

ẢNH HƯỞNG ĐỘC CHẤT NITRITE LÊN HÔ HẤP VÀ TỐC ĐỘ TĂNG TRƯỞNG CỦA CÁC LOÀI CÁ HÔ HẤP KHÍ TRỜI Ở VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Đặng Diễm Tường^{1*}, Nguyễn Lê Trường An² và Lâm Chí Khanh³

¹ Giảng viên khoa Công nghệ Thủy sản, Trường Cao đẳng Kinh tế Kỹ thuật Cần Thơ

² Sinh viên lớp CNTT21A, khoa Công nghệ Thủy sản, Trường Cao đẳng Kinh tế Kỹ thuật Cần Thơ

³ Sinh viên lớp CNTT21B, khoa Công nghệ Thủy sản, Trường Cao đẳng Kinh tế Kỹ thuật Cần Thơ

*Tác giả chính (email: ddtuong@ctec.edu.vn)

TÓM TẮT

Ảnh hưởng của nitrite đến tỉ lệ trao đổi chất và tốc độ tăng trưởng của các loài cá hô hấp khí trời, đối tượng NTTS quan trọng ở ĐBSCL đang được quan tâm. Nồng độ nitrite môi trường nuôi tăng cao là một vấn đề nguy hiểm tiềm ẩn đối với các loài cá nước ngọt cũng như các loài cá hô hấp khí trời. Nitrite là một chất độc nguy hiểm đối với cá, chất này gây rối loạn nhiều chức năng sinh lý gồm các quá trình điều hòa ion, hô hấp, tim mạch, nội tiết và bài tiết. Một hậu quả nghiêm trọng của sự tích lũy nitrite là quá trình oxy hóa huyết sắc tố thành methaemoglobin, ảnh hưởng đến việc vận chuyển oxy trong máu. Các loài cá hô hấp khí trời có cơ chế hô hấp khác nhau để giảm ảnh hưởng của nitrite như tăng hô hấp khí trời, tăng hoặc giảm tiêu hao oxy nước. Đối với tăng trưởng và tỉ lệ sống, nồng độ nitrite càng cao thì càng ảnh hưởng nặng đến cá thát lát còm và cá lóc. Việc kiểm soát nồng độ nitrite môi trường ở mức 9,2 và 11,94 mg l⁻¹ NO₂⁻ là nồng độ an toàn cho tăng trưởng của cá thát lát còm và cá lóc.

Từ khóa: hô hấp khí trời, tăng trưởng, nitrite

1. GIỚI THIỆU

Nitrite là một thành phần tự nhiên của chu trình nitơ trong hệ sinh thái, sự hiện diện của nitrite trong thủy vực và môi trường nuôi thủy sản là một vấn đề tiềm ẩn nhiều nguy hại (Lewis and Morris, 1986; Jensen, 2003). Nitrite là một độc chất được tạo ra thông qua quá trình vi khuẩn hiếu khí nitrite hóa amoniac do cá bài tiết thành nitrate. Cá cũng như động vật thủy sinh khác khi tiếp xúc với nitrite trong môi trường nước được coi là có nguy cơ cao hơn so với động vật trên cạn vì nitrite có thể chủ động đi qua mang và tích lũy trong dịch cơ thể cá. Nhìn chung, nitrite phá vỡ nhiều chức năng sinh lý bao gồm các quá trình hô hấp, tim mạch cũng như điều hòa ion và bài tiết các chất thải.

Đối với các loài cá hô hấp hoàn toàn trong nước, do chúng có diện tích mang lớn thích ứng cho việc hô hấp tốt hơn, tuy nhiên cũng làm cho độc chất nitrite trực tiếp thông qua mang dễ xâm nhập vào cơ thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng hơn. Ngược lại, một số loài cá hô hấp khí trời, có mang kém phát triển và cơ quan hô hấp phụ phát triển lại là một lợi thế khi môi trường nước bị nhiễm nitrite cao. Vùng đồng bằng sông Cửu Long là nơi tập trung nhiều loài cá hô hấp khí trời do tác động của quá trình tiến hóa mà các cơ quan hô hấp phụ phát triển và đa dạng về cấu tạo. Theo thống kê của Lefevre et al (2014) cho thấy có tới 29 loài cá hô hấp khí trời là đối tượng quan trọng trong nuôi trồng thủy sản trên tổng số 400 loài hô hấp khí trời được biết. Do vậy

việc hiểu tác động của độc chất nitrite đến các loài cá hô hấp khí trời và sinh trường là rất cần thiết trong việc kiểm soát và quản lý chất lượng môi trường nuôi.

Mục đích của bài viết này là tổng hợp các kiến thức đã được kết luận trong các nghiên cứu liên quan đến tác động của nitrite đến các hoạt động hô hấp và tăng trưởng của các loài cá hô hấp khí trời. Từ đó có các cơ sở để cải thiện chất lượng môi trường nuôi nhằm hạn chế tác động xấu từ nitrite và tối ưu hiệu quả và năng suất nuôi của các loài cá hô hấp khí trời.

2. NỘI DUNG

2.1. Cơ chế hấp thụ và gây độc của nitrite

Nitrite là một thành phần quan trọng trong chu trình nitrite hóa và phân nitrite hóa có sự tham gia hoạt động của các vi khuẩn hiếu khí và kỵ khí. Nồng độ nitrite trong môi trường nuôi thâm canh biến động và đôi khi cao hơn rất nhiều so với trong thủy vực tự nhiên và với ngưỡng chịu đựng của các loài cá. Thức ăn dư thừa, xác thực vật động vật thủy sinh chết, chất thải từ hoạt động nuôi thâm canh và siêu thâm canh là nguồn gốc dẫn đến nồng độ nitrite cao trong môi trường. Vấn đề của nitrite đối với các loài cá nước ngọt là bởi vì NO_2^- có ái lực với công trao đổi ion $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ ở mang cá, khi môi trường có sự hiện diện của NO_2^- thì Cl^- sẽ bị cạnh tranh và thay thế bởi NO_2^- để đi qua công trao đổi vào dịch cơ thể và sau đó là vào máu của động vật thủy sản (Jensen, 2003).

Khi nitrite có mặt trong dịch cơ thể cá, nitrite kết hợp với hemoglobin (oxy hóa Fe^{2+} thành Fe^{3+}) để tạo ra metheamoglobin (metHb), nitrate và nitrosyl hemoglobin (nitrosylHb) làm giảm quá trình vận chuyển oxy (Jensen and Rohde, 2010; Kosaka and Tyuma, 1987; Jensen, 2009). Tác động của nitrite đối với quá trình hô hấp đã được chứng minh là có tác động nghiêm trọng hơn ở các loài có tỷ lệ trao đổi chất cao (Perrone and Meadde, 1977) và gây ra tình trạng tăng hô

hấp qua mang ở cá chép và cá hồi vân (Jensen et al., 1987; Aggergaard and Jensen, 2001). Việc tăng bơm máu của tim là một phản ứng phù hợp khi khả năng vận chuyển oxy của máu giảm trong quá trình tiếp xúc với nitrite.

2.2. Ảnh hưởng nitrite lên hô hấp

Ở các loài cá hô hấp hoàn toàn trong nước, diện tích bề mặt mang lớn giúp cho quá trình hô hấp, trao đổi khí, điều hòa ion, pH và cũng như bài tiết chất thải nitơ được hiệu quả hơn (Evans et al., 2005). Tuy nhiên, diện tích bề mặt mang lớn cũng tạo điều kiện cho lượng nitrite hấp thụ vào máu của cá nhiều hơn nếu môi trường xung quanh có nồng độ nitrite cao. Hầu hết các loài cá hô hấp trong nước có khả năng chịu nitrite thấp và do đó làm giảm khả năng chịu đựng tình trạng thiếu oxy (Arillo et al., 1984), và tăng nồng độ lactate trong huyết tương (Jensen et al., 1987; Stormer et al., 1996). Người ta đã chứng minh rằng nồng độ gây chết (LC_{50} 96 h) dưới 0,5 mM được xác định ở các loài cá hô hấp trong nước nhạy cảm như cá hồi (Lewis and Moris, 1986) và chịu đựng được mức vài mM ở các loài cá hô hấp trong nước như Cyprinids. Ở các loài cá hô hấp khí trời, với sự tiến hóa của cơ quan hô hấp phụ, các loài cá này dường như không cần phải có diện tích bề mặt mang lớn (Graham, 1997; Jonhansen, 1968), do đó ảnh hưởng của nitrite ở các loài cá hô hấp khí trời dường như được giảm thiểu. Tuy nhiên, các nghiên cứu về ảnh hưởng của nitrite đối với các loài cá hô hấp khí trời vẫn còn hạn chế ở một số nghiên cứu (Duncan et al., 1999; Boudreaux et al., 2007; Lefevre et al., 2011b, 2012a; Gam et al., 2017). Kết quả nghiên cứu cho thấy loài cá tra *Pangasianodon hypophthalmus*, một loài cá hô hấp khí trời có thể chịu đựng được độc tố nitrite tương đối cao hơn với LC_{50} 96h là 1,65 mM ($\sim 70 \text{ mg l}^{-1}$) Lefevre et al., 2011b) và 4,9 mM ($\sim 220 \text{ mg l}^{-1}$) ở một loài cá hô hấp khí trời bắt buộc là cá lóc *Channa striata* (Lefevre et al., 2012a) và 7,82 mM ($\sim 350 \text{ mg l}^{-1}$) ở cá thát lát còm *Chitala ornate* (Gam et al., 2017). Lefevre et al (2011b) đã chỉ ra rằng không có bằng chứng về sự điều hòa hô

hấp của cá tra thể hiện qua tỷ lệ trao đổi chất trong nước khi cá tiếp xúc với nitrite. Cũng có khả năng là tăng hô hấp trong không khí do thay đổi PO_2 động mạch. Tuy nhiên, có lập luận cho rằng khi nhu cầu oxy tăng lên và hô hấp qua mang không thể đáp ứng dẫn đến tăng hô hấp oxy qua không khí, quá trình trao đổi ion cũng như hấp thu chất độc qua mang có thể giảm. Loài *H. Littorale* tăng khả năng chống chịu hydro sunfua (H_2S) khi tiếp xúc ở cả H_2S và tình trạng oxy hòa tan trong nước thấp (Affonso and Rantin, 2005) là phù hợp với giả thuyết đó.

C. striata là loài cá hô hấp khí trời bắt buộc nên tốc độ trao đổi chất của chúng khá cao (Phu et al., 2022). SMR (tiêu hao oxy cơ bản) của cá cỡ 50 g là $134,3 \pm 23,15 \text{ mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, tương đồng với $105,7 \pm 3,2 \text{ mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ở cỡ cá 65,2 g (Lefevre et al., 2012b) và $107 \pm 6 \text{ mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ở cá tra *Pangasianodon hypophthalmus* 50 g (Lefevre et al., 2011a). Ở cá thát lát còm *Chitala ornate*, tiêu hao oxy cơ bản thấp hơn một nửa so với cá lóc và cá tra (Tuong et al., 2018). Cá tra và cá lóc có giá trị RMR (tiêu hao oxy tổng) tương đương nhau ở khoảng $193,66 \pm 27,22 \text{ mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ và $169,6 \pm 7,2 \text{ mgO}_2\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ (Phu et al., 2022; Lefevre et al., 2011a).

Nitrite làm tăng hàm lượng oxy tiêu thụ trong không khí là 67% tuy nhiên mức nồng độ nitrite được sử dụng trong nghiên cứu cá lóc có thể khá thấp do đó tỉ lệ hô hấp oxy trong không khí tăng không có sự khác biệt đáng kể (Phu et al., 2022). Đối với loài cá tra, khi tiếp xúc với nitrite thì cá tra không tăng tỉ lệ hô hấp oxy trong không khí (Lefevre et al., 2011b). Việc tiếp xúc với môi trường nitrite đã dẫn đến sự kết hợp của nitrite với huyết sắc tố hồng cầu (Hb) tạo ra methaemoglobin (metHb) (Kosaka and Tyuma, 1987; Jensen and Rohde, 2010) làm giảm khả năng vận chuyển oxy trong máu của cá lóc (Jensen, 2007). Còn ở cá tra, loài hô hấp khí trời tùy ý khi tiếp xúc với nitrite thì hô hấp SMR, RMR giảm trong khi tỉ lệ hô hấp oxy trong không khí của cá tra không thay đổi (Lefevre et al.,

2011b). Một giả thiết rất có khả năng là cá tra sử dụng chủ yếu cơ chế điều hòa ion thay cho cơ chế tăng hô hấp qua mang, trao đổi chất và điều hòa hô hấp oxy trong không khí trong khi đó cá lóc không những chịu được nồng độ nitrite cao hơn, duy trì hàm lượng nitrite trong cơ thể thấp do khả năng giải độc tốt hơn cá tra mà còn khả năng tăng tỉ lệ trao đổi chất và hô hấp oxy không khí, do đó có thể làm giảm lượng nitrite xâm nhập vào mang của chúng (Lefevre et al., 2011b; Lefevre et al., 2012a). Các báo cáo cũng chỉ ra rằng cá có biểu hiện tăng hành vi thờ hờn hèn và thờ gấp khi cá bị thiếu oxy do tiếp xúc với nitrite (Jensen et al., 1987; Aggregaard and Jensen, 2001).

2.3. Ảnh hưởng của nitrite lên sinh trưởng

Tiếp xúc với hàm lượng nitrite thấp có thể làm giảm tốc độ tăng trưởng của một số loài hô hấp trong nước như loài *I. Punctatus* (ở mức $<10 \text{ mg l}^{-1}\text{NO}_2^-$) và giảm 20 % tốc độ tăng trưởng (Colt et al., 1981). Cá rô bạc *Bidyanus bidyanus* và loài *Gadus morhua* được thí nghiệm ở mức thấp hơn là 5 và 3,3 $\text{mg l}^{-1}\text{NO}_2^-$ làm giảm tăng trưởng tương ứng (Frances et al., 1998). Nói chung, các mức NO_2^- từ 3,3 đến dưới 10 mg l^{-1} được coi là giới hạn tăng trưởng của cá hô hấp trong nước (Siilavuopio and Sather, 2006; Kroupova et al., 2008, Tomassa, 1994). Mặt khác, nghiên cứu tăng trưởng của các loài cá hô hấp khí trời ở vùng ĐBSCL đã được một số tác giả nghiên cứu tuy nhiên vẫn còn giới hạn ở một số loài như cá lóc, cá thát lát còm và cá tra. Đối với nghiên cứu ảnh hưởng của nitrite lên tăng trưởng thì giới hạn ở nghiên cứu trên cá thát lát (Gam et al., 2018) và cá lóc (Phu et al., 2022). Nitrite làm giảm tốc độ tăng trưởng và tỉ lệ sống của cá thát lát tương ứng với nồng độ nitrite tăng trong môi trường. Ở nghiệm thức đối chứng, tỉ lệ sống và tốc độ tăng trưởng sau 3 tháng nuôi là cao nhất (0,4g/ngày và 95%) và giảm thấp đáng kể ở nghiệm thức 184 $\text{mg l}^{-1}\text{NO}_2^-$ (0,25 g/ngày và 59%). Ở mức nitrite môi trường là 18,4 $\text{mg l}^{-1}\text{NO}_2^-$, tăng trưởng và tỉ lệ sống của cá thát lát còm bắt

đầu ảnh hưởng nghĩa khác biệt so với đối chứng (giảm 10% khối lượng tăng trưởng và 9% tỉ lệ sống) trong khi nồng độ 9,2 mg^l ⁻¹NO₂⁻ cho thấy ảnh hưởng chưa đáng kể và không khác biệt với nghiệm thức đối chứng. Đối với cá lóc, nitrite có ảnh hưởng đáng kể đến sự tăng trưởng, cụ thể tăng trưởng cao nhất thể hiện ở nghiệm thức đối chứng không bổ sung nitrite (50,7 ± 9,84 g) và thấp nhất ở nghiệm thức 201,6 mg^l ⁻¹NO₂⁻ (35,6 ± 8,48 g). Cá lóc cho thấy ảnh hưởng của nitrite đến tốc độ tăng trưởng và tỉ lệ sống ở hàm lượng nitrite cao (184,6 và 201,6 mg^l ⁻¹NO₂⁻), ở mức nitrite 5% LC₅₀ 96 h không ảnh hưởng đáng kể đến sinh trưởng cũng như tỷ lệ sống của cá. Tỉ lệ sống (42 %) của cá lóc nuôi ở 2 môi trường có hàm lượng nitrite cao là thấp nhất so với nghiệm thức đối chứng (~80 %). Khối lượng cơ thể của cá lóc tăng từ 12 g lên gần 50 g ở nghiệm thức đối chứng (11,94 mg^l ⁻¹NO₂⁻) và chỉ đạt khoảng 35 g ở mức nitrite cao (184,6 và 201,6 mg^l ⁻¹NO₂⁻).

3. KẾT LUẬN

Môi trường nitrite cao chưa được nghiên cứu ở nhiều loài cá hô hấp khí trời ở vùng ĐBSCL mặc dù người ta đã chứng minh rằng điều đó ảnh hưởng đến sự phát triển của nhiều loài cá hô hấp trong nước. Bên cạnh các nghiên cứu về tác động của nitrite đối với sự tăng trưởng của cá hô hấp khí trời còn hạn chế, thì đối với cá lóc *Channa striata* ở mức 11,94 mg^l ⁻¹NO₂⁻ vẫn là nồng độ an toàn cho sự sinh trưởng và đối với cá thát lát còm *Chitala ornate* duy trì nồng độ nitrite ở mức dưới 18,4 mg^l ⁻¹ sẽ giảm thiểu được ảnh hưởng ở mức giảm tăng trưởng và tỉ lệ sống không quá 10%, tối ưu nhất là duy trì ở mức 9,2 mg^l ⁻¹NO₂⁻. Nhiều nghiên cứu ảnh hưởng của độc chất nitrite lên hô hấp, chức năng sinh lý và đặc biệt là sinh trưởng nên được thực hiện ở các loài cá hô hấp khí trời quan trọng như cá tra, cá rô, lươn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Affonso, E. G., & Rantin, F. T. (2005). Respiratory responses of the air-breathing fish *Hoplosternum littorale* to hypoxia and hydrogen sulfide. *Comparative*

Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 141(3), 275-280.

Aggergaard, S., & Jensen, F. B. (2001). Cardiovascular changes and physiological response during nitrite exposure in rainbow trout. *Journal of fish biology*, 59(1), 13-27.

Arillo, A., Gaino, E., Margiocco, C., Mensi, P., & Schenone, G. (1984). Biochemical and ultrastructural effects of nitrite in rainbow trout: liver hypoxia as the root of the acute toxicity mechanism. *Environmental research*, 34(1), 135-154.

Boudreaux, P. J., Ferrara, A. M., & Fontenot, Q. C. (2007). Chloride inhibition of nitrite uptake for non-teleost Actinopterygian fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 147(2), 420-423.

Colt, J., Ludwig, R., Tchobanoglous, G., & Cech Jr, J. J. (1981). The effects of nitrite on the short-term growth and survival of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 24, 111-122.

Duncan, W., & da Silva, P. (1999). Effects of nitrite on hematology and metabolic parameters of an Amazonian catfish, *Hoplosternum littorale* (Callichthyidae). *Special adaptations of tropical fish*, 29-35.

Evans, D. H., Piermarini, P. M., & Choe, K. P. (2005). The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological reviews*, 85(1), 97-177.

Frances, J., Allan, G. L., & Nowak, B. F. (1998). The effects of nitrite on the short-term growth of silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, 163(1-2), 63-72.

Gam, L.T.H., Vu, N.T.T., Nhu, P.N., Phuong, N.T. and Huong, D.T.T., 2018. Effects of nitrite exposure on haematological parameters and growth in clown knifefish (*Chitala ornata*, Gray 1831). *Can Tho University Journal of Science*. 54(2): 1-8.

Gam, L. T. H., Jensen, F. B., Damsgaard, C., Phuong, N. T., & Bayley, M. (2017). Extreme nitrite tolerance in the clown knifefish *Chitala ornata* is linked to up-regulation of methaemoglobin reductase activity. *Aquatic toxicology*, 187, 9-17.

Graham. (1997). *Air-breathing fishes: evolution, diversity, and adaptation*: Academic Press.

Jensen, F. B. (2003). Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A:*

Molecular & Integrative Physiology, 135(1), 9-24. doi: 10.1016/s1095-6433(02)00323-9

Jensen, F. B. (2009). The dual roles of red blood cells in tissue oxygen delivery: oxygen carriers and regulators of local blood flow. *Journal of Experimental Biology*, 212(21), 3387-3393.

Jensen, F. B., Andersen, N. A., & Heisler, N. (1987). Effects of nitrite exposure on blood respiratory properties, acid-base and electrolyte regulation in the carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Comparative Physiology B*, 157(5), 533-541.

Jensen, F. B., & Rohde, S. (2010). Comparative analysis of nitrite uptake and hemoglobin-nitrite reactions in erythrocytes: sorting out uptake mechanisms and oxygenation dependencies. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 298(4), R972-R982.

Johansen, K. (1968). Air-breathing fishes. *Scientific American*, 219(4), 102.

Kroupova, H., Machova, J., Piackova, V., Blahova, J., Dobsikova, R., Novotny, L. & Svobodova, Z. (2008). Effects of subchronic nitrite exposure on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71, 813-820.

Kosaka H., Tyuma I. (1987): Mechanism of autocatalytic oxidation of oxyhaemoglobin by nitrite. *Environmental Health Perspectives*, 73, 147-151

Lefevre, Huong, D. T. T., Wang, T., Phuong, N. T., & Bayley, M. (2011a). Hypoxia tolerance and partitioning of bimodal respiration in the striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 158(2), 207-214.

Lefevre, S., Wang, T., Jensen, A., Cong, N. V., Huong, D. T. T., Phuong, N. T., & Bayley, M. (2014). Air-breathing fishes in aquaculture. What can we learn from physiology?. *Journal of Fish Biology*, 84(3), 705-731.

Lefevre, S., Findorf, I., Bayley, M., Huong, D., & Wang, T. (2016). Increased temperature tolerance of the air-breathing Asian swamp eel *Monopterus albus* after high-temperature acclimation is not explained by improved cardiorespiratory performance. *Journal of fish biology*, 88(1), 418-432.

Lefevre, S., Jensen, F. B., Huong do, T. T., Wang, T., Phuong, N. T., & Bayley, M. (2011b). Effects of nitrite exposure on functional haemoglobin levels, bimodal respiration, and swimming performance in the facultative air-breathing fish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Aquat Toxicol*, 104(1-2), 86-93.

Lefevre, S., Jensen, F. B., Huong do, T. T., Wang, T., Phuong, N. T., & Bayley, M. (2012a). Haematological and ion regulatory effects of nitrite in the air-breathing snakehead fish *Channa striata*. *Aquat Toxicol*, 118-119, 48-53.

Lefevre, S., Phuong, N. T., Wang, T., & Bayley, M. (2012b). Effects of hypoxia on the partitioning of oxygen uptake and the rise in metabolism during digestion in the air-breathing fish *Channa striata*. *Aquaculture*(364-365), 137-142.

Lefevre, S., Wang, T., Jensen, A., Cong, N. V., Huong, D. T., Phuong, N. T., & Bayley, M. (2014). Air-breathing fishes in aquaculture. What can we learn from physiology? *J Fish Biol*, 84(3), 705-731.

Lewis Jr, W. M., & Morris, D. P. (1986). Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115(2), 183-195.

Perrone S.J., Meade T.L. (1977): Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34, 486-492.

Phu, T. Q., Hang, B. T. B., Tuong, D. D., Anna, V. G., Kaneko, T., Phuong, N. T., & Huong, D. T. T. (2022). Effects of size and nitrite exposure on respiration, oxygen partitioning, and growth of obligate air-breathing fish *Channa striata*. *Fisheries Science*, 1-11.

Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal physiology: adaptation and environment*. Cambridge University Press.

Siikavuopio, S. I., & Sæther, B.-S. (2006). Effects of chronic nitrite exposure on growth in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture*, 255(1-4), 351-356.

Stormer, J., Jensen, F. B., & Rankin, J. C. (1996). Uptake of nitrite, nitrate, and bromide in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): effects on ionic balance. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(9), 1943-1950.

Tomasso, J. (1994). Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. *Reviews in Fisheries Science*, 2(4), 291-314.

Tuong, D. D., Ngoc, T. B., Huynh, V. T. N., Phuong, N. T., Hai, T. N., Wang, T., & Bayley, M. (2018). Clown knifefish (*Chitala ornata*) oxygen uptake and its partitioning in present and future temperature environments. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 216, 52-59.