

EXCRECIÓN NITROGENADA POR LA ANGIULA: EFECTO DE LA NATURALEZA Y MAGNITUD DEL APORTE ENERGÉTICO DE LA DIETA

NITROGEN EXCRETION BY THE EELS: EFFECT OF THE AMOUNT AND SOURCE OF
DIETARY ENERGY

García Gallego, M., M.D. Suárez, M.C. Hidalgo, A. Sanz y M. de la Higuera

Departamento de Biología Animal y Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 18071
Granada. España. E-mail: magarga@goliat.ugr

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Dieta. Excreción amoniacal. Relación proteína/energía.

ADDITIONAL KEYWORDS

Diet. Ammonia excretion. Protein/energy ratio.

RESUMEN

Se han ensayado 8 piensos experimentales distintos, formulados con los mismos ingredientes, pero variando la proporción de los macronutrientes energéticos de manera que resultaran diferentes contenidos energéticos totales (14,8 a 17,8 MJ/kg) y diferentes relaciones proteína/energía (15,0 a 24,2 g/MJ), para lo cual se usaron niveles proteicos entre 25 y 40 p.100, lipídicos entre 12 y 20 p.100 y carbohidratados entre 23 y 41 p.100. Cada pienso fue suministrado a dos lotes de anguilas. En grupos de tres anguilas tomadas al azar de cada lote original e introducidas en cámaras metabólicas se midieron consumo de oxígeno y producción de amoníaco durante un período de 12 horas tras la última comida.

Se detectó una relación directa entre la proteína/energía de la dieta y la excreción nitrogenada correspondiente, lo que refleja un peor aprovechamiento de la proteína en las dietas que la incorporan en mayores cantidades. Por otra parte, a igualdad de relación proteína/energía, las dietas con mayor proporción de carbohidratos

promovieron un mayor efecto de ahorro de la proteína dietaria, que los lípidos. Estos datos confirman los de experimentos previos que nos habían permitido demostrar una relativamente alta capacidad de la anguila para usar con provecho altos niveles de carbohidratos en sus dietas.

SUMMARY

Duplicate lots of European eel were fed with eight different experimental diets. The same constituents were used to formulate the diets, but the energy-yielding nutrients proportion varied among the diets, obtaining eight diets with different total energy (from 14.8 to 17.8 MJ/kg) and protein/energy ratio (15.0 to 24.2 g/MJ). From each different lot, three eels were taken at random and introduced in metabolic chambers where the oxygen consumption and the ammonia production were measured, during a period lasting for twelve hours after the eels were fed.

A direct relationship between the diet protein/

energy ratio and nitrogen excretion was found, which might reflect a relatively poorer use of the protein in diets with high levels of this nutrient. On the other hand, for the same protein/energy ratio, diets with higher carbohydrate levels promoted a better dietary protein saving effect than do the high-lipid ones. These results corroborate those of previous experiments that allowed us to demonstrate that the eel has a relatively high capacity to use with profit high-carbohydrate diets.

INTRODUCCIÓN

Entre las especies de peces que son objeto de piscicultura intensiva, se encuentra la anguila europea (*Anguilla anguilla*) para la que las técnicas de engorde en cautividad están bien establecidas. No obstante, aún en esta fase son posibles las mejoras, actuando, entre otras cosas, sobre la composición del pienso artificial tanto en lo que se refiere a su contenido en macronutrientes y energía como a las materias primas que los proveen. Nuestro grupo de investigación ha realizado amplias y profundas investigaciones sobre esos temas, especialmente centradas en la determinación de la relación óptima entre la proteína y la energía que debe ofertar el pienso, así como sobre la proporción que hidratos de carbono y grasa representan de la energía de la dieta (De la Higuera *et al.*, 1989; Sanz *et al.*, 1993, Hidalgo *et al.*, 1993; García Gallego *et al.*, 1993, 1994, 1995).

La tasa de excreción de amoníaco ha sido usada con frecuencia como índice complementario del grado de utilización de la proteína dietaria por los peces (García Gallego *et al.*, 1981; Lied y Braaten, 1984; Degani *et al.*, 1985; Gallagher y Matthews, 1987;

Santiago y Reyes, 1991; Echevarría *et al.*, 1993; Ballestrazzi *et al.*, 1994; Agradi *et al.*, 1995; Cai *et al.*, 1996), en el sentido de que, a igualdad de otras condiciones, una combinación de macronutrientes resultará más favorable si *protege* a la proteína, favoreciendo su depósito tisular (crecimiento) con respecto a su utilización como fuente de energía, tarea en la que podría ser, al menos parcialmente, sustituida por fuentes más económicas como lípidos o hidratos de carbono (Ballestrazzi *et al.*, 1994; Medale *et al.*, 1995; Buttle *et al.*, 1995; Tidwell *et al.*, 1996). Más recientemente, al interés por el mejor aprovechamiento de la dieta o de su fracción proteica, se ha unido la preocupación por la calidad del medio ya que ante la proliferación de las instalaciones de piscicultura, la reducción de los efluentes nitrogenados de alto poder contaminante, ha motivado el desarrollo de dietas específicas que pretenden aunar en un pienso el alto rendimiento con el mínimo potencial polucionante.

En el presente estudio, se cuantifica la tasa de excreción de amoníaco por la anguila, en respuesta a la ingesta de una serie de dietas experimentales con diferentes combinaciones de macronutrientes, contenido de energía total y relaciones proteína/energía, con el fin de obtener información complementaria que ayude a prever y, en su caso, explicar el posible rendimiento diferenciado de dichas dietas.

MATERIAL Y MÉTODOS

ANIMALES Y MANTENIMIENTO

Se usaron anguilas de la especie *Anguilla anguilla* de un peso inicial en

torno a 35 g. Una vez en el laboratorio se sometieron a un período de adaptación a las condiciones del mismo y a los piensos experimentales que duró 30 días. Dichas condiciones incluían: cubas de fibra de vidrio, de 380 l de capacidad útil, dispuestas en un circuito abierto termorregulado ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) y alimentado con agua de la red, previamente desclorada. Un electrosoplante mantuvo la concentración de oxígeno en las cubas siempre por encima de 7 ppm. Los peces estuvieron sometidos a un fotoperiodo de 12 horas que se iniciaba a las 8 a.m.

PIENSOS EXPERIMENTALES

Se formularon y fabricaron 8 piensos experimentales semihúmedos, cada uno de los cuales fue suministrado a dos lotes de anguilas. Los piensos variaban en el contenido de los macronutrientes energéticos, resultando combinaciones con un contenido energético total (ET) que iba de 15 a 18 MJ/kg y una relación proteína/energía (P/E) que variaba entre 15 y 24 g/MJ, gracias a cambios en las proporciones de harina de pescado, aceites y almidón pregelatinizado de las fórmulas. La **tabla I** muestra la formulación y composición de los piensos (en sustancia seca) designados por su porcentaje de proteína/grasa/carbohidratos y que se diseñaron así: dos piensos con reducido nivel proteico (25 p.100), con las mismas ET y P/E pero con una contribución desigual de grasas y carbohidratos a la energía extraproteica (dietas 25/12/41 y 25/20/23); otros cuatro piensos contenían un nivel proteico intermedio (30 p.100), tres de ellos (30/12/23, 30/16/23 y 30/20/23), con la misma cantidad de carbo-

hidratos, aumentaban su ET y reducían por tanto su P/E, a expensas de una elevación progresiva del nivel lipídico; el cuarto (30/12/35) contenía la misma ET que los dos últimos, los de más alto nivel proteico (35 y 40 p.100), con los que, además, compartía el nivel de grasa de forma que una relación inversa proteína/carbohidratos, aumentaba la relación P/E y disminuía la contribución de los carbohidratos a la energía dietaria. Dichos piensos se suministraron durante 20 días, dos veces por día (10'00 y 17'00 horas) y a saciedad, controlándose la cantidad ingerida en cada comida.

PROTOCOLO PARA LA MEDIDA DE CONSUMO DE OXÍGENO Y PRODUCCIÓN DE AMONÍACO

Grupos de tres anguilas extraídas al azar de cada lote experimental el día 20 del experimento, fueron levemente sedadas (MS-222, Sandoz Ltd., 1/10000 p/v), y trasladadas a sendas cubas de plástico (4,5 l) llenas de agua aireada y semisumergidas en tanques mayores mantenidos a 25°C , con el objeto de que la temperatura no variara notablemente durante la realización del experimento. Estas pequeñas cubas se mantuvieron cerradas, excepto por el orificio que permitía la entrada ajustada del tubo del aireador, la toma de muestras y reposición de agua.

Cada dos horas, durante un período de 12, se tomaron muestras de 50 ml de agua de cada cuba (fueron reemplazados por volúmenes idénticos de agua limpia) para analizar la concentración de amonio y medir el pH. Siguiendo la evolución temporal de la concentración, teniendo en cuenta el volumen de

Tabla I. Formulación y composición de las diferentes dietas experimentales. (Formulation and chemical composition of the experimental diets).

	Dietas experimentales							
	25/12/41	25/20/23	30/12/23	30/16/23	30/20/23	30/12/35	35/12/29	40/12/23
Ingrediente (g/100 g dieta seca)								
- Harina de pescado	36,74	37,21	44,78	44,78	44,78	44,09	52,24	59,70
- Aceite de hígado de bacalao	2,84	8,41	2,59	2,09	7,59	1,91	0,27	-
- Aceite de maíz	4,50	7,50	4,50	6,00	7,50	4,50	6,00	5,45
- Almidón de maíz pregelatinizado	41,00	23,00	23,00	23,00	23,00	35,00	29,00	23,00
- Complemento vitamínico*	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
- Complemento mineral*	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
- Alginato sódico	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
- Cr ₂ O ₃	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
- Celulosa	2,92	11,78	13,13	12,13	5,13	5,50	0,49	-
Composición								
- Proteína (p.100 s/ss)	25,66	25,30	30,11	30,13	30,67	30,61	35,09	40,31
- Grasa (p.100 s/ss)	12,09	20,30	12,60	16,11	19,98	12,15	12,66	12,28
- Cenizas (p.100 s/ss)	12,44	12,45	13,27	13,96	13,36	13,52	15,70	16,64
- Energía total (MJ/kg)**	16,83	16,91	14,80	16,19	17,83	16,78	16,83	16,67
- Proteína/energía (g/MJ)**	15,24	14,96	20,34	18,60	17,20	18,23	20,85	24,19
- Energía (p.100) aportada por proteína/grasa/carbohidratos	29/28/41	29/47/23	40/34/27	36/39/24	33/44/22	36/29/36	41/30/30	47/29/24

*Según De la Higuera *et al.* (1989).

**Se usaron los siguientes coeficientes de conversión calórica (kJ/g): 19,5 para proteínas, 39,5 para grasas y 17,2 para carbohidratos.

las cubas y el peso de las anguilas presentes se pudo estimar la producción de amoníaco por unidad de peso y tiempo en cada intervalo, así como la producción total. En los mismos intervalos se determinó el consumo de oxígeno, midiendo la concentración del mismo en el agua en dos lecturas separadas exactamente 20 minutos, durante las cuales se cortó el flujo de aire a la cuba. Por diferencia entre ambas lecturas y teniendo en cuenta el volumen total de agua en la cuba y el peso de las anguilas correspondientes, se

pudo estimar el consumo de oxígeno por unidad de peso y tiempo en cada uno de los momentos de muestreo. Ambos parámetros se expresan por unidad de peso metabólico, calculado a partir del peso real individual y aplicando el coeficiente 0,8, propuesto como el más adecuado para diversas especies de peces, incluida la anguila (Heinsbroek *et al.*, 1993).

ANÁLISIS

Las dietas fueron analizadas según los procedimientos estándar de la

DIETA Y EXCRECIÓN NITROGENADA EN ANGUILAS

A.O.A.C. (1980). La concentración de amoníaco se determinó colorimétricamente (Chaney y Marbach, 1962), la de oxígeno con la ayuda de un oxímetro WPA, modelo OT8 y el pH con un pHmetro Crison, modelo micropH 2002. La medida de pH se usó únicamente como referencia para estimar, junto con la temperatura, la proporción de N presente como amoníaco molecular (NH_3), considerado como la forma tóxica para los peces, o como ión NH_4^+ en el agua de las muestras.

ESTADÍSTICA

Se aplicó ANOVA para detectar posibles variaciones temporales en consumo de oxígeno y producción de amoníaco así como efecto de la composición de la dieta sobre ambas variables.

temporal de la tasa de producción de amoníaco por los distintos lotes experimentales y el valor promedio total correspondiente a cada dieta. De nuevo los valores máximos se detectan, en la práctica totalidad de las cámaras, en el primer intervalo tras la colocación de las anguilas en las mismas. A continuación, los valores detectados se estabilizan a un nivel más bajo, aunque, también en todos los casos, se detecta un nuevo aumento entre las 8 horas y el final del experimento, según lotes. Al considerar el posible efecto diferencial provocado por las dietas observamos que el máximo correspondía a la dieta de más alto nivel proteico (40/12/23), en tanto que los valores más bajos corresponden a las dietas con los más altos porcentajes de almidón pregelatinizado (25/12/41 y 30/12/35).

RESULTADOS

Como se observa en la **tabla II**, en todos los casos, las cifras máximas de consumo de oxígeno se detectaron en el control inmediato a la colocación de las anguilas en las cámaras metabólicas. A partir de ahí se midieron valores más bajos con un incremento generalizado en la muestra tomada a las 6 horas de experimento y otro, menos amplio, al final del período experimental. Promediando los valores obtenidos para cada dieta experimental, se observan diferencias escasas, siendo significativas únicamente las que existen entre el valor máximo, correspondiente a los lotes 30/20/23 y el mínimo de los lotes 35/12/29.

La **tabla III** exhibe la evolución

DISCUSIÓN

Diversos ensayos previos realizados por nuestro grupo con la anguila europea nos han permitido abordar el tema de la óptima relación proteína/energía de la dieta demostrando, tal como ha ocurrido en otras especies, que una reducción del nivel proteico hasta ciertos límites, mejora el aprovechamiento de este nutriente con fines plásticos (crecimiento) y la utilización general de la dieta (De la Higuera *et al.*, 1989; Hidalgo *et al.*, 1993; García Gallego *et al.*, 1993; Sanz *et al.*, 1993). La reducción de la relación P/E dietaria ha sido conseguida no sólo rebajando el aporte proteico sino aumentando el de lípidos y carbohidratos con el fin de mantener un cierto

Tabla II. Tasa de consumo de oxígeno (mg/min/kg^{0,8} anguila) en los distintos lotes experimentales. (Oxygen consumption rate by the different experimental lots).

Dieta	Horas tras la comida							Promedio ¹
	0	2	4	6	8	10	12	
25/12/41	2,6±0,2	1,8±0,3	1,3±0,2	2,3±0,04	1,7±0,4	1,9±0,9	1,8±0,4	1,9±0,2 ^{ab}
25/20/23	3,4±0,3 ^a	2,0±0,1 ^{bc}	2,0±0,1 ^{bc}	2,6±0,1 ^b	1,9±0,02 ^{bc}	1,6±0,2 ^c	2,2±0,03 ^b	2,2±0,2 ^{ab}
30/12/23	3,0±0,3 ^a	1,4±0,1 ^{cd}	1,1±0,1 ^f	2,3±0,2 ^b	1,6±0,03 ^c	1,3±0,3 ^e	1,6±0,1 ^{cd}	1,8±0,2 ^{ab}
30/16/23	2,7±0,1 ^a	1,2±0,04 ^b	1,3±0,4 ^b	2,5±0,03 ^b	1,5±0,2 ^b	1,1±0,4 ^b	1,7±0,2 ^b	1,7±0,2 ^{ab}
30/20/23	3,6±0,4 ^a	1,7±0,2 ^c	2,0±0,3 ^{bc}	3,3±0,7 ^{ab}	2,2±0,6 ^{abc}	1,3±0,3 ^c	2,2±0,3 ^{abc}	2,3±0,2 ^a
30/12/35	3,2±0,1 ^a	1,7±0,2 ^c	1,0±0,04 ^d	2,2±0,3 ^b	1,7±0,4 ^{bc}	1,4±0,4 ^c	2,0±0,3 ^b	1,8±0,2 ^{ab}
35/12/29	2,6±0,1 ^a	0,8±0,1 ^b	0,3±0,1 ^b	2,3±0,1 ^a	0,6±0,3 ^b	0,3±0,01 ^b	2,1±0,2 ^a	1,3±0,3 ^b
40/12/23	3,3±0,4 ^a	0,4±0,1 ^b	1,0±0,3 ^b	2,7±0,2 ^a	1,1±0,1 ^b	1,1±0,1 ^b	2,7±0,1 ^a	1,9±0,2 ^{ab}

^{a,b,c,...}Valores de cada fila, excepto última columna, con diferente superíndice, son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

¹Los valores de esta columna con diferente superíndice son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Efecto de la dieta.

nivel energético total favorable. En este sentido, los carbohidratos parecen competir ventajosamente con los lípidos, tal como se ha descrito en otras especies de peces de aguas dulces y cálidas (Lovell, 1989) y a diferencia de lo que ocurre en, por ejemplo, los salmónidos con respecto a los cuales la anguila parece estar mejor capacitada para el uso de los carbohidratos (García Gallego *et al.*, 1995).

En el presente ensayo y como complemento a lo anterior, investigamos los efectos sobre el consumo de oxígeno y, sobre todo, la eliminación de amoníaco de varias fórmulas dietarias en las que se cambian las proporciones entre macronutrientes, resultando contenidos de ET y relaciones P/E diversas (**tabla I**).

Este experimento se realizó en cámaras metabólicas cerradas, esto es, sin renovación del agua, por lo que una

primera preocupación la constituía el posible efecto negativo de la acumulación de amoníaco molecular (NH_3) tóxico. Durante la realización del experimento, la concentración total de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) no superó nunca el valor 4 ppm (los valores al final del experimento, 12 horas tras la colocación de los peces, variaron entre un mínimo de 1,15 ppm y un máximo de 3,85 ppm), concentraciones que a las condiciones de pH (en torno a 8,0) y temperatura (23-25°C) prevalentes durante el ensayo, significan valores inferiores a 0,2 ppm de la forma no ionizada y tóxica (Liao y Mayo, 1972). Tanto la anguila europea (Sadler, 1981) como la japonesa (Yamagata y Niwa, 1987) han demostrado tolerar niveles más altos a los aquí encontrados y durante exposiciones más prolongadas, por lo que debemos concluir que esta circunstancia no

DIETA Y EXCRECIÓN NITROGENADA EN ANGUILAS

Tabla III. Tasa de producción de N amoniacal (mg/hora/kg^{0,8}) en los distintos lotes experimentales. (N-ammonia production rate by the different experimental lots).

Dieta	Intervalo (horas) tras la comida						Promedio ¹
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	
25/12/41	4,9±0,4 ^a	1,8±0,1 ^b	1,6±0,6 ^b	1,8±0,9 ^b	2,1±0,3 ^b	3,6±0,6 ^a	2,7±0,5 ^{cd}
25/20/23	5,1±0,1 ^b	2,8±0,3 ^c	1,8±0,4 ^d	2,9±0,3 ^c	3,1±0,1 ^c	6,3±0,5 ^a	3,7±0,1 ^{bcd}
30/12/23	5,9±0,3 ^a	4,3±0,1 ^b	4,3±0,2 ^b	3,2±0,3 ^c	6,6±0,3 ^a	5,4±0,5 ^{ab}	5,0±0,2 ^{ab}
30/16/23	7,0±1,3 ^a	4,3±0,5 ^b	3,8±0,7 ^b	3,6±1,7 ^b	3,6±0,3 ^b	6,8±1,2 ^a	4,9±0,4 ^{ab}
30/20/23	8,6±1,6 ^a	4,5±1,3 ^b	4,7±1,7 ^b	4,4±0,2 ^b	4,6±0,3 ^b	6,0±0,2 ^{ab}	5,5±0,9 ^{ab}
30/12/35	3,8±0,6 ^a	1,2±0,2 ^c	0,9±0,2 ^c	1,4±0,2 ^c	2,3±0,3 ^b	3,3±0,6 ^a	2,1±0,2 ^d
35/12/29	9,6±1,7 ^a	3,6±0,4 ^b	1,8±0,3 ^c	0,9±0,2 ^c	3,9±1,1 ^b	4,0±1,0 ^b	4,1±0,1 ^{bc}
40/12/23	11,2±2,9 ^a	6,4±1,5 ^b	5,8±1,7 ^{bc}	4,3±0,1 ^c	2,8±1,2 ^d	7,5±1,3 ^{ab}	6,3±1,1 ^a

^{a,b,c,...}Valores de cada fila, excepto última columna, con diferente superíndice, son significativamente diferentes (p<0,05).

¹Los valores de esta columna con diferente superíndice son significativamente diferentes (p>0,05). Efecto de la dieta.

ha influido en el desarrollo del experimento.

La evolución temporal, tanto del consumo de oxígeno como de la producción de amoníaco (**tablas II y III**), muestra un valor máximo de ambas variables inmediatamente después de la colocación de los animales en las cubas metabólicas y poco después de la ingesta de alimento. Ambas circunstancias han podido contribuir a estos picos. Efectivamente, en primer lugar, la situación de estrés derivada de la extracción de los animales y su ubicación en una cámara de morfología diferente y volumen reducido, aunque algo atenuada por la anestesia, ha podido inducir un aumento de las demandas de oxígeno y del catabolismo nitrogenado, mediadas por un aumento de la actividad neuroendocrina (sistema nervioso simpático, catecolaminas, cortisol,..) tal como se ha puesto

de manifiesto en diversas especies de peces (van der Boon *et al.*, 1991).

Por otra parte, la comida provoca en la generalidad de los peces un aumento en la demanda de oxígeno para satisfacer las necesidades metabólicas asociadas a la ingesta y utilización digestiva del alimento ingerido (Cho, 1987), lo que se conoce como SDA o acción dinámica específica. La rapidez con que se manifiesta esta respuesta, su máximo valor y su duración varían entre especies y también en función de la composición de la dieta (Hepher, 1988). Esta respuesta postprandial, en lo que respecta a la producción de amoníaco, se retrasa hasta 4-8 horas después de la comida en angulas (Gallagher y Matthews, 1987, Heinsbroek *et al.*, 1993), entre 4 y 6 horas en lubinas (Ballestrazzi *et al.*, 1994), hasta 8 horas en truchas (Rychly y Marina, 1977) y carpas (Chakraborty

et al., 1992, Heinsbroek *et al.*, 1993). En la generalidad de los casos, se ha encontrado buena correlación temporal en los perfiles de consumo de oxígeno y excreción de amoníaco, sin que se puedan descartar la existencia de ritmos endógenos, hasta cierto punto independientes de la ingesta de alimento en ambos parámetros.

En nuestro caso, el pico tardío de producción de $N-NH_3$ se inicia entre las 6-8 horas tras la comida, culminando en los dos últimos controles y coincidiendo con una nueva elevación en el consumo de oxígeno, lo que, en líneas generales, significaría un cierto retraso con respecto a los valores previamente descritos en la literatura. En este segundo pico es previsible que el posible efecto del estrés sea de menos peso que en el inicial.

El objetivo central de este trabajo era valorar el efecto de la composición de la dieta o, más concretamente, de su relación P/E sobre la tasa de excreción amoniacal. La **tabla III** muestra los valores promedio correspondientes a todo el periodo experimental para las dos réplicas de cada dieta/lote. Asumimos que el efecto derivado del estrés es de la misma magnitud en todos los lotes por lo que, aunque los valores obtenidos no puedan ser utilizados con fiabilidad como indicativos de la situación pre-experimental y, por tanto, utilizados para definir las tasas reales de producción o los correspondientes balances de nitrógeno y energía, las diferencias observadas entre lotes deber ser atribuidas únicamente a las correspondientes a la composición de la dieta ingerida durante los días anteriores.

Considerando la excreción media

en su conjunto, los valores detectados por unidad de peso y tiempo en nuestro ensayo resultan algo inferiores a los encontrados por otros autores, pese al comentado efecto estimulante del estrés inicial. Se pueden apuntar varias razones para esta circunstancia: por una parte el menor nivel proteico de nuestras dietas (25-40 p.100) y por tanto la menor relación P/E usadas en nuestros ensayos, y la más adelante comentada relación directa entre excreción amoniacal y nivel proteico del alimento; por otra parte, las anguilas de la edad usada en nuestros experimentos exhibieron, en ensayos de más larga duración, una capacidad de utilización digestiva tanto de la dieta en su conjunto como de la proteína de la misma (Hidalgo *et al.*, 1993; García Gallego *et al.*, 1993; Sanz *et al.*, 1993; García Gallego *et al.*, 1995), notablemente más baja que otras especies de peces carnívoros. Así, sólo el pienso con el nivel proteico más alto (40/12/23) exhibe unos valores de excreción amoniacal en línea a los detectados por otros autores en esta (Gallagher *et al.*, 1984) y otras especies (Ballestrazzi *et al.*, 1994; Dosdat *et al.*, 1996).

El principal objetivo de este ensayo era no obstante, como se ha comentado en otro lugar de este trabajo, no tanto valorar los niveles absolutos de excreción de amonio, como estudiar el efecto de la composición de la dieta, el cual se deduce de la comparación entre los promedios de producción de amoníaco a lo largo del período experimental por los dos lotes alimentados con cada dieta (**tabla III**). Para mayor claridad, en la **figura 1** se ha representado el efecto de la relación P/E del pienso sobre la tasa de excreción de amoníaco,

DIETA Y EXCRECIÓN NITROGENADA EN ANGUILAS

agrupando las dietas en dos categorías: una de ellas formada por las dietas que mantienen constante el contenido en carbohidratos (piensos Iso-CHO), esto es, 25/20/23, 30/20/23, 30/16/23, 30/12/23 y 40/12/23, en las que la relación P/E varía al modificarse la relación proteínas/lípidos; la otra serie (piensos Iso-Lip) estaría formada por las dietas del mismo nivel lipídico, 25/12/41, 30/12/35, 35/12/29 y, de nuevo, 40/12/23, en las que la relación P/E varía por cambios en la relación proteína/carbohidratos. Junto al valor correspondiente a cada dieta se ha representado el porcentaje de la ET que aportan los carbohidratos a la misma.

En dicha figura resulta aparente una

tendencia a una mayor excreción amoniacal en tanto mayor es la relación P/E del pienso, lo que confirma resultados previos en esta y otras especies (ver Introducción). Esto es, en términos generales, la reducción de P/E sería positiva tanto en lo que respecta a la utilización de la proteína del alimento como desde el punto de vista de una menor descarga contaminante al medio. Pero, además, si consideramos por separado las dos series de piensos antes mencionadas, vemos que el citado efecto es más marcado cuando la relación P/E se rebaja mediante la sustitución de proteína por carbohidratos que cuando lo hace por lípidos. De hecho, cuando se comparan piensos

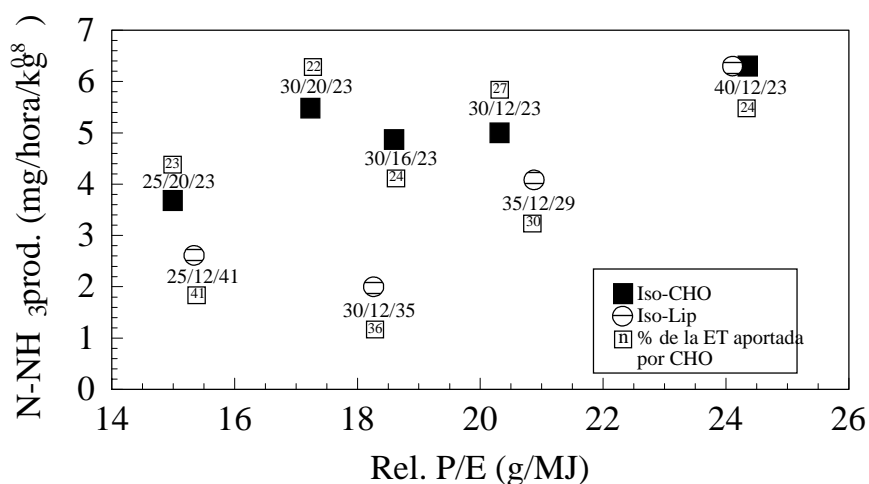


Figura 1. Efecto de la proporción de macronutrientes energéticos de la dieta sobre la tasa de excreción nitrogenada por la anguila (Iso-Lip: dietas con el mismo nivel lipídico; Iso-CHO: dietas con el mismo nivel de carbohidratos). (Effect of dietary energy-yielding nutrients proportion on ammonia excretion by the eel (Iso-Lip: diets with the same lipids levels; Iso-CHO: diets with the same carbohydrates level).

de relación P/E próxima, tales como los pares 25/20/23 y 25/12/41, 30/16/23 y 30/12/35, 30/12/23 y 35/12/29, en todos los casos, la excreción amoniaca es menor cuanto mayor es el porcentaje de energía aportado por los carbohidratos; por lo que podría concluirse que, a efectos de la variable controlada (excreción de amoníaco), los carbohidratos resultan más eficaces que los lípidos lo que, aunque contrasta con datos para otras especies, especialmente salmónidos (Hilton y Slinger, 1981; Zamora y Echevarría, 1987), no es tan raro si consideramos datos previos de anguilas, obtenidos por otros grupos de investigadores (Haginara *et al.*, 1967; Spannhoff y Kühne, 1977; Degani, 1987; Degani y Viola, 1987, Degani *et al.*, 1985) y el nuestro propio en los que estos mismos piensos muestran sus mejores resultados cuando ofrecen una reducida proporción proteína/carbohidratos de hecho, los piensos 30/12/35 y 25/12/41 condujeron, en experimentos de larga duración, a los mejores índices de utiliza-

ción de la proteína y crecimiento, en claro contraste con los de los más altos niveles proteicos ensayados (40 p.100) que produjeron los resultados más pobres en sus respectivos experimentos (Hidalgo *et al.* 1993, García Gallego *et al.*, 1993).

En resumen, los datos obtenidos en este experimento, junto con los de crecimiento y utilización metabólica de dietas de composición idéntica a las aquí ensayadas así como los estudios comparativos con la trucha, confirman a la anguila como especie que, pese a su consideración biológica de carnívora, respondería a un esquema digestivo y metabólico más parecido al de especies herbívoras u omnívoras de aguas dulces cálidas, en lo que se refiere a la utilización de los carbohidratos como fuente energética, siempre que sean aportados por fuentes, como la aquí utilizada, sometidas a pretratamientos (pregelatinización, por ejemplo) que favorezcan la utilización digestiva de los mismos y de los demás componentes de la dieta.

BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. 1980. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., USA, 1018 pp.
- Agradi, E., L. Ronomi, E. Rigamonti, M. Liguori and P. Bronzi. 1995. The effect of dietary lipids on tissue lipids and ammonia excretion in European eels (*Anguilla anguilla*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 111A(3): 445-451.
- Ballestrazzi, R., D. Lanari, E. D'Agaro and A. Mion. 1994. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 127: 197-206.
- Buttle L.G., R.F. Uglow and I.G. Cowx. 1995. Effect of dietary protein on the nitrogen excretion and growth of the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquat. Living. Resour.*, 8: 407-414.
- Cai, Y., J. Wermerskirchen and I.R. Adelman. 1996. Ammonia excretion rate indicates dietary protein adequacy for fish. *Prog. Fish-Cult.*, 58: 124-127.
- Chaney, A.L. and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, 8: 130-132.

DIETA Y EXCRECIÓN NITROGENADA EN ANGUILAS

- Chakraborty, S.C., L.G. Ross and B. Ross. 1992. The effect of dietary protein level and ration level on excretion of ammonia in common carp, *Cyprinus carpio*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103: 801-808.
- Cho, C.Y. 1987. La energía en la nutrición de los peces. En: Nutrición en Acuicultura. Ed. por Espinosa, J. y Labarta, U., CAICYT, Madrid, pp. 197-243.
- Degani, G. 1987. The influence of relative proportions of protein and carbohydrate on body weight gain, nitrogen retention and feed conversion of European eels, *Anguilla anguilla*. *Aquacult. & Fish. Manag.*, 18: 151-158.
- Degani, G. and S. Viola. 1987. The protein sparing effect of carbohydrates in the diet of eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 64: 277-282.
- Degani G., A. Horowitz and D. Levanon. 1985. Effect of protein level in purified diet and of density, ammonia and oxygen level on growth of juvenile European eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 46: 193-200.
- De la Higuera, M., M. García Gallego, A. Sanz, M.C. Hidalgo y M.D. Suárez. 1989. Utilization of dietary protein by the eel (*Anguilla anguilla*): Optimum dietary protein levels. *Aquaculture*, 19: 53-61.
- Dosdat A., F. Servais, R. Métailler, C. Huelvan and E. Desbruyères. 1996. Comparison of nitrogenous losses in five teleost species. *Aquaculture*, 141: 107-121.
- Echevarría, G., N. Zarauz, J. López-Ruiz and S. Zamora. 1993. Study on nitrogen excretion in the gilthead (*Sparus aurata* L.): Influence of nutritional state. *Comp. Biochem. Physiol.*, 105A: 17-19.
- Gallagher, M.L. and A.M. Mathews. 1987. Oxygen consumption and ammonia excretion of the American eel *Anguilla rostrata* fed diets with varying protein energy ratios and protein levels. *J. World Aquacult. Soc.*, 18: 107-112.
- García Gallego, M., S. Zamora and M.A. López. 1981. The influence of partial replacement of protein by fat in the diet on protein utilization by the rainbow trout (*Salmo gairdnerii*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 78: 533-536.
- García Gallego, M., M.C. Hidalgo, M.D. Suárez, A. Sanz and M. de la Higuera. 1993. Feeding of the European eel *Anguilla anguilla*. II. Influence of dietary lipid level. *Comp. Biochem. Physiol.*, 105: 171-175.
- García Gallego, M., J. Bazoco, H. Akharchach, M.D. Suárez and A. Sanz. 1994. Utilization of different carbohydrates by the European eel (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 124: 99-108.
- García Gallego, M., J. Bazoco, M.D. Suárez and A. Sanz. 1995. Utilization of dietary carbohydrates by fish: a comparative study in eel and trout. *Animal Science*, 61: 427-436.
- Haginara, S., T. Ishikawa and Y. Shoji. 1967. Potato starch in commercial eel feed. *Ann. Meet. Jap. Soc. Fish.*, pp 8-13.
- Heinsbroek, L.T.N., P.A.T. Tijssen, R.B. Flach and G.D.C. de Jong. 1993. Energy and nitrogen balance studies in fish, En: Fish Nutrition in Practice, Ed. INRA, Paris (Les Colloques, nº 61), pp. 375-389.
- Hepher, B. 1988. Nutrition of Pond Fishes. Cambridge University Press, Cambridge (UK). 388 pp.
- Hidalgo, M.C., A. Sanz, M. García Gallego, M.D. Suárez and M. de la Higuera. 1993. Feeding of the European eel *Anguilla anguilla*. L. Influence of dietary carbohydrate level. *Comp. Biochem. Physiol.*, 105: 165-169.
- Hilton, J.W. and S.J. Slinger. 1981. Nutrition and feeding of rainbow trout. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, No. 55, 15 pp.
- Liao, P.B. and R.D. Mayo. 1972. Salmonid hatchery water reuse systems. *Aquaculture*, 1: 317-335.
- Lied, E. and B. Braaten. 1984. The effect of feeding and starving and different ratios of protein energy to total energy in the feed on the excretion of ammonia in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 78: 49-52.
- Lovell, T. 1989. Revaluation of carbohydrates in fish feeds. *Aquacul. Manag.*, May/June: 62-64.
- Medale, F., C. Brauge, F. Valle and S.J. Kaushik.

1995. Effects of dietary/protein energy ratio, ration size, dietary energy source and water temperature on nitrogen excretion in rainbow trout. En: Nutritional Strategies and Management of Aquaculture Waste (Ed. por C.B. Cowey), 31: 185-194.
- Rychly, J. and B.A. Marina. 1977. The ammonia excretion of trout during a 24-hour period. *Aquaculture*, 11: 173-178.
- Sadler, K. 1981. The toxicity of ammonia to the European eel (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 26: 173-181.
- Santiago, C.B. and O.S. Reyes. 1991. Optimum dietary protein level for growth of bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *Aquaculture*, 93: 155-165.
- Sanz, A., M.D. Suárez, M.C. Hidalgo, M. García Gallego and M. de la Higuera. 1993. Feeding of the European eel *Anguilla anguilla*. III. Influence of the relative proportions of the energy yielding nutrients. *Comp. Biochem. Physiol.*, 105A: 177-182.
- Spannhoff, L. and H. Kühne. 1977. Studies regarding the utilization of different feed mixes by European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Arch. Tierernaehr.*, 27: 517-535.
- Tidwell, J.H., C.D. Webster and S.D. Coyle. 1996. Effects of dietary protein level on second year growth and water quality for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) raised in ponds. *Aquaculture*, 145: 213-223.
- Van der Boon, J., G.E. van den Thillart and A.D.F. Addink. 1991. The effects of cortisol administration on intermediary metabolism in teleost fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 100: 47-53.
- Yamagata, Y. and M. Niwa. 1987. Acute and chronic activity of ammonia to eel *Anguilla japonica*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 48: 171-176.
- Zamora, S. y G. Echevarría. 1987. Los hidratos de carbono en la nutrición de los peces. En: Nutrición en Acuicultura. ed. por Espinosa, J. y Labarta, U., CAICYT, Madrid, vol. I, pp. 167-194.

Recibido: 3-11-97. Aceptado: 17-8-98.

Archivos de zootecnia vol. 48, núm. 181, p. 32.