

산천어(*Oncorhynchus masou*) 2배체와 3배체간의 혈액학적 및 생리학적 특징

박 인 석 · 박 기 영*

군산대학교 해양자원육성학과 · *강릉대학교 수산자원개발학과

Haematological and Physiological Characteristics of Diploid and Triploid in Cherry Salmon, *Oncorhynchus masou*

In-Seok Park and Kie Young Park*

Department of Marine Living Resources, Kunsan National University,
Kunsan 573-360, Korea

*Department of Fisheries Resources Development, Kangnung
National University, Kangnung 210-702, Korea

ABSTRACT

Triploid cherry salmon (*Oncorhynchus masou*) were induced by the heat shocking treatment of fertilized eggs 10 minutes post fertilization at 28°C for 15 minutes. Haematological and physiological characteristics of diploid and the induced triploid fish were examined just before the spawning period. Triploids had significantly lower concentrations of circulating red blood cells than that of diploids ($P < 0.01$). However, oxygen consumption, hematocrit, hemoglobin, RBC, and mean concentration of hemoglobin within the RBC of triploids were higher than those of diploids. The concentrations of total protein, albumin and cholesterol from triploids were also higher than those from diploids.

서 론

3배체 어류는 수정난에 저온처리 또는 고온처리로 제 2 극체 방출을 억제하여 유도되고 있으며, 그 개체가 산란시기에 불임을 나타내므로 생식에 사용되는 에너지를 소모하지 않아 2배체 어류에 비해 성장속도가 빨라서 어류양식에 적용하려는 시도가 지속 되어왔다(Kim *et al.* 1994; Thorgaard 1986; 박 등 1994).

3배체 어류의 적혈구 세포 및 핵 크기는 2배체 어류의 적혈구 세포 및 핵 크기에 비해 크게 나타나므로 이들의 크기 측정에 의해 쉽게 3배체 어류를 판별할 수 있고, 적혈구수에 있어서는 3배체가

2배체에 비해 감소되는 현상이 보고 되었다(Benfey and Sutterlin 1984a). 은어, *Plecoglossus altivelis* 유도 3배체는 2배체에 비해 크기가 크며 숫적으로 적은 적혈구를 보였고 mean corpuscular volume 및 mean content of hemoglobin MCH에서 유도 3배체가 2배체에 비해 크게 나타나며 3배체는 2배체에 비해 다소 높은 산소 소모가 된다고 알려졌다(Aliah *et al.* 1991).

따라서 본 연구는 산란기 직전의 산천어, *Oncorhynchus masou* 2배체 및 3배체를 대상으로 성장과 연관되는 물질대사의 효율성 파악을 위하여 혈액학적 특성과 적혈구의 조직으로 산소운반 기능적인 측면에서의 능력을 조사, 비교하였다.

재료 및 방법

1. 산천어 3배체 유도

산천어, *Oncorhynchus masou*의 3배체를 유도는 박과 김(1994)의 방법에 따라 수정난을 수정 후 10분에 수온 28℃로 15분간 고온처리 하였다. 2배체 및 3배체의 판별은 김 등(1990)과 박과 김(1994)의 방법에 의해 신장직접법에 의한 염색체 수 조사 및 적혈구 세포 및 핵 크기 측정으로 실시하였다.

2. 혈액학적 특징

Automatic cell counter (MINOS-ST, ABX Co., France)를 사용하여 산란기 직전의 산천어 2배체 및 3배체 각 10마리를 대상으로 RBC count (million/mm³), hematocrit (%), hemoglobin (g/100 ml), RBC volume (μm^3), mean content of hemoglobin contained within an individual RBC (MCH, pg/100 ml) 및 mean concentration of hemoglobin within the RBC (MCHRBC, g/100 ml)을 측정하였다. MCH는 hemoglobin \times 10/RBC count 로 MCHRBC는 MCH \times 100/RBCV (RBCV: mean RBC volume, μm^3)로 계산하였다.

아울러 CIBA-corning, 550 express (USA)를 사용하여 산란기 직전의 산천어 2배체 및 3배체의 암·수 각 14마리 씩을 대상으로 total protein (TP, g/100 ml), albumin (ALB, g/100 ml) 및 cholesterol (mg/100 ml)을 측정하였다.

3. 생리학적 측정

산란기 직전의 산천어 2배체 및 3배체 산소 소비량은 용량 14 l 및 40 l의 플라스틱 용기에 개체를 각각 1 또는 2마리씩 수용하여 2시간 동안에 걸쳐 측정하였다. 산소병은 지수식으로 하였으며 온도를 일정하게 유지하기 위해 콘크리트 사육수조 내에 방치시켜 수온을 14.5~14.8℃로 하였다. 어류가 호흡을 하는데 있어서 환경수의 산소분압에 영향을 받을수 있음을 고려(Ghiretti 1966; Prosser 1973)하여, 산소 소비 측정이 끝났을 때의 용존산소량이 실험 시작시 용존산소량의 60~70% 이하로 떨어지지 않게끔 조절하였다.

2배체, 3배체의 산소소모 조사를 위해 1분간의 ventilation rate를 측정하였으며 산소 소비량은 용존산소 측정기(YSI mode 157, USA)로 측정하고 실험 전후의 용존산소 차이로 정량 하였으며 시간당 무게당 산소 소비량($\text{m}\ell\text{O}_2 \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$), 시간당 개체당 산소 소비량($\text{m}\ell\text{O}_2 \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{ind}^{-1}$)으로 표시하였다.

4. 통계분석

산천어 2배체와 3배체간의 혈액학적 및 생리학적 측정값의 유의한 차이 정도는 Student's t-test 로 검정하였다.

결 과

산천어 2배체의 염색체 수는 $2n=66$ 이었으며 유도 3배체의 염색체 수는 $3n=99$ 로 나타났다(Fig. 1).

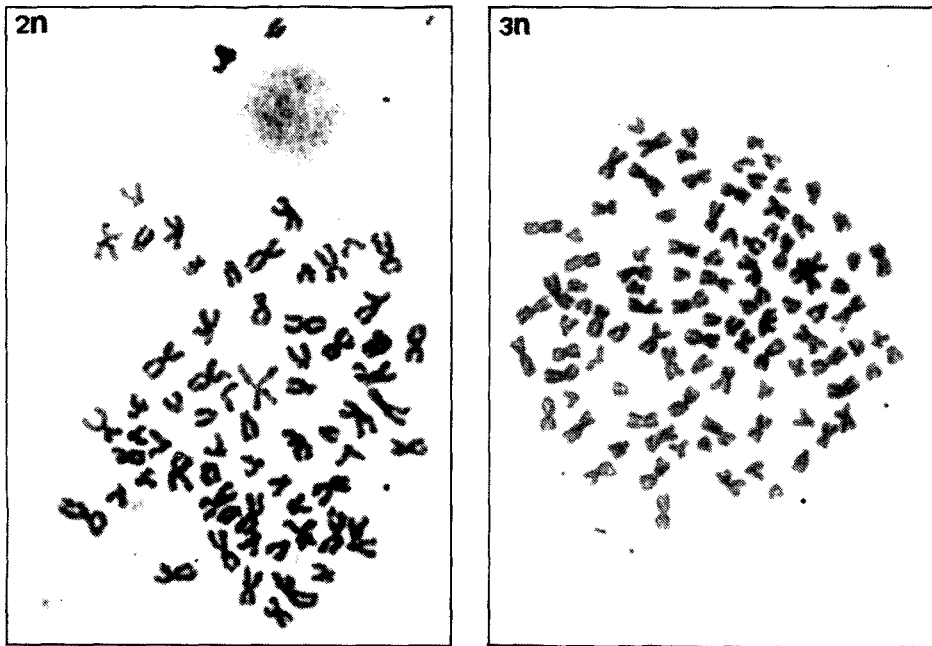


Fig. 1. Metaphases of diploid (2n) and triploid (3n) masu salmon, *Oncorhynchus masou*.

Table 1에 나타난 바와같이 평균 RBC count ($10^6/\text{mm}^3$)에서 산천어 2배체는 1.30 ± 0.13 로 산천어 3배체의 0.90 ± 0.11 에 비해 높게 나타났는 반면($P < 0.01$) RBC volume (μm^3), hematocrit (%) 에서는 2배체가 366 ± 24.9 , 42.0 ± 2.3 , 3배체가 501 ± 29.9 ($P < 0.01$), 43.53 ± 3.4 ($P < 0.05$)로 각각 나타나 3배체가 2배체에 비해 높은 값을 나타내었다. Hemoglobin (g/100 ml), MCH (pg/cell) 및 MCHRBC (g/100 ml)에 있어 산천어 3배체는 14.59 ± 0.97 ($P < 0.05$), 156.3 ± 7.5 ($P < 0.01$), 32.18 ± 2.3 ($P < 0.01$)로 나타나 2배체(14.00 ± 0.08 , 106.8 ± 5.9 , 28.09 ± 1.2)에 비해 높게 나타났다.

Table 1. Haematological comparisons of diploid and triploid cherry salmon, *Oncorhynchus masou*

Item*	Diploid**	Triploid**	Significance
RBC count ($10^6/\text{mm}^3$)	1.30 ± 0.13 (14)	0.90 ± 0.11 (14)	P < 0.001
Hematocrit (%)	42.0 ± 2.30 (12)	43.53 ± 3.40 (12)	P < 0.05
Hemoglobin (g/100 ml)	14.00 ± 0.08 (9)	14.59 ± 0.97 (9)	P < 0.05
RBC volume (μm^3)	366 ± 24.9 (10)	501 ± 29.9 (10)	P < 0.001
MCH (pg/cell)	106.8 ± 5.90 (10)	156.3 ± 7.50 (9)	P < 0.001
MCHRBC (g/100 ml)	28.09 ± 1.20 (10)	32.18 ± 2.30 (9)	P < 0.001

* MCH, mean total hemoglobin content within individual red blood cell (RBC); MCHRBC, mean concentration of hemoglobin within entire red blood cell.

** Values are mean ± S.D. and numerals in parentheses indicate the number of samples.

Total protein (g/100 ml)에서 산천어 3배체는 3.69 ± 0.43 으로 2배체의 2.65 ± 0.54 에 비해 높게 나타났다(P < 0.05), 2배체 수컷은 3.05 ± 0.39 , 2배체 암컷은 2.68 ± 0.44 로 각각 나타나 2배체 수컷이 2배체 암컷에 비해 높은 total protein을 보인 반면(P < 0.05), 3배체는 암컷이 수컷에 비해 total protein이 높게 나타나 3배체 암컷이 4.44 ± 0.21 , 3배체 수컷이 3.35 ± 0.17 을 각각 나타내었다(P < 0.05) (Table 2). Albumin (g/100 ml) 및 cholesterol (mg/100 ml) 에서도 total protein의 결과와 마찬가지로 3배체가 2배체에 비해 높게 나타나 3배체가 1.69 ± 0.34 (P > 0.05), 145.78 ± 19.27 (P < 0.05), 2배체가 1.30 ± 0.14 , 114.42 ± 16.75 를 각각 나타내었다. Albumin 및 cholesterol에서 2배체 수컷이 1.33 ± 0.10 (P > 0.05), 124.33 ± 20.86 (P < 0.05), 2배체 암컷이 1.30 ± 0.18 , 110.50 ± 15.72 로 각각 나타나 산천어 2배체 수컷이 2배체 암컷에 비해 높은 값을 나타낸 반면, 3배체는 2배체에서의 결과와는 상반되게 albumin 및 cholesterol에서 암컷이 1.94 ± 0.9 , 154.80 ± 30.82 , 수컷이 1.48 ± 0.10 (P < 0.05), 144.75 ± 14.80 (P > 0.05)으로 각각 나타나 3배체 암컷이 3배체 수컷에 비해 높은 값을 나타내었다(Table 2).

Table 2. Physiological comparisons of female and male in diploid and triploid cherry salmon, *Oncorhynchus masou*

Item*	Diploid		Triploid		Diploid	Triploid
	Female	Male	Female	Male		
TP (g/100 ml)	2.68 ± 0.44	3.05 ± 0.39 ^b	4.44 ± 0.21	3.35 ± 0.17 ^b	2.65 ± 0.54	3.69 ± 0.43 ^b
ALB (g/100 ml)	1.30 ± 0.18	1.33 ± 0.10 ^a	1.94 ± 0.09	1.48 ± 0.10 ^b	1.30 ± 0.14	1.69 ± 0.34 ^a
Cholesterol (mg/100 ml)	110.50 ± 15.72	124.33 ± 20.86 ^b	154.80 ± 30.82	144.75 ± 14.80 ^a	114.42 ± 16.75	145.78 ± 19.27 ^b

* Values are mean ± S.D. (n=14), TP; total protein, ALB; albumin.

a=P > 0.05 and b=P < 0.05 compared with the female of diploid and triploid, or the mean diploid values.

산천어(*Oncorhynchus masou*) 2배체와 3배체간의 혈액학적 및 생리학적 특징

Table 3에서 나타난 바와 같이 ventilation rate (60 sec⁻¹)에서 산천어 2배체는 106.0±2.8, 3배체는 109.7±6.0으로 나타나 3배체가 2배체에 비해 높은 ventilation rate를 보였다(P> 0.05). 산소 소비량(mlO₂ · hr⁻¹ · kg⁻¹)에서 2배체는 142.97±35.95, 3배체는 204.79±105.85로 3배체가 2배체에 비해 높은 산소 소비량을 나타내었다(P< 0.05). 산소 소비량에서 2배체는 Y=173.443-0.148X, R=0.71 (Y; QO₂, X; wet weight), 3배체는 Y=308.579-0.671X, R=0.87을 나타내어 3배체가 2배체에 비해 높은 산소 소비량을 나타내었으며 산천어 3배체와 산천어 2배체 공히 체중 증가에 따라 산소 소비량이 감소됨을 알 수 있었다(Fig. 2).

Table 3. Data of respiration of diploid and triploid cherry salmon, *Oncorhynchus masu*

	Diploid*	Triploid*
Ventilation rate (60 sec ⁻¹)	106.0±2.8 (4)	109.7±6.0 (4) ^a
Oxygen consumption (mlO ₂ · hr ⁻¹ · kg ⁻¹)	142.97±35.95 (10)	204.79±105.85 (10) ^b

* Values are mean±S.D. and numerals in parentheses indicate the number of samples examined. a=P> 0.05 and b=P< 0.05 compared with diploid values.

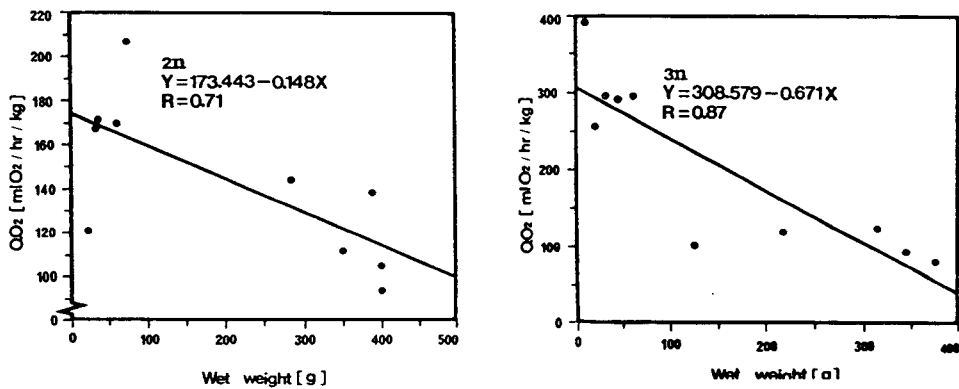


Fig. 2. Comparisons of rates of oxygen consumption (QO₂) in diploid (2n) and triploid (3n) cherry salmon, *Oncorhynchus masou*.

호흡율(mlO₂ · hr⁻¹ · kg⁻¹)은 2배체가 Y=3.555+0.106X, R=0.96, 3배체가 Y=7.137+0.077X, R=0.92로 나타나 3배체가 2배체에 비해 다소 높은 호흡율을 보였고 2배체, 3배체 공히 개체 체중 증가에 따라 호흡율이 증가됨을 보였으며 개체 체중 증가에 따른 호흡율 증가율은 3배체에 비해 2배체가 높게 나타났었다(Fig. 3).

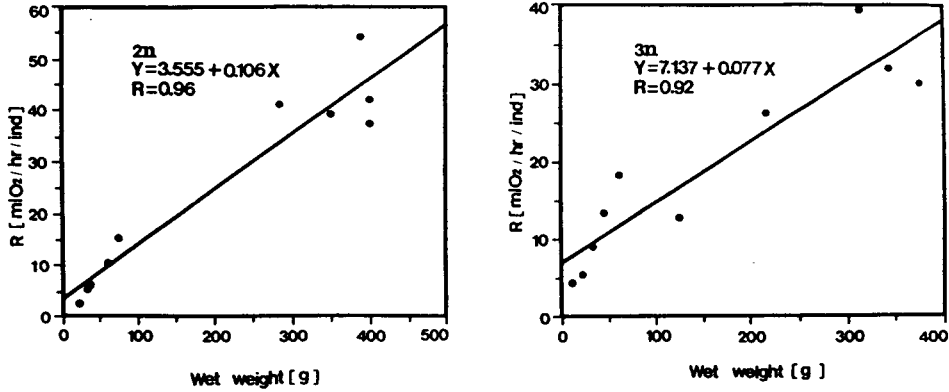


Fig. 3. Comparisons of respiration rates (R) in diploid (2n) and triploid (3n) cherry salmon, *Oncorhynchus masou*.

고 찰

어류 적혈구 세포 및 핵의 크기는 배수화에 따라 증가되는 것으로 산천어 3배체는 2배체에 비해 RBC volume에서 1.37배의 증가, hematocrit에서 1.04배의 증가를 나타내었다. Benfey and Sutterlin (1984b)의 연구 결과 3배체 대서양연어, *Salmo salar*의 적혈구는 2배체의 적혈구 보다 40% 정도 크며 Parsons (1993)은 white crappies, *Pomoxis annularis* 3배체의 적혈구는 2배체의 적혈구 보다 약 25% 크다고 보고 한 바 이러한 3배체의 적혈구의 크기 증가는 모계 기원의 부수적인 반수체 증가에 기인된 것으로 사료된다.

Hematocrit치에 대한 연구에서 3배체는 2배체에 비해 잉어, *Cyprinus carpio*에서는 0.93배(Ueno 1984), 대서양연어, *Salmo salar*에서는 0.91배(Graham *et al.* 1985)로 약간 감소의 경향을 보였으나, white crappies 에서는 1.06배(Parsons 1993)를 나타내어 본 연구의 hematocrit 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

Hemoglobin에 있어 산천어 3배체는 2배체에 비해 다소 높게 나타났으며 이러한 2배체에 대한 3배체의 높은 hemoglobin은 병아리(Abdel-Hameed 1972), 도롱뇽(DeParis *et al.* 1975) 및 붕어, *Carassius auratus* (Sezaki *et al.* 1983)에서 나타나고 있는 반면, 2배체에 대한 3배체의 낮은 hemoglobin은 대서양연어(Benfey and Sutterlin 1984b), 은연어, *Oncorhynchus kisutch* (Small and Randall 1989) 및 white crappies (Parsons 1993)에서 나타나고 있다. 2배체에 대한 3배체의 높은 hemoglobin은 3배체가 2배체 혈액 내의 hemoglobin과 동일한 농도를 유지하려는 항상성 조절기작(homeostatic regulating mechanism)에 기인된 것으로 Parsons (1993)는 예측한다.

대서양연어 3배체, white crappies의 MCH와 MCHRBC는 이들 2배체에 비해 높게 나타나고, 역시 산천어 3배체는 2배체에 비해 높은 MCH 및 MCHRBC를 나타낸 바, 2배체에 대한 3배체 자체의 낮은 적혈구 세포수를 보상하여 높은 산소운반 능력을 간접적으로 보여주는 것으로 사료된다. 자연발생적 4배체 spinous loach, *Cobitis biwaensis*인 경우 2배체에 비해 적혈구 부피, MCH에서 각각 47% 및 41%의 증가를 보였으며, hexokinase, phosphofructo kinase 및 pyruvate kinase의 높은 활성이

보고된 바 있다(Sezaki *et al.* 1988). 유미류에서의 2배체와 3배체는 동일 직경의 모세혈관이 관찰되므로 유미류 3배체 적혈구는 2배체 적혈구에 비해 그 자체의 큰 적혈구로 인해 모세혈관 관통시 큰 변형이 일어나며 이와 같은 말초혈관의 큰 저항으로 기인된 심장 이상비대(cardiac hypertrophy)가 보고된 바 있다(Parsons 1993).

Total protein, albumin 및 cholesterol은 수온, 염분도, 용존산소 및 pH 등의 환경적 요소와 아울러 어체의 영양상태에 따라 변할수 있는 요소로서 산천어 3배체가 2배체에 비해 암·수 간에서 높은 값을 나타낸 것은 3배체의 불임에 기인된 것으로 사료된다.

Total protein, albumin 및 cholesterol값에서 산천어 2배체인 경우 암컷에 비해 수컷이 높은 반면, 3배체인 경우 암컷이 수컷에 비해 높은 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 산천어 2배체에서는 수컷이 암컷에 비해 성 성숙이 다소 빠르게 이루어짐과 3배체 암컷은 완전한 gonadic sterility나 3배체 수컷의 정소는 정세포 및 정자를 일부 보임으로써 완전한 gonadic sterility가 아님을 반영하는 것이다(박과 김 1994).

Ventilation rate에서 은어, *Plecoglossus altivelis*는 10초에 3배체는 25.91 ± 3.09 , 2배체는 23.40 ± 2.42 로 3배체가 2배체에 비해 다소 높았으나 유의한 차이는 없는 것으로 알려졌다(Aliah *et al.* 1991). 산천어 3배체인 경우 60초에 109.7 ± 6.0 을 보인 반면 2배체는 60초에 106.0 ± 2.8 을 보여 은어에서의 ventilation rate 결과와 유사하게 산천어 3배체가 2배체에 비해 다소 높은 ventilation을 보였으나 유의한 차는 나타나지 않았다.

3배체 stickleback, *Gasterosteus aculeatus*과 3배체 대서양연어의 산소 소모는 이들 2배체와 유의한 차이가 없었고 85%이상의 용존산소 상태에서의 지수식 산소 소모 측정 결과 은어 3배체는 2배체와 유의한 차이가 없었으나, 저농도의 용존산소 수준에서는 3배체 은어의 호흡 활성은 2배체에 비해 급격히 저하됨을 보였다(Aliah *et al.* 1991; Benfey and Sutterlin 1984a; Swarup 1959). 산천어 3배체도 높은 산소 소모와 아울러 2배체에 비해 유의한 차이를 보였으며 이러한 3배체가 2배체에 대한 높은 산소 소모 및 다소 높은 ventilation rate은 3배체의 다소 높은 hemoglobin에도 불구하고 산천어 2배체 적혈구에 비해 3배체 적혈구의 낮은 산소흡수 능력에 기인된 것이라 사료된다(Aliah *et al.* 1991).

산소 소비량 및 호흡율에 있어 산천어 3배체는 2배체에 비해 높은 값을 보였으며 체중 증가에 따라 산소 소비량이 감소되었는 반면, 개체 체중 증가에 따라 호흡율이 증가 됨을 보였다. 아울러 체중 및 개체 체중 증가에 따른 산소 소비량 및 호흡율에서의 각각의 증감 정도는 산천어 3배체가 2배체에 비해 크게 나타나 본 실험의 환경적 요소인 용존산소와 더불어 개체 크기에 따른 3배체는 2배체에 비해 민감성을 나타내었다. 이와 같은 2배체에 대한 3배체의 낮은 산소 소모 효율은 3배체의 혈액학적 특성과 잘 일치함을 알 수 있다.

조직으로의 산소 운반은 심장에서의 혈액의 방출과 혈액 자체의 산소 운반 능력에 좌우되는 것으로 60~70%의 적혈구 수 감소를 보이는 빈혈(moderately anemic)을 보이는 flounder, *Platichthys stellatus*와 무지개 송어, *Oncorhynchus mykiss*의 심장혈액 방출은 이들 정상개체에 비해 증가됨이 알려졌다(Cameron and Davis 1970; Wood *et al.* 1979). 또한 Virtanen *et al.* (1990)은 무지개송어 3배체 적혈구에서의 대사산물 축적을 조사한 바 무지개송어 3배체는 2배체에 비해 낮은 용존산소 이용능력을 나타낸 바 있다. 이와 같은 연구 보고를 고려할 때 차후 산천어 3배체를 대상으로 큰 적혈구 세포에 기인된 2배체보다 낮게 예상되는 산천어 3배체 적혈구의 산화능력 및 심장혈액 방출에 영향을 줄 수 있는 심장크기 조사 등 호흡생리학적 측면에서의 보충적인 연구가 필요하리라 사료된다(Holland 1970; Parsons 1993).

요 약

수정 10분 후에 수온 28°C에서 15분간 처리로 산천어, *Oncorhynchus masou* 3배체를 유도하였다. 혈액학적 및 생리학적 특성 조사가 3배체와 2배체를 대상으로 산란기전에 실시 되었다. 적혈구 수에서 3배체는 2배체에 비해 유의하게($P < 0.01$) 낮은 반면 산소 소모, haematocrit치, hemoglobin, 적혈구 부피, MCH 및 MCHRBC에서는 3배체가 2배체에 비해 높게 나타났다. Total protein, albumin 및 cholesterol에서도 역시 3배체는 2배체에 비해 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- Abdel-Hameed, F. 1972. Hemoglobin concentration in normal diploid and intersex triploid chickens: genetic inactivation or canalization? *Science* 178: 864~865.
- Aliah, R. S., Y. Inada, K. Yamaoka and N. Taniguchi. 1991. Effects of triploidy on hematological characteristics and oxygen consumption in ayu. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 57: 833~836.
- Benfey, T. J. and A. M. Sutterlin. 1984a. Oxygen utilization by triploid landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 42: 69~73.
- Benfey, T. J. and A. M. Sutterlin. 1984b. Triploidy induced by heat shock and hydrostatic pressure in landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 36: 359~367.
- Cameron, J. N. and J. C. Davis. 1970. Gas exchange in rainbow trout *Salmo gairdneri* with varying blood oxygen capacity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 27: 1069~1085.
- Deparis, P., J. C. Beetschen and A. Jaylet. 1975. Red blood cells and hemoglobin concentration in normal diploid and several types of polyploid salamanders. *Comp. Biochem. Physiol.* 50A: 263~266.
- Ghiretti, F. 1966. Respiration in physiology of mollusca. In: K. M. Wilbur and C. M. Yonge eds. Vol. II, Academic Press, London, pp. 175~208.
- Graham, M. S., G. L. Fletcher and T. J. Benfey, 1985. Effect of triploidy on blood oxygen content of Atlantic salmon. *Aquaculture* 50: 133~139.
- Holland, R. A. B. 1970. Factors determining the rate of gas uptake by intracellular hemoglobin. In: D. Hershey ed, *Blood Oxygenation*. Plenum Press, New York, NY, pp.1~23.
- Kim, D. S., J.-Y. Jo and T.-Y. Lee. 1994. Induction of triploidy in mud loach (*Misgurnus mizolepis*) and its effect on gonad development and growth. *Aquaculture* 120: 263~270.
- Parsons, G. R. 1993. Comparisons of triploid and diploid white crappies. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 237~243.
- Prosser, C. L. 1973. *Comparative animal physiology*. 3rd ed. Saunders College, Philadelphia. 966 pp.
- Sezaki, K., S. Watabe and K. Hashimoto. 1983. A Comparison of chemical composition between diploids and triploids of "ginbuna" *Carassius auratus langsdorf*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 49: 97~101.
- Sezaki, K., S. Watabe and K. Hashimoto. 1988. Haematological parameters and erythrocyte enzyme activities associated with increase in ploidy status of the spinous loach, *Cobitis*

산천어(*Oncorhynchus masou*) 2배체와 3배체간의 혈액학적 및 생리학적 특징

- biwa*e Jordan and Snyder. J. Fish Biol. 32: 149~150.
- Small, S. A. and D. J. Randall. 1989. Effects of triploidy on the swimming performance of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 243~245.
- Swarup, H. 1959. The oxygen consumption of diploid and triploid *Gasterosteus aculeatus* (L.) J. Genet. 56: 156~160.
- Thorgaard, G. H. 1986. Ploidy manipulation and performance. Aquaculture 57: 57~64.
- Ueno, K. 1984. Induction of triploid carp and their haematological characteristics. pn. J. Genet. 59: 585~591.
- Wood, C. M., B. R. McMahon and D. G. McDonald. 1979. Respiratory, ventilatory, and cardiovascular responses to experimental anemia in the starry flounder, *Platichthys stellatus*. J. Exp. Biol. 82: 139~162.
- 김동수 · 최경철 · 박인석. 1990. 3배체 나일틸라피아 생산에 관하여. 한국양식학회지 3: 135~144.
- 박인석 · 김형배. 1994. 3배체 산천어(*Oncorhynchus masou*)유도. 한국양식학회지 7: 207~223
- 박인석 · 김형배 · 손진기 · 김동수. 1994. 3배체 참돔(*Pagrus major*)의 생산. 한국어류학회지 6: 71~78.