

TỔNG QUAN VỀ TẢO NỖ HOA GÂY HẠI: NGUYÊN NHÂN VÀ TÁC ĐỘNG ĐẾN SỰ PHÁT TRIỂN NUÔI TRỒNG THỦY SẢN

Âu Văn Hóa*, Nguyễn Thị Kim Liên, Huỳnh Trường Giang

Trường Thủy sản, Trường Đại học Cần Thơ

**Tác giả liên hệ: avhoa@ctu.edu.vn*

Ngày nhận bài: 18.10.2024

Ngày chấp nhận đăng: 24.12.2025

TÓM TẮT

Nuôi trồng thủy sản đang phát triển nhanh chóng trên toàn thế giới, cung cấp nguồn thực phẩm rất lớn cho con người từ nghề nuôi trồng thủy sản và đã vượt qua sản lượng đánh bắt tự nhiên. Việc mở rộng và thâm canh hóa các mô hình nuôi trồng thủy sản từ đất liền đến biển, dẫn đến hàm lượng dinh dưỡng trong môi trường nước ngày càng phú dưỡng (chủ yếu là tỷ lệ N:P), sự xuất hiện của tảo nở hoa sẽ xảy ra thường xuyên hơn. Tảo nở hoa gây hại (HAB) thường là các loài thực vật phù du, không hoặc có sinh ra độc tố gồm *Chaetoceros* spp., *Heterosigma* spp., *Microcystis* spp., *Karenia* spp., *Alexandrium* spp., *Pyrodinium* sp., *Noctiluca* sp., *Dinophys* sp., *Trichodesmium* sp., *Prorocentrum* sp., *Pseudonitzhia* sp. và *Cochlodinium* sp.... gây hại cho cá, tôm, động vật thân mềm ngoài tự nhiên và trong ao nuôi, ngay cả con người; gây ra các bệnh nghiêm trọng được gọi là ngộ độc từ động vật thân mềm như gây tê liệt, tiêu chảy và mất trí nhớ trên người sử dụng chúng. Kết quả của bài viết này thảo luận về sự xuất hiện của HAB, các yếu tố sinh ra và duy trì HAB; tác động gây hại của HAB đến nuôi trồng thủy sản trong quá khứ, hiện tại và tương lai nhằm mục tiêu cải thiện việc đánh giá rủi ro ngộ độc nguồn thực phẩm cho người tiêu dùng.

Từ khóa: Cá, độc tố, động vật thân mềm, tôm.

Overview of Harmful Algae Blooms: Causes and Impact on Aquaculture Development

ABSTRACT

Aquaculture is the fastest-growing sector worldwide, contributing significant quantities to the supply of food for human consumption and have surpassed wild-capture amounts. The expansion and intensification of aquaculture models from inland to mariculture cause eutrophication, which is often accompanied by algal blooms because of aquatic nutrient loadings (mainly N:P ratio). Harmful algal blooms (HABs) are typically phytoplankton species including *Chaetoceros* spp., *Heterosigma* spp., *Microcystis* spp., *Karenia* spp., *Alexandrium* spp., *Pyrodinium* sp., *Noctiluca* sp., *Dinophys* sp., *Trichodesmium* sp., *Prorocentrum* sp., *Pseudonitzhia* sp., and *Cochlodinium* sp., that produce no or few toxins harmful to wild and farmed fish, shrimp, shellfish, and even humans, causing severe illnesses referred to as paralytic, diarrhetic, and amnesic shellfish poisoning in humans who use them. This paper discusses the occurrence of HABs, the factors that generate and maintain HABs, and the negative impacts of HABs on aquaculture in the past, present, and future with the aim of improving the assessment of food poisoning risks to consumers.

Keywords: Fish, shellfish, shrimp, toxin.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tảo gây hại hay còn gọi là tảo nở hoa gây hại (Harmful Algae Bloom - HAB) là hiện tượng tự nhiên do sự phát triển của một, hai hoặc nhiều loài tảo. HAB là những loài tảo ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đến động vật thủy sinh như

tảo lam, tảo khuê, tảo giáp hoặc tảo mắt; chúng có thể tiết độc tố ra môi trường tự nhiên làm xáo trộn hoặc gây chết các hệ sinh vật thủy sinh khác (Weirich & Miller, 2014); gây ra tác động tiêu cực đến sức khỏe con người, môi trường nước, kinh tế, du lịch, nuôi trồng thủy sản (NTTS) và nghề cá (Anderson & cs., 2008). Theo Brown & cs. (2019),

tác động của HAB trên thế giới đối với NTTS (do cá, động vật thân mềm (ĐVTM) chết, ngộ độc người tiêu dùng và các lệnh cấm thu hoạch) với giá trị khoảng 8 tỷ USD/năm. HAB là hiện tượng tự nhiên và chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố môi trường trong nước như nhiệt độ, hàm lượng dinh dưỡng, độ mặn,... thay đổi thường xuyên theo vị trí địa lý và thời gian.

Hầu hết, HAB ít gây hại cho sinh vật hoặc con người, tuy nhiên một số loài tảo có chứa độc tố, do chúng tiết ra độc tố trong quá trình nở hoa (hiện tượng gây độc) và các đợt nở hoa thường kéo dài vài ngày hoặc vài tuần (Anderson & cs., 2012). Hiện tượng gây độc này do một số loại độc tố như: PSP (Paralytic shellfish poisoning), DSP (Diarrhetic shellfish poisoning), ASP (Amnesia shellfish poisoning), NSP (Neurotoxic shellfish poisoning) và CFP (Ciguatera fish poisoning) được tiết ra từ các loài HAB thuộc các giống như *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Porocentrum*, *Pseudo-nitzschia*, *Gymnodinium*, *Cochlodinium*... Trên thế giới, khoảng 300 loài tảo nở hoa đã được xác định, khoảng 100 loài thuộc tảo giáp sinh ra độc tố (Anderson, 2012). Trong tự nhiên, HAB thường có màu sắc khác nhau như đỏ, nâu hoặc xanh lục (ảnh hưởng bởi loài tảo chiếm ưu thế). Tần suất HAB ngày càng tăng do ảnh hưởng bởi biến đổi khí hậu, chất dinh dưỡng (chủ yếu là nitơ (N) và phospho (P)), sự xáo trộn môi trường sống, chất lượng nước và tốc độ dòng nước.

Trong nuôi trồng thủy sản, mối đe dọa nghiêm trọng nhất là sự xuất hiện của HAB. Chúng gây ra tổn thất về trữ lượng đối với nuôi cá lồng bè ngoài khơi và hệ thống NTTS trong ao trên khắp thế giới. Ngoài ra, một số loài tảo nở hoa không độc cũng có thể giết chết cá, tôm do chúng gây ra hiện tượng thiếu oxy trong nước (Brown & cs., 2019). Do đó, bài báo này cung cấp một số thông tin tổng quan về các loài tảo và yếu tố môi trường có thể sinh ra HAB; nguyên nhân, tác động của HAB đối với nghề khai thác cá tự nhiên và NTTS, đồng thời giúp nâng cao hiểu biết về nguy cơ HAB cho ngành NTTS, điều này rất quan trọng trong việc đảm bảo an toàn thực phẩm cho con người.

2. ĐẶC ĐIỂM CHUNG CỦA TẢO NỞ HOA GÂY HẠI

Tảo nở hoa gây hại là sự phát triển ưu thế của một số loài vi tảo khi gặp điều kiện môi trường thuận lợi để đạt đến mật độ nhất định có thể gây tác động tiêu cực đến con người và môi trường nước (Berdalet & cs., 2017). HAB là hiện tượng tự nhiên, thường xuất hiện theo mùa bởi các loài tảo sống trong hệ sinh thái dưới nước. Hiện tượng HAB xảy ra thuộc các nhóm tảo gồm Dinoflagellate, Dictyophytes, Haptophytes, Raphidophytes, Cyanophyceae, Bacillariophyceae và Euglenophyceae. Sự xuất hiện và độc tính của HAB rất phức tạp là do sự tương tác giữa hệ sinh thái với các loài tảo nở hoa; có thể khác nhau cả về không gian, thời gian, thành phần loài, đa dạng di truyền. Vài nghiên cứu cho rằng HAB bắt nguồn từ một số khu vực ở đại dương và di chuyển dần vào các vịnh ven biển (Pitcher & cs., 2017). Ngoài ra, HAB cũng xuất hiện ở đầm phá, vùng cửa sông, ven bờ biển là do thời gian sống trong nước kéo dài, nhiệt độ tăng và sự quang hợp của ánh sáng. Phần lớn HAB là các loài tảo thuộc nhóm tảo giáp (dinoflagellates) và tảo khuê (diatoms) với nhiều kiểu dinh dưỡng khác nhau: quang dưỡng, tự dưỡng và dị dưỡng để tồn tại trong điều kiện bất lợi.

Trong tự nhiên, HAB thường liên quan đến việc gây chết các loài cá nuôi ở vùng biển và NTTS. Các triệu chứng nhiễm độc ở cá có nhiều loại khác nhau với các HAB khác nhau bao gồm bệnh lý về gan do ciguatoxin và microcystin được sinh ra từ loài *Gambierdiscus* spp. và *Microcystis* spp.; tổn thương ở mang được gây ra bởi độc tố loài *Prymnesium* spp. và *Heterosigma* spp.; gây triệu chứng mê man ở cá làm mất khả năng thăng bằng và bơi lội bị ảnh hưởng bởi độc tố loài *Karenia* spp.; bị tê liệt bởi độc tố saxitoxin từ loài *Alexandrium* spp. và tạo nhiều chất nhầy ở mang cá do tảo *Chaetoceros* spp. (Svendsen & cs., 2018). Khả năng gây hại của một số loài tảo đối với NTTS và nghề đánh cá tự nhiên tại các quốc gia trên thế giới (Bảng 1).

Một số loài tảo của giống *Pseudo-nitzschia* thuộc nhóm tảo khuê xuất hiện và nở hoa

thường xuyên tại vùng ven biển, đặc biệt là vào thời điểm mùa xuân và mùa hè. Các loài tảo nở hoa chiếm ưu thế được xác định là *P. scama*, *P. pseudodelicatissima*, *P. australis* và *P. pungens* phổ biến vào mùa xuân; trong khi các loài tảo *P. multiseries*, *P. multistriata*, *P. heimii* và *P. delicatissima* nở hoa vào các thời điểm khác nhau (Hallegraeff & cs., 2021). Độc tính HAB được biết là khác nhau giữa các loài tảo và ngay trong cùng loài ở một quần thể. Ngoài ra, các thay đổi do biến đổi khí hậu cũng có thể làm thay đổi độc tính của HAB.

Sự bùng nổ các loài HAB đang trở thành vấn đề lớn trên toàn cầu từ môi trường nước ngọt đến nước lợ - mặn, ảnh hưởng nghiêm trọng cho nghề cá, NTTS, du lịch và giải trí (Berdalet & cs., 2016). Chúng gây ra hiện tượng ngộ độc và gây tử vong cho con người, động vật sống trong nước khác. Có 5.000 loài tảo tồn tại nhưng khoảng 300 loài nở hoa, làm thay đổi màu nước trên bề mặt biển (thủy triều đỏ), khoảng 80 loài sinh ra độc tố, có thể xâm nhập vào cá, ĐVTM và gây hại con người (Hallegraeff, 2003) (Bảng 2).

3. ĐIỀU KIỆN MÔI TRƯỜNG CHO SỰ PHÁT TRIỂN CỦA TẢO NỞ HOA GÂY HẠI

Trong những thập kỷ gần đây, hiện tượng

HAB ngày càng gia tăng về tần suất, thời gian và tác động trên toàn thế giới. Tần suất HAB tăng là do sự kết hợp của các yếu tố bao gồm nhiệt độ nước tăng, phân tầng cột nước, bão và lũ lụt, chất dinh dưỡng; do con người gây ra đối với môi trường biển và sự xáo trộn môi trường sống ven biển. Độc tố HAB khác nhau theo mùa và các sự kiện HAB có thể xảy ra quanh năm. Điều kiện để HAB xảy ra trong tự nhiên và NTTS là sự hiện diện của số lượng cá thể tảo, bào tử hoặc tế bào nghỉ (nang), tuy nhiên để xảy ra được hiện tượng này cần có các yếu tố như ánh sáng để quang hợp, chất dinh dưỡng được tích lũy từ môi trường nước, sóng, gió, thủy triều hoặc trong trầm tích, tạo điều kiện thuận lợi cho chúng sinh trưởng và sinh sản (Brown & cs., 2019). Từ năm 2002 đến năm 2020, tại New Zealand ở khu vực ôn đới, nhiệt độ nước biển tăng lên từ 0,2-0,4°C, thấp hơn ở khu vực nhiệt đới, nhiệt độ tăng đột ngột lên tới 3,7°C tại Biển Đông Tasman nước Úc vào mùa hè năm 2017. Nhiệt độ nước tăng bất thường, sự phân tầng của nó đã làm thay đổi sự phong phú về thành phần và phân bố của tảo theo mùa và bức xạ ánh sáng làm cho sự quang hợp của tảo tăng, có thể góp phần tạo nên hiện tượng HAB. Ngoài ra, khi nhiệt độ tăng cũng ảnh hưởng rất lớn đến quá trình trao đổi chất và sinh lý của các loài cá và ĐVTM do chúng bị stress và HAB gây ra.

Bảng 1. Một số loài tảo gây hại tại một số quốc gia trên thế giới

Loài tảo	Mật độ tảo (cá thể/l)/ Độc tố/Dấu hiệu	Địa điểm/ Quốc gia	Năm	Hiện tượng/ Hậu quả	Nguồn
<i>Microcystis</i> spp.	Mycrosystin ở nồng độ > 1	Hồ Erie	Tháng 8/2003 và tháng 8/2004	Xây ra hiện tượng phú dưỡng và nở hoa sinh độc tố	Rinta-Kanto & cs. (2005)
<i>Karenia brevis</i>	Thủy triều đỏ, độc tố thần kinh brevetoxin	Vịnh Mexico, Hoa Kỳ	2005	Ảnh hưởng đến nghề cá giải trí, du lịch, nuôi trồng thủy sản và môi trường nước	Flewelling & cs. (2005)
<i>Trichodesmium</i> sp.	Nở hoa	Vịnh Lampung, Indonesia	1991	Gây hiện tượng tôm chết trong ao	Adnan (1992)
<i>Pseudonitzschia</i> sp.	> 10 ³ cá thể/l		2014	Hiện diện trong động vật thân mềm, cần phải đo độc tố	Hallegraeff & cs. (2003)
<i>Cochlodinium</i> sp.	Nở hoa		2012	Gây hiện tượng cá chết hàng loạt	Muawanah & Widiatmoko (2013)
<i>Noctiluca</i> sp., <i>Pyrodinium</i> sp.	Nở hoa có độc tố		2021	Thay đổi màu nước, thiếu oxy, làm tắc nghẽn mang gây ra cá chết	Sidabutar (2016)



Hình 1. Một số giống/loài tảo nở hoa gây hại

Bảng 2. Khả năng gây hại của một số loài tảo có và không có độc tố

Loài tảo	Dấu hiệu/Độc tố	Khả năng gây hại	Triệu chứng/ Mức độ ngộ độc trên người
<i>Akashiwo sanguinea</i> , <i>Gonyaulax polygramma</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Scrippsiella trochoidea</i> , <i>Trichodesmium erythraeum</i>	Làm thay đổi màu nước nhưng cơ bản không gây hại	Phát triển dày đặc đến mức gây chết cho cá và động vật không xương sống do thiếu oxy	
<i>Chaetoceros concavicornis</i> , <i>C. convolutus</i> , <i>Karenia mikimotoi</i> , <i>K. brevisulcata</i> , <i>Karlodinium micrum</i> , <i>Chrysochromulina polylepis</i> , <i>Prymnesium parvum</i> , <i>P. patelliferum</i> , <i>Heterosigma akashiwo</i> , <i>Chattonella antiqua</i> , <i>C. marina</i> , <i>C. verruculosa</i>	Không độc đối với con người nhưng gây hại cho cá và động vật không xương sống	Phá hủy hoặc làm tắc nghẽn mang ở cá	
<i>Alexandrium catenella</i> , <i>A. coarctatum</i> , <i>A. fundyense</i> , <i>A. fraterculus</i> , <i>A. leei</i> , <i>A. minutum</i> , <i>A. tamarense</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	Paralytic Shellfish Poisoning (PSP)	Nhuẩn thễ (động vật thân mềm) bị nhiễm độc tố từ các loài tảo giáp	Con người bị ngộ độc do ăn nhuyễn thễ (động vật thân mềm), bị tê liệt, chuột rút và tắc nghẽn hô hấp
<i>Dinophysis acuta</i> , <i>D. acuminata</i> , <i>D. caudata</i> , <i>D. fortii</i> , <i>D. norvegica</i> , <i>D. mitra</i> , <i>D. rotundata</i> , <i>D. sacculus</i> , <i>Prorocentrum lima</i>	Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)	Các loài tảo giáp sống trôi nổi và sống đáy tiết ra độc tố DSP	Gây triệu chứng ngộ độc ở hệ tiêu hóa, dễ nhầm lẫn với triệu chứng của vi khuẩn nhiễm trùng dạ dày nhưng nó nghiêm trọng hơn; không gây tử vong và phục hồi trong vòng ba ngày
<i>Pseudo-nitzschia australis</i> , <i>P. delicatissima</i> , <i>P. multiseries</i> , <i>P. pseudodelicatissima</i> , <i>P. pungens</i> , <i>P. seriata</i>	Amnesic Shellfish Poisoning (ASP)	Do nhuyễn thễ (động vật thân mềm) chứa độc tố là axit domoic	Gây triệu chứng mất trí nhớ tạm thời ở người, có 3 trường hợp tử vong và 105 trường hợp ngộ độc cấp tính; có các triệu chứng như đau bụng, nôn, mất phương hướng và mất trí nhớ
<i>Gambierdiscus toxicus</i> , <i>Coolia</i> spp., <i>Ostreopsis</i> spp., <i>Prorocentrum</i> spp.	Ciguatera Fish Poisoning (CFP)	Các loài cá nhiệt đới sống ở các rạn san hô và xung quanh các đảo do tích lũy độc tố	Gây ngộ độc cấp tính ở người do ăn các loài cá tích lũy độc tố, ảnh hưởng hơn 50.000 người gây ra các triệu chứng ở đường tiêu hóa và bệnh thần kinh
<i>Karenia brevis</i> , <i>K. papilionacea</i> , <i>K. selliformis</i> , <i>K. brevisulcata</i> và <i>Gymnodinium breve</i>	Neurotoxic Shellfish Poisoning (NSP) hay Brevetoxin shellfish poisoning (BSP)	Gây ra cá chết hàng loạt và thủy triều đỏ	Gây ngộ độc ở người do ăn nhuyễn thễ (động vật thân mềm) chứa độc tố, gây buồn nôn, ngứa và tê vùng quanh miệng, mất khả năng kiểm soát vận động và đau cơ nghiêm trọng; chưa ghi nhận gây tử vong ở người.
<i>Anabaena circinalis</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> và <i>Nodularia spumigena</i>	Cyanobacterial toxins	Ngộ độc cho gia súc, cá, chim và tạo ra mùi khó chịu trong nước bởi hợp chất geosmin và 2-methylisoborneol	Gây nguy hiểm đến sức khỏe con người

Nguồn: Hallegraeff (2003).

Hiện tượng phú dưỡng là yếu tố quan trọng cho sự bắt đầu và duy trì HAB. Hầu hết HAB chủ yếu là sinh vật quang tự dưỡng và tự dưỡng, HAB tự dưỡng thường sử dụng chủ yếu là nitơ, phospho và silic, sử dụng cho tảo khuê. HAB đạt sinh khối cao ở các vùng cửa sông và ven biển, chúng được hấp thu từ các dạng chất dinh dưỡng vô cơ (Paerl & cs., 2014) và hữu cơ như urê từ những cơn mưa lớn và dòng nước chảy trên mặt đất (Heisler & cs., 2008). Hiện tượng phú dưỡng thường xuyên xảy ra là sự tích lũy chất dinh dưỡng, chủ yếu tỷ lệ N:P được tích tụ từ nước thải tại các khu vực nông nghiệp, công nghiệp, bến cảng, chất thải sinh hoạt và NTTS từ nuôi lồng ngoài khơi đến nội địa bởi các mô hình nuôi bán thâm canh, thâm canh hoặc siêu thâm canh. Hiện tượng phú dưỡng đa dạng và khác nhau tùy thuộc địa điểm, tần suất, theo mùa, khu vực NTTS; đây là một trong những yếu tố góp phần giúp cho tảo nở hoa. Sự phát triển của tảo trong nước phụ thuộc vào hàm lượng chất dinh dưỡng, chủ yếu là tỷ lệ N:P đóng vai trò thiết yếu.

Hoạt động NTTS tăng nhanh góp phần làm gia tăng hàm lượng chất dinh dưỡng từ lượng thức ăn dư thừa và lắng đọng dưới đáy; chúng được phân hủy bởi vi khuẩn nên hàm lượng N và P có xu hướng tăng lên trong nước. Chế độ thay nước cũng là một trong những nguyên nhân gây ra hiện tượng HAB đối với các ao không thay nước sẽ tích lũy hàm lượng N và P rất lớn từ lượng thức ăn dư thừa phân hủy và lượng chất thải của đối tượng nuôi. Ngoài ra, sóng gió, phân tầng nhiệt trong cột nước, chất dinh dưỡng tăng, tốc độ dòng chảy của sông, khu vực nước trôi và thủy triều thay đổi cũng góp phần cho sự phát triển của HAB (Pitcher & cs., 2017).

4. TÁC ĐỘNG CỦA TẢO NỞ HOA GÂY HẠI ĐỐI VỚI NUÔI TRỒNG THỦY SẢN

4.1. Đối với động vật thân mềm

Ảnh hưởng của HAB đối với các loài ĐVTM rất đa dạng từ môi trường tự nhiên đến trong phòng thí nghiệm. Các tác động của HAB luôn ảnh hưởng lớn đến môi trường, con người, tăng trưởng và sinh sản của các loài ĐVTM trong tự

nhiên cũng như ương nuôi. Các cơ sở sản xuất ĐVTM dọc theo bờ biển vịnh Florida bị ảnh hưởng bởi tảo *Karenia brevis* nở hoa gây thiệt hại khoảng 6 triệu USD. Một số loài ĐVTM có khả năng loại bỏ độc tố phycotoxin trong vòng vài tuần nhưng vẫn không loại bỏ được độc tố saxitoxin như sò (*Placopecten magellanicus*), sò (*Spisula solidissima*) và kéo dài tới 5 năm (Landsberg, 2002). Tại phòng thí nghiệm đã chứng minh một số loài ĐVTM gồm sò điệp (*A. irradians*), hào (*C. virginica*), sò (*Mercenaria mercenaria*), nghêu (*Mya arenaria*) và vẹm (*M. edulis*) đã hấp thu các tế bào tảo nở hoa có độc tố gây hại; ngoại trừ nghêu (*M. arenaria*) loại bỏ độc tố PST và DST ở tảo *P. minimum*; PST ở tảo *Alexandrium fundyense* và NST ở tảo *H. akashiwo* trong phân hoặc giả phân của chúng. Riêng hào (*C. virginica*) khi tiếp xúc với tảo *H. akashiwo*, chúng giảm tốc độ lọc, có khả năng đóng van một phần hoặc hoàn toàn. Các loại độc tố tích lũy ở ĐVTM sẽ không an toàn trong thời gian thu hoạch, khi chúng được sử dụng làm thực phẩm cho con người; sự hiện diện của độc tố sẽ gây tác động lâu dài, ảnh hưởng trực tiếp đến quần thể và thời gian sinh trưởng của ĐVTM. Tốc độ bơm và khả năng lọc chậm của ĐVTM cũng làm tăng thời gian loại bỏ độc tố ra khỏi biểu mô. Bảng 3 cho thấy, một số loài tảo nở hoa sinh ra độc tố hoặc mật độ cao gây hại cho ĐVTM trong thí nghiệm, ương nuôi và tự nhiên.

4.2. Đối với cá

Trong ao nuôi cá, tảo nở hoa là sự sinh sôi nảy nở bởi một số vi tảo thuộc các ngành tảo khác nhau. HAB có thể sinh ra độc tố làm ảnh hưởng đến chất lượng thịt cá, có mùi hôi và tăng trưởng cá giảm, năng suất, gây tổn thương gan, phản ứng giật mình và bơi mất phương hướng của cá (Bảng 4). Ở một số quốc gia cho rằng hệ sinh thái nước ngọt thường gây hiện tượng cá chết hàng loạt liên quan đến độc tố microcystin được tiết ra bởi giống *Microcystis* (Tencala & Dietrich, 1997). Năm 1972, tại vùng biển nội địa Seto, Nhật Bản tảo *Chatonella antiqua* nở hoa, thiệt hại khoảng 70 triệu USD, gây chết hàng triệu cá cam. Tại Vịnh Lampung, Indonesia ghi nhận sự nở hoa của tảo *Cochlodiniini* sp. gây ra cá chết hàng loạt vào năm 2012 và tiếp tục tái

diễn vào tháng 6 năm 2013 (Muawanah & Widiatmoko, 2013). Tại vịnh Florida, HAB của tảo *Karenia brevis* vào tháng 11 năm 2017, kéo dài hơn một năm, trải dài khoảng 150-200 dặm ven biển (Pickett, 2018). HAB của tảo *Heterosigma akashiwo* xảy ra định kỳ tại một số nước gồm Iceland, Tây Ban Nha, British

Columbia và Chile; đây là loài gây thiệt hại lớn nhất trên khắp thế giới. Tại Washington, Mỹ đã gây thiệt hại khoảng 2-6 triệu USD. Ngoài ra, HAB gây chết cho cá nuôi và cá tự nhiên trên diện rộng bởi độc tố phycotoxin bị ảnh hưởng bởi độc tố thần kinh hoặc gây độc tế bào và thiếu oxy hòa tan (Mathew & cs., 2021).

Bảng 3. Các loài tảo nở hoa sinh độc tố và mật độ cao gây hại cho ĐVTM

Loài tảo	Dấu hiệu/Độc tố	Loài động vật thân mềm	Khả năng gây hại	Nguồn
<i>Karenia mikimotoi</i>	Nở hoa	Trai (sò và nghêu) (<i>Tapes semidecussata</i>)	Gây chết ấu trùng của trai (sò và nghêu) kể cả giáp xác và động vật không xương sống sống đáy trong trại sản xuất giống	Raine & cs. (2001); Silke & cs. (2005)
<i>Prorocentrum minimum</i> (<i>Gymnodinium aureli</i>)/ <i>Karenia mikimotoi</i> (<i>Alexandrium tamarense</i> (<i>Chrysochromulina polylepis</i> (<i>Karenia brevis</i>	Độc tố HAB	Sò điệp (<i>Argopecten irradians</i>) (hàu (<i>Crassostrea virginica</i>) (vẹm xanh (<i>Mytilus edulis</i>)	Giảm ăn (sinh trưởng), sinh sản và khả năng phục hồi ở sò điệp con	Burkholder (1998); Li & cs. (2002); Basti & cs. (2018)
<i>Karenia brevisulcata</i>	Nở hoa	Vẹm (<i>Perna canaliculus</i>) (hàu (<i>Crassostrea gigas</i>) và bào ngư (<i>Haliotis iris</i>)	Gây độc đối với ấu trùng	Shi & cs. (2012)
<i>Alexandrium minutum</i>	Độc tố có hoạt tính sinh học (BEC)	Hàu (<i>C. gigas</i>)	Ảnh hưởng chất lượng giao tử (khả năng thụ tinh), phát triển ấu trùng	Castrec & cs. (2021)
<i>Gymnodinium catenatum</i>	Mật độ 10^7 tế bào/l trong 10 giờ	Ấu trùng trochophore của hàu (<i>C. gigas</i>)	Không ảnh hưởng đến khả năng sống của ấu trùng	Matsuyama & cs. (2001)
	3×10^5 tế bào/l trong 24 giờ	Hàu (<i>C. gigas</i>) dài 3mm	Thay đổi về hành vi và sinh lý như giảm bề mặt tiếp xúc (tăng khả năng đóng vỏ)	García-Lagunas & cs. (2013)
	Thí nghiệm sau 14 ngày	Hàu (<i>C. gigas</i>)	Bề mặt vỏ bị tróc (vỡ biểu mô) viêm ở tuyến tiêu hóa và mang (giải độc tế bào) kích thích đáp ứng miễn dịch và stress	García-Lagunas & cs. (2013); García-Lagunas & cs. (2015)
<i>P. multiseriis</i>	Sinh ra độc tố	Hàu con và hàu trưởng thành (<i>C. virginica</i>) (vẹm (<i>M. edulis</i>))	Giảm tốc độ ở bề mặt tiếp xúc và tăng khả năng giả phân khi tiếp xúc với độc tố tảo	Thessen & cs. (2010); Mafra & cs. (2010)
<i>Heterosigma akashiwo</i>	Nở hoa	Trai ngọc (<i>Pinctada fucata martensii</i>) và sò điệp (<i>Argopecten irradians</i>)	Làm giảm tốc độ bơi của tinh trùng (khả năng sống ấu trùng) hoạt động và biến thái bởi cơ chế gây độc ở cấu trúc glycocalyx của tảo và chất nhầy	Banno & cs. (2018)
		Hàu trưởng thành (<i>C. virginica</i>)	Làm giảm khả năng đóng vỏ và quá trình lọc	Keppler & cs. (2005); Hégaret & cs. (2007)
<i>Heterocapsa circleisquama</i>	Thủy triều đỏ	Trai (<i>Pinctada fucata martensii</i>)	Tàn phá ngành công nghiệp nuôi trai	Matsuyama (1999)
<i>Prorocentrum rathymum</i> (<i>Pseudopfiesteria shumwayae</i>)	Độc tố	Hàu (<i>C. gigas</i>)	Chết do nhiễm độc tố ở giai đoạn ấu trùng và trưởng thành	Shumway & cs. (2006)

Bảng 4. Một số loài tảo nở hoa/sinh độc tố gây chết cá nước ngọt và lợ mặn

Loài tảo	Dấu hiệu/Độc tố	Loài cá	Khả năng gây hại	Nguồn
<i>Prymnesium parvum</i>	Nở hoa	Cá đối (<i>Mugil</i> spp.)	Gây chết cá	Shilo (1981)
<i>Gymnodinium breve</i>	Nở hoa (thủy triều đỏ)	Cá và động vật không xương sống	Gây chết hàng loạt	Steidinger & Baden (1984)
<i>Chatonella antiqua</i>	Nở hoa	Cá cam (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	Gây chết 21,8 triệu cá	Okaichi (1989)
<i>Alexandrium</i> spp.	Saxitoxin	Ấu trùng và cá con của cá thu (<i>Scomber scombrus</i>)	Gây chết	Robineau & cs. (1991)
<i>Chaetoceros</i>	Nở hoa	Cá hồi	Gây chết cá do thiếu oxy	Rensel (1993)
<i>Aphanizomenon</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Pseudanabaena</i>	Geosmin	Cá da trơn	Gây cho thịt cá có mùi hôi	Schrader & Blevins (1993)
<i>Heterosigma akashiwo</i>	Nở hoa	Cá nuôi lồng và tự nhiên	Gây chết	Landsberg (2002) (Dorantes-Aranda & cs. (2015))
<i>Microcystis</i>	Microcystins	Cá hồi, cá chép, cá ngựa vằn, cá da trơn, cá rô phi	Ức chế tăng trưởng của cá, gây tổn thương đường ruột, gan và tụy	Zhao & cs. (2006); Qian & cs. (2019); Chia & cs. (2020)
<i>Karenia brevis</i> , <i>K. brevisulcata</i> , <i>K. mikimotoi</i>	Mật độ cao	Cá hồi (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>), cá hồng (<i>Pagrus auratus</i>)	Gây ngộ độc	Shi & cs. (2012)
<i>Cochlodinium</i> sp.	Mật độ $3,07 \times 10^7$ cá thể/l	Các loài cá nuôi lồng	Gây cá chết hàng loạt do thiếu oxy, tổn thương mang	Muawanah & Widiatmoko (2013)
<i>Karlodinium veneficum</i>	Nở hoa	Nhiều loài cá vùng cận nhiệt đới, cá tráp đen (<i>Acanthopagrus butcheri</i>), cá trích (<i>Elops machnata</i>), cá bống (<i>Pseudogobius ororum</i>)	Gây chết 100.000 cá con	Adolf & cs. (2015)
<i>Pseudochattonella marina</i>	Nở hoa	Cá hồi	Gây chết 25 triệu cá, giảm sản lượng	Cabello & Godfrey (2016); Clément & cs. (2016)
<i>Alexandrium pacificum</i>	Độc tính thần kinh của PST	Ấu trùng, cá con, kể cả cá trưởng thành	Gây tê liệt, bơi lội bất thường	Costa (2016)
<i>Karenia brevis</i>	Nở hoa	Sinh vật biển, cá nhỏ, cá lớn và kể cả cá heo	Làm chết hàng nghìn tấn	Pickett (2018)



Nguồn: Muawanah (2012).

Hình 2. Sự nở hoa của tảo *Cochlodinium* sp. và hiện tượng cá chết năm 2012

4.3. Đối với tôm

Các sự kiện HAB trong các ao nuôi tôm he ở châu Á và Nam Mỹ trong giai đoạn 1993 đến 2002 được trình bày ở bảng 5 (Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna, 2003), đã xác định hiện tượng thủy triều đỏ gây thiếu oxy do mật độ tảo quá dày đặc, tuy nhiên rất ít loài tảo có liên quan đến sức khỏe của tôm. Trong số các loài tảo nở hoa, duy nhất loài *Prorocentrum minimum*, được coi là có khả năng gây ra mối đe dọa trong các ao nuôi tôm ở Úc.

Một số nghiên cứu cho rằng sự phát triển quá mức của các giống/loài tảo trong ao nuôi tôm, có thể tiết ra độc tố gây hại, gây thiếu oxy vào sáng sớm hoặc sinh ra mùi khó chịu và cơ thịt tôm có mùi của chúng, mang tôm vướng phải sẽ tiết ra chất nhờn làm tắc nghẽn mang và gây tử vong; xuất hiện các đốm nâu trên thân tôm (Phạm Thanh Lưu & cs., 2017; Stirling & Day, 1990), ảnh hưởng đến tăng trưởng của tôm và thiếu oxy cục bộ vào ban đêm dẫn đến tôm chết hàng loạt (Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna, 2003), làm giảm về năng suất tôm, gây thiệt hại về kinh tế. Trung Quốc bị ảnh hưởng

bởi hiện tượng tảo nở hoa đã chịu thiệt hại 40 triệu USD (Jiasheng & cs., 1993). Một số giống/loài HAB cho tôm (Bảng 5).

Nghiên cứu của Mann (2017) đã thu tổng cộng 91 mẫu tảo và xác định được 137 loài, trong đó có 19 loài được xem là có nguy cơ gây hại tiềm ẩn đến động vật thủy sản trong ao nuôi tôm tại Úc (Bảng 6). Bảng 6 cho thấy, các loài tảo chỉ có khả năng gây tác động tiêu cực đến cá hoặc động vật không xương sống dưới nước trong quần thể cá tự nhiên hoặc NTTS; tuy nhiên khả năng gây hại cho tôm vẫn chưa xác định rõ. HAB gây thiệt hại năng suất cho các ao tôm biển ở ba trang trại tại Úc, nuôi chủ yếu là tôm Penaeid (*Penaeus* spp.) cho sản lượng 4.000 đến 5.000 tấn/năm, nguyên nhân là do HAB làm tôm chết và tăng trưởng chậm; năng suất tôm bình quân từ 8-10 tấn/ha, giảm từ 50 đến 90% ở nhiều ao và gây tổng thiệt hại > 1 triệu USD cho mỗi trang trại. Các trang trại bị ảnh hưởng nặng nề nhất là do sự xuất hiện bởi tảo *Heterosigma* sp. với tỷ lệ tôm chết không tăng nhưng tốc độ tăng trưởng giảm gây thiệt hại về sản lượng từ 5-10%, sản lượng khoảng 400-800 kg/ha, giá trị từ 6.000-12.000 USD/ha.

Bảng 5. Sự nở hoa của một số loài tảo gây hại trong ao nuôi tôm

Loài tảo	Dấu hiệu/Mật độ	Khả năng gây hại	Nguồn
<i>Alexandrium tamarense</i>	Nở hoa, 10.000 cá thể/ml	Gây chết tôm sú do độc tố	Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna (2003)
<i>Gymnodinium</i> spp.	Nở hoa	Gây độc và thiếu oxy	Jiasheng & cs. (1993)
<i>Microcystis</i> , <i>Anabaena/Aphanizomenon</i>	Mật độ > 90% tổng quần thể và > 87% tổng sinh khối, độc tố microcystin	Gây tôm chết hàng loạt	Zurawell & cs. (2005)
<i>Gymnodinium catenatum</i> và <i>Karenia brevis</i>	> 10 ⁴ cá thể/l	Giảm tỷ lệ sống, hành vi bất thường, tôm chết do độc tố	Linares & cs. (2009); Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna (2003)
<i>Ceratium</i> sp. và <i>Gymnodinioid</i>	Nở hoa	Giảm tăng trưởng ở tôm	Keawtawee & cs. (2012)
<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena/Aphanizomenon</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Merismopedia</i> , <i>Lyngbya</i> và <i>Arthrospira</i> , <i>G. Catenatum</i> , <i>Karenia brevis</i> , <i>Alexandrium tamarense</i> và <i>Gymnodinium</i> spp.	Phát triển quá mức (hay nở hoa)	Gây thiếu oxy, cơ thịt tôm có mùi khó chịu, gây tử vong, hiện tượng phân trắng ở tôm thẻ và tôm sú	Phạm Thanh Lưu & cs. (2017); Stirling & Day (1990)
<i>Synechocystis diplococcus</i>	3.400 cá thể/ml	Giảm tăng trưởng ở tôm thẻ	Alonso-Rodríguez & Páez-Osuna (2003)
<i>Schizothrix calcicola</i>	140.000 cá thể/ml	Giảm tăng trưởng ở tôm thẻ	
<i>Noctiluca scintillans</i>	2.000 cá thể/ml	Gây chết tôm <i>P. orientalis</i>	
<i>Prorocentrum minimum</i>	34.000 cá thể/ml	Giảm tăng trưởng ở tôm <i>P. stylirostris</i>	
<i>Nitzschia navis-varingica</i>	Nở hoa	Tôm sú chết do độc tố	
<i>Chattonella</i> spp.			



Hình 3. Tảo nở hoa trong ao nuôi tôm

**Bảng 6. Mật độ (cá thể/ml)
của một số loài tảo nở hoa có khả năng gây hại trong ao tôm tại Úc**

Giống/loài	Mật độ tảo (cá thể/ml)	Khả năng gây hại
<i>Fibrocapsa japonica</i>	150	Cá chết do tảo nở hoa
<i>Heterosigma</i> sp.	57.000	Cá chết do tảo nở hoa
<i>Pseudochattonella verruculosa</i>	500	Cá chết do tảo nở hoa
<i>Alexandrium tamarense</i>	10	Cá chết do độc tố PSP và Saxitoxin
<i>Azadinium</i> sp.	< 5	Sinh ra độc tố Azaspiraxit
<i>Cochlodinium</i> sp.	5.800	Cá chết do tảo nở hoa
<i>Dinophysis caudata</i>	5	Sản xuất axit okadaic, dinophys-toxin và pectenotoxin.
<i>Heterocapsa rotundata</i>	15.000	Gây độc đối với <i>Artemia</i>
<i>Karenia mikimotoi</i>	5	Cá chết do tảo nở hoa
<i>Karlodinium</i> sp.	10.200	Cá chết do tảo nở hoa
<i>Noctiluca scintillans</i>	40	Không gây hại nhưng gây kích ứng mang cá do giải phóng lượng amoniac cao.
<i>Prorocentrum cordatum</i> (hay <i>P. minimum</i>)	26.000	Nở hoa gây chết cá và tôm
<i>Prorocentrum rathymum</i> (hay <i>P. mexicanum</i>)	50	Độc tố (hemolytictoxin) và các độc tố có tác động nhanh tim thấy ở loài <i>Prorocentrum rathymum</i>
<i>Takayama</i> sp.	3.600	Gây chết cá và động vật không xương sống
<i>Gymnodinioid</i> spp.	11.000	Ảnh hưởng đa dạng loài nhưng khó xác định
<i>Pseudonitzschia</i> spp.	1.200	Tạo ra axit domoic
<i>Pseudonitzschia pungens/ P. multiseriis</i>	35	Tạo ra axit domoic
<i>Chrysochromulina</i> spp.	120.000	Gây chết cá và động vật không xương sống
<i>Oscillatoria</i> spp.	1.600	Nở hoa làm tôm chết và tăng trưởng chậm

Nguồn: Mann (2017).

Hiện tượng HAB có thể gia tăng trực tiếp hoặc gián tiếp đến việc mở rộng NTTS trong tương lai. Ngành NTTS có thể bị hạn chế do

biến đổi khí hậu ngày càng rõ ràng hơn bao gồm thời tiết cực đoan về cường độ mưa và nhiệt độ. Những thay đổi về khí hậu này kết hợp với việc

gia tăng dân số, các sự kiện ô nhiễm, suy giảm chu trình dinh dưỡng, bùng phát dịch bệnh, tỷ lệ sống thấp, năng suất giảm...; những nguyên nhân này dẫn đến tình trạng thiếu hụt sản lượng thủy sản trong tương lai. Đối với NTTS, một trong các mối đe dọa nghiêm trọng nhất là sự xuất hiện HAB. Chính vì thế, cần tìm hiểu, cảnh báo sớm về hiện tượng HAB, về khả năng di chuyển và thay đổi cường độ của chúng, rất có lợi cho ngành NTTS và có thể chủ động để giảm thiểu rủi ro. Các biện pháp ứng phó ngay lập tức có thể bao gồm thu hoạch và dự trữ sớm. Các biện pháp để giảm thiểu tác động của HAB đối với NTTS được chia thành ba nội dung sau: (i) Lập kế hoạch không gian và thời gian đối với các hoạt động NTTS nhằm để tránh hoặc giảm thiểu rủi ro HAB; (ii) Quản lý môi trường toàn diện để giảm thiểu rủi ro HAB tại các trang trại NTTS bằng cách sử dụng nuôi thủy sản đa loài, đa dinh dưỡng, nuôi các loài có khả năng chống chịu cao hoặc ít bị ảnh hưởng bởi tích lũy độc tố HAB; (iii) kiểm soát trực tiếp sự hiện diện các loài HAB bằng các phương pháp vật lý, hóa học, sinh học.

5. KẾT LUẬN

Nuôi trồng thủy sản ngày càng đóng vai trò quan trọng trong an ninh lương thực trên thế giới. Một trong những rủi ro quan trọng nhất đối với việc mở rộng NTTS cả trong nội địa (đất liền) và vùng biển (ngoài khơi) là sự xuất hiện của hiện tượng HAB. Ảnh hưởng của HAB đối với NTTS rất đa dạng cả về không gian, thời gian và gây thiệt hại về kinh tế. Rủi ro HAB thường xảy ra ở các địa điểm giàu chất dinh dưỡng từ nông nghiệp, nước thải đô thị, thủy triều, tốc độ dòng chảy,... và ngay cả nghề NTTS. Để quản lý được rủi ro HAB đối với nghề NTTS, người nuôi cần áp dụng biện pháp kiểm soát chúng bằng phương pháp vật lý, hóa học, sinh học hoặc các công nghệ mới (phương pháp phân tử, chương trình giám sát HAB thống kê) để kiểm soát toàn diện HAB và phát triển bền vững nghề NTTS trong tương lai nhằm cung cấp nguồn thực phẩm an toàn cho con người.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo tổng quan này được trích một phần thông tin từ báo cáo kết quả thực hiện đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ “Khảo sát thành phần loài tảo độc và khả năng gây hại trên các đối tượng thủy sản nước ngọt và lợ - mặn”, mã số đề tài: B2023-TCT-12.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Adnan Q. (1992). Red tide due to *Trichodesmium erythraeum* EHRENBERG. Paper presented at (Penang Meeting, November 1992).
- Adolf J.E., Bachvaroff T.R., Deeds J.R. & Place A.R. (2015). Ichthyotoxic *Karlodinium veneficum* (Ballantine) J Larsen in the Upper Swan River Estuary (Western Australia): Ecological conditions leading to a fish kill. *Harmful Algae*. 48: 83-93.
- Alonso-Rodríguez R. & Páez-Osuna F. (2003). Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture*. 219: 317-336.
- Anderson D.M. (2012). HABs in a changing world: a perspective on harmful algal blooms, their impacts, and research and management in a dynamic era of climatic and environmental change. *Harmful Algae*. 2014: 3-17.
- Anderson D.M., Burkholder J.M., Cochlan W.P., Glibert P.M., Gobler C.J., Heil C.A., Kudela R.M., Parsons M.L., Jack Rensel J.E., Townsend D.W., Trainer V.L. & Vargo G.A. (2008). Harmful algal blooms and eutrophication: examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful Algae*. 8: 39-53.
- Anderson D.M., Cembella A.D. & Hallegraeff G.M. (2012). Progress in understanding harmful algal blooms: paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Annual review of marine science*. 4: 143-176.
- Banno K., Oda T., Nagai K., Nagai S., Tanaka Y. & Basti L. (2018). Deleterious Effects of Harmful Dinoflagellates and Raphidophytes on Egg Viability and Spermatozoa Swimming Velocity in the Japanese Pearl Oyster *Pinctada fucata martensii*. *Journal of Shellfish Research*. 37(1): 41-48.
- Basti L., Hégaret H. & Shumway S.E. (2018). Harmful Algal Blooms and Shellfish. In Shumway S.E., Burkholder J.M. & Morton S.L., eds. *Harmful Algal Blooms a Compendium Desk Reference*. pp. 135-190.
- Berdalet E., Banas N., Bresnan E., Burford M., Davidson K., Gobler C., Karlson B., Kudela R.,

- Lim P. T., Montresor M., Trainer V., Usup G., Yin K., Enevoldsen H. & Urban E. (2017). Global Harmful Algal Blooms Science and Implementation Plan. Delaware and Paris: SCOR and IOC.
- Berdalet E., Fleming L.E., Gowen R., Davidson K., Hess P., Backer L.C., Moore S.K., Hoagland P. & Enevoldsen H. (2016). Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 96(1): 61-91.
- Brown A.R., Lilley M., Shutler J., Lowe C., Artioli Y., Torres R., Bardalet E. & Tyler C. R. (2019). Assessing risks and mitigating impacts of harmful algal blooms on mariculture and marine fisheries. *Reviews in Aquaculture*. pp. 1-26.
- Burkholder J.M. (1998). Implications of Harmful Microalgae and Heterotrophic Dinoflagellates in Management of Sustainable Marine Fisheries. *Ecological Applications*. 8(1):S37-S62.
- Cabello F.C. & Godfrey H.P. (2016). Harmful algal blooms (HABs), marine ecosystems and human health in the Chilean Patagonia. *Revista Chilena de Infectología*. 33(5): 561-562.
- Castrec J., Fabioux C., Le Goïc N., Boulais M., Soudant P. & Hégaret H. (2021). The toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* affects oyster gamete health and fertilization potential. *Marine Environmental Research*. 169: 105401.
- Chia A.M., Oniye S.J., Ladan Z., Lado Z., Pila A. E., Inekwe V.U. & Mmerole J.U. (2020). A survey for the presence of microcystins in aquaculture ponds in Zaria, Northern-Nigeria: Possible public health implication. *Advances in Aquaculture and Fisheries Management*. 8(9): 1-8.
- Clément A., Lincoqueo L., Saldivia M., Brito C. G., Muñoz F., Fernández C., Pérez F., Maluje C.P., Correa N., Moncada V. & Contreras G. (2016). Exceptional Summer Condition and HABs of *Pseudochattonella* in Southern Chile Create Record Impacts on Salmon Farms. *Harmful Algae News*. 53: 1-3.
- Costa P.R. (2016). Impact and effects of paralytic shellfish poisoning toxins derived from harmful algal blooms to marine fish. *Fish and Fisheries*. 17(1): 226-248.
- Dorantes-Aranda J.J., Seger A., Mardones J.I., Nichols P.D. & Hallegraeff G.M. (2015). Progress in Understanding Algal Bloom-Mediated Fish Kills: The Role of Superoxide Radicals, Phycotoxins and Fatty Acids. *Plos One*. 10(7): e0133549.
- Flewelling L.J., Naar J.P., Abbott J.P., Baden D.G., Barros N.B., Bossart G.D., Bottein M.-Y.D., Hammond D.G., Haubold E.M., Heil C.A., Henry M.S., Jacocks H.M., Leighfield T.A., Pierce R.H., Pitchford T.D., Rommel P.S.S., Steidinger K.A., Truby E.W., Van Dolah F.M. & Landsberg J.H. (2005). Brevetoxicosis: Red tides and marine mammal mortalities. *Nature*. 435: 755-756.
- García-Lagunas N., de Jesús Romero-Geraldo R. & Hernández-Saavedra N.Y. (2015). Changes in gene expression and histological injuries as a result of exposure of *Crassostrea gigas* to the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *Journal of Molluscan Studies*. 82(1): 193-200.
- García-Lagunas N., Romero-Geraldo R. & Hernández-Saavedra N.Y. (2013). Genomics Study of the Exposure Effect of *Gymnodinium catenatum*, a Paralyzing Toxin Producer, on *Crassostrea gigas*' Defense System and Detoxification Genes. *PLoS ONE*. 8(9): e72323.
- Hallegraeff G.M., Anderson D.M. & Cembella A.D. (2003). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. France: UNESCO.
- Hallegraeff G.M., Schweibold L., Jaffrezic E., Rhodes L., MacKenzie L., Hay B. & Farrell H. (2021). Overview of Australian and New Zealand harmful algal species occurrences and their societal impacts in the period 1985 to 2018, including a compilation of historic records. *Harmful Algae*. 102: 101848.
- Hégaret H., Wikfors G.H. & Shumway S.E. (2007). Diverse feeding responses of five species of bivalve mollusc when exposed to three species of harmful algae. *Journal of Shellfish Research*. 26(2): 549-559.
- Heisler J., Glibert P.M., Burkholder J.M., Anderson D.M., Cochlan W., Dennison W.C., Dortch Q., Gobler C.J., Heil C.A., Humphries E., Lewitus A., Magnien R., Marshall H.G., Sellner K., Stockwell D.A., Stoecker D.K. & Suddleson M. (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*. 8(1): 3-13.
- Jiasheng X., Mingyuan Z. & Binchang L. (1993). The formation and environmental characteristics of the largest red tide in North China. In: Smayda, T.J., & Shimizu, Y. (Eds.). *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. Elsevier, New York. pp. 359-362.
- Keawtawee T., Fukami K., Songsangjinda P. & Muangyao P. (2012). Nutrient, phytoplankton and harmful algal blooms in the shrimp culture ponds in Thailand. *Kuroshio Science*. 5(2): 129-136.
- Keppler C.J., Hoguet J., Smith K., Ringwood A.H. & Lewitus A.J. (2005). Sublethal effects of the toxic alga *Heterosigma akashiwo* on the southeastern oyster (*Crassostrea virginica*). *Harmful Algae*. 4(2): 275-285.
- Landsberg J.H. (2002). The Effects of Harmful Algal Blooms on Aquatic Organisms. *Reviews in Fisheries Science*. 10(2): 113-390.

- Li S.-C., Wang W.-X. & Hsieh D.P.H. (2002). Effects of toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* on the energy budgets and growth of two marine bivalves. *Marine Environmental Research*. 53(2): 145-160.
- Linares J.P., Ochoa J.L. & Martínez A.G. (2009). Retention and tissue damage of PSP and NSP toxins in shrimp: Is cultured shrimp a potential vector of toxins to human population?. *Toxicon*. 53(2): 185-195.
- Mafra L.L., Bricelj V.M., Ouellette C. & Bates S.S. (2010). Feeding mechanics as the basis for differential uptake of the neurotoxin domoic acid by oysters, *Crassostrea virginica*, and mussels, *Mytilus edulis*. *Aquatic Toxicology*. 97(2): 160-171.
- Mann D. (2017). Characterising and managing harmful algal blooms that cause production loss on Australian prawn farms. Department of Agriculture and Fisheries Queensland, Brisbane.
- Mathew T., Prakash S., Baliarsingh S.K., Samanta A., Lakshmi R.S., Lotliker A., Chatterjee A. & Nair T.M.B. (2021). Response of phytoplankton biomass to nutrient stoichiometry in coastal water of the western Bay Bengal. *Ecological Indicators*. 131: 108-119.
- Matsuyama Y. (1999). Harmful Effect of Dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* on Shellfish Aquaculture in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 33: 283-293.
- Matsuyama Y., Usuki H., Uchida T. & Kotani Y. (2001). Effects of harmful algae on the early planktonic larvae of the oyster, *Crassostrea gigas*. In: Hallegraeff, G. M., Blackburn, S. I., Bolch, C. J., Lewis, R. J., (Eds). *Harmful Algal Blooms 2000*. UNESCO: Paris, France.
- Muawanah H.T. & Widiatmoko W. (2013). Natural phenomenon: red tide *Cochlodinium* in Hurun Cove, Lampung Bay. *Annual Report of BBPBL*.
- Muawanah H.T. (2012). Types of algae (Harmful Algal Bloom) in Lampung Bay Interim Report. Lampung: Center for Marine Cultivation Development (BBPBL).
- Okaichi T. (1989). Red tide problems in the Seto Inland Sea, Japan. In: Okaichi T., Anderson D. M., Nemoto T. (eds). *Red Tides, Biology, Environmental Science and Toxicology*. Elsevier, New York, NY. pp. 137-142.
- Paerl H.W., Hall N.S., Peierls B.L. & Rossignol K.L. (2014). Evolving paradigms and challenges in estuarine and coastal eutrophication dynamics in a culturally and climatically stressed world. *Estuaries and Coasts*. 37(2): 243-258.
- Phạm Thanh Lưu, Trần Thành Thái, Nguyễn Thị Mỹ Yến & Ngô Xuân Quảng (2017). Đa dạng thực vật phù du trong ao nuôi tôm sinh thái tỉnh Cà Mau. Hội nghị khoa học toàn quốc về sinh thái và tài nguyên sinh vật lần thứ 7 (Ngày 20/10/2017). Viện hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam. tr. 793-800.
- Pickett M.L. (2018). Toxic 'red tide' algae bloom is killing Florida wildlife and menacing tourism. *Guardian newspaper* Tue 14 Aug 2018. URL (accessed 14 January 2019): Retrieved from <https://www.theguardian.com/us-news/2018/aug/13/florida-gulf-coast-redtide-toxic-algae-bloom-killing-florida-wildlife> on Sep 20, 2024.
- Pitcher G.C., Jiménez A.B., Kudela R.M. & Reguera B. (2017). Harmful algal blooms in eastern boundary upwelling systems: a GEOHAB Core Research Project. *Oceanography*. 30(1): 22-35.
- Qian H., Zhang M., Liu G., Lu T., Sun L. & Pan X. (2019). Effects of different concentrations of *Microcystis aeruginosa* on the intestinal microbiota and immunity of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*. 214: 579-586.
- Raine R., O'Boyle S., O'Higgins T., White M., Patching J., Cahill B. & McMahon T. (2001). A satellite and field portrait of a *Karenia mikimotoi* bloom off the south coast of Ireland, August 1998. *Hydrobiologia*. 465(1): 187-193.
- Rensel J.E. (1993). Severe blood hypoxia of Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to the marine diatom *Chaetoceros concavicornis*. In: Smayda T. & Shimizu Y. (Eds.). *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. Elsevier, New York.
- Rinta-Kanto J.M., Ouellette A.J.A., Boyer G.L., Twiss M.R., Bridgeman T.B. & Wilhelm S.W. (2005). Quantification of toxic *Microcystis* spp. during the 2003 and 2004 blooms in western Lake Erie using quantitative real-time PCR. *Environmental science & technology*. 39(11): 4198-4205.
- Robineau B., Gagn J.A., Fortier L. & Cembella A.D. (1991). Potential impact of a toxic dinoflagellate (*Alexandrium excavatum*) bloom on survival of fish and crustacean larvae. *Marine Biology*. 108(2): 293-301.
- Schrader K.K. & Blevins W.T. (1993). Geosmin-producing species of *Streptomyces* and *Lyngbya* from aquaculture ponds. *Canadian Journal of Microbiology*. 39(9): 834-840.
- Shi F., McNabb P., Rhodes L., Holland P., Webb S., Adamson J., Immers A., Gooneratne, R. & Holland J. (2012). The toxic effects of three dinoflagellate species from the genus *Karenia* on invertebrate larvae and finfish. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 46(2): 149-165.
- Shilo M. (1981). The toxic principles of *Prymnesium parvum*. In *The Water Environment, Algal Toxins and Health*; Carmichael W.W., Ed. Plenum Press: London, UK.

- Shumway S.E., Burkholder J.M. & Springer J. (2006). Effects of the estuarine dinoflagellate *Pfiesteria shumwayae* (Dinophyceae) on survival and grazing activity of several shellfish species. *Harmful Algae*. 5(4): 442-458.
- Sidabutar T. (2016). Mass Mortality of Fish in Lampung Bay, Indonesia. *Omni Akuatika*. 12(1): 31-40.
- Silke J., O'Beirn F. & Cronin M. (2005). *Karenia mikimotoi*: An Exceptional Dinoflagellate Bloom in Western Irish Waters, Summer 2005. *Marine Environment and Health Series*. 21: 48.
- Steidinger K.A. & Baden D. (1984). Toxic marine dinoflagellates. In: Spector, D. (Eds.). *Dinoflagellates*. Academic Press, Orlando. pp. 201-249.
- Stirling H.P. & Day T. (1990). Impact of intensive cage fish farming on the plankton and periphyton of a Scottish freshwater loch. *Hydrobiologia*. 190: 193-214.
- Svendsen M., Andersen N., Hansen P. & Steffensen J. (2018). Effects of Harmful Algal Blooms on Fish: Insights from *Prymnesium parvum*. *Fishes*. 3(1): 11.
- Tencalla F. & Dietrich D. (1997). Biochemical characterization of microcystin toxicity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Toxicon*. 35(4): 583-595.
- Thessen A.E., Soniat T.M., Dortch Q. & Doucette G.J. (2010). *Crassostrea virginica* grazing on toxic and non-toxic diatoms. *Toxicon*. 55(2-3): 570-579.
- Weirich C.A. & Miller T.R. (2014). Freshwater harmful algal blooms: Toxins and children's health. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*. 44(1): 2-24.
- Zhao M., Xie S., Zhu X., Yang Y., Gan N. & Song L. (2006). Effect of dietary cyanobacteria on growth and accumulation of microcystins in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 261(3): 960-966.
- Zurawell R.W., Chen H., Burke J.M. & Prepas E.E. (2005). Hepatotoxic Cyanobacteria: A Review of the Biological Importance of Microcystins in Freshwater Environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 8(1): 1-37.