

빈산소와 철에 대한 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 생태생리적 반응 및 회복

II. 철에 노출된 넙치의 생존, 대사 및 조직학적 변화

강주찬 · 이정식* · 지정훈
부경대학교 수산생명의학과, *여수대학교 어병학과

Ecophysiological Responses and Subsequent Recovery of the Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* Exposed to Hypoxia and Iron

II. Survival, Metabolic and Histological Changes of the Olive Flounder Exposed to Iron

Ju-Chan KANG, Jung-Sick LEE* and Jung-Hoon JEE

Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

*Department of Fish Pathology, Yosun National University, Yosun 550-749, Korea

The effects of iron on gill tissue and metabolic rate represented by oxygen consumption of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* were determined. The effects were further studied by means of survival rate of the fish exposed to a serial concentrations of iron. The olive flounder exposed to iron concentrations over 0.93 mg/l showed curvature and terminal clubbing of gill lamellae at 2 weeks post-exposure. In iron concentration 4.89 mg/l, gill of the fish were seriously damaged just after 2 weeks, showing hyperplasia of filament epithelia, deformation of lamella epithelia, chloride cell damage, and separation of lamella epithelial layer. Gills exposed to 9.78 mg/l iron concentration resulted in fusion and necrosis of the lamellae after 2 weeks. Significant decreases of metabolic rate of the fish were observed after 4 weeks at iron concentration 0.93 mg/l and after 2 weeks at iron concentrations over 4.89 mg/l. Survival rate of the olive flounder decreased significantly after 4 weeks at the iron concentration over 4.89 mg/l. These results lead us to conclude that, as far as the iron effects are concerned, its concentrations should not exceed at least more than 0.93 mg/l in the fish farm and coastal waters for normal growth of the olive flounder.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, iron, metabolism, survival, gill tissue

서 론

최근 한국의 연안은 산업폐수 등에 의해 오염해역이 날로 확대되는 실정에 있으며, 이에 따라 연안에 서식하는 수산동물에 많은 피해를 미치고 있다. 통상 수산용수는 각각의 수산대상동물에 적합한 환경요인으로 전체가 구성되어야 하며, 수산용수의 적합성은 항상성 요인을 주체로 하여 그것에 따른 변동요인에 대하여 수산동물의 생산성 등에 깊이 관여하는 항목이 첨가되어 판단하게 되는데, 이를 기준으로 할 때 한국 연안의 수산환경은 중금속 등의 유입에 의해 극히 변동성이 강하다 (Lee et al., 1986; Lee et al., 1988; Yang and Kim, 1994). 일반적으로 연안에 존재하는 중금속과 같은 오염물질은 어류의 생리대사를 규제하기 때문에 생산성에 많은 악영향을 미치게 된다. 즉, 중금속이 존재하는 연안에 서식하는 어류는 이에 관련한 여러 가지 측면에서 많은 저해영향 및 체내축적이 일어나며, 극단적인 경우에는 사망을 초래하게 된다 (Negilski, 1976; Somasundaram, 1985; Hutchinson et al., 1994; Romeo et al., 1994; Shazili, 1995).

한편, 중금속 중에서도 철은 그 농도에 따라 영양 혹은 독성으로 작용하기 때문에 독성과 영양의 정도를 구명하는 것은 대단히 어려운 문제중의 하나이다. 즉, 어류의 체내에 철의 결핍은 여러 가지 병상을 유발시키지만 (Delbert et al., 1986; Kirchgessner and Schwarz, 1986), 과량으로 존재할 경우에는 독성작용을 일으킨다 (Kang and Kim, 1999). 따라서, 어류에 대한 철의 영향은 영양의 정도뿐만 아니라 독성의 관점에서도 충분히 연구가 진행되어야

할 것이다. 그러나, 지금까지 수생동물에 미치는 철의 독성은 무척추동물을 대상으로 몇몇의 보고가 있을 뿐 (Gajbhiye and Hirota, 1990; Mullick and Konar, 1991), 어류에 대한 연구는 극히 미비하다.

연안해역의 철은 일반적으로 육상으로부터 유입 혹은 빈산소형성에 따른 저질로부터 용출 등에 의해 존재하게 되는데 (Gavis and Grant, 1986), 한국 연안에서도 0.1~2.5 mg/l 범위 양이 검출되고 있다 (Kwang et al., 1979; Lee et al., 1986). 따라서 연안 정착성 어류에 미치는 철의 독성을 파악하기 위한 연구의 일환으로 넙치의 성장률 중심으로 전보에 보고하였고 (Kang and Kim, 1999), 본 연구에서는 철의 만성적 조건하에서 조직, 대사 및 생존의 변화를 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험어

넙치 치어는 육상수조식 양식장에서 분양 받아 실험실로 운반한 후, 400 l 순환여과식 수조에서 한달 이상 순화시킨 개체를 사용하였다. 이때 수온, pH, 염분 및 용존산소는 각각 19.9~21.5°C, 7.9~8.3, 32.7~33.2‰, 7.2~7.6 mg/l였고, 먹이로는 넙치 치어용 부상사료를 공급하였다. 이와 같은 조건에서 순화시킨 넙치 중 외관상 질병의 증세가 나타나지 않은 체장 13.7~14.4 cm, 체중 57.2~63.4 g의 대체로 유사한 크기의 건강한 개체를 사용하였다.

2. 실험방법

실험은 사각 PVC수조 (52×36×30 cm)를 사용하여 순환식 방법에 의하여 12주간 실시하였다. 넙치는 각 실험구별 10마리를 수용하여 2회 반복실험을 하였다. 실험용액은 황산철 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)을 사용하여 stock 용액을 조제하여 예비실험을 바탕으로 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 mg/ℓ의 5개의 농도구를 stock 용액의 희석에 의하여 설정하였다. 실험기간 중의 철 농도는 phenanthroline법으로 측정하였고, 기타 수질에 대해서도 3일마다 측정하였다 (APHA, 1985). 또한, 실험에 사용한 해수의 수질은 Table 1과 같으며, 모든 실험은 수온 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 조절이 가능한 항온실에서 실시하였다.

3. 조직관찰

광학현미경 관찰용 조직표본은 아가미 뚜껑 쪽의 첫 번째 아가미를 절취하여 각각 10% 중성 포르말린과 Bouin's solution에 일정시간 고정된 후, 파라핀 포매법에 의하여 두께 5~6 μm 의 횡단면과 종단면의 연속절편을 만들었다. 제작된 조직표본은 Mayer's hematoxylin과 0.5% eosin (H-E)의 비교염색, Mallory 삼중염색 그리고 periodic acid-Schiff (PAS) 반응과 Quincke 반응을 실시하였다.

4. 대사측정

넙치의 대사는 산소소비로 나타내었고, 산소소비는 12주간의 실험기간 동안 2주 간격으로 생존한 개체에 대하여 측정하였다 (Kang et al., 1995). 한편, 넙치를 측정수조에 수용하는 과정에서 받는 스트레스를 회복하기 위하여 예비실험으로부터 산소소비가 일정하게 되는 30분간을 측정수조에서 안정시킨 다음 측정하였다. 측정은 온도 $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 염분 $33 \pm 0.1\text{‰}$ 에서 1시간 실시하였다.

Table 1. The chemical components of seawater used in the experiments

Item	Value
Temperature ($^\circ\text{C}$)	20.0
Salinity (‰)	31.8
pH	8.03
Dissolved oxygen (mg/ℓ)	7.25
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ ($\mu\text{g-at N}/\ell$)	0.038
$\text{NO}_2^-\text{-N}$ ($\mu\text{g-at N}/\ell$)	0.029
$\text{NO}_3^-\text{-N}$ ($\mu\text{g-at N}/\ell$)	0.823
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ($\mu\text{g-at P}/\ell$)	0.039
Suspended solid (mg/ℓ)	10.3
Iron ($\mu\text{g}/\ell$)	5.23

실험 후, 넙치는 건중량을 측정하여 각 실험구의 평균산소소비량은 단위건중량당 산소 소비량으로 나타내었고, 대조구와 실험구사이의 산소소비량의 차이는 Mann-Whitney U-test (Conover, 1980)에 의해 검정하였다.

5. 생존측정

넙치의 생존율은 유사한 크기의 넙치를 선발하여 12주간 실시하였다. 대조구를 비롯한 각 실험구에 각각 10마리씩의 넙치를 수용하여 24시간마다 사망한 개체를 조사한 후 먹다 남은 먹이와 함께 실험수조로부터 제거하였다. 결과는 2회 반복 실험의 평균치로부터 12주 후의 대조구와 실험구사이의 생존율 차이를 ANOVA에 의해 검정하였다.

결 과

1. 실험환경

12주간의 실험기간동안 철 및 기타 수질환경조사 결과를 전기간의 평균값으로 Table 2에 나타내었다. 5개의 실험구 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 및 10.0 mg/ℓ로 조절된 철 농도는 각각 0.12, 0.42, 0.93, 4.89 및 9.78 mg/ℓ로 설정목표보다 대부분 낮은 값을 나타냈었으나, 변동폭은 0.031~0.069 mg/ℓ로 그다지 큰 변화는 없었다. 또한, 수온은 항온실에서 실험을 실시한 결과로 인하여 모든 실험에서 대체로 변동폭이 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 범위에서 거의 일정하게 유지되었고, 염분, pH 및 용존산소도 다소의 변화는 있으나 대부분 일정하게 유지되었다.

2. 조직변화

넙치의 아가미는 다른 경골어류와 마찬가지로 새엽과 새판으로 구성되며, 새판은 지지세포, 점액분비세포 및 염류세포 등으로 구성된다. 대조구의 넙치 아가미 조직상은 실험 종료까지 뚜렷한 변화양상을 보이지는 않았다 (Fig. 1, A, B). 그리고 Quincke 반응 결과 아가미 조직 내에서 철의 축적은 나타나지 않았다. 철에 노출된 넙치 아가미의 형태 및 조직학적 변화양상은 0.93 mg/ℓ 이상 농도에서 2주 후부터 조사개체 가운데 50% 이상이 뚜렷하게 나타나기 시작하였다. 이때 새판은 중간 부위의 만곡현상을 나타냈으며, 새판의 말단부에서는 초기 곤봉화 현상을 보였다 (Fig. 1, C). 또한 새엽 상피층의 상피세포들이 증식되면서 초기의 병리조직상을 보였다 (Fig. 1, D). 이러한 변화양상은 새판 말단부에서 상피세포의 증식으로 인한 거대 곤봉화와 새판 상피세포의 파괴 및

Table 2. Variation of iron concentration and water quality during each experiments: Data are presented as mean \pm SD (n=30)

Test vessel number	Fixed iron concentration (mg/ℓ)	Iron con. during test (mg/ℓ)	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Salinity (‰)	pH	Dissolved oxygen (mg/ℓ)
1	Control	NCS*	20.2 ± 0.48	32.2 ± 1.05	7.8 ± 0.13	7.2 ± 1.58
2	0.1	0.12 ± 0.031	20.1 ± 0.44	32.1 ± 1.01	7.9 ± 0.10	7.0 ± 1.21
3	0.5	0.42 ± 0.029	20.2 ± 0.50	32.3 ± 1.06	7.7 ± 0.18	6.9 ± 1.58
4	1.0	0.93 ± 0.036	20.1 ± 0.55	32.4 ± 1.07	7.9 ± 0.17	7.1 ± 1.37
5	5.0	4.89 ± 0.053	20.2 ± 0.51	32.2 ± 1.04	7.7 ± 0.12	7.0 ± 1.15
6	10.0	9.78 ± 0.069	20.1 ± 0.47	32.3 ± 1.06	7.8 ± 0.15	7.3 ± 1.67

*Natural concentration in seawater : 5.23 $\mu\text{g}/\ell$

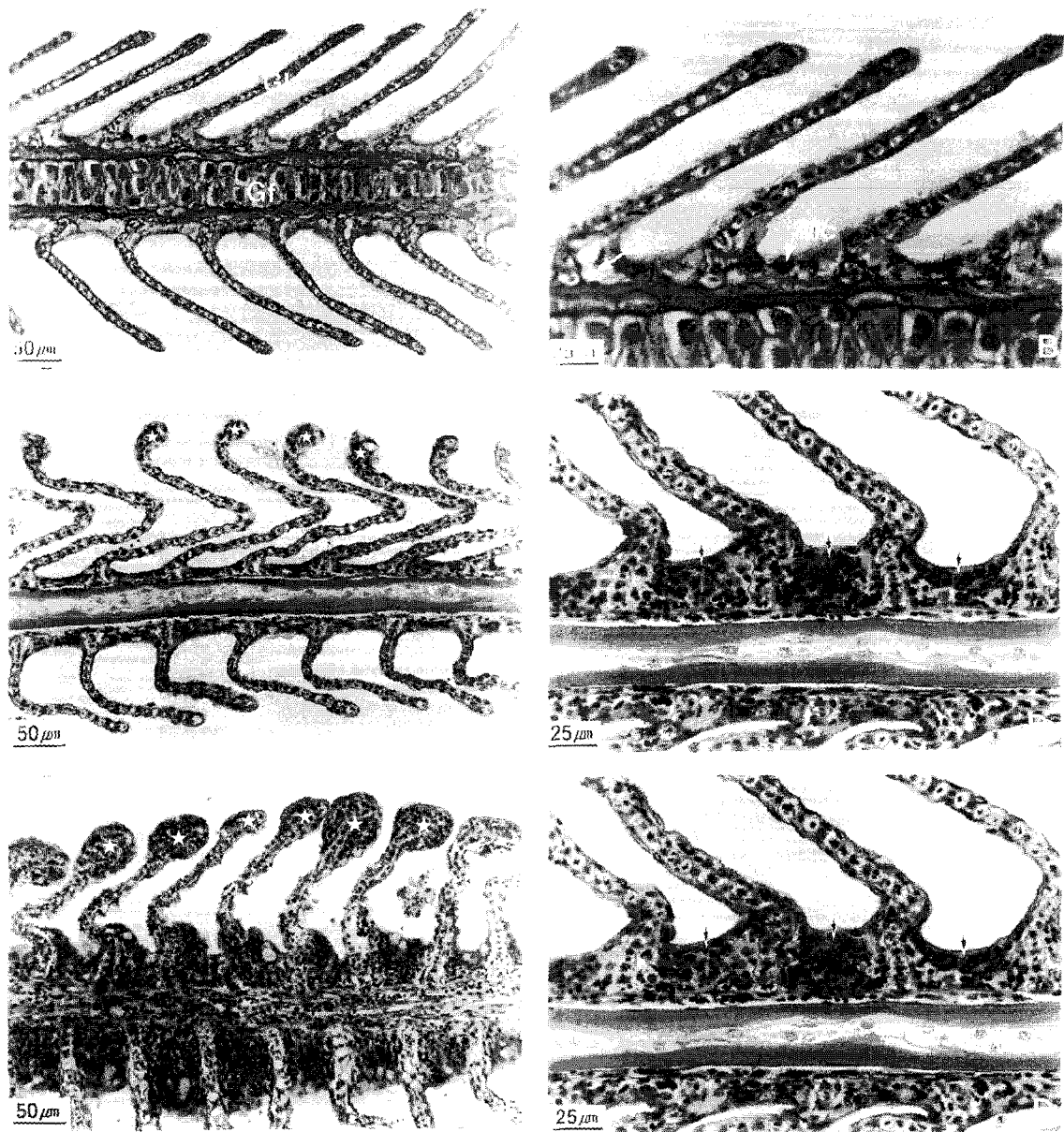


Fig. 1. Histopathology of gill of the *Paralichthys olivaceus* exposed to iron at week two. A and B: Longitudinal sections of gill in control group. C: Gill of exposed to 0.93 mg/l concentration showing the curvature and terminal clubbing (☆) of gill lamella. D: Gill of exposed to 0.93 mg/l showing the hyperplasia (↓) of gill filament epithelia. E and F: Gill of exposed to 4.89 mg/l showing the expanded terminal clubbing (☆) and extensive hyperplasia (↓) of the filament epithelia and damaged chloride cell. Cc, chloride cell; Ec, epithelial cell; Gf, gill filament; Gl, gill lamellae; Mc, mucous secretory cell.

탈락 (Fig. 1, E), 그리고 새판 상피세포들의 대량증식과 변형된 염세포의 증가 등으로 진행된다 (Fig. 1, F). 그리고 일부 개체에서는 새판 상피층의 박리현상을 보이기도 하였다 (Fig. 2, A). 철 농도 4.89 mg/l에서 아가미는 새판 중간 부분의 상피 세포들이 대량 증식되면서 전체적인 형태의 변형을 보이는데 (Fig. 2, B), 9.78 mg/l 농도에서 아가미는 이러한 현상이 더욱 심해져 새판 상피세포들이 전체적으로 증식됨으로서 새판과 새판 사이의 공간은 아주 좁아진 상태를 보였다 (Fig. 2, C). 이러한 양상은 실험 종료까지 9.78 mg/l 농도구에서 조사 개체의 80% 이상이 나타났으며, 실험 도중 9.78 mg/l 농도에서 사망한 개체에서는 새판 상피세포들의

대량 증식으로 인한 새판의 융합과 괴사현상으로 새판의 형태를 분간하기 어려운 조직상을 보였다 (Fig. 2, D).

3. 대사

철에 노출시킨 넙치의 산소소비량은 12주간의 실험기간동안 0.12 mg/l 농도에서는 대조구의 유사한 경향을 나타내었고, 0.42 mg/l 농도에서는 대조구에 비해 조금 감소하는 현상을 나타내었으나, 유의한 차이는 인정되지 않았다. 넙치의 산소소비량이 뚜렷하게 감소되는 현상은 철 농도 0.93 mg/l 이상에서 관찰되었다. 즉, 철에 노출시킨 넙치의 산소소비량은 0.93 mg/l 농도에서 실험 2주

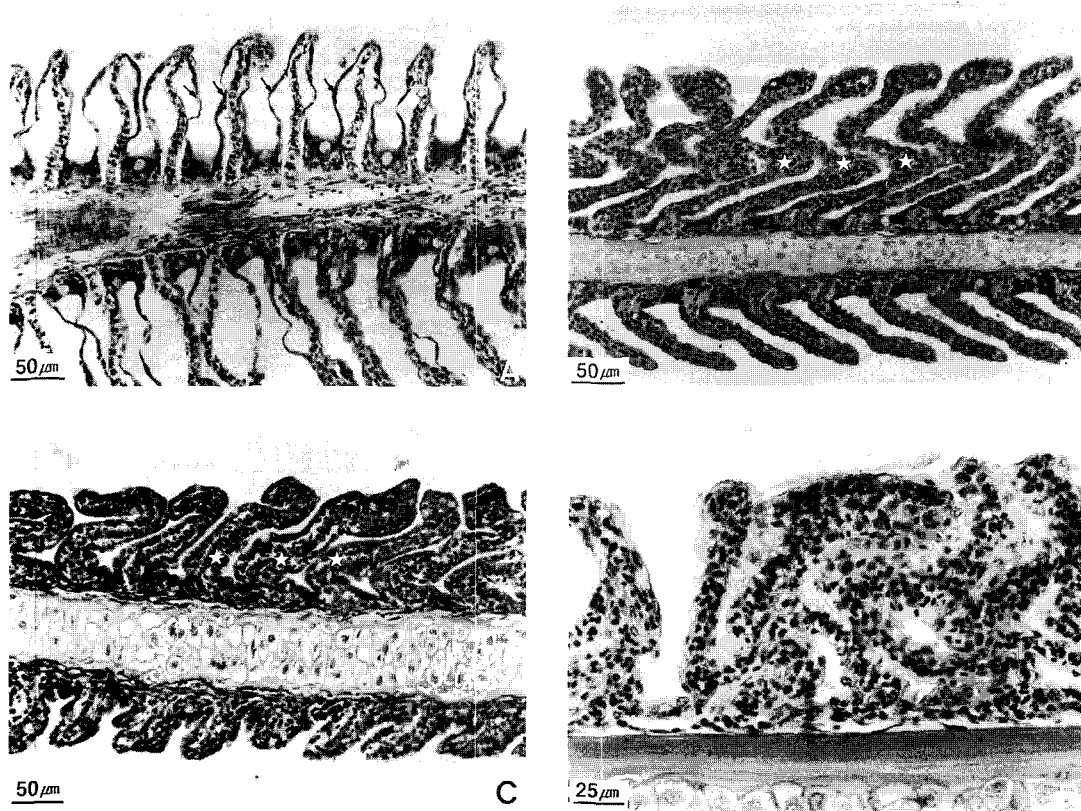


Fig. 2. Histopathology of gill of the *Paralichthys olivaceus* exposed to iron at week two. A: Gill of exposed to 4.89 mg/l showing the separation (\downarrow) of epithelial layer of the lamella. B: Gill of exposed to 4.89 mg/l showing the changed contour and hyperplasia (\star) of gill lamellae. C: Gill of exposed to 9.78 mg/l showing the extensive hyperplasia and fusion (\star) of the lamellae. D: Gill of exposed to 9.78 mg/l showing the deformation and necrosis of the lamellae.

후부터 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었고 ($P < 0.05$, Fig. 3), 실험종료시 0.93, 4.89, 9.78 mg/l 농도에서는 대조구에 비해 각각 37.1, 43.5 및 53.2%가 감소하였다 (Table 3).

4. 생존

넙치는 대조구를 비롯하여 0.42 mg/l 이하의 철 농도에서는 실험 전 기간 동안 사망 개체가 전혀 관찰되지 않아 100%의 생존율을 나타내었다. 또한, 철 농도 0.93 mg/l에 노출시킨 개체는 실험 8주부터 10주 사이에 평균 3개체가 사망하여 92.5%의 생존율을 나타냈으나, 이후 생존율 감소는 관찰되지 않았다. 한편, 지속적으로 생존율 감소가 관찰된 실험구는 철 농도 4.89 mg/l 이상의 실험구이었다 (Fig. 4). 즉, 넙치의 생존율은 철 농도 4.89 mg/l에서 실험 5주 후, 9.78 mg/l 농도에서는 4주 후부터 사망 개체가 관찰되기 시작하여 12주 후의 실험종료시 4.89 mg/l 이상의 농도에서는 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었다 ($P < 0.05$).

고 찰

중금속이 존재하는 해역에 서식하는 어류는 중금속에 관련하여 여러 가지 측면에서 그들의 생리생태에 많은 저해영향을 받게

되고, 극단적인 경우에는 사망을 초래하는 경우도 있다. 그러나, 철과 같은 중금속은 어류에 영양소로 작용하는 경우가 있기 때문에 때때로 이들의 결핍은 여러 가지 병상을 유발하며 (Delbert et al., 1986; Kirchgessner and Schwarz, 1986), 또한 과량으로 존재할 경우에는 독성작용을 일으킨다. 수생동물에 대한 철의 독성에 관해서는 무척추동물을 대상으로 몇몇의 연구가 있으나 (Gajbhiye and Hirota, 1990; Mullick, and Konar, 1991), 이들 자료는 급성 독성의 관점에서 사망에 관련된 극단적인 결과에 불과하며, 만성적 독성에 관한 결과, 특히 어류에 관한 것은 극히 미흡하다. 따라서, 철과 같은 중금속을 대상으로 어류에 대한 독성의 관점에서 이들의 특성을 이해하는 것이 요구되며, 이를 판단하기 위한 방법으로 철의 만성적 조건하에서 어류의 관련된 아가미조직, 대사 및 생존의 변화를 파악하는 것도 하나의 방법일 것이다.

철에 노출시킨 넙치 아가미의 뚜렷한 조직학적 변화양상은 0.93 mg/l 농도에서 실험 2주 후부터 50% 이상의 개체에서 나타내기 시작하였다. 이때, 아가미의 새판은 만곡현상을 나타냈으며, 새판의 말단부에는 초기 곤봉화 현상을 보였다. 이러한 변화양상은 새판 말단부에서 상피세포의 증식으로 인한 거대 곤봉화, 상피세포의 파괴 및 새엽 상피세포들의 대량증식과 변형된 염세포의 증가 등으로 진행되었다. 또한, 일부 개체에서는 새판 상피층의 박리

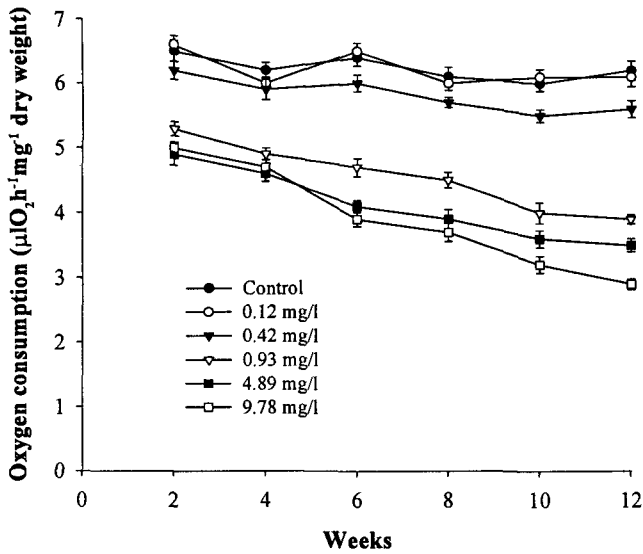


Fig. 3. Oxygen consumption rate of *Paralichthys olivaceus* exposed to various iron concentrations for 12 weeks.

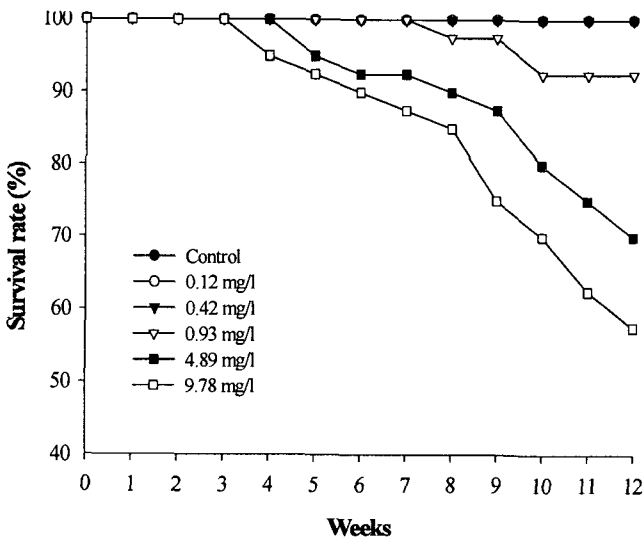


Fig. 4. Survival rate of *Paralichthys olivaceus* exposed to various iron concentrations for 12 weeks.

현상, 피사 및 새판의 융합 등으로 나타났으며, 이 같은 손상정도는 철 농도가 증가함에 따라 더욱더 심하게 나타났다.

일반적으로 어류는 먹이 혹은 환경수중에 존재하는 중금속이 체내로 흡수되는 과정, 그리고 흡수된 중금속이 순환기를 통해 순환되는 과정에서 아가미의 손상을 받게된다. 그리고, 이들 아가미의 손상은 여러 가지 증상으로 나타나는데, 통상 수은, 카드뮴, 구리, 납, 니켈 및 아연 등에 의해 상피의 융기, 비대, 울혈, 염류세포의 손상, 피사, 비대 및 새판의 융합 등의 형태로 나타나며, 이들 조직학적 손상정도는 중금속의 농도에 따라 상이하게 나타난다 (Olson et al., 1973; Hughes et al., 1979; Tuurala and Soivio, 1982; Sippel et al., 1983; Wilson and Taylor, 1993).

이상과 같이 기존의 연구에 의하면, 대부분의 중금속은 어류 아가미의 손상을 유발시키고 있으며, 본 실험의 철에 노출된 넙치

Table 3. Oxygen consumption rates of *Paralichthys olivaceus* for various iron concentrations after 3 months. Data are presented as mean \pm SD

Iron con. (mg/l)	n	weight (g)	Respiration rate ($\mu\text{lO}_2\text{h}^{-1}\text{mg}^{-1}$ dry weight)
Control	12	73.3 \pm 4.08 (64.9~82.2)	6.2 \pm 0.15 (5.7~7.7)
0.12	13	74.2 \pm 3.14 (63.1~79.8)	6.5 \pm 0.12 (5.5~7.3)
0.42	11	70.8 \pm 2.43 (61.5~77.6)	5.6 \pm 0.13 (4.7~6.5)
0.93*	9	69.3 \pm 1.52 (60.2~74.8)	3.9 \pm 0.07 (2.9~4.3)
4.89*	10	71.1 \pm 3.01 (59.3~80.1)	3.5 \pm 0.10 (2.6~4.4)
9.78*	7	67.8 \pm 1.23 (58.9~72.3)	2.9 \pm 0.08 (1.8~3.0)

*Asterisks indicate significant difference from the control ($P < 0.05$)

또한 다른 중금속과 마찬가지로 다양한 아가미 조직의 손상이 관찰되었다. 따라서, 철에 노출된 넙치는 철 농도에 따라 정도는 다르지만 아가미의 많은 부분에 손상을 가져올 것이며, 특히 철 농도 0.93 mg/l 이상에서 노출 2주 후부터 뚜렷한 손상이 나타날 것으로 사료된다.

어류의 호흡기는 구강, 1쌍의 새개강 및 아가미로 이루어져 있으며, 환수는 구강과 새개강의 이완과 수축에 의해 일어난다. 따라서, 아가미 등의 손상은 호흡활동에 영향을 미치게 되고, 일반적으로 중금속에 노출된 어류는 새판의 손상으로 인해 호흡곤란을 일으켜 호흡률 감소의 원인이 된다 (McKim and Goeden, 1982; Tuurala and Soivio, 1982; Sippel et al., 1983).

철에 노출시킨 넙치의 산소소비율은 철 농도 0.42 mg/l 이하에서 12주간의 실험기간 동안 정상적으로 관찰되었으나, 0.93 mg/l 농도에서 2주 후부터 유의한 감소가 관찰되었다. 또한, 12주 후의 실험종료시 넙치의 산소소비율은 대조구에 비해 철 농도 0.93, 4.89 및 9.78 mg/l에서 각각 37.1, 43.5 및 53.2%의 감소를 보였다.

이상의 결과들은 철에 노출된 넙치 산소소비는 다른 중금속들과 마찬가지로 lamella 등의 아가미손상에 의한 것으로 감소했다는 것을 의미하며, 이와 같은 결과는 철에 대한 넙치 아가미조직의 관찰에서 확인되었다. 따라서, 철에 노출된 넙치는 0.93 mg/l 이상의 농도에서 아가미 손상으로 인해 적어도 노출 2주 후부터 대사활동에 많은 저해영향을 받을 것으로 사료된다.

철에 노출된 넙치는 0.42 mg/l 이하의 농도에서는 실험 전기간동안 사망개체가 관찰되지 않았고, 0.93 mg/l 농도에서는 실험 8주에서 10주 사이에 7.5%가 사망하였으며, 이후 사망개체는 관찰되지 않았으나, 철 농도 4.89 mg/l 이상에서는 사망개체가 계속적으로 관찰되었다. 즉, 철의 노출에 의한 넙치의 생존율은 4.89, 9.78 mg/l 농도에서 각각 실험 5주 및 4주째에 감소하기 시작하여 12주 후에는 유의한 감소를 나타내었다.

어류의 사망을 일으키는 철의 독성기구에 대해서 아직 뚜렷하게 밝혀진 바가 없기 때문에 이를 해명하는 것은 대단히 어려운 문제 중의 하나이다. 그러나, Yayoi et al. (1986)에 의하면, 환경수중에 cadmium이 존재할 경우에 어류 체내에서 축적되는 중금속의 양은 신장에 가장 많고, 다음은 아가미와 간체장이라고 하였다. 그리고, 사료에 첨가하여 투여하거나 소화관에 직접 주사할 경우에는 소화관, 신장, 간체장 순으로 많이 축적한다고 하였다. 이와 같이 노출방법에 의해 어체내에 축적되는 중금속 양이 일부 상이

하게 나타나는 것은 각각의 흡수경로와 흡수기관이 다르기 때문이라고 정의하고 있으며, 환경수중의 중금속은 생존개체 보다 사망개체의 어류에서 아가미의 축적정도가 심하게 나타난다고 하였다. 또한, Mckim and Goeden (1982)에 의하면 중금속에 노출된 어류의 사망은 중금속 자체의 독성 등에도 원인이 있으나, 아가미의 손상 등에 의한 호흡곤란 등의 생리적 장애 등이 심한 경우에도 사망하게 된다고 하였다.

따라서, 철 농도 0.93 mg/l에서의 7.5%, 4.89 mg/l 이상에서 30% 이상의 넙치 사망은 과량의 철 노출에 의한 철 자체의 독성에도 기인될 수 있으나, 상기의 아가미 손상으로 인한 호흡곤란의 원인도 배제할 수 없을 것이다.

이상의 결과와 논의로부터 연안 해역 및 양식장 등에 0.93 mg/l 이상의 철 농도가 3개월 이상 지속될 경우, 넙치는 아가미 손상 및 대사활동의 저하 등으로 성장등에도 악영향을 받을 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 연안 환경오염 및 양식용수의 이용과정에서 파생될 수 있는 철 오염이 넙치의 생리적 변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 12주 동안의 만성적 조건하에서 그들의 조직, 대사 및 생존의 변화를 검토하였다.

철에 노출시킨 넙치 아가미의 뚜렷한 조직학적 변화양상은 0.93 mg/l 이상의 농도에서 2주 후부터 조사개체 중에 50% 이상이 나타났다. 이들의 변화양상은 새판의 만곡, 새판 말단부의 곤봉화, 상피세포의 파괴, 상피층의 박리현상, 괴사 및 새판의 융합 등으로 나타났으며, 이 같은 손상정도는 철 농도가 증가함에 따라 심하게 나타났다.

산소소비는 철 농도 0.42 mg/l 이하에서는 유의한 감소가 인정되지 않았으나, 0.93 mg/l 농도에서는 실험 2주 후부터 유의한 감소가 관찰되었고, 12주 후의 0.93, 4.89 및 9.78 mg/l 농도에서 각각 37.1, 43.5 및 53.2%가 감소하였다.

생존율은 0.42 mg/l 이하의 철 농도에서 100%가 관찰되었고, 0.93 mg/l 농도에서는 92.5%의 생존율을 보였으나, 유의한 감소는 철 농도 4.89 mg/l에서 실험 5주 후, 9.78 mg/l 농도에서는 4주 후부터 관찰되었다.

이상의 결과는 연안해역 및 양식장 등에 0.93 mg/l 이상의 철 농도가 존재할 경우, 넙치는 아가미의 손상 및 대사활동의 저하 등으로 인해 성장에도 악영향을 받을 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단에서 시행하는 핵심전문연구과제 (981-0614-072-2)의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- APHA (American Public Health Association), American Water Works and Water Pollution Control Federation, 1985, Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington, D. C. pp. 214~220.
- Conover, W.L. 1980. Practical nonparametric statistics, 2nd ed. John Wiley and Son, New York. pp. 20~25.
- Delbert, M., I. Gatlin and R.P. Wilson. 1986. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 52, 191~198.
- Gajbhiye, S.N and R. Hirota. 1990. Toxicity of heavy metals to brine shrimp *Artemia salina*. *J. Indian Fish. Assoc.*, 20, 43~50.
- Gavis, J and V. Grant, 1986. Sulfide, iron, manganese and phosphate in the water of the Chesapeake Bay during anoxia. *Estuar. Coast. Shelf. Sci* 23, 452~463.
- Hughes, G.M., S.F. Perry and V.M. Brown. 1979. A morphometric study of effects of nickel, chromium and cadmium on the secondary lamellae of rainbow trout gills. *Water Res.*, 13, 665~670.
- Hutchinson, T.H., T.D. Williams and G.J. Eales. 1994. Toxicity of cadmium, hexavalent chromium and copper to marine fish larvae and copepods. *Mar. Environ. Res.*, 38 (4), 275~290.
- Kang, J.C. and C.H. Kim. 1999. Ecophysiological Responses and Subsequent Recovery of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* Exposed to Hypoxia and Iron. I. Effect of iron concentration on the growth of olive flounder. *J. Korean Fish. Soc.*, 32 (3), 353~358 (in Korean).
- Kang, J.C., O. Matsuda and P. Chin. 1995. Combined effects of hypoxia and hydrogen sulfide on survival, feeding activity and metabolic rate of blue crab, *Portunus trituberculatus*. *J. Korean Fish. Soc.*, 28 (5), 549~556 (in Korean).
- Kirchgessner, M. and F.J. Schwarz. 1986. Mineral content (major and trace element) of carp (*Cyprinus carpio* L.) fed with different protein and energy supplies. *Aquaculture*, 54, 3~9.
- Kwang, W.L., H.S. Kwak, S.H. Lee and D.S. Lee. 1979. Heavy metals in the Korea coastal waters during summer of 1977. *J. of Ocean. Soc. Korea*, 14 (1), 1~5 (in Korean).
- Lee, K.W., D.S. Lee, S.H. Lee, and E. Matsumoto. 1988. History of heavy metals pollution in Masan and Ulsan Bay sediments. *Ocean Res.*, 10 (1) 7~13 (in Korean).
- Lee, S.H., E.S. Kim, S.H. Kim, J.R. Oh and K.W. Lee. 1986. Heavy metals in the surface waters of Kwangyang Bay during 1983~1984. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21 (3) 125~130 (in Korean).
- McKim, J.M. and H.M. Goeden. 1982. A direct measure of the uptake efficiency of a xenobiotic chemical across the gills of brook trout under normoxic and hypoxic conditions. *Comp. Biochem. Physiol.*, 72C, 65~69.
- Mullick, S and A.S. Konar. 1991. Combined effects of zinc, copper, iron and lead on plankton. *Environ. Ecol.*, 9 (1), 187~198.
- Negilski, D.S. 1976. Acute toxicity of zinc, cadmium and chromium to the marine fishes, yellow-eye mullet (*Aldrichetta forsteri*) and small-mouthed hardyhead (*Atherinasoma microstoma*). *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 27, 137~149.
- Olson, K.R., P.O. Fromm and W.L. Franz. 1973. Ultrastructural changes of rainbow trout gills exposed to methyl mercury or mercuric chloride. *Fed. Proc.*, 32, 261~267.

- Romeo, M., A. Mathien, A. Gnassia, A. Romana and A. Lafaurie. 1994. Heavy metal content and biotransformation enzymes in two fish species from the NW Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 107 (1), 15~22.
- Shazili, N.A. 1995. Effect of salinity and pre-exposure on acute cadmium toxicity to seabass, *Lates calcarifer*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 54 (1), 22~28.
- Sippel, A., J. Geraci and P. Hodson. 1983. Histopathological and physiological responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to sublethal levels of lead. *Water Res.*, 17, 1115~1121.
- Somasundaram, B. 1985. Effects of zinc on epidermal ultrastructure in the larva of *Clupea harengus*. *Mar. Biol.*, 85, 199~207.
- Tuurala, H. and A. Soivio. 1982. Structural and circulatory changes in the secondary lamellae of *Salmo gairdneri* gills after sublethal exposures to dehydroabietic acid and zinc. *Aquat. Toxicol.*, 2, 21~27.
- Wilson, R. and E. Taylor. 1993. The physiological responses of freshwater rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, during acutely lethal copper exposure. *J. Comp. Physiol. (B)*, 163, 38~43.
- Yayoi, K., J. Koyama and H. Ozaki. 1986. Heavy metal levels in tissues of fish exposed to cadmium. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 52 (12), 2055~2059.

1999년 7월 19일 접수

1999년 10월 12일 수리