

Resumen

La salinidad es un factor ambiental clave que puede influir en el metabolismo y bienestar de los organismos acuáticos. En consonancia, el objetivo de este ensayo es evaluar el efecto de este parámetro ambiental sobre el metabolismo lipídico de *F. heteroclitus* para esclarecer los procesos moleculares implicados en la adaptación de los teleósteos eurihalinos a cambios en la salinidad ambiental. Para tal fin, se analizaron diferentes parámetros de crecimiento, bioquímicos, hormonales y moleculares en ejemplares adaptados a diferentes salinidades ambientales (2, 20, 40 y 60 ppt) durante 60 días. Los resultados obtenidos sugieren que la regulación en el metabolismo lipídico es importante para una eficiente adaptación a la salinidad ambiental en peces eurihalinos.

Introducción

La salinidad es un factor ambiental clave que puede influir en la fisiología de los organismos acuáticos (Chen et al., 2023). En el entorno natural, la salinidad del agua puede fluctuar según el régimen de precipitaciones, la estación térmica anual o el ciclo de mareas. Esto adquiere especial relevancia en ecosistemas acuáticos como los esteros donde se dan condiciones de hipo e hipersalinidad con regularidad. El pez eurihalino *Fundulus heteroclitus* puede tolerar un amplio rango de salinidades ambientales, encontrándose en gran número en la mayoría de los esteros andaluces en convivencia con las especies acuícolas de interés comercial. Su gran eurihalinidad, junto a su fácil manejo en condiciones experimentales, lo convierte en un buen modelo para estudiar los mecanismos de adaptación a la salinidad ambiental. En este sentido, el metabolismo de los lípidos podría jugar un papel importante en la adaptación a la salinidad en los peces (Chen et al., 2023). El objetivo de este ensayo es evaluar el efecto de la salinidad ambiental en el crecimiento, perfil lipídico, expresión génica (*fads* y *elovl*) y el bienestar de *F. heteroclitus* de cara a esclarecer los procesos moleculares y biológicos implicados en la adaptación a la salinidad en teleósteos.

Material y métodos

Un total de 180 ejemplares de *F. heteroclitus* ($4,3 \pm 0,5$ g) fueron distribuidos en 9 tanques (15 peces/tanque) de 80 L (19 °C, 12L:12D) y alimentados con pienso comercial (Skretting, 57 % proteínas, 15 % lípidos y 10,5 % minerales) 2 veces al día hasta la saciedad visual aparente (*ad libitum*). Se adaptaron durante 60 días a 4 salinidades ambientales (en triplicado): 2, 20, 40 y 60 ppt. Al término del ensayo, todos los animales, previamente anestesiados con 2-fenoxietanol (1 mL L^{-1}), se pesaron y midieron individualmente. Seguidamente, 12 peces (4 peces/tanque) de cada grupo experimental se muestrearon para la obtención de sangre, músculo, hígado, intestino, ojo y cerebro para su posterior análisis en el laboratorio. Además, se calcularon diferentes índices zootécnicos y somáticos. Los parámetros analizados incluyeron: 1) plasma: triglicéridos, colesterol, proteínas, ácidos biliares totales, osmolalidad y cortisol; 2) músculo e hígado: lactato, colesterol, triglicéridos, glucosa y glucógeno; 3) intestino: actividad lipasas; 4) ojo y cerebro: perfil de ácidos grasos (AAGG) y expresión genética (*elovl5*, *fads2a*, *fads2b*, *fads2c*, *elov4a* y *elovl4b*) mediante *qPCR*. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente (ANOVA de 1 vía y Test de Tukey, $p < 0,05$).

Resultados y discusión

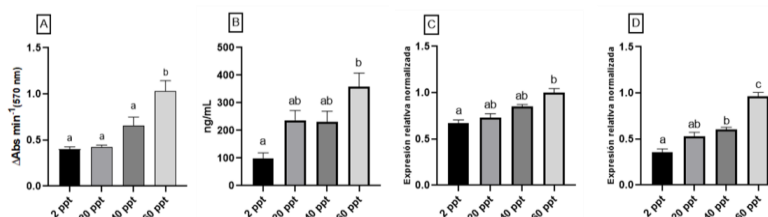
Los resultados obtenidos en los diferentes parámetros e índices somáticos se muestran en la Tabla 1. Se observaron diferencias significativas entre los grupos experimentales, encontrándose un mayor crecimiento y eficiencia de alimentación en los peces mantenidos a bajas salinidades. El análisis de los índices somáticos denota una reducción del peso del hígado en los peces cultivados a 60 ppt, lo cual podría sugerir una reducción de las reservas energéticas en condiciones de salinidad adversas, que estarían redirigidas al mantenimiento homeostático de la osmorregulación, en detrimento del crecimiento (Chen et al., 2023). Esta hipótesis vendría sustentada por los menores valores de triglicéridos y colesterol obtenidos en los tejidos de los peces cultivados a 60 ppt (datos no mostrados). Triglicéridos y colesterol son importantes componentes lipídicos de reserva energética y mantenimiento de la funcionalidad e integridad celular. De esta forma, condiciones de estrés salino llevarían asociadas una disminución en los niveles de estos compuestos, cuya biosíntesis está directamente involucrada en la osmorregulación (Chen et al., 2023). En contraste, la actividad lipasa en el intestino aumentó significativamente en los ejemplares mantenidos a 60 ppt (Fig. 1A), lo que podría sugerir un incremento en la demanda energética para sostener en el tiempo los procesos de osmorregulación e inflamación derivados del estrés salino (El-Leithy et al., 2019). Por otro

lado, también se observan altos niveles plasmáticos de cortisol (hormona indicadora del estrés) en los peces mantenidos a 60 ppt (Fig. 1B), denotando así el estrés crónico al cual están sometidos los animales bajo condiciones hipersalinas y, en consecuencia, la necesidad de una mayor movilización energética. El patrón de expresión de los genes *fads* y *elovl* no muestra diferencias significativas a nivel cerebral debido a la salinidad ambiental. No obstante, a nivel ocular si se observan diferencias significativas en la expresión de los genes *fads2b* y *elovl4a* (Fig. 1C, D), ambos involucrados en la biosíntesis de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA) y muy larga (VLC-PUFA), respectivamente. Complementariamente, el análisis del perfil de AAGG en cerebro y ojo indica la existencia de diferencias ligadas a la salinidad del agua para los LC-PUFA, destacando aquellos de vital importancia para el correcto desarrollo y funcionalidad del tejido neural como son el ARA (20:4n-6), EPA (20:5n-3) y DHA (22:6n-3).

Tabla 1. Índices de crecimiento en ejemplares de *F. heteroclitus* adaptados a diferentes salinidades ambientales (media \pm SD). (*) N:45; (**) N:24; K: Factor de condición de Fulton; WG: Ganancia de Peso; SGR: Tasa de Crecimiento Específico; FE: Eficiencia Alimentaria; HSI: Índice Hepatosomático; VSI: Índice Viscerosomático; ILI: Índice de Longitud Intestinal.

Parámetros	Salinidad ambiental			
	2 ppt	20 ppt	40 ppt	60 ppt
K [*]	2,47 \pm 0,31 ^b	2,44 \pm 0,41 ^b	2,38 \pm 0,22 ^{ab}	2,25 \pm 0,22 ^a
WG (%) [*]	54,20 \pm 4,94 ^b	51,54 \pm 8,88 ^b	40,16 \pm 10,42 ^{ab}	26,92 \pm 10,97 ^a
SGR (%) [*]	0,86 \pm 0,09 ^b	0,83 \pm 0,18 ^b	0,67 \pm 0,18 ^{ab}	0,48 \pm 0,20 ^a
FE [*]	0,58 \pm 0,02 ^b	0,51 \pm 0,05 ^{ab}	0,54 \pm 0,13 ^b	0,39 \pm 0,10 ^a
HSI (%) ^{**}	2,97 \pm 1,35 ^{ab}	2,68 \pm 0,74 ^{ab}	3,32 \pm 1,03 ^b	2,31 \pm 1,06 ^a
VSI (%) ^{**}	7,58 \pm 1,83 ^{ab}	7,93 \pm 1,78 ^{ab}	8,57 \pm 1,36 ^b	7,13 \pm 1,68 ^a
ILI (%) ^{**}	89,07 \pm 19,88	93,76 \pm 26,66	98,77 \pm 26,41	93,55 \pm 19,58

Figura 1 Parámetros bioquímicos y moleculares en ejemplares de *F. heteroclitus* (n=12) adaptados a diferentes salinidades ambientales. Actividad lipasa en el intestino (A); Cortisol en plasma (B); Expresión relativa de *fads2b* (C) y *elovl4a* (D) en ojo. (ANOVA, Tukey, P \leq 0,05).



En conclusión, los resultados de esta investigación sugieren que la regulación en el metabolismo lipídico es importante para la correcta adaptación a diferentes salinidades ambientales en *F. heteroclitus*. Además, se aporta nueva información sobre el funcionamiento de algunos de los mecanismos de regulación molecular que intervienen en la adaptación a la salinidad en peces eurihalinos.

Palabras clave: Salinidad; Metabolismo; Lípidos; Cortisol.

Bibliografía

- Chen, J., Cai, B., Tian, C., Jiang, D., Shi, H., et al. 2023. RNA Sequencing (RNA-Seq) Analysis Reveals Liver Lipid Metabolism Divergent Adaptive Response to Low-and High-Salinity Stress in Spotted Scat (*S. argus*). *Animals*, 13(9), 1503.
- El-Leithy, A. A., Hemeda, S. A., El Naby, W. S. A., et al. 2019. Optimum salinity for Nile tilapia (*O. niloticus*) growth and mRNA transcripts of ion-regulation, inflammatory, stress-and immune-related genes. *Fish physiology and biochemistry*, 45, 1217-1232.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con apoyo de las “Ayudas Margarita Salas” (Universidad Politécnica de Valencia) para la formación de jóvenes doctores a partir de fondos NextgenerationEU concedida a MTR y las “Ayudas María Zambrano para la atracción del talento internacional” de la Universidad de Cádiz (UCA/R155REC/2021) concedida a LRV.

Correo del autor: miguel.torres@uca.es / mitorrod@upv.edu.es