

MS-222와 lidocaine-HCl의 농도별 마취에 대한 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 혈액생리학적 반응

김재호, 허준욱¹, 박인석², 고강희³, 장영진^{4,*}
국립수산과학원, ¹켈거리대학 생물학과, ²한국해양대학교 해양과학기술연구소
³여수대학교 수산생명과학부, ⁴부경대학교 양식학과

Effects of the Different Anesthetic Doses of MS-222 and Lidocaine-HCl on the Blood Physiological Responses in Black Rockfish, *Sebastes schlegeli*

Jae Ho Kim, Jun Wook Hur¹, In-Seok Park², Kang Hee Kho³ and Young Jin Chang^{4,*}

National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

¹Department of Biological Sciences, University of Calgary, Calgary, AB, Canada T2N 1N4

²Research Institute of Marine Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

³Division of Aqualife Science, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

⁴Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Experiments were performed to investigate the effects of the different anesthetic MS-222 and lidocaine-HCl doses on the blood physiological responses, on the time required for anesthesia and recovery, and on the survival rates of black rockfish (*Sebastes schlegeli*). Plasma cortisol was its highest levels (96.1 ± 12.1 ng/ml) at 6 hours after the administration of 300 ppm of MS-222, and in all groups, plasma cortisol levels were higher than the initial levels during the anesthetic experiment. Fish receiving lidocaine-HCl also exhibited higher than initial plasma cortisol levels at almost experimental intervals. The middle size fish exhibited the highest glucose level (143.3 ± 14.5 mg/dl) at 50 ppm of anesthesia after 1 hour, and every level was significantly higher than the initial level for at least 12 hours. Glucose levels in fish to which lidocaine-HCl was administered were comparable to the levels seen in conjunction with MS-222 treatment. In fish anesthetized with MS-222, K^+ levels in the small size fish were significantly elevated after 1 hour, while Na^+ levels did not change in any of the groups throughout the experiment. Anesthetic time was significantly attenuated with increases in the concentrations of MS-222 and lidocaine-HCl. We also noted a correlation between anesthetic time and fish size, in that larger fish took a longer time, followed by the middle size and then the small size fish. The all fish size groups showed above 95% survival rates at every experimental concentration in MS-222 and 300-400 ppm in lidocaine-HCl. The results may indicate that 100-200 ppm MS-222 and 400 ppm lidocaine-HCl are the most effective doses as sedatives for the black rockfish and these doses could be used as the suitable anesthetics doses.

Keywords: Black rockfish, *Sebastes schlegeli*, MS-222, Lidocaine-HCl, Anesthesia, Blood physiological response, Cortisol, Glucose, Survival rate

서 론

한국의 어류 양식산업은 1990년대부터 종묘생산 및 양식기술의 발달과 수산물의 소비증가로 빠르게 발전하고 있다. 양식어류는 고밀도 사육, 가두기(confinement), 포획, 선별, 취급(handling), 양식기류의 소음, 저산소, 공기중 노출, 급격한 수온 및 염분 변화, pH 변화, 수송, 상처, 질병, 약제투여 및 독성물질 노출 등

에 의해서 스트레스를 받게 된다(Pickering, 1992; Wendelaar Bonga, 1997; 장과 허, 1999; 허 등, 2001, 2003a, b, 2005). 양식과정중 마취는 채혈, 고정, 손쉬운 취급, 백신과 항생물질의 주사, 질병 치료, 인공 체란, 수송 및 선별 등에서 어류의 스트레스를 감소시키기 위해 이용된다(Westerfield, 1993).

MS-222 (3-aminobenzoic acidethyl ester methansulfonate)는 어류에 광범위하게 사용되는 가장 일반적인 마취제 중의 하나이다. MS-222는 사용후 21일간의 휴약기간(withdrawal period)이 필요하지만(Pirhonen and Schreck, 2003), 현재 미국 식품의약안

*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

전청(Food and Drug Administration, FDA)에서 유일한 수산용 마취제로 승인되어 있다. 한편, lidocaine-HCl [2-(diethylamino)-N-(2, 6-dimethyl phenyl acetamide hydrochloride)]은 어류에 대해 탁월한 마취효과를 나타낼 뿐만 아니라 기존의 다른 어류 마취제들에 비하여 가격이 저렴하고 약물 자체의 안정성 및 취급이 용이하여 어류 마취제로 사용되고 있다(Carrasco et al., 1984; 김 등, 1988).

어류 마취제에 관한 국외의 연구로는 Ferreira et al. (1984)의 어류 운송에서의 benzocaine-hydrochloride의 사용, Carrasco et al. (1984)의 잉어(*Cyprinus capio*), 메기(*Ictalurus punctatus*), 틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)에 대한 lidocaine-sodium bicarbonate의 마취효과, Sado (1985)의 틸라피아에 대한 quinaldine의 영향, Mattson and Riple (1989)의 대구(*Gadus morhua*)에 대한 metomidate의 마취효과, Masee et al. (1995)의 red drum (*Sciaenops cellatus*)에 대한 MS-222, quinaldine sulfate와 metomidate의 마취효과가 보고된 바 있다. 어류마취에 관하여는 국내에서도 다수 보고된 바 있는데, 김 등(1988)의 lidocaine이 7종의 양식어류에 미치는 마취효과, 박 등(1988)의 해산어류에 대한 lidocaine의 마취효과, 정 등(1994)의 lidocaine이 잉어의 혈액성상에 미치는 영향, 박 등(1998a, 1998b)의 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)와 버들개(*R. steindachneri*)에 대한 lidocaine의 마취 및 운송효과, Son et al.(2001)의 조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 치어의 MS-222에 대한 마취내성, 박 등(2003)의 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)에 대한 염산리도카인-중탄산나트륨의 마취효과, 박 등(2004)의 winter flounder (*Pleuronectes americanus*)에 대한 염산리도카인-중탄산나트륨의 마취효과, 허 등(2005)의 양식 은어(*Plecoglossus altivelis*)의 마취수송시의 혈액성상 변화 등의 결과를 찾아볼 수 있다.

조피볼락은 새끼를 낳는 어류로서 한국의 모든 연안에 서식하는 정착성 어종이며 넙치(*Paralichthys olivaceus*)와 함께 해면 어류양식 및 바다목장 자원조성의 대표어종으로 자리매김하고 있다. 이와 같이 조피볼락 생산이 활발함에도 불구하고 종묘나 어미어류의 취급 및 수술시 마취에 관한 연구는 부족한 실정이며, 특히 마취 전후 및 회복에 따른 생리적 스트레스에 대한 반응 역시 조사된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 안전한 어류 마취제로 인정된 MS-222와 lidocaine-HCl을 사용하여 조피볼락의 마취효과 즉, 마취시간(exposure time)과 회복시간(recovery time)을 파악하여 유효 마취농도를 결정하고자 하였다. 아울러 마취 조건으로 마취·회복후, 시간 경과에 따른 혈액생리학적 반응을 크기별로 비교조사하였다.

재료 및 방법

실험어와 실험조건

실험에 사용된 조피볼락은 경남 거제도 소재 종묘배양장에서 생산된 어류를 사용하였다. 실험어는 크기에 따라 소형어(small

size fish)와 중형어(middle size fish)로 나누었으며, 소형어(부화 후 8개월)는 평균전장 14.2±0.9 cm, 평균체중 51.3±10.5 g이었고, 중형어(부화 후 15개월)는 평균전장 18.2±1.0 cm, 평균체중 100.6±21.1 g이었다. 실험어 사육은 50 L와 100 L 플라스틱 수조에 해수를 각각 20 L/분, 40 L/분씩 유수하였으며, 공기공급을 위해 에어레이션을 충분하게 해 주었다. 농도에 따른 마취효과와 혈액생리학적 조사를 위하여 소형어 80마리와 중형어 40마리를 각각 2반복으로 사용하였다. 마취제는 시판용 MS-222 (Sigma)와 lidocaine-HCl (Sigma)을 사용하였으며, 실험수온은 20.4±0.5였다.

마취와 회복시간

마취제별 농도 변화에 따른 마취효과를 검토하기 위하여 MS-222는 50, 100, 200, 300 ppm 조건에서, lidocaine-HCl은 300, 400, 500, 600 ppm 조건에서 실험어의 각각 마취시간과 회복시간을 조사하였다. 마취시간과 회복시간 설정은 Siwicki (1984)의 기준에 따라 어체가 한쪽으로 눕고 아가미의 움직임이 불규칙하며 거의 움직임이 정지되는 때로, 회복기준은 회복 수조로 이동시켜 정상 체위를 유지하며 아가미 덮개 운동이 활발한 때로 하였다. 마취시간과 회복시간은 최대 30분이내로 하였다.

혈액의 채취와 분석

혈액을 채취하기 24시간 전부터 실험어를 굶겼다. 혈액은 20 IU/mL heparin sodium (Sterile Solution HEPARIN Inj., Choongwae Pharma Corporation, Korea) 처리한 1회용 주사기(3 mL-23 G, Dong Shin Medical Instruments Co., Korea)를 사용하여 마취 없이 1분 이내에 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 1.5 mL microtube (MCT-175-C, Axygen Scientific Inc., USA)에 분주하였다. 각 수조에서 소형어 10마리, 중형어 5마리씩 포획하여 1분 이내에 채혈하였다. 채혈한 각 실험어는 수조로부터 격리하여 제거하였다. 표본 간격은 마취 전(0시간)과 마취 후 1, 6, 12 및 24시간으로 하여 채혈하였다. 혈액시료는 혈중 cortisol, glucose, Na⁺, K⁺ 및 삼투질농도를 측정하기 위하여 상온에서 10분 이상 방치하였다가, 5,600 g, 5분간 원심분리(MF 550 Hanil Centrifuge, Hanil Co., Korea)하여 혈장을 분리하고, 분석전까지 -70°C의 냉동고(CLN-500 UW Nihon Freezer, Nihon Co., Japan)에 보관하였다.

Cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방법에 따라 Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, USA)로 항원항체 반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Counter (Cobra, Packard Co., USA)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)에 의해 측정하였다. Glucose, Na⁺ 및 K⁺ 농도는 Chemistry System (Hitachi 7180, Hitachi, Japan)에 의해 분석하였다. 혈장의 삼투질농도는 Na염의 함유량에 따라 동결점이 다른 것을 응용하여, Micro Osmometer (Fiske 210, Fiske, USA)로 측정하였다. 마취 후 30분이 지나도 회복되지 않는 어류와 실험기간동안 폐사하

는 개체를 계수하여 생존율을 산정하였다.

통계처리

각 실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지(SPSS 9.0, SPSS Inc., USA)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결 과

마취농도에 따른 마취 및 회복시간은 Fig. 1에 나타낸 것과 같다. MS-222에서 마취시간의 경우, 소형어는 50 ppm에서 18.6 ± 1.2 분으로 가장 길었다. 마취농도가 증가함에 따라 마취시간이 감소하여 각각 100 ppm은 2.4 ± 0.1 분, 200 ppm 0.8 ± 0.2 분, 300 ppm 0.6 ± 0.0 분을 나타내었다(Fig. 1의 A). 중형어도 소형어와 유사한 경향을 나타내었다. Lidocaine-HCl의 경우, 소형어에서는 300 ppm에서 20 ± 0.0 분으로 마취시간이 가장 길었으며, 마취농도가 증가함에 따라 마취시간이 감소하였다(Fig. 1의 C). MS-222에서 소형어는 50 ppm에서 11.4 ± 0.1 분으로 회복시간이 가장 빨랐다(Fig. 1의 B). Lidocaine-HCl의 경우, 소형어는 300 ppm에서 18.5 ± 2.1 분으로 회복시간이 가장 짧았고, 400 ppm은 19.8 ± 0.3 분

이었다(Fig. 1의 D). 중형어도 소형어와 유사한 경향을 나타내었으나 소형어보다 회복시간이 약간 감소하였다.

실험개시전 중형어의 혈중 cortisol 농도는 1.6 ± 0.9 ng/ml였다(Fig. 2). MS-222 50 ppm에서 마취 1, 6, 12시간째 cortisol 농도는 26.2 ± 13 , 89.2 ± 13.8 , 96.1 ± 12.1 ng/ml로 증가하였으며, 200과 300 ppm에서는 마취 6시간 후 각각 143.8 ± 2.9 ng/ml, 86.6 ± 11.1 ng/ml로 높아졌다(Fig. 2의 A). Lidocaine-HCl의 경우, 300 ppm에서 마취 1, 6 및 12시간 후 각각 61.4 ± 17 ng/ml, 73.3 ± 19.6 ng/ml 및 133.8 ± 11 ng/ml로 계속해서 높아졌다. 500 ppm에서는 마취 1시간후 129 ± 3.7 ng/ml, 600 ppm에서는 마취 12시간 후 99 ± 19.1 ng/ml로 높아졌다(Fig. 2의 B).

Glucose 농도는 실험개시전 소형어와 중형어에서 각각 34.3 ± 3.1 mg/dl, 37.5 ± 10.6 mg/dl를 나타내었다(Fig. 3). MS-222의 경우, 소형어는 50 ppm에서 마취 1시간 후 69.5 ± 23.2 mg/dl로 유의하게 높아졌으며($P < 0.05$), 100 ppm에서는 마취 1시간 후 56.7 ± 2.5 mg/dl로 증가하였다(Fig. 3의 A). 중형어는 50 ppm에서 마취 1시간 후 143.3 ± 14.5 mg/dl로 가장 높은 값을 나타내었으며, 24시간 후에는 45.5 ± 0.7 mg/dl로 낮아졌다(Fig. 3의 C). Lidocaine-HCl의 경우, 소형어 300 ppm에서 glucose 농도가 $29.5 \pm 4.4 \sim 38.3 \pm 6.0$ mg/dl로 유의차가 없었다(Fig. 3의 B). 중형어의 경우,

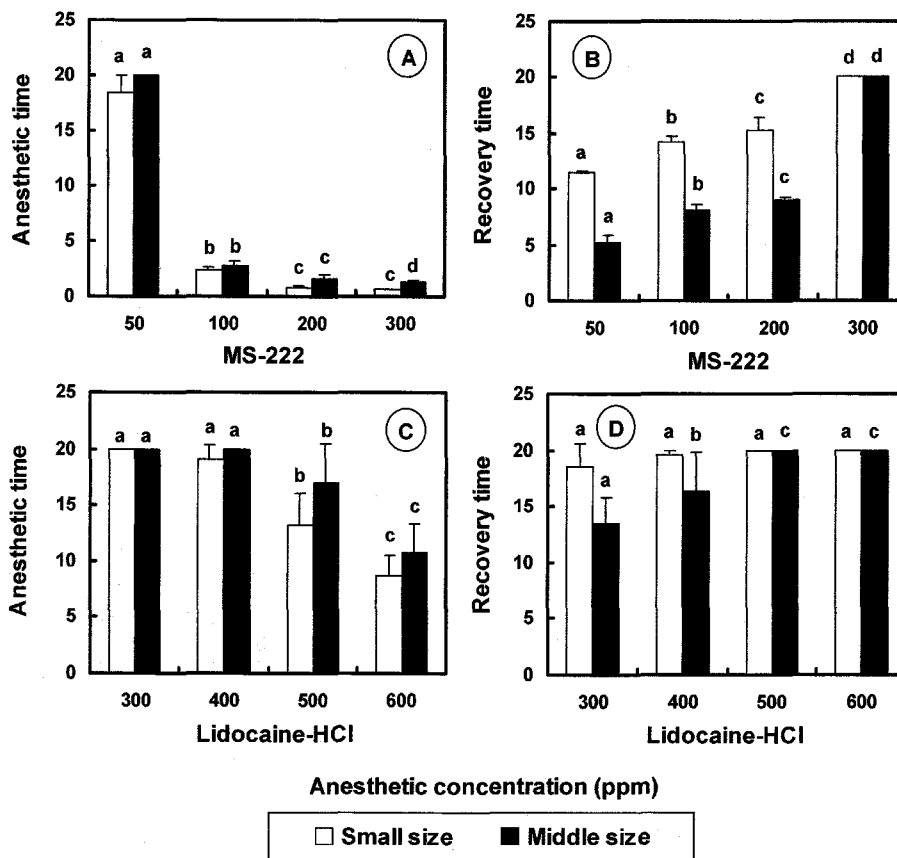


Fig. 1. Changes of anesthetic time (A, C) and recovery time (B, D) of black rockfish, *Sebastes schlegeli* according to MS-222 and lidocaine-HCl concentrations. Different letters on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

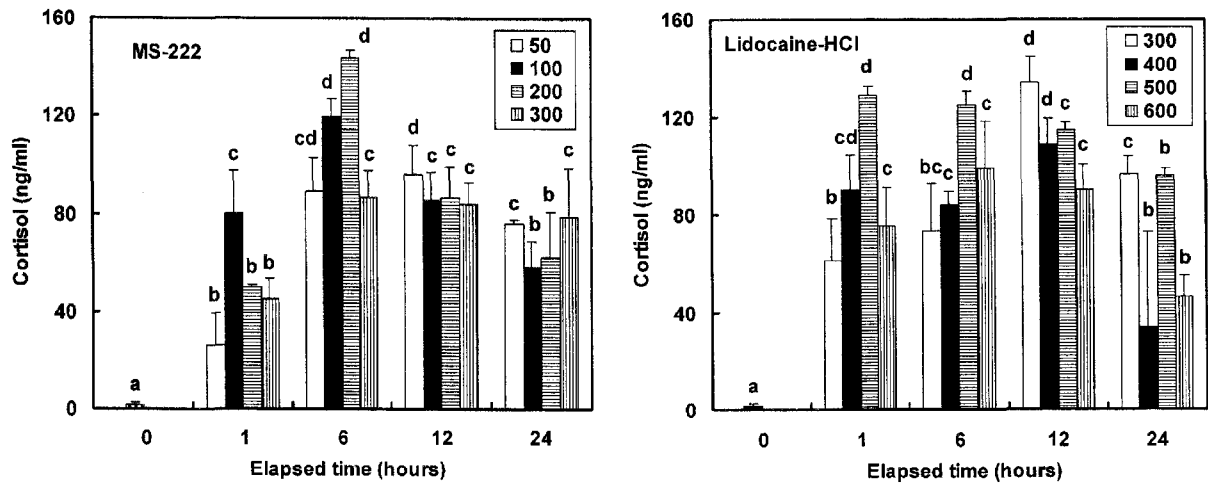


Fig. 2. Changes of plasma cortisol levels of black rockfish, *Sebastes schlegeli* according to MS-222 and lidocaine-HCl concentrations. Different letters on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

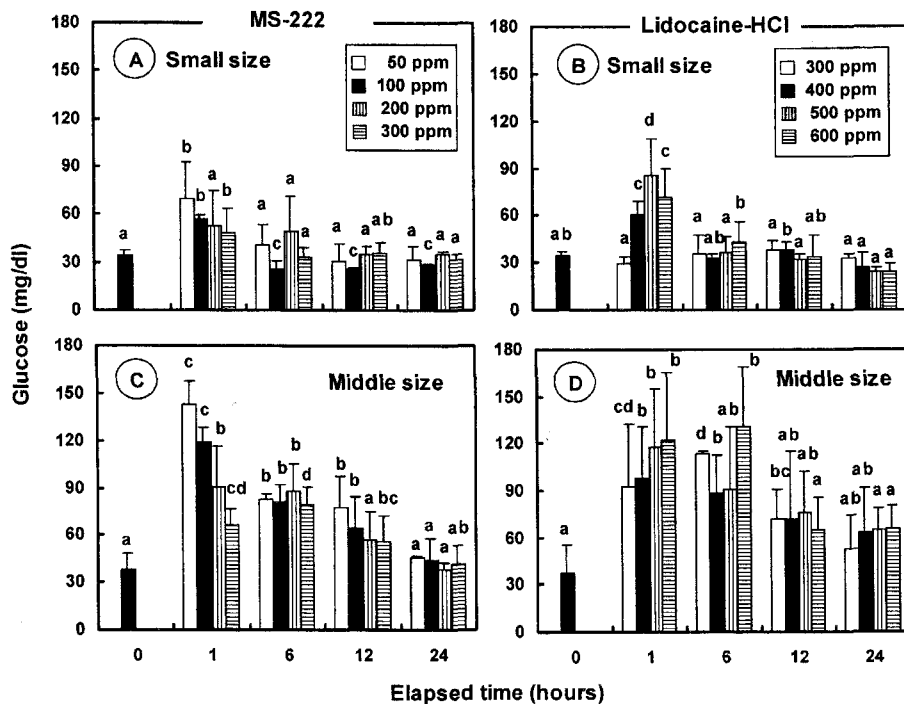


Fig. 3. Changes of plasma glucose levels of *Sebastes schlegeli* according to MS-222 (A, C) and lidocaine-HCl (B, D) concentrations. Different letters on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

500 ppm에서 glucose 농도는 마취 1시간 후 117.3 ± 38.0 mg/dl로 유의하게 증가하였으나 6, 12 및 24시간 후 각각 90.7 ± 39.7 , 76.0 ± 26.0 , 64.7 ± 13.8 mg/dl로 계속 감소하였다(Fig. 3의 D).

Na^+ 농도는 소형어에서 300 ppm의 lidocaine-HCl 마취 1시간 후에 180.0 ± 12.2 mEq/L로 최고값을 나타내었으나 6시간 후 162.3 ± 5.6 mEq/L로 실험개시전인 163.0 ± 2.8 mEq/L 수준으로 감소하였다(Fig. 4).

K^+ 농도는 MS-222인 경우 소형어는 50 ppm에서 200 ppm까지 범위에서 마취 1시간 후 6.7 ± 1.2 mEq/L로 최고값을 나타내

었으나, 6, 12 및 24시간 후 각각 3.0 ± 0.5 , 3.1 ± 0.7 , 2.9 ± 0.3 mEq/L로 실험개시전 수준으로 감소하였다(Fig. 5의 A). Lidocaine-HCl의 경우, 소형어는 400 ppm에서 마취 1시간 후 4.1 ± 1.0 mEq/L로 가장 높은 값을 보였으나, 6, 12 및 24시간 후에는 각각 2.6 ± 0.3 , 2.5 ± 0.1 및 2.4 ± 0.2 mEq/L로 계속 감소하여 실험개시전보다 더 낮았다(Fig. 5의 B)($P < 0.05$).

삼투질농도는 소형어에서 MS-222 50 ppm 마취 1시간 후에 365.3 ± 13.7 mOsm/kg으로 가장 높은 값을 보였으나, 6, 12 및 24시간 후에는 각각 352.3 ± 13.8 , 345.3 ± 10.2 , 344.0 ± 9.7 mOsm/kg

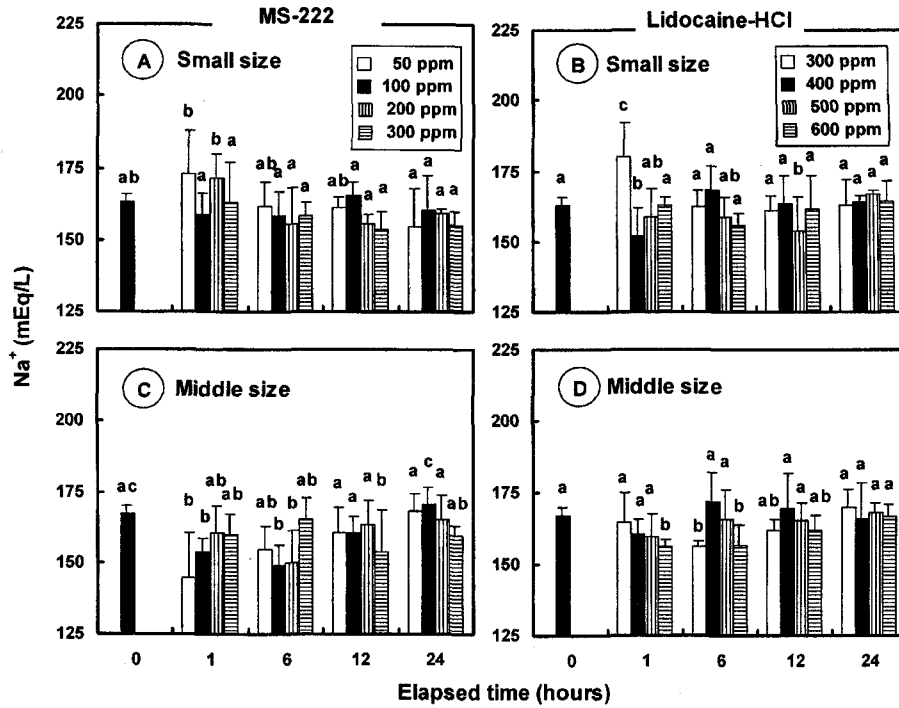


Fig. 4. Changes of plasma Na⁺ levels of *Sebastes schlegeli* according to MS-222 (A, C) and lidocaine-HCl (B, D) concentrations. Different letters on the bars are significantly different (P<0.05).

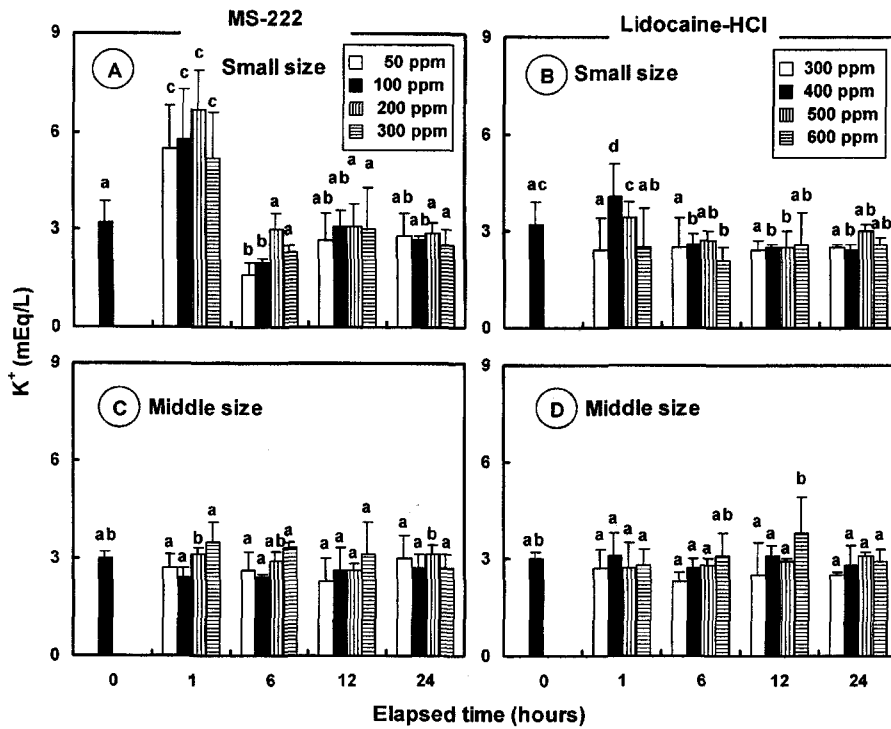


Fig. 5. Changes of plasma K⁺ levels of *Sebastes schlegeli* according to MS-222 (A, C) and lidocaine-HCl (B, D) concentrations. Different letters on the bars are significantly different (P<0.05).

으로 감소하여 실험 개시전인 338.0±8.5 mOsm/kg과 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 6의 A). 중형어는 MS-222 100 ppm에서 마취 12시간 후 삼투질농도가 351.3±10.5 mOsm/kg로 유의

하게 높아졌으나, 24시간 후 338.0±14.0 mOsm/kg으로 실험개시전과 유의차가 없었다(Fig. 6의 C). Lidocaine-HCl의 경우, 중형어는 300 ppm에서 마취 12시간 후 삼투질농도가 358.3±4.5

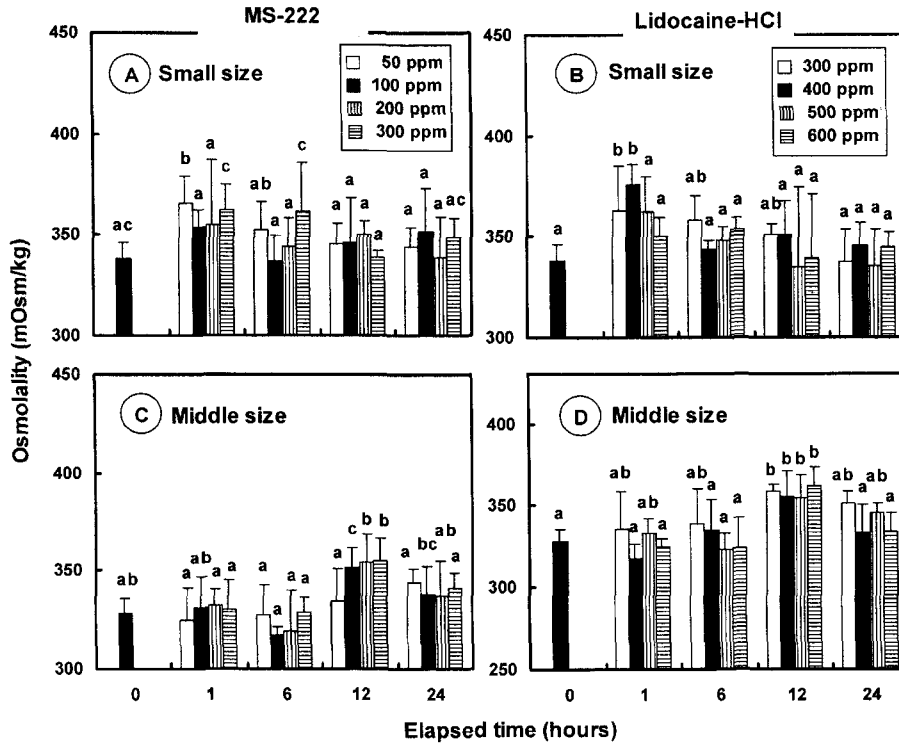


Fig. 6. Changes of plasma osmolality of *Sebastes schlegeli* according to MS-222 (A, C) and lidocaine-HCl (B, D) concentrations. Different letters on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

mOsm/kg으로 크게 증가하였으나, 24시간 후 351.5 ± 7.1 mOsm/kg으로 감소하였다(Fig. 6의 D).

소형어에서 MS-222 300 ppm은 36마리중 1마리의 폐사 개체가 발생하여 $97.2 \pm 3.9\%$ 가 생존하였으나, 50 ppm, 100 ppm 및 200 ppm에서는 100% 생존하였다. 중형어에서는 모든 실험구에서 100% 생존하였다. Lidocaine-HCl에서, 소형어는 300 ppm과 400 ppm에서 36마리중 폐사어는 1마리로 생존율이 $96.7 \pm 4.7\%$ 로 가장 높았고, 500 ppm과 600 ppm에서는 4마리씩 폐사하여 생존율이 $88.3 \pm 7.1\%$ 였다. 또한 중형어는 폐사 개체수가 500 ppm에서 1마리, 600 ppm에서는 3마리가 발생하여 생존율이 각각 $97.2 \pm 3.9\%$ 와 $87.5 \pm 5.9\%$ 였다.

고 찰

과도한 마취는 어체에서의 스트레스 반응, 물질 대사율, 산소 소비, 아가미 호흡, 심장박동, 혈압, 혈액성상(glucose, glycogen, lactic acid, pH, 전해질 및 삼투압 조절), 후각 및 정자 운동성을 바꾸거나 감소시키고, 이러한 마취 효과는 어체가 마취에서 회복된 후에도 장시간 지속될 수 있다(Summerfelt and Smith, 1990). 이상적인 마취제는 어체에 스트레스를 주지 않고 마취시키기 위한 유효농도는 사용조건에 따라 다르지만 일반적으로 5분 이내의 마취시간과 10분 이내의 짧은 회복시간을 가져야 한다.

본 연구에서 나타난 MS-222와 lidocaine-HCl의 농도별 처리

에 의한 조피볼락 소형어와 중형어의 마취시간은 담수어류인 붕어(*Carassius auratus*), 미꾸리(*Misgurnus anguillidontatus*), 버들치 및 버들개 등과 해산어류인 대구에서 보고된 것과 같이 (Mattson and Rippe, 1989), 마취제 농도의 증가에 따라 마취시간이 감소하였으며, 어체크기 증가에 따라 마취시간이 길어지는 것으로 나타났다(김 등, 1988; 박 등, 1998). 또한 Son et al. (2001)의 보고에서는 MS-222의 마취시간이 본 연구의 결과와 비슷하였으나, 회복시간은 차이를 나타냈다. 이러한 차이는 어체의 크기 및 마취시의 어체의 생리상태 등에 기인하는 것으로 보여진다.

실험어류가 부분적으로 또는 완전히 균형을 상실하는 시간은 마취제 종류와 어체의 크기에 따라 다양하다. Siwick (1984)와 Sado (1985)가 언급한 것처럼 중요한 3가지 행동양식이 조피볼락 마취시 관찰되었다. 첫째, 가벼운 마취작용으로 어류는 지느러미를 천천히 움직이므로써 감소되는 유영활동을 보였다. 아가미 뚜껑의 개폐 즉, 호흡수도 줄어드는 반응을 나타냈다. 둘째, 균형 상실에 의해 어류는 비스듬한 자세를 유지했고, 머리와 꼬리 부분만을 움직이는 힘든 유영상태를 나타냈다. 그러나 호흡수는 증가하였다. 셋째, 완전한 운동 상실로 어류는 수조 바닥에 눕게되고, 호흡수가 다시 감소하였으며 배설물 배출이 확인되었다.

어류의 혈장 cortisol, glucose, 전해질, hemoglobin, 단백질, hematocrit 및 간 글리코젠 등은 어체가 받는 스트레스의 지표로서 인정되고 있다(Schreck, 1982). 본 연구에서 MS-222와 lidocaine-

HCl에 노출된 조피볼락의 혈중 cortisol 농도는 모든 실험구에서 실험개시전 보다 유의하게 증가된 수준을 나타내었다. 따라서 두 마취제에 노출된 조피볼락은 적어도 실험종료시인 24시간까지 스트레스로부터 회복되지 않고 있음을 알 수 있는데, 비록 스트레스가 짧은 기간이라고 할지라도 급격한 스트레스로 인한 cortisol의 영향이 48시간까지 지속된다는 보고(Pickering et al., 1989)와 일치한다.

어류의 취급시 단시간의 신속한 마취제의 사용은 때로 취급 스트레스에 대한 생화학적 반응을 억제할 수 있지만, 고농도나 장시간의 마취제 사용은 그 자체가 스트레스 반응을 일으킬 수 있다. MS-222와 quinaldine에 연속적으로 노출된 red drum에서 현저한 cortisol과 glucose 증가가 관찰되었다(Massee et al., 1995). 또한 마취제 노출에 의한 혈장 cortisol 농도의 증가는 striped bass (*Morone saxatilis*) (Davis et al., 1982), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*) (Barton and Peter, 1982), 및 chinook salmon (*O. tshawytscha*) (Strange and Schreck, 1978)에서 보고된 바 있다. 그러나 혈장의 cortisol 농도는 스트레스의 정도와 시간, 어류의 건강 및 실험방법에 따라 동일어종에서도 달라질 수 있다(Pickering et al., 1989).

혈장 glucose 농도는 MS-222와 lidocaine-HCl에 노출된 소형어에서는 비교적 증가 폭이 작게 나타났으나, 중형어에서는 현저히 증가되었으며, 이 증가는 1~12시간 동안 지속되었는데 이는 어류가 MS-222를 비롯한 마취제나 혹은 다른 스트레스 인자들에 의해 일어나는 혈중 glucose 농도의 증가가 적어도 6~24시간 지속된다고 알려진(Robertson et al., 1987; Morales et al., 1990) 것과 유사한 결과를 나타내었다. 이와 같은 혈장 glucose 농도의 증가는 스트레스 반응시 나타나는 전형적인 2차반응으로서 간의 글리코겐 양의 고갈과 밀접한 관계가 있는데, 초기의 신속한 증가는 스트레스 반응에 의해 증가된 혈중 카테콜아민(catecholamine)에 의해 간에 저장된 글리코겐이 glucose로 분해되는 과정(glycogenolysis) 때문이고, 그 이후에 지속되는 것은 glucocorticoids에 의한 글루코스신생합성(gluconeogenesis) 때문이라고 알려져 있다(Robertson et al., 1987). 따라서 본 연구에서 나타난 조피볼락의 높아진 혈중 glucose 농도는 마취제 사용에 따라 어체가 스트레스를 받을 때 분비되는 cortisol의 작용으로 gluconeogenesis의 효소에 대한 활성이 높아짐에 따라 glucose의 분비량이 증가되는 것으로 보여진다. 그러나 마취제에 노출된 어류에서 현저한 cortisol과 glucose의 스트레스 반응이 없음이 보고되기도 하였는데(Thomas and Neff, 1985), 이는 아마 스트레스 요인의 강도가 cortisol과 glucose 반응을 일으키기 위해서 요구되는 수준 아래였던 것 같다.

어체가 스트레스를 받으면 전해질의 불균형(Robertson et al., 1988; Avella et al., 1990), cortisol과 prolactin 농도의 역상관계(Avella et al., 1990)가 유발된다. 해수어류에서는 체외환경이 고장액(hypertonic solution)이므로, 환경수로부터 Na^+ 이 침투되어 혈중 농도가 증가되고, 역으로 혈액내 K^+ 의 농도는 감소한다.

그러나 마취제인 MS-222나 lidocaine-HCl 노출에 따른 Na^+ 변화가 거의 없거나 오히려 감소하여 일반 스트레스 반응과 반대현상을 보였던 것은 에너지가 충분히 보급됨으로 인하여 마취제에 노출되더라도 조피볼락의 생리적 조절이 활발하게 일어나 환경수의 영향을 받지 않았던 것으로 여겨진다. MS-222와 lidocaine-HCl의 일부 농도에서 조피볼락의 Na^+ 농도는 마취 1시간 후 감소된 수준을 나타냈는데, 이는 고장의 환경수로부터 Na^+ 가 어체내로 유입되어 전해질을 조절하기 위하여 Na^+ 펌프의 작동이 활발했던 것으로 추정되고, 이후 마취 12~24 시간 후에는 실험개시전 수준을 나타내 마취제 사용으로 인한 스트레스로부터 회복되는 경향을 보여주고 있다. 일반적으로 경골어류에서 K^+ 이온은 혈중에서 보다 세포내에 많은 농도를 포함하고 있는데, MS-222에 노출된 소형어에서 마취 1시간 후 K^+ 이온의 세포외 과다배출은 항상성 유지를 위한 Na^+/K^+ 펌프의 작동에 문제가 있는 것으로 추측된다. 마취제 노출에 의한 삼투질 농도의 변화는 lidocaine-HCl에 노출된 중형어의 경우, 마취 12시간 후와 소형어의 경우, 300, 400 ppm에서 마취 1시간 후에 다소 증가한 것을 제외하고는 거의 모든 실험구에서 삼투질의 변화가 크지않는 것으로 보아 마취제 사용에 의한 스트레스의 영향이 적어 체내 항상성 유지에 어려움이 없었던 것으로 보인다.

Son et al. (2001)의 결과에서는 본 연구보다 더 빠른 마취후 회복시간을 보였으나, 본 연구에서는 소형어보다는 중형어에서 회복시간이 더 짧고 생존율이 더 높으며 생리적인 변화에서도 더 안정적인 결과를 나타내어 어체 크기에 영향을 받는 것으로 보인다. 마취제의 사용은 ventilation의 정지로 인한 저산소증(hypoxaemia)을 유발하는 것과 같이, 혈중 카테콜아민 농도를 현저하게 상승시키는 스트레스 요인으로 간주될 수 있는 반면, 대부분의 경우에 마취시간동안 어체의 진정상태는 완전한 의식을 가지고 움직이는 어류를 취급할 때보다 상대적으로 적은 스트레스 조건을 제공한다고 생각된다.

본 연구에서 얻어진 마취제 농도별 마취시간, 회복시간, 마취 후 생존율 및 혈액생리학적 요인을 종합하여 볼 때, 소형어와 중형어 사이에 약간의 차이는 있지만 MS-222에서는 100~200 ppm, lidocaine-HCl에서는 400 ppm의 농도가 가장 우수한 마취효과를 나타내는 것으로 판정된다. 한편, MS-222나 lidocaine-HCl 중 어느 쪽이 어류용 마취제로서 우수한지는 단정짓기 어려운 것으로 생각된다. MS-222와 lidocaine-HCl은 어류에 대하여 독작용을 나타내지 않으나(정 등, 1994), 생리적 변화를 일으키는 것은 분명하다. 그러므로 MS-222나 lidocaine-HCl을 어류용 마취제로 사용하고자 할 때는 마취제의 마취효과 뿐만 아니라 생리적인 부작용을 고려하여 사용하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

요 약

조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 소형어와 중형어를 대상으로 MS-222와 lidocaine-HCl 마취농도에 따른 마취 및 회복시간과 혈액

생리학적 반응, 생존율 등을 조사하여 마취효과를 비교하였다. 마취농도에 따른 마취시간은 MS-222와 lidocaine-HCl 모두에서 마취농도가 증가함에 따라 마취시간이 유의하게 감소하였다. 어체크기에 따른 마취시간은 소형어(평균전장 18.2±1.0 cm, 평균체중 100.6±21.1 g)보다는 중형어(평균전장 14.2±0.9 cm, 평균체중 51.3±10.5 g)에서 길었다. 그러나 회복시간은 MS-222와 lidocaine-HCl 모두에서 농도가 증가함에 따라 회복시간이 길어졌다. 회복시간은 소형어보다는 중형어에서 더욱 짧았다.

마취농도에 따른 cortisol 농도는 MS-222 300 ppm에서 마취 6시간 후 96.1±12.1 ng/ml로 가장 높은 값을 나타내었으나, 실험 종료시까지 모든 실험구에서 실험 개시전 보다 높은 수준을 보였다. Lidocaine-HCl도 모든 실험구에서 실험 종료시까지 실험 개시전보다 높은 값을 나타냈다. Glucose 농도는 소형어의 경우 MS-222 마취 1시간 후 30.3±15.4~69.5±23.2 mg/dl로 다소 높았으나 마취 6시간 후에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 중형어는 소형어 보다 다소 높은 농도를 나타내었으나 12시간 후에는 실험 개시전 수준으로 회복되었다. Lidocaine-HCl의 경우는 MS-222와 비슷한 경향을 보였다. Na⁺ 농도는 모든 실험구에서 실험 개시전과 차이를 나타내지 않았다. K⁺ 농도는 소형어에서 MS-222 마취 1시간 후 5.2±1.4~6.7±1.2 mEq/L의 범위로 유의하게 높았지만 마취 6시간 후 실험 개시전 수준으로 회복되었다. 중형어는 유의한 차이를 보이지 않았다. Lidocaine-HCl의 경우, K⁺ 농도는 모든 실험구에서 실험 개시전과 차이를 나타내지 않았다. 삼투질 농도는 MS-222에서 317.0±4.0~362.0±12.9 mOsm/kg의 범위를 보였으며, lidocaine-HCl의 경우에도 유사한 경향을 나타냈다.

MS-222 마취에서는 모든 실험농도에서, lidocaine-HCl 마취에서는 300~400 ppm에서 95% 이상의 생존율을 나타냈다.

조피볼락의 소형어 및 중형어에 대한 마취제로서 MS-222와 lidocaine-HCl의 농도는 각각 100~200 ppm, 400 ppm이 적합할 것으로 판정된다.

참고문헌

- Avella, M., G. Young, P. Prunet and C. B. Schreck, 1990. Plasma prolactin and cortisol concentrations during salinity challenges of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) at smolt and post-smolt stages. *Aquaculture*, 91, 359-372.
- Barton, B. A. and R. E. Peter, 1982. Plasma cortisol stress response in fingerling rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson to various transport condition, anaesthesia and cold shock. *J. Fish Biol.*, 20, 39-51.
- Carrasco, S., H. Sumano and F. Navahro-Fierro, 1984. The use of lidocaine sodium bicarbonate as anaesthetic in fish. *Aquaculture*, 41, 395-398.
- Davis, K. B. and B. R. Griffin, 2004. Physiological responses of hybrid striped bass under sedation by several anesthetics. *Aquaculture*, 233, 531-548.
- Davis, K. B., N. C. Parker and M. A. Suttle, 1982. Plasma corticosteroids and chlorides in striped bass exposed to tricaine methanesulfonate, quinaldine, etomidate and salt. *Prog. Fish Cult.*, 44, 205-207.
- Donaldson, E.M., 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. (in) *Stress in Fish* (ed.) Pickering, A. D., Academic Press, London, pp. 11-47.
- Ferreira, J. T., H. T. Schoonbe and G. L. Smit, 1984. The anaesthetic potency of benzocaine-hydrochloride in three freshwater fish species. *South African J. Zool.*, 19, 46-50.
- Iversen, M., B. Finstad, R. S. McKinley and R. A. Eliassen, 2003. The efficacy of metomidate, clove oil, AQUI-STM and Benzozak[®] as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity. *Aquaculture*, 221, 549-566.
- Massee, K. C., M. B. Rust, R. W. Hardy and R. R. Stickney, 1995. The effectiveness of tricaine, quinaldine sulfate and metomidate as anesthetics for larval fish. *Aquaculture*, 134, 351-359.
- Mattson, N. S. and T. H. Ripple, 1989. Metomidate, a better anesthetic for cod (*Gadus morhua*) in comparison with benzocaine, MS-222, chlorobutanol, and phenoxyethanol. *Aquaculture*, 83, 89-94.
- Morales, A. E., L. Garcia-Rejon and M. De La Higuera, 1990. Influence of handling and/or anaesthesia on stress response in rainbow trout: effects on liver primary metabolism. *Comp. Biochem. Physiol.*, 95, 87-93.
- Pickering, A. D., 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. *Aquaculture*, 100, 125-139.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger and J. F. Carragher, 1989. Differences in the sensitivity of brown trout, *Salmo trutta*, and rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, to physiological doses of cortisol. *J. Fish Biol.*, 34, 757-768.
- Pirhonen, J. and C. B. Schreck, 2003. Effects of anaesthesia with MS-222, clove oil and CO₂ on feed intake and plasma cortisol in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 220, 507-514.
- Robertson, L., P. Thomas and C. R. Arnold, 1988. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops cellatus*) to several transportation procedure. *Aquaculture*, 68, 115-130.
- Robertson, L., P. Thomas, C. R. Arnold and J. M. Trant, 1987. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density and disease outbreak. *Prog. Fish-Cult.*, 49, 1-12.
- Sado, E. K., 1985. Influence of the anesthetic quinaldine on some tilapias. *Aquaculture*, 46, 55-62.
- Schreck, C. B., 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, 28, 241-249.
- Siwicki, A., 1984. New anesthetic for fish. *Aquaculture*, 38, 171-176.
- Small, B. C., 2003. Anesthetic efficacy of metomidate and comparison of plasma cortisol responses to tricaine methanesulfonate, quinaldine and clove oil anesthetized channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 218, 177-185.
- Son, M. H., M. W. Park, J. I. Myeong, D. J. Kim, B. H. Kim, Q.

- T. Jo and I. G. Jeon, 2001. Anaesthetic tolerance of juvenile black rockfish, *Sebastes schlegeli*, produced for wild stock enhancement. *Ocean Polar Res.*, 23, 285-290.
- Strange, R. J. and C. B. Schreck, 1978. Anesthetic and handling stress on survival and cortisol concentration in yearling chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 35, 345-349.
- Summerfelt, R. C. and L. S. Smith, 1990. Anesthesia, surgery, and related techniques. (in) *Methods for Fish Biology* (ed.), C. B. Schreck and P. B. Moyle, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, p. 213-272.
- Thomas, P. and J. M. Neff, 1985. Plasma corticosteroid and glucose responses to pollutants in striped mullet: different effects of naphthalene, benzoapyrene and cadmium exposure. in: A. Calabrese, F.P. Thurberg, F.J. Vemberg and W.B. Vemberg (Editors), *Marine Pollution and Physiology*. University of South Carolina Press, Columbia, SC, p. 63-82.
- Tort, L., M. Puigcerver, S. Crespo and F. Padrós, 2002. Cortisol and haematological response in sea bream and trout subjected to the anaesthetics clove oil and 2-phenoxyethanol. *Aquacult. Res.*, 33, 907-910.
- Wendelaar Bonga, S. E., 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 77, 591-625.
- Westerfield, M., 1993. *The Zebrafish Book*. University of Oregon Press, Eugene, OR. 342 pp.
- 김동수, 방인철, 전세규, 김연환, 1988. 인체용 마취제인 리도카인이 수종의 양식어류에 미치는 효과. *한국어병학회지*, 1, 59-64.
- 박인석, 김정혜, 정장방, 임재현, 1998a, 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus*와 버들개 *R. steindachneri*에 대한 리도카인의 마취 효과. *한국양식학회지*, 11, 59-66.
- 박인석, 김종만, 김연환, 김동수, 1988. 해산어류에 대한 리도카인의 마취효과. *한국어병학회지*, 1, 123-130.
- 박인석, 임철호, 최문술, 1998b. 버들개 *Rhynchocypris oxycephalus* 운송을 위한 마취제 lidocaine-hydrochloride의 평가. *한국수산학회지*, 31, 785-790.
- 박인석, 조진희, 이수진, 김유아, 박기의, 허준욱, 유종수, 송영채, 2003. 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*)에 대한 염산리도카인-중탄산나트륨과 MS-222의 마취효과. *한국수산학회지*, 36, 449-453.
- 박인석, 허준욱, 송영채, 임재현, S. C. Johnson, 2004. Winter flounder, *Pleuronectes americanus*에 대한 염산리도카인-중탄산나트륨의 마취효과. *Ocean Polar Res.*, 26, 475-480.
- 장영진, 허준욱, 1999. 사육수의 급격한 염분변화에 따른 송어(*Mugil cephalus*)와 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응. *한국수산학회지*, 32, 310-316.
- 정준기, 정순윤, 이태웅, 최동립, 1994. Lidocaine이 잉어(*Cyprinus carpio*)의 혈액성상에 미치는 영향. *한국어병학회지*, 7, 53-62.
- 허준욱, 박인석, 고강희, 장영진, 2005. 마취 수술에 따른 양식 은어(*Plecoglossus altivelis*)의 혈액성상 변화. *Ocean Polar Res.*, 27, 59-65.
- 허준욱, 장영진, 이복규, 이정열, 2003a. 저염분에서 사육한 양식 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 생리적 반응, 성장 및 생존율. *한국어류학회지*, 15, 77-86.
- 허준욱, 장영진, 임한규, 이복규, 2001. 양식어류의 선별과정중 수심감소와 어류의 수조이동에 따른 스트레스 반응. *한국수산학회지*, 34, 465-472.
- 허준욱, 최철영, 장영진, William H. Neill, 2003b. 가두기와 활어수송 스트레스가 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 생리 조건에 미치는 영향. *한국양식학회지*, 16, 135-141.

원고접수 : 2005년 6월 7일

수정본 수리 : 2005년 10월 10일