



ALLIANCE™

<https://debug.globalseafood.org>

Aquafeeds

Estudiando el crecimiento de camarón en diferentes sistemas de biofloc

18 August 2016

By Andrew J. Ray, Ph.D. and Jeffrey M. Lotz, Ph.D.

Comparando sistemas basados en quimio-autótrofos y heterótrofos recibiendo diferentes fuentes de carbohidratos

Camarones y otros animales pueden ser cultivados en sistemas acuícolas de biofloc a altas densidades con poco recambio de agua. El bajo recambio de agua reduce la necesidad de agua de mar, aumenta la bioseguridad y conserva el calor. La tecnología de biofloc no depende de la filtración biológica externa, sino más bien en una comunidad microbiana densa que se desarrolla en la columna de agua. Una parte de esta comunidad está sobre y dentro del biofloc, que son partículas orgánicas pequeñas que consisten en excreciones, partículas de alimento, detritus y microbios, todos unidas por secreciones exo-poliméricas. La evidencia sugiere que los camarones pueden consumir estas partículas, así reciclando nutrientes y reduciendo potencialmente los costos de alimentación

Hay tres vías para la remediación de amoníaco en sistemas de biofloc: la asimilación de las algas, la oxidación bacteriana quimio-autotrófica, y la asimilación por bacterias heterótrofas. Estos procesos, según aplican a la acuicultura, se revisan en detalle por Ebeling et al. (2006). Las algas están limitadas en la cantidad de nutrientes que pueden asimilar, por lo que los sistemas intensivos de biofloc son típicamente dominados por bacterias (Brune et al., 2003).



Camarones blanco del Pacífico criados en sistemas de biofloc pueden consumir partículas de biofloc, reduciendo potencialmente los costos de alimentación mientras reciclan nutrientes.

Las bacterias heterótrofas utilizan carbono orgánico como fuente de energía y asimilan el nitrógeno para construir las proteínas celulares. Mediante la adición de carbohidratos al agua, la asimilación heterótrofa puede eliminar rápidamente el amoníaco. La asimilación bacteriana heterotrófica puede consumir el oxígeno disuelto (OD) a una tasa mayor que la nitrificación, y la población bacteriana debe expandirse para asimilar continuamente el amoníaco, resultando en una acumulación de sólidos en la columna de agua. Sin embargo, se ha sugerido que el uso de este método puede contribuir a un mejor crecimiento del camarón y a una mejor eficiencia de conversión del pienso.

En los sistemas de biofloc dominados por heterótrofos, la fuente de carbono añadido puede afectar la función del sistema o la producción animal. La sacarosa está fácilmente disponible en muchos mercados debido a su uso en productos alimenticios, se disuelve rápidamente en agua, y se ha demostrado con éxito que facilita la asimilación bacteriana de nitrógeno. La melaza es un sub-producto menos costoso del proceso de fabricación de sacarosa que puede ser una fuente de carbono

adecuada para estimular la asimilación heterótrofa. El glicerol es un sub-producto del proceso de fabricación de biodiesel, y se ha demostrado que ayuda a generar bioflocs potencialmente nutritivos que pueden ayudar a proteger a los animales de las infecciones bacterianas de *Vibrio harveyi*.

En este artículo se resume la parte de crecimiento del camarón de la publicación original en *Aquacultural Engineering* 63 (2014) 54-61. Este estudio evaluó las diferencias en función del sistema y la producción de camarón entre un sistema quimio-autotrófico dominado por la nitrificación, y tres sistemas dominados por heterótrofos que se establecieron y mantuvieron con el uso de sacarosa, melaza o glicerol.

Configuración del estudio

Este estudio se realizó en el Centro de Investigación de Acuicultura de la Universidad del Estado de Kentucky (Frankfort, KY EE.UU.), utilizando 16 tanques de fibra de vidrio de 500 L c/u y ubicados en un invernadero cubierto con dos capas de láminas de plástico transparente. Cada tanque se aireó con difusores de cerámica y un soplador regenerativo, y como este estudio se llevó a cabo durante el invierno, cada tanque tenía dos calentadores sumergibles eléctricos de 300 W. Al lado de cada tanque de cultivo de camarones había un recipiente cilíndrico de 15-L que se usó como una cámara de sedimentación. Un mecanismo de transporte de aire llevaba agua desde el tanque de cultivo de camarones a la cámara de sedimentación, donde la velocidad del agua se reducía a medida que fluía por un tubo de 5 cm de diámetro. El agua clarificada en la parte superior de la cámara fluía a través de otro tubo de nuevo al tanque de cultivo de camarones respectivo.

Postlarvas de camarón (*Litopenaeus vannamei*) de doce días de edad se obtuvieron de un proveedor comercial y se criaron en un raceway de 80 m³ a 100 camarones/m³ durante 75 días. El agua y los camarones utilizados para el estudio actual se obtuvieron de este raceway. Se utilizó esta agua debido a que contenía bioflocs (total de sólidos en suspensión = 326 mg/L), y contenía nitrato (6,5 mg NO₃-N/L), lo que indicaba que el proceso de nitrificación se había producido. El peso (\pm error estándar) de los camarones en el momento de la siembra para este estudio fue de 6,8 \pm 0,2 g. Cada tanque de cultivo de camarones recibió 500 L de agua del raceway fuente y 150 camarones para una densidad de población de 300 camarones/m³ o 150 camarones/m². Los camarones se cultivaron durante 56 días y fueron alimentados con una dieta comercial, hiper-intensiva. Se utilizaron redes para chequear ocasionalmente el alimento no consumido en los tanques. La cantidad de alimento no consumido, junto con el aumento de peso semanal y la temperatura, se utilizaron para ajustar las tasas de alimentación.

En el diseño experimental usado se ensayaron cuatro tratamientos. El tratamiento quimio-autotrófico (CA) tenía por objeto facilitar la función de las bacterias nitrificantes quimio-autotróficas añadiendo solamente alimento a los tanques. En los otros tres tratamientos, la adición regular de carbohidratos tenía como objeto estimular la asimilación de amoníaco por las bacterias heterótrofas. La sacarosa se añadió a un tratamiento heterótrofo (SA). La melaza se añadió a otro tratamiento heterótrofo (HM). El glicerol se añadió al tercer tratamiento heterótrofo (HG). Cada uno de los 4 tratamientos se asignaron al azar a 4 tanques replicados. Cada tipo de carbohidratos se añadió a los tanques heterótrofos dos veces por día, entre las alimentaciones. La relación C:N de los insumos (alimento y carbohidratos) fue de 22:1. Debido a que la única fuente de carbono orgánico en los tanques CA fue el alimento, la relación C:N de insumos agregados en esos tanques fue de 8,4:1.

Las cámaras de sedimentación se operaron en base a las mediciones de turbidez que mostraron ser un método eficaz de gestión por Ray et al. (2010a), y el caudal o tasa de flujo de cada uno fue de aproximadamente 5 L/min. La turbidez se midió cada mañana en cada tanque, y cuando la turbidez fue mayor que 150 NTU en un tanque, la cámara de sedimentación de ese tanque se hizo funcionar

hasta las 1700 h, y si la turbidez era mayor que 225 NTU en un tanque la cámara de sedimentación se operaba hasta la mañana siguiente. Cada tanque se hizo funcionar a una salinidad de 16 g/L y un volumen de 500 L. Para reemplazar la evaporación, se añadió agua municipal según fue necesario. Para reemplazar el volumen de agua eliminado con las cámaras de sedimentación, se añadió agua marina artificial limpia.

Para procedimientos más detallados sobre el diseño experimental – incluyendo análisis químicos, cálculos de demanda de oxígeno, y análisis estadísticos – favor referirse a la publicación original.



Vista de los tanques experimentales usados en el estudio.



Una de las cámaras de sedimentación usadas en el estudio para remover sólidos.

Resultados experimentales

En cuanto a la gestión de C:N, la sacarosa contenía 41 por ciento de C, la melaza contenía 24 por ciento de C, y el glicerol contenía 35 por ciento de C (pesos húmedos). El alimento contenía 44,4 por ciento de C, 5,3 por ciento de N, y 8,6 por ciento de humedad. Cada tanque de cultivo de camarones recibió 1.854 g de alimento durante todo el estudio y los tanques heterótrofos recibieron una cantidad

correspondiente de carbohidratos para igualar la relación C:N de 22:1 de los insumos. La alta proporción tenía la intención de garantizar la dominación de bacterias heterótrofas en esos sistemas. Las relaciones se calcularon en base al peso de los componentes añadidos a los sistemas de cultivo y el porcentaje de contenido de carbono y nitrógeno de los componentes (de alimentos y de la fuente de carbono).

Bajas temperaturas se registraron durante este estudio, especialmente temperaturas nocturnas bajas como se refleja en las mediciones de la mañana. La concentración de oxígeno, pH y salinidad todas se mantuvieron dentro de un rango aceptable para el crecimiento de *L. vannamei*.

En cuanto a la producción de camarón, la tasa de crecimiento media semanal de camarón \pm SEM fue de $0,7 \pm 0,1$ g/sem. en el tratamiento CA, $0,7 \pm 0,0$ g/sem. en el tratamiento SA, $0,3 \pm 0,2$ g/sem. en el tratamiento HM, y $0,6$ g/sem. en el tratamiento HG. No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la tasa de crecimiento entre ninguno de los tratamientos. La supervivencia media \pm SEM del camarón fue $45,2 \pm 3,6$ por ciento en el tratamiento CA, $53,2 \pm 8,9$ por ciento en el tratamiento SA, $21,6 \pm 7,1$ por ciento en el tratamiento HM, y $49,2 \pm 7,3$ por ciento en el tratamiento HG. No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la supervivencia entre los tratamientos, con la excepción de la supervivencia significativamente menor ($P < 0,05$) en el tratamiento HM en comparación con el tratamiento SA.

Las tasas de crecimiento y supervivencias del camarón en los tratamientos CA, HS y HG pudieran haber sido mejoradas si la temperatura hubiera sido más ideal durante el estudio. Tanto la tasa de crecimiento como la supervivencia fueron inaceptablemente bajas en el tratamiento HM. Las altas concentraciones de amoníaco en el tratamiento HM pueden haber contribuido a la pobre producción de camarón. Además, las rápidas caídas en la concentración de oxígeno después de la adición de melaza pueden haber dado lugar a algunas concentraciones letales de DO no detectadas. El rápido descenso de la concentración de OD también puede haber estresado al camarón, lo que podría haber contribuido a la mala producción. Además, la baja concentración de carbono en la melaza implica que hay una mayor concentración de los componentes no utilizables en esta fuente de carbohidratos. Componentes distintos de carbono pueden haber ensuciado el agua y contribuido a algo de contaminación.

La producción de camarón fue similar entre los tratamientos HS, HG y CA, sugiriendo la equivalencia potencial de estas estrategias de gestión. La adición de carbohidratos, el aumento de la demanda de oxígeno y el mayor volumen de sólidos generados en los tratamientos heterótrofos representan costos de operación que no fueron factores en el tratamiento quimio-autotrófico.

El agua de los tanques experimentales tomó diferentes colores en función del tratamiento.

Perspectivas

Los resultados de este estudio indican que la gestión de sistemas de biofloc para que funcionen de una manera quimio-autotrófica puede ser económicamente superior a la función heterotrófica. Sin embargo, las concentraciones de amoníaco y nitrito deben ser controladas cuidadosamente, especialmente durante las primeras semanas de funcionamiento de un sistema de biofloc-dominado quimio-autotróficamente. Opciones para mitigar los efectos de los compuestos tóxicos de nitrógeno deben ser exploradas, tal como agregar temporalmente una fuente de carbohidratos para elevar la relación C:N.

Cuando el agua se reutiliza para varios cultivos, lo cual es esencial para el cultivo del camarón tierra adentro, la concentración de nitrato aumentará. Esta acumulación de nitrato debe ser remediada, posiblemente a través de la desnitrificación. La realización de la desnitrificación en sistemas de biofloc presentará un costo añadido y este costo debe sopesarse frente a los de los sistemas dominados por heterótrofos. Ultimadamente, el nitrógeno, oxígeno y la dinámica de sólidos, así como las opciones de uso del agua a largo plazo deben ser consideradas con respecto a los métodos de gestión del sistema de biofloc.

Referencias disponibles del primer autor.

*Los lectores interesados en obtener más información sobre el crecimiento de camarón blanco del Pacífico en sistemas bajo techo pueden ver el video disponible **en YouTube** ([<https://debug.globalseafood.org/advocate/estudiando-el-crecimiento-de-camaron-en-diferentes-sistemas-de-biofloc/?headlessPrint...> 8/11](http://Comparando sistemas basados en quimio-autótrofos y heterótrofos recibiendo diferentes fuentes de carbohidratos Camarones blanco del Pacífico criados en sistemas de biofloc pueden consumir partículas de biofloc, reduciendo potencialmente los costos de alimentación mientras reciclan nutrientes. Camarones y otros animales pueden ser cultivados en sistemas acuícolas de biofloc a altas densidades con poco recambio de agua. El bajo recambio de agua reduce la necesidad de agua de mar, aumenta la bioseguridad y conserva el calor. La tecnología de biofloc no depende de la filtración biológica externa, sino más bien en una comunidad microbiana densa que se desarrolla en la columna de agua. Una parte de esta comunidad está sobre y dentro del biofloc, que son partículas orgánicas pequeñas que consisten en excreciones, partículas de alimento, detritus y microbios, todos unidas por secreciones exo-poliméricas. La evidencia sugiere que los camarones pueden consumir estas partículas, así reciclando nutrientes y reduciendo potencialmente los costos de alimentación Hay tres vías para la remediación de amoníaco en sistemas de biofloc: la asimilación de las algas, la oxidación bacteriana quimio-autotrófica, y la asimilación por bacterias heterótrofas. Estos procesos, según aplican a la acuicultura, se revisan en detalle por Ebeling et al. (2006). Las algas están limitadas en la cantidad de nutrientes que pueden asimilar, por lo que los sistemas intensivos de biofloc son típicamente dominados por bacterias (Brune et al., 2003). Las bacterias heterótrofas utilizan carbono orgánico como fuente de energía y asimilan el nitrógeno para construir las proteínas celulares. Mediante la adición de carbohidratos al agua, la asimilación heterótrofa puede eliminar rápidamente el amoníaco. La asimilación bacteriana heterotrófica puede consumir el oxígeno disuelto (OD) a una tasa mayor que la nitrificación, y la población bacteriana debe expandirse para asimilar continuamente el amoníaco, resultando en una acumulación de sólidos en la columna de agua. Sin embargo, se ha sugerido que el uso de este método puede contribuir a un mejor crecimiento del camarón y a una mejor eficiencia de conversión del pienso. En los sistemas de biofloc dominados por heterótrofos, la fuente de carbono añadido puede afectar la función del sistema o la producción animal. La sacarosa está fácilmente disponible en muchos mercados debido a su uso en productos alimenticios, se disuelve rápidamente en agua, y se ha demostrado con éxito que facilita la asimilación bacteriana de nitrógeno. La melaza es un sub-producto menos costoso del proceso de fabricación de sacarosa que puede ser una fuente de carbono adecuada para estimular la asimilación heterótrofa. El glicerol es un sub-producto del proceso de fabricación de biodiesel, y se ha demostrado que ayuda a generar bioflocs potencialmente nutritivos que pueden ayudar a proteger a los animales de las infecciones bacterianas de Vibrio harveyi. En este artículo se resume la parte de crecimiento del camarón de la publicación original en Aquacultural Engineering 63 (2014) 54-61. Este estudio evaluó las diferencias en función del sistema y la producción de camarón entre un sistema quimio-autotrófico dominado por la nitrificación, y tres sistemas dominados por heterótrofos que se establecieron y mantuvieron con el uso de sacarosa, melaza o glicerol. Configuración del estudio Este estudio se realizó en el Centro de Investigación de Acuicultura de la Universidad del Estado de Kentucky (Frankfort, KY EE.UU.), utilizando 16 tanques de fibra de vidrio de 500 L c/u y ubicados en un invernadero cubierto con dos capas de láminas de plástico transparente. Cada tanque se aireó con difusores de cerámica y un soplador regenerativo, y como este estudio se llevó a cabo durante el invierno, cada tanque tenía dos calentadores sumergibles eléctricos de 300 W. Al lado de cada tanque de cultivo de camarones había un recipiente cilíndrico de 15-L que se usó como una cámara de sedimentación. Un mecanismo de transporte de aire llevaba agua desde el tanque de cultivo de camarones a la cámara de sedimentación, donde la velocidad del agua se reducía a medida que fluía por un tubo de 5 cm de diámetro. El agua clarificada en la parte superior de la cámara fluía a través de otro tubo de nuevo al tanque de cultivo de camarones respectivo. Vista de los tanques experimentales usados en el estudio. Postlarvas de camarón (Litopenaeus vannamei) de doce días de edad se obtuvieron de un proveedor comercial y se criaron en un raceway de 80 m3 a 100 camarones/m3 durante 75 días. El agua y los camarones utilizados para el estudio actual se obtuvieron de este raceway. Se utilizó esta agua debido a que contenía bioflocs (total</i></p></div><div data-bbox=)*

de sólidos en suspensión = 326 mg/L), y contenía nitrato (6,5 mg NO₃-N/L), lo que indicaba que el proceso de nitrificación se había producido. El peso (\pm error estándar) de los camarones en el momento de la siembra para este estudio fue de $6,8 \pm 0,2$ g. Cada tanque de cultivo de camarones recibió 500 L de agua del raceway fuente y 150 camarones para una densidad de población de 300 camarones/m³ o 150 camarones/m². Los camarones se cultivaron durante 56 días y fueron alimentados con una dieta comercial, hiper-intensiva. Se utilizaron redes para chequear ocasionalmente el alimento no consumido en los tanques. La cantidad de alimento no consumido, junto con el aumento de peso semanal y la temperatura, se utilizaron para ajustar las tasas de alimentación. En el diseño experimental usado se ensayaron cuatro tratamientos. El tratamiento químico-autotrófico (CA) tenía por objeto facilitar la función de las bacterias nitrificantes químico-autotróficas añadiendo solamente alimento a los tanques. En los otros tres tratamientos, la adición regular de carbohidratos tenía como objeto estimular la asimilación de amoníaco por las bacterias heterótrofas. La sacarosa se añadió a un tratamiento heterótrofo (SA). La melaza se añadió a otro tratamiento heterótrofo (HM). El glicerol se añadió al tercer tratamiento heterótrofo (HG). Cada uno de los 4 tratamientos se asignaron al azar a 4 tanques replicados. Cada tipo de carbohidratos se añadió a los tanques heterótrofos dos veces por día, entre las alimentaciones. La relación C:N de los insumos (alimento y carbohidratos) fue de 22:1. Debido a que la única fuente de carbono orgánico en los tanques CA fue el alimento, la relación C:N de insumos agregados en esos tanques fue de 8,4:1. Las cámaras de sedimentación se operaron en base a las mediciones de turbidez que mostraron ser un método eficaz de gestión por Ray et al. (2010a), y el caudal o tasa de flujo de cada uno fue de aproximadamente 5 L/min. La turbidez se midió cada mañana en cada tanque, y cuando la turbidez fue mayor que 150 NTU en un tanque, la cámara de sedimentación de ese tanque se hizo funcionar hasta las 1700 h, y si la turbidez era mayor que 225 NTU en un tanque la cámara de sedimentación se operaba hasta la mañana siguiente. Cada tanque se hizo funcionar a una salinidad de 16 g/L y un volumen de 500 L. Para reemplazar la evaporación, se añadió agua municipal según fue necesario. Para reemplazar el volumen de agua eliminado con las cámaras de sedimentación, se añadió agua marina artificial limpia. Una de las cámaras de sedimentación usadas en el estudio para remover sólidos. Para procedimientos más detallados sobre el diseño experimental – incluyendo análisis químicos, cálculos de demanda de oxígeno, y análisis estadísticos – favor referirse a la publicación original. Resultados experimentales En cuanto a la gestión de C:N, la sacarosa contenía 41 por ciento de C, la melaza contenía 24 por ciento de C, y el glicerol contenía 35 por ciento de C (pesos húmedos). El alimento contenía 44,4 por ciento de C, 5,3 por ciento de N, y 8,6 por ciento de humedad. Cada tanque de cultivo de camarones recibió 1.854 g de alimento durante todo el estudio y los tanques heterótrofos recibieron una cantidad correspondiente de carbohidratos para igualar la relación C:N de 22:1 de los insumos. La alta proporción tenía la intención de garantizar la dominación de bacterias heterótrofas en esos sistemas. Las relaciones se calcularon en base al peso de los componentes añadidos a los sistemas de cultivo y el porcentaje de contenido de carbono y nitrógeno de los componentes (de alimentos y de la fuente de carbono). Bajas temperaturas se registraron durante este estudio, especialmente temperaturas nocturnas bajas como se refleja en las mediciones de la mañana. La concentración de oxígeno, pH y salinidad todas se mantuvieron dentro de un rango aceptable para el crecimiento de *L. vannamei*. En cuanto a la producción de camarón, la tasa de crecimiento media semanal de camarón \pm SEM fue de $0,7 \pm 0,1$ g/sem. en el tratamiento CA, $0,7 \pm 0,0$ g/sem. en el tratamiento SA, $0,3 \pm 0,2$ g/sem. en el tratamiento HM, y $0,6$ g/sem. en el tratamiento HG. No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la tasa de crecimiento entre ninguno de los tratamientos. La supervivencia media \pm SEM del camarón fue $45,2 \pm 3,6$ por ciento en el tratamiento CA, $53,2 \pm 8,9$ por ciento en el tratamiento SA, $21,6 \pm 7,1$ por ciento en el tratamiento HM, y $49,2 \pm 7,3$ por ciento en el tratamiento HG. No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en la supervivencia entre los tratamientos, con la excepción de la supervivencia significativamente menor ($P < 0,05$) en el tratamiento HM en comparación con el tratamiento SA. Las tasas de crecimiento y supervivencias del camarón en los tratamientos CA, HS y HG pudieran haber sido mejoradas si la temperatura hubiera sido más ideal durante el estudio. Tanto la tasa de crecimiento como la supervivencia fueron

inaceptablemente bajas en el tratamiento HM. Las altas concentraciones de amoníaco en el tratamiento HM pueden haber contribuido a la pobre producción de camarón. Además, las rápidas caídas en la concentración de oxígeno después de la adición de melaza pueden haber dado lugar a algunas concentraciones letales de DO no detectadas. El rápido descenso de la concentración de OD también puede haber estresado al camarón, lo que podría haber contribuido a la mala producción. Además, la baja concentración de carbono en la melaza implica que hay una mayor concentración de los componentes no utilizables en esta fuente de carbohidratos. Componentes distintos de carbono pueden haber ensuciado el agua y contribuido a algo de contaminación. El agua de los tanques experimentales tomó diferentes colores en función del tratamiento. La producción de camarón fue similar entre los tratamientos HS, HG y CA, sugiriendo la equivalencia potencial de estas estrategias de gestión. La adición de carbohidratos, el aumento de la demanda de oxígeno y el mayor volumen de sólidos generados en los tratamientos heterótrofos representan costos de operación que no fueron factores en el tratamiento quimio-autotrófico

Perspectivas Los resultados de este estudio indican que la gestión de sistemas de biofloc para que funcionen de una manera quimio-autotrófica puede ser económicamente superior a la función heterotrófica. Sin embargo, las concentraciones de amoníaco y nitrito deben ser controladas cuidadosamente, especialmente durante las primeras semanas de funcionamiento de un sistema de biofloc-dominado quimio-autotróficamente. Opciones para mitigar los efectos de los compuestos tóxicos de nitrógeno deben ser exploradas, tal como agregar temporalmente una fuente de carbohidratos para elevar la relación C:N. Cuando el agua se reutiliza para varios cultivos, lo cual es esencial para el cultivo del camarón tierra adentro, la concentración de nitrato aumentará. Esta acumulación de nitrato debe ser remediada, posiblemente a través de la desnitrificación. La realización de la desnitrificación en sistemas de biofloc presentará un costo añadido y este costo debe sopesarse frente a los de los sistemas dominados por heterótrofos. Ultimadamente, el nitrógeno, oxígeno y la dinámica de sólidos, así como las opciones de uso del agua a largo plazo deben ser consideradas con respecto a los métodos de gestión del sistema de biofloc. Referencias disponibles del primer autor. Los lectores interesados en obtener más información sobre el crecimiento de camarón blanco del Pacífico en sistemas bajo techo pueden ver el video disponible en YouTube.).

Authors



ANDREW J. RAY, PH.D.

Aquaculture Research Center
Kentucky State University
103 Athletic Rd.
Frankfort, KY 40601 USA

Andrew.Ray@kysu.edu (mailto:Andrew.Ray@kysu.edu)



JEFFREY M. LOTZ, PH.D.

Department of Coastal Sciences
Gulf Coast Research Laboratory
The University of Southern Mississippi
703 East Beach Drive
Ocean Springs, MS 39564 USA

Jeff.Lotz@usm.edu (<mailto:Jeff.Lotz@usm.edu>)

Copyright © 2023 Global Seafood Alliance

All rights reserved.