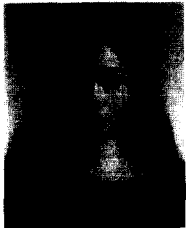


# 유전능력 평가에 의한 수산양식생물 육종



최미경 박사  
국립수산과학원 북제주수산증묘시험장  
TEL)064-796-1652  
E-mail) choemk@momaf.co.kr

## 양적형질에 대한 육종

육종은 모든 생물체 고유의 유전적 변이를 이용하고 있다. 이 변이성과 함께 여러 형질의 유전 법칙에 대한 명료한 개념을 확립한 후 유효한 육종 프로그램을 개발함으로써 성공할 수 있는 것이다. 육종-유전적 배치를 이용한 연구는 유용 양식종의 재생산에서 뿐 만 아니라, 인류에 의해서 재생산되지 않고 있는 야생어종의 자원보호를 위해서도 필요하다. 유전 육종기술을 이용해서 생산력을 향상시키는데는 여러 가지 방법이 있으나 (Kirpichnikov, 1972), 일반적으로 육종가와 유전학자들의 주요 과제는 성장 촉진, 변화되는 환경에 대한 적응력 증대 및 생존 능력의 향상에 의한 사육어의 생산력을 높이는 것이다. 그러나 종전까지는 세계의 많은 나라에서 어류의 육종 사업은 정확한 유전학적 지식을 토대로 행하기보다는 육종가의 개인적 경험을 바탕으로 이루어져왔다. 그러나 현대 육종학은 확실한 유전학적 기반을 두고 구축되어야만 하며, 그렇지 않으면 그 효과는 미미하거나 오히려 역효과를 유발함으로써 돌이킬 수 없는 결과를 낳기도 한다. 어류에서

육종학적 방법에 의한 품종 개량을 위해서는 우선, 전 생물에 공통적인 유전 법칙을 고려하는 것을 물론, 양식 대상종 특유의 유전학적 특징에 대한 충분한 자료를 근거로 고려되어야만 한다. 특히 육종 대상형질이 어떠한 유전형질을 가지느냐에 따라 육종 방법은 크게 달라진다.

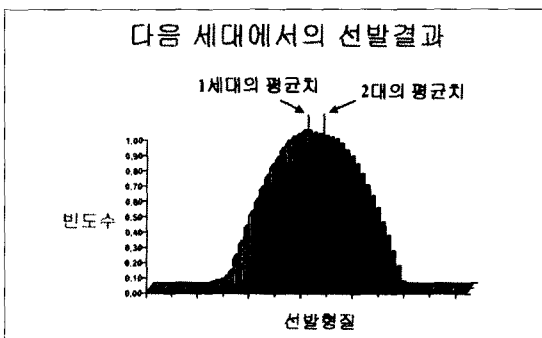
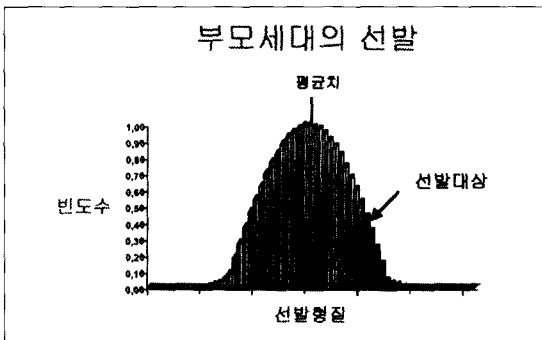
생물의 형질(trait)을 크게 유전학적으로 정의한다면, 질적 형질과 양적 형질로 분류할 수 있다. 전자는 단순한 멘델 유전에 의해 발현되기 때문에 유전적 변이를 관찰하기 쉬운 형질을 말하지만, 후자는 많은 유전자(polygene)가 관여함과 동시에 발현 과정에서 환경의 영향을 받기 때문에, 유전적 변이성 파악이 비교적 어려운 형질이다. 육종 연구는 크기나 무게 등과 같은 성장 관련 형질, 색조 등 형태적인 것에서부터 생리적 반응 및 항병성 등, 생물 변이의 많은 부분을 차지하는 연속적 변이를 나타내는 경제 형질의 유전적 개량을 목적으로 하고 있다. 이들 형질의 대부분은 양적 형질에 속하므로 양적 형질의 유전학적 연구, 즉 유전을 및 유전 상관 등 유전능력 평가를 통하여 보다 과학적이고 체계적인 육종을 행하여야만 한다.

## 유전능력 평가와 육종

양적 유전은 “어떤 종류의 변이가 유전되는가”라는 것이 아니라 “어느 정도의 변이가 유전하는가”라는 것으로서, 즉 질적이 아니라 양적인 개체 변이에 관한 것이다.

사실 생물간에는 개체 차이가 존재한다. 사람이나 가축의 몸의 크기 변이는 잘 알려진 예이다. 이와 같은 형질은 양극단 사이에 연속적으로 분포하는 것으로서, 명료한 구분이 있는 몇 개의 형태로 간단하게 분류 될 수 있는 것이 아니다. 양적 변이의 대개는 다수의 유전자좌상의 유전자의 차이에 영향을 받는다. 따라서, 개개의 유전자를 분리해서 특정 지을 수 없다. 이러한 경우 유전능력평가에 의한 선발(통계)육종을 실시한다.

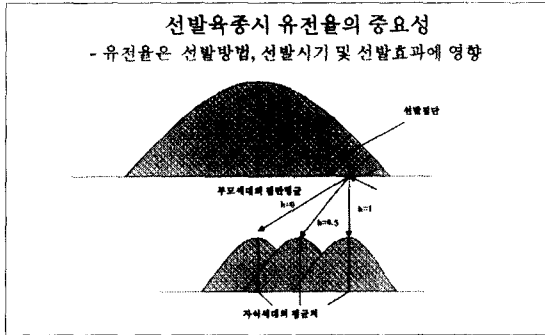
## 선 발



개량(육종)은 우수한 부모로부터 우수한 자손이 나온다는 기본 이론 하에서 이루어지는 것이다. 우수한 부모를 구별해서 뽑는 것을 선발이라 하며, 이러한 선발의 기준이 되는 것은 유전적 능력이다. 유전능력이라는 것은 현재 그 개체가 발휘하고 있는 능력(표현형 능력)이 아니라 그 개체의 피 속에 흐르는 그래서 자손에 전달할 수 있는 능력을 말한다. 이러한 유전능력은 수학적, 통계적으로 평가되어진다. 수산생물의 유전능력 평가 형질에는 전 생애에 걸친 일령, 월령 등 일정한 연령에서의 성장형질, 강건성, 환경내성, 내병성, 재생산력 등이 있다. 유전능력평가는 이러한 평가 형질에 대한 개개의 유전율, 유전상관, 육종가 등을 계산해 내는 일련의 과정으로 대상 생물 특유의 유전학적 특징에 대해 파악할 수 있게 된다. 여기서 평가되어진 값으로 다음세대를 위한 부모세대의 선발이 이루어진다. 즉, 어느 것을 부모로 사용할 것인가, 교배는 어떻게 이루어져야 하나, 선발 강도 및 선발시기는 어떻게 할 것인가가 결정된다. 또한 선발된 부모로부터 생산된 자손의 능력은 어느 정도가 될 것인가 등의 예측도 가능해 모집단의 평균으로부터 다음 세대 집단의 평균이 어느 정도 이동하느냐하는 것을 사전에 예견 할 수 있으며, 이로 인하여 계획적이고 과학적인 육종이 가능하게 되는 것이다.

## 유전율

유전율은 표현형치로부터 육종가를 예측 할 때의 신뢰성 혹은 표현형치와 육종가의 일치 정도를 나타내는 것이다. 이러한 이유로, 유전율은 육종에 관련한 거의 모든 공식에 사용되어지고, 더욱이 어느 육종 방법을 선택할까 하는 것에서도 사실상 유전율의 크기에 좌우된다.



### 육종가

육종가는 선발강도 및 유전율의 영향을 받으며, 우수한 부모를 선발하는 지표가 되는 요소이다. 또한 육종가는 각 형질에 미치는 유전자들 효과의 총화를 말한다. 예를 들어 성장에 미치는 유전자의 수가 수없이 많다고 가정하면, 각각의 유전자들은 성장에 미미한 영향을 미치지만 분명히 영향을 미치고 있다. 어떤 유전자는 좋은 영향을 미칠 수도 있지만, 어떤 유전자는 반대로 나쁜 영향을 미칠 수도 있다. 이러한 개개 유전자들의 영향을 모두 합한 것이 육종가이다. 결국 선발을 실시한 후의 개량량을 예측할 수 있는 지표가 되는 것이다. 예측치가 실질적 육종가(참 육종가)와 최대한 일치할 수 있게 하기 위해서는 유전자의 발현에 영향을 미치는 많은 변이 요소들에 대한 연구가 충분히 가미된 지속적인 평가 프로그램의 개발이 필요하다.

### 수산양식생물의 육종

수산양식이란 우수한 종묘를 가지고 생물에 적합한 사육환경에서 좋은 먹이를 공급하여 대량으로 많은 생산량을 수확해내는 것을 목표로 한다. 이를 위하여 사육조건이나 먹이를 위한 연구는

지금까지 끊임없이 연구되어 오고 있으며, 이를 바탕으로 우리의 양식기술은 세계 선진국 수준에 도달해 있다. 그러나 양식의 손익분기점을 결정하는 요인 중 최소의 경비로 최대의 소득을 올리기 위해서는 무엇보다 우수한 품종을 선정하고 양질의 종묘를 사용하는 것이 제일 중요하다. 또한 사육밀도가 높아지고 양식을 둘러싼 주위의 바다 환경 및 사회적 여건이 변화함에 따라 종묘의 중요성에 대해서도 인식을 달리하여 보다 비싼 값을 치르더라도 좋은 종묘를 적기에 생산하고 확보하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 실지로 이러한 우수한 종묘가 어떻게 만들어지고 있는지, 확보한 종묘가 진정 우수한 종묘인지에 대해서 정확하게 알고 있는 사람은 별로 없는 실정이다.

농업에서 “종자가 농사의 절반이다” 또는 “죽어도 씨앗은 베고 죽는다”는 말이 있다. 양식을 바다에서의 농사라 보면 수산양식에 대한 종묘의 중요성도 이와 다름이 없다. 우리의 수산양식 대상종에 있어서는 무엇보다도 어떻게 우수한 종묘를 만들어 나갈 것인가, 어떻게 우수한 종묘를 선발해 낼 것인가 및 어떻게 유전자원의 우수함을 유지·관리해 나갈 것인가에 대한 연구가 시급한 실정이다. 이와 같은 부분을 담당하는 것이 바로 유전능력 평가에 의한 육종연구이다.

어류 집단의 유전적 변이를 이용하여 생물학적 효율을 증가시킴으로서 생산성의 극대화를 이룰 수 있다는 것이 양식산업에 양적 유전학을 이용한 육종 기술이다. 양적 유전학적 기술을 이용한 육종을 선발육종이라 칭하는데 이 육종법의 기술적 원리는 유전적으로 우수한 개체들은 다음 세대의 유전자 풀에 기여하는 정도가 그렇지 않은 것 보다 월등히 크고 또 그 유전자 풀은 세대를

거치면서 지속적으로 발전하게 된다는 것이다.

최근, 수산생물의 육종을 검토 및 실시할 목적으로 양적 유전학의 이론을 도입하여 유전능력평가를 실시하는 예가 많아지고 있다. 막대한 노력, 시설, 예산 등을 들여가면서까지 유전율이나 유전 상관 등 유전능력 평가를 실시하는데는 유전율이나 유전 상관에 선발 효과의 예측을 가능하게 하고, 선발 방법의 지표이기도 하며, 더욱이 표현형으로부터 파악하기 어려운 유전 정보를 추정할 수 있게 되기 때문이다.

## 수산생물의 유전능력평가에 의한 육종의 문제점

양적 형질에 대한 육종학적 적용은 작물이나 가축의 육종 이론 연구에 의해 양적 형질의 유전학(양적 유전학)이 확립되면서 활발하게 되었다. 그러나, 수족 생물에 있어서는 사육이나 교배 등을 위한 많은 시설과 노력이 필요할 뿐 아니라, 양적 형질 측정을 위한 기술적 곤란 등으로 인해 이들 형질에 대한 육종학적 연구를 수행하는데 많은 불리한 점을 안고 있다.

### 양적 형질

양식산업에서 중요시되고 있는 속성장, 내병성, 사료효율 등과 같은 경제적 형질들은 대부분 양적 형질에 속한다. 이와 같은 양적 형질에 대한 육종은 직접적으로 한 두 개의 유전자를 이용한 육종과는 달리 유전능력 평가를 통한 선발육종을 실시하여야만 한다. 그러나 이들의 유전적 요소 및 유전능력을 평가를 위해서는 많은 수의 가족 생산, 혈통을 유지 및 관리하여야 하는 어려움이 있다.

### 경제성

수산생물은 육상의 가축과는 달리 물 속에서 생활하여야 하고 개체의 초기 사이즈가 작기 때문에 산란과 동시에 개체인식을 위한 표지를 한다는 것은 불가능하다. 따라서 표지가 가능한 시기까지 가족별 별도의 사육이 되어야만 한다. 이렇게 함으로써 가족간의 혈통유지 관리는 용이하나 모든 가족이 동일한 사육환경 유지 및 관리에 있어서 막대한 예산과 인력이 소요된다. 최근, DNA 기법을 이용한 혈연관계의 추정이 가능해짐에 따라 가족을 구분하기 위한 가족별 별도의 사육 및 관리를 위한 부담은 줄어들었으나 혈연관계추정을 위하여 고가의 장비 및 적잖은 비용이 소요된다.

### 전문성

육종연구는 지금까지 지구상에 없던 새로운 품종을 만들어 낸다든지, 기존의 품종을 보다 성과가 좋은 품종으로 유전자 자체를 개량시킨다든지 하는 일종의 창작활동이다. 또한 육종의 성과는 지리적, 계절적, 생리·생태학적으로 제한을 받기 때문에 육종을 위해서는 유전학적 이론을 바탕으로 생리·생태학, 발생학, 병리학, 통계학, 경제학 등 모든 분야의 지식을 종합적이며 유기적으로 활용하여야만 한다. 따라서 현장의 양식어민들로서는 스스로 종의 개량을 해나가는 어렵고 육종 효과면에서도 비효율적이기 때문에, 전문화된 국가기관이나 대형 중묘기업이 육종 부분을 담당하여 이를 이용하는 것이 절대적으로 필요하다.

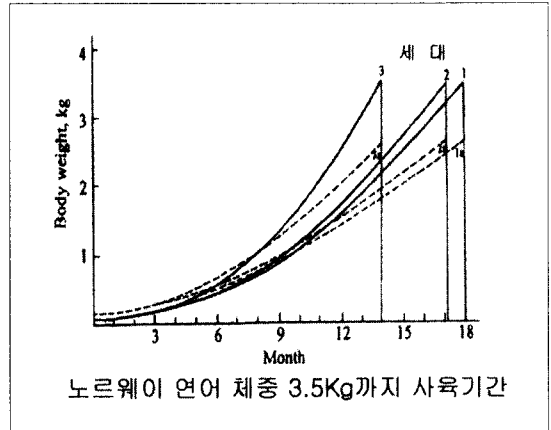
### 오랜 기간 소요

육종은 세대를 거쳐서 유전자의 빈도가 개량되어 가는 것이기 때문에 세대간격이 긴 어·패류

의 경우 원하는 육종효과를 얻기 위해서는 5-6세대를 거쳐야만 한다. 이 기간 동안 육종을 지속적으로 수행할 수 있기 위해서는 막대한 인력과 자본을 필요로 한다.

### 유전능력 평가에 의한 수산생물의 육종 효과 및 국·내외 연구현황

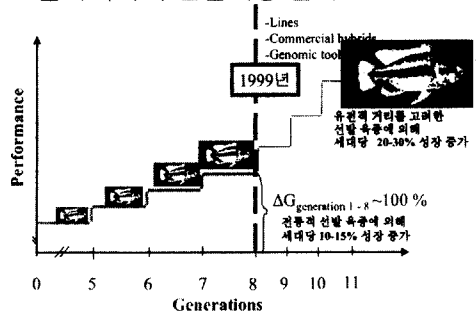
어류의 양적 형질에 대한 육종연구는 구미의 식문화에 대한 사회적인 배경을 바탕으로 대부분 연어과 어류에서 행하여져 왔으며, 최근에 일부 잉어과에서도 행하여지고 있다. 어류의 양적 형질에 관한 연구는 Aulstad et al. (1972)가 부화후 150일과 280일 경과된 무지개송어의 체장 및 체중에 관한 유전율을 추정하는 것으로부터 시작된 이래, 무지개송어(Gall, 1975; Gall and Gross, 1978; Gunnes and Gjedrem, 1981; Linder et al, 1983; Kinghorn, 1983; Yamamoto et al., 1991; Su et al., 1997, Choe and Yeo, 2002), 대서양연어(Gjedrem and Aulstad, 1974; Rye et al., 1990; Gjedrem et al, 1991), 잉어(Kirpichnikov, 1972; Moav et al., 1976), catfish (Reagan et al, 1976), 시마연어(Kanno and Kawamura 1993; Choe and Yamazaki; 1998, Choe, 2000, Choe and Yeo, 2000, 2001) 등을 대상으로 오늘날까지 지속적으로 연구되고 있다. 그 결과, 이들 어종에 대한 육종의 효과를 입증할 수 있는 많은 자료들이 보고되어져 왔다. 이들의 대표적인 예로서 무지개송어의 경우 선발 6세대를 통해 한 세대당 3%의 체중증가를 보였고, 노르웨이의 연어양식은 바다에서의 성장기간을 7세대 동안 무려 300%이상 줄였고, 일본에서 시행한 참돔의 경우 선발 5세대를 통해 1kg까지의 사육기간을 1.5배 단축시켰으며, 틸라



참돔의 선발 육종 효과

구 분	유전률 (h <sup>2</sup> )	4년생 선발군 평균체중	체중1kg까지 사육소요기간
선발전	-	2,000g	36개월
선발 1세대	0.13	2,735g	31개월
선발 2세대	0.08	3,089g	26개월
선발 3세대	0.58	3,627g	24개월
선발 5세대	0.35	4,075g	19개월

틸라피아의 선발육종 결과



피아의 경우 7세대 동안 성장률을 100% 증가시키는 효과를 얻었다. 특히 일본에서는 1990년대

초반부터 양식어업에 있어서 개량 종묘에 대한 필요성 등 육종개발의 중요성이 인식되면서, 1992년도부터 일본 수산청은 대학 및 수산 관련 연구기관의 45개 연구팀이 참여하여 “신품종작출 기술개발사업”에 대하여 장기간에 걸쳐 집중적으로 투자하고 있다. 이 사업의 주요 내용은, 1) 유용 형질의 검출평가를 위한 선발 시험, 2) 변이 유발에 의한 육종 시험, 3) 유용형질 관련 기술개발 (형질의 유전관련성 파악 및 형질 고정 검정법 개발 등)을 행하는 것이다. 이들의 연구는, 양적 형질들에 대한 최적의 육종 프로그램 제시는 물론, 선발 육종학적 프로그램을 이용하여 대상 어류의 질적 향상을 도모할 수 있다는 것을 보고하고 있다(신품종 기술개발 연구보고서, 1993-1998).

한편, 1990년과 1992년에 ICLARM(국제수산자원관리센터)과 UNDP/DGIP 지원의 아·태 지역 선진연구기관, 국제기구, 국가기관의 연구자모임에서는 선발육종에 의한 고성장·내병성 품종개발을 양식업의 지속적 발전을 위한 최우선 연구 과제로 선정하고, 수산분야의 국제적 육종 프로그램을 적극적으로 수행하고 보다 우수한 품종개발을 위해 국제유전학 네트워크(INGA)를 설립하여 10여년간 틸라피아 선발육종 프로젝트를 수행하였다. 그 결과 성장이 20~80% 빠르고, 생산비가 20% 저렴한 신품종 GIFT strain을 개발하였다. 이 GIFT strain은 전세계 각국에 보급 중에 있으며, 2001년부터 잉어를 대상으로 하는 제2차 선발육종 프로젝트에 착수해 있다. 이와 같이 체계적이고 과학적인 유전능력 평가에 의한 선발육종이 축산업이나 양식업에서 가장 확실하고 효과가 높다는 것이 과학적으로 밝혀졌음에도 불구하고, 전체 양식의 약 3%만이 과학적이고 체계적인

육종학적 방법에 따른 우량종으로 운영되고 있다는 사실은 실로 안타까운 일임과 동시에 앞으로 양식산업의 막대한 이익증가가 기대되는 근거이기도 하다.

## 앞으로의 과제

양적 형질을 기초로 한 육종프로그램은, 연어나 잉어과 어류 및 틸라피아에서 주로 행하여져 왔으며, 빠른 성장에 의한 양성기간 단축으로 비용 절감뿐 아니라 우수한 품질의 어류를 생산함으로써 경제적 효과를 창출해 내고 있다. 또한 1975~1995년 사이 세계양식생산고는 2배의 증가를 보여왔는데, 이중 70%는 선발육종과 같은 육종의 영향이고 30%는 그 외의 시스템 개발 등의 영향(1995, FAO)으로 평가되고 있다. 그러나 우리나라에서는 주요 양식대상종의 양적 형질의 육종에 의한 품종 개량 연구는 미미한 실정이다. 향후 우수한 품종 개발로 생산성 향상 및 브랜드화로 원가 절감 및 국가 이미지가치 상승이 필요하다. 나아가 수산물 수입에 대한 국내 양식산업의 경쟁력 강화 및 양식어민 보호를 위해서는 유전능력 평가 및 관리를 위한 장기적이고 체계적인 육종프로그램연구가 시급히 이루어져야 한다. 또한 육종연구가 장기간이 소요되고, 육종의 효과가 많은 시간과 세대를 거쳐 나타난다는 점 등으로 육종을 시도하는데는 장기적이고 과학적인 근거를 바탕으로 전문적이고 체계적으로 추진되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

Aulstad D., Gjedrem T. and Skjervold H. 1972.

- Genetic and environmental sources of variation in length and weight of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Fish. Res. Bd. Can. 29 (3): 237-241.
- Choe M.-K. and Yamazaki F. 1998. Estimated of heritabilities of growth traits, and phenotypic and genetic correlations in juvenile masu salmon *Oncorhynchus masou*. Fisheries Science 64(6): 903-908.
- Choe M.-K. 1999. Survival in fry and juvenile stages of masu salmon *Oncorhynchus masou*: estimates of heritabilities and correlations. J. Aquaculture, 12(3): 185-191
- Choe M.-K. 2000. A genetic analysis of reproductive traits of masu salmon *Oncorhynchus masou*. J. Aquaculture, 13(1): 13-19
- 최미경 · 여인규. 2000. 성어기 시마연어의 성장형질에 대한 유전을 및 표현형상관과 유전상관의 추정. 한국어류학회지, 12(2): 118-123
- 최미경 · 여인규. 2001. 시마연어 0기 스폴트에 대한 유전을 추정. 한국수산학회지 34(4), 419-421
- 최미경 · 여인규. 2002. 무지개 송어 치어기의 염분내성에 관한 연구, 한국어류학회지 14(3), 205-211
- Gall G. A. E. 1975. Genetics of reproduction in domesticated rainbow trout. J. Anim. Sci. 40: 19-28.
- Gall G. A. E. and Gross S. J. 1978. Genetic studies of growth in domesticated rainbow trout. Aquaculture 13: 225-234.
- Gjedrem T. and Aulstad D. 1974. Selection experiments with salmon. I. Differences in resistance to vibrio disease of salmon parr (*Salmo salar*). Aquaculture 3: 51-59.
- Gjedrem T., Salte R., and Gjoen H. M. 1991. Genetic variation in susceptibility of Atlantic salmon to furunculosis. Aquaculture 97: 1-6.
- Gunnes K. and Gjedrem T. 1981. A genetic analysis of body weight and length in rainbow trout reared in seawater for 18 months. Aquaculture 24:161-174.
- Kanno Y. and Kawamura H. 1993. Comparison of heritabilities estimated by two techniques of variance analysis for fry mortality rate of masu salmon in Hokkaido. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1111-1116.
- Kinghorn B. P. 1982. A review of quantitative genetics in fish breeding. Aquaculture 31: 283-304.
- Kinghorn B. P. 1983. Genetic variation in food conversion efficiency and growth in rainbow trout. Aquaculture 32: 141-155.
- Kirpichnikov V. S. 1972. Theory of fish selection. In: B. I. Cjerfas (Ed.), Genetics, Selection and Hybridization of fish. Academy of Science of the USSR, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 266 pp.
- Linder D., Sumari O., Nyholm K. and Sirkkomaa S. 1983. Genetic and phenotypic variation in production traits in rainbow trout strains and strain crosses in Finland. Aquaculture 33: 129-134.
- Moav R. and Wohlfarth G. 1976. Two way selection for growth rate in the common carp (*Cyprinus carpio* L.). Genetics 82: 83-101.

- Reagan R. E., Pardue G. B. and Eisen E. J. 1976. Predicting selection response for growth of channel catfish. *J. Hered.* 67: 49-53.
- Refstie T. 1980. Genetic and environmental sources of variation in body weight and length of rainbow trout fingerlings. *Aquaculture* 19: 351-357.
- Robinson O. W. and Luempert III L. G. 1984. Genetic variation in weight and survival of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Aquaculture* 38: 155-170.
- Rye M., Lillevik K. M. and Gjerde B. 1990. Survival in early life of Atlantic salmon and rainbow trout: estimates of heritabilities and genetic correlations. *Aquaculture* 89: 209-216.
- Su G.-S., Liljedahl L.-E. and Gall G. A. E. 1997. Genetic and environmental variation of female reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 154: 115-124.
- Yamamoto S., Sanjyo I. Sato R. Kohara M. and Tahara H. 1991. Estimation of the heritability for resistance to infectious hematopoietic necrosis in rainbow trout. *Nippon suisan Gakkaishi* 57: 1519-1522.
- 신품종기술개발사업 연구성과의 개요, 1993-1998. 일본 수산