

성어기 시마연어의 성장형질에 대한 유전율 및 표현형 상관과 유전 상관의 추정

최 미 경 · 여 인 규*

제주대학교 해양연구소, *제주대학교 해양생산과학부 해양생물공학전공

Estimation of Heritabilities of Growth Traits, and Phenotypic and Genetic Correlations in Adult Masu Salmon (*Oncorhynchus masou*)

Mi-Kyung Choe and In-Kyu Yeo*

Marine Research Institute, Cheju National University, Cheju 695-810, Korea

*Major of Marine Biotechnology, Faculty of Applied Marine Science, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

Heritabilities of growth traits, and phenotypic and genetic correlations for rearing masu salmon *Oncorhynchus masou* in adult stage were described. Genetic parameters were estimated for total length, body weight, and head length of masu salmon at 19 and 23 months of age. The heritabilities of growth traits estimated for sire component at 19 months of age was 0.22 in each trait in 1995, and ranged from 0.19 to 0.36 at 23 months of age in 1996. Phenotypic and genetic correlations were high among growth traits (0.85~0.98, 0.67~1.26, respectively). Family selection or that combined with individual selection is proposed to improve growth of masu salmon.

Key words : Masu salmon, *Oncorhynchus masou*, heritability, genetic correlation, growth

서 론

양식 대상종으로 사육되고 있는 어종 중에서는, 적절한 선발 방법을 이용하여 유용형질의 사육효율을 높이는 것이 효율적인 양식을 위해 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 특히 경제적으로 중요한 성장 관련 형질의 선발에 따른 우수한 집단의 생산 및 사육효율의 향상은 노력의 절감, 사육기간의 단축, 사료의 효율화 등을 이룰 수 있다. 이를 위해서는 성장에 관한 변이성이 어느 정도 존재하는가, 또는 그 변이가 어느 정도 유전하는가 하는 것에 대한 정확한 판단 자료가 필요하다. 어류는

일반적으로 많은 인자들에 의해 그룹간 또는 개체간에 있어서 다양성을 지니고 있기 때문에 선발에 따른 육종 효과가 기대되어지고 있으나, 아직까지 충분한 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다.

한편, 한국 및 일본을 비롯한 동북아시아에 있어서는 연어 자원량을 주로 백연어의 방류 사업에 의존하여 왔으나, 최근에 와서는 시마연어 등 다른 연어과 어류에 비해 맛이 떨어지고, 양적 생산에만 주력한 방류 사업에 따른 품질의 질적 저하 현상 등 상품으로서의 가치 저하가 두드러지게 나타나고 있는 실정이다. 이에 비해, 동북아 지역에 주로 분포하고 있는 시마연어는 맛의 우수성으로 높은 수요를 보이고 있으며, 경제적으로도 뛰어난

난 상품 가치성을 지니고 있다. 이러한 이유로 1990년도 후반경부터 시마연어의 인위적 자원관리에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다. 시마연어 사육에 있어서 무엇보다 먼저 고려되어야 하는 것은 품질 향상을 위한 유전적 개량과 생산성 향상의 가능성이다. 이러한 것들은 시마연어의 인위적 양성 및 자원 관리가 미래 지향적 사업으로 발전하기 위해 반드시 고려되어야 될 대단히 중요한 요소들이다. 유전적 개량의 가능성은 선발 강도, 유전율, 표현형 분산 그리고 세대간 간격에 의존한다(Gjedrem, 1976). 유전율은 전체 표현형 분산에 대한 상가적 유전 분산으로 표현되고, 선발로 인한 유전적 개량 효과 뿐 만 아니라 선발 방법을 결정 할 수 있게 한다. 이러한 이유로 유전율은 육종과 관련되는 거의 모든 연구에서 사용되어지고 있다(Falconer, 1989). 일반적으로 연어과 어류에 있어서의 양적 유전학적 연구는 선발 육종의 효과가 충분한 큰 것으로 나타나고 있다(Klupp, 1979; Gjedrem, 1983; Kinghorn, 1983).

그러나 양식에서의 육종 목적이 우수한 품질의 상품 생산이라는 측면에서 볼 때 선발은 상품크기에서의 측정으로 행하여지는 것이 바람직하다. 시마연어에 대한 이들 크기에 대한 연구는 아직 행하여지지 않고 있다.

따라서, 본 연구는 성어기 시마연어의 성장 관련 형질에 대한 유전적 기초자료를 얻고자 19개월령 및 23개월령의 유전율 및 표현형 상관과 유전 상관 추정을 목적으로 실시하였다.

재료 및 방법

성어기의 시마연어에 대한 유전율 및 표현형 상관과 유전 상관 추정은 1993과 1994년에 각각 형매군을 수정·사육하여 1995년(1993년 수정군)과 1996년(1994년 수정군)에 실시하였다.

1. 형매군 생산

1993년 9월 북해도립수산부화장에서 사육되고 있는 시마연어 만 2세어의 성숙된 친어 중에서 무작위 추출에 따른 수컷 20마리와 암컷 20마리를 이용하였다. 암컷 20마리(전장 40.5 ± 2.3 cm, 체중 797.4 ± 126.4 g)는 수컷 20마리(전장 42.2 ± 3.1 cm, 체중 803.8 ± 167.0 g)와 각각 임의교배를 시켜 전형매군 20가족을 만들었다.

1994년 9월에도 1993년군과 같은 방법으로 수컷 21마리와 암컷 30마리를 이용하였다. 이 중 수컷 20마리와 암컷 20마리(수컷, 전장 42.0 ± 3.0 cm, 체중 803.7 ± 166.9 g; 암컷, 전장 40.5 ± 2.3 cm, 체중 797.4 ± 126.4 g)는 각각 임의교배로 전형매군 20가족을 만들었다. 나머

지 1마리의 수컷은 나머지 10마리의 암컷(수컷, 전장 42.1 cm, 체중 792.0 g; 암컷, 전장 39.6 ± 2.6 cm, 체중 753.0 ± 142.6 g)과 임의 교배시켜 반형매군 10가족을 각각 만들었다.

2. 사육

1993년 수정군의 수정란은 가족별로 스텐레스제 망목 바구니($19 \times 15 \times 6$ cm)에 담아 수용하고, 북해도대학 수산학부내 185 l의 실내수조($185 \times 50 \times 20$ cm)내에 정치 배양하였다. 수조 내의 수온은 10°C 로 유지하였고, 사육수는 순환여과층을 이용하여 순환시켰다. 부화 자어는 난황 흡수 후 자어용 분말 사료(협화발효)를 이용하여 사육하였고, 먹이섭취 개시 약 3주 후에 각 가족으로부터 각각 270마리씩을 실외 550 l 또는 1100 l의 원형수조에 가족별로 수용하였다. 전형매군 중 3가족은 부화자어수의 부족에 따라 248~256마리를 수용하였다. 사육에는 E.T. 순환시스템(Narasaki Co.)을 이용한 생물여과 순환수를 사용하였으며, 전 유량은 매시간 약 60톤이 되도록 조절하였다. 사료는 성장에 적절하게 건조 펠릿을 이용하였으며, 1일 2회 포식량을 공급했다. 어류에 포식을 행하기 전까지의 사육수조는 순차적으로 교차시켜 사육조건을 가능한 동일한 조건이 되도록 하였다.

1994년 수정한 수정란은 1993년과 동일한 방법으로 사육을 실시하였다. 부화자어는 먹이섭취 3주 후 각 가족으로부터 각각 250마리씩을 추출하여 실외 사육탱크로 옮겨 사육하였다. 그 중 4가족에 대하여서는 부화자어수의 부족으로 60~184마리를 수용하였으며, 사육은 1993년 수정군과 동일한 방법으로 사육하였다.

3. 포식

1993년 수정군은 먹이를 섭취하기 시작하여 약 4개월 후에 기름 지느러미의 절단에 의한 포식(Nielsen, 1992)을 실시하여 2가족씩 함께 사육하였으며, 먹이섭취 약 11개월 후에는 개체별 포식을 실시하여 성장이 우수한 가족과 성장이 열등한 가족의 각각 5가족을 선발하여 전 가족을 하나의 탱크에서 사육하였다.

1994년 수정군은 먹이섭취 개시 4개월 후에 이라스트마 형광포식법(Choe and Yamazaki, 1996)을 이용하여 각 가족의 포식을 실시하고 전 가족을 하나의 탱크에서 사육하였다.

4. 수온

각 해의 사육 기간 중의 수온은 4~6월, 9~10월은 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ 의 범위를 유지하였고, 여름기간동안의 최고 수온은 23°C , 겨울기간의 최저수온은 2°C 였다.

5. 측정

측정은 1995년 (1993년 수정군) 8월 (23개월령)과 1996년 (1994년 수정군) 4월 (19개월령)과 8월 (23개월령)에 생존한 전 개체를 대상으로 각각 실시하였다. 1995년에는 실외 탱크에서 20개월 동안 사육된 전형매군의 84마리를 측정하였다. 1996년 실외 사육 16개월 후의 측정에 있어서는 전형매군 349마리와 반형매군 258마리가 각각 사용되었으며, 실외 사육 20개월 후에 있어서는 반형매군 132마리에 대하여 측정이 이루어졌다. 측정 항목은 전장, 체중 및 두장을 측정하였으며, 전장과 두장은 0.1 mm 단위까지, 체중은 0.1 g 단위까지 측정하였다.

6. Data 분석

전형매군 및 반형매군의 상가적 유전 변이는 다음과 같은 식으로 추정된다.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

여기서 Y_{ij} 는 관찰치, μ 는 공통 평균, α_i 는 전형매군에 대해서는 i 번째 수정 효과 혹은 반형매군에 대해서는 한 마리의 수컷과 수정한 i 번째 암컷의 효과, e_{ij} 는 오차를 나타낸다. 개체간 및 가족간의 분산추정을 위해서는 분산분석법을 사용하였다. 변이 분산은 표현형 분산이 여러 관찰 성분의 분산(수컷 친어간 분산, σ^2_s ; 수컷 친어내 암컷 친어간 분산, σ^2_D ; 자손간 분산, σ^2_w , 가족내 개체간)으로 나누어지는 것으로 이루어진다.

유전율은 위에 설명된 변이구성성분을 이용하여 다음과 같은 식에 의해 추정하였으며, 표준오차는 각각의 수정군의 동일하지 않은 개체수에 대해 Becker (1984)의 방법으로 실시하였다.

유전율 추정식은 전형매군에 대해서는 $h^2 = 2\sigma^2_s / (\sigma^2_s + \sigma^2_w)$, 반형매군에 대해서는 $h^2 = 4\sigma^2_D / (\sigma^2_D + \sigma^2_w)$ 였다.

각각의 성장 형질들은 동시에 측정되었으며, 형질간의 상관 관계에 대해서도 추정이 이루어졌다. 유전 상관 및 표현형 상관 추정은 Becker (1984)에 의해 실시하였다.

결 과

1. 성장 관련 형질들의 평균 및 유전율

두 측정 연령에 있어서는 전장(TL), 체중(BW) 및 두장(HL)에 대한 평균 및 변동계수(CV=100 · SD/mean)가 추정되었다. 각 성장 관련 형질에 대한 평균 및 변동계수는 표 1에 나타내었다. 두 해의 측정군에 대한 성장은 19개월령과 23개월령 사이에 비슷한 성장변화를 나타내었다. 각각의 성장 형질에 대한 평균 성장치는 전형매군 및 반형매군에서 각각 19개월령의 평균 전장 235.6 ± 69.73 , 217.3 ± 70.84 cm, 평균 체중 177.0 ± 160.89 , 146.2 ± 146.20 g 그리고 평균 두장 47.4 ± 16.92 , 44.6 ± 16.41 cm, 23개월령의 경우 평균 전장 288.4 ± 53.93 , 321.6 ± 62.39 cm, 평균체중 378 ± 183.33 , 412.2 ± 217.64 g 및 평균 두장 66.9 ± 12.98 , 71.0 ± 13.85 cm로 나타났다. 각 해의 측정군 모두에서 체중의 변동계수(19개월령=90.9~100; 23개월령=48.5~52.8)는 전장의 변동계수(19개월령=29.6~32.6; 23개월령=18.7~19.4)보다 큰 것으로 나타났다. 또한 각 형질에 대한 변동계수는 19개월령의 것이 23개월령의 것보다 크게 나타났으며, 전형매군과 반형매군에서는 비슷한 성장을 보였다.

각 해의 측정군에 대한 성장 관련 형질에 대한 유전율의 추정치는 표 2에 나타낸 바와 같이 19개월령 및 23개월령에서 모두 유사하였다. 1995년의 23개월령의 전형매군에서는 0.19~0.36의 범위로 추정되었으며,

Table 2. Heritabilities estimated for total length (TL), body weight (BW) and head length (HL) of masu salmon at two ages in 1995 and 1996. Standard errors are given in parentheses

Traits	19 months old		23 months old	
	Full-sib**	Half-sib**	Full-sib*	Half-sib**
TL	0.22(0.10)	0.54(0.27)	0.34(0.20)	0.08(0.18)
BW	0.22(0.10)	0.47(0.25)	0.19(0.18)	0.09(0.20)
HL	0.22(0.10)	0.40(0.25)	0.36(0.21)	0.18(0.22)

* estimated in 1995; ** estimated in 1996

Table 1. Means and coefficients of variatin (CV) for total length (TL), body weight (BW), and head length (HL) of masu salmon of full-sib and half-sib families at two ages in 1995 and 1996

Traits	19 months old				23 Mmonths old			
	Full-sib**		Half-sib**		Full-sib*		Half-sib**	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
TL	235.6	29.6	217.3	32.6	288.4	18.7	321.6	19.4
BW	177.0	90.9	146.2	100	378.0	48.5	412.2	52.8
HL	47.4	35.7	44.6	36.8	66.9	19.4	71.0	19.5

* estimated in 1995; ** estimated in 1996

Table 3. Additive genetic correlations (below diagonal) and phenotypic correlations (above diagonal) between total length (TL), body weight (BW) and head length (HL) for masu salmon at two ages in 1995 and 1996

Traits	TL	BW	HL	TL	BW	HL
	19-month-old full-sib families**			19-month-old half-sib families**		
TL		0.96	0.95		0.97	0.98
BW	0.99		0.94	0.99		0.85
HL	0.67	0.97		1.00	0.98	
	23-month-old full-sib families*			23-month-old half-sib families**		
TL		0.87	0.88		0.89	0.88
BW	0.99		0.90	1.26		0.93
HL	1.00	1.07		1.03	1.06	

* estimated in 1995; ** estimated in 1996

1996년의 19개월령의 전형매군 및 반형매군에서는 각각 0.22, 0.40~0.54의 범위로 추정되었으며, 23개월령에서는 반형매군에 있어서 0.08~0.18의 범위로 추정되었다. 1996년군의 19개월령에서 반형매군의 추정치가 전형매군의 추정치보다 다소 높은 것으로 나타났으며, 23개월령의 반형매군에 대한 추정치는 19개월령에 비하여 매우 낮게 추정되었다.

2. 유전 상관 및 표현형 상관

1995년 군과 1996년 군에 대한 성장 관련 형질의 표현형 상관 및 유전 상관은 표 3에 나타난 것과 같이 두 측정 연령에서의 표현형 상관 및 유전 상관은 성장 관련 형질들 사이에 높은 상관 관계가 있는 것으로 추정되었다. 각 해의 표현형 상관은 0.85~0.98의 범위로 추정되었다. 성장 관련 형질들 사이의 유전 상관치는 1996년 19개월령의 전형매군에 대한 전장과 두장간의 유전 상관치 0.67을 제외한 거의 대부분에서 두 해 모두 0.9 이상으로 높게 나타났다.

고 찰

Gjedrem (1983)은 Falconer (1960)를 인용하여 가족 선발과 개체 선발의 유효성을 유전율의 수치로부터 논하고 유전율이 높을 때는 개체 선발이 유효한데 반해, 유전율이 낮을 때는 가족 선발이 유효하다는 것과 유전율이 0.5일 때에는 개체 선발이나 가족 선발의 유효성은 동일하다고 보고하였다. 또한 선발 육종의 선발 방법에는 가족 선발과 개체 선발의 장점을 이용한 조합 선발이 가장 이상적인 방법으로 알려져 있다(山岸 등, 1983).

이 연구에서 각각의 해에 측정되어진 시마연어의 전장에 대한 유전율은 19개월령에서 0.22~0.54, 23개월령에서 0.08~0.34로 추정되었다. 1996년군의 23개월령에 대한 반형매군의 유전율은 1995년의 추정치에 비해 매우 낮게 추정되어졌는데, 이는 사육 기간 동안 선회성 바이러스의 발병으로 많은 개체들의 사망이 나타났는데 이로 인한 영향으로 고려된다. 유사한 유전율이 체중과 두장에서도 추정되었다. 성어기 시마연어에서 추정된 성장 관련 형질들의 유전율은 모두 0.5 이하였다. 여기서 얻어진 결과로부터 시마연어의 성장 관련 형질의 육종에는 전장, 체중, 두장 중 어떤 형질을 선택하여도 가족 선발이 개체 선발보다 유효한 것으로 판단된다. 더욱이 가족 선발내의 개체 선발을 실시하는 조합 선발에 의해 선발 육종의 효과를 가장 잘 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 성어기 시마연어의 전장 및 체중의 유전율은 무지개송어(Refstie, 1980; McKay et al., 1984; Gall and Huang, 1988), 대서양연어(Refstie and Stein, 1978) 그리고 Artic Char(Nillson, 1994)의 비슷한 연령에 대해서도 유사하게 나타났다.

성어기 시마연어의 연구에서 추정된 성장관련 형질들 사이의 유전상관 및 표현형 상관은 높은 상관관계를 나타내었다. 성어기 시마연어에서의 상관 관계는 대서양연어나 무지개송어에 있어서도 유사한 결과가 보고되고 있으며, 일반적으로 체 성장과 관련된 형질의 유전 상관은 대부분 크거나 중간치를 나타내며 표현형 상관은 유전 상관보다 높거나 낮다고 하는 일정한 경향을 나타내지는 않는다고 보고되고 있다(Gunnes and Gjedrem, 1978). 이들 대서양연어와 무지개송어 두 종에서는 체중과 체장 사이에 거의 1에 가까운 유전 상관을 보이고 있다. 이러한 현상은 동일 시점에서 얻어지는 체중과 체장 사이의 유전 상관은 지극히 높으며, 이는 같은 유전적 요인에 의해 지배받고 있다는 것을 의미하고 있다(Winkelman and Peterson, 1994). 이것은 하나의 형질에 대한 선발로 얻어지는 유전적 변화는 다른 형질에 대해서도 상관된 반응을 가져올 것을 기대할 수 있다. 따라서 이 연구에서 얻어진 각 형질들 사이의 높은 상관 관계는 하나의 형질에 대하여 선발을 실시할 경우 다른 형질에 대해서도 비슷한 효과가 얻어질 수 있을 것이라고 판단된다. Choe and Yamazaki (1998)는 유어기 시마연어의 성장 관련 형질에 대한 연구를 실시하여 유전율 및 표현형 상관과 유전 상관을 추정하였다. 7개월령 및 11개월령의 전장에 대한 유전율은 각각 0.35~0.47, 0.18~0.56으로 추정되었으며, 체중, 체고 그리고 두장에 대한 유전율도 비슷한 수치로 나타났다. 성장 관련 형질들 사이의 표현형 상관 및 유전 상관은 거의 대부분의

형질들에서 0.9 이상의 높은 수치를 나타내었으며, 7개월령과 11개월령 사이의 성장 관련 형질에 대한 표현형 상관은 0.45~0.63으로 추정되었다. 이들의 연구 결과로부터 유어기 시마연어의 성장 관련 형질에 대한 유전적 특성을 향상시키기 위해서는 선발에 의한 육종이 가치 있는 것으로 기대되어졌다.

일반적으로 변동계수는 변이의 크기를 판정하는데 유용한 요소이다. 성어기 시마연어에서의 변동계수는 체중에서는 높게, 전장에서는 다소 낮게 나타났다. 유어기 시마연어에서도 변동계수의 유사한 양상을 나타내었다 (Choe and Yamazaki, 1998). 이러한 양상은 무지개송어, 대서양연어, common carp 그리고 channel catfish에서도 보고되어지고 있다 (McKay, 1982).

일반적으로 선발은 가능한 한 어류의 상품크기에 도달하였을 때 이루어지는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 그러나, 육종 프로그램상으로 볼 때 많은 수의 어류를 관리하는 것은 비경제적이다. 만약 선발이 어린 연령에서 이루어질 수 있다면, 이것은 육종을 행하는 데 있어서 매우 경제적이 될 것이다. 시마연어의 경우 Choe and Yamazaki (1998)의 보고에 의하면, 7개월령과 11개월령 사이의 표현형 분산은 높은 것으로 나타나 7개월령에 대한 성장이 우수한 가족에 대한 선발의 유효성을 보고하고 있다. 또한 Elvingson and Johansson (1993)은 1.0~2.5년령에서 체중과 1.5~2.5년령에서의 가랑이체장간의 높은 유전 상관을 보고하고, 무지개 송어가 2.5년령에 도달해야 비로소 상품크기가 됨에도 불구하고 어린 연령에서의 변이를 이용한 선발의 유용성을 시사하였다. 따라서 시마연어의 유어기와 성어기 사이의 성장 관련 형질에 대한 유전 상관에 대해서는 차후 연구가 이루어질 필요가 있다.

많은 연어과 어류의 양적 유전학적 연구에서 일반적으로 사육되어져오고 있는 계통에 대한 유전율은 선발 육종을 가능하게 할만큼 충분히 큰 것으로 보고되어지고 있다 (Gjedrem, 1983; Kinghorn, 1983). 성어기 시마연어에서 얻어진 유전율 또한 육종목적이 시마연어의 빠른 성장에 있을 경우, 선발 육종은 유전적 개량을 가능하게 하는 육종 방법인 것으로 사려되며, 가족 선발 혹은 조합 선발이 최상의 선발 육종방법으로 판단된다.

적 요

성어기 시마연어의 성장 관련 형질에 대한 유전율 및 표현형 상관과 유전 상관의 추정을 실시하였다. 유전 인자는 전장, 체중 그리고 두장에 관하여 시마연어의 19개월령 및 23개월령에서 추정을 실시하였다. 유전율은

1995년 19개월령에서는 각각의 성장 형질에서 0.22로 추정되었으며, 1996년 23개월령에서는 0.19~0.36으로 추정되었다. 성장 형질들간의 표현형 상관 및 유전 상관은 각각 0.85~0.98, 0.67~1.26으로 높게 나타났다. 시마연어의 성장을 향상시키기 위해서는 가족 선발 혹은 가족 선발내의 개체 선발을 가미한 조합 선발이 유효할 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

- Becker, W.A. 1984. Manual of quantitative genetics, 4th ed., Academic Enterprises, Pullman, Washington, 188 pp.
- Choe, M.K. and F. Yamazaki. 1996. An evaluation of fluorescent elastomer tagging method for juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*). Fish Gen. Breed. Sci., 23 : 41~50.
- Choe, M.K. and F. Yamazaki. 1998. Estimation of heritabilities of growth traits, and phenotypic and genetic correlations in juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou*. Fish. Sci., 64(6) : 903~908.
- Elvingson, P. and K. Johansson. 1993. Genetic and environmental components of variation in body traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relation to age. Aquaculture, 118 : 191~204.
- Falconer, D.S. 1960. Introduction to quantitative genetics, Oliver and Boyd, Edinburgh, 356 pp.
- Falconer, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics, 3rd ed., Longman Scientific and Technical, Harlow/John Wiley and Son, New York, 438 pp.
- Gall, G.A.E. and N. Haung. 1988. Heritability and selection schemes for rainbow trout: Body weight. Aquaculture, 73 : 43~56.
- Gjedrem, T. 1976. Possibilities for genetic improvements in salmonids. J. Fish. Res. Board Can. 33 : 1094~1099.
- Gjedrem, T. 1983. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish. Aquaculture, 33 : 51~72.
- Gunnes, K. and T. Gjedrem. 1978. Selection experiments with salmon IV. Growth of Atlantic salmon during two years in the sea. Aquaculture, 15 : 19~33.
- Kinghorn, B.P. 1983. A review of quantitative genetics in fish breeding. Aquaculture, 31 : 283~304.
- Klupp, P. 1979. Genetic variance for growth in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture, 31 : 283~304.
- McKay, L.R. 1982. A genetic analysis growth in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Ph D. thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario, 200 pp.
- McKay, L.R., G.W. Frears and P.E. Ihssen. 1984. Genotype

- × temperature interactions growth of rainbow trout. *Aquaculture*, 41 : 131 ~ 140.
- Nielsen, L.A. 1992. Methods of marking fish and shellfish, American fisheries society special publication 23, Am. fish. Soc., Bethesda, Maryland, pp. 69 ~ 75.
- Nillson, J. 1994. Genetics of growth of juvenile Arctic char. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 123 : 430 ~ 434.
- Refstie, T. 1980. Genetic and environmental sources of variation in body weight and length of rainbow trout fingerlings. *Aquaculture*, 19 : 351 ~ 357.
- Refstie, T. and T.A. Steine. 1978. Selection experiments with salmon III. Genetic and environmental sources of variation in length and weight of Atlantic salmon in the freshwater phase. *Aquaculture*, 14 : 221 ~ 234.
- Winkelman, A.M. and R.G. Peterson. 1994. Genetic parameters (Heritabilities, dominance ratios and genetic correlations) for body weight and length of chinook salmon after 9 and 22 months of saltwater rearing. *Aquaculture*, 125 : 31 ~ 36.
- 山岸宏, 高雅映, 中村將, 福渡淑子. 1983. 魚類育種遺傳學, 恒星社厚生閣, 東京, 452 pp.

Received : April 20, 2000

Accepted : June 9, 2000