

고수온에 따른 잉어(*Cyprinus carpio*)의 혈장 코티졸 농도 변화허준욱^{1*} · 길현우¹ · 장민호² · 김선영³ · 정현기³¹군산대학교 해양생명응용과학부 해양생명과학전공²공주대학교 생물교육학과³국립환경과학원Changes of Plasma Cortisol Concentration to High Water Temperature on Common Carp (*Cyprinus carpio*)Jun Wook Hur^{1*}, Hyun Woo Gil¹, Min Ho Jang², Sun Young Kim³, Hyun Ki Joung³¹Faculty of Marine Applied Biosciences, Aquaculture and Aquatic Science Major, Kunsan National University, Jeonbuk 54150, Korea²Department of Biology Education, Kongju National University, Kongju 32588, Korea³National Institute of Environmental Research, Incheon, 22689 Korea

Corresponding Author

Jun Wook Hur

Faculty of Marine Applied Biosciences,
Aquaculture and Aquatic Science Major,
Kunsan National University, Jeonbuk
54150, Korea

E-mail : junwhur@kunsan.ac.kr

Received : June 03, 2019

Revised : November 20, 2019

Accepted : December 04, 2019

잉어, *Cyprinus carpio*를 대상으로 고수온 스트레스 발생 시 코티졸 호르몬 변화 및 누적 사망률을 조사하였다. 수온 변화에 따른 20°C, 24°C 및 28°C 실험군의 코티졸 변화는 수온 변화 후 6시간에 코티졸 함량이 증가하다가 24시간 이후부터 감소하여 20°C 및 24°C 실험군은 실험 전의 코티졸 함량에 가까운 수치로 감소하였다. 48시간의 28°C 실험군 코티졸 함량은 실험 전의 코티졸 함량보다 높았으나 24시간의 코티졸 함량보다는 유의한 차이를 보이며 감소하였다. 반면, 32°C 실험군은 수온 변화 후 6시간부터 코티졸 함량이 증가하여 24시간에 코티졸 함량이 최대치로 증가하였으며 48시간까지 코티졸 함량이 감소하지 않고 유지되는 경향이 나타났다. 20°C, 24°C 및 28°C 실험군은 수온 변화 후 12시간까지 누적 사망률이 증가하다가 그 이후부터 사망하는 개체가 발생하지 않았으나, 32°C 실험군은 실험 종료 시(48시간)까지 지속적으로 누적 사망률이 증가하는 경향이 나타났다. 본 연구로 도출된 결과를 이용하여 호르몬 분석을 통해 특정지역의 폐사 위험 정도를 확인할 수 있는 방안으로 활용 가능할 것이다.

The changes of plasma cortisol concentration to high water temperature on common carp, *Cyprinus carpio* were studied. 20°C, 24°C and 28°C groups showed significantly increased plasma cortisol levels until 6 hours, and decreased plasma cortisol levels after 24 hours. Cortisol levels of 20°C and 24°C groups decreased to values close to the cortisol content before the experiment. However, 32°C group showed significantly increased plasma cortisol levels until 24 hours, and maintained plasma cortisol level until 48 hours. The Cumulative mortality rates of 20°C, 24°C and 28°C groups increased until 12 hours, and maintained until 48 hours. Cumulative mortality rate of 32°C group increased continuously until the end of the experiment. Using the results of this study, it could be used as a method to confirm the risk of mass perish in a specific area through hormone analysis.

Keywords: Common carp(잉어), *Cyprinus carpio*, Stress response(스트레스 반응), Water temperature(수온)

서론

잉어, *Cyprinus carpio*는 우리나라 전역에 걸쳐 서식하고 있는 붕어목의 온대성 어류로 자양 및 약용 효과로 인해 회복기의 환

자, 임산부 및 어린이들에게 좋다고 알려져 있다(Lee et al., 1989). 겨울철 수온이 낮을 때는 다른 냉혈동물과 마찬가지로 동면을 하고 섭식활동을 하지 않으며, 봄이 되어 수온이 15°C 전후로 올라가면 활발하게 활동하며, 25~28°C 전후가 최적의 수온으로 알려

Table 1. Total length, standard length and body weight of common carp, *Cyprinus carpio* in this experiment

Water temperature (number of sample)	Total length (mm)	Standard length (mm)	Body weight (g)
20°C (n=150)	150.0±14.98	123.5±13.73	55.7±16.74
24°C (n=150)	150.8±15.49	124.1±14.01	58.2±16.88
28°C (n=150)	150.6±15.37	125.1±14.42	59.7±17.12
32°C (n=150)	151.1±14.59	124.8±13.91	58.6±17.56

Values are means ± SD of each experimental groups

저 있다(Kim, 1974). 반면에 여름철 수온의 급격한 증가로 인한 폐사 사례도 빈번하게 보고되고 있다(Byun et al., 2011). 이와 관련하여, 여름철 수온의 급격한 증가에 따른 스트레스 반응으로 인한 잉어의 폐사 가능성도 제기되고 있다(Byun et al., 2011).

생명체가 스트레스 요인에 접하게 되면, 체내 호르몬의 분비로 스트레스 반응을 일으킨다. 그러므로 생활자체가 항상성 유지를 위한 스트레스 반응이므로 호르몬의 분비 및 감소가 지속된다(Hur et al., 2008). 어류의 항상성 유지를 위한 스트레스 지표 호르몬으로는 코티졸(cortisol)이 있으며, 안정 시 혈중 농도는 매우 낮지만 급박한 스트레스를 받게 되면 그 농도는 순식간에 수십배로 증가한다(Hur et al., 2008). 코티졸은 당질대사에 관여하는 스테로이드성 호르몬으로서, 단백질로부터 당의 생성을 촉진하고 지질대사에도 영향을 미친다. 그 작용은 간장에서 당신생(gluconeogenesis), 글리코겐 저장의 촉진 및 혈당 상승 등이 있다(Barton and Iwama, 1991). 일반적으로 어류가 스트레스를 받게 되면 체내 항상성 유지를 위한 코티졸 호르몬이 분비되나, 스트레스의 강도가 높거나 반복적으로 받게 되면, 어류는 항상성 유지 능력을 상실하여 생리적 장애, 번식과정의 혼란, 질병에 대한 저항성 감소가 나타나게 되고 최종적으로 사망에 이르게 된다(Barton and Iwama, 1991). 어류가 스트레스를 받을 때 분비되는 코티졸의 작용으로 인하여 당신생 효소의 활성이 높아져 글루코스(glucose)의 분비량이 증가한다. Barton and Iwama (1991)는 스트레스에서 이러한 증가 현상을 스트레스의 1차 반응(코티졸의 증가)에 따른 2차 반응의 결과(글루코스의 증가)라고 정의하였다.

스트레스 연구는 대부분 혈액 내 호르몬(cortisol) 수치 변화로 어류의 스트레스를 확인하는 보편적인 방법으로 활용되고 있다. 하지만 국내에서 스트레스에 의한 호르몬 수치 변화는 주로 해산어(양식어종)를 중심으로 연구가 진행되었다(Park et al., 1999; Chang et al., 2002; Hur, 2002; Lankford et al., 2003; Davis, 2004; Hur et al., 2008). 담수 어류의 스트레스에 의한 호르몬 수치 변화에 대한 연구는 매우 적으며, 스트레스 원인과 호르몬 변화간 관계에 대한 국내 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서, 잉어를 대상으로 고수온 스트레스 발생 시 코티졸 호르몬 변화를 조사하여 스트레스와 호르몬 변화 간의 관계를 평가할

수 있는 기초 자료를 축적하기 위한 연구의 일환으로 본 실험을 진행하였다.

재료 및 방법

1. 자어 생산 및 사육

충청북도 진천군에 위치한 잉어양식장으로부터 체장 10~15 cm 크기의 잉어 600마리를 구입하여 군산대학교의 어류 양어장에서 1,100 L 크기의 8개의 수조에 75마리씩 수용하였다(Table 1). 수용된 잉어들은 모두 실험실 내 환경과 기온에서 10일간 순화한 다음 실험을 진행하였다. 실험실 내 기온은 실온(18°C)로 유지하였으며 광주기는 12 L/12 D, pH는 6.9±0.27, 암모늄 이온은 0.02 µg/L 이하, 아질산염 및 질산염 농도는 각각 0.01 µg/L 이하 및 1.8±0.14 µg/L로 유지하였다. 순화 중 먹이는 인공사료를 공급하였으며, 체색은 배쪽이 희고 등쪽이 감람갈색에 가까우며, 정상적인 유영을 하면서 외부 자극에 반응하여 건강하다고 판단된 개체를 순화 전에 미리 선별하여 실험을 진행하였다.

2. 실험군 설정 및 생존율과 호르몬 분석

수온 변화 전의 스트레스 호르몬 수치를 조사하기 위해, 실험 시작 전에 각 실험군별로 잉어 20마리를 선별하여 헤파린 처리된 주사기(3 ml)를 사용하여 미병부의 혈관에서 1분 이내에 채혈을 완료하였다. 채혈한 샘플은 1.5 ml microtube에 분주하여 원심분리(10,000 rpm, 5분)하여 혈장을 추출한 뒤, defreezer (-80°C)에 보관하였다. 실험수온은 20°C, 24°C, 28°C 및 32°C로 설정하였으며 실험 시작 후에 각 실험수온별로 2시간 이내에 도달하도록 히터를 설치하였다. 각 실험수온별로 2개의 수조씩 배정하였고, 총 8개의 수조 중에 4개의 수조에서는 코티졸 호르몬 측정을 위한 채혈을 실시하였으며, 나머지 4개의 수조는 누적 사망률 측정에 사용하였다. 누적 사망률은 실험 시작 후 6시간, 12시간, 24시간, 36시간 및 48시간마다 사망개체수를 계수하여 누적 사망률을 조사하였다. 채혈시간은 실험 시작 후 6시간, 24시간 및 48시간마다 각

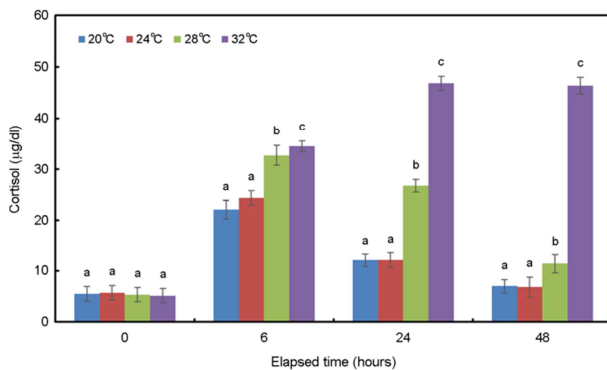


Fig. 1. Plasma cortisol concentration of common carp, *Cyprinus carpio* for 48 hours. Values are means \pm SD of experiments ($n=6$). Error bars represent the standard deviation of experiments ($p < 0.05$). Shared alphabetic letters on error bars indicate a lack of significant difference among experimental groups at equivalent times (Student's t -test, $p > 0.05$).

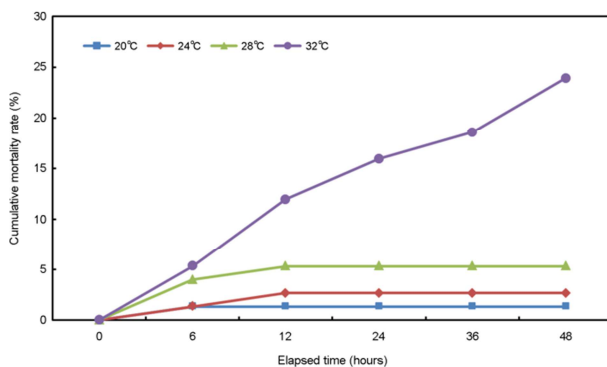


Fig. 2. Cumulative mortality rate of common carp, *Cyprinus carpio* for 48 hours.

실험수온별로 6마리씩 채혈하였으며, 각 샘플의 채혈을 1분 이내에 완료하였다.

각 실험수온별 채혈한 샘플은 1.5 ml microtube에 분주하여 원심분리(10,000 rpm, 5분)하여 혈장을 추출한 뒤, 호르몬 분석 전까지 defreezer (-80°C)에 보관하였다. 코티졸 호르몬은 Cortisol EIA Kit (EA65, Oxford Biomedical Research)를 이용하여 competitive enzyme-linked immunoassay (ELISA) 방법을 통해 분석하였다. 코티졸 호르몬 분석방법은 해당 키트의 프로토콜을 따랐으며 그 절차는 다음과 같다. 먼저 혈장 100 µl를 유리시험관에 넣고 Ethyl Ether 1 ml를 추가한 다음, 유리시험관을 30초간 vortex 후 용액의 층이 구분되도록 한다. 용액 상층의 유기물 층을 새로운 유리시험관으로 옮긴 후 질소가스를 사용하여 잔존 용액을 증발시킨 후, 잔존물을 100 µl Extraction Buffer로 녹인다. 이후 용액의 10 µl를 990 µl Extraction Buffer에 넣어 100배로 희석한 뒤 여분의 샘플

플은 -20°C에서 보관한 다음, 분석에 사용할 샘플을 vortex 한 뒤 assay procedure를 따라 분석을 진행하였다. 각 실험수온별 코티졸 호르몬 수치의 유의성 분석은 One-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 다중검정을 진행하였다($p < 0.05$).

결 과

수온 변화에 따른 잉어의 코티졸 호르몬 변화를 조사한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 수온 변화 전의 코티졸 함량은 5.14~5.48 µg/dl로 모든 실험군 유의한 차이가 없었다. 수온 변화에 따른 20°C, 24°C 및 28°C 실험군의 코티졸 변화는 수온 변화 후 6시간에 코티졸 함량이 증가하다가 24시간 이후부터 감소하여 20°C 및 24°C 실험군은 실험 전의 코티졸 함량에 가까운 수치로 감소하였다. 28°C 실험군은 실험 전의 코티졸 함량보다 높았으나 24시간의 코티졸 함량보다 감소한 수치로 나타났다. 반면, 32°C 실험군은 수온 변화 후 6시간부터 코티졸 함량이 증가하여 24시간에 코티졸 함량이 최대치로 증가하였으며 48시간까지 코티졸 함량이 감소하지 않고 유지되는 경향이 나타났다. 채혈시간별 각 실험군간 코티졸 함량을 비교한 결과, 수온 변화 후 6시간의 코티졸 함량은 20°C 실험군이 22.06 µg/dl로 가장 낮았으며, 32°C 실험군이 34.43 µg/dl로 가장 높게 측정되었다. 수온 변화 후 24시간의 코티졸 함량은 20°C 및 24°C 실험군이 각각 12.03 µg/dl와 12.08 µg/dl로 서로 비슷하였으며 32°C 실험군은 46.79 µg/dl로 가장 높게 나타났다. 수온 변화 후 48시간의 코티졸 함량은 20°C 및 24°C 실험군이 각각 6.98 µg/dl와 6.79 µg/dl로 서로 비슷하였으며, 28°C 실험군의 코티졸 함량은 11.37 µg/dl로 20°C 및 24°C의 코티졸 함량보다 유의한 차이를 보이며 높았으나 28°C 실험군의 24시간 코티졸 함량인 26.74 µg/dl에 비해 다소 감소한 수치로 나타났다. 반면, 32°C 실험군은 46.31 µg/dl로 가장 높게 나타났으며, 24시간의 코티졸 함량(46.79 µg/dl)과 유의한 차이가 없이 유지된 수치로 나타났다.

수온 변화에 따른 누적 사망률을 조사한 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 20°C, 24°C 및 28°C 실험군은 수온 변화 후 12시간까지 누적 사망률이 증가하다가 유지되었으나 32°C 실험군은 실험 종료 시까지 지속적으로 누적 사망률이 증가하는 경향이 나타났다. 각 조사시간별 각 실험군간 누적 사망률을 비교한 결과, 수온 변화 후 6시간에는 20°C 및 24°C 실험군이 1.33%로 가장 낮았으며, 32°C 실험군이 5.32%로 가장 높게 나타났다. 수온 변화 후 12시간에는 20°C 실험군이 1.33%로 가장 낮았으며, 24°C 및 28°C 실험군의 누적 사망률은 각각 2.66% 및 5.32%로 증가하였으며, 32°C 실험군은 11.97%로 가장 높게 나타났다. 이후 48시간까지 20°C, 24°C 및 28°C 실험군의 누적 사망률은 증가하지 않고 유지되었으며 32°C 실험군은 24시간에 15.96%, 36시간에 18.62%, 48시간에 23.94%를 기록하여 각 조사시간별 누적 사망률이 가장 높게 나타났다.

고 찰

어류의 폐사와 스트레스 호르몬에 대한 연구 사례로는 우리나라 동해, 서해 및 남해안에 위치한 화력발전소와 원자력발전소의 배출수 구역에서 흘러나오는 온배수에 의한 어류의 스트레스 반응 연구와 동해안에서 발생하는 냉수대로 인한 어류의 생존율 변화에 대한 연구가 있다. 수온 스트레스 외에 마취제, 질산 및 아질 산염 등 화학 물질에 의한 스트레스, 진동 스트레스, 염분 스트레스 등에 관한 국내·외 연구 사례가 있다(Park et al., 1999; Chang et al., 2002; Hur, 2002; Lankford et al., 2003; Davis, 2004; Hur et al., 2008; Yeon et al., 2011). 이들 연구 사례에서 사용된 실험 어류들은 적정수온범위 이상 또는 이하의 수온에 지속적으로 노출될 경우, 코티졸 및 글루코스와 같은 스트레스 호르몬 농도가 유지되거나 천천히 감소하는 공통된 경향이 나타났다.

Chang et al. (2002)은 여름철 발전소와 인접하여 온배수 방류수역의 해수를 양식용수로 사용할 수 밖에 없는 양식장(온수양식장)과 발전소로부터 15 km 정도 떨어져 있어 온배수 영향이 거의 없다고 인정되는 양식장(대조양식장)을 선택하여, 두 양식장에서 사육 중인 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 스트레스 호르몬 수치를 서로 비교하였다. 8월과 9월의 고수온 기간 중 온수양식장과 대조양식장에서 측정된 수온은 각각 23.7~27.0°C 및 21.5~25.0°C로 변화하였으며, 온수양식장이 대조양식장에 비해 0.6~4.6°C 높게 나타났다. 두 양식장에 사육 중인 넙치의 코티졸 농도는 각각 0.6~2.8 ng/ml(대조양식장) 및 3.3~317.1 ng/ml(온수양식장)으로 나타나 온수양식장에 사육하는 넙치의 코티졸 농도가 대조양식장에 비해 월등히 높게 나타났다. 글루코스 농도는 대조양식장에서 36.5~46.0 mg/dl로 나타났고, 온수양식장에서는 23.5~36.5 mg/dl로 대조양식장에 비해 낮게 나타났다. 이는 스트레스로 인해 에너지의 소모가 증가되었기 때문이라고 보고하였다.

Park et al. (1999), Hur (2002) 및 Hur et al. (2008)은 넙치를 대상으로 동해안의 냉수대로 인한 급격한 수온 변화의 경향을 분석한 결과를 토대로 수온 변화를 1회성 또는 다회성으로 재현하였을 때, 스트레스 반응을 조사하였다. 수온 20°C로부터 시간당 2°C씩 떨어뜨려 11°C로 낮추어 10시간 지속시킨 다음 다시 3시간 내에 20°C로 상승하는 수온급변 스트레스를 주었을 때, 코티졸 농도는 2.6 ng/ml(실험 시작)에서 12.4 ng/ml(11°C로 지속)로 증가하였다. 이후 20°C로 급속히 상승시켰을 때는 실험 시작 시 코티졸 농도인 2.6 ng/ml와 비슷한 수준으로 회복되었다. 연속적인 수온 변화 시 스트레스 반응을 측정하기 위해, 넙치 사육수조의 수온을 23°C에서 26°C로 상승시키고 4일 후에 23°C로 회복시켰으며, 29°C로 재차 상승시킨 다음, 4일 후에 23°C로 회복시켰다. 이후 32°C로 상승시키고 4일 후에 23°C로 회복하였을 때, 넙치의 스트레스 반응을 조사하였다. 실험 시작 시 넙치의 코티졸 농도는 5.1 ng/ml였고 이후 수온을 3°C 올린 26°C에서도 5.1 ng/ml로 실험 시작 시와 차이를 보이지 않았다. 그러나 26°C로 4일간 유지한 다음 23°C

로 낮추었을 때는 2.6 ng/ml로 낮아졌다. 이어서 수온을 6°C 올린 29°C에서는 35.5 ng/ml로 증가하였고 4일 후 23°C로 낮아졌을 때의 코티졸 농도는 실험 시작 시의 농도(5.1 ng/ml)와 비슷한 수치로 낮아졌다. 수온을 9°C 올린 32°C에서는 76.9 ng/ml로 가장 높게 나타났다. 글루코스 농도는 실험 시작 시 28.5 mg/dl였으며 수온을 26°C, 29°C 및 32°C로 각각 상승시켰을 때의 농도는 각각 29.0 mg/dl, 30.0 mg/dl 및 31.0 mg/dl로 점점 높아지는 경향이 나타났다.

Davis (2004)는 white bass (*Morone chrysops*)와 striped bass (*Morone saxatilis*)간 잡종이면서 최적 사육수온이 3~8°C로 냉수성 어종에 속하는 sunshine bass를 대상으로 수온 변화 시 스트레스 반응을 조사하였다. 6개의 수조에 사육 중인 sunshine bass를 20°C에 5일간 적응시킨 후, 5, 10, 15, 20, 25 및 30°C로 사육수조의 수온을 각각 증가 및 감소시켰다. 수온 5°C에서의 코티졸 농도는 12.5 ng/ml로 가장 낮았으며, 10°C에서는 33.8 ng/ml, 15°C에서는 36.1 ng/ml로 나타났다. 20°C에서의 코티졸 농도는 65.4 ng/ml로 가장 높았으며, 25°C에서 49.9 ng/ml, 30°C에서는 20.0 ng/ml로 감소하였다.

Lankford et al. (2003)은 용상어(*Acipenser medirostris*)를 대상으로 수온이 11°C 및 19°C인 사육수조에서 각각 공기에 1분간 노출된 후에 3시간 동안 스트레스 호르몬 변화를 조사하였다. 공기노출 스트레스를 받고 20분 후의 코티졸 농도는 각각 138.1 ng/ml (11°C) 및 201.2 ng/ml (19°C)로 가장 높게 나타났고, 3시간 후의 코티졸 농도는 각각 35.8 ng/ml (11°C) 및 56.7 ng/ml (19°C)로 감소하였다. 수온이 높을수록 코티졸의 농도가 증가하는 경향이 나타났다. 11°C 및 19°C 실험군의 글루코스 농도는 공기노출 스트레스 받은 이후부터 3시간 동안 지속적으로 증가하는 경향이 나타났으며, 수온이 높을수록 글루코스의 농도는 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과를 토대로 용상어가 고수온 환경에서는 스트레스에 대한 반응이 민감하며, 그로 인해 에너지 소비가 증가하였다고 보고하였다.

앞서 서술한 이전 연구들과 같이 본 연구의 결과에서도 잉어가 적정수온범위 이상의 수온(32°C)에 지속적으로 노출된 경우, 스트레스 호르몬 농도가 증가한 후에 감소하지 않고 유지되는 경향이 나타났으며, 적정수온범위 내의 변화(20, 24 및 28°C)에서는 스트레스 호르몬 농도가 증가하다가 다시 스트레스 반응 이전의 농도로 회복되는 경향이 나타났다.

Yeon et al. (2011)의 연구에서는 잉어를 대상으로 건설장비 가동 시 발생하는 소음 및 진동으로 인한 스트레스 호르몬 변화를 조사하였다. 상온에서 35일간 매일 스트레스 자극을 9시간 동안 진동(80 dB) 및 소음(123 dB/upa)을 가하였을 때, 성장 및 코티졸 변화를 분석한 결과, 성장률, 사료효율 및 코티졸 농도가 대조군과 실험군간 유의성이 검정되지 않았다고 보고하였다. 본 연구와 비교하였을 때, 잉어는 소음 및 진동에 의한 스트레스보다 수온 변화로 인한 스트레스에 민감하게 반응한다는 사실을 도출할 수 있

있으며, 스트레스 요인의 종류에 따라 스트레스 반응이 달라진다는 사실도 도출할 수 있었다.

코티졸 호르몬 분석 결과를 토대로 스트레스 요인으로 작용할 수 있는 수온범위를 예측한 결과, 수온이 32°C 이상으로 유지되는 고수온 현상이 3일 이상 지속될 경우, 잉어의 집단폐사가 일어날 수 있다고 도출하였다. 이러한 결과를 기초 자료로 이용하여 호르몬 분석을 통해 특정지역의 폐사 위험 정도를 확인할 수 있는 방안으로 활용 가능할 것이다. 어류가 폐사하기까지 증가한 스트레스 호르몬의 수치 및 수온을 제시하여 주요 폐사지역 및 고수온 지역 등에 대한 어류의 스트레스 호르몬 수치를 확인해야 할 것이다. 아울러, 폐사 위험도 파악과 수온 변화의 주기적인 모니터링을 통해 폐사 예방을 위한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 아울러, 수온 외에 어류의 폐사에 관여하는 환경 요인인 염분, DO (Dissolved oxygen), 오존 및 Fe, Cu, Pb와 같은 오염 물질 및 중금속의 농도 변화에 따른 스트레스 변화 연구와 환경 요인간 상호작용으로 인한 스트레스 변화 연구도 병행하여 어류의 폐사가 유발되는 원인을 생리학적 관점으로 보다 정확한 설명이 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 국립환경과학원 재원의 지류 지천 어류폐사 원인연구(III) (NIER-RP2018-228)의 일환으로 작성되었습니다

참고문헌

- Barton BA, Iwama GK. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu Rev Fish Dis* 1: 3-26.
- Byun MS, Jang MH, Song HB. 2011. Mass perish of freshwater fish - Analysis of case and cause. National Institute of Environmental Research, pp 103.
- Chang YJ, Hur JW, Chin P. 2002. Hematological characteristics of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) in culture farm influenced by heated effluent water from a power plant in summer. *J Aquacult* 15: 267-273 (in Korean with English abstract).
- Davis KB. 2004. Temperature affects physiological stress responses to acute confinement in sunshine bass (*Morone chrysops* × *Morone saxatilis*). *Comp Biochem Physiol Part A* 139: 433-440.
- Hur JW. 2002. Physiological responses of fishes to the artificial stresses in the process of aquaculture. Thesis for the degree of doctor of philosophy, Pukyong National Univ, pp 196.
- Hur JW, Lim HK, Chang YJ. 2008. Effects of repetitive temperature changes on the stress response and growth of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J Appl Anim Res* 33: 49-54.
- Kim IB. 1974. Freshwater fishes of Korea. TaeHwa Inc., Korea, pp 188.
- Lankford S, Adams TE, Cech JJ. 2003. Time of day and water temperature modify the physiological stress response in green sturgeon, *Acipenser medirostris*. *Comp Biochem Physiol Part A* 135: 291-302.
- Lee EH, Chung BG, Kim JS, Ahn CB, Oh KS. 1989. Studies on the food components of triploid carp muscle. *Bull Korean Fish Soc* 22: 154-160 (in Korean with English abstract).
- Park MR, Chang YJ, Kang D-Y. 1999. Physiological response of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the sharp changes of water temperature. *J Aquacult* 12: 221-228 (in Korean with English abstract).
- Yeon IJ, Choi SK, Lee BC, Park JH, Choi HI. 2011. Effects of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*) and bagrid catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*) for artificial stresses. In: Annual Spring Conference of Korean Soc Noise Vibrat Engineer, JungSeon, Korea, 27-29 Apr, 2011, pp 814-816 (in Korean).