

PHÂN TÍCH TƯƠNG QUAN GIỮA HÀM LƯỢNG Pb, Cd TRONG CƠ THỊT VỚI HOẠT TÍNH ENZYME CAT, GST TRONG GAN CỦA CÁ CHÉP (*CYPRINUS CARPIO*) VÀ CÁ TRÔI (*LABEO ROHITA*)

THE RELATIONSHIPS BETWEEN Pb, Cd CONCENTRATION IN FLESH AND THE CAT, GST ENZYMES ACTIVITIES IN LIVER OF COMMON CARP (*CYPRINUS CARPIO*) AND MAJOR CARP (*LABEO ROHITA*)

Lê Thu Hà^{1*}, Bùi Thị Hoa¹

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

*Tác giả liên hệ: lethuha17@yahoo.com

(Nhận bài: 17/12/2020; Chấp nhận đăng: 01/3/2021)

Tóm tắt - Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu tìm hiểu mối tương quan tuyến tính giữa hàm lượng Pb, Cd trong cơ thịt với hoạt tính enzyme CAT, GST trong gan của cá trôi và cá chép với thời gian phơi nhiễm từ 0 đến 60 ngày. Kết quả cho thấy, khi phơi nhiễm Pb, hàm lượng Pb trong cơ thịt cá tăng theo thời gian phơi nhiễm ở các bể thí nghiệm và không tăng ở bể đối chứng; Hoạt tính enzym CAT và GST trong gan cá chỉ tăng sau 45 đến 60 ngày phơi nhiễm. Khi phơi nhiễm Cd, hàm lượng Cd trong cơ thịt cá tăng mạnh ở các bể thí nghiệm; Sau 45 ngày phơi nhiễm ở bể với nồng độ Cd 0,05 mg/l cá trôi bị chết hết. Kết quả phân tích tương quan tuyến tính cho thấy, xác định được tương quan trung bình và có ý nghĩa thống kê ($P < 0,01$) giữa hoạt tính CAT với hàm lượng Pb trong cơ thịt cá trôi; tương quan thấp và có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$) giữa hoạt tính GST với hàm lượng Cd trong cơ thịt ở cả 2 loài cá.

Từ khóa - Tương quan tuyến tính; Pb; Cd; CAT; GST

1. Đặt vấn đề

Kim loại nặng được coi là những chất “ô nhiễm bảo toàn” bởi vì chúng không bị phân hủy hoặc bị phân hủy sau một thời gian rất dài được đưa vào nước. Các chất này được tích lũy trong cơ thể sinh vật và một số có thể được khuếch đại sinh học qua các chuỗi thức ăn. Kết quả khảo sát hàm lượng kim loại nặng trong nước của một số thủy vực nuôi cá trong địa bàn thành phố Hà Nội của một số tác giả cho thấy, hàm lượng kim loại nặng trong nước và trầm tích vượt quá QCVN 08-MT:2015/BTNMT [1, 2], đây sẽ là nguyên nhân gây tích tụ kim loại nặng trong thịt cá nuôi tại các thủy vực này.

Vai trò của kim loại đối với cơ thể sinh vật được chia làm 2 loại: Cần cho hoạt động sống của sinh vật được gọi là nguyên tố sinh học và không cần cho hoạt động sống của sinh vật. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, kim loại không là nguyên tố sinh học hay là nguyên tố sinh học đều gây ảnh hưởng đến các quá trình sinh lý, quá trình sinh hóa, sinh sản, sinh trưởng và khả năng sống sót của các loài cá [3].

Khi môi trường xuất hiện các chất gây độc thì trạng thái sinh lý của cá và hoạt động của enzyme trong các mô sẽ bị tác động. Tác động của các chất độc có thể gây ra biến dạng trong bào quan tế bào, hoặc làm thay đổi hoạt động của các enzyme khác nhau. Hoạt tính của các loại enzyme trong

Abstract - The study aimed at investigating the linear correlation between the levels of Pb, Cd in flesh with the CAT, GST enzymes activities in liver of common carp and major carp with exposure time from 0 to 60 days. The results have shown that when exposed to Pb, the levels of Pb in flesh in the experimental tanks increased with increasing exposure time and in flesh of the control tank did not change; the activity of CAT and GST enzymes tended to increase after 45 to 60 days of exposure. When exposed to Cd, the levels of Cd in flesh in the experimental tanks increased strongly; All the major carp fish exposed to 0.05 mg/l Cd died after 45 days. The results of the linear correlation analysis showed that: The determined average had statistically significant correlation ($P < 0.01$) between CAT activity and Pb concentration in flesh of major carp; The correlation was low and statistically significant ($P < 0.05$) between GST activity and Cd concentration in both studied fish species.

Key words - Linear correlation; Pb; Cd; CAT; GST

gan cá được đã được nhiều tác giả khuyến cáo sử dụng để làm chỉ thị cho ô nhiễm tốt hơn các cơ quan khác [4, 5].

Nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu, tìm hiểu mối tương quan tuyến tính giữa hàm lượng Pb (chì), Cd (cadimi) trong cơ thịt với hoạt tính enzyme CAT (Catalase), GST (Glutathion s-transferase) trong gan cá, từ đó xây dựng cơ sở dữ liệu cho việc sử dụng các enzyme này là dấu hiệu sinh học trong việc đánh giá ô nhiễm kim loại nặng ở các cơ sở nuôi trồng thủy hải sản.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Cá thí nghiệm được nhập từ Viện Nghiên cứu Thủy sản 1, Tỉnh Bắc Ninh. Cá thí nghiệm có độ tuổi từ 60 ngày tuổi, trong đó cá chép có trọng lượng khoảng $9,56 \pm 0,48$ g và cá trôi có trọng lượng khoảng $4,65 \pm 0,42$ g.

2.2. Thiết kế thí nghiệm

Sau khi đưa cá về phòng thí nghiệm, cá được nuôi phục hồi sức khỏe trong 10 ngày trong môi trường nước sạch. Mật độ cá là 45 con/ 100 lít. Cá được cho ăn thức ăn công nghiệp 1 ngày 2 lần, thay nước 2 ngày 1 lần. Sau đó, cá sẽ được chuyển sang các bể thí nghiệm có các nồng độ chì (Pb) và Cadimi (Cd) như trong Bảng 1.

Thí nghiệm được thực hiện cho từng loài cá với từng

¹ VNU University of Science (Le Thu Ha, Bui Thi Hoa)

loại kim loại nghiên cứu. Các bể thí nghiệm được để ở nhiệt độ phòng 25 – 30°C.

Thời gian thu mẫu cá là 0 ngày, 15 ngày, 30 ngày, 45 ngày và 60 ngày sau phơi nhiễm. Mỗi bể thí nghiệm sẽ thu 5 con cá, mỗi con cá là 1 mẫu riêng biệt trong phân tích hàm lượng kim loại và phân tích enzyme. Nước máy được dùng để làm môi trường nuôi cá. Pb và Cd trong các bể thí nghiệm có nguồn gốc từ muối $Pb(NO_3)_2$ và $Cd(NO_3)_2$.

Bảng 1. Nồng độ kim loại trong môi trường nước tại các bể thí nghiệm

Bể	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)
Bể đối chứng	0 ± 0,001	0 ± 0,001
Bể thí nghiệm 1 (TN1)	0,02*	0,005*
Bể thí nghiệm 2 (TN2)	0,05	0,01
Bể thí nghiệm 3 (TN3)	0,20	0,05

Ghi chú: * QCVN 08-MT:2015/BTNMT hạng A1 (bảo tồn động thực vật thủy sinh) [6]

2.3. Phương pháp phân tích kim loại nặng

Mẫu cơ thịt cá được chuẩn bị để phân tích hàm lượng kim loại nặng được thực hiện dựa trên phương pháp của Ngo H.T.T. và cộng sự [7].

Trình tự các bước tiến hành như sau: Nhỏ 2 ml HNO_3 65% và 0,5 ml HCl 30% vào mỗi mẫu mô cơ. Để mẫu ở nhiệt độ phòng trong khoảng thời gian 24h (trong tủ hút khí độc), sau đó cho thêm 200 μ l H_2O_2 30% vào mẫu và tiếp tục để ở nhiệt độ phòng 5h trước khi phá mẫu. Mẫu được vô cơ hóa với nhiệt độ 40°C trong vòng 1h và sau đó tăng lên 120°C trong vòng 3h tới khi mẫu được vô cơ hóa hoàn toàn (mẫu trong, không có bọt khí). Mẫu đã vô cơ hóa được pha loãng với nước cất đến 20 ml và lọc bằng màng xen-lu-lô 0,45 μ m.

Hàm lượng kim loại nặng được đo bằng máy ICP-MS (Inductively-coupled plasma mass spectrometry ELAN® 9000; Perkin-Elmer SCIEX, Waltham, MA, USA) tại Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.4. Phương pháp phân tích hoạt tính enzyme

Mẫu gan để phân tích enzyme là mẫu tươi, mẫu gan thu ngay sau khi mổ cá được cho vào ống eppendorf đã được bảo quản ở -80°C. Mẫu gan được làm đồng nhất trong 500 μ l dung dịch đệm Phosphate Buffered Saline PBS, sau đó ly tâm trong 15 phút ở 4°C với tốc độ 9700 rpm. Thu dịch nổi cho vào ống eppendorf mới và bảo quản trên đá cho tới khi xác định hoạt tính enzyme.

Hoạt tính CAT được xác định theo phương pháp của Beers và cộng sự [8]. Dịch nổi thu được sau ly tâm được theo dõi sự phân hủy của H_2O_2 qua thay đổi độ hấp thụ quang tại bước sóng 240 nm tại nhiệt độ 25°C và pH 7,0 và đường dẫn ánh sáng bằng 1 cm. Phản ứng được bắt đầu bằng cách trộn 0,5 ml dung dịch H_2O_2 20 mM với 20 μ l hỗn hợp mẫu và 480 μ l dung dịch đệm. Độ hấp thụ được đo trong 30 giây ở 240 nm sử dụng máy đo quang phổ Thermo Scientetific™ Biomate.

Hoạt tính GST được xác định bằng máy quang phổ Thermo Scientetific™ Biomate theo Habig và cộng sự (1974) [9]: Sử dụng 1- chloro-2,4-dinitrobenzene (CDNB)

làm cơ chất. Trộn 0,98 μ l dung dịch đệm phản ứng với 0,02 μ l dịch nổi thu được sau ly tâm, lắc nhẹ và đưa vào máy quang phổ Thermo Scientetific™ Biomate đo tại bước sóng 340 nm, mỗi mẫu sẽ đo trong 8 phút. Mẫu blank (gồm 1 ml dung dịch đệm phản ứng) được đo song song với mỗi mẫu. Hoạt tính GST được tính toán bằng cách sử dụng hệ số tuyệt đối 9,6 mM-1cm-1 và được biểu thị dưới dạng μ mol của protein liên hợp GSH-CDNB được hình thành/phút/mg.

2.5. Phân tích số liệu

Số liệu thể hiện trong các bảng phân kết quả là giá trị trung bình với $n = 5$. Phương pháp phân tích phương sai ANOVA được sử dụng để đánh giá nghĩa thống kê của sự sai khác giữa các hàm lượng kim loại nặng trong thịt cá, hoạt tính GST và CAT trong gan cá khi so sánh số liệu thực tế giữa bể đối chứng với các bể thí nghiệm và giữa các bể thí nghiệm với nhau.

Với mục tiêu tìm tương quan tuyến tính nên phân tích phương sai ANOVA đã được sử dụng để đánh giá mối tương quan giữa hàm lượng kim loại nặng trong cơ thịt cá và hoạt tính enzyme trong gan cá bằng phần mềm Excel 2010.

Trong đó, hàm lượng kim loại trong cơ thịt cá là biến độc lập (X) và hoạt tính enzyme trong gan là biến phụ thuộc (Y). Dựa vào hệ số xác định R^2 để xác định sự thể hiện tương quan giữa 2 biến X và Y theo bảng dưới đây. Tương quan chỉ có ý nghĩa thống kê khi $P < 0,05$.

Bảng 2. Ý nghĩa giá trị R^2 trong phân tích tương quan tuyến tính

Giá trị tuyệt đối của hệ số xác định	Sự thể hiện
0,9 – 1,0	Tương quan rất cao
0,7 – 0,89	Tương quan cao
0,4 – 0,69	Tương quan trung bình
0,2 – 0,39	Tương quan thấp
0,0 – 0,19	Tương quan rất thấp

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Biến động hàm lượng Pb và hoạt tính enzyme

Kết quả phân tích hàm lượng Pb trong cơ thịt và hoạt tính enzyme trong gan cá được thể hiện trong Bảng 3.

Kết quả cho thấy, tại bể đối chứng hàm lượng Pb trong cơ thịt cá không tăng ($p > 0,05$). Trong khi đó, hàm lượng Pb trong cơ thịt cá sống trong các bể thí nghiệm đều có xu hướng tăng theo thời gian phơi nhiễm ở cả 2 loài cá nghiên cứu ($p < 0,05$).

Số liệu Bảng 3 cho thấy, hoạt tính CAT trong gan cá dưới ảnh hưởng của Pb sau 15 và 30 ngày phơi nhiễm ở cả 2 loài cá nghiên cứu đều thấp hơn ngày 0. Hoạt tính CAT chỉ tăng sau 45 ngày phơi nhiễm ($p < 0,05$). Hoạt tính GST dưới tác động của Pb của 2 loài cá là khác nhau. Cụ thể như sau, đối với cá chép chỉ có giá trị GST tại thời điểm 30 ngày phơi nhiễm của bể có nồng độ 0,20 mg/l mới có sự sai khác có ý nghĩa giữa bể đối chứng với các bể thí nghiệm còn lại. Trong khi đó, ở cá trôi hoạt tính GST trong gan cá cũng chỉ tăng mạnh sau 60 ngày phơi nhiễm của bể có nồng độ 0,20 mg/l ($p < 0,001$).

Bảng 3. Hàm lượng Pb (mg/kg) và hoạt tính enzyme CAT (unit/mg/phút) và GST (µg/mg/phút) (giá trị trung bình)

Loài	Bể TN	Thông số	Thời gian phơi nhiễm (ngày)				
			0	15	30	45	60
Cá trôi	Đối chứng	Pb	2,76	2,07	3,25	5,39	5,96
		CAT	32,67	7,46	13,15	36,51	48,66
		GST	0,067	0,039	0,068	0,081	0,029
	TN 1	Pb	2,76	2,94	3,13	6,37	6,68
		CAT	38,77	13,46	9,81	63,06	82,14
		GST	0,067	0,061	0,095	0,069	0,047
	TN 2	Pb	2,76	3,88	5,01	7,04	8,18
		CAT	38,77	5,07	11,66	73,97	93,23
		GST	0,067	0,040	0,062	0,035	0,071
	TN 3	Pb	2,76	3,85	3,49	6,49	8,73
		CAT	38,77	5,50	15,17	68,42	95,66
		GST	0,067	0,090	0,050	0,029	0,100
Cá chép	Đối chứng	Pb	2,61	14,77	4,93	5,23	2,82
		CAT	33,33	12,46	9,55	119,40	86,49
		GST	0,048	0,049	0,064	0,049	0,039
	TN 1	Pb	2,61	4,77	7,13	10,03	12,82
		CAT	33,33	11,48	11,12	94,34	81,99
		GST	0,048	0,059	0,104	0,072	0,060
	TN 2	Pb	2,61	6,27	10,96	13,56	14,92
		CAT	33,33	8,76	11,18	93,89	103,76
		GST	0,048	0,071	0,084	0,020	0,032
	TN 3	Pb	2,61	6,65	11,38	13,47	16,30
		CAT	33,33	7,98	41,84	91,15	120,70
		GST	0,048	0,060	0,185	0,037	0,079

3.2. Biến động hàm lượng Cd và hoạt tính enzyme

Bảng 4. Hàm lượng Cd mg/l) và hoạt tính enzyme CAT (unit/mg/phút) và GST (µg/mg/phút) (giá trị trung bình)

Loài	Bể TN	Thông số	Thời gian phơi nhiễm (ngày)				
			0	15	30	45	60
Cá trôi	Đối chứng	Cd	0,075	0,378	0,385	0,394	0,366
		CAT	24,41	34,61	14,79	99,79	20,48
		GST	0,072	0,074	0,066	0,094	0,083
	TN 1	Cd	0,075	0,143	0,432	0,580	0,969
		CAT	24,41	41,97	15,41	84,16	27,23
		GST	0,072	0,154	0,141	0,124	0,140
	TN 2	Cd	0,075	0,070	0,395	0,681	0,761
		CAT	24,41	21,62	23,35	102,46	24,21
		GST	0,072	0,160	0,097	0,147	0,182
	TN 3	Cd	0,075	0,231	0,491	0,995	
		CAT	24,41	17,15	9,38	118,46	*
		GST	0,072	0,114	0,116	0,173	
Cá chép	Đối chứng	Cd	0,054	0,149	0,104	0,243	0,355
		CAT	15,84	29,13	25,17	79,07	16,54
		GST	0,046	0,061	0,057	0,047	0,068
	TN 1	Cd	0,054	0,131	0,076	0,809	0,926
		CAT	15,84	26,82	15,86	70,41	15,72
		GST	0,046	0,108	0,091	0,073	0,087

TN 2	Cd	0,054	0,067	0,378	0,739	0,653
	CAT	15,84	21,08	23,37	81,03	17,50
	GST	0,046	0,117	0,082	0,141	0,121
TN 3	Cd	0,054	0,067	0,337	0,666	0,814
	CAT	15,84	17,53	22,57	88,91	19,33
	GST	0,046	0,119	0,06	0,102	0,124

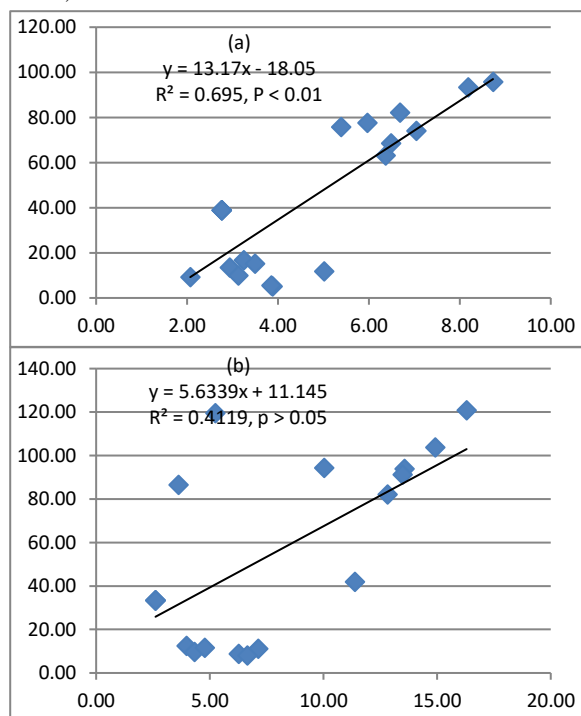
Ghi chú: * cá chết hết

Kết quả phân tích hàm lượng Cd trong cơ thịt cá sau 60 ngày phơi nhiễm được thể hiện trong Bảng 4. Hàm lượng Cd trong cơ thịt của cả 2 loài cá nghiên cứu ở bể đối chứng có tăng, tuy nhiên sự sai khác này không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Trong khi đó, hàm lượng Cd trong cơ thịt cá ở các bể thí nghiệm tăng lên nhiều và có sự sai khác thống kê lớn khi so với bể đối chứng ($p < 0,01$). Đến 60 ngày phơi nhiễm thì chỉ có cá trôi ở bể có nồng độ 0,05 mg/l bị chết hết nguyên nhân có thể do lượng Cd tích tụ trong cá ở bể này đã đủ lớn để gây chết cá, trong khi đó chép vẫn sống bình thường. Như vậy, có thể cho thấy, cá trôi nhạy cảm với Cd hơn cá chép.

Kết quả phân tích hoạt tính CAT, GST trong gan cá dưới tác động của Cd được thể hiện trong Bảng 3 cho thấy: hoạt tính CAT ở cả 2 loài đều có xu hướng tăng dần sau 15 đến 45 ngày phơi nhiễm, và đến 60 ngày phơi nhiễm thì hoạt tính CAT lại giảm. Hoạt tính GST có xu thế tăng dần theo thời gian phơi nhiễm và sai khác có ý nghĩa khi so với bể đối chứng sau 45 ngày phơi nhiễm ($p < 0,05$ và $p < 0,001$).

3.3. Phân tích tương quan giữa hàm lượng kim loại và hoạt tính enzyme

Dựa vào số liệu trung bình hàm lượng kim loại trong cơ thịt và hoạt tính enzym trong gan cá của cùng loài, mức độ tương quan được xác định và thể hiện trong Hình 1, Hình 2, Hình 3 và Hình 4.

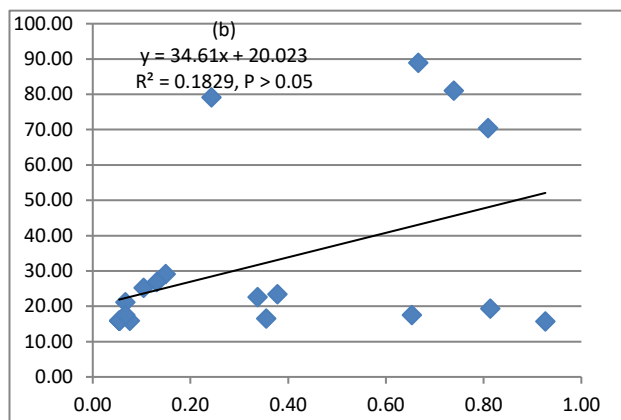
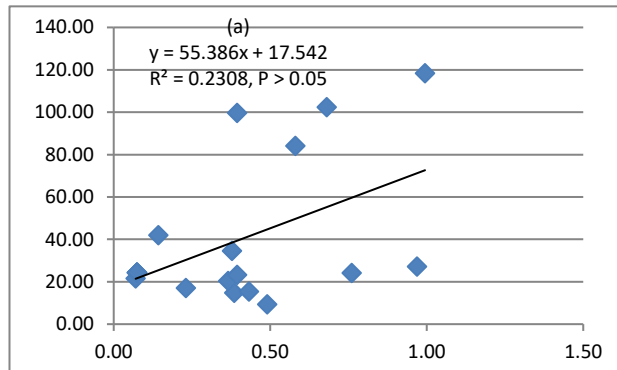


Hình 1. Tương quan giữa hoạt tính enzyme CAT và hàm lượng Pb (a. cá trôi; b. cá chép)

CAT là một enzyme thường được tìm thấy trong hầu hết các sinh vật như: Động vật, thực vật và vi sinh vật hiếu khí. CAT có trong mọi tế bào, đặc biệt trong gan và hồng cầu. CAT là một enzyme có chức năng giải độc cho cơ thể khỏi sự tích tụ hydrogen peroxide (H_2O_2) [10].

Kết quả phân tích tương quan giữa CAT và hàm lượng Pb thể hiện ở Hình 1 cho thấy, hoạt tính CAT có tương quan trung bình và có ý nghĩa thống kê ($P < 0,01$) với hàm lượng Pb trong mô cơ cá trôi, trong khi đó ở cá chép thì mối tương quan này thấp và không có ý nghĩa thống kê ($P > 0,05$).

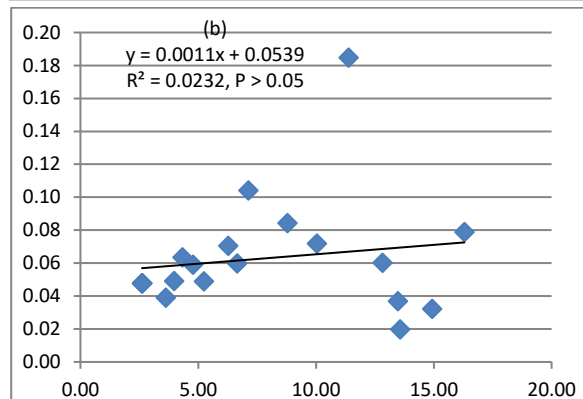
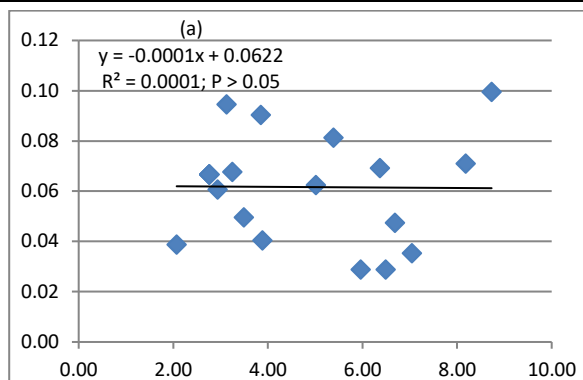
Số liệu Hình 2 cho thấy, hoạt tính CAT và hàm lượng Cd ở cả 2 loài cá đều có tương quan thấp và không có ý nghĩa thống kê ($P > 0,05$). Như vậy, CAT chỉ đáp ứng với Pb trong mô cơ của cá trôi. So sánh với kết quả nghiên cứu tương tự của Bùi Thị Hoa và cộng sự cho thấy, CAT tương quan cao với hàm lượng Cu ở cả cá trôi và cá chép [11].



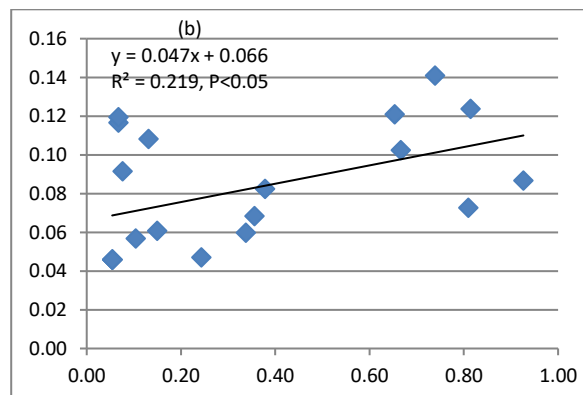
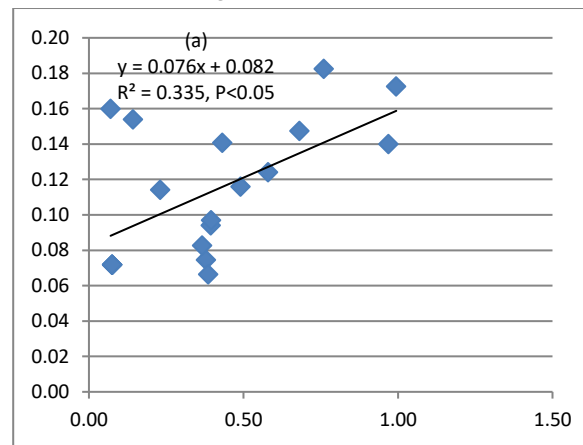
Hình 2. Tương quan giữa hoạt tính enzyme CAT và hàm lượng Cd (a. cá trôi; b. cá chép)

GST là một họ bao gồm nhiều loại enzyme giải độc được tìm thấy trong rất nhiều loài sinh vật khác nhau. Mức độ biểu hiện của GST đã được đề xuất như là một chỉ thị sinh học ở mức độ phân tử cho độ nhạy của tế bào khi cơ thể chịu tác động của các chất gây độc [12].

Số liệu Hình 3 cho thấy, tương quan giữa hoạt tính GST với hàm lượng Pb trong mô cơ ở cá trôi và cá chép đều có tương quan rất thấp và không có ý nghĩa thống kê ($P > 0,05$). Kết quả phân tích tương quan hoạt tính GST với hàm lượng cá Cd (Hình 4) ở cả 2 loài cá nghiên cứu là tương quan thấp và có ý nghĩa thống kê ($P < 0,05$). Khi so sánh với kết quả phân tích tương quan với Cu của cùng nghiên cứu thì, GST có tương quan tốt với hàm lượng Cu trong mô cơ cá ở cả 2 loài nghiên cứu [11].



Hình 3. Tương quan giữa hoạt tính enzyme GST và hàm lượng Pb (a. cá trôi; b. cá chép)



Hình 4. Tương quan giữa hoạt tính enzyme GST và hàm lượng Cd (a. cá trôi; b. cá chép)

Kết quả phân tích tương quan trên cho thấy, trong nghiên cứu này, với hàm lượng Pb trong môi trường dao

động trong khoảng 0,02 đến 0,2 mg/l và Cd trong khoảng 0,005 đến 0,05 mg/l, mặc dù sự tích tụ kim loại trong mô cơ cá tăng theo thời gian phơi nhiễm và hoạt tính enzyme CAT, GST có xu hướng tăng sau 30 ngày phơi nhiễm, nhưng phân tích thống kê thì không thấy sự tương quan tốt giữa 2 thông số này. Điều đó cho thấy, CAT và GST không đáp ứng tốt với sự tích tụ Pb, Cd trong mô cơ cá trôi và cá chép trong nghiên cứu này.

4. Kết luận

Khi phơi nhiễm với Pb và Cd thì hàm lượng Pb và Cd trong mô cơ cá tăng theo thời gian phơi nhiễm, nhưng mức độ tăng không tỷ lệ thuận với mức độ tăng nồng độ kim loại trong môi trường nước.

Hoạt tính enzym CAT và GST trong gan cá đều có xu hướng gia tăng sau khi phơi nhiễm Pb và Cd 45 ngày.

Xác định được 3 mối tương quan tuyến tính có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) đó là: Mối tương quan giữa hoạt tính CAT với hàm lượng Pb ở cá trôi coa mức tương quan trung bình; Mối tương quan giữa hoạt tính GST với hàm lượng Cd ở cá trôi có mức tương quan thấp; Và mối tương quan giữa hoạt tính GST với hàm lượng Cd ở cá chép có mức tương quan thấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ha Thu Le and Huong Thi Thuy Ngo, "Cd, Pb, and Cu in water and sediments and their bioaccumulation in freshwater fish of some lakes in Hanoi, Vietnam", *Toxicological & Environmental Chemistry*, Vol. 95, No. 8, 2014, p.1328–1337.
- [2] Ngô Thị Thúy Hương, Lê Thu Hà, Bùi Trọng Tấn, Nguyễn Trần Hưng, "Đánh giá mối liên hệ giữa các yếu tố lý hóa của môi trường nước và bùn đáy với sự tích tụ và biến động hàm lượng kim loại nặng trong bùn đáy lưu vực sông Nhuệ - Đáy", *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội*, tập 32, số 2, 2014, tr. 33-46.
- [3] Mustafa K. and Canli M., "Elimination of Essential (Cu, Zn) and Non-Essential (Cd, Pb) Metals from Tissues of a Freshwater Fish *Tilapia zilli*", *Turk Journal Zool*, Vol. 24, 1974, p. 429 - 436.
- [4] Malins D.C., Haimanot R., "The etiology of cancer: hydroxyl radical-induced DNA lesions in histologically normal livers of fish from a population with liver tumors", *Aquatic Toxicology*, Vol. 20, 1991, p.123–130.
- [5] Rajamanickam V., Muthuswamy N., "Biochemical changes of antioxidant enzymes in common carp (*Cyprinus carpio* L.) after heavy metal exposure", *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, Vol. 33, No. 4, 2009, p. 273–278.
- [6] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *QCVN 08-MT:2015/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt*, 2015.
- [7] Ngo, H.T.T., Gerstmann, S., Frank, H., "Subchronic effects of environment-like cadmium levels on the bivalve *Anodonta anatina* (Linnaeus 1758): III. Effects on carbonic anhydrase activity in relation to calcium metabolism", *Toxicological and Environmental Chemistry*, Vol. 93, No. 9, 2010, p.1815–1825.
- [8] Beers R. F., Sizer I. W., "A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase", *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 195, No. 1, 1952, p.133 – 140.
- [9] Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B., "Glutathione S-Transferases: The first enzymatic step in mercapturic acid formation", *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 249, No. 22, 1974, p. 7130 –7139.
- [10] Mani R. M., Valivittan B., Suresh K., Suresh A., "Glutathione-S-transferase and catalase activity in different tissues of marine catfish *arius arius* on exposure to cadmium", *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, Vol. 6, No. 1, 2014, p. 326–332.
- [11] Bùi Thị Hoa, Lê Thu Hà, "Sự tích tụ và ảnh hưởng của Cu lên hoạt tính enzyme Glutathione-S-transferase và enzyme catalase đối với cá chép (*Cyprinus carpio*) và cá trôi (*Labeo rohita*)", *Tạp chí Sinh học*, số 40, tập 2se, 2018, p.28-34.
- [12] Hayes, J. D. and Pulford, D. J., "The Glutathione S-Transferase Supergene Family: Regulation of GST and the Contribution of the Isoenzymes to Cancer Chemoprotection and Drug Resistance Part I", *Journal Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 30, No. 6, 1995, p.445–520.