

어류의 유전육종과 산업에의 응용에 관하여

김동수 · 남윤권
부산수산대학교 양식학과

Applications of biotechnology to aquaculture

Dong-Soo Kim · Yoon-Kwan Nam

Department of aquaculture, National Fisheries university of Pusan,
Pusan 608-737, Korea

Over the decade, rapid progress has been made in the application of gene manipulation technology to aquaculture for the genetic improvement of aquacultured species. Two basic fields of genetic improvement involve the endocrinal control such as control of spawning seasons, induced and multiple spawning and cryopreservation of gametes, and the gene manipulation using chromosome engineering, sex reversal, hybridization, selective breeding and gene transfer techniques.

Chromosome engineering of induced polyploidy, gynogenesis and androgenesis have been extensively investigated in fish. The major goal of these studies has been to develop methods for the increasing productivity by controlsex and by rapid establishment of inbreeding lines.

Sex reversal techniques has been applied to the species which has been applied to the species which has sex related significant differences in growth, behaviour pattern, breeding time, body shape and size etc. so, culture of monosex population is highly desirable. physiological sex reversal by hormonal treatment or genetic sex reversal by matings between specific genotypes have been carried out.

Hybridization in fish are performed in the hope of building the desirable characters, according to some parameters such as viability, growth potential, sexual maturation and disease resistance. Maternal or paternal genomes can be manipulated before and/or after heterospecific inseminations.

Selective breeding has been carried out to improve the performances or obtain fish products most desirable to the producer by modifying genotypic frequencies using specific mating system such as inbreeding or outbreeding and by changing alle frequencies toward ones more favorable to the breeder's goals through accumulation of the favored alleles.

Gene transfer technology has been introduced, aimed at the production of transgenic fish showing the improved characteristics and performances such as enhanced growth, disease resistance and cold resistance in their environment. Researches of transgenesis in fish are focused on the identification of desirable piscine genes, development of expression vector, optimization of introducing techniques, stable expression and transmission to germ line.

Key words: 육종(genetic improvement), 양식종(aquaculturedspecies), 유전자 조작(gene manipulation)

서 언

어류는 식량 자원으로 중요시 되고 있으나 어업 여건의 국제적 악화 및 연안역의 오염과 매립등으

로 인해 그 수급에 있어 2,000년대에는 큰 차질이 예상되고 있다. 앞으로의 생산 수급을 원활히 하기 위하여는 양식에 의한 생산량의 증대가 절실히 요구되며, 이에 따른 양식 기술의 개발이 필연적이라

제주대학교 해양연구소에서 개최한 제6회 해양과학심포지움(1993. 12. 10.)에 발표된 내용임.

하겠다. 양식 생산을 위한 기본 요건중, 종묘처어의 생산은 생산물의 원료 확보라는 측면에서 필수적이며, 더우기 우량 종묘의 생산은 양식 생산량의 극대화를 꾀할 수 있는 첩경으로 중요시 되고 있다.

이러한 중요성 때문에 1970년대 중반부터 어류의 유전자 조작에 의한 생산성 향상의 필요성이 대두되어 1975년 FAO의 양식 기술 회의에서는 어류의 유전자 개량을 통한 육종이 의제로 채택 되었으며 1982년에는 Genetics in Aquaculture 라는 주제하에 제 1회 심포지움이 영국에서 개최된 이래 1986년에는 제 2차 회의가, 그리고 1991년에는 중국에서 3차 회의가 개최되었다. 또한 해양 생명 공학에 대한 관심도 점차 커져 1986년 9월에는 태평양 해양 생물 공학 회의가 개최되어 최초로 해양 생물에 대한 생명 공학 기법의 도입 필요성이 인정되었고, 1988년에는 해양 분자 생물학 심포지움이 개최되는 등 최근 들어 유전 육종 및 유전 공학에 있어 수산 생물이 매우 중요한 대상으로 자리잡아가고 있다. 그러나 그 연구대상은 무지개송어 등 냉수성 어종인 연어과 몇몇 어류와 온수성 어종에서는 차림메기와 같은 서구 선진국의 소비 기호에 부합되는 몇 종에 국한 되어 있어 여타 다른 어종에 대한 연구는 매우 일천한 실정이다. 본고는 어류를 중심으로 현재까지 진행되고 있는 유전 육종학의 연구분야, 적용기법 그리고 어류육종학 분야의 기대효과 등에 대해 논하고자 한다.

수산생물의 유전육종

수산 동물을 대상으로 여러측면에서 생명공학 기법이 시도되고 있으나 대체로 개체를 대상으로 유전자를 조작하는 것과 유용 물질을 값싸게 대량 생산하기 위한 방편의 하나로써 배양된 세포를 이용하거나, 또는 유전자를 생체로부터 추출하여 이를 미생물에 넣어 값싸게 신 물질을 대량 생산하기 위한 기법 등으로 크게 나눌 수 있다.

이들 기법 중 현재 주로 진행되고 있는 유전육종 기법은 개체를 대상으로 육종의 대상물확보의 측면에서 성주기 조절 및 호르몬에 의한 산란유도의 연구와 이를 통해 얻어진 개체의 유전자 또는 염색체를 조작하는 기법으로서 유전자 조작을 통한 육종법에는 다음의 다섯가지 방법으로 대별할 수 있다.

첫째, 염색체 공학-염색체를 조작함으로써 염색체수를 증가시키거나 양친중 요구되는 한쪽 성의 유전물질만으로 개체를 유도하는 방법이다. 이를 통해 불임화의 효과를 통해 양적, 질적 증가와 아울러 유전적 순계의 확립이 가능하다.

둘째, 성 전환-암 수간의 성장에 차이가 나는 종의 경우 또는 어느 한쪽 성이 성숙시 양식산업에 바람직하지 못한 영향력을 끼칠때 성전환을 시켜 한가지 성만을 양식함으로써 같은 기간 동안 생산량을 증대시키는 방법이다.

셋째, 잡종 형성-두 종간의 교잡에 의해 두 종이 가지고 있는 중간 형질을 가진 잡종을 생산하여 양친의 우량형질을 고정하고 나쁜 형질을 제거하도록 하는 방법이다.

넷째, 선발 육종-유전적 변이에 의해 얻어진 좋은 형질을 가진 개체를 계속 선발교배 하여 우량형질들을 가진 개체들만 선발해 내는 방법이다.

다섯째, 유전자 조작-유용 유전자의 수정란내 이식과 함께 필요한 유전 인자를 증폭 시키거나 더욱 활성화 시키는 방법이다.

또한, 환경 또는 생리조절법으로는

첫째, 배란 유도 호르몬 처리에 의해 성 주기 변화. 산란 시기를 조절

둘째, 다산란을 유도하기 위한 연구

셋째, 우량 개체의 정, 난자 및 수정란의 동결 보존

넷째, 어류의 치, 자어기에 성장 호르몬을 위시한 생리 활성 물질의 처리에 의한 생산성 향상 방법이 있다.

염색체 공학 (Chromosome Engineering)

현재 수산동물의 육종에 적용되는 염색체공학 기법은 세포분열을 억제하여 그 염색체조 또는 염색체를 증가시키는 배수체 유도과 양친중 어느 한쪽성만의 유전물질로부터 개체를 유도해내는 자성 발생성 이배체, 웅성발생성 이배체를 들 수 있다.

배수체 (Polyploidy) 배수체 유도는 염색체 (chromosome) 또는 염색체조 (chromosome set) 의 수준에서 반수체 (haploid) 또는 이배체 (diploid) 를 넣어 주거나 제거하는 조작을 뜻한다 (Thogaard, 1986). 배수체 유도를 위해서는 유용수산동물의 난자와 정자를 수정시킨 후 제 2극체

의 방출을 억제하거나 수정란의 제 1난황을 억제한다. 이러한 세포분열 억제를 위해서는 수정란에 온도충격, 수압과 같은 물리적인 처리와 cytochalasin B, colchicin, colomid 등의 세포분열 억제 화합물의 처리가 이용되고 있다 (Aldridge *et al.*, 1990).

가. 3배체 3배체는 정상 이배체 개체보다 반수체 만큼의 염색체조를 더 갖고 있는 개체를 뜻한다. 유도된 3배체는 정상적인 감수 분열을 수행하지 못하므로 대부분 기능적인 불임이다. 성숙기에 난자와 정자의 형성에 필요한 영양분을 빼앗기지 않고 체세포의 성장으로 전환 시킬수 있어 빠른 성장률, 육질증가, 사료 효율 향상, 내병성 증가효과 등이 보고된 바있다 (Lincoln and Bye, 1984). 현재 유용 어패류 중 약 20 여종에 걸쳐 3배체가 유도되어 산업화되고 있거나 산업화를 위한 연구 단계에 들어가 있다. 최근에는 방류나 양식장사고 등으로 인한 자연수계의 유전자 오염방지란 과다번식의 방지를 위한 일환으로 3배체가 이용되는 경우도 있다 (Kim *et al.*, 1994).

나. 4배체 4배체의 유도는 대부분 온도 및 수압 처리를 통해 수정란 발생과정중 제 1난황을 억제하여 염색체수를 정상 이배체의 2배화 시키는 것이다. 4배체는 그 중의 3배체가 산업적 가치를 갖는 경우 2배체와의 단순 교배만을 통해 보다 간편한 방법으로 3배체를 생산하기 위해 유도된다. 그러나 유도된 4배체는 대부분 본래의 목적과는 달리 감수분열시 상동 염색체가 제대로 짝을 짓지 못하여 불임이거나 초기 폐사하는 경향을 보이며 (Bidwell *et al.*, 1985) 단지 불란서의 Chourrout group에 의해 유도된 4배체 무지개송어만이 이 목적에 부합되어 앞으로 산업적 이용이 가능할 것으로 평가되고 있다 (Chourrout *et al.*, 1986).

자성발생성 이배체 (Gynogenetic diploid) 암컷의 유전 물질만으로 생산되는 개체를 뜻하며 수컷 정자를 이온화 또는 비이온화 방사선 처리를 하여 정자의 핵 물질을 불활성화시켜 난자와 수정시킨 후 암서의 물리 또는 화학적 처리를 통해 유도한다 (Chourrout 1982) 유도된 자성발생성 이배체는 개체의 유전 인자의 재조합 정도에 따라 50% 이상의 inbreeding이 된다 (Guyomard, 1984).

따라서 이들은 모계의 형질만을 지니게 되고 만일 모계의 형질이 매우 우수하다면 그 형질을 1대에서 고정시킬 수 있어 우량 친어의 확보에 기여할 수 있으며, 성결정 양식이 암컷 동형 접합 (female homogamety) 일 경우 유도된 모든 개체는 암컷이 된다. 따라서 넘치와 같이 암컷의 성장이 숫컷보다 빠른 경우 이와 같은 기법으로 쉽게 우량 암컷만을 생산함으로써 양식에 획기적인 양적 증가를 가져올 수 있다. 그러나 유도된 자성발생성 이배체가 중에 따라서는 100% 암컷이 유도되지 않은 경우도 있어 수산동물의 성 결정 기작에 대한 연구가 병행 되어야만 한다. 또한 자성발생성 이배체를 제 1난황을 정지시켜 유도하면 이 개체는 염색체의 모든 유전자 좌위에서 동형 접합자를 이루게 되고 이러한 개체에서 얻은 난자로 자성발생성 이배체를 만들면 유전적으로 완벽한 개체 수준의 동형 접합성 클론 (homozygote clone) 을 만들수 있어 복제 생물체의 대량 생산이 가능하게 된다. 실제로 미국의 Streisinger group은 열대어의 1종에서 복제 어류를 생산한 바 있다 (Streisinger *et al.*, 1981).

웅성발생성 이배체 (Androgenetic diploid) 수컷의 유전 물질만으로 생산하는 개체를 뜻하며 난에 r-선을 조사하여 유전인자를 불활성화하여 정상 정자와 수정시킨 후 제 1난황을 억제해 통해 유도한다 (Purdum, 1969). 유도된 웅성발생성 개체는 수컷의 성 결정 양식이 이형 접합형 (male heterogamety) 일 경우 반수는 성 염색체가 XX인 암컷, 그리고 반수는 YY형의 성 염색체를 갖는 초숫컷 (super male) 이 만들어진다. 따라서 초숫컷과 암컷을 교배시키면 그 자손은 모두 숫컷이 생산되므로 틸라피아와 같이 숫컷이 산업적으로 중요한 경우 이용될 수 있다. 상기 기법에 의한 개체는 미국의 Thorgaard 와 그의 동료들에 의해 무지개송어에서 처음 유도되었고, 이제까지 단지 어류 2종에서만 성공된 보고가 있으나, 앞으로 정자의 동결 보존과 연관지어 산업적으로 매우 중요시될 가능성이 있다 (Thogaard, 1986). 더우기 이 웅성발생성 이배체들은 미토콘드리아 DNA를 갖지 않으므로 앞으로 이의 연구에 획기적인 기여를 할 것으로 기대된다.

성 전환 (Sex Reversal)

생물체에 있어 성 (sex)은 생리학적 성과 유전

학적 성으로 크게 나눌 수 있다. 생물체들이 진화 과정을 통해 얻어진 성 유전자(sex gene)에 의해 결정되는 성을 유전학적 성(genetic sex)이라하며 유전 인자의 지배하에서 개체 발생시 생화학적인 기작을 통해 형성되는 성을 생리학적 또는 생화학적 성(physiological sex)이라 한다.

성 전환에 의한 유전 육종은 수산동물의 어떤 종이 성장률, 성숙 시기, 체색, 모양 또는 습성등이 암, 수간에 차이가 커 한가지 성만을 양식 (mono-sex culture) 하는 것이 경제적이거나 사육관리가 쉬운 경우 시도한다 (Yamazaki, 1983; Guerrero, 1982; Jensen, 1976).

생리학적 성 전환 (physiological sex reversal) 개체 발생 과정중 성 호르몬을 처리하여 성을 전환시키는 방법으로 어류에 있어 이제까지 15종 정도만이 보고 되고 있다 (Hunter and Donaldson, 1983). 이는 실제적인 측면에서 어류의 성 전환에 의한 유전 육종이 쉽지 않다는 것을 암시 하는데, 그 이유는 성 전환을 위한 적절한 호르몬의 선택이 필요하며, 선택된 호르몬이라도 적정의 농도 처리를 하여야 하고, 적당한 처리 시기 및 그 기간이 필요하며 그 처리 방법도 매우 주의할 요하여야 하기 때문이다 (Lovshine, 1982).

유전학적 성전환 (genetic sex reversal) 앞서 염색체 공학에서 서술한 것과 같이 정자와 난자가 수정될 때 전 집단의 암컷 또는 수컷화할 수 있는 교배를 하거나 이들의 3배체를 유도하여 모든 집단을 암컷, 수컷 또는 그들을 불임으로 만들어 양식에 사용하는 방법이다 (Hunter *et al.*, 1982).

어떤 종은 생리학적인 성 전환이 된 개체로부터 정자나 난자를 얻으면 이러한 정, 난자는 유전적으로 본래의 성 유전자를 갖고 있으므로 이들과 정상 정, 난자를 교배시키면 그 자손은 모두 암컷 또는 수컷인 집단을 얻을 수 있다 (Kim *et al.*, 1986, 1988a).

잡종 형성 (Hybridization)

한 정자의 전핵과 다른 종의 난자가 가지고 있는 전핵과의 인위적인 수정에 의해 개체를 생산하는 것 뿐만 아니라 한 종의 난자에 다른 종의 정자를 투입시키는 것 (heterospecific insemination) 도

두를 잡종 또는 잡종화라고 한다 (Chevassus, 1983).

최근의 잡종화는 인공 수정을 시키기 전후에 정, 난자의 전핵에 여러 종류의 처리를함으로써 유전적으로 변화된 정자나 난자를 서로 교배시키는 방법 등을 사용한다. 유전 육종학적 기법에 의해 만들수 있는 가능한 잡종화 기작들은 중간 잡종, 자성발생 성개체 및 융성발생성 개체는 물론 잡종 3배체와 잡종 4배체의 유도도 가능하다.

잡종의 산업성 잡종을 산업적인 측면에서 고려할 때 대체로 발생 초기 단계에는 매우 생존력이 약한것이 특징이다. 이러한 잡종 개체의 높은 초기 치사율은 유전적 불안정성 때문일 것으로 추정되나 아직 연구가 미비한 실정이다. 한편, 성장 단계에서 잡종은 부모로 사용된 종들이 갖지 않는 특징이 나타나는 경우가 있다. 예컨대, 무지개송어와 은연어의 잡종은 IHN virus 에 매우 강하며, 브라운 송어와 브룩송어의 잡종은 해수 순치가 매우 쉬운 잡종강세 (heterosis)의 경향을 보이기도 한다. 그러나 성장률에 있어서는 거의 모든 잡종이 부모로 사용된 두종의 중간 정도의 성장률을 보이므로 잡종을 만들때 단지 성장률만을 유전 육종의 대상으로 함은 잡종 개체의 초기 발생 단계에서의 생존율이 낮은 점을 고려할 때 매우 위험한 일이다. 성숙기가 되면 대체로 거의 모든 잡종 개체는 불임이기 때문에 양식에 있어 불임의 이득을 얻을 수 있으나 수산 동물의 경우 어떤 종들은 잡종 개체일지라도 성 성숙이 이루어지는 개체가 있으므로, 잡종 개체들의 성숙기에 있어서의 경제성은 생식소 형성, 배우자 형성 및 접합자의 형성 유, 무에 따라 결정된다. 실제로 해산 어류인 plaice 와 flounder 의 잡종 3배체는 생식 세포가 형성됨이 보고되어 있다.

선발 육종 (Selective Breeding)

생물체는 형태학적, 생리학적 및 생화학적 등의 다양한 변이를 가지고 있다. 이러한 변이들은 유전이 가능한 것과 단순히 환경 요인에 의한 것으로 크게 나눌 수 있다. 물론 유전이 가능한 것이라도 외부 환경 요인에 크게 영향을 받는 것은 두말할 나위도 없다. 선발육종이란 유전이 가능한 변이중 경제적으로 유용한 변이를 가진 개체를 세대를 거듭하면서 교배함으로써 유전자 변이를 축적해 나가

는 것이다.

대상형질 선발육종을 위한 형질로써 양식 산업에 주로 사용되는 형질은 다음과 같다.

가. 사료 전환 효율-인공 사료를 공급할 때, 특히 저급의 인공 사료를 전환하여 효율적으로 사용할 수 있는 개체의 육종이 필요하다. 초식 또는 잡식성보다 동물성 사료 개체들의 사료값이 비싸므로 동물성 사료 어류의 경우에는 보다 높은 사료 전환 효율을 가진 개체로의 육종이 더욱 중요시 된다.

나. 성장률-모든 종에 있어 본 형질은 공통적으로 매우 중요하다. 특히 본 형질은 무게나 길이를 측정함으로써 쉽게 연구될 수 있으므로 가장 많은 연구가 집중되어 있다. 일반적으로 큰 개체일수록 값이 비싸므로 고래만한 새우의 생산 방향으로 육종을 시도하는 경우도 있으나 보다 중요한 것은 성장이 빠른 특히, 상품 크기까지 빨리 성장하는 개체의 생산이다.

다. 사망률(병에 대한 저항력)-매우 중요한 형질이나 그 유전율이 매우 낮아 연구가 어려우며 같은 질병이라도 환경 요인이 크게 작용하기 때문에 복잡한 형질이다.

라. 산란력-수산 생물 특히 어패류 또는 갑각류는 알의 수가 많으므로 일반적으로 중요한 형질이 될 수 없으나 철갑상어와 같이 알이 최종 산물인 경우에는 중요한 요인이 된다.

마. 육질-맛과 육질의 향상을 위한 방향으로 선발육종 하는 것은 중요하나 육질의 학문적인 정의가 매우 어려워 확실히 측정할 수 있는 방법론의 개발이 시급하다.

바. 성숙 시기-성숙이 되면 육질이 떨어지고 성장이 저해되며 성숙기를 지난 후상품 크기에 도달하는 종의 경우 산업성을 높이기 위해 성숙기를 늦추는 방향으로 육종을 시도한다.

사. 재포율-어패류를 넓은 수체에 방류한 후 포획은 중요하나 매우 다양한 형질이므로 연구에 어려움이 있다.

유전자 이식 (Gene Transfer)

수산동물에 있어 유전자 이식은 주로 수정란의 1세포기 또는 난할초기에 유용유전인자를 직접 수정란의 핵속에 넣어 그것이 발현되게 함으로써 궁극적으로 chimeric 동물을 생산하고자하는 것으로서, 성장호르몬의 경우에 같은 종의 것이 아니라

도 복강주사시 성장 증가를 가져온다는 것이 밝혀진 후 1984년 최초로 무지개송어를 대상으로 시도된 이래 8종의 어류에 대한 유전자 이식이 보고되어 있다(Chen & Powers, 1990).

상기의 연구는 최근 어류에 있어 유용 유전자의 클로닝(cloning)과 그의 염기서열 분석(sequencing)이 활발히 이루어지고 있어 큰 발전을 보고 있다(Agellon & Chen, 1986). 예컨대, 무지개송어의 C-myc 발암유전자, 송사리류의 미토콘드리아 DNA를 위시하여 산업적으로 중요시되는 인슐린 유전자, 성장 증가에 관여하는 성장호르몬 유전자 그리고 빙점하에서도 체액을 빙점 이하로 강하시켜 생물의 생존이 가능케 하는 항동결(antifreeze) 유전자 및 생체에 독성이 강한 중금속의 독성을 불활성화 시키는데 기여하는 methallothionin 유전자, 눈의 수정체 형성에 관여하는 crystallin 유전자 및 농약의 독성을 제거하는 것으로 알려진 esterase 유전자 등이 그것이다(Maclean & Penman, 1990). 이들 중 특히 무지개송어의 성장호르몬 유전인자는 실험실에서 합성되어 대장균에 삽입됨으로 이를 대량 생산하는 단계에까지 도달하여 있으며, 이렇게 생산된 성장호르몬을 무지개송어에 복강 주사하면 성장이 매우 빠른 결과가 보고되어 있다(Agellon et al., 1988).

앞으로 이 분야는 급속히 발전하는 분자생물학 및 유전공학 분야의 도움을 받을 것이 예상되므로 큰 기대를 걸어 볼만한 분야로 사료된다.

어류의 유용 유전자의 동정 및 사용 어류에 이식한 유용 유전자는 주로 인간, 쥐 또는 소의 성장호르몬 유전자나 세균에서 분리된 약제 내성 유전자가 대부분을 차지 하였다. 그 이유는 아직껏 어류에 있어 유전자 동정 및 이식등 어류를 위한 분자생물학적인 방법론이 확립되지 못하였기 때문으로, 주로 reporter gene을 사용한 몇몇종, 예컨대 무지개송어, 잉어, 틸라피아 그리고 차넬메기를 제외하면 모두 실험 동물로 개발된 어종이거나 관상어종이었다. (Maclean & Penman, 1990). 그러나 그간 사용되어온 유용 유전자는 어류에 있어 최근 선진각국의 실험실들에서는 그의 삽입과 표현에 큰 문제점을 던져주고 있어 최근 몇몇 실험실에서는 경제성이 있는 유용 어종으로부터 직접 유전자를 동정하고 cloning하기 위한 노력을 경주

하고 있다(Chen & Powers, 1990). 이에 Chum salmon과 무지개송어의 성장호르몬 유전자가 동정되어 그의 특성이 알려졌고 (Sekine *et al.*, 1985; Agellon & Chen, 1986), 가자미의 항동결유전자가 이미 유전자 이식에 사용되고 있다 (Fletcher *et al.*, 1988). 그 결과, 최근에 보고에 따르면 어류의 유전자는 역시 숙주의 염색체에 기존 포유류나 세균의 유전자보다 잘 삽입되고, 더우기 표현될 가능성도 보고 되고 있다 (Zhang *et al.*, 1990).

Plasmid vector의 개발 및 사용 많은 구조유전자와 fusion 되어 사용되고 있는 promoter의 경우에 포유류, 세균, 또는 virus로부터 얻어진 것이 사용됨으로써 어류의 조직에서 나타나는 현상은 매우 다양하며, 그 효율이 매우 낮게 나타나고 있다 (Ozato *et al.*, 1986). 이에, Liu 등 (1990)은 all fish expression vector의 개발을 시도한 바있다.

수정난내 유전자 이식 앞의 연구목적 및 필요성의 어류에 있어 유전자 이식의 문제점에 대해 언급했듯이 이제껏 수정난내 유용유전자 이식은 주로 1세포기 이전에 micromanipulator를 이용하여 유전자를 미세주입 하였다(Maclean & Penman, 1990). 그러나 어류의 난은 그 크기가 다양하고, 핵을 직접 관찰할 수 없으며, 강력한 난각을 가지고 있어 injection 이 포유류보다 매우 어려운 단점이 있다. 특히, 난각은 microinjection 용 needle 이 뚫기가 매우 어려워 화학적으로 이를 제거하는 방법이 개발되었으나 이것이 모든중에 통용되지 못하는 어려움이 있다(Maclean *et al.*, 1987). 이에, 난의 발생과정중 매우 효율적으로 유전자를 다량의 수정난에 주입하기 위한 연구가 이루어져 정자를 vector로 사용되는 방법, electroporation이나 lipofection을 이용하는 방법등이 제안되고 있으나, 아직 좋은 결과를 얻지 못하고 있다(Inoue *et al.*, 1990).

유전자 삽입, 표현 및 다음 세대로의 전달 Transgenic fish의 생산은 매우 일천한 역사를 가지고 있다. 따라서, experimental fish에 model gene을 사용한 연구에서조차도 아직 좋은 결과를 얻지 못하고 있다. 그러나 포유류 또는 virus의 promoter를 사용한 인간, 쥐 및 소의 성장 호르몬

유전자는 숙주의 유전자가 삽입된 보고가 있다.

삽입된 외래 유전자의 표현에 있어 Fletcher 등 (1988)은 항동결유전자와 인간의 성장호르몬 유전자를 구조유전자로 한 유전자를 삽입하여 성장이 빠르다는 보고가 있고, 최근은 잉어에 무지개 송어의 성장호르몬 유전자가 삽입된 물고기의 성장이 빠르다고 보고한 바 있다. 또한, Ozato 등(1986)은 medaka에서 이식된 chicken σ -crystallin 유전자가 그리고 최근 Inoue 등(1991)은 무지개 송어에서 β -galactosidase 유전자가 발현되었음을 보고 되었으나, 아직껏 이식된 유전자의 양식산업에 적용가능한 표현유무를 과학적으로 밝힌 보고는 전무하다.

결 어

수산 분야에 있어 생물 공학의 이용은 1980년대 들어 비교적 활발히 시도되고 있는 학문 분야로서 그 응용은 현재로써는 세계 각국 모두 극히 한정되어 있는 실정이다. 이는 그간의 어패류 단백질 자원의 공급이 어업에 의존 하였고 양식을 한다 하더라도 양식 기술의 개발이 더 시급하였기 때문이며, 생물 공학에 연관된 투자가 미생물과 포유류에 집중됨으로써 야기된 결과라 할 수 있다. 그러나 최근 양식에 있어 동일 노력으로 단위 면적당 생산성을 증대시키기 위한 방편으로 활발히 연구되고 있어 이미 미국에서는 염색체 공학을 이용한 참굴의 3배체 및 차멜메기의 3배체와 4배체가 생명물질 특허를 취득한 바있으며 염색체공학, 성전환, 잠종 회동 뿐만아니라 근래 급속한 발전을 보이고 있는 분자생물학에 힘입어 어류를 대상——한 유용유전자의 이식이 시도되고 있다.

우리 나라의 경우 몇 종의 어류에 대해 본인의 연구실에서 이미 3배체, 4배체, 잠종 및 잠종3배체, 성전환 등이 유도되었고 이중 넙치의 경우 자성발생성 개체를 이용한 우량의 전암컷 개체 및 전암컷3배체 개체가 산업성이 검토되고 있으며 무지개송어의 경우는 전 암컷 3배체 종묘가 일부 양식업자에 의해 대량 사육되고 있는 등 점차 관심이 높아지고 있는 실정이다. 또한 외래유전자 이식의 연구에서도 본 연구실에서 model어종인 송사리를 대상으로 인간의 성장호르몬 유전자를 이식하여 제 3대까지 전달되는 것을 확인한 바 있으며 몇몇 양

식어종에서도 외래 유전자의 삽입이 확인되어 나아가 유전자 발현 및 다음 세대로의 전달을 조사하고 있다. 따라서 생산성 향상이라는 측면과 아울러 앞으로 전개될 세계 각국의 첨단 생명 물질 특허에 대비하여서라도 국가적인 차원에서 조직적인 연구비의 투입과 연구 인력의 양성이 시급히 요구된 하겠다.

참고 문헌

- Agellon, L.B. and T.T. Chen, 1986. Rainbow trout growth hormone : Molecular cloning of cDNA and expression in *Escherichia coli*. Mary Ann Liebert, Inc., Publishers, 5 : 463-471.
- Aldrige, F.J., R.Q. Maston and J.V. Shireman, 1990. Induced triploids and tetraploids in bighead carp, *Hypophthalmichthys nobilis*, verified by multi-embryo cytofluor metric analysis. *Aquaculture*, 87 : 121-131.
- Bidwell, C.A., C.L. Chrisman and G.S. Libey, 1985. Polyploidy induced by heat shock in channel catfish. *Aquaculture*, 51 : 25-32.
- Chen, T.T. and D.A. Powers, 1990. Transgenic fish. *Trend. Biotechnol.* vol 8. 209-215.
- Chevassus, B., 1983. Hybridization in fish. *Aquaculture*, 33; 245-262.
- Chourrout, D., 1982. Gynogenesis caused by ultraviolet irradiation of salmonid sperm. *J. Exp. Zool.*, 223 : 175-181.
- Chourrout, D., R. Guyomard and L.M. Houdébine, 1986 b. High efficiency gene transfer in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) by microinjection into egg cytoplasm. *Aquaculture*, 51 : 143-150.
- Fletcher, G.L., M.A. Shears, M.J. King, P.L. Davies and C.L. Hew, 1988. Evidence for antifreeze protein gene transfer in atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquar. Sci.*, 45 : 352.
- Guerreo, R.D., 1982. Control of tilapia reproduction. In : *The Biology and Culture of tilpias*. (R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-MaConnell, eds.). International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, pp. 309-316.
- Guyomard, R., 1984. High level of residual heterozygosity in gynogenetic rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Theor. Appl. Genet.*, 67 : 307-316.
- Hunter, G.A. and E.M. Donaldson, 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture. In : *Fish Physiology*, 9(B) (W.S. Hoar, D.J. Randall and E.M. Donaldson eds.). Academic Press, New York, NY, pp. 223-303.
- Hunter, G.A., E.M. Donaldson, F.W. Goetz and P.R. Edgell, 1982. Production all-female and sterile groups of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and experimental evidence for male heterozygosity. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 111 : 367-372.
- Inoue, K., S. Yamashita, N. Akita, T. Mitsuboshi, E. Nagashima, T. Shiba, and Fujita, 1991. Histochemical detection of foreign expression in rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57 : 1511-1517.
- Jensen, G.L., 1976. The effects of several naturally occurring estrogens on *Sarotherodon aureus*(Steindachner) and their potential application to yield monosex genetic male. M. S. Thesis, Auburn Univ., Auburn, Alabama.
- Kim, D.S., I.-B. Kim and Y.G. Baik, 1986. A report of triploid rainbow trout production in Korea. 1986. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 19 : 575-580.
- Kim, D.S., I.-B. Kim and Y.G. Baik, 1988 a. Early growth and gonadal development of triploid rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Aquat.*, 1 : 41-51.

- Kim, D.S., J.Y. Jo and T.Y. Lee, 1994. Induction of triploidy in mud loach *Misgurnus mizolepis* and its effect on growth and gonad development. *Aquaculture* (i publishing).
- Lincoln, R. and V. Bye, 1984. Triploid rainbows show commercial potential. *Fish Farm.*, 7 : 22-26.
- Liu, Z., B. Moav, A.j. Faras, K.S. Guise, A.R. Kapuscinski, and P.B. Hackett, 1990. Development of expression vectors for transgenic fish. *Bio/Technology*, 8 : 1268-1272.
- Lovshin, L. L., 1982. Tilapia hybridization, In : *The biology and Culture of Tilapias* (R. S. V. Pullin and R. H. Lowe-McConnell, eds.). International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, pp. 279-308.
- Maclean, N. and D. Penman, 1990. The application of gene manipulation to aquaculture. *Aquaculture*, 85 : 1-20.
- Maclean, N., D. Penman and z. zhu, 1987. Introduction of novel genes into fish. *Bio/Technology*, 5 : 257 - 261
- Ozato, K., H. Kondoh, H. Inogara, T. Iwamatsu, Y. Wakamatsu and T.S. Okada, 1986. Production of transgenic fish : introduction and expression of σ -crystallin gene in medaka embryos. *Cell Differ.*, 19 : 237-244.
- Purdom, C. E., 1969. Radiation-induced gynogenesis and androgenesis in fish. *Heredity*, 24 : 431-444.
- Sekine, s., T. Mizukumi, T. Nishi, Y. Kuwana, A. Satto, M. Sato, S. Ttoh and H. Kawauchi, 1985. Cloning and expression of cDNA for salmon growth hormone in *Escherichia coli*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85 : 4305 - 4310.
- Streisinger, G., C. Walker, N. Dower, D. Knauber, and F. Singer, 1981. Production of clones of homozygous diploid zebra fish (*Brachydanio rerio*). *Nature (London)*, 291 : 293-296.
- Thogaard, G. H., 1986. Ploidy manipulation and performance. *Aquaculture*, 57 : 57-64.
- Yamazaki, F., 1983. Sex control and manipulation in fish. *Aquaculture*, 33 : 329-354.
- Zhang, P., M. Hayat, C. Joyce, L. Irene gonzalez-villasenor, C.M. Lin, R.A. Dunham, T.T. Chen and D.A. Powers, 1990. Gene transfer, expression and inheritance of pRSV-Rainbow trout-GH cDNA in the common carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus). *Molec. Reprod. Develop.*, 25 : 3-13.