

SAMANTHA CHUNG

**INFLUÊNCIA DA L-CARNITINA, PROTEÍNA E LIPÍDIOS DIETÉTICOS SOBRE O
DESEMPENHO E COMPOSIÇÃO CORPORAL DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

**RECIFE,
2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**INFLUÊNCIA DA L-CARNITINA, PROTEÍNA E LIPÍDIOS DIETÉTICOS SOBRE O
DESEMPENHO E COMPOSIÇÃO CORPORAL DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

SAMANTHA CHUNG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Álvaro José de Almeida Bicudo
Orientador

Recife,
Abril/2014

Ficha catalográfica

C559i Chung, Samantha
Influência da L-carnitina, proteína e lipídeos dietéticos
sobre o desempenho e composição corporal de juvenis de
tilápia do Nilo / Samantha Chung. – Recife, 2014.
70 f. : il.

Orientador: Álvaro José de Almeida Bicudo.
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e
Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Departamento de Pesca e Aquicultura, Recife, 2013.
Inclui referências, anexo(s) e apêndice(s).

1. Nutrição de peixes 2. *Oreochromis niloticus*
3. Suplementação I. Bicudo, Álvaro José de Almeida,
orientador II. Título

CDD 639

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA

**INFLUÊNCIA DA L-CARNITINA, PROTEÍNA E LIPÍDIOS DIETÉTICOS SOBRE O
DESEMPENHO E COMPOSIÇÃO CORPORAL DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

SAMANTHA CHUNG

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura. Defendida e aprovada em 29/04/2014 pela seguinte Banca Examinadora.



Prof. Dr. Alvaro José de Almeida Bicudo
(Orientador)

Unidade Acadêmica de Garanhuns
Universidade Federal Rural de Pernambuco

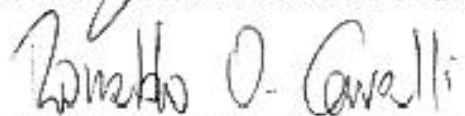


Prof. Dr. Daniel de Magalhães Araujo

Campus Satuba
Instituto Federal de Alagoas



Prof. Dr. Eudes de Souza Correia
Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco



Prof. Dr. Ronaldo Olivera Cavalli
Departamento de Pesca e Aquicultura
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedicatória

Aos meus amados pais Isaías e Chiu Shan, pelo carinho e amor dedicados.

Aos meus queridos irmãos que tanto amo, Isaías e Susan.

À minha linda sobrinha Julliana.

À Daniel, meu noivo, pelo carinho, atenção, paciência e amor em todos os momentos.

Agradecimentos

Mais uma vez agradeço ao meu Pai todo poderoso, por me conduzir durante a realização desse projeto e por mais uma etapa cumprida na minha vida;

À minha família, em especial a minha mãe que sempre me apoio e incentivou nesta longa caminhada, me encorajando nos momentos difíceis da minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, pela dedicação e contribuição na minha formação profissional.

À Unidade Acadêmica de Garanhuns e seus professores, por me acolherem e permitir a realização do meu experimento e das minhas análises laboratoriais.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e, a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE, pelo financiamento do projeto e pelo provimento da bolsa do mestrado.

Aos membros da banca Prof. Dr. Ronaldo Olivera Cavalli, Prof. Dr. Daniel de Magalhães Araujo, Prof. Dr. Eudes de Souza Correia e ao Prof. Dr. Rodrigo Barbosa Lima pelas sugestões e críticas que contribuíram para enriquecer as informações nesta dissertação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Álvaro José de Almeida Bicudo, pelo ensinamentos, disponibilidade e total atenção dadas, além da oportunidade de integrar a sua equipe.

À todos os integrantes do laboratório de pesquisa em piscicultura (LAPPIS), Maria Cristina, Maria Laura, Paula Cibelly, Thiago Tavares, Leilianne Ferreira, Fábio Silva, Jaciara Melo, William Xavier, Keylla Almeida, Rodrigo Lima e em especial a Kedima Azevedo, por dividir essa experiência de trabalharmos juntas na realização desse experimento. E aos que não trabalham mais no laboratório, mas que de uma forma também contribuíram para realização desse projeto, Tatiane Móta, Daniel Teixeira, Rômulo Guilherme e Gustavo Sales.

E finalmente, muito obrigada a todos vocês que fizeram e fazem parte da minha caminhada!

Resumo

Este estudo determinou os efeitos dos níveis de proteína digestível - PD (250 e 290 g kg⁻¹), extrato etéreo - EE (100 e 150 g kg⁻¹) e L-carnitina - LC (0 e 500 mg kg⁻¹) sobre o desempenho de crescimento de juvenis de tilápia do Nilo. Os peixes (1,55 ± 0,03 g) foram distribuídos aleatoriamente em 24 aquários de 60 L (18 peixes por aquário), em delineamento experimental inteiramente casualizado, esquema fatorial 2 × 2 × 2 (n = 3). Foi utilizado um sistema de recirculação de água fechado, com filtro biológico, controle de temperatura, aeração suplementar e sistemas de oxigenação de emergência. Os juvenis foram alimentados com dietas experimentais até a aparente saciedade, três vezes por dia. Após 70 dias, o ganho de peso (GP), conversão alimentar (CA), consumo de ração (CR), taxa de crescimento específico (TCE), taxa de eficiência protéica (TEP) e de sobrevivência (SOB) foram avaliados. Os resultados foram submetidos à análise de variância de três vias; as diferenças entre as médias de tratamento foram testadas para significação pelo teste de Tukey (p<0,05). Os parâmetros de qualidade da água, como pH, oxigênio dissolvido, amônia e temperatura manteve-se dentro dos valores aceitáveis para a espécie. A taxa média de sobrevivência registrado no final do período experimental foi de 90,5%, variando 88,4-93,0%. Não houve influência (p> 0,05) dos efeitos principais (LC, EE e PD), ou efeito significativo de interação, em GP, TCE, TEP e SOB. O ganho de peso variou 19,7-21,6 g; TCE variaram de 3,3 a 3,7% de massa corporal por dia e variou de 2,2 a 2,3 g de ganho de peso por g de ingestão de proteína. O aumento dos níveis PD melhorou (p<0,05) na eficiência alimentar (EA) e reduziu (p<0,05) a CR. A interação entre PD e EE mostrou efeito significativo apenas na EA. Houve efeito (p<0,05) da interação entre LC e EE na EA e CR. O aumento do EE 100-150 g kg⁻¹ em dietas sem LC diminuiu significativamente a EA em 5,7%. Por outro lado, os peixes alimentando com dietas suplementadas com LC e níveis mais altos de EE resultou em EA semelhantes do que aqueles alimentados com 100 g kg⁻¹ de EE e 500 mg kg⁻¹ LC. A adição de LC em dietas com 100 g kg⁻¹ de EE, resultaram em maior (p<0,05) o consumo de ração (5,6% mais) do que os peixes alimentados com 100 g kg⁻¹ de EE, e 0 mg LC kg⁻¹. No entanto, não houve influência significativa sobre CR resultantes da suplementação LC em dietas com 150 g kg⁻¹ de EE. Em conclusão, apesar de existir uma forte interação entre lipídios na dieta e os níveis de LC, a suplementação de 500 mg kg⁻¹ LC não foi suficiente para melhorar o desempenho do crescimento de juvenis de tilápia do Nilo. Tendo em vista a pouca informação disponível, futuras pesquisas são necessárias para esclarecer os efeitos dos nutrientes na dieta sobre a eficácia da LC como promotor de crescimento em dietas de peixe.

Palavras-chave: nutrição de peixes, *Oreochromis niloticus*, suplementação

Abstract

This study determined the effects of levels of dietary digestible protein - DP (250 and 290 g kg⁻¹), ether extract - EE (100 and 150 g kg⁻¹) and L-carnitine - LC (0 and 500 mg kg⁻¹) on growth performance of Nile tilapia juveniles. The Fish (1.55 ± 0.03 g) were randomly distributed into 24 aquarium of 60 L (18 fish per aquarium), in a completely randomized experimental design, 2×2×2 factorial scheme (n=3). A system of closed recirculation water, with biological filter, temperature control, supplemental aeration and emergency oxygenation systems. The Juveniles were fed with experimental diets until apparent satiety three times per day. After 70 days, weight gain (WG), feed efficiency (FE), feed intake (FI), specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER) and survival (SUR) were evaluated. The results were submitted to three-way ANOVA; differences between treatment means were tested for significance by Tukey's test (p<0.05). Water quality parameters such as pH, dissolved oxygen, ammonia and temperature remained within acceptable values for the specie. The average survival rate recorded at the end of experimental period was 90.5%, ranging from 88.4 to 93.0%. There was not influence (p>0.05) of main effects (LC, EE and DP), or significant effect of interaction, on WG, SGR, PER and SUR. Weight gain ranged from 19.7 to 21.6 g; SGR ranged from 3.3 to 3.7 % body mass per day and PER ranged from 2.2 to 2.3 g of weight gain per g of dietary protein intake. Increased DP levels improved (p<0.05) feed efficiency (FE) and reduced (p<0.05) the FI. The interaction between DP and EE showed significant effect on FE only. There was effect (p<0.05) of interaction between LC and EE on FE and FI. The increase of EE from 100 to 15 g kg⁻¹ in diets without LC decreased significantly the FE by 5.7%. On the other hand, feeding fish with supplemented LC diets and highest EE levels resulted in similar FE than those fed with 10 g kg⁻¹ EE and 500 mg LC kg⁻¹. The addition of LC in diets with 10 g kg⁻¹ EE resulted in higher (p<0.05) feed intake (5.6% over) than those fish fed with 10 g kg⁻¹ EE and 0 mg LC kg⁻¹. However, there was not significant influence on FI resulting of LC supplementation in diets with 15 g kg⁻¹ EE. In conclusion, despite to exist a strong interaction between dietary lipid and LC levels, the supplementation of 500 mg LC kg⁻¹ was not sufficient to improve growth performance of Nile tilapia juveniles. In view of the limited information available, future research is needed to clarify the effects of dietary nutrients on efficacy of LC as growth promoter in fish diets.

Keywords: Fish nutrition, *Oreochromis niloticus*, supplementation.

Lista de figuras

	Página
Figura 1- Estrutura química da carnitina	17
Figura 2- Curva de crescimento de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de proteína, extrato etéreo e L-carnitina. LC = L-carnitina, PD = proteína digestível, EE = extrato etéreo. Unidades de medidas para a PD e EE (g kg^{-1}) e LC (mg kg^{-1}).....	56
Figura 3- Valores da taxa de retenção de proteína de juvenis de tilápia do Nilo (efeito da interação tripla entre a carnitina, o extrato etéreo e os níveis de proteína digestível). PD = proteína digestível, EE = extrato etéreo. Unidades de medidas para a PD e EE (g kg^{-1}) e LC (mg kg^{-1}).....	57

Lista de tabelas

	Página
Tabela 1- Registro de estudos sobre o desempenho de algumas espécies de peixes e seus benefícios com dietas utilizando a suplementação da L-carnitina.....	18
Tabela 2- Formulação e composição química das dietas experimentais.....	52
Tabela 3- Parâmetros de desempenho de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de proteína, extrato etéreo e carnitina.....	53
Tabela 4- Composição química corporal (base da matéria natural) de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de proteína, extrato etéreo e carnitina.....	54
Tabela 5- Coeficientes de desempenho zootécnico dos juvenis de tilápia (efeito da interação entre a proteína da dieta e os níveis de lipídios).....	55
Tabela 6- Coeficientes de desempenho zootécnico (efeito da interação entre a carnitina e os níveis de extrato etéreo) e de composição química corporal de juvenis de tilápia.....	55
Tabela 7- Coeficientes de composição corporal e retenção de nutrientes de juvenis de tilápia (efeito da interação tripla entre a carnitina, o extrato etéreo e os níveis de proteína digestível).....	56

Sumário

Página

Dedicatória

Agradecimento

Resumo

Abstract

Lista de figuras

Lista de tabelas

1-Introdução.....	12
2- Revisão de literatura.....	14
2.1- Relação energia:proteína em peixes.....	14
2.2- O uso da L-Carnitina na nutrição de peixes.....	16
3- Referências bibliográficas.....	20
4- Artigo científico.....	28
4.1- Normas da revista.....	58

1- Introdução

A aquicultura mundial vem crescendo e correspondendo 60,0 milhões de toneladas, sendo que os peixes de água doce contribuíram com 56,4%, representando 33,7 milhões de toneladas da produção aquícola global (FAO 2012). A produção aquícola nacional teve um incremento de aproximadamente 38% entre os anos de 2010 e 2011. Esses resultados são reflexos da utilização de novos ajustes na metodologia e atualização de informações no setor, contribuindo para um aumento substancial na região Nordeste de 24,7% do total da produção aquícola (134.292,6 t). Uma das espécies de importância para aquicultura mundial e uma das mais cultivada neste período foi a tilápia, com uma produção 253.824,1 t (MPA, 2011). Esta importância é consequência da sua elevada taxa de crescimento em diferentes sistemas de cultivo, capacidade de reprodução em cativeiro, adaptação em diversas condições ambientais, rusticidade e boas características organolépticas de sua carne (EL-SAYED, 2006). O cultivo desta e de outras espécies, em sistemas intensivos de produção, demanda o fornecimento de alimento industrializado (ração) como única fonte de nutrientes. Como reflexo do aumento da produção de peixes em cativeiro no Brasil, a produção de rações para peixes em 2012 teve um aumento de 15% em relação ao ano anterior (SINDIRAÇÕES, 2013).

Entretanto, a eficiência dos sistemas produtivos baseados no fornecimento de alimentação exógena depende da concentração e balanceamento entre os nutrientes presentes na dieta. A proteína é considerada o nutriente mais oneroso no custo de formulação das rações aquícolas, de modo que estratégias que possibilitem a redução ou maior eficiência do uso deste nutriente são consideradas prioritárias pelos nutricionistas. Além disso, dietas que apresentam excesso de proteína aumentam a excreção nitrogenada para o meio, incrementando o impacto ambiental da atividade (SALHI et al., 2004; CHO et al., 2005; GONÇALVES et al., 2009).

Para melhorar a eficiência da proteína dietética, o uso de fontes energéticas não proteicas tem sido uma das estratégias mais pesquisadas (HARPAZ, 2005). Particular ênfase tem sido dada a relação lipídio: proteína na dieta, de modo a maximizar o uso de lipídios como agente

economizador da proteína em dietas para peixes (MOHSENI et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009; EL-SAYED et al., 2010; LI et al., 2013; SOUSA et al., 2013). Entretanto, o excesso de lipídio em rações pode levar uma diminuição da ingestão, comprometendo o ganho de peso e o crescimento dos peixes, demonstrando assim a limitação no uso desta estratégia para incrementar a eficiência de uso da proteína dietética (SALHI et al., 2004; HARPAZ, 2005; DU et al., 2006; DU et al., 2008; HAJI-ABADI et al., 2010).

O uso de aditivos alimentares como promotores de crescimento tem sido uma alternativa para aumentar a eficiência do uso dos nutrientes dietéticos para peixes (NRC, 2011). Os aditivos são ingredientes não nutritivos introduzidos na dieta, que influenciam no desempenho dos animais ou na qualidade do produto final (BARROWS, 2000). Possuem diversas finalidades nas formulações das dietas, como complementação de nutrientes ou outros fins específicos (palatabilizantes, conservantes, quimioterápicos, imunoestimulantes, antioxidantes, probióticos e prebióticos) (NRC, 2011).

Nos últimos anos, muitos estudos têm objetivado determinar o nível de suplementação da L-carnitina em dietas para peixes que proporcione um efeito promotor de crescimento e maior eficiência alimentar (TORREELE et al., 1993; BECKER et al., 1999; YANG et al., 2012). Entretanto, os resultados obtidos em alguns estudos apresentam-se controversos ainda que realizados com uma mesma espécie. Por exemplo, Becker et al. (1999) relataram em seus estudos com híbridos de tilápia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) melhora no ganho de peso com a suplementação da L-carnitina. Por outro lado, a L-carnitina não promoveu qualquer efeito no ganho de peso de tilápias híbridas (SCHLECHTRIEM et al., 2004). Os mesmo resultados contraditórios intra-espécie também foram observados para o robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) (SANTULLI e D'AMELIO, 1986; DIAS et al., 2001) e o bagre africano (*Clarias gariepinus*) (TORREELE et al., 1993; OZORIO et al., 2001).

A discrepância observada nos resultados obtidos com a suplementação de L-carnitina nas dietas de peixes tem sido explicada por diversos fatores (HARPAZ, 2005), entre os quais as

diferenças nas dietas experimentais utilizadas. Entretanto, poucos são os estudos que exploram a interação da L-carnitina com os nutrientes dietéticos (CHAIYAPECHARA e LIU, 2004; CHEN et al., 2009; CHEN et al., 2010).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência das concentrações de proteína e lipídios dietéticos sobre a efetividade da L-carnitina como promotor de crescimento para a tilápia do Nilo.

2 - Revisão de literatura

2.1 – Relação energia:proteína em peixes

Os peixes não têm exigência em proteína, mas exigem na verdade um suplemento equilibrado de aminoácidos indispensáveis, que são utilizados na síntese proteica para manutenção e crescimento de órgãos e tecidos. Ao reduzir o nível de proteína da ração, é necessário rever os níveis dos demais aminoácidos essenciais (lisina, metionina, treonina, triptofano e arginina), sendo estes considerados limitantes em rações para peixes (FURUYA et al., 2005; QUADROS et al., 2009). Por isso, dietas com baixo teor de proteína ou desbalanceamento de aminoácidos diminuem a eficiência alimentar, o crescimento e favorecem a imunodepressão. Por outro lado, o excesso de proteína dietética será catabolizado e convertido em energia, aumentando a excreção de amônia e consequentemente o impacto ambiental desta atividade (WILSON, 2002).

A alimentação na aquicultura representa uma boa parte dos custos de produção, em que a proteína é considerada o nutriente mais oneroso nas dietas de peixes. Mesmo para uma espécie onívora, como a tilápia do Nilo, existe a necessidade de desenvolver dietas com menor custo e impacto ambiental (FURUYA et al., 2010). Existem diversos estudos relacionados ao balanço adequado da energia:proteína, havendo fatores que influenciam nesta relação, como espécie, tamanho dos peixes, sexo, estágio de maturação, temperatura da água, regime de produção e hábito alimentar (WILSON, 2002).

Diferentes resultados podem ser observados para uma mesma espécie em relação a valores de exigências nutricionais, bem como a idade ou fase de desenvolvimento do peixe. Peixes na fase inicial de desenvolvimento possuem maior exigência nutricional em função de maiores taxas de crescimento, quando comparados a peixes juvenis e adultos (FURUYA et al., 2010).

O aumento do lipídio na alimentação de peixes é uma alternativa para obter o chamado efeito economizador da proteína (*protein sparing effect*). O menor uso da proteína como fonte de energia disponibiliza mais aminoácidos para a síntese proteica e, conseqüentemente, proporciona um aumento no ganho de peso e eficiência alimentar (FURUYA et al., 2010).

Para que o efeito economizador da proteína ocorra, a fonte de lipídio utilizada deve estar presente em níveis adequados para exigência daquela espécie e ser facilmente metabolizada pelo animal (GONÇALVES et al., 2009). Contudo, dietas com excesso de lipídios aumentam a deposição de gordura e reduzem o ganho de peso, devido à diminuição do consumo alimentar, ocasionado pela elevada densidade energética das dietas (ABIMORAD e CARNEIRO, 2007). A oxidação é um dos principais problemas enfrentados em peixes com altos níveis de lipídios corporais, uma vez que este processo pode causar “*off-flavor*”, diminuir a qualidade nutricional e modificar a textura e cor do músculo (LIE, 2001). A relação entre a concentração de lipídios na dieta e a deposição de gordura tem sido pesquisada em diversas espécies (SÁ et al., 2006; ABIMORAD e CARNEIRO, 2007).

Conforme pode ser observado na literatura, o efeito economizador da proteína dietética proporcionou melhores desempenho zootécnico de crescimento devido a adequada relação energia: proteína em dietas para tilápias (SILVA et al., 1991; EL-SAYED e TESHIMA, 1992; GONÇALVES et al., 2009; EL-SAYED et al., 2010; LI et al., 2013; SOUSA et al., 2013).

Considerando os resultados, o melhor crescimento e eficiência alimentar em dietas para tilápias ocorreu em peixes que receberam dietas com relação energia:proteína próxima de 126 kcal/g proteína (4538 kcal/kg EB; 36% PB) (ALI et al., 2008), 100 kcal/g proteína (3000 kcal/kg

ED, 30% PD) (GONÇALVES, 2009), 100 kcal/g proteína (2800 kcal/kg ED, 28% PD) (SOUSA et al., 2013), 130 kcal/g proteína (2600 kcal/kg ED, 20% PB) (LI et al., 2013). Segundo o NRC (2011), a exigência proteica para tilápia expressa como energia digestível é de 3.400 kcal/kg dieta e de proteína digestível é de 29% (117 kcal/g proteína).

Embora existam diversos estudos apresentando a relação energia:proteína ideal, poucas são as informações que estabelecem as exigências que possam ser utilizados pelos nutricionistas de forma padronizada para tilápias, não existindo um consenso de nível ótimo (máximo).

2.2 – O uso da L-Carnitina na nutrição de peixes

A carnitina é um pó higroscópico branco ou quase cristalino, praticamente inodoro. É uma amina quaternária (ácido 3-hidroxi-4-N-trimetilbutirico) (Figura 1), solúvel em água, podendo ser encontrada nas formas L- e D-carnitina, porém, o L-isômero é considerado biologicamente ativo, enquanto que o D-isômero é um inibidor competitivo da L-carnitina (LEIBOVITZ e MUELLER, 1993). Pode ser encontrados nas carnes vermelhas, peixes, aves e derivados do leite. Os vegetais, frutas, cereais e outros alimentos de origem vegetal possuem pouca carnitina (ARSLAN, 2006).

A carnitina é sintetizada a partir dos aminoácidos essenciais lisina e metionina, com a ajuda da vitamina C e de alguns compostos produzidos pelo corpo (MA et al., 2008). Apresenta desempenho fundamental no metabolismo dos ácidos graxos de cadeia longa, transportando-os para o interior da cadeia mitocondrial (acil-carnitina), na oxidação e produção de ATP, sendo responsável também pela translocação de resíduos de acil para o exterior da matriz mitocondrial (GULCIN, 2006).

Em vertebrados, a carnitina-livre primeiramente ocorre no fígado e depois nos rins (β -oxidação), sendo transportada após a síntese para diversos tecidos. Em seguida, após a carnitina ser utilizada na β -oxidação e convertida a ésteres de carnitina esterificadas, os ésteres de

acilcarnitina são transportados de tecidos periféricos para os rins, sendo reabsorvidos e uma parte eliminada pela urina (REBOUCHE e SEIM, 1998).

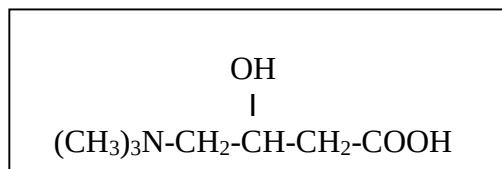


Figura 1- Estrutura química da carnitina.

A suplementação da L-carnitina vem sendo bastante estudada na nutrição animal, por atuar como potenciadora no crescimento e no metabolismo lipídico de diversas espécies de animais. Em monogástricos, sua utilização pode melhorar o desempenho devido à maior eficiência da utilização da energia dos lipídios, possibilitando a economia da proteína e permitindo a incorporação desta proteína na produção de tecido muscular (OWEN et al., 2001; SARICA et al., 2007; RAMANAU et al., 2008; CORDUK et al., 2008; YESTE et al., 2010;).

Em peixes, a utilização da L-carnitina tem sido preconizada devido aos mesmos efeitos como promotora de crescimento e economizador da proteína dietética (Tabela 1), já registrada para outros animais não ruminantes (HARPAZ, 2005).

Tabela 1. Registro de estudos sobre o desempenho de algumas espécies de peixes e seus benefícios com dietas utilizando a suplementação da L-carnitina:

Espécie	Peso inicial (g)	Nível de suplementação (mg kg ⁻¹)	Resultados observados	Referência
<i>Bidyanus bidyanus</i>	9,67	400	Aumento do crescimento, redução na taxa de gordura intraperitoneal e do conteúdo lipídico corporal	Yang et al. (2012)
<i>Clarias gariepinus</i>	21	80, 60	Aumento no crescimento	Ozório et al. (2001)
<i>Clarias gariepinus</i>	23	200, 1000	Aumentou a oxidação dos ácidos graxos e diminuiu a combustão dos aminoácidos para a energia	Ozório et al. (2002)
<i>Cyprinus carpio</i>	30	200, 400, 600	Aumento no crescimento	Focken et al. (1997)
<i>Huso huso</i>	0,1	300, 600, 900, 1200	Melhorou o crescimento e estimulou o efeito poupador da proteína	Mohseni et al. (2008)
<i>Huso huso</i>	525	0, 300, 600, 900	Melhorou a taxa de crescimento e estimulou o efeito poupador da proteína	Mohseni et al. (2008)
<i>Labeo rohita</i>	3,38	0, 250, 500, 750, 1000	Efeito positivo sobre o crescimento e composição corporal	Keshavanath e Renuka (1998)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	70,3	0, 300,600	Aumento do crescimento	Dikel et al. (2010)
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	130	0, 1000, 2000	Melhora no desempenho e alterou o perfil dos ácidos graxos no músculo	Haji-Abadi et al. (2010)
<i>Oreochromis niloticus</i>	4,16	0, 75, 150, 300, 450	Aumento no ganho de peso	El-Sayed et al. (2010)
<i>Oreochromis niloticus</i>	4,04	0, 200, 400, 600, 800	Redução dos lipídios do sangue e do peso do fígado	Chen et al. (2009)
<i>Oreochromis niloticus</i>	200	700	Melhora na reprodução	Abdelhamid et al.(2010)
<i>Pagrus major</i>	9,6	75, 545, 1087, 2088, 4162	Aumento na taxa de crescimento e da utilização dos ácidos graxos	Chatzifotis et al. (1995)
<i>Pelvicachromis pulcher</i>	NI	0, 500, 1000, 2000	Proteção contra temperaturas extremas e melhores taxas de sobrevivência	Harpaz et al.(1999)
<i>Poecilia reticulata</i>	NI	1000	Proteção da membrana plasmática, camadas epiteliais da pele e brânquias, contra xenobióticos	Schreiber et al. (1997)
<i>Scophthalmus maximus</i>	75,6	40, 240	Excreção mais baixa de amônia	Gonçalves et al. (2010)
<i>Sparus macrocephalus</i>	13,10	100, 120, 160, 240, 390, 1100	Melhora o crescimento e qualidade da carne, redução deposição de gordura	Ma et al. (2008)
<i>Trichogaster leri</i>	0,5	0, 300, 600, 900, 1200	Efeito positivo no ganho de peso, peso final e taxa de crescimento específico	Tonini et al. (2011)

NI = Não informado.

Por atuar na oxidação dos ácidos graxos, espera-se que a L-carnitina acarrete numa redução do teor lipídico corporal ou muscular dos peixes. Os animais alimentados com doses elevadas de carnitina, mas com um teor de gordura considerável, destinariam a energia proveniente da proteína para o crescimento. Resultados da redução do teor lipídico corporal ou muscular pela suplementação da L-carnitina podem ser observados em tilápia (CHEN et al., 2010) e na dourada negra (*Sparus macrocephalus*), (MA et al., 2008). Nesse sentido, podem ser encontrados também resultados em que a suplementação da L-carnitina elevou o conteúdo da proteína corporal ou muscular dos peixes (CHEN et al., 2010).

Em tilápias, os resultados da suplementação dietética da L-carnitina sobre o ganho de peso de peixes tem se apresentado contraditórios. Becker et al. (1999), El-Sayed et al. (2010), Dikel et al. (2003), Jayaprakas et al. (1996), registraram maior ganho de peso em tilápias do Nilo suplementadas com 150, 450, 500 e 900 mg kg⁻¹ de L-carnitina, respectivamente. Contudo, a suplementação de 250 mg kg⁻¹ (YANG et al., 2009) e 450 mg kg⁻¹ (SCHLECHTRIEM et al., 2004), não promoveram um maior desempenho em tilápias. Assim, observa-se que os efeitos positivos da suplementação da L-carnitina em tilápias foram obtidos em concentrações a partir de 150 mg kg⁻¹ (BECKER et al., 1999), podendo chegar a 3000 mg kg⁻¹ (DIAS et al., 2001) para outras determinadas espécies. Doses tão elevadas podem tornar essa suplementação inviável economicamente, devido ao elevado custo da L-carnitina (TONINI et al., 2011).

Hipotetiza-se que esta discrepância nos resultados com a suplementação de L-carnitina em diversas espécies de peixes está associada a fatores como tempo de experimentação, condições laboratoriais, idade dos animais, composição do alimento, nível de suplementação e lixiviação, composição nutricional das rações e a quantidade e qualidade dos lipídeos e proteína da dieta (HARPAZ, 2005). Deste modo, é necessário que se procure esclarecer como estes fatores influenciam a eficiência da L-carnitina, uma vez que esta é considerada uma substância promissora na utilização em dietas para peixes.

3 – Referências bibliográficas

ABDELHAMID, M.A.; MEHRIM, A.I.; EL-BARBARY, M.I.; EL-SHARAWYM. M.A. An attempt to improve the reproductive efficiency of Nile tilapia brood stockfish. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.36, p.1097-1104, 2010.

ABIMORAD, E.G. e CARNEIRO, D.J. Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles - fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. **Aquaculture Nutrition**, v.13, p.1-9, 2007.

ALI, A.; AL-OGAILY, S. M.; AL-ASGAH, N. A.; GODDARD, J. S. EAHMED, S. I. Effect of feeding different protein to energy (P/E) ratios on the growth performance and body composition of *Oreochromis niloticus* fingerlings. **Journal of Applied Ichthyology**, v.24, p.31–37, 2008.

ARSLAN, C. L-Carnitine and its use as a feed additive in poultry feeding: a review. **Revue de MédecineVétérinaire**, v.3, p.134-142, 2006.

BARROWS, F.T. **Feed additives**. Encyclopedia of Aquaculture, R.R. Stickney, ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 2000. p.335-340.

BECKER, K.; SCHREIBER, S.; ANGONI, C. e BLUM, R. Growth performance and feed utilization response of *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* hybrids to L-carnitine measured over a full fattening cycle under commercial conditions. **Aquaculture**, v.174, p.313-322, 1999.

CHATZIFOTIS, S.; TAKEUCHI, T. e SEIKAI, T. The effect of dietary L-carnitine on growth performance and lipid composition in Red Sea Bream fingerlings. **Fisheries Science**, v.61(6), p.1004-1008, 1995.

CHAIYAPECHARA, S. e LIU, K.K.M. Proximate composition, lipid oxidation, and sensory characteristics of fillets form rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* fed diets containing 10% to 30% lipid. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.34, n.3, 2003.

CHEN, G.; ZHANG, M.H.; ZHANG, J.D.; DONG, H.B.; ZHOU, H.; TANG, B.G.; HUANG, J.S.; SHI, G.; JIANG, L. e WU, Z.H. The effects of different levels of dietary protein and L-carnitine on blood sugar and lipids of the new GIFT strain of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **The Scientific World Journal**, v.9, p.1197-1205, 2009.

CHEN, G.; ZHANG, M.H.; ZHANG, J.D.; DONG, H.B.; ZHOU, H.; TANG, B.G.; HUANG, J.S.; SHI, G.; JIANG, L.; WU, Z.H. e GU, B.H. Effects of L-carnitine and dietary protein on body composition and liver lipid content in juvenile new GIFT strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Applied Animal Research**, v.37, p.141-144, 2010.

CORDUK, M.; SARICA, S.; CALIKOGLU, E., e KIRALAN, M. Effects of L-carnitine supplementation to diets with different fat sources and energy levels on fatty acid composition of egg yolk of laying hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.88, p.2244-2252, 2008.

DIAS, J.; ARZEL, J.; CORRAZE, G.; e KAUSHIK, J. Effects of dietary L-carnitine supplementation on growth and lipid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture Research**, v.32, p.206-215, 2001.

DIKEL, S.; ALEV, M.V.; KIRIS, G.A. e CELIK, M. Effects of supplemental dietary L-carnitine on the growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cage conditions. **Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences**, v.27, p.663-669, 2003.

DIKEL, S.; ÜNALAN, B.; EROLDÖĞAN, O.T.; HUNT, A. Ö. Effects of Dietary L-carnitine Supplementation on Growth, Muscle Fatty acid Composition and Economic Profit of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.10, p.173-180, 2010.

DU, Z.Y.; CLOUET, P.; ZHENG, W.H.; DEGRACE, P.; TIAN, L.X. e LIU, Y.J. Biochemical hepatic alterations and body lipid composition in the herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed high-fat diets. **British Journal Nutrition**, v.95, p.905-915, 2006.

DU, Z, Y.; CLOUET, P.; HUANG, L.M.; DEGRACE, P; ZHENG, W.H.; HE, J.G.; TIAN, L.X.; e LIU, Y.J. Utilization of different dietary lipid sources at high level in herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): mechanism related to hepatic fatty acid oxidation. **Aquaculture nutrition**, v.14, p.77-92, 2008.

EL-SAYED, A.-F.M. e TESHIMA, S.I. Protein and energy requirements of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. **Aquaculture**, v.103, p.55-63, 1992.

EL-SAYED, A.-F.M. **Tilapia Culture**. CABI publishing, CAB International, Wallingford, Oxford shire, United Kingdom, 2006. p.277.

EL-SAYED, A. F.M.; ABDEL-HAKIM, N.F.; ABO-STATE, H.A.; EL-KHOLY, K.F.; AL-AZAB, D.A. Effects of L-carnitine on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings fed basal diet or diets containing decreasing protein levels. **Journal of American Science**, v.6, p.5, 2010.

FOCKEN, U.; BECKER, K. e LAWRENCE, P. A note on the effects of L-carnitine on the energy metabolism of individually reared carp, *Cyprinus carpio* L. **Aquaculture Nutrition**, v.3, p.261–264, 1997.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2012. State of World Fisheries and Aquaculture 2012. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome, Italy.

FURUYA, W.M.; BOTARO, D.; MACEDO, R.M.G.; SANTOS, V.G.; SANTOS, L.D.; SILVA, T.S.C.; FURUYA, V.R.B. E SALES, P.J.P. Aplicação do conceito de proteína ideal para redução dos níveis de proteína em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.1433- 1441, 2005.

FURUYA, W.M.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; BOSCOLO, W.R.; CYRINO, J.E.P.; FURUYA, V.R.B. e FEIDEN, A. **Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias**. Toledo: GFM. 2010.

GULCIN, I., Antioxidant and antiradical activities of L-carnitine. **Life Sciences**, v.78, p.803-811, 2006.

GONÇALVES, G.S.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M. M.; HISANO, H.; ROSA, M.J.S. Níveis de proteína digestível e energia digestível em dietas para tilápia do Nilo formuladas com base no conceito de proteína ideal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p.2289-2298, 2009.

GONÇALVES, J. F. M.; TURINI, B. G. S.; OZÓRIO, R.O.A. Performance of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) fed varying dietary L-carnitine levels at different stocking densities. **Scientia Agricola**, v.67, p.151-157, 2010.

HAJI-ABADI, S.M.A.J.; SOOFIANI, N. M.; SADEGHI, A. A.; CHAMANI, M. e RIAZI, G.H. Effects of supplemental dietary L-carnitine and ractopamine on the performance of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture Research**, v.41, p.1582-1591, 2010.

HARPAZ, S.; BECKER, K.; BLUM, R. The effect of dietary L-carnitine supplementation on cold tolerance and growth of the ornamental cichlid fish *Pelvicachromis pulcher* – preliminary results. **Journal of Thermal Biology**, v.24, p.57-62, 1999.

HARPAZ, S. L-carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition - a review. **Aquaculture**, v.249, p.3-21, 2005.

JAYAPRAKAS, V.; SAMBHU, C. e SUNIL KUMAR, S. Effect of dietary L-carnitine on growth and reproductive performance of male *Oreochromis mossambicus* (Peters). **Fisheries Technology**, v.33, p.84-90, 1996.

KESHAVANATH, P. e RENUKA, P. Effect of dietary L-carnitine supplements on growth and body composition of fingerling rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). **Aquaculture Nutrition**, v.4, p.83-87, 1998.

LEIBOVITZ, B.; MUELLER, J. Carnitine. **Journal of Optimal Nutrition**, v. 2, p. 90-109, 1993.

LIE, Ø. Flesh quality - the role of nutrition. **Aquaculture Research**, v.32, p.341-348, 2001.

LI, Y.; BORDINHON, A. M.; DAVIS, D.A.; ZHANG, W.; ZHU, X. Protein:energy ratio in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture International**, v.21, p.1109-1119, 2013.

MA, J.J.; XU, Z.R.; SHAO, Q.J.; XU, J.Z.; HUNG, S.S.O.; HU, W.L.; ZHOU, L.Y. Effect of dietary supplemental L-carnitine on growth performance, body composition and antioxidant status in juvenile black sea bream, *Sparus macrocephalus*. **Aquaculture Nutrition**, v.14, p.464-471, 2008.

Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA). Estatística da pesca e aquicultura 2011. Boletim MPA 2011. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/index.php/informacoes-e-estatisticas/estatistica-da-pesca-e-aquicultura>. Acesso: 15 janeiro 2014.

MOHSENI, M.; OZORIO, R.O.A.; POURKAZEMI, M. e BAI, S.C. Effects of dietary L-carnitine supplements on growth and body composition in beluga sturgeon (*Huso huso*) juveniles. **Journal of Applied Ichthyology**, v.24, p.646–649, 2008.

MOHSENI, M.; SEYFABADI, J.; POURALI, H.; POURKAZEMI, M. e BAHMANI, M. Effects of supplemental dietary L-carnitine on growth and body composition of beluga (*Huso huso*) juveniles. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**, v.7(2s), p.157-170, 2008.

National Research Council - NRC. **Nutrients Requirements of Fish and Shrimp**. Washington: National Academy Press, 376 p., 2011.

OZORIO, R.O.A.; UKTOSEJA, J.L.A.; HUISMAN, E.A. e VERRETH, J.A.J. Changes in fatty acid concentrations in tissues of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, as a consequence of dietary carnitine, fat and lysine supplementation. **British Journal of Nutrition**, v.86, p.623-636, 2001.

OZORIO, R.O.A.; VAN EEKEREN, T.H.B.; HUISMAN, E.A. e VERRETH, J.A.J. 2001 Effects of dietary carnitine and protein energy: non protein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles. **Aquaculture Research**, v.32 (Suppl. 1), p.406-414, 2001.

OZORIO, R. O. A.; BOOMS, G. H. R.; HUISMAN, E. A. e VERRETH, J. A. J. Changes in amino acid composition in the tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) as a consequence of dietary L-carnitine supplements. **Journal of Applied Ichthyology**, v.18, p.140–147, 2002.

OWEN, K. Q.; JI, H.; MAXWELL, C.V.; NELSEN, J.L.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M. D.; TREMBLAY, G.C.; e KOO, S.I. Dietary L-carnitine suppresses mitochondrial branched-chain keto acid dehydrogenase activity and enhances protein accretion and carcass characteristics of swine. **Journal Animal Science**, v.79, p.3104-3112, 2001.

QUADROS, M.; E.A.T. LANNA, J.L. DONZELE, M.L.T. ABREU, F.B. RIBEIRO, AND S.S. TAKISHITA. 2009. Crude protein reduction and digestible methionine+cystine and threonine to digestible lysine ratios in diets for Nile tilapia fingerlings **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1400-1406.

RAMANAU, A.; KLUGE, H.; SPILKE, J.; EDER, K. Effects of dietary supplementation of L-carnitine on the reproductive performance of sows in production stocks. **Livestock Science**, v.113, p.34-42, 2008.

REBOUCHE, C.J. e SEIM, H. Carnitine metabolism and its regulation in microorganisms and mammals. **Annual Review of Nutrition**, v.18, p.36–61, 1998.

SÁ, M.V.C. e FRACALOSSO, D.M. Exigência proteica e relação energia:proteína para alevinos de piracanjuba (*Bryconor bignyanus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1-10, 2002.

SALHI, M.; BESSONART, M.; CHEDIAK, G.; BELLAGAMBA, M. e CARNEVIA, D. Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. **Aquaculture**, v.231, p.435-444, 2004.

SARICA, S.; CORDUK, M.; ENSOY, U.; BASMACIOGLU, H. e KARATAS U. Effects of dietary supplementation of L-carnitine on performance, carcass and meat characteristics of quails. **South African Journal of Animal Science**, v.37, 3, 2007.

SANTULLI, A. e D'AMELIO, V. Effects of supplemental dietary carnitine on the growth and lipid metabolism of hatchery-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture**, v.59, p.177-186, 1986.

Sindirações. (2013). Boletim informativo do setor-Dezembro/2013. Disponível em http://sindiracoes.org.br/wpcontent/uploads/2013/12/sindiracoesboletim_dezembro_05122013_site.pdf Acesso em: 20 fevereiro 2014.

SILVA, S.S.; GUNASEKERA, R. M. e SHIM, K.F. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. **Aquaculture**, v.95, p.305-318, 1991.

SOUSA, S.M.N.; FRECCIA, A.; SANTOS, L.D.; MEURER, F. TESSARO, L., BOMBARDELLI, R.A. Growth of Nile tilapia post-larvae from broodstock fed diet with different levels of digestible protein and digestible energy. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v, 42, n.8, p.535-540, 2013.

SCHLECHTRIEM, C.; BRESLER, V.; FISHELSON, L.; ROSENFELD, M.; BECKER, K. Protective effects of dietary L-carnitine on tilapia hybrids (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*) reared under intensive pond-culture conditions. **Aquaculture Nutrition**, v.10, p.55-63, 2004.

SCHREIBER, S.; BECKER, K.; BRESLER, V. e FISHELSON, L. Dietary L-carnitine protects the gills and skin of guppies (*Poecilia reticulata*) against anionic xenobiotics. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.117, n.1, p.99-102, 1997.

TONINI, W.C.T.; MENDONÇA, P.P.; POLESE, M.F.; ABREU, M.L.C.; MATOS, D.C.; VIDAL JR., M.V.; ANDRADE, D.R. Níveis de carnitina na ração no desempenho corporal de tricogásterléri (*Trichogaster leeri* Bleeker, 1852). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.6, p.1526-1532, 2011.

TORREELE, E.; VANDERSLUISZEN, A. e VERRETH, J. The effect of dietary L-carnitine on the growth-performance in fingerlings of the African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to dietary lipid. **British Journal of Nutrition**, v.69, p.289-299, 1993.

WILSON, R.P. Amino acids and proteins. In: HALVER, J.E.; HARDY, R.W. (Eds.). **Fish nutrition**. 3ed. San Diego, CA: Academic, p.143-179. 2002.

YANG, S.D.; WEN, Y.C.; LIOU, C.H. e LIU, F.G. Influence of dietary L-carnitine on growth, biological traits and meat quality in Tilapia. **Aquaculture Research**, v.40, p.1374-1382, 2009.

YANG, S.D.; LIU, F.G.; LIOU, C.H. 2012. Effects of dietary L-carnitine, plant proteins and lipid levels on growth performance, body composition, blood traits and muscular carnitine status in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). **Aquaculture**, v.342-343, p.48-55, 2012.

YESTE, M.; SANCHO, S.; BRIZ, M.; PINART, E.; BUSSALEU, E.; BONET, S. A diet supplemented with L-carnitine improves the sperm quality of Piétrain but not of Duroc and Large White boars when photoperiod and temperature increase. **Theriogenology**, v.73, p.577-586, 2010.

4- Artigo científico

Parte dos resultados obtidos durante o trabalho experimental desta dissertação está apresentada no artigo intitulado “**Desempenho de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com níveis de L-carnitina, proteína e gordura em dietas sem proteína animal**”, que se encontra anexado.

Artigo científico a ser encaminhada a Revista Aquaculture

Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as estabelecidas pela referida revista (em anexo).

Desempenho de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com níveis de L-carnitina, proteína e gordura em dietas sem proteína animal

Samantha Chung^{1*}, Kedima Swyelle Pontes de Azevedo², Álvaro José de Almeida Bicudo²

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE – Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Av. Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil.

²Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/Unidade Acadêmica de Garanhuns – Departamento de Zootecnia, Laboratório de Pesquisa em Piscicultura (LAPPIS), Av. Bom Pastor, s/n, Boa Vista, 55292-270, Garanhuns, PE, Brasil.

*Autor correspondente

Fone: +55 (87) 9907-0802

E-mail: smantinh@yahoo.com.br

Resumo:

Este estudo avaliou a influência das concentrações de proteína e lipídios dietéticos sobre a efetividade da L-carnitina (LC) como promotor de crescimento para juvenis ($1,55 \pm 0,03\text{g}$) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Foram formuladas oito dietas experimentais, com níveis de suplementação de LC (0 e 500 mg kg^{-1}), de extrato etéreo (EE) (100 e 150 g kg^{-1}) e proteína digestível (PD) (250 e 290 g kg^{-1}), em um delineamento fatorial ($2 \times 2 \times 2$) inteiramente casualizado ($n=3$). Avaliou-se o desempenho zootécnico, a retenção de nutrientes e a composição corporal. Ao final do experimento, os níveis de LC, EE e PD não influenciaram ($P>0,05$) o peso final, o ganho de peso, a taxa de crescimento específico, a taxa de eficiência

proteica e a sobrevivência, de forma isolada ou interagindo entre si. A elevação da PD aumentou ($P<0,05$) a eficiência alimentar (EA) dos animais. O inverso foi observado para o consumo (CONS), que reduziu ($P<0,05$) com o incremento da PD da dieta. Apenas a EA foi influenciada ($P<0,05$) pela interação entre PD e EE. A interação entre LC e EE influenciou ($P<0,05$) a EA, CONS e a taxa de eficiência energética (TEE). De forma isolada, a elevação da PD diminuiu ($P<0,05$) os teores de matéria seca (MS), EE e a taxa de retenção de proteína (TRP). Por outro lado, a PB corporal aumentou ($P<0,05$) quando a PD foi elevada. A interação entre a PD e LC foi significativa sobre a concentração de matéria mineral (MM) dos peixes. A elevação do EE aumentou ($P<0,05$) a MS e EE corporais. Na interação entre LC e EE, foi observada uma redução ($P<0,05$) da MM (2,98 para 2,76%) e da PB (13,27 para 12,77%) corporal quando houve um aumento do EE nas dietas com LC. Foi observado efeito ($P<0,05$) de interação tripla ($LC \times PD \times EE$) para a MM e a TRP na composição corporal. Deste modo, apesar de não ter existido uma melhora no desempenho de crescimento dos peixes através da suplementação da L-carnitina, foi possível observar a influência dos nutrientes dietéticos (proteína digestível e extrato etéreo) sobre a efetividade da L-carnitina, demonstrando uma forte interação da L-carnitina com o extrato etéreo.

Palavras-chave: crescimento, nutrição de peixes, *Oreochromis niloticus*, suplementação

1. Introdução

Na nutrição de peixes, os alimentos proteicos são os mais onerosos e exigidos em maiores quantidades nas dietas, devido a sua importância no crescimento dos animais (GAO et al., 2005). Em especial na formulação de dietas para espécies onívoras tem-se procurado minimizar a utilização de fontes proteicas animais, uma vez que alimentos como a farinha de peixe apresentam disponibilidade limitada e custo elevado. De fato, Tacon e Metian (2008) estimaram

que em 2020, dietas para tilápias demandarão aproximadamente 1% da farinha de peixe produzida globalmente. Entretanto, não só a redução do uso da farinha de peixe, mas também dos níveis de proteína dietéticos tem sido alvos de estudos. Mesmo para espécies onívoras como a tilápia do Nilo, a redução da proteína da dieta é importante para a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade, uma vez que a proteína é considerada o nutriente mais oneroso nas dietas de peixes.

Uma das estratégias mais utilizadas na redução da proteína dietética é a inclusão de lipídios, como agente economizador da proteína em dietas para peixes. Entretanto, a elevada disponibilidade de lipídios na dieta resulta em aumento na gordura corporal, baixa ingestão de proteína e nutrientes essenciais na dieta e reduz o crescimento dos peixes (BOSCOLO et al., 2005; 2006; SALHI et al., 2004). Neste sentido, uma alternativa para aumentar a eficiência de uso dos lipídios da dieta e minimizar os efeitos indesejáveis seria o uso de aditivos alimentares.

A carnitina é uma amina quaternária (ácido 3-hidroxi-4-N-trimetilbutírico), sintetizada a partir da lisina e metionina, com o ácido ascórbico como cofator, e imprescindível para a oxidação de ácidos graxos pela mitocôndria (HARPAZ, 2005). Segundo Arslan (2006), as principais fontes de carnitina são a carne vermelha (≈ 500 - 1200 mg/kg) e carne de peixes, aves e substâncias derivadas do leite (≈ 16 - 64 mg/kg); frutas, grãos e outros produtos de origem vegetal são pobres em carnitina ($< 0,5$ mg/kg em geral). Assim, continuando a tendência de elevação da inclusão de lipídios e alimentos vegetais nas dietas, supõem-se que seria necessária a suplementação de L-carnitina nas dietas para peixes onívoros, incluindo as tilápias.

Entretanto, os resultados da suplementação da L-carnitina tem se mostrado contraditórios quando comparados entre espécies ou em relação a estudos com a mesma espécie. São muitos os fatores que podem influenciar a eficiência da L-carnitina em dietas para peixes, incluindo a composição das dietas (HARPAZ, 2005). Mesmo assim, a maioria dos estudos de L-carnitina com peixes são experimentos dose-resposta visando determinar uma concentração dietética ideal, sem avaliar a interação com os outros nutrientes dietéticos.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência das concentrações de proteína, gordura e L-carnitina dietéticos em dietas isentas de produtos de origem animal sobre o desempenho de juvenis de tilápia do Nilo.

2. Material e métodos

2.1 – Peixes e condições experimentais

Juvenis de tilápia do Nilo provenientes de piscicultura comercial foram adaptados às condições experimentais durante sete dias. Em seguida, os peixes foram pesados ($1,55 \pm 0,03$ g), distribuídos aleatoriamente em aquários (50,0cm x 51,5cm x 29,5cm) com 60L úteis (18 peixes/aquário). Todos os aquários foram dotados de controle de temperatura da água, aeração constante, em um sistema de recirculação de água com filtro biológico. A cada 14 dias todos os peixes eram pesados com auxílio de solução anestésica (benzocaína 50 mg L^{-1}) após jejum prévio de 24h.

As dietas experimentais foram fornecidas até a aparente saciedade, em três refeições diárias (09:00, 13:00 e 17:00 h). O consumo de cada unidade experimental foi medido a cada três dias, pela diferença de peso do volume de ração contida nos recipientes, sendo que cada unidade experimental tinha um recipiente específico. O oxigênio dissolvido ($4,61 \pm 0,18 \text{ mg L}^{-1}$) e a temperatura da água ($27 \pm 0,19^\circ\text{C}$) eram monitorados diariamente com auxílio de oxímetro (modelo 550A, YSI) e mensurados semanalmente o pH ($6,85 \pm 0,3$), alcalinidade total ($22,5 \pm 3,3 \text{ mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$), dureza total ($91,3 \pm 19,4 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$), nitrito ($0,99 \pm 0,72 \text{ mg L}^{-1}$) e amônia ($0,01 \pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$), através de reações colorimétricas de kit comercial (ALFAKIT®).

2.2 – Dietas experimentais

Foram formuladas oito dietas experimentais, variando as concentrações de carnitina (Sigma Aldrich – C9 500), extrato etéreo e proteína digestível (Tabela 2), em um delineamento

fatorial ($2 \times 2 \times 2$) inteiramente casualizado ($n=3$). A carnitina foi suplementada em substituição ao inerte de modo a fornecer 500 mg kg^{-1} da forma biologicamente ativa (L-carnitina). Todos os ingredientes foram previamente analisados para a formulação das dietas experimentais. A proteína digestível foi calculada utilizando os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína (farelo de soja – 91,97%, milho 89,34%, farelo de glúten de milho 94,90%, levedura 75,48%), e os coeficientes da digestibilidade da energia (farelo de soja – 75,49%, milho – 75,82%, farelo de glúten – 81,73%, levedura – 85%) calculados a partir dos valores de energia digestível e energia bruta dos respectivos alimentos descritos em Furuya et al. (2010). Para estimar a energia e proteína digestível dos aminoácidos cristalinos, utilizaram-se os valores descritos por Rostagno et al. (2011).

Para fabricação das dietas, os ingredientes foram moídos (0,8 mm), pesados, misturados e homogeneizados, umedecidos (25% de água p/p), peletizados e secos em estufa de ventilação forçada (55°C ; durante 24h). As dietas foram armazenadas em recipientes plásticos protegidos de luz e mantidas sob refrigeração até a sua utilização.

2.3 – Coleta e processamento das amostras

No início do período experimental, após jejum de 24 horas, 122 peixes da população inicial foram eutanasiados por overdose de benzocaína (500 mg L^{-1}), para determinação da composição química corporal (matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral), formando uma amostra composta.

Ao final de 74 dias de experimentação, todos os peixes de cada unidade experimental foram contados e pesados. Destes, dez peixes de cada unidade experimental foram aleatoriamente amostrados, e submetidos aos mesmos procedimentos anteriormente descritos para determinação da composição química corporal e relações morfométricas (comprimento total e comprimento padrão).

Os ingredientes utilizados, as dietas experimentais e as amostras corporais foram analisadas quanto a sua composição química de acordo com as normas preconizadas pela AOAC (*Association of Official Analytical Chemists* 2000). A umidade foi determinada através do método gravimétrico, em estufa a 105 °C até peso constante. O teor de cinza foi determinado pelo método gravimétrico em mufla a 550°C. O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de micro-Kjedhal. O extrato etéreo foi determinado pelo método Soxhlet. A fibra bruta foi determinada pela digestão ácido/básica.

2.4 – Cálculos e procedimentos estatísticos

Foram calculados o ganho de peso relativo (g), $(GPR = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{peso inicial} \times 100)$, sobrevivência, $(SOB = \text{sobrevivência final} - \text{sobrevivência inicial})$, índice de eficiência alimentar $(IEA = \text{ganho de peso médio} / \text{consumo médio de ração})$, taxa de consumo alimentar $(\% \text{ peso corporal dia}^{-1})$, $(TCA = 100 \times \text{consumo de ração} \div [P_{i(g)} + P_{f(g)} \div 2] \div n^{\circ} \text{ dias})$, taxa de crescimento específico $(TCE = 100 \times [(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{período}])$, taxa de eficiência proteica $(TEP = \text{ganho de peso} / \text{PBI})$, taxa de eficiência energética $(TEE = \text{ganho de peso} / \text{energia digestível})$, valor produtivo da proteína $(VPP = 100 \times [(PBC_f (\%) \times P_f) - (PBC_i (\%) \times P_i)] \div \text{PBI})$, como descrito no NRC (2011).

Em que: P_i = peso inicial; P_f = peso final; PBC_i = proteína bruta corporal inicial; PBC_f = proteína bruta corporal final, PBI = proteína bruta ingerida.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de três vias e as diferenças entre as médias de tratamento foram testadas para significação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todos os dados foram analisados no software SAS® versão 9.1.

3. Resultados

A sobrevivência global dos peixes do experimento foi de 90,5% e não foi registrada influência significativa dos tratamentos testados ($p > 0,05$). Nenhum comportamento de rejeição

às dietas experimentais foi observado. O crescimento dos peixes registrado durante o experimento (Figura 2) foi compatível com o esperado para a espécie nesta fase de desenvolvimento. Todos os parâmetros de qualidade da água permaneceram dentro das faixas preconizadas como ideais para o cultivo da espécie (EL-SAYED, 2006).

Os níveis de proteína digestível, extrato etéreo e L-carnitina não influenciaram ($p>0,05$), de forma isolada ou interagindo entre si, o peso final, o ganho de peso, a taxa de crescimento específico, a taxa de eficiência proteica e a sobrevivência dos peixes (Tabela 3). Não foi observado efeito ($p>0,05$) de interação tripla (L-carnitina $\times$ proteína digestível $\times$ extrato etéreo) sobre nenhuma das variáveis de desempenho analisadas (Tabela 3).

A elevação da proteína digestível da dieta de 250 para 290 g kg⁻¹ aumentou ($P<0,05$) a eficiência alimentar. Entretanto, a eficiência alimentar também foi influenciada significativamente pela interação entre os níveis de extrato etéreo e proteína digestível e também pela interação entre L-carnitina e extrato etéreo (Tabela 3). A elevação da proteína digestível nas dietas com 100 g kg⁻¹ de extrato etéreo aumentou em 7,2% a eficiência alimentar, porém o mesmo efeito não foi observado nas dietas com 150 g kg⁻¹ (Tabela 5). A elevação do extrato etéreo nas dietas isentas de L-carnitina reduziu ($p<0,05$) em 5,7% (0,74 para 0,70) a eficiência alimentar, mas nenhuma redução ($p>0,05$) foi observada nas dietas com 500 mg kg⁻¹ (Tabela 6). A mesma redução (5,7%) significativa da eficiência alimentar também foi observada quando se adicionou L-carnitina nas dietas com 100 g kg⁻¹ de extrato etéreo, embora nas dietas com 150 g kg⁻¹ a eficiência alimentar tenha sido similar ($p>0,05$), independentemente da suplementação de L-carnitina.

O consumo alimentar diminuiu em função da elevação da proteína digestível de 250 para 290 g kg⁻¹, e foi registrada uma influência significativa da interação entre L-carnitina e extrato etéreo dietéticos (Tabela 3). A adição de L-carnitina nas dietas com menor concentração de extrato etéreo elevou ($p<0,05$) o consumo alimentar em 5,6% (3,24 para 3,42 % biomassa dia⁻¹), mas nenhum efeito ($p>0,05$) foi observado nas dietas com 150 g kg⁻¹ de extrato etéreo.

Foi registrada uma redução significativa de 10% na taxa de eficiência energética em função do aumento isolado do extrato etéreo, embora tenha sido registrada uma interação ($p < 0,05$) deste fator com a presença de L-carnitina nas dietas (Tabela 3). Na decomposição desta interação (Tabela 6), observou-se a mesma redução ($p < 0,05$) da taxa de eficiência energética em função da elevação do extrato etéreo nas dietas sem L-carnitina, mas nenhum efeito significativo foi registrado quando se elevou o extrato etéreo nas dietas suplementadas com L-carnitina.

A suplementação de L-carnitina isoladamente não influenciou a composição química corporal e a retenção de nutrientes (Tabela 4). De forma isolada, a elevação da proteína digestível dietética diminuiu significativamente os teores de matéria seca, extrato etéreo e a taxa de retenção de proteína. Por outro lado, a proteína bruta corporal aumentou ($p < 0,05$) quando a proteína dietética foi elevada de 250 para 290 g kg⁻¹. A interação da proteína digestível com a L-carnitina foi significativa sobre a concentração de matéria mineral dos peixes.

A elevação do extrato etéreo de 100 para 150 g kg⁻¹ aumentou ($p < 0,05$) a matéria seca e extrato etéreo corporais (Tabela 4). Na interação entre carnitina e extrato etéreo, foi observada uma redução ($p < 0,05$) da matéria mineral (2,98 para 2,76%) e da proteína bruta (13,27 para 12,77%) corporais dos peixes quando houve um aumento do extrato etéreo nas dietas com L-carnitina (Tabela 6). Foi observado efeito ($p < 0,05$) de interação tripla (L-carnitina × proteína digestível × extrato etéreo) sobre as variáveis de matéria mineral e a taxa de retenção de proteína na composição corporal (Tabela 4). A decomposição da interação tripla sobre a matéria mineral corporal e a taxa de retenção de proteína é apresentada na Tabela 7. Com a dieta 500 mg kg⁻¹ de L-carnitina, 250 g kg⁻¹ de proteína digestível e 150 g kg⁻¹ de extrato etéreo, foi observada uma diminuição da matéria mineral corporal em relação as demais dietas analisadas. Quanto a taxa de retenção de proteína corporal, nas dietas com 250 g kg⁻¹ de proteínas e 150 g kg⁻¹ de extrato etéreo, observou existir uma maior retenção se comparada com a dieta com menor nível de extrato etéreo e para dieta com os mesmos níveis e a inclusão da L-carnitina.

4. Discussão

Os resultados obtidos com a suplementação de L-carnitina sobre o ganho de peso de peixes são bastante controversos. Mesmo estudos realizados com uma mesma espécie não obtiveram consenso na definição de uma concentração de L-carnitina dietética que proporcionasse um efeito promotor de crescimento nos peixes. São exemplos os estudos desenvolvidos com o bagre africano *Clarias gariepinus* (NAZ et al., 2005; OZÓRIO et al., 2002; OZÓRIO et al., 2001a, 2001b; TORREELE et al., 1993; YILMAZ et al., 2004), com a truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss* (DIKEL et al., 2010; JALALI HAJI-ABADI et al., 2010; OZÓRIO et al., 2012; SCHUHMACHER e GROPP, 1998; SELCUK et al., 2010) e com o robalo europeu *Dicentrarchus labrax* (CHATZIFOTIS et al., 1995; DIAS et al., 2001; SANTULLI e D'AMELIO, 1986). Embora os mecanismos pelos quais a L-carnitina estimula o crescimento não estejam totalmente esclarecido em peixes (MA et al., 2008), os resultados positivos são geralmente explicados em função do aumento da utilização da energia dietética proveniente da oxidação dos ácidos graxos (HARPAZ 2005; ARSLAN 2006).

Similar ao relatado para outras espécies, os estudos prévios com tilápias também apresentaram efeitos controversos. A suplementação de 150, 500 e 900 mg kg⁻¹ de L-carnitina promoveu maior ganho de peso, respectivamente, em tilápias híbridas (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) (BECKER et al., 1999), tilápia do Nilo (DIKEL et al., 2003) e tilápia de Moçambique (JAYAPRAKAS et al., 1996). Por outro lado, tilápias do Nilo suplementadas com 250 mg de L-carnitina kg⁻¹ não apresentaram maior ganho de peso do que as que receberam a dieta isenta do aditivo (YANG et al., 2009). Schlechtriem et al. (2004) também não registraram maior ganho de peso em tilápias híbridas suplementadas com 150 ou 450 mg kg⁻¹ de L-carnitina.

O presente estudo foi conduzido em condições laboratoriais controladas, diferindo dos estudos de Becker et al. (1999); Dikel et al. (2003) e Jayaprakas et al. (1996) que foram realizados em sistemas intensivos *out door*. A suplementação de L-carnitina dietética promove

um efeito protetor contra situações adversas que podem ocorrer em cultivos intensivos, como a presença de xenobióticos (SCHLECHTRIEM et al., 2004; SCHREIBER et al., 1997), temperaturas extremas (HARPAZ et al., 1999), presença de cianotoxinas (GUZMÁN-GUILLÉN et al., 2013), entre outros (HARPAZ, 2005). Desta forma, é provável que, no presente estudo, os peixes estavam sob condições ótimas de cultivo, sem a presença de agentes inibidores do crescimento, não haveria motivo aparente para os peixes não suplementados crescerem menos que os suplementados com 500 mg kg⁻¹ de L-carnitina.

A variabilidade dos resultados sugere que os efeitos da carnitina podem ser atribuídos a interação de diversos fatores, como estágio de desenvolvimento dos animais, composição da ração, relação entre a L-carnitina e lisina/metionina dietética, a duração e condições experimentais, o nível de suplementação, a possível lixiviação da carnitina em péletes pouco estáveis, a ação quimioatrativa da carnitina, a estabilidade dos péletes e as exigências metabólicas dos peixes (OZÓRIO et al., 2001; DIAS et al., 2001, HARPAZ, 2005).

No presente estudo a taxa de eficiência energética diminuiu quando houve um aumento do extrato etéreo (150 g kg⁻¹) nas dietas sem carnitina, porém com a inclusão da L-carnitina na dieta não existiu diferença significativa no aproveitamento da energia entre os níveis de extrato etéreo. Tilápias híbridas (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) suplementadas com 150 – 350 mg kg⁻¹ de L-carnitina também apresentaram redução na utilização da energia quando comparadas ao grupo isento da suplementação da L-carnitina (Becker et al., 1999). Por outro lado, tem sido relatado o aumento da eficiência energética com a utilização da L-carnitina (0, 75, 150, 300, 450 mg kg⁻¹) para a tilápia do Nilo (EL-SAYED et al., 2010) e outras espécies (FOCKEN et al., 1997; GAYLORD e GATLIN, 2000; KESHAVANATH e RENUKA, 1998; MOHSINE et al., 2008).

Assim, esperava-se que a administração da L-carnitina elevasse a eficiência energética, otimizando o uso da proteína para o crescimento. No entanto, a L-carnitina impediu a diminuição nos índices de eficiência energéticas nas dietas com 100 g kg⁻¹ e 150 g kg⁻¹ de

extrato etéreo em relação a dieta sem carnitina e 150 g kg^{-1} de extrato etéreo. A falta de quantidades crescentes de L-carnitina pode explicar a menor eficiência energética nas dietas. Acredita-se que a energia adicional originada da suplementação da L-carnitina, a ser fornecida aos lipídios, é destinada para manutenção e biossíntese e o restante desviada na incorporação do tecido corporal (BECKER et al., 1999).

A L-carnitina atua na β oxidação dos ácidos graxos, por isso espera-se que animais alimentados com maiores quantidade de L-carnitina e gordura na dieta possam se beneficiar dessa função e utilizar a proteína para o crescimento (HARPAZ, 2005). Além disso, tem sido registrada uma íntima relação entre a suplementação de L-carnitina e lipídios dietéticos com a concentração de L-carnitina corporal em peixes (GAYLORD e GATLIN, 2000; OZÓRIO et al., 2001b). Ozório et al. (2010) registraram um aumento de 30% na concentração de carnitina muscular e plasmática do bagre africano quando a concentração de lipídios foi elevada de 100 para 180 g kg^{-1} . A concentração de L-carnitina nos animais é uma combinação de fontes suplementares, através da biossíntese e uma eficiente reabsorção (REBOUCHE e SEIM, 1998). Por outro lado, Berger e Sachan (1991) registraram uma relação inversa entre a taxa de reabsorção e a concentração de L-carnitina circulante em ratos. Neste estudo, a elevação do conteúdo de lipídios nas dietas isentas de L-carnitina reduziu a eficiência alimentar, sugerindo que a concentração de L-carnitina endógena nos juvenis de tilápia do Nilo não foi suficiente para aproveitar a energia vinda dos ácidos graxos da dietas. Corroboram esta hipótese dois outros resultados observados: (i) o aumento da eficiência alimentar em função da elevação da proteína nas dietas com 100 g kg^{-1} de extrato etéreo e (ii) o fato de nos tratamentos com dietas com L-carnitina a eficiência alimentar não ter sido reduzida em função da elevação de lipídios da dieta. No presente estudo não foi possível determinar a concentração de L-carnitina nos tecidos dos peixes.

Outro resultado observado foi a redução na eficiência alimentar em função da suplementação de L-carnitina nas rações com menor teor lipídico. Gaylord e Gatlin (2000)

registraram variações na concentração muscular de L-carnitina de robalos-muge híbridos (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*) suplementados com 3000 mg L-carnitina kg⁻¹ de ração em função do teor de lipídios (5 e 20%) dietéticos. O mecanismo pelo qual isto ocorre não está claro, mas levou Ozório et al. (2010) a hipotetizarem que o transporte e utilização da L-carnitina pode ser influenciado pelo nível de lipídios da dieta. Portanto, é coerente supor que, a diminuição da eficiência alimentar nas dietas com L-carnitina e 100 g kg⁻¹ de extrato etéreo deve-se a um maior gasto energético para a excreção do excesso de L-carnitina circulante e que não foi utilizada na β oxidação dos ácidos graxos. Esta hipótese é corroborada pelo aumento no consumo alimentar nas dietas com L-carnitina e 100 g kg⁻¹ de extrato etéreo, e que não foi observado nas dietas com 150 g kg⁻¹.

É bem conhecido que a concentração energética das dietas limita o consumo dos peixes. Nas dietas com 100 g kg⁻¹ de extrato etéreo atendeu-se a exigência em energia digestível estipulada pelo National Research Council, (2011) para a espécie (3400 kcal kg⁻¹). Porém, sabe-se que algumas espécies de peixes são capazes de fazer ajustes no consumo, mesmo em concentrações energéticas ligeiramente acima ou abaixo da exigência nutricional mínima (BICUDO et al., 2012). O aporte de L-carnitina nas dietas com 100 g kg⁻¹ provavelmente levou os juvenis de tilápia a elevarem o consumo para suprir uma maior quantidade de substrato para a realização da β -oxidação pela L-carnitina circulante, uma vez que esta provavelmente excedia a necessidade dos animais. Ressalte-se que o consumo alimentar nas dietas com 150 g kg⁻¹ não diferiram significativamente nas dietas com ou sem L-carnitina. Portanto, pode-se afirmar que as concentrações de L-carnitina necessárias para melhorar a eficiência alimentar estão diretamente ligadas a concentração de lipídios da dieta, corroborando com as observações de Jalali Haji-Abadi et al. (2010); Ozório et al. (2001a) e Torreele et al. (1993) com outras espécies de peixes.

Por atuar na oxidação dos ácidos graxos, espera-se que a suplementação de L-carnitina acarrete em redução no teor de lipídio corporal e/ou muscular dos peixes (HARPAZ, 2005).

Adicionalmente, espera-se que a suplementação com L-carnitina promova a elevação no conteúdo de proteína corporal e/ou muscular (KESHAVANATH e RENUKA, 1998). Este comportamento típico na composição corporal e/ou muscular devido à suplementação de L-carnitina dietética foi observado em rohu (peso inicial 3,38 g) *Labeo rohita* (KESHAVANATH e RENUKA, 1998) e Mrigal carp (peso inicial 0,342 g) *Cirrhinus mrigala* (SINGH et al., 2008), na dourada negra (peso inicial 13,10 g) *Sparus macrocephalus* (MA et al., 2008) e na tilápia-do-Nilo (peso inicial 4,04 g) (CHEN et al. 2010). Entretanto, o extrato etéreo corporal dos juvenis de tilápia do Nilo só foi influenciado pelas concentrações de lipídios e proteína dietéticas. Dependendo da espécie e época do ano, o conteúdo de lipídios na musculatura dos peixes pode variar de 2% a mais de 20%, podendo ser classificados em: magros (< 2% lipídios), pouco gordos (2-4%), moderadamente gordos (4-8% de lipídios) e muito gordos (> 8% de gordura) do ponto de vista da nutrição humana (JOBLING, 2001). Os músculos são o principal sítio de estocagem da L-carnitina (HARPAZ, 2005), o que levou Jalali Haji-Abadi et al. (2010) hipotetizarem que a determinação de lipídios e proteínas musculares em peixes considerados gordos, como a truta arco-íris, proporcionaria um indicativo melhor da oxidação lipídica do que a composição corporal. Entretanto, a tilápia do Nilo é considerada uma espécie com carne magra, e a princípio, não existiriam motivos para existir diferenças no efeito da L-carnitina sobre a composição do lipídio muscular e/ou corporal. Além disso, não foi registrado efeito da suplementação de L-carnitina sobre a composição química para outras espécies (BECKER et al., 1999; DIAS et al., 2001; GAYLORD e GATLIN, 2000; TWIBELL e BROWN, 2000; YANG et al., 2009). Portanto, assim como já comentado para o desempenho, os efeitos da suplementação de L-carnitina sobre a composição química corporal de peixes ainda permanecem contraditórios.

A elevação da proteína bruta da dieta aumentou a proteína corporal e diminuiu o extrato etéreo. Consequentemente, como existe uma correlação inversamente proporcional entre a concentração de lipídios e a umidade corporais (BICUDO et al., 2012), foi registrado uma

diminuição do teor de matéria seca corporal também em função da elevação da proteína dietética. A elevação do extrato etéreo corporal em função da elevação do teor de lipídios e proteína dietética é bem documentado para diferentes espécies de peixes (BORBA et al., 2006; MEER et al., 1997; SALHI et al., 2004).

Quando analisado o efeito de interação (L-carnitina×proteína digestível×extrato etéreo) foi observada que a utilização da suplementação da L-carnitina nas dietas 150 g kg⁻¹ de extrato etéreo, 250 g kg⁻¹ de proteína digestível e 500 mg kg⁻¹ de L-carnitina pareceu diminuir a matéria mineral na composição corporal dos peixes. Esses resultados estão de acordo com os registrados por El-Sayed et al. (2010), Singh et al. (2008) e Dikel et al. (2010), que relataram a redução da matéria mineral corporal dos peixes em função da suplementação de L-carnitina.

Em relação a taxa de retenção de proteína bruta corporal, foi possível observar uma diminuição da retenção quando houve um aumento da proteína dietética de 250 para 290 g kg⁻¹. Portanto, pode-se afirmar que o aumento da proteína dietética provoca uma diminuição da retenção de proteína corporal, indicando que os peixes alimentados com 250 g kg⁻¹ tenha sido suficiente para atender as exigências em proteína e que a dieta com 290 g kg⁻¹ tenham fornecido proteína em excesso. Estes resultados sugerem que o consumo excessivo de proteína na dieta pode reduzir a eficiência de utilização da proteína pelos peixes, bem como a redução no crescimento. Quando a proteína não é utilizada para a síntese proteica, ela é desviada para deposição na forma de energia, lipogênese ou gliconeogênese (SAMPAIO et al., 2000; SHIAU e HUANG, 1989).

Na interação L-carnitina × proteína digestível × extrato etéreo sobre a taxa de retenção de proteína, para as dietas com 250 g kg⁻¹ de proteína digestível, 150 g kg⁻¹ de extrato etéreo e sem a suplementação da L-carnitina, foi possível observar um efeito economizador da proteína quando houve uma elevação do extrato etéreo se comparado à dieta com os mesmos níveis mas com a inclusão da L-carnitina. Este aumento no teor de extrato etéreo da ração resultou em um efeito economizador da proteína consumida, permitindo que mais proteína fosse depositada nos

tecidos. Vários autores tem demonstrado que o aumento dos níveis de energia da dieta leva a uma melhor utilização da proteína ingerida, devido ao aumento da contribuição de fontes de energia para o gasto de energia (CHO e KAUSHIK, 1990). No entanto, não foi possível observar esse mesmo efeito nas dietas com L-carnitina. Becker et al. (1999) e Twibell e Brown (2000) apresentaram resultados semelhantes em que a L-carnitina na dieta não contribuiu para um efeito poupador da proteína. Em contraste, alguns autores conseguiram observar claramente este efeito com a suplementação da L-carnitina na dieta (KESHAVANATH e RENUKA, 1998; SANTULLI e D' AMELIO, 1986; SINGH et al., 2010).

Deste modo, podemos concluir que apesar de não ter existido uma melhora em termos de desempenho de crescimento dos peixes através da suplementação da L-carnitina, foi possível observar a influência dos nutrientes dietéticos (proteína digestível e extrato etéreo) sobre a efetividade da L-carnitina, demonstrando uma forte interação da L-carnitina com o extrato etéreo. Com isso, tornam necessários mais estudos de interação da L-carnitina com o extrato etéreo, a fim de testar a utilização de mais níveis de L-carnitina nas dietas e outras fontes de extrato etéreo. Essas pesquisas são importantes para confirmar o verdadeiro potencial deste suplemento alimentar, devendo reavaliar alguns fatores como, a escassez de estudos com tilápia do Nilo, as diferenças nos resultados que são ainda inconclusivos e contraditórios, a aplicação de doses elevadas de L-carnitina em dietas e a redução nos custos com a alimentação.

5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo nº 477105/2012-2) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco – FACEPE (Processos nº APQ-0882-5.06/12 e IBPG-0407-5.06/11) pelo suporte financeiro na forma de financiamento do projeto e bolsa de estudos, respectivamente.

6. Referências

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Methods of Analysis. 17 edn. Maryland: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- Arslan, C., 2006. L-Carnitine and its use as a feed additive in poultry feeding: a review. *Revue de MédecineVétérinaire* 3, 134-142.
- Becker, K., Schreiber, S., Angoni, C. e Blum, R., 1999. Growth performance and feed utilization response of *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* hybrids to L-carnitine measured over a full fattening cycle under commercial conditions. *Aquaculture* 174, 313-322.
- Berger, R., Sachan, D.S., 1991. Effects of supplementary levels of L-carnitine on blood and urinary carnitines and on the portal-systemic blood-ethanol concentrations in the rat. *Journal Nutritional Biochemistry* 2, 382–386.
- Bicudo, A.J.A., Sado, R.Y., Cyrino, J.E.P., 2012. Growth, body composition and hematology of juvenile pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fed increasing levels of ractopamine. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 64, 1335–1342.
- Borba, M.R., Fracalossi, D.M., Pezzato, L.E., 2006. Dietary energy requirement of piracanjuba fingerlings, *Brycon orbignyanus*, and relative utilization of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture Nutrition* 12, 3, 183-191.
- Boscolo, W.R., Signor, A., Feiden, A., Bombardelli, R.A., Signor, A.A., Reidel, A., 2005. Energia digestível para larvas de tilápia-do-Nilo *Oreochromis niloticus* na fase de reversão sexual. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa 34, 6, 1813-1818.

- Chatzifotis, S., Takeuchi, T., Seikai, T., 1995. The effect of dietary L-carnitine on growth performance and lipid composition in red sea bream fingerlings. *Fisheries Science* 61, 1004–1008.
- Chen, G., Zhang, M.H., Zhang, J.D., Dong, H.B., Zhou, H., Tang, B.G., Huang, J.S., Shi, G., Jiang, L., Wu, Z.H. e Gu, B.H., 2010. Effects of L-carnitine and dietary protein on body composition and liver lipid content in juvenile new GIFT strain Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Applied Animal Research* 37, 141-144.
- Cho, C.Y. & Kaushik, S.J., 1990. Nutritional energetics in fish: protein and energy utilization in rainbow trout. In: *Aspects of Food Production, Consumption and Energy Values* (Bourne, G.H. ed.). *World Review Animal Nutrition* 61, 132–172.
- Cho, S.H., Lee, S.M., Lee, S.M. e Lee, J.H., 2005. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L) reared under optimum salinity and temperature conditions. *Aquaculture Nutrition* 11, 235–240.
- Dias, J., Arzel, J., Corraze, G. e Kaushik, J., 2001. Effects of dietary L-carnitine supplementation on growth and lipid metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Research* 32, 206-215.
- Dikel, S., Alev, M.V., Kiris, G.A. e Celik, M., 2003. Effects of supplemental dietary L-carnitine on the growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cage conditions. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 27, 663-669.
- Dikel, S., Ünalán, B., Eroldoğan, O.T.; Hunt, A.Ö., 2010. Effects of Dietary L-carnitine Supplementation on Growth, Muscle Fatty acid Composition and Economic Profit of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 10: 173-180.

El-Sayed, A.F.M. *Tilapia Culture*. CABI publishing, CAB International, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom, 2006. 277p.

El-Sayed, A. F.M.; Abdel-Hakim, N.F.; Abo-State, H.A.; El-Kholy, K.F.; Al-Azab, D.A. Effects of L-carnitine on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings fed basal diet or diets containing decreasing protein levels. *Journal of American Science*, v.6, p.5, 2010.

Furuya, W.M., Pezzato, L.E., Barros, M.M., Boscolo, W.R., Cyrino, J.E.P., Furuya, V.R.B. e Feiden, A., 2010. Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias. Toledo: GFM.

Gao, Y., LV, J., Lin, Q., Li, L., 2005. Effect of protein levels on growth, feed utilization, nitrogen and energy budget in juvenile southern flounder, *Paralichthys lethostigma*. *Aquaculture nutrition* 11, 427-433.

Gaylord, T.G. e Gatlin, D.M., 2000a. Dietary lipid level but not L-carnitine affects growth performance of hybrid striped bass (*Morone chrysops* female X *M. saxatilis* male). *Aquaculture* 190, 237-246.

Gaylord, T.G. e Gatlin, M.D., 2000b. Effects of dietary carnitine and lipid on growth and body composition of hybrid striped bass (*Morone chrysops* female x *M. saxatilis* male). *Fish Physiology and Biochemistry* 22, 297-302.

Guzmán-Guillén, R., Prieto, A.I., Vázquez, C.M., Vasconcelos, V., Cameán, A.M., 2013. The protective role of l-carnitine against cylindrospermopsin-induced oxidative stress in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquatic Toxicology* 132-133, 141–50.

Harpaz, S., Becker, K., Blum, R., 1999. The effect of dietary l-carnitine supplementation on cold tolerance and growth of the ornamental cichlid fish *Pelvicachromis pulcher* — preliminary results. *Journal Thermal Biology* 24, 57–62.

Harpaz, S., 2005. L-carnitine and its attributed functions in fish culture and nutrition - a review. *Aquaculture* 249, 03-21.

Jalali Haji-abadi, S.M.A., Mahboobi Soofiani, N., Sadeghi, A.A., Chamani, M., Riazi, G.H., 2010. Effects of supplemental dietary l-carnitine and ractopamine on the performance of juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture Research* 41, 1582–1591.

Jayaprakas, V., Sambhu, C., Kumar, S.S., 1996. Effect of dietary L-carnitine on growth and reproductive performance of male *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Fishery Technology* 33, 84–90.

Jobling, M. Nutrient repartitioning and the influence of feed composition on body composition. In: Houlihan, D.; Boujard, T.; Jobling, M. (Ed.). *Food Intake in Fish*. Oxford: Blackwell Publishing, 2001. chap. 15, 354-375.

Keshavanath, P. e Renuka, P., 1998. Effect of dietary L-carnitine supplements on growth and body composition of fingerling rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Nutrition* 4, 83-87.

Ma, J.J., Xu, Z.R., Shao, Q.J., Xu, J.Z., Hung, S.S.O., Hu, W.L., Zhou, L.Y., 2008. Effect of dietary supplemental L-carnitine on growth performance, body composition and antioxidant status in juvenile black sea bream, *Sparus macrocephalus*. *Aquaculture Nutrition* 14, 464-471.

Martino, R.C., Cyrino, J.E.P., Portz, L., Trugo, L.C., 2002. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans*. *Aquaculture* 209, 209-219.

- Meer, M.B., Zamora, J.E., Verdegem, M.C.J., 1997. Effect of dietary lipid level on protein utilization and the size and proximate composition of body compartments of *Colossoma macropomum* (Cuvier). *Aquaculture Research* 28, 405–417.
- MohsenI, M.; Ozorio, R.O.A.; Pourkazemi, M. e Bai, S.C., 2008. Effects of dietary LL-carnitine supplements on growth and body composition in beluga sturgeon (*Huso huso*) juveniles. *Journal of Applied Ichthyology* 24, 646–649.
- National Research Council, N.R.C., 2011. *Nutrients Requirements of Fish and Shrimp*. National Academy Press, Washington.
- Naz, M., Yilmaz, E., Türkmen, M., 2005. A preliminary study on African catfish (*Clarias gariepinus*) larvae fed with diets containing different E/P ratios and L-carnitine supplementation. *Journal Animal and Veterinary Advances* 4, 871–875.
- Nekoubin, H., Hatefi, S., Javeheri, S e Sudagar, M., 2012. Effects of dietary supplementation on body composition and growth performance in Caspian Sea Kutum (*Rutilus firsii kutum*). *Global Veterinaria* 8, (3), 276-270.
- Ozório, R.O.A., Uktoseja, J.L.A., Huisman, E.A., Verreth, J.A.J., 2001a. Changes in fatty acid concentrations in tissues of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, as a consequence of dietary carnitine, fat and lysine supplementation. *British Journal of Nutrition* 86, 623–636.
- Ozório, R.O.A., van Eekeren, T.H.B., Huisman, E.A., Verreth, J.A.J., 2001b. Effects of dietary carnitine and protein energy:nonprotein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles. *Aquaculture Research* 32, 406–414.

- Ozorio, R.O.A., Booms, G.H.R., Huisman, E.A., Verreth, J.A.J., 2002. Changes in amino acid composition in the tissues of African catfish (*Clarias gariepinus*) as a consequence of dietary L-carnitine supplements. *Journal of Applied Ichthyology* 18, 140–147.
- Ozorio, R.O.A., Van Ginneken, V.J.T., Bessa, R.J.B., Verstegen, M.W.A., Verreth, J.A.J., Huisman, E.A., 2010. Effects of exercise on L-carnitine and lipid metabolism in African catfish (*Clarias gariepinus*) fed different dietary L-carnitine and lipid levels. *British Journal of Nutrition* 103, 1139–50.
- Ozório, R.O.A., Escorcio, C., Bessa, R.J.B., Ramos, B., Gonçalves, J.F.M., 2012. Comparative effects of dietary l-carnitine supplementation on diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 18, 189–201.
- Rebouche, C.J., Seim, H., 1998. Carnitine metabolism and its regulation in microorganisms and mammals. *Annual Review of Nutrition* 18, 36–61.
- Rostagno, H.S. et al. (2011) Tabelas brasileiras para aves e suínos – Composição de alimentos e exigências nutricionais.
- Salhi, M., Bessonart, M., Chediak, G., Bellagamba, M., Carnevia, D., 2004. Growth , feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. *Aquaculture* 231, 435–444.
- Sampaio, A.M.B., Kubitza, F., Cyrino, J.E.P., 2000. Relação energia:proteína na nutrição do tucunaré. *Scientia Agrícola*, 57, 2, 213-219.
- Santulli, A. e D'Amelio, V., 1986. Effects of supplemental dietary carnitine on the growth and lipid metabolism of hatchery-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture* 59, 177-186.

Schlechtriem, C., Bresler, V., Fishelson, L., Rosenfeld, M., Becker, K., 2004. Protective effects of dietary L-carnitine on tilapia hybrids (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) reared under intensive pond-culture conditions. *Aquaculture Nutrition* 10, 55-63.

Schreiber, S., Becker, K., Bresler, V., Fishelson, L., 1997. Dietary L-Carnitine Protects the Gills and Skin of Guppies (*Poecilia reticulata*) Against Anionic Xenobiotics. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Pharmacology Toxicology & Endocrinology* 117, 99–102.

Shiau, S.Y., Huang, S.L., 1989. Optimal dietary protein level for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) reared in seawater. *Aquaculture*, 81, 119-127.

Shiau, S.Y., Huang, S.L., 1999. Influence of varying energy levels with two protein concentrations in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) reared in seawater. *Aquaculture* 91, 143- 152.

Schuhmacher, A., Gropp, J.M., 1998. Carnitine - a vitamin for rainbow trout? *Journal of Applied Ichthyology* 14, 87–90.

Selcuk, Z., Tiril, S.U., Alagil, F., Belen, V., Salman, M., Cenesiz, S., Muglali, O.H., Yagci, F.B., 2010. Effects of dietary L-carnitine and chromium picolinate supplementations on performance and some serum parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International* 18, 213–221.

Singh, R.K., Desai, A.S., Chavan, S.L., Khandagale, P.A., 2008. Effects of Varying Concentrations of l-carnitine-incorporated Diets on Growth and Body Composition of Fry of *Cirrhinus mrigala* (Hamilton, 1822). *Journal of the World Aquaculture Society* 39, 275–280.

Tacon, A.G.B., Metian, M., 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285, 146-158.

Torreele, E., Van der Sluiszen, A. e Verreth, J., 1993. The effect of dietary L-carnitine on the growth-performance in fingerlings of the African catfish (*Clarias gariepinus*) in relation to dietary- lipid. *British Journal of Nutrition* 69, 289-299.

Twibell, R.G., Brown, P.B., 2000. Effects of dietary carnitine on growth rates and body composition of hybrid striped bass *Morone saxatilis* male x *M. chrysops* female. *Aquaculture* 187, 153-161.

Yang, S.D., Wen, Y.C., Liou, C.H. e Liu, F.G., 2009. Influence of dietary L-carnitine on growth, biological traits and meat quality in Tilapia. *Aquaculture Research* 40, 1374-1382.

Yilmaz, E., Naz, M., Akyurt, I., 2004. Effect of dietary olive pomace oil and L-carnitine on growth and chemical composition of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* 56, 14–21.

Tabela 2. Formulação e composição química das dietas experimentais.

Ingredientes (g kg ⁻¹)	L-Carnitina 0 mg kg ⁻¹							
	Proteína digestível 250 g kg ⁻¹				500 mg kg ⁻¹			
	290 g kg ⁻¹		250 g kg ⁻¹		290 g kg ⁻¹		250 g kg ⁻¹	
	Extrato Etéreo 100 g kg ⁻¹	150 g kg ⁻¹	Extrato Etéreo 100 g kg ⁻¹	150 g kg ⁻¹	Extrato Etéreo 100 g kg ⁻¹	150 g kg ⁻¹	Extrato Etéreo 100 g kg ⁻¹	150 g kg ⁻¹
Farelo de soja	400	400	470	470	400	400	470	470
Milho grão	170	170	170	170	170	170	170	170
Farelo de glúten de milho	81	81	100	100	81	81	100	100
Amido	187	147	100	60	187	147	100	60
Óleo de soja	65	105	63	103	65	105	63	103
Levedura	50	50	50	50	50	50	50	50
Fosfato bicalcico	14	14	14	14	14	14	14	14
Suplemento Mineral e Vitamínico ¹	10	10	10	10	10	10	10	10
L-Histidina	8	8	8	8	8	8	8	8
DL-metionina	6	6	6	6	6	6	6	6
Carnitina ²	-	-	-	-	1	1	1	1
Inerte ³	6,2	6,2	6,2	6,2	5,2	5,2	5,2	5,2
BHT	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<i>Composição química</i>								
Matéria seca (g kg ⁻¹)	953,1	952,6	952,4	951,5	929,1	932,4	945,8	942,9
Proteína bruta (g kg ⁻¹)	312,7	304,2	347,4	346,8	300,4	303,8	350,5	349,1
Fibra bruta (g kg ⁻¹)	26,4	27,7	29,4	27,5	27,4	26,3	34,6	38,3
Extrato etéreo (g kg ⁻¹)	106,6	151,7	119,2	157,4	102,5	149,6	105,2	160,5
Matéria mineral (g kg ⁻¹)	48,2	48,0	53,2	53,7	46,1	46,7	53,1	54,0
Energia digestível (MJ kg ⁻¹) ⁴	14,0	15,0	14,2	15,2	14,0	15,0	14,2	15,2

¹Níveis de garantia (kg-1 produto): vit. A, 1.000.000 UI; vit. D3, 312.500 UI; vit. E, 18.750 UI; vit. K3, 1.250 mg; vit. B, 2.500 mg; vit. B2, 2.500 mg; vit. B6, 1.875 mg; vit. B12, 4 mg; Vitamina C, 31.250 mg; Ác. Nicotínico, 12.500 mg; Pantotenato de cálcio, 6.250 mg; Biotina, 125 mg; Ác. Fólico, 750 mg; Colina, 50.000 mg; Inositol, 12.500 mg; Sulfato de ferro, 6.250 mg; Sulfato de cobre, 625 mg; Sulfato de zinco, 6.250 mg; Sulfato de manganês, 1875 mg; Selenito de sódio, 13 mg; Iodato de cálcio, 63 mg; Sulfato de cobalto, 13 mg.

²DL-carnitina (50% D-carnitina; 50% L-carnitina) – Sigma Aldrich® (C9 500)

³Celulose MC 101 – Rhoster®. Araçoiaba da Serra – SP.

⁴Calculada a partir de Furuya et al. (2010) e Rostagno et al. (2011).

Tabela 3. Parâmetros de desempenho de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de proteína, extrato etéreo e carnitina.

Níveis dietéticos			Peso inicial (g)	Peso final (g)	Ganho de Peso (%)	TCE % peso vivo dia ⁻¹	IEA	TEP (g peso/PB ingerida)	SOB (%)	ICA %biomassa dia ⁻¹	TEE (%)
Proteína digestível g kg ⁻¹	Extrato Etéreo g kg ⁻¹	Carnitina mg kg ⁻¹									
Média											
250			1,55±0,02	22,29±2,89	1335,30±185,90	3,59±0,18	0,69±0,03 ^a	2,23±0,09	93,06±5,86	3,38±0,11 ^a	0,19±0,01 ^a
290			1,54±0,03	22,08±2,29	1332,79±153,86	3,32±0,14	0,71±0,04 ^b	2,27±0,14	87,96±8,49	3,27±0,14 ^b	0,19±0,01 ^a
	100		1,54±0,03	23,09±2,34	1397,27±166,05	3,65±0,15	0,71±0,04 ^a	2,27±0,13	91,20±7,66	3,32±0,17 ^a	0,20±0,01 ^a
	150		1,55±0,02	21,28±2,44	1270,81±166,05	3,53±0,15	0,70±0,03 ^a	2,22±0,10	89,81±8,15	3,32±0,09 ^a	0,18±0,01 ^b
		0	1,54±0,02	21,76±2,96	1314,74±202,87	3,57±0,19	0,71±0,04 ^a	2,28±0,13	92,59±5,47	3,28±0,13 ^a	0,19±0,01 ^a
		500	1,55±0,02	22,61±2,02	1353,35±127,53	3,61±0,12	0,70±0,03 ^a	2,22±0,10	88,43±9,01	3,36±0,13 ^a	0,19±0,01 ^a
ANOVA											
Carnitina			0,24	0,40	0,56	0,47	0,07	0,12	0,20	0,10	0,78
Proteína digestível			0,42	0,83	0,97	0,97	<0,01	0,25	0,12	0,02	0,17
Extrato Etéreo			0,50	0,09	0,07	0,06	0,15	0,22	0,66	0,95	<0,01
Carnitina × Proteína digestível			0,59	0,26	0,23	0,20	0,051	0,07	0,66	0,52	0,78
Carnitina × Extrato Etéreo			0,50	0,20	0,15	0,15	<0,01	0,07	0,47	0,02	0,02
Proteína digestível × Extrato Etéreo			1,00	0,36	0,37	0,32	0,02	0,09	0,88	0,13	0,17
Carnitina × Proteína digestível × Extrato Etéreo			1,00	0,80	0,80	0,91	0,53	0,90	0,31	0,30	0,17

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey (p<0,05).

TCE= taxa de crescimento específico, IEA= índice de eficiência alimentar, TEP= taxa de eficiência proteica, SOB= taxa de sobrevivência, ICA = índice de consumo alimentar, TEE= taxa de eficiência energética.

Tabela 4. Composição química corporal (base da matéria natural) de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de proteína, extrato etéreo e carnitina.

Níveis dietéticos			Matéria Seca (%)	Extrato etéreo (%)	Proteína bruta (%)	Matéria mineral (%)	Taxa de retenção de proteína bruta (%)
Proteína digestível (g kg ⁻¹)	Extrato etéreo (g kg ⁻¹)	Carnitina (mg kg ⁻¹)					
Média							
250			25,12±0,68 ^a	6,68±0,69 ^a	12,93±0,39 ^a	2,96±0,22	30,10±3,60 ^a
290			24,43±0,65 ^b	5,62±0,66 ^b	13,27±0,34 ^b	2,89±0,15	27,57±1,75 ^b
	100		24,51±0,79 ^a	5,78±0,79 ^a	13,10±0,33 ^a	2,94±0,18	28,63±1,61 ^a
	150		25,07±2,86 ^b	6,51±0,78 ^b	13,10±2,06 ^a	2,90±0,38	29,04±4,54 ^a
		0	24,59±2,61 ^a	5,96±0,67 ^a	13,18±0,41 ^a	2,96±0,21	29,14±1,22 ^a
		500	24,97±0,91 ^a	6,34±0,99 ^a	13,02±0,45 ^a	2,88±0,17	28,54±0,41 ^a
ANOVA							
Carnitina			0,13	0,09	0,24	0,17	0,15
Proteína digestível			0,01	<0,01	0,03	0,26	<0,01
Extrato Etéreo			0,05	<0,01	0,88	0,59	0,36
Carnitina × Proteína digestível			0,57	0,17	0,62	0,03	0,06
Carnitina × Extrato Etéreo			0,57	0,11	<0,01	0,02	0,75
Proteína digestível × Extrato Etéreo			0,10	1,00	0,31	0,67	0,19
Carnitina × Proteína digestível × Extrato Etéreo			0,66	0,36	0,20	0,05	0,01

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 5. Coeficientes de desempenho zootécnico dos juvenis de tilápia (efeito da interação entre a proteína da dieta e os níveis de lipídios).

Proteína digestível (g kg ⁻¹)	Extrato Etéreo (g kg ⁻¹)	Índice de Eficiência Alimentar
250	100	0,69 ^{aA}
250	150	0,71 ^{aA}
290	100	0,74 ^{bA}
290	150	0,71 ^{aA}

Valores com letras minúsculas diferentes são diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando níveis de proteína digestível dentro de mesmo nível de extrato etéreo.

Valores com letras maiúsculas diferentes são diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando níveis de extrato etéreo dentro do mesmo nível de proteína digestível.

Tabela 6. Coeficientes de desempenho zootécnico (efeito da interação entre a carnitina e os níveis de extrato etéreo) e de composição química corporal de juvenis de tilápia.

Carnitina (mg kg ⁻¹)	Extrato Etéreo (g kg ⁻¹)	ICA (% biomassa dia ⁻¹)	TEE (%)	IEA	MM (%)	PB (%)
0	100	3,24 ^{aA}	0,20 ^{aA}	0,74 ^{aA}	2,90 ^{aA}	12,92 ^{aA}
0	150	3,34 ^{aA}	0,18 ^{aB}	0,70 ^{aB}	3,04 ^{aA}	13,46 ^{aA}
500	100	3,42 ^{bA}	0,19 ^{aA}	0,70 ^{bA}	2,98 ^{aA}	13,27 ^{aA}
500	150	3,31 ^{aA}	0,19 ^{aA}	0,71 ^{aA}	2,76 ^{bA}	12,77 ^{bA}

Valores com letras minúsculas diferentes são diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando níveis de carnitina dentro de mesmo nível de extrato etéreo.

Valores com letras maiúsculas diferentes são diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando níveis de extrato etéreo dentro do mesmo nível de carnitina.

ICA= índice de consumo alimentar, TEE= taxa de eficiência energética, IEA= índice de eficiência alimentar, MM = matéria mineral, PB = proteína bruta.

Tabela 7. Coeficientes de composição corporal e retenção de nutrientes de juvenis de tilápia (efeito da interação tripla entre a carnitina, o extrato etéreo e os níveis de proteína digestível).

Carnitina (mg kg ⁻¹)	Proteína digestível (g kg ⁻¹)	Extrato etéreo (g kg ⁻¹)	Matéria mineral (%)	Taxa de retenção de proteína (%)
0	250	100	2,93 ^a	28,76 ^{abc}
0	250	150	3,25 ^a	31,29 ^a
0	290	100	2,86 ^a	28,88 ^a
0	290	150	2,83 ^a	27,63 ^{bc}
500	250	100	3,00 ^a	30,29 ^{ab}
500	250	150	2,67 ^b	30,09 ^{ab}
500	290	100	2,97 ^a	26,60 ^c
500	290	150	2,87 ^a	27,19 ^c

Valores com letras minúsculas diferentes são diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) comparando níveis de carnitina dentro de mesmo nível de proteína digestível.

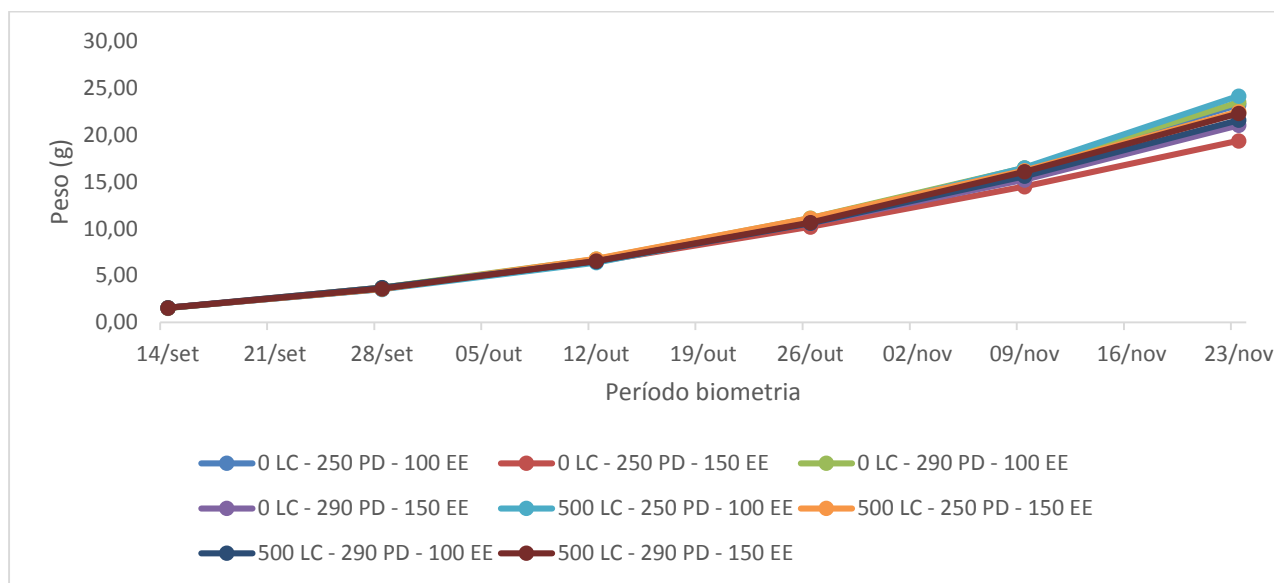


Figura 2. Curva de crescimento de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes níveis de proteína, extrato etéreo e L-carnitina. LC = L-carnitina, PD = proteína digestível, EE = extrato etéreo. Unidades de medidas para a PD e EE (g kg⁻¹) e LC (mg kg⁻¹).

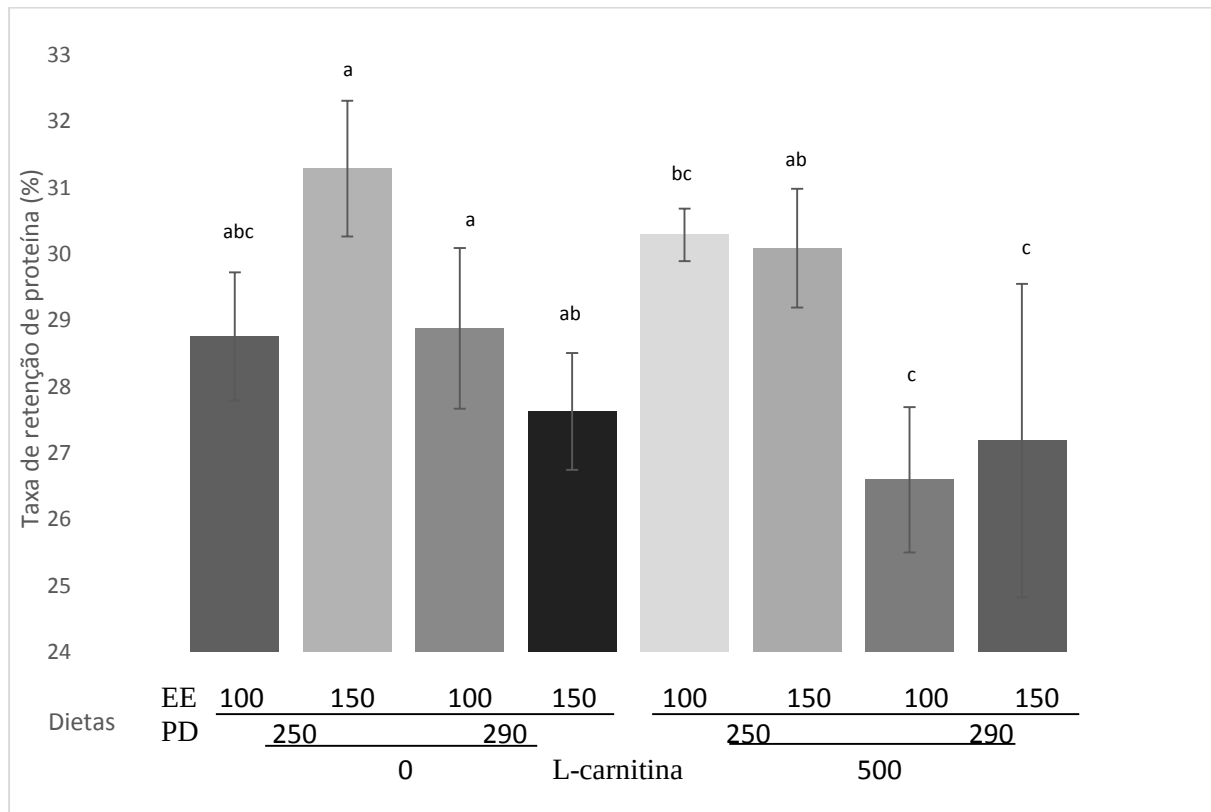


Figura 3. Valores da taxa de retenção de proteína de juvenis de tilápia do Nilo (efeito da interação tripla entre a carnitina, o extrato etéreo e os níveis de proteína digestível). PD = proteína digestível, EE = extrato etéreo. Unidades de medidas para a PD e EE (g kg⁻¹) e LC (mg kg⁻¹).

7. Anexo - Normas para publicação na Aquaculture



Introduction

Types of paper

Original Research Papers should report the results of original research. The material should not have been previously published elsewhere. Articles are expected to contribute new information (e.g. novel methods of analysis with added new insights and impacts) to the knowledge base in the field, not just to confirm previously published work.

Review Articles can cover either narrow disciplinary subjects or broad issues requiring interdisciplinary discussion. They should provide objective critical evaluation of a defined subject. Reviews should not consist solely of a summary of published data. Evaluation of the quality of existing data, the status of knowledge, and the research required to advance knowledge of the subject are essential.

Short Communications are used to communicate results which represent a major breakthrough or startling new discovery and which should therefore be published quickly. They should not be used for preliminary results.

Papers must contain sufficient data to establish that the research has achieved reliable and significant results.

Technical Papers should present new methods and procedures for either research methodology or culture-related techniques.

The *Letters to the Editor* section is intended to provide a forum for discussion of aquacultural science emanating from material published in the journal.

Contact details for submission

Papers for consideration should be submitted via the electronic submission system mentioned below to the appropriate Section Editor:

Nutrition:

D.M. Gatlin

The Nutrition Section welcomes high quality research papers presenting novel data as well as original reviews on various aspects of aquatic animal nutrition relevant to aquaculture. Manuscripts addressing the following areas of investigation are encouraged:

- 1) determination of dietary and metabolic requirements for various nutrients by representative aquatic species. Studies may include environmental/stress effects on animal's physiological responses and requirements at different developmental stages;
- 2) evaluation of novel or established feedstuffs as well as feed processing and manufacturing procedures with digestibility and growth trials. Such studies should provide comprehensive specifications of the process or evaluated ingredients including nutrients, potential anti-nutrients, and contaminants;
- 3) comparison of nutrient bioavailability from various ingredients or product forms as well as metabolic kinetics of nutrients, food borne anti-nutrients or toxins;
- 4) identification of key components in natural diets that influence attractability, palatability, metabolism, growth reproduction and/or immunity of cultured organisms;
- 5) optimization of diet formulations and feeding practices;
- 6) characterization of the actions of hormones, cytokines and/or components in intracellular signaling pathway(s) that influence nutrient and/or energy utilization.
- 7) evaluation of diet supplementation strategies to influence animal performance, metabolism, health and/or flesh quality.

Manuscripts concerning other areas of nutrition using novel or advanced methods are also welcome. Please note that in regard to various diet additives such as probiotics, prebiotics, herbal extracts, etc., a very large number of papers have already been published. Therefore, Aquaculture will not continue to accept manuscripts that present initial and preliminary investigations of such additives. Manuscripts addressing these and other feed additives will be accepted for review only if they are of the highest scientific quality and they represent a significant advance in our knowledge of the mechanisms involved in their metabolism. Manuscripts may also be considered if they present clinical efficacy data generated in large-scale trials and economic cost-benefit analysis of these applications.

Aquaculture Production Science:

B.Costa-Pierce

AQUACULTURE PRODUCTION SCIENCE (PS) is one of 5 sections of the international journal AQUACULTURE dedicated to research on improvements and innovations in aquatic food production.

This section supports worldwide dissemination of the results of innovative, globally important, scientific research on production methods for aquatic foods from fish, crustaceans, mollusks, amphibians, and all types of aquatic plants. Contributions are encouraged in the following areas: 1) Improvement of production systems that results in greater efficiencies of resource usage and sustainability of aquaculture; 2) Effective applications of technologies and methods of aquaculture production for improved stocking regimes; 3) The use of new species and species assemblages; and, 4) Investigations to minimize aquaculture wastes and improve water quality, including technologies for nutrient recycling in aquaculture ecosystems, and potential synergy of aquaculture and other food production systems using methods such as polyculture and integrated aquaculture. Aspects of seafood processing and technology will not be considered in this section although aquaculture techniques that may influence the nutritional value of aquatic food products may be considered in the Nutrition Section.

Physiology:

Fish: A. P. (Tony) Farrell

Invertebrates: J. Benzie

The Physiology Section welcomes high quality papers that present either novel research data or original reviews. The content must be relevant to solving aquaculture problems on all aspects of the physiology of cultured aquatic animals and plants.

Submitted manuscripts must have a valid hypothesis or objective, clearly state the relevance to aquaculture, have proper experimental design with appropriate controls and utilize appropriate statistical analysis. Mention of trade names is limited to the main text.

Relevant physiological topics include, but are not limited to:

- Reproductive and endocrine physiology, including control of development and sex differentiation, induced ovulation and spermiation, gamete quality, storage and cryopreservation, physiology of gynogenetic, and triploid and transgenic organisms
- Cardiorespiratory, muscle and exercise physiology
- Osmoregulatory physiology
- Digestive physiology, including endocrine and environmental regulation of growth
- Larval physiology and ontogeny, including metamorphosis, smolting and molting
- Performance under variable culture conditions, including temperature, water quality, rearing density, and stress and disease physiology
- Physiology of harvest and handling techniques

Genetics:

G. Hulata

The Genetics Section welcomes high-quality research papers presenting novel data, as well as critical reviews, on various aspects of selective breeding, genetics and genomics. Submitted manuscripts must have a valid hypothesis or objective, clearly state the relevance to aquaculture, have proper experimental design with appropriate sample size and controls and utilize appropriate statistical analysis.

Relevant genetics topics include, but are not limited to:

- Breeding programs using classic selection procedures, markers or combining marker assisted selection with classic selection
- Applications of crossbreeding and interspecific hybridization
- Evaluation of commercially important phenotypes among cultured strains, populations or stocks
- Applications of biotechnology and genetic manipulation methods

- Development of linkage maps, identification of QTL or association of commercially important traits with specific gene(s). Where appropriate, linkage maps should include co-dominant markers, such as microsatellite DNA and SNP markers, to enable application to other populations and facilitate comparative mapping.

Aquaculture will NOT accept manuscripts dealing with the application of well-described techniques to yet another species, unless the application solves a specific biological problem important to aquaculture production; or manuscripts dealing with gene cloning, characterizing of microsatellites, species identification using molecular markers, EST papers with small collections, or mapping papers with a small number of markers, unless the papers also deal with solving a biological problem that is relevant to aquaculture production.

Aquaculture will not accept manuscripts focusing mainly on population genetics studies that are based on RAPD and AFLP markers, since the dominance and multilocus nature of the fingerprints are not suitable for making inferences about population genetic diversity and structure.

Sustainability and Society:

D.C. Little

The Sustainability and Society section of the journal Aquaculture invites articles at the interface of natural and social sciences that address the broader roles of aquaculture in global food security and trade.

Aims and scope of the Sustainability and Society section are the: global dissemination of interdisciplinary knowledge regarding the management of aquatic resources and resulting impacts on people. Interconnections with other sectors of food production; resource management and implications for societal impact. Going beyond a narrow techno-centric focus, towards more holistic analyses of aquaculture within well-defined contexts. Enquiry based on understanding trajectories of change amid the global challenges of climate change and food security. Mixed methods and approaches that incorporate and integrate both social and natural sciences. Relevance for the diverse range of policy makers, practitioners and other stakeholders involved. Articles that take a value chain approach, rather than being wholly production orientated, are encouraged.

Disease

B. Austin

The Disease sections welcomes critical reviews and high quality articles containing novel data on all aspects concerning diseases of farmed aquatic species. The aims of the section are: description of new and emerging diseases including characterization of the causal agent(s), development in the understanding of fish pathogens for example including new methods of growth where this has been a problem for fastidious organisms, pathogenicity and epizootiology, developments in the diagnosis of disease going beyond the use of standard well used methods, and methods of disease control, notably new developments in vaccines, immunostimulants, dietary supplements, medicinal plant products, probiotics, prebiotics and genetically-disease resistant stock. Relevance to aquaculture must be demonstrated. Articles, which adapt well known methods without further refinement of those methods, are unlikely to be accepted.



Before You Begin

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Human and animal rights

If the work involves the use of animal or human subjects, the author should ensure that the work described has been carried out in accordance with The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki) for experiments involving humans <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/index.html>; EU Directive 2010/63/EU for animal experiments http://ec.europa.eu/environment/chemicals/lab_animals/legislation_en.htm; Uniform Requirements for manuscripts submitted to Biomedical journals <http://www.icmje.org>. Authors should include a statement in the manuscript that informed consent was obtained for experimentation with human subjects. The privacy rights of human subjects must always be observed.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that

could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

If the manuscript to be submitted was previously rejected by *Aquaculture* or another journal, it is necessary to specify what substantive new work and/or revisions have been included to elevate the manuscript's quality for consideration by *Aquaculture*.

Contributors

Each author is required to declare his or her individual contribution to the article: all authors must have materially participated in the research and/or article preparation, so roles for all authors should be described. The statement that all authors have approved the final article should be true and included in the disclosure.

Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

Copyright

This journal offers authors a choice in publishing their research: Open Access and Subscription.

For Subscription articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For Open Access articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more

information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights. For more information on author rights for: Subscription articles please see <http://www.elsevier.com/journal-authors/author-rights-and-responsibilities>. Open access articles please see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open Access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An Open Access publication fee is payable by authors or their research funder

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our access programs (<http://www.elsevier.com/access>)
- No Open Access publication fee

All articles published Open Access will be immediately and permanently free for everyone to read and download. Permitted reuse is defined by your choice of one of the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY): lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA): for non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation, and license their new adaptations or creations under identical terms (CC BY-NC-SA).

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND): for non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

To provide Open Access, this journal has a publication fee which needs to be met by the authors or their research funders for each article published Open Access.

Your publication choice will have no effect on the peer review process or acceptance of submitted articles.

The publication fee for this journal is **\$3300**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling

errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

Submission

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

Authors should avoid responding by messages received from the system using the 'Reply' button on their e-mail message; this will send the message to the system support and not to the editorial office, and will create unnecessary load of sorting out and forwarding

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/aqua/>

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of three potential referees. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.



Preparation

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class *elsarticle.cls* (<http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/elsarticle>) to prepare your manuscript and BibTeX (<http://www.bibtex.org>) to generate your bibliography.

For detailed submission instructions, templates and other information on LaTeX, see <http://www.elsevier.com/latex>.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Numbering.** Manuscripts that are sequentially numbered (e.g., I, II, etc.) are no longer accepted.
- **Author names and affiliations.** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

The abstract should be not longer than 400 words.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 4-6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Highlights of the manuscript

As part of the submission process, authors are required to provide 3 or 4 highlights, each one sentence long. Beyond stating key discoveries, these highlights must explicitly establish why the work is novel and why it has an application to aquaculture. It is not sufficient to state that the species is one that is farmed.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Nomenclature and units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

1. Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature, the International Code of Nomenclature of Bacteria, and the International Code of Zoological Nomenclature.
2. All biota (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals.
3. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Active ingredients of all formulations should be likewise identified.
4. For chemical nomenclature, the conventions of the International Union of Pure and Applied Chemistry and the official recommendations of the IUPAC IUB Combined Commission on Biochemical Nomenclature should be followed.

Database linking

Elsevier encourages authors to connect articles with external databases, giving their readers one-click access to relevant databases that help to build a better understanding of the described research. Please refer to relevant database identifiers using the following format in your article: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN). See <http://www.elsevier.com/databaselinking> for more information and a full list of supported databases.

DNA sequences and GenBank Accession numbers. Many Elsevier journals cite "gene accession numbers" in their running text and footnotes. Gene accession numbers refer to genes or DNA sequences about which further information can be found in the databases at the National Center for Biotechnical Information (NCBI) at the National Library of Medicine. Authors are encouraged to check accession numbers used very carefully. **An error in a letter or number can result in a dead link.** Note that in the final version of the electronic copy, the accession number text will be linked to the appropriate source in the NCBI databases enabling readers to go directly to that source from the article.

Example 1: "GenBank accession nos. **AI631510**, **AI631511**, **AI632198**, and **BF223228**, a B-cell tumor from a chronic lymphatic leukemia (GenBank accession no. BE675048), and a T-cell lymphoma (GenBank accession no. **AA361117**)".

Authors are encouraged to check accession numbers used very carefully. An error in a letter or number can result in a dead link.

In the final version of the printed article, the accession number text will not appear bold or underlined (see Example 2 below).

Example 2: "GenBank accession nos. AI631510, AI631511, AI632198, and BF223228), a B-cell tumor from a chronic lymphatic leukemia (GenBank accession no. BE675048), and a T-cell lymphoma (GenBank accession no. AA361117)".

In the final version of the electronic copy, the accession number text will be linked to the appropriate source in the NCBI databases enabling readers to go directly to that source from the article (see Example 3 below).

Example 3: "GenBank accession nos. AI631510, AI631511, AI632198, and BF223228), a B-cell tumor from a chronic lymphatic leukemia (GenBank accession no. BE675048), and a T-cell lymphoma (GenBank accession no. AA361117)".

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y . In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Give the meaning of all symbols immediately after the equation in which they are first used. In chemical formulae, valence of ions should be given as, e.g. Ca^{2+} and not Ca^{++} . Isotope numbers should precede the symbols, e.g., ^{18}O . The repeated writing of chemical formulae in the text is to be avoided where reasonably possible; instead, the name of the compound should be given in full. Exceptions may be made in the case of a very long name occurring very frequently or in the case of a compound being described as the end product of a gravimetric determination (e.g., phosphate as P_2O_5).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the printed version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Text graphics

Text graphics may be embedded in the text at the appropriate position. See further under Electronic artwork.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

This journal has standard templates available in key reference management packages EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager

(<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. J. Sci. Commun. 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. The Elements of Style, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), Introduction to the Electronic Age. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal Abbreviations Source

Define abbreviations that are not standard in this field at their first occurrence in the article: in the abstract but also in the main text after it. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is

about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Phone numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.



After Acceptance

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for

proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately - please upload all of your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed.

Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail (the PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use). For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints/myarticlesservices/booklets>).



Author Inquiries

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. For detailed instructions on the preparation of electronic artwork, please visit <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs at <http://www.elsevier.com/authoFAQ> and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.