

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

I. 넙치의 성장에 미치는 철의 영향

강주찬 · 김창훈*

부경대학교 수산생명의학과, *부경대학교 양식학과

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

Ju-Chan KANG, Chang-Hoon KIM*

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

*Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

This study is to find out the effects of various iron concentrations on growth, feeding and feed efficiency of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. The growth rate, feeding rate and feed efficiency of olive flounder in each experiments were represented by the relative value. The relative growth rate and relative feed efficiency of olive flounder were kept almost constant below the iron concentration of 1.0 mg/l, but were significantly decreased above the 5.0 mg/l iron concentration. The growth rate, feeding rate and feed efficiency of olive flounder exposed to 10.0 mg/l iron concentration were significantly decreased than that exposed to normal condition. From these results, it could be concluded that the high level of 5.0 mg/l iron concentration in the bottom water would curtail production of olive flounder in coastal area.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, iron, growth, feeding, feed efficiency

서 론

일반적으로 수중에 존재하는 중금속은 여기에 서식하는 어류에 많은 악영향을 미치고 있으며, 이와 같은 연유로 인하여 어류에 미치는 중금속 독성에 대해서는 여러 가지 각도에서 많은 연구들이 외국을 비롯하여 국내에서도 진행되고 있다. 그러나, 이들 대부분의 연구는 중금속 중에도 독성정도가 강한 수은, 카드뮴 및 구리 등에 관한 것이 대부분이며, 철에 대한 연구는 무척추동물을 대상으로 단편적인 보고가 있을 뿐 (Gajbhiye and Hirota, 1990; Mullick, and Konar, 1991), 어류에 대한 연구는 극히 미비한 실정이다. 이는 어류에 있어서 철은 독성적인 관점보다는 미량원소로서의 영양적인 관점에서 그 의미를 크게 부여하고 있기 때문이다 (Kirchgessner and Schwarz, 1986; Sakamoto and Yone, 1976; Delbert et al., 1986). 그러나, 이 (1997)에 의해 포유류에 대해 지금까지 밝혀진 철의 영향에 의하면, 포유류의 체내에 철이 과량으로 존재할 경우에는 사망을 하게 되는데 이는 철의 독성작용과 관련이 있다고 하였다. 그리고, 인간을 비롯한 대부분의 동물은 철에 대한 배설기구가 없기 때문에 결국 철의 독성은 이미 체내에 존재하는 철의 양에 좌우된다. 또한, 과도한 양의 철은 심장혈관계 장애를 유발하고, 모세혈관의 투과성을 항진시키며, 혈액량을 감소시켜 급속한 순환장애를 유발하게 되고, 간장의 손상은 철의 직접적인 작용에 의하여 일어난다. 그리고, 과량의 철은 장에서 철분흡수를 조절하는 기구의 파괴로 말미암아 철분흡수를 증가시키게 되어 철단백질 복합체를 형성하여 쇼크와 간장손상을 초래한다고 하였다. 이상과 같이 어류 및 포유류에 철은 미량원소로서 영양원으로 작용할 뿐만 아니라 과량으로 존재할 경우에는 독성

작용을 일으키기도 한다.

넙치는 우리 나라 환경 및 국민기호에 알맞은 양식대상 어종으로 해산어류 양식종 중에 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 또한, 넙치는 저서성이며, 이동범위가 다른 어류에 비해 좁기 때문에 연안의 철오염 혹은 양식용수의 이용과정에서 고농도의 철이 존재할 경우, 다른 어종에 비해 그 피해정도가 심할 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구는 연안역의 환경오염 및 양식용수의 이용과정에서 파생될 수 있는 철오염에 따른 넙치의 생산성을 간접적으로 파악하기 위하여 이에 관련된 넙치의 성장, 섭식 및 사료효율에 미치는 철의 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험어

넙치 치어는 육상수조식 양어장에서 분양 받아 실험실로 운반한 후, 400 l 순환여과식 수조에서 한달 이상 순치시킨 개체를 사용하였다. 즉, 넙치는 이동과정과 사육환경의 변화 등에 따른 스트레스로 인하여 때때로 섭식활동을 하지 않은 경우가 있기 때문에 먹이 불임을 하고, 실험조건에 적응시키기 위하여 실험실에서 한달 이상 순치 시켰다. 이때 수온, pH, 염분 및 용존산소는 각각 19.4~21.3°C, 7.8~8.1, 32.3~33.1‰, 7.5~7.8 mg/l이었고, 먹이로는 넙치치어용 부상사료를 공급하였다. 이와 같은 조건에서 순치시킨 넙치 중에 외관상 질병의 증세가 나타나지 않은 건강한 체장 14.9~16.5 cm, 체중 71.08~80.3 g의 개체를 사용하였다.

2. 실험방법

실험은 PVC수조 (52×36×30 cm)를 사용하여 순환식 방법을 의하여 실시하였고, 실험해수의 교환은 2일을 원칙으로 하였으나, 수질측정 결과에 따라 수시로 교환하였다. 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 철농도는 phenanthroline-법 (APHA, 1985)으로 측정하였고, 이 외의 수온 (봉상온도계), pH (pH meter, 250A, Orion Research Inc.), 염분 및 용존산소 (Water Checker, U-10, Horiba, Ltd.)에 대해서도 1일 1회 측정하였다. 실험에 사용한 해수의 수질은 Table 1과 같으며, 대조구는 철을 첨가하지 않은 같은 해수를 사용하였다. 또한, 모든 실험은 수온 $\pm 1^\circ\text{C}$ 의 조절이 가능한 항온실에서 실시 하였으며, 산소발생기에 의해 지속적으로 산소를 공급하였다. 이때 철농도는 일반적인 pH 범위에서 산화되어 불용성 현탁물질이 되어 침강하게 되고, 수중에는 이온상태로 존재하지 않은 경우가 많기 때문에 설정농도를 유지하기가 어렵다. 따라서, 이를 방지하기 위하여 sodium citrate 를 등비율로 첨가하여 예비실험을 바탕으로 설정농도를 유지하였다.

3. 성장측정

넙치는 대조구를 포함한 각각의 실험구에 20마리씩을 수용하여 3주간 4회에 걸쳐 실시하였다. 실험에는 실험수조에 수용하기 전에 체장 및 체중을 측정하였고, 먹이는 실험수조에 수용한 다음날부터 시판용 넙치 부상사료를 1일 2회, 각각 9시, 17시에 걸쳐 포식량이상을 공급하였다. 2시간 후 먹다 남은 먹이는 수거하여 수분을 뺀 후 측정하여 섭식율을 산출하였다. 즉, 먹이는 일정량은 측정하여 용기에 넣은 후 1회 공급이 끝날 때마다 남은 먹이를 측정하여 섭식량을 산출하였다. 또한, 먹이는 실험종료 1일전에는 공급하지 않았으며, 실험종료시에 체장과 체중을 측정하여 체중의 증가로서 성장률을 나타내었다. 모든 실험에서 실험도중 사망한 개체가 관찰 되는 경우, 사망어는 평균값의 개체가 사망한 것으로 판단하여 체중의 증가 및 성장률을 계산 하였고, 성장률은 실험 전기간에 대한 체중의 증가로 나타냈다. 또한, 일간섭식율 및 사료효율은 총 공급량을 공급일수 및 실험개시시와 종료시의 총어체중의 평균값으로 나누고, 여기에 100을 곱하여 산출하였다. 한편,

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

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	10.3
Iron ($\mu\text{g}/\ell$)	5.23

각각의 날짜에 따라 사망한 개체의 섭식율은 균등하게 섭식한 것으로 판정하여 섭식량을 보정하였다.

4. 유의성 검정

유의성 검정은 대조구와 실험구의 차이를 SPSS 통계프로그램 (SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후, 다중비교는 최소 유의차 검정으로 평균간의 차이 ($P < 0.05$)를 검정하였다.

결 과

1. 실험환경

실험 기간중의 철농도 및 기타 수질환경의 조사는 1일 2회에 측정하였으며, 그 결과를 전기간의 평균값으로 Table 2에 정리하였다. 본 실험에서 0.1~10.0 mg/ℓ의 범위에서 5개의 실험구로 조절된 철농도는 설정목표보다 대부분의 실험에서 낮은 값을 나타냈었으나, 변동폭은 0.010~0.125 mg/ℓ로 작아 안정된 5개의 실험구가 유지되었다. 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. 철농도와 성장률과의 관계

넙치의 성장에 미치는 철의 영향에 대한 4회 반복실험의 결과를 체중의 증가 및 성장률로서 Table 3에 나타냈다. 실험기간 중에 넙치는 철농도 5.0 mg/ℓ 이상에서 실험개시 15일 후부터 실험 종료 시까지 0.5~1.5% 정도가 사망하였다. 넙치의 성장률은 대부분의 실험에서 대조구를 비롯하여 철농도 1.0 mg/ℓ 이하에서 14.40~17.18%로 유사한 경향을 나타내었으나, 철농도 5.0 mg/ℓ 이상에서는 대조구에 비해 감소하는 경향을 보였다. 한편, 실험 3의 철농도 1.0 mg/ℓ에서 성장률은 14.40%로 5.0 mg/ℓ농도의 15.45%보다 낮게 나타났고, 실험 4의 철농도 1.0, 5.0 mg/ℓ에 서는 각각 14.42, 14.48%로 유사한 성장률을 나타내었다. 또한, 각 실험에 있어 철농도 0.1 mg/ℓ의 성장률은 15.44~17.18%로 대부분의 실험에서 대조구의 14.86~15.66%보다 높게 나타났다. 이 같은 결과는 실험에 사용한 넙치의 초기체중 및 실험기간 등의 차이에서 기인된 결과라고 생각된다. 따라서, 이들 실험결과를 상호적으로 비교하기 위하여 모든 실험의 대조구에서 성장률이 가장 높은 값을 100%로 하여 철농도와 상대성장률과의 관계를 구하여 Fig. 1에 나타냈다.

상대성장률은 각 실험의 대조구 혹은 같은 철농도에서도 비교적 큰 폭으로 변동하였으나, 평균 상대성장률은 대조구 97.8%에 비해 철농도 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 및 10.0 mg/ℓ에서 각각 103.8, 97.3, 95.8, 87.0, 69.2%로 철농도 1.0 mg/ℓ 이하에서는 유사한 경향을 보였으나, 철농도 5.0 mg/ℓ 이상에서 대조구에 비해 유의한 감소를 나타냈다 ($P < 0.05$).

3. 철농도와 섭식율, 사료효율과의 관계

4회의 반복실험을 통한 넙치의 섭식 및 사료효율에 미치는 철의 영향에 대한 실험결과를 Table 3에 나타냈다. 4회의 실험에 있어

Table 2. Variation of iron concentration and water quality in each experiment: Data are presented as mean \pm SD (n=32)

Test No.	Test vessel number	Fixed iron con.(mg/l)	during test (mg/l)	Temperature (°C)	Salinity (‰)	pH	Dissolved oxygen (mg/l)
1	1	Control	NCS*	20.3 \pm 0.51	31.8 \pm 1.02	7.6 \pm 0.08	7.4 \pm 2.08
	2	0.1	0.11 \pm 0.034	20.2 \pm 0.46	32.0 \pm 1.04	7.9 \pm 0.01	7.1 \pm 2.01
	3	0.5	0.49 \pm 0.022	20.1 \pm 0.52	31.9 \pm 1.03	7.5 \pm 0.88	7.2 \pm 1.88
	4	1.0	0.97 \pm 0.041	20.2 \pm 0.61	31.7 \pm 1.08	7.7 \pm 0.97	7.3 \pm 1.97
	5	5.0	4.95 \pm 0.062	20.3 \pm 0.48	31.8 \pm 1.02	7.8 \pm 0.05	7.1 \pm 2.05
	6	10.0	9.97 \pm 0.075	20.2 \pm 0.44	32.0 \pm 1.03	8.0 \pm 0.75	7.2 \pm 1.75
2	1	Control	NCS*	19.8 \pm 0.59	32.2 \pm 1.02	7.5 \pm 0.08	7.5 \pm 2.08
	2	0.1	0.10 \pm 0.015	20.0 \pm 0.48	32.4 \pm 1.00	7.4 \pm 1.01	7.4 \pm 2.01
	3	0.5	0.51 \pm 0.027	19.9 \pm 0.45	32.0 \pm 1.08	7.5 \pm 1.88	7.3 \pm 1.88
	4	1.0	0.98 \pm 0.039	19.9 \pm 0.50	32.5 \pm 1.09	7.7 \pm 1.97	7.4 \pm 1.97
	5	5.0	4.95 \pm 0.062	19.8 \pm 0.53	32.3 \pm 1.01	7.8 \pm 1.05	7.1 \pm 2.05
	6	10.0	9.97 \pm 0.092	20.0 \pm 0.49	32.2 \pm 1.03	8.0 \pm 1.75	7.2 \pm 1.75
3	1	Control	NCS*	19.7 \pm 0.50	31.8 \pm 1.09	7.7 \pm 1.08	7.3 \pm 2.08
	2	0.1	0.09 \pm 0.010	19.9 \pm 0.48	31.9 \pm 1.04	7.8 \pm 1.01	7.1 \pm 2.01
	3	0.5	0.49 \pm 0.061	19.8 \pm 0.51	32.0 \pm 1.02	7.6 \pm 1.88	7.2 \pm 1.88
	4	1.0	0.96 \pm 0.071	19.8 \pm 0.52	31.7 \pm 1.08	7.9 \pm 1.97	7.4 \pm 1.97
	5	5.0	4.99 \pm 0.121	19.9 \pm 0.47	31.7 \pm 1.03	7.7 \pm 2.05	7.3 \pm 2.05
	6	10.0	9.96 \pm 0.098	19.7 \pm 0.46	32.0 \pm 1.08	7.9 \pm 1.75	7.1 \pm 1.75
4	1	Control	NCS*	20.1 \pm 0.42	32.2 \pm 1.09	7.8 \pm 2.08	7.3 \pm 2.08
	2	0.1	0.10 \pm 0.012	20.2 \pm 0.53	32.4 \pm 1.02	7.9 \pm 2.01	7.0 \pm 2.01
	3	0.5	0.48 \pm 0.029	20.1 \pm 0.49	32.3 \pm 1.08	7.7 \pm 1.88	7.2 \pm 1.88
	4	1.0	1.01 \pm 0.041	20.0 \pm 0.45	32.3 \pm 1.10	7.8 \pm 1.97	7.1 \pm 1.97
	5	5.0	4.94 \pm 0.055	20.1 \pm 0.42	32.4 \pm 1.03	8.0 \pm 2.05	7.0 \pm 2.05
	6	10.0	9.99 \pm 0.125	20.0 \pm 0.50	32.2 \pm 1.04	8.0 \pm 1.75	7.0 \pm 1.75

*Natural concentration in seawater : 5.23 μ g/l

Table 3. Growth rate of young olive flounder reared at various iron concentrations for 21 days.

Test No.	Test vessel number	Iron con.(mg/l)	Fish number		Mean body weight (g)		*1Growth rate (%)	*2Feeding rate (%)	*3Feed efficiency (%)
			Total	Died	Initial \pm SD	Final \pm SD			
1	1	Control	20	0	75.27 \pm 2.08	87.06 \pm 2.13	15.66	25.31	45.21
	2	0.1	20	0	75.98 \pm 2.01	89.04 \pm 1.89	17.18	26.04	42.43
	3	0.5	20	0	73.62 \pm 1.88	85.50 \pm 2.02	16.14	24.93	44.12
	4	1.0	20	0	75.92 \pm 1.97	87.51 \pm 1.79	15.27	27.20	46.80
	5	5.0	20	0	74.93 \pm 2.05	84.22 \pm 2.10	12.40	25.92	31.25
	6	10.0	20	2	75.92 \pm 1.75	82.81 \pm 1.88	9.08	19.87	25.23
2	1	Control	20	0	76.30 \pm 1.92	87.49 \pm 2.03	14.86	27.81	47.67
	2	0.1	20	0	77.35 \pm 2.00	89.94 \pm 1.99	16.48	29.12	51.42
	3	0.5	20	0	74.61 \pm 1.68	85.42 \pm 1.71	14.69	24.05	44.73
	4	1.0	20	0	76.73 \pm 1.79	87.93 \pm 1.83	15.89	27.33	39.31
	5	5.0	20	1	75.72 \pm 2.01	84.83 \pm 2.07	12.19	26.42	26.50
	6	10.0	20	1	75.57 \pm 1.23	83.76 \pm 1.36	10.98	20.95	18.92
3	1	Control	20	0	76.16 \pm 1.39	87.45 \pm 1.42	15.22	27.12	43.94
	2	0.1	20	0	78.53 \pm 1.54	90.72 \pm 1.50	15.92	26.73	45.42
	3	0.5	20	0	77.27 \pm 1.92	88.77 \pm 2.01	15.28	28.12	47.95
	4	1.0	20	0	75.62 \pm 1.28	86.22 \pm 1.39	14.40	25.42	40.42
	5	5.0	20	1	76.51 \pm 2.03	88.02 \pm 1.89	15.45	26.95	35.09
	6	10.0	20	3	77.08 \pm 1.18	85.98 \pm 1.32	11.85	19.51	22.01
4	1	Control	20	0	79.42 \pm 1.59	91.11 \pm 1.60	15.50	26.30	46.62
	2	0.1	20	0	80.70 \pm 1.82	92.55 \pm 1.81	15.44	27.16	42.95
	3	0.5	20	0	78.05 \pm 1.08	89.14 \pm 1.15	14.98	25.63	41.24
	4	1.0	20	0	79.92 \pm 2.10	90.87 \pm 2.13	14.42	26.05	44.52
	5	5.0	20	2	79.09 \pm 1.73	89.96 \pm 1.86	14.48	23.16	23.71
	6	10.0	20	2	79.37 \pm 2.14	87.98 \pm 2.09	11.42	15.27	19.06

$$*1\text{Growth rate (\%)} = \frac{\text{mean final weight} - \text{mean initial weight}}{\text{mean initial weight}} \times 100$$

$$*2\text{Feeding rate (\%)} = \frac{\text{total food consumed}}{\text{day} \times \text{total initial weight}} \times 100$$

$$*3\text{Feeding efficiency (\%)} = \frac{\text{total weight gain}}{\text{total food consumed}} \times 100$$

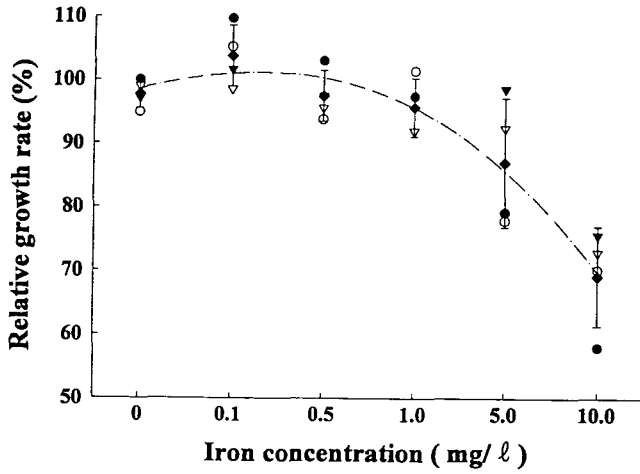


Fig. 1. Relation between relative growth rate and iron concentration. Relative growth rate is expressed in terms of percentage to the maximum growth rate from control vessels for each experiment. Symbols ●, ○, △, ▲ and ◆ represent experiment numbers 1, 2, 3, 4 and their mean, respectively.

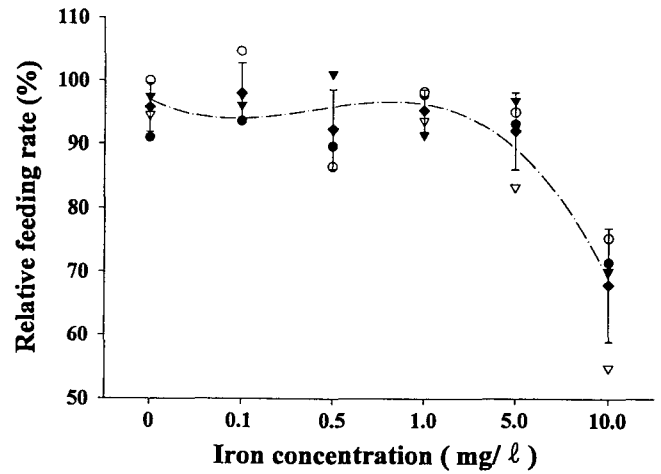


Fig. 2. Relation between relative feeding rate and iron concentration. Relative Feeding rate is expressed in terms of percentage to the maximum feeding rate from control vessels for each experiment. Symbols ●, ○, △, ▲ and ◆ represent experiment numbers 1, 2, 3, 4 and their mean, respectively.

섭식율은 대조구를 비롯하여 철농도 5.0 mg/l이하에서 23.16~28.12%로 유사한 값을 나타내었으나, 10.0 mg/l농도에서 20.95% 이하로 감소하는 경향을 나타내었다. 사료효율은 성장률과 마찬가지로 철농도 1.0 mg/l이하에서 39.31~51.42%로 대조구와 유사한 경향을 나타내었으나, 5.0 mg/l에서 35.09%이하로 감소하였다. 그러나, 각 실험에 있어 섭식율 및 사료효율은 다소의 예외는 있었지만, 성장률과 마찬가지로 실험횟수에 따라 큰 폭으로 변동하였다. 따라서, 대조구의 결과에서 가장 높은 값을 100%로 하여 각각의 상대섭식율 및 상대사료효율과의 관계를 구하여 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다.

각 실험에 있어 섭식율 및 사료효율은 상대값으로 나타내어도 대조구를 비롯하여 같은 철농도에서도 크게 변동하였다. 그러나, 상대섭식율은 철농도 10.0 mg/l에서 유의한 감소를 보였고 (P < 0.05), 5.0 mg/l이하의 농도에서는 거의 일정하게 나타났다. 또한, 상대사료효율은 철농도 5.0 mg/l이상에서 성장률과 마찬가지로 철농도의 증가에 따라 감소하였고, 5.0 mg/l이상의 농도에서는 유의한 감소가 인정되었다 (P < 0.05).

고 찰

유해물질이 존재하는 수환경에 대한 어류의 생리적 지표는 성장률의 변화로서 판단할 수 있으며, 일반적으로 어류가 높은 에너지를 섭취하는 기간에는 조직성장이 일어나고, 근육과 간에 에너지 축적이 높아진다 (Busacker et al., 1990). 따라서, 성장의 정도는 증감속과 같은 오염물질이 존재하는 수역에 서식하는 어류의 건강상태, 영양상태 및 환경변화에 대한 판단기준으로 유용하게 사용할 수 있다 (Bagenal and Tesch, 1978; Larkin, 1978; LeCren, 1972; Waters, 1977).

본 실험에서 넙치의 성장률은 철농도 1.0 mg/l이하에서는 대부분 유사하게 나타났고, 5.0 mg/l이상에서는 감소하는 경향을

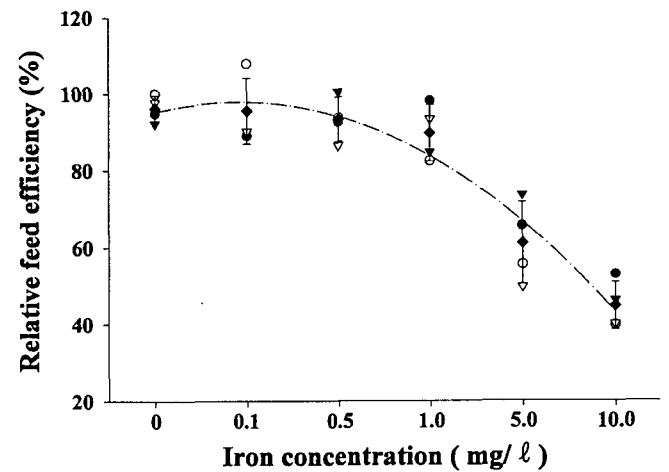


Fig. 3. Relation between relative feed efficiency and iron concentration. Relative feed efficiency is expressed in terms of percentage to the maximum feed efficiency from control vessels for each experiment. Symbols ●, ○, △, ▲ and ◆ represent experiment numbers 1, 2, 3, 4 and their mean, respectively.

보였다. 그러나, 실험에 따라서는 철농도 5.0 mg/l에서 성장률이 1.0 mg/l이하 농도보다 높거나 유사하게 나타나는 경우도 있었다. 또한, 섭식율 및 사료효율도 다소 예외는 있지만, 성장률과 마찬가지로 실험에 따라 큰 폭으로 변동하는 경향을 나타냈다. 이 같은 결과는 실험에 사용한 넙치의 초기체중 및 실험기간 등의 차이에서 비롯된 것이라고 생각된다. 따라서, 이들 결과를 상호적으로 비교하기 위한 상대성장률은 철농도 5.0 mg/l이상에서 대조구에 비해 유의한 감소를 나타내었다. 상대섭식율은 철농도 10.0 mg/l에서 유의한 감소를 보였으나, 5.0 mg/l이하에서는 유사한 경향을 나타냈다. 상대사료효율은 철농도 5.0 mg/l이상에서도 성장률과 마찬가지로 철농도의 증가와 더불어 감소하였고, 5.0 mg/l이상

에서는 유의한 감소가 인정되었다. 이상의 결과는 연안에 5.0 mg/l 철농도가 존재할 경우, 넙치는 정상적인 섭식활동이 이루어질 것으로 생각되나, 성장 및 사료효율은 감소한다는 것을 의미한다.

수생동물에 대한 철의 영향에 관해서는 무척추동물을 대상으로 급성독성 관점에서 단편적인 연구가 있을 뿐 (Gajbhiye and Hirota, 1990; Mullick, and Konar, 1991), 성장변화와 같이 만성적으로 나타나는 독성, 특히 어류에 관한 자료는 찾아보기 힘들다. 그러나, 어류에 대한 미량원소로서 영양학적인 관점에서는 몇몇의 보고가 있다. 이들 연구결과에 의하면, 사료에 철을 첨가 하여 공급한 어류의 성장은 철농도에 따라 상이한 결과가 나타나고 있다. 즉, 사료에 2 mg/g의 철을 혼합하여 투여한 잉어, *Cyprinus carpio*는 성장에 영향이 없었으며 (Kirchgesner and Schwarz, 1986), 참돔, *Chrysophrys major*에 대한 철의 요구량은 5.0 mg/g이었다 (Sakamoto and Yone, 1976). 또한, 차넬메기, *Ictalurus punctatus*가 요구하는 철농도는 3.0 mg/g이었고 (Delbert et al., 1986), 이보다 낮은 0.96 mg/g에서는 성장 및 사료효율이 감소하였다.

이상과 같이 수생동물에 대한 철의 특성은 무척추동물에 관한 연구가 대부분이고, 어류에 대해서는 영양학적인 관점에서 대부분의 연구가 이루어지고 있기 때문에 독성학적인 측면에서 본 실험결과와 직접 비교하기는 어려우며, 영양학적인 측면에서도 성장에 대한 철농도의 요구는 어류에 따라 상이하게 나타나고 있다. 그러나, 영양적인 측면에서 어류에 알맞은 철의 공급은 이들의 성장 및 사료효율을 증대시킨다는 것이 확인되었다. 따라서, 넙치에 있어서도 환경수 중에 어느 정도의 철은 체내로 흡수·운반되어 영양원으로 작용할 수도 있으나, 고농도의 철이 존재는 독성작용을 일으킬 수 있을 것이다.

넙치의 사망은 철농도 5.0 mg/l 이상에서 실험개시 15후부터 종료시에 0.5~1.5% 정도가 관찰 되었다. 또한, 넙치의 상대성장률 및 상대사료효율은 철농도 5.0 mg/l 이상에서 대조구에 비해 유의하게 감소하였고, 상대성장률, 상대사료효율 및 상대섭식율은 철농도 10.0 mg/l에서 유의한 감소가 인정되었다. 이상의 결과는 환경수 중에 철농도 5.0 mg/l 이상의 존재는 넙치의 성장에 악영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

어류의 사망 및 성장을 감소시키는 철의 독성기작에 대해서 아직 뚜렷하게 밝혀진 바가 없기 때문에 이를 해명하는 것은 대단히 어려운 문제 중의 하나이다. 그러나, Yayoi et al. (1986)에 의하면, 환경수 중에 cadmium이 존재할 경우에 어류 체내에서 축적 되는 중금속의 양은 신장에 가장 많고, 다음은 아가미와 간체장이라고 하였다. 그리고, 사료에 첨가하여 투여하거나 소화관에 직접 주사할 경우에는 소화관, 신장, 간체장 순으로 많이 축적 한다고 하였다. 이와 같이 노출방법에 의해 어체내에 축적 되는 중금속 양이 일부 상이하게 나타나는 것은 각각의 흡수경로와 흡수기관이 다르기 때문이라고 정의하고 있으며, 환경수 중의 중금속은 생존개체보다 사망개체의 어류에서 아가미의 축적정도가 심하게 나타난다고 하였다. 또한, 어류의 체내에 흡수된 중금속은 신속하게 혈액에 의해 다른 기관으로 운반된다고 하였다. 그리고, Jiro et al. (1985)에 의하면 환경수 중에 50 µg/l의 cadmium은 잉어의 혈청 및 아가미에서 Al-P의 활성을 저하시킨다고 보고하고 있다.

또한, 포유류에서 밝혀진 철의 독성학적인 연구결과에 의하면

(이, 1997), 철이 체내에 과량으로 존재할 경우에 포유류는 사망을 하게 되며, 이는 철의 독성작용과 관련이 있다고 하였다. 또한, 인간을 비롯한 대부분의 동물은 철에 대한 배설기구가 없기 때문에 결국 철의 독성은 이미 체내에 존재하는 철의 양에 좌우되며, 과도한 양은 심장혈관계 장애를 유발시킨다. 또한, 간장의 손상은 철의 직접적인 작용에 의하여 일어나며, 과량의 철은 장에서 철흡수를 조절하는 기전의 파괴로 말미암아 철흡수를 증가시키게 되어 철단백질 복합체를 형성하여 쇼크와 간장손상을 초래한다고 보고하고 있다.

따라서, 넙치에 있어서 철은 어체내에 흡수·운반되는 과정에서 환경수 중에 존재하는 농도에 따라 영양 혹은 독성적으로 작용할 것이며, 본 실험기간 중에 발생한 넙치의 사망 및 성장감소는 어류 및 포유류에서 나타나는 중금속에 의한 생리적 변화에 기인된 결과라고 추측할 수 있다. 즉, 환경수 중에 5.0 mg/l 이상의 철이 존재할 경우 넙치는 상기의 어류에서 나타나는 중금속에 의한 축적과 생리적변화, 철에 의해 포유류에서 나타나는 장애로 인하여 사망개체가 발생하고, 성장률이 감소하였을 것으로 추측되며, 넙치의 섭식을 및 사료효율의 감소는 성장률 감소를 초래하는 결과를 반영한다고 생각된다. 또한, 철농도 1.0 mg/l 이하에서 상대성장, 상대섭이 및 상대사료효율은 유사하게 나타난 결과로부터 환경수 중에 1.0 mg/l의 철농도가 존재할 경우, 최소한 3주 이내에 넙치는 정상적인 성장이 이루어질 것으로 판단된다. 이상의 결과와 논의로부터 환경수 중의 10.0 mg/l 농도는 넙치는 섭식활동이 저하될 것이며, 이로 인해 사료효율 및 성장률은 감소할 것이다. 또한, 철농도 5.0 mg/l에서 넙치는 정상적인 성장 및 사료효율을 기대할 수 없을 것으로 사료되어 연안 및 양식용수의 이용과정에서 5.0 mg/l 이상의 철이 존재할 경우에 넙치의 생산량에 악영향을 미칠 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 연안역의 환경오염 및 양식용수의 이용과정에서 파생될 수 있는 철오염에 따른 넙치의 생산성을 간접적으로 파악하기 위하여 이에 관련된 넙치의 성장, 섭식 및 사료효율에 미치는 철의 영향을 검토하였다.

넙치의 성장률은 각 실험의 대조구 혹은 같은 철농도에서도 비교적 큰 폭으로 변동하였으나, 평균 상대성장률은 대조구 97.8%에 비해 철농도 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 mg/l에서 각각 103.8, 97.3, 95.8, 87.0 및 69.2%로 철농도 1.0 mg/l 이하에서는 유사한 경향을 보였으나, 5.0 mg/l 이상의 농도에서 유의한 감소를 나타내었다.

섭식율은 대조구를 비롯하여 철농도 5.0 mg/l 이하에서는 유사한 값을 나타내었으나, 10.0 mg/l 농도에서 감소하였고, 상대섭식율은 철농도 10.0 mg/l에서 유의한 감소를 보였고, 5.0 mg/l 이하의 농도에서는 거의 일정하게 나타났다. 사료효율은 철농도 0.5 mg/l 이하에서 대조구와 유사한 경향을 나타내었으나, 1.0 mg/l 농도 이상부터 감소하는 경향을 보였다. 그러나, 상대사료효율은 철농도 5.0 mg/l 이상의 농도에서는 대조구에 비해 유의한 감소가 인정되었다.

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 Pederation, 1985, Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington, D. C. pp. 214~220.
- Bagenal, T.B. and F.W. Tesch. 1978. Age and growth. In Methods for Assessment of Fish Production in Freshwater (Bagenal, T. B., ed.), 1011~1136. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Delbert, M., Gatlin, I. and R. P. Wilson. 1986. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 52, 191~198.
- Busacker, G. P., I. R. Adelman and E.M. Goolish. 1990. Growth. In Methods for Fish Biology (Schreck, C. B. and Moyle, P. B. eds). pp. 363~387. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Delbert, M., Gatlin, I. 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 Hirota, R. 1990. Toxicity of heavy metals to brine shrimp *Artemia*. *J. Indian Fish. Assoc.*, 20, 43~50.
- Jiro, K., Y. Keisuke, M. Masashi, W. Keiko, I. Yayoi. and O. Hisao, 1985. The effects of cadmium on the activities of tissue enzymes of fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 51 (8), 1255~1260.
- 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.
- Larkin, P.A. 1978. Fisheries management : an essay for ecologists. *Annual Review of Ecology and Systematics* 9, 57~73.
- LeCren, E.D. 1972. Fish production in freshwater. In Conservation and Productivity of Natural Water (Edwards, R. W. and Garod, D. J., eds), 115~133. London: Academic Press.
- Mullick, S and Konar, A. S. 1991. Combined effects of zinc, copper, iron and lead on plankton. *Environ. Ecol.*, 9 (1), 187~198.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1976. Requirement of red sea bream for dietary Fe-I. *Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ.*, 3, 53~58 (in Japanese).
- Waters, T.F. 1977. Secondary production in inland waters. *Advances in Ecological Research*. 10, 91~164.
- Yayoi, I., J. Koyama and H. Ozaki. 1986. Heavy metal levels in tissues of fish exposed to cadmium. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52 (12), 2055~2059.
- 이차수. 1997. 동물중독의 진단과 치료. 도서출판. pp. 81~84.

1999년 2월 4일 접수

1999년 5월 15일 수리