

An overview of the use of the iron in aquaculture

Ho Son Lam^{*}, Dang Tran Tu Tram

Institute of Oceanography, VAST, Vietnam

*E-mail: hslamqt@gmail.com

Received: 2 July 2021; Accepted: 26 October 2021

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Iron is a trace element involved in many physiological and biochemical processes of aquatic animals and is necessary for the production and normal functioning of hemoglobin, myoglobin, cytochromes, and many other enzyme systems, maintains the structural integrity of the epithelium and thus suppresses pathogens, iron deficiency induces microcytic anemia in certain fish species, iron-free content in mucus membranes and in other tissues that are one of the first glands to protect the host against infection, iron deficiency can decrease host resistance so that iron supplementation increases host resistance disease. This report not only reviews the iron requirement in fish and crustaceans farming but also its effect on the health status.

Keywords: Iron, aquaculture, fish, crustacean.

Tổng quan về việc sử dụng sắt trong nuôi trồng thủy sản

Hồ Sơn Lâm*, Đặng Trần Tú Trâm

Viện Hải dương học, Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

*E-mail: hslamqt@gmail.com

Nhận bài: 2-7-2021; Chấp nhận đăng: 26-10-2021

Tóm tắt

Sắt là nguyên tố vi lượng tham gia vào nhiều quá trình sinh lý, sinh hóa của động vật hũy sinh nên rất cần thiết cho việc sản xuất, hoạt động bình thường của hemoglobin, myoglobin, cytochromes và nhiều hệ thống enzym khác, đồng thời cũng duy trì tính toàn vẹn cấu trúc của các biểu mô do đó ngăn chặn các tác nhân gây bệnh, thiếu sắt gây thiếu máu hồng cầu ở một số loài cá, hàm lượng sắt tự do trong niêm mạc và trong các mô khác là một trong những tuyến đầu tiên bảo vệ vật chủ chống lại nhiễm khuẩn, sự thiếu hụt sắt có thể làm giảm sức đề kháng của vật chủ do đó bổ sung sắt sẽ tăng khả năng kháng bệnh. Báo cáo này tổng quan ảnh hưởng của sắt bổ sung vào thức ăn đến tình trạng sức khỏe của cá và một số động vật giáp xác.

Từ khóa: Sắt, nuôi trồng thủy sản, cá, giáp xác.

MỞ ĐẦU

Ngoài quản lý tốt môi trường nuôi và phòng trị bệnh hiệu quả thì nâng cao sức khỏe của đối tượng nuôi thông qua dinh dưỡng là một trong những chìa khóa quan trọng quyết định thành công trong nuôi trồng thủy sản. Bên cạnh protein, axit amin, lipid và axit béo, carbohydrate, vitamin thì các loại khoáng chất cũng rất cần thiết cho sự phát triển của động vật thủy sản. Các khoáng chất này có thể được bổ sung từ các sinh vật khác trong nước thông qua chuỗi thức ăn tự nhiên hoặc từ chế độ ăn được chuẩn bị sẵn. Bên cạnh các thành phần đa lượng gồm các nguyên tố tham gia cấu trúc như canxi (Ca), photpho (P), magiê (Mg) và các chất điện giải như natri (Na), kali (K) và clorua (Cl) và sulfur (S) thì các nguyên tố vi lượng, bao gồm sắt (Fe), đồng (Cu), mangan (Mn), kẽm (Zn), coban (Co), molipden (Mo), crom (Cr), selen (Se), flo (F), iốt (I), niken (Ni), liti (Li), silic (Si), vanadi (V) và bạc (Ag) cũng đóng những vai trò thiết yếu và đều ảnh hưởng đến sức khỏe của động vật thủy sản. Hiện nay,

phần lớn các chất vi lượng được công bố có liên quan đến cơ chế kiểm soát quá trình tạo máu, hô hấp, tác động điều tiết quan trọng liên quan đến tổng hợp hormone và chuyển hóa axit béo [1-5], trong đó, sắt là nguyên tố vi lượng thiết yếu cho sự phát triển của cá và các động vật có xương sống khác. do liên quan đến quá trình vận chuyển oxy của tế bào, hình thành màng tế bào [6],...

Sắt đóng vai trò rất quan trọng hoạt động trao đổi chất của động vật. Đây cũng là thành phần chính của hemoglobin trong tế bào máu. Sự hiện diện của sắt ảnh hưởng đến việc sản xuất và hoạt động bình thường của hemoglobin, myoglobin, cytochromes và nhiều hệ thống enzym khác. Nó là một yếu tố không thể thiếu cho hoạt động của các cơ quan và mô của động vật vì vai trò quan trọng của nó trong các quá trình sinh lý như vận chuyển oxy, hô hấp tế bào và các phản ứng oxy hóa lipid [7, 8]. Ngoài ra, sắt còn là thành phần của một số enzyme oxy hóa khử trong tế bào và có trong myoglobin là sắc tố hô hấp của cơ và là một trong những vi

chất dinh dưỡng thiết yếu ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống miễn dịch [9]. Việc bổ sung sắt giúp cải thiện tăng trưởng và ngăn ngừa các dấu hiệu thiếu hụt khác nhau đã được nhận mạnh trong một số loài thủy sinh [10]. Sự thiếu hụt sắt có liên quan giảm tăng trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn, giá trị hematocrit, hàm lượng hemoglobin và số lượng hồng cầu trong cá [11], gây ra bệnh thiếu máu vi hồng cầu giảm sắc tố (hypochromic microcytic anemia) ở cá hồi trout *Salvelinus fontinalis* [12] và cá chép *Cyprinus carpio* [13], gây ức chế miễn dịch, giảm sinh trưởng, thay đổi các chỉ số huyết học, dễ mắc bệnh, kém chuyển hóa thức ăn và thiếu máu vi hồng cầu ở cá chép [14], ảnh hưởng đến các thông số huyết học của một số đối tượng thủy sản [15-18],... ngăn chặn các phản ứng oxy hóa làm suy giảm chất lượng hoặc để tăng độ ổn định oxy hóa để duy trì chất lượng và giá trị dinh dưỡng của thực phẩm, các chất chống oxy hóa như sắt đã được thêm vào thức ăn của vật nuôi, giảm hiệu quả sử dụng và khả năng chuyển hóa thức ăn, tốc độ tăng trưởng thấp hơn. Sự thiếu hụt sắt sẽ kìm hãm tăng trưởng và giảm hiệu quả sử dụng thức ăn, giảm tỉ lệ sống cũng như giảm nồng độ hemoglobin ở cá da trơn *Ictalurus punctatus* [11, 19, 20] nhưng khi bổ sung quá cao sẽ gây các hiện tượng ngộ độc như giảm tốc độ tăng trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn kém, bỏ ăn, tăng tỷ lệ tử vong, tổn thương mô bệnh học đối với tế bào gan như khi bổ sung mức 1.380 mg sắt/kg thức ăn thì cá hồi vân có biểu hiện bị ngộ độc [21] hoặc giảm tốc độ tăng trưởng của *Ictalurus punctatus* khi bổ sung 671 mg/kg so với đạt hiệu quả cải thiện tăng trưởng của cá khi bổ sung lượng thích hợp là 336 mg/kg [22]. Ngoài ra, bổ sung với hàm lượng cao có thể gây ra rối loạn chuyển hóa sắt như bệnh xơ cứng bì, bệnh tan máu và vàng da tán huyết dẫn đến sự tích tụ một số lượng lớn các hạt hemosiderin trong các tế bào gan nhu mô. Bên cạnh đó, việc bổ sung sắt đã chứng minh là cải thiện tăng trưởng của một số loài cá [10, 16],...

Tuy nhiên, việc xác định nhu cầu khoáng chất nói chung và sắt ở cá thường rất khó và nhu cầu sắt của các đối tượng nuôi được công bố rất khác nhau do phụ thuộc nhiều yếu tố: loài, giai đoạn phát triển, điều kiện nuôi, loại thức ăn sử dụng,... Nhu cầu sắt được xác định

khoảng 30 đến 170 mg/kg ở cá hồi, cá da trơn, cá tráp và cá chình [10] và 30-150 mg/kg [23], 12 mg/kg *Penaeus vannamei* [24]. Tuy nhiên, cũng có kết quả làm giảm tốc độ tăng trưởng như trường hợp bổ sung 100-125 ppm sắt vào khẩu phần ăn [25]. Như vậy, sắt có thể vừa độc vừa có lợi cho vật nuôi và hàm lượng cụ thể nên được cân nhắc và được điều chỉnh cẩn thận phù hợp từng đối tượng nuôi, giai đoạn phát triển và điều kiện nuôi để cung cấp đủ sắt cho các chức năng sinh học, đồng thời tránh dư thừa sắt có thể ảnh hưởng đến quá trình oxy hóa và các quá trình khác trong cơ thể vật nuôi.

PHƯƠNG THỨC VÀ LIỀU LƯỢNG ẤP DỤNG SẮT TRONG NUÔI TRỒNG THỦY SẢN

Mặc dù cá có thể hấp thụ sắt hòa tan qua mang và niêm mạc ruột nhưng chế độ thức ăn là nguồn chính cung cấp sắt cho cá do nồng độ sắt hòa tan trong tự nhiên thấp [26, 27]. Trong nuôi thủy sản sắt chủ yếu được trộn vào thức ăn của một số loài cá và giáp xác như cá hồi *Salvelinus fontinalis* [12], cá tráp đỏ *Chrysophrys major* [13] *Seriola quinquevittata* [28], cá chình Nhật Bản *Anguilla japonica* [29], cá da trơn *Ictalurus punctatus* [11, 19, 22], cá hồi vân *Oncorhynchus mykiss* [30], cá hồi đại tây dương *Salmo salar* [31], cá rô phi lai *Oreochromis niloticus* x *O. Aureus* [16], tôm he Nhật Bản *Penaeus japonicus* [25] tôm càng xanh *Macrobrachium rosenbergii* [35] và tôm thẻ chân trắng *Penaeus vannamei* [24].

Liều lượng sử dụng sắt là yếu tố quan trọng quyết định hiệu quả nuôi. Bổ sung dưới mức nhu cầu cần thiết của sinh vật thường không mang lại hiệu quả nhưng bổ sung hàm lượng vượt quá nhu cầu sẽ ảnh hưởng tiêu cực đến vật nuôi. Nhu cầu sắt đối với một số đối tượng thủy sản được công bố rất khác nhau. Ở cá xương nhu cầu sắt bổ sung vào thức ăn được xác định khoảng 30–200 mg/kg thức ăn nhưng rất sai khác nhau tùy vào đối tượng nuôi cụ thể. Mặc dù hàm lượng bổ sung thông thường trên cá hồi được ghi nhận là 100–250 mg/kg [7, 30] nhưng cụ thể được xác định là 39 mg/kg ở cá hồi vân *Oncorhynchus mykiss* [30], thậm chí có thể đạt 1200 mg Fe/kg ở cá hồi vân [32], 33 mg/kg đối với cá hồi đại tây dương *Salmo salar* [31] hoặc 60-100 mg/kg [7] ở cá hồi vân *Oncorhynchus*

mykiss. Trong khi đó hàm lượng sắt được xác định thích hợp khi bổ sung vào thức ăn đối với cá tráp đỏ *Chrysophrys major* là 150 mg/kg thức ăn [13], *Poecilia reticulata* cần 80 mg/kg [33]; ở *Ictalurus punctatus* là 30 mg/kg [11] và 336 mg/kg [22], cá rô phi 85 mg/Fe [16]; cá chép *Carassius auratus* Gibelio 202 mg/kg [34], tôm *Anguilla japonica* là 170 mg/kg thức ăn [29].

Hàm lượng bổ sung cũng như kết quả ghi nhận về ảnh hưởng của sắt bổ sung vào thức ăn cho các đối tượng thủy sản được công bố rất khác nhau. Có khá ít công bố về ảnh hưởng của sắt đến các đối tượng giáp xác được công bố. Đối với tôm *Penaeus japonicus* kết quả cho thấy khi bổ sung dưới 70 mg Fe/kg tốt cho tăng trưởng nhưng ở mức 140-270 lại ảnh hưởng bất lợi đến tăng trưởng, thậm chí gây độc [25] nhưng trên tôm *Penaeus vannamei* khi được bổ sung 0, 20, 40 và 80 mg Fe/kg thì kết quả lại cho thấy không có sai khác về tăng trưởng, tỉ lệ sống và hàm lượng sắt trong cơ thịt của các nhóm tôm được quan sát [24]. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu của 36 lại cho thấy khi bổ sung 20 mg/kg sẽ tăng tỷ lệ sống và tốc độ tăng trưởng đồng thời tăng các hiệu quả hoạt động của một số enzyme của tôm *Macrobrachium rosenbergii* giai đoạn giống. Như vậy, hiệu quả của sắt không những phụ thuộc vào hàm lượng bổ sung mà còn thay đổi tùy thuộc đối tượng nghiên cứu.

Ảnh hưởng của sắt bổ sung vào thức ăn hiện nay chủ yếu được thực hiện trên các loài cá và được quan sát chủ yếu thông qua các thông số tế bào máu. Kết quả nghiên cứu trên cá da trơn, *Ictalurus pimctatus* cho thấy, các thông số tế bào máu (Hb, Ht, RBC, MCV & MCH) được cải thiện và đạt cao nhất khi bổ sung > 1.200 mg Fe/kg thức ăn và đạt thấp khi hàm lượng này chỉ đạt < 400 mg Fe/kg thức ăn. Trong khi đó, một nghiên cứu khác cho thấy bổ sung sắt ở các hàm lượng 0, 20, 40, 60, 80, 100, 250 và 500mg/kg thức ăn thì các thông số tế bào máu như RCB, Hb và Hct của cá Goldfish, *Carassius auratu* đều bị ảnh hưởng và đạt hiệu quả cao nhất khi bổ sung 100mg/kg [18]. Nghiên cứu trên cá hồi *Salmo gairdneri* cho thấy khối lượng của cá được bổ sung 10, 50 mg cao hơn và tỉ lệ sống được cải thiện hơn so với nhóm cá được bổ sung 250, 1250 và

6250 mg/kg ($p < 0,05$) nhưng nồng độ hemoglobin và dung tích hồng cầu (hematocrit) không sai khác giữa các hàm lượng sắt bổ sung, tuy nhiên ảnh hưởng đến hàm lượng sắt trong cơ thịt và gan cá ($p < 0,05$) [30]. Trong khi đó, nghiên cứu trên cá Atlantic salmon (*Salmo salar*) với hàm lượng sắt bổ sung 0, 15, 30, 60, 120 và 240 mg/kg trong 20 tuần. Kết quả cho thấy không có sai khác về tốc độ tăng trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn, tỉ lệ sống. Tuy nhiên, việc bổ sung sắt vào khẩu phần thức ăn đã cải thiện tất cả các thông số máu của cá (Haematocrit, Haemoglobin, RBC, MCV, MCH) so với đối chứng và đạt hiệu quả cao nhất khi bổ sung từ 30 đến 60 mg/kg [15]. Trên cá rô phi lai *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* kết quả sau 8 tuần khi bổ sung các hàm lượng 0, 10, 30, 50, 100, 150, 200 và 400 mg/kg đối với sắt có nguồn gốc từ ferric citrate vào thức ăn cho cho thấy tốc độ tăng trưởng đạt cao nhất khi bổ sung 150mg/kg kê đến là ở hàm lượng bổ sung 50, 100, 200 mg Fe/kg và thấp nhất ở cá không được ăn thức ăn có bổ sung sắt. Nồng độ sắt trong gan cao nhất ở cá cho ăn chế độ ăn bổ sung 150 mg Fe/kg, tiếp theo là cá cho ăn chế độ 100 mg Fe/kg và thấp nhất trong khẩu phần cho cá ăn với 10 mg Fe/kg. Hemoglobin (Hb) và hematocrit (Hct) cao hơn ở cá cho ăn khẩu phần có 100 mg Fe/kg và thể tích tiểu thể trung bình (MCV) và hemoglobin tiểu thể trung bình (MCH) là cao hơn ở cá cho ăn chế độ ăn với 150 mg Fe/kg so với cá cho ăn chế độ không bổ sung sắt trong khi đó tỷ lệ sống của cá không ảnh hưởng bởi các hàm lượng sắt bổ sung. Trong khi đó khi bổ sung các hàm lượng 0, 10, 30, 50, 100, 150 and 200 mg/kg với sắt có nguồn gốc từ ferrous sulfate thì tốc độ tăng trưởng đạt cao nhất khi bổ sung 50 mg/kg kê đến ở các hàm lượng 150, 200 and 30 mg/kg [16].

Trong khi đó, nghiên cứu tiến hành trên cá rô phi *Oreochromis niloticus* giống (kích thước $25,36 \pm 0,11g$) với các hàm lượng sắt bổ sung 0, 200, 400, 800, 1.200 và 1.600 mg/kg (ferrous sulphate) trong 8 tuần. Kết quả cho thấy, tốc độ tăng trưởng là cao nhất ($p < 0,05$) ở nhóm cá được cho ăn theo chế độ bổ sung 1.200 mg/kg, kể đến là 1.600, 800, 400 và mức thấp nhất được ghi nhận ở cá không được bổ sung sắt vào khẩu phần thức ăn. Kết quả nghiên cứu cho

thấy hệ số sử dụng thức ăn (FCR) mặc dù không sai khác giữa các hàm lượng sắt bổ sung ($p > 0,05$) nhưng kết quả cũng ghi nhận giá trị FCR đạt thấp nhất ở cá được bổ sung 1.200 mg/kg. Tỷ lệ sống của cá đạt 100% ở hàm lượng bổ sung 800 và 1.200 mg/kg và thấp nhất ở cá không được bổ sung sắt nhưng không có sự sai khác ở các hàm lượng bổ sung ($p > 0,05$). Mặt khác, các thông số tế bào máu như RBCs, Hb and Hct cũng được ghi nhận đạt cao nhất ở nhóm cá có bổ sung 1.600 và 1.200 mg/kg và thấp nhất cũng ở nhóm cá không bổ sung sắt vào thức ăn. Bổ sung sắt vào thức ăn cũng cải thiện chỉ số MCV (Mean corpuscular volum) và MCH (Mean corpuscular haemoglobin), MCHC (Mean corpuscular haemoglobin concentration) của cá so với đối chứng ($p < 0,05$). Kết quả của nghiên cứu chỉ ra rằng khi bổ sung 1.200 mg/kg thức ăn sẽ cải thiện sự tăng trưởng và các thông số huyết học của cá giống *O. niloticus* trong nuôi cá thâm canh. Kết quả cho thấy, hàm lượng sắt bổ sung dưới mức 800 mg/kg thức ăn thì các thông số tế bào máu của cá đạt thấp, cá được bổ sung 200 mg và không bổ sung sắt vào khẩu phần ăn thì các

thông số Hb, Hct, MCV and MCH đạt rất thấp, gây thiếu máu [17].

Ảnh hưởng của sắt khi bổ sung vào thức ăn đến hệ số tiêu thụ thức ăn của các loài cá khác nhau được công bố rất sai khác. Cụ thể, là việc bổ sung sắt không ảnh hưởng đến FCR của cá hồi vân *Oneorhynchus mykiss* khi được bổ sung các mức 0, 100 và 1.500 mg/kg [32] nhưng kết quả trên cá rohu giống lại cho thấy với hàm lượng 50 mg/kg lại giảm đáng kể hệ số FCR của cá [36]. Tuy vậy, hầu hết các nghiên cứu đều chỉ ra rằng bổ sung sắt cải thiện FBW, SGR và tỷ lệ sống cho cá hồi vân [32], cá rohu [36]. Đồng thời, thấy tốc độ tăng trưởng đặc trưng (SGR) và một số enzyme như aspartate transaminase (AST), alanine transaminase (ALT) alkaline phosphatase (ALP) đạt cao nhất đồng thời hệ số FCR giảm khi cá được bổ sung 50 mg sắt/kg thức ăn ($p < 0,05$). Kết quả cũng cho thấy, khi bổ sung sắt ở hàm lượng 100 và 125 mg/kg ức chế tăng trưởng của cá rô hu giai đoạn giống [36].

HIỆU QUẢ CỦA SỬ DỤNG SẮT TRONG NUÔI TRỒNG THỦY SẢN

Bảng 1. Ảnh hưởng của thức ăn bổ sung sắt đến một số đối tượng thủy sản

Loài	Hiệu quả sử dụng	Tài liệu tham khảo
<i>Penaeus japonicus</i>	bổ sung dưới 70 mg Fe/kg tốt cho tăng trưởng nhưng ở mức 140-270 lại ảnh hưởng bất lợi đến tăng trưởng, thậm chí gây độc	[25]
<i>Penaeus vannamei</i>	thấy không ảnh hưởng đến tăng trưởng, tỉ lệ sống và hàm lượng sắt trong cơ thịt	[24]
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Tăng tỷ lệ sống và tốc độ tăng trưởng đồng thời tăng các hiệu quả hoạt động của một số enzyme	[35]
<i>Zctalurus punctatus</i>	Cải thiện tăng trưởng và các thông số máu	[11]
<i>Salmo gairdneri</i>	Tăng tỷ lệ sống và tốc độ tăng trưởng khi bổ sung 10, 50 mg và giảm đối với hàm lượng 250, 1250 và 6250 mg/kg Không ảnh hưởng hemoglobin và dung tích hồng cầu (hematocrit)	[30]
<i>Salmo salar</i>	Không ảnh hưởng tăng trưởng, tỷ lệ sống	[7]
<i>Salmo salar</i>	Không ảnh hưởng đến tăng trưởng, tỷ lệ sống, chỉ số gan (HIS), dung tích hồng cầu	[31]
<i>Salmo salar</i>	Không có sai khác về tốc độ tăng trưởng, hiệu quả sử dụng thức ăn, tỷ lệ sống. Cải thiện các thông số máu của cá (Haematocrit, Haemoglobin, RBC, MCV, MCH)	[15]
<i>Ictalurus punctatus</i>	Cải thiện Hb, Ht, RBC, MCV & MCH	[22]

<i>Oreochromis niloticus</i> x <i>O. aureus</i>	Không ảnh hưởng tỷ lệ sống Tăng tốc độ tăng trưởng Tăng các thông số tế bào máu (Hb, Hct, MCV, MCH)	[16]
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	không ảnh hưởng đến FCR, SGR, FBW	[32]
<i>Oreochromis niloticus</i>	Không ảnh hưởng hệ số sử dụng thức ăn, tỷ lệ sống. Tăng tốc độ tăng trưởng, tăng các thông số tế bào máu (RBCs, Hb and Hct, MCV, MCH, MCHC)	[17]
<i>Carassius auratu</i>	Cải thiện RCB, Hb và Hct	[18]
<i>Labeo rohita</i> Hamilton	Giảm đáng kể hệ số FCR, tăng tốc độ tăng trưởng ở hàm lượng 50 mg/kg, ức chế tăng trưởng khi bổ sung 100 và 125 mg/kg	[36]

NHỮNG HẠN CHẾ VÀ ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Mặc dù sắt bổ sung vào thức ăn giúp cải thiện tăng trưởng, tỷ lệ sống, sinh lý, miễn dịch, sinh sản và giảm stress của một số đối tượng thủy sản. Tuy nhiên việc bổ sung này chủ yếu thực hiện trên một số loài cá kinh tế, rất ít trên giáp xác và các sinh vật cảnh. Vì thế, cần có những nghiên cứu về vai trò của chúng lên các đối tượng này từ đó có thể nâng cao sức khỏe, cải thiện tỷ lệ sống góp phần làm giảm áp lực khai thác, bảo vệ nguồn lợi các loài sinh vật cảnh. Bên cạnh đó, các nghiên cứu chỉ đề cập đến sử dụng sắt bổ sung vào thức ăn mà không đề cập cụ thể đến nguồn sắt sử dụng nên rất khó áp dụng cho trong điều kiện thực tế. Do đó cần có các nghiên cứu so sánh hiệu quả của các hàm lượng sắt từ các nguồn bổ sung sắt khác nhau để thuận tiện cho việc áp dụng trong sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lovell R. T., 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand Reinhold, New York
- [2] Lall S. P., 1989. The Minerals. In: Halver, JE. (Ed.), Fish Nutrition. 2nd Ed., Academic Press Inc., New York, pp. 21 9-25.
- [3] Scrimshaw N. S., 1990. Minetals and immunity: Introduction. In: Watson, R.R. (Ed.). Malnutrition, Disease Resistance, and Immune Function. Marcel Dekker, New York. pp. 110-112.
- [4] Humbert J. R. and Moore L. L., 1983. Iron deficiency and infection: a dilemma. J-Pediatr-GastroenteroCNutr., 2(3), 403-406.
- [5] Brody, T., 1994. Nutritional Biochemistry. Academic Press, San Diego, Calif., 658pp
- [6] Ribbins E., Fant J. and Norton W., 1972. Iron: its intracellular location and possible role in cell division. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 66: 1244.
- [7] Andersen F., Maage A. and Julshamn K., (1996) An estimation of dietary iron requirement of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr. Aquacult. Nutr. 2: 41-47. 8.
- [8] Hilty F. M., Knijnenburg J. T. N., Teleki K. F., Hurrell R. F., Pratsinis S. E. and Zimmermann M. B., 2011. Incorporation of Mg and Ca into nanostructured Fe₂O₃ improves Fe solubility in dilute acid and sensory characteristics in foods. J Food Sci.; 76:1-10.
- [9] Huber D. L., 2005. Synthesis, properties, and applications of iron nanoparticles. 1:482-501.
- [10] Chanda S., Paul B. N., Ghosh K. and Giri S. S. 2015. Dietary essentiality of trace minerals in aquaculture: A review. Agri. Review. 36: 100-112.
- [11] Gatlin D. M. III and Wilson R. P., 1986. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. Aquaculture 52, 191-198.
- [12] Kawatsu H., 1972. Studies on the anemia of fish-v. Dietray iron deficient anemia in Brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab., 22,59 – 67.
- [13] Sakamoto S. and Yone Y., 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron-II. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 44: 223-225.
- [14] Chu J. H., Chen S. M. and Huang C. H., 2007. Effect of dietary iron concentrations on growth, hematological parameters, and

- lipid peroxidation of soft-shelled turtles, *Pelodiscus sinensis*. Aquaculture; 269:532-537.
- [15] Naser M. N., 2000. Role of iron in Atlantic salmon (*Salmo salar*) nutrition: requirement, bioavailability, disease resistance and immune response. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. 282p.
- [16] Shiau S.Y., and Su L.W., 2003. Ferric Citrate is half as effective as Ferrous Sulfate in meeting the iron requirement of Juvenile Tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. J. Nutr., 133:483-488.
- [17] Sabry S. El-Serafy, Magda M. El-Ezabi, Talaat M. Shehata and Neven E., 2007. Dietary iron requirement of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings in intensive fish culture. Egypt. J. Aquat. Biol. & Fish., Vol. 11, No.2:165-184, ISSN 1110-6131.
- [18] Das A., Chandra P. C., Suresh B. P. P., Sharma A., Thongam I. C., Lokesh P. and Verma A. K., 2013. Dietary Iron Requirement of Goldfish, *Carassius auratus*. The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgah, IJA:66.2013.942, 9 pages.
- [19] Lim C., Sealey W.M. and Klesius P.H., 1996. Iron methionine and iron sulfate as sources of dietary iron for channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. World Aquacult. Soc. 27, 290-296.
- [20] Lim C., Sealey W. M. and Klesius P.H., 1996. Iron methionine and iron sulfate as sources of dietary iron for channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. World Aquacult. Soc. 27, 290-296.
- [21] Desjardins L.M., 1985. The effect of iron supplementation on diet rancidity and on the growth and physiological response of rainbow trout. M.Sc. Thesis. University of Guelph, Ontario, Canada. (unpubl.), 168 pp.
- [22] Barros M. M., Lim C. and Klesius P. K., 2002. Effect of soybean meal replacement cottonseed meal and iron supplementation growth, immune response and resistance of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to Edwardsiella ictaluri challenge. Aquaculture, 207, 263-279.
- [23] NRC., 2011. Nutrient Requirements of Fish. The National Academics Press, National Research Council, Washington, DC, USA.
- [24] Davis D.A. and Lawrence A.L., 1992. Evaluation of the dietary iron requirement of *Penaeus vannamei*. J. World Aquacult. 23: 15-22.
- [25] Kanazawa A., Teshima S. and Sasaki M., 1984. Requirements of the juvenile prawn for calcium, phosphorus, magnesium, potassium, copper, manganese and iron. Memoirs of the Faculty of Fisheries, Kagoshima University 33:63-71.
- [26] Roeder M. and Roedar R. H. (1968). Effect of iron on the growth rate of fishes. J. Nutr. 90: 86-90.
- [27] Bury N. R., Grosell M., Wood, C. M., Hogstrand C, Wilson R. W., Rann J. C, Busk, M., Lecklin T. and Jensen F.B., 2001. Intestinal iron uptake in the European flounder, *Platichthys flesus*. J. Exp. Biol., 21:3779-3787.
- [28] Ikeda Y., Ozaki H. and Uematsu K., 1973. Effect of enriched diet with iron in culture of yellowtail. J. Tokoyo Univ. Fish., 59,91-99.
- [29] Nose T. and Arai S., 1975. Recent advances in studies on mineral nutrition of fish in Japan. In: Advances in Aquaculture (Pillay, T. V. R. & Dill, W. A., eds.), pp. 584-590. Fishing News, Farnam, UK.
- [30] Desjardins L. M., Hicks B. D. and Hilton L. W., 1987. Iron catalysed oxidation of trout diets and its effect on the growth and physiological response of rainbow trout. Fish Physiol. Biochem., 3, 173-182.
- [31] Bjamevik M. and Maage A., 1993. Effects of dietary iron supplementation on tissue iron concentration and haematology in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Fisk. Dir. Skr., Ser. Emæring., 6, 35-4531.
- [32] Carriquiriborde P., Handy R. D. and Davies S. J., 2004. Physiological modulation of iron metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low and high iron diets. The Journal of

- Experimental Biology 207, 75-86
Published by The Company of Biologists.
- [33] Shim K.F. and Ong S.I., 1992. Iron requirement of the guppy (*Poecilia reticulata* Peters). J. Aquar. Aquat. Sci., 6:33-40.
- [34] Pan L., Xie S., Zhu X., Lei W., Han D. and Yang Y., 2009. The effect of different dietary iron levels on growth and hepatic iron concentration in juvenile gibel carp (*Carassius auratus* Gibelio). J. Appl. Ichthyol, 25:428-431.
- [35] Srinivasan V., Saravana Bhavan P., Rajkumar G., Satgurunathan T. and Muralisankar T., 2016. Effects of dietary iron oxide nanoparticles on the growth performance, biochemical constituents and physiological stress responses of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* post-larvae. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 2016; 4(2): 170-182.
- [36] Chanda S., Samanta A., Paul B. N., Ghosh K. and Giri S.S., 2017. Effect of Dietary Iron Level on Growth Performance and Enzyme Activity in Rohu (*Labeo rohita* Hamilton) Fingerlings. Indian J. Anim Nutr. 34 (2): 224-228.