

## Nutrición de Reproductores y Juveniles de Peces Marinos

Delbert M. Gatlin III

Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas A&M University System,  
College Station, TX 77843-2258 , Tel:(409) 8 47 93 30, dgatlin@wfscgate.tamu.edu

---

### INTRODUCCION

A través de los años el interés en el cultivo de algunos peces marinos para repoblamiento y producción de alimento ha seguido creciendo. Algunas de las especies más importantes para las cuales se han realizado estudios nutricionales incluyen a la dorada "gilthead seabream" (*Sparus aurata*), la lobina europea (*Dicentrarchus labrax*), al espárido "red drum" (*Sciaenops ocellatus*), al espárido "red seabream" (*Pagrus major*), y al jurel "yellowtail" (*Seriola quinqueradiata*).

Muchas de esas especies pueden ser cultivadas e inducidas al desove de manera confiable bajo condiciones controladas, lo que ha permitido hacer investigaciones sobre la influencia de factores nutricionales sobre el rendimiento reproductivo. Sin embargo, mucha de la investigación en nutrición de peces marinos ha sido enfocada a los estadios larvarios y juveniles.

Las larvas de peces marinos son generalmente muy pequeñas al momento de la eclosión y dependen de los nutrientes endógenos del saco vitelino por un corto período de tiempo. Después de que el saco vitelino se ha agotado, una fuente exógena de alimentación es típicamente ofrecida en la forma de zooplancton, el cual puede variar dependiendo del sistema de cultivo larvario empleado. La talla del zooplancton es generalmente ajustado al crecimiento de la larva, y al mismo tiempo durante la crianza larvaria se puede proveer de dietas microparticuladas. Sin embargo, las dietas comerciales disponibles para larvas generalmente no han sido capaces de reemplazar el alimento vivo para la mayoría de las larvas de peces marinos que son cultivados intensivamente.

Cuando las larvas de peces marinos sufre la transición a juveniles, son generalmente alimentadas con proporciones cada vez mayores de dietas artificiales hasta que son completamente "destetadas" con dichas dietas. Es en esa etapa juvenil que se ha generado mucha de la información nutricional para varios peces marinos. Este trabajo revisa la información nutricional conocida para juveniles de peces marinos de acuerdo a los grupos principales de nutrientes, y entonces se consideran algunos aspectos de la nutrición de los reproductores.

## Nutrición de Juveniles de Peces Marinos

### *Proteína y Aminoácidos*

El requerimiento mínimo en proteína o mezcla balanceada de aminoácidos en la dieta es de fundamental preocupación porque satisfacer este requerimiento es necesario para asegurar un adecuado crecimiento y salud del pez, mientras que si se provee de niveles excesivos de proteína es generalmente poco económico, ya que la proteína es el componente dietético más caro. Numerosos estudios se han realizado con juveniles de peces marinos para determinar su requerimiento mínimo de proteína en la dieta para el máximo incremento en peso o retención de proteína en el cuerpo. Los requerimientos dietéticos en proteína han sido reportados dentro de un amplio rango de valores para algunos peces marinos. Un alto requerimiento en proteína, por arriba del 60% de la dieta seca, fue reportado para la lobina Europea (Metailler *et al.*, 1981) aunque una dieta conteniendo 44% de proteína mantuvo la más alta retención de proteína (Ballestrazzi *et al.*, 1994). El jurel (Shimeno, 1991) y el espárido red seabream (Takeuchi *et al.*, 1991) también mostraron tener altos requerimientos en proteína, aproximadamente 50% de la dieta. Un valor más bajo de requerimiento en proteína, 40% de la dieta, fue reportado para la dorada (Sabaut y Luquet, 1973). Valores similares de requerimiento en proteína, alrededor de 40% de la dieta, han sido obtenidos para la corvina roja (*Sciaenops ocellatus*) alimentada a satisfacción aparente con una proteína de alta calidad (Daniels y Robinson, 1986; Serrano *et al.*, 1992; McGoogan y Gatlin, 1998).

Los requerimientos dietéticos en los aminoácidos indispensables para algunos peces marinos se han determinado basándose principalmente en la ganancia en peso. Los requerimientos en aminoácidos totales sulfurados (metionina + cisteína) y lisina son típicamente los más críticos de cuantificar, debido a que los niveles de esos aminoácidos en los productos alimenticios son usualmente muy limitados en relación a las cantidades requeridas por los peces. Por ejemplo, el requerimiento total en aminoácidos sulfurados de la corvina roja fue estimado en 3.0% de la proteína del alimento (Moon y Gatlin, 1991). Un requerimiento total similar en aminoácidos sulfurados de 3.3% de la proteína fue determinada para el jurel (Ruchimat *et al.*, 1997). El requerimiento en aminoácidos sulfurados de la corvina roja parece ser más limitante que el requerimiento en lisina, el cual fue estimado en aproximadamente 4.4% de la proteína del alimento (Brown *et al.*, 1988; Craig y Gatlin, 1992). El requerimiento en treonina de la corvina roja también fue cuantificado en 2.3% de la proteína dietética (Boren y Gatlin 1995). Los requerimientos dietéticos en lisina, metionina+cisteína, triptofano y arginina han sido establecidos para la dorada *Sparus aurata* en 5.0, 4.0, 0.6 y <2.6% de la proteína dietética, respectivamente (Luquet y Sabaut, 1974). Los requerimientos en lisina (Tibaldi y Lanari, 1991), metionina (Thebault *et al.*, 1985) y arginina (Tibaldi *et al.*, 1994) de la lobina Europea han sido estimados en 4.8, 2.0 y 3.9% de la proteína dietética, respectivamente. Los valores de requerimiento en lisina para el red seabream fueron reportados en 3.6, 4.3 y 4.4% de la proteína dietética, basándose en la ganancia en peso, eficiencia alimenticia y retención de nitrógeno, respectivamente (Forster y Ogata, 1998). Relaciones establecidas entre patrones de aminoácidos indispensables en el tejido muscular y niveles requeridos en la dieta pueden permitir que los requerimientos de todos los aminoácidos de una especie sean estimados después de cuantificar los requerimientos para solamente uno o dos de los aminoácidos más limitantes (Moon y Gatlin, 1991; Forster y Ogata, 1998).

Además, suministrando aminoácidos para síntesis de proteína, la proteína dietética también puede ser catabolizada para energía. Las especies de peces carnívoros en particular, parecen ser muy hábiles usando la proteína de la dieta como fuente de energía de una manera eficiente, en la cual el amonio resultado de la desaminación proteica es excretado via las branquias con un limitado gasto de energía (NRC 1993). Muchas de las especies marinas también son relativamente eficientes obteniendo energía de carbohidratos y lípidos como será discutido más adelante.

#### *Carbohidratos*

Los peces no tienen requerimientos específicos en carbohidratos, pero la presencia de carbohidratos solubles en la dieta puede proveer una muy buena y económica fuente de energía. Sin embargo, la capacidad de los peces para utilizar los carbohidratos dietéticos para energía varía considerablemente con muchas especies carnívoras, ya que tienen capacidad más limitada (NRC, 1993). Basándose en la información disponible a la fecha, algunas especies de peces marinos parecen ser más tolerantes a carbohidratos solubles en la dieta. Por ejemplo, la corvina roja fue capaz de tolerar arriba de 42% de dextrina en la dieta sin ningún efecto adverso (Serrano *et al.*, 1992), aunque los lípidos fueron generalmente más eficientemente usados como fuente de energía que los carbohidratos (Ellis y Reigh, 1991; Serrano *et al.*, 1992). En contraste, otras especies marinas tal como el jurel mostraron mayor preferencia hacia bajos niveles de carbohidratos solubles, alrededor de 10% de la dieta (Shimeno, 1991).

#### *Lípidos y Ácidos Grasos Esenciales*

Los lípidos son componentes importantes de la dieta de los peces porque proveen una concentrada fuente de energía que es normalmente bien utilizada. Además, los lípidos dietéticos aportan ácidos grasos esenciales, los cuales no pueden ser sintetizados por los peces. Generalmente, los peces marinos han mostrado utilizar eficientemente los lípidos dietéticos para obtener energía (NRC, 1993). Niveles de lípidos en el rango de 10 a 15% de la dieta produjeron resultados aceptables con varias especies marinas (e.g., Williams y Robinson, 1988; Kissil, 1991; Shimeno, 1991; Takeuchi *et al.*, 1991). Los aceites marinos que contienen ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) de las series n-3, tal como ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) y el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3), generalmente han mostrado ser muy nutritivos satisfaciendo los requerimientos en ácidos grasos esenciales de los peces marinos, dada la limitada capacidad de éstos para alargar y desaturar cadenas de ácidos grasos más cortas. Los requerimientos en n-3 HUFA generalmente han sido estimados en 10 a 20% de los lípidos de la dieta para especies tal como la corvina roja red drum (Lochmann y Gatlin, 1993a, 1993b), el espárido red seabream (Takeuchi *et al.*, 1992a), el jurel yellowtail (Takeuchi *et al.*, 1992b), y la dorada gilthead seabream (Ibeas *et al.*, 1994). Algunas especies marinas también pueden tener un requerimiento específico para el ácido araquidónico (20:4n-6) (Castell *et al.*, 1994).

Algunos peces marinos han mostrado verse beneficiados por la presencia de una fuente de fosfolípidos en la dieta durante el desarrollo larval (ej., Kanazawa, 1983). Además, ciertos estudios también han mostrado que la inclusión de fosfolípidos en el alimento puede aumentar el crecimiento de peces marinos juveniles tal como el caránjido (*Pseudocaranx dentex*) (Takeuchi *et al.*, 1992), la lobina Europea (Geurden *et al.*, 1997), y la corvina roja (Craig y Gatlin, 1997).

### *Minerales*

Se ha establecido que los peces generalmente requieren los mismos minerales que los animales terrestres para la formación de tejidos y otras funciones metabólicas, incluyendo la osmoregulación (NRC, 1993). Sin embargo, los minerales disueltos en el medio acuático pueden contribuir a satisfacer los requerimientos metabólicos de los peces e interactuar con los requerimientos dietéticos.

Suplementar la dieta de peces con fósforo es usualmente crítico debido a que la presencia de éste en el agua y su utilización por los peces es limitada. Los requerimientos en fósforo de un limitado número de peces marinos han sido determinados y son generalmente similares a los establecidos para otras especies de peces. Por ejemplo, el requerimiento en fósforo del espárido red seabream parece ser aproximadamente de 0.7% de la dieta, basado en las respuestas a un número limitado de niveles crecientes de fósforo dietético (Sakamoto y Yone, 1978). El requerimiento total de fósforo del red drum (*Sciaenops ocellatus*) fue determinado en 0.86% de la dieta (Davis y Robinson, 1987). Sin embargo, la disponibilidad del fósforo de los ingredientes también puede variar considerablemente (Gaylord y Gatlin, 1996); por lo tanto, es importante formular las dietas en base al fósforo disponible. Se ha demostrado que el jurel tiene un requerimiento en fósforo dietético de 0.67%; mientras que se observó que no requiere sodio, potasio o cloro en la dieta (Shimeno, 1991). En contraste, la inclusión de cloruro de sodio o cloruro de potasio en dietas prácticas ha mostrado tener efectos positivos sobre el crecimiento del red drum en agua dulce y salobre (6 ppm), pero no se notó ningún efecto positivo en agua de mar artificial (Gatlin *et al.*, 1992). Los efectos benéficos de la dieta suplementada con sal para el red drum en aguas diluidas, parecen ser debidas al aporte de iones, que son relativamente escasos en esos ambientes hipotónicos.

Se ha demostrado en algunas especies de peces que la inclusión de selenio y el zinc en la dieta es muy importante, dados los bajos niveles en que se encuentran en los ingredientes, y a las interacciones con otros componentes dietéticos que pueden reducir su biodisponibilidad (NRC, 1993). El requerimiento mínimo en zinc para el red drum ha sido determinado en 20-25 mg Zn/kg de dieta (Gatlin *et al.*, 1991), aunque niveles más altos son generalmente empleados. El requerimiento del jurel yellowtail fue reportado en 60 mg/kg de dieta (Shimeno, 1991). No ha sido demostrado en muchos casos que la inclusión de otros microminerales en dietas prácticas sea necesaria. Sin embargo, una premezcla de minerales traza, de bajo costo, es normalmente añadida a las dietas mas completas para peces a fin de asegurar que sean adecuadas (NRC, 1993).

### *Vitaminas*

Existen 15 vitaminas de las cuales se ha establecido que son esenciales para animales terrestres, así como para las especies de peces que han sido estudiadas a la fecha. Actualmente hay información muy limitada sobre los requerimientos cuantitativos de varias vitaminas para peces marinos. De los diferentes peces marinos que han sido cultivados, la nutrición vitamínica del jurel yellowtail ha sido la más extensamente estudiada y se han determinado requerimientos para 13 vitaminas (Shimeno, 1991). Muchos de esos requerimientos en vitaminas son similares a aquellos establecidos para otras especies de peces. Hasta el momento, el único requerimiento en vitaminas establecido para la corvina roja (*Sciaenops ocellatus*) es el de la colina (Craig y Gatlin, 1996). Una premezcla de vitaminas es añadida a las dietas nutricionalmente completas para proveer niveles adecuados de cada vitamina, independientemente de los niveles presentes en los ingredientes, y contar

así con un margen de seguridad para pérdidas asociadas al procesamiento y almacenaje de las dietas.

#### *Formulación de dietas adecuadas*

Los costos de alimentación generalmente constituyen el principal costo variable en la producción intensiva de peces, por lo tanto, la formulación de alimentos eficientes y de bajo costo puede influir significativamente en la rentabilidad de la producción de peces. La precisión en la formulación de las dietas puede ser mejorada si se conoce información acerca de la digestibilidad o disponibilidad de los nutrientes provenientes de los ingredientes. Tal información ha sido obtenida con algunos peces marinos tal como la corvina roja, para muchos de los ingredientes alimenticios comúnmente usados (Gaylord y Gatlin, 1996; McGoogan y Reigh, 1996). Los ingredientes de origen marino, incluyendo varias harinas de pescado, han sido muy efectivos para la formulación de dietas para peces marinos porque generalmente son palatables y tienen un alto contenido de proteína, lípidos y energía. Sin embargo, esos ingredientes son usualmente bastante caros e incrementan sustancialmente el costo de las formulaciones. Otros ingredientes a base de subproductos animales han sido usados con cierto éxito para reemplazar las harinas de pescado, sin embargo, su calidad puede ser variable (Moon y Gatlin, 1994; Robaina *et al.*, 1997). Varias fuentes proteicas de origen vegetal tal como la harina de soya, la harina de semilla de algodón y la harina de colza (canola) son menos caras, pero tienen un uso más limitado en la formulación de dietas para peces marinos porque pueden ser deficientes en al menos un aminoácido indispensable, y son usualmente menos palatables para muchas especies marinas (ej., Lee *et al.*, 1991; Reigh y Ellis, 1992; Watanabe *et al.*, 1994; Davis *et al.* 1995; Robaina *et al.*, 1995; Kissil *et al.*, 1997). No obstante, un estudio reciente indicó que niveles relativamente altos de harina de soya pueden ser incluidos en el alimento sin reducir el crecimiento o consumo alimenticio en la corvina roja, siempre y cuando un mínimo de 10% de la proteína sea aportada por harina de pescado (McGoogan y Gatlin, 1997).

Una variedad de subproductos de granos de maíz, trigo y arroz han sido usados en dietas para peces a fin de suministrar almidón como fuente de energía y mejorar la estabilidad del pelet. Niveles relativamente altos de estos productos alimenticios han sido incluidos en dietas para peces marinos que son fabricadas por el proceso de extrusión. Las dietas producidas por el proceso de extrusión generalmente tienen alta estabilidad en el agua y baja densidad, de manera que flotan o se hunden lentamente en el agua. Esta característica puede ayudar al acuicultor en el monitoreo del alimento consumido por los peces, especialmente en sistemas de cultivo grandes. Por esta razón, y el benéfico tratamiento de calor que es proporcionado durante el proceso de extrusión, generalmente este tipo de fabricación es preferida.

### **Nutrición de Reproductores Marinos**

Muchos de los peces marinos que están siendo cultivados pueden ser reproducidos bajo condiciones controladas en laboratorio. Los reproductores de muchas especies marinas aceptan fácilmente el alimento natural tal como calamar, camarón y peces, cuando son mantenidos en cautiverio. Sin embargo, algunas de esas especies también aceptan dietas artificiales, las cuales son menos caras y más convenientes para usarse. La aceptación de esas dietas artificiales por los organismos ha permitido investigar varios aspectos nutricionales que pueden influir en la producción en laboratorio tales como la tasa de desove

y la capacidad de eclosión del huevo, así como el crecimiento y la sobrevivencia larval. Los lípidos es uno de los grupos de nutrientes que ha recibido considerable atención con respecto a la nutrición de reproductores porque estos juegan un papel en el desarrollo del ovario, lo cual ha sido establecido en estudios de reproducción con poblaciones naturales de peces (ej., MacFarlane *et al.*, 1992). En tales estudios, altas concentraciones de cadenas largas de ácidos grasos de la serie n-3 han sido observadas en la fracción lipídica polar del tejido ovárico (Schwalme *et al.*, 1993; Sargent, 1995). Suministrando niveles adecuados de EPA y DHA en la dieta (15 mg/g dieta) de reproductores de la dorada (*Sparus aurata*) se incrementaron significativamente el crecimiento, la sobrevivencia y el inflado de la vejiga natatoria de las larvas (Tandler *et al.*, 1995). En otro estudio se vio que el aporte en la dieta con n-3 HUFA de aceite de sardina también incrementó la fecundidad, la tasa de eclosión y la sobrevivencia larval de la dorada (Fernández-Palacios *et al.*, 1995). Mejorías similares en la tasa de fertilización, ganancia en peso larval, y resistencia al estrés ha sido notadas en la progenie de reproductores de la perca de agua dulce (*Perca fluviatilis*) cuando las dietas incluyen lípidos con altos niveles de EPA y DHA (Abi-ayad *et al.*, 1997). Una reducida eclosión y un incremento en malformaciones del cuerpo resultaron del uso de un alimento deficiente en ácidos grasos esenciales para reproductores del espárido red seabream (Watanabe *et al.*, 1984a). La importancia del papel del ácido araquidónico en el desarrollo neural y visual también garantiza estudios adicionales sobre dietas para reproductores (Bell *et al.*, 1997). La composición en ácidos grasos de los fosfolípidos en el esperma de la lobina mostró ser influenciada por la dieta (Bell *et al.*, 1996), y por lo tanto puede tener implicaciones a nivel de la producción en laboratorio.

La nutrición proteica de reproductores marinos también ha sido estudiada y encontrada como importante para la reproducción. El desarrollo en laboratorio de la lobina fue perjudicado cuando los reproductores fueron alimentados con una dieta práctica que contenía 32% de proteína cruda y 32% de carbohidratos solubles, en comparación con lobinas que fueron alimentadas con una dieta con 51% de proteína cruda y 10% de carbohidratos (Cerdeira *et al.*, 1994). La composición proximal de los huevos de los peces alimentados con esas dietas fue similar, sin embargo, los huevos de los peces alimentados con la dieta baja en proteína tuvieron una reducida flotabilidad y capacidad de eclosión, y por arriba del 50% de las larvas criadas presentaron deformidades en el cuerpo. Aportar cantidades adecuadas de proteína con un buen balance de aminoácidos es vital para una adecuada síntesis de vitelogenina y desarrollo del huevo, como se ha observado en reproductores de un espárido (Watanabe *et al.*, 1984a, 1984b, 1984c).

Algunos ingredientes proteicos han mostrado tener particular eficacia en ciertas dietas para reproductores. Por ejemplo, una dieta conteniendo harina de sepia y krill fresco ha sido reportada para mejorar la calidad de huevos de un espárido (Watanabe *et al.*, 1984a, 1985). La fracción proteica de la harina de calamar, la cual tiene una composición de aminoácidos similar a la de los huevos de la dorada, también mostró mejorar la fecundidad y calidad del huevo de esta especie (Tandler *et al.*, 1995). El krill fresco, como sustituto de la harina de pescado en la dieta de reproductores de un espárido, se encontró efectivo para incrementar el número y la calidad de los huevos producidos (Watanabe y Miki, 1991). Esto fue principalmente atribuido a la astaxantina presente en el krill fresco. Sin embargo, otros estudios también mostraron que no solamente la astaxantina de la fracción lipídica no polar del krill, si no también la fracción lipídica polar de fosfolípidos, así como el complemento en la vitamina E de la dieta aumentan la calidad de huevos del red seabream (Watanabe *et al.*,

1991a, 1991b). La adición de estos componentes en una dieta para reproductores a base de harina de pescado de carne blanca, duplicó la producción de larvas normales. El uso de un pelet suave y seco conteniendo harina de krill al 10% para reproductores de jurel también resultó en una producción superior de larvas, comparado con lo obtenido con pescado fresco y dietas de pellets húmedos (Watanabe *et al.*, 1996). La inclusión de harina de krill en la dieta suave y seca para reproductores de jurel incrementó los pigmentos carotenoides en los huevos y mejoró su calidad (Verakunpiriya *et al.*, 1996). Este estudio adicionalmente demostró que la dieta también influyó en la composición de la leche de reproductores masculinos.

Las investigaciones relativas a la influencia de otras vitaminas y minerales sobre el desarrollo reproductivo de reproductores marinos han sido muy limitadas. Sin embargo, es de esperarse que carencias en tales nutrientes esenciales deberían afectar negativamente la producción de huevos y la vitalidad larval. Por ejemplo, alimentando reproductores de espárido con una dieta deficiente en fósforo, redujo la capacidad de eclosión e incrementó las malformaciones en el cuerpo de la larva (Watanabe *et al.*, 1984a). Parece también que niveles adecuados de minerales traza son necesarios para mantener un desarrollo reproductivo normal en peces marinos, basándose en los escasos resultados obtenidos con otras especies, tal como la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Takeuchi *et al.*, 1981). Un estudio reciente mostró que la inclusión de vitamina C, en forma de ascorbyl monofosfato, incrementó la concentración de ácido ascórbico del plasma seminal, el cual puede proteger a los espermatozoides contra daños por peroxidación, dado que el DHA es el ácido graso poliinsaturado más preponderante en los lípidos del esperma (Lui *et al.*, 1997). Existe la hipótesis de que este incremento en la estabilidad oxidativa puede posiblemente incrementar la capacidad de fertilización del esperma.

En resumen, se ha generado información nutricional importante sobre juveniles y reproductores de algunas especies de peces marinos. Sin embargo, se necesita información adicional referente a los requerimientos nutricionales básicos y mecanismos para satisfacer esos requerimientos con dietas prácticas a fin de fomentar la producción rentable y sustentable de estos peces.

## Referencias:

- Abi-ayad, S.-M. E.-A., Melard, C., Kestemont, P.**, 1997. Effects of n-3 fatty acids in Eurasian perch broodstock diet on egg fatty acid composition and larvae stress resistance. *Aquaculture Internat.* 5, 161-168.
- Ballestrazzi, R., Lanari, D., Navarro, J.C.**, 1996. Decreased 40:4n-6/20:5n-3 ratio in sperm from cultured sea bass, *Dicentrarchus labrax*, broodstock compared with wild fish. *Aquaculture* 144, 189-199.
- Bell, J.G., Farndale, B.M., Bruce, M.P., Navas, J.M., Carillo, M.**, 1997. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid compositions of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 149, 107-119.
- Boren, R.S., Gatlin, D.M.**, III, 1995. Dietary threonine requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *J. World Aquaculture Soc.* 26, 279-283.
- Brown, P.B., Davis, D.A., Robinson, E.H.**, 1988. An estimate of the dietary lysine requirement of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *J. World Aquaculture Soc.* 19, 109-112.
- Castell, J., Bell, J.G., Tocher, D.R., Sargent, J.R.**, 1994. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 128, 315-333.

- Cerda, J., Carrillo, M., Zanuy, S., Ramos, J., de la Higuera, M.**, 1994. Influence of nutritional composition of diet on sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., reproductive performance and egg and larval quality. *Aquaculture* 128, 345-361.
- Craig, S.R., Gatlin, D.M.**, III, 1992. Dietary lysine requirement of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *J. World Aquaculture Soc.* 23, 133-137.
- Craig, S.R., Gatlin, D. M.**, III, 1996. Dietary choline requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *J. Nutr.* 126, 1696-1700.
- Craig, S.R., Gatlin, D. M.**, III, 1997. Growth and body composition of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed diets containing lecithin and supplemental choline. *Aquaculture* 151, 259-267.
- Daniels, W.H., Robinson, E.H.**, 1986. Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture*, 53, 243-252.
- Davis, D.A. and Robinson, E.H.**, 1987. Dietary phosphorus requirement of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *J. World Aquaculture Soc.*, 18, 129-136.
- Davis, D. A., Jirsa, D., Arnold, C.R.**, 1995. Evaluation of soybean proteins as replacements for menhaden fish meal in practical diets for red drum *Sciaenops ocellatus*. *J. World Aquaculture Soc.* 26, 48-58.
- Ellis, S.C., Reigh, R.C.**, 1991. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 97, 383-394.
- Fernandez-Palacios, H., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Valencia, A., Salhi, M., Vergara, J.M.**, 1995. Effect of n-3 HUFA level in broodstock diets on egg quality of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture* 132, 325-337.
- Forster, I., Ogata, H.Y.**, 1998. Lysine requirement of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture* 161, 131-142.
- Gaylord, T.G., Gatlin, D.M.** III, 1996. Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 139, 303-314.
- Gatlin, D.M., III, O'Connell, J.P., Scarpa, J.**, 1991. Dietary zinc requirement of the red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 92, 259-265.
- Gatlin, D.M., III, MacKenzie, D.S., Craig, S.R., Neill, W.H.**, 1992. Effects of dietary sodium chloride on red drum juveniles in waters of various salinities. *Prog. Fish-Cult.* 54, 220-227.
- Geurden, I., Coutteau, P., Sorgeloos, P.**, 1997. Effect of a dietary phospholipid supplementation on growth and fatty acid composition of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles from weaning onwards. *Fish Physiol. Biochem.* 16, 259-272.
- Ibeas, C., Izquierdo, M.S., Lorenzo, A.**, 1994. Effect of different levels of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and fatty acid composition of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 127, 177-188.
- Kanazawa, A., Teshima, S., Inamori, S., Matsubara, H.**, 1983. Effects of dietary phospholipids on growth of the larval red seabream and knife jaw. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* 32, 109-114.
- Kissil, G.W.**, 1991. Gilthead seabream, *Sparus aurata*. In: R.P. Wilson (Editor), *Handbook of Nutrient Requirements of Finfish*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp.83-88.
- Kissil, G.W., Lupatsch, I., Higgs, D., Hardy, R.W.**, 1997. Preliminary evaluation of rapeseed protein concentrate as an alternative to fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Bamidgeh* 49, 135-143.
- Lee, S.-M., Kang, Y.J., Lee, J.Y.**, 1991. The effect of soybean meal as a partial replacement for white fish meal in diet for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency* 45, 247-257.
- Lochmann, R.T., Gatlin, D.M.**, III, 1993a. Evaluation of different types and levels of triglycerides, singly and in combination with different levels of n-3 highly unsaturated fatty acid ethyl esters in diets of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 114, 113-130.
- Lochmann, R.T., Gatlin, D.M.**, III, 1993b. Essential fatty acid requirement of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Fish Physiol. Biochem.* 12, 221-235.
- MacFarlane, R.B., Norton, E.C., Bowers, M.J.**, 1992. Lipid dynamics in relation to the annual reproductive cycle in yellow rockfish (*Sebastes flavidus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 391-401.
- McGoogan, B.B., Reigh, R.C.**, 1996. Apparent digestibility of selected ingredients in red drum (*Sciaenops ocellatus*) diets. *Aquaculture* 141, 233-244.

- McGoogan, B.B., Gatlin, D.M., III**, 1997. Effects of replacing fish meal with soybean meal in diets for red drum *Sciaenops ocellatus* and potential for palatability enhancement. *J. World Aquaculture Soc.* 28, 374-385.
- McGoogan, B.B., Gatlin, D.M. III**, 1998. Metabolic requirements of red drum, *Sciaenops ocellatus*, for protein and energy based on weight gain and body composition. *J. Nutr.* 128, 123-129.
- Metailler, R., Aldrin, J.F., Messenger, J.L., Mavel, G., Stephan, G.**, 1981. Feeding of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): role of protein level and energy source. *J. World Maricult. Soc.* 12, 117-118.
- Moon, H.Y., Gatlin, D.M., III**, 1991. Total sulfur amino acid requirement of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Aquaculture* 95, 97-106.
- Moon, H.Y.L., Gatlin, D.M. III** 1994. Effects of dietary animal proteins on growth and body composition of the red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 120, 327-340. NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, 114 pp.
- Reigh, R.C., Ellis, S.C.**, 1992. Effects of dietary soybean meal and fish-protein ratios on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets. *Aquaculture* 104, 279-292.
- Robaina, L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D., Fernandez-Palacios, H.**, 1995. Soyean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture* 130, 219-233.
- Robaina, L., Moyano, F.J., Izquierdo, M.S., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D.**, 1997. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture* 157, 347-359.
- Ruchimat, T., Masumoto, T., Hosokawa, H., Shimeno, S.**, 1997. Quantitative methionine requirement of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture* 150, 113-122.
- Sabaut, J.J., Luquet, P.**, 1973. Nutritional requirements of the gilthead bream *Chrysophrys aurata*. Quantitative protein requirements. *Marine Biol.* 18, 50.
- Sakamoto, S., Yone, Y.**, 1978. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 44, 227-229.
- Sargent, J.R.**, 1995. Origins and functions of lipids in fish eggs: nutritional implications. In: N.R. Bromage and J.R. Roberts (Editors), *Broodstock Management and Egg and Larval Quality*, Blackwell Science, Oxford, pp. 353-372.
- Schwalme, K., Mackay, W.C., Clandinin, M.T.**, 1993. Seasonal dynamics of fatty acid composition in female northern pike (*Esox lucius* L.). *J. Comp. Physiol. B* 163, 277-287.
- Serrano, J.A., Nematipour, G.R., Gatlin, D.M., III** 1992. Dietary protein requirement of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) and relative use of dietary carbohydrate and lipid. *Aquaculture* 101, 283-291.
- Shimeno, S.**, 1991. Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. In: R.P. Wilson (Editor), *Handbook of Nutrient Requirements of Finfish*, CRC Press, Boca Raton, FL, pp.181-191
- Takeuchi, T., Watanabe, T., Ogino, C., Saito, M., Nishimura, K., Nose, T.**, 1981. Effects of low protein-high calory diets and deletion of trace elements from a fish meal diet on reproduction of rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 47, 645-654.
- Takeuchi, T., Shiina, Y., Watanabe, T.**, 1991. Suitable protein and lipid levels in diet for fingerlings of red sea bream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57, 293-299.
- Takeuchi, T., Shiina, Y., Watanabe, T.**, 1992a. Suitable levels of n-3 highly unsaturated fatty acids in diet for fingerlings of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 509-514.
- Takeuchi, T., Shiina, Y., Watanabe, T.**, 1992b. Suitable levels of n-3 highly unsaturated fatty acids in diet for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 1341-1346.
- Takeuchi, T., Arakawa, T., Satoh, S., Watanabe, T.**, 1992. Supplemental effect of phospholipids and requirement of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid of juvenile striped jack. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 707-713.
- Tandler, A., Harel, M., Koven, W.M., Kolkovski, S.**, 1995. Broodstock and larval nutrition in gilthead seabream *Sparus auratus* - new findings on its mode of involvement in improving growth, survival and swimbladder inflation. *Bamidgeh* 47, 95-111.
- Thebault, H., Alliot, E., Pastoureaud, A.**, 1985. Quantitative methionine requirement of juvenile seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 50, 75-87.
- Tibaldi, E., Lanari, D.**, 1991. Optimal dietary lysine levels for growth and protein utilisation of fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fed semipurified diets. *Aquaculture* 95, 297-304.

- Tibaldi, E., Tulli, F., Lanari, D.**, 1994. Arginine requirement and effect of different dietary arginine and lysine levels for fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 127, 201-218.
- Verakunpiriya, V., Watanabe, T., Mushiake, K., Kiron, V., Satoh, S., Takeuchi, T.**, 1996. Effect of broodstock diets on the chemical components of milt and eggs produced by yellowtail. *Fish. Sci.* 62, 610-619.
- Watanabe, T., Arakawa, T., Kitajima, C., Fujita, S.**, 1984a. Effect of nutritional quality of broodstock diets on reproduction of red seabream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 50, 495-501.
- Watanabe, T., Ohhashi, S., Itoh, A., Kitajima, C., Fujita, S.**, 1984b. Effect of nutritional composition of diets on chemical components of red seabream broodstock and egg produced. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 50, 503-515.
- Watanabe, T., Itoh, A., Murakami, A., Tsukashima, Y., Kitajima, C., Fujita, S.** 1984c. Effect of dietary protein level on reproduction of red seabream. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 50, 5015-1022.
- Watanabe, T., Koizumi, T., Suzuki, H., Satoh, S., Takeuchi, T., Yoshida, N., Kitada, T., Tsukashima, Y.**, 1985. Improvement of quality of red seabream eggs by feeding broodstock on a diet containing cuttlefish meal or raw krill shortly before spawning. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 51, 1511-1521.
- Watanabe, T., Miki, W.** 1991. Astaxanthin: An effective dietary component for red seabream broodstock. *Fish Nutrition in Practice, Proc. Fourth Int. Symp. Fish Nutr. and Feeding, Biarritz, France*, pp. 27-36.
- Watanabe, T., Lee, M.-J., Mizutani, J., Yamada, T., Satoh, S., Takeuchi, T., Yoshida, N., Kitada, T., Arakawa, T.**, 1991a. Effective components in cuttlefish meal and raw krill for improvement of quality of red seabream *Pagrus major* eggs. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 57, 681-694.
- Watanabe, T., Fujimura, T., Lee, M.-J., Fukusho, K., Satoh, S., Takeuchi, T.**, 1991b. Effect of polar and nonpolar lipids from krill on quality of eggs of red seabream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57, 695-698.
- Watanabe, T., Viyakarn, V., Aoki, H., Tuda, H., Sakamoto, H., Maita, M., Satoh, S., Takeuchi, T.**, 1994. Utilization of alternative protein sources as substitute for fish meal in a newly developed soft-dry pellet for yellowtail. *Suisanzoshoku* 42, 499-506.
- Watanabe, T., Verakunpiriya, V., Mushiake, K., Kawano, K., Hasegawa, I.**, 1996. The first spawn-taking from broodstock yellowtail cultured with extruded dry pellets. *Fish. Sci.* 62, 388-393.
- Williams, C.D., Robinson, E.H.**, 1988. Responses of red drum to various dietary levels of menhaden oil. *Aquaculture* 70, 107-120.