias dejan como conclusión que las algas verdes del género *Ulva* son un modelo de estudio de gran utilidad para la optimización de sistemas de acuicultura multitrófica integrada en recirculación y que además es preciso profundizar en el comportamiento concreto de las distintas especies, aunque morfológicamente muy similares, sin embargo, tienen un comportamiento en cultivo y valorización comercial muy distintas.

### **Agradecimientos**

Este trabajo es una contribución al proyecto: IntegRAS: "Optimización del diseño y manejo de sistemas de cultivo multitróficos en recirculación peces-macroalgas (AGL2013-41868-R)", financiado por el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 (MINECO).