

# 성의 제어

한국양식 편집부

많은 척추동물의 성비는 1:1이며 암수는 각 세대에 거의 같은 수가 태어난다. 생식 행동도, 암컷만의 집단을 형성하는 대형 포유류 등을 제외하면, 암수 1:1 로부터 차세대가 재생산 된다. 야생 집단에서는 같은 수의 암수를 전제로 대부분의 생태가 형성되어 있다고 생각되어 지기 때문에, 차세대의 유전적 영향도 암수에 의한 차는 일반적으로 없다. 그러나, 축산을 비롯한 산업 동물에서는 상품 가치, 생산 효율, 재생산 등에 암수의 성에 따른 큰 차이가 나타나는 경우가 있고, 암수 어느 한 쪽이 선택·사육되는 경우도 있다. 낙농의 암컷 소, 양계업의 암컷 병아리의 선택은 좋은 예라고 할 수 있다. 더욱이, 가축에서는 육종 목적으로 유전적으로 우량한 소수의 수컷으로 많은 암컷과 교배시키는 경우가 있고, 극단적으로 치우친 성비로 재생산을 행하는 경우도 있다. 이와 같이 산업동물에서는 성 제어의 유용성이 예상되어 기술 개발이 요구되고 있다.

산업 생산의 대부분은 자연 번식 집단으로부터의 어획물로 되어 있어, 이것들의 성 제어가 곤란하며 무의미하다. 그러나, 양식 대상종 및 종묘 방류를 행하는 재배어업에서는 그 기술 도입에 의한 효과가 기대된다. 인위적 재생산 기술이 확립되어 있는 어종에서는 양식, 증식을 불문하고 기술 개발과 도입 여부를 적극적으로 검토하여야 한다. 여기서는, 재생산 기술이 확립되어, 양식 및 인공 부화 방류가 활성화된 연어·송어과 어류의

성 제어 기술 개발 상황과 실용화의 현상을 논하겠다.

## 1. 어류에 있어서 성 제어의 의의

어류에서도 암수에 따른 형태적, 생리적 또는 생태적 특성의 차이가 있다. 관상어에서는 외부 형태, 채색 등에 현저한 성의 차이가 나타나 상품 가치가 달라진다. 성의 차이가 가장 현저하게 나타나고, 성 제어의 대상으로 예상되는 것은 생식에 관련된 형질이다. 어류의 알을 잘 먹는 일본에서는 암컷이 값 비싸다. 또, 인공 수정에 의해 재생산된 어종에서는 종의 알 확보 관점에서 암컷이 유리하다. 그 외, 성숙 연령, 생존율, 절대 성장량, 성장 속도, 육질 등에도 성의 차이가 보여지는 어종도 많다. 특수한 예로는, 산천어에 있어서 스몰트(smolt)화(은모화)의 비율이나, 최근 기술 개발된 3배체 어류에 의한 불임화 효과에도 암수 차이가 나타난다. 이러한 성의 차이는 생산물의 경제적 가치, 양식산업의 생산 효율, 증식 사업의 운영 효율에 직접적으로 영향을 미치는 것으로, 성 제어에 의한 효율화가 기대된다. 그림 1에 각 어종의 주요한 암수 성 차이와 성 제어에 의해 예상되는 효과를 종합하였다. 생산 목적, 사업 목적 및 경영 형태에 적합한 종묘의 성비를 설정하는 것에 의해 사업의 효율화를 꾀할 수 있게 된다.

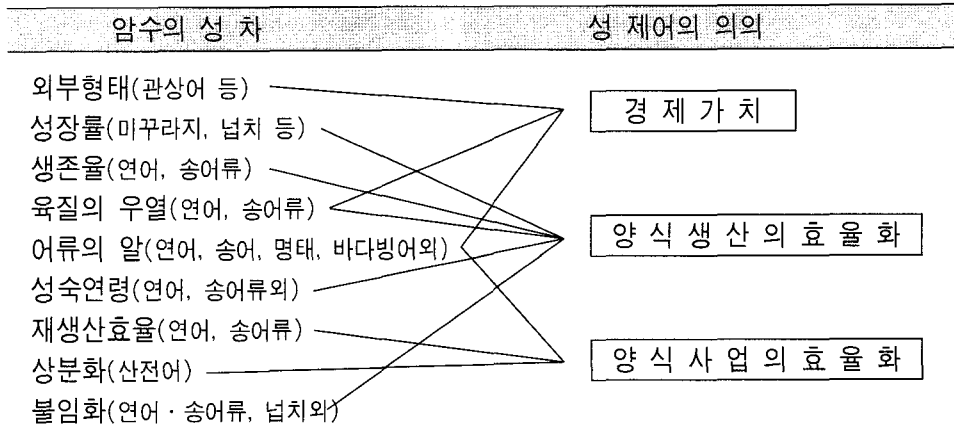


그림 1. 자웅의 성 차와 성 제어의 의의.

## 2. 어류의 성 결정과 성 분화

### 2-1. 유전적 성 결정

척추동물은 어류의 일부를 제외하고 자웅이체이다. 자웅이체 종의 유전적 성은 성염색체의 조합에 의해 수정시 결정된다. 웅헤테로(XX-XY형)의 종에서는 성염색체상 두 종류의 음성배우자가, 자헤테로(ZZ-ZW형)의 종에서는 두 종류의 양성배우자가 형성된다. 각각 호모측의 성 배우자가 임의적으로 수정하기 때문에, 암수에 있어 같은 수가 재생산된다. 유전적 성은 발생 과정에 있어서 성염색체의 조합에 따르고, 생식선 원기(原基)가 난소 또는 정소로 분화하여, 유전적으로 결정된 성은 그 이후 개체의 생리적 성으로서 구체화된다.

척추동물의 성염색체와 성 분화에 대해서 Matsumura는 각 강(綱)의 특성을 다음과 같이 정리하였다. (1) 포유류, 조류에서는 성염색체의 형태 분화가 진행되어 있고, 유전적 성이 우위를 나타낸다. 성 분화에서 환경 요인의 영향은 나타나지

않고, 인위적 성전환도 불가능하다. (2) 한편 양서류, 어류의 변온동물에서는 기본적으로 성염색체를 가지고 있으나, 그 형태적 차이는 적다. 성 분화는 환경요인, 호르몬 또는 사회적 순위 등의 영향을 받아 인위적 성전환이 가능하다. (3) 파충류에서는 뱀류와 같이 양자의 중간에 위치하는 것과 후자에 가까운 것(도마뱀류, 거북이류)이 포함된다. Matsumura가 나타낸 것과 같이, 각 강의 동물군에서 성염색체의 분화정도 및 성 분화에의 영향 정도는 서로 다른 많은 변화를 가진다. 성염색체형도 포유류에서는 웅헤테로, 조류에서는 자헤테로이며, 다른 강에서는 쌍방의 형이 나타난다.

더욱이 어류에서는 자웅동체 종이 존재 하는것 외, 자웅이체 종에서도 우발적 자웅동체가 출현하는 등 포유류, 조류와는 다르다. 성염색체의 생식선 원기의 성 분화에 미치는 영향력은 동물군에 따라 차이가 나타나지만, 성 결정의 기본은 성염색체이다. 양서류, 조류에서는 환경요인의 영향을 받기 쉽고, 특히 어류에서는 성 스테로이드 투여에 따른 성분화 유도가 많은 어류에서 보고

되어져 있다. 이와같이 어류는 다른 척추동물에 비해 암수의 분화정도가 낮은 집단으로 생각되어져, 인위적 성전환 또는 그것을 응용한 성 제어가 가능하다.

### 2-2. 생리적 성의 분화

Yamazaki는 어류의 생리적 성을 생식선의 성, 외부 형태의 성, 행동학적 성으로 구분하여 각 단계에서의 성 분화에 있어서 고찰하였고, 생리적인 성의 기본은 생식선이며, 성 제어의 기본도 생식선의 자웅분화의 인위적 제어에 있다고 논하고 있다. 생식선의 성은 발생의 어떤 시기(성 분화기)에 성염색체로 부터의 물질적 지령에 따라 분화한다고 여겨지지만, 그 물질적 기작은 불명확한 부분이 많다. Ohno는 포유류에서 발견된 H-Y항원을 척추동물의 공통적인 성 결정물질이라고 가정하고 있으나, 하등 척추동물에서의 연구는 적고, 어류에 있어서도 그 역할은 확실치 않다. 어류에서는 성분화기의 성 스테로이드 투여로 성 분화가 유도된 것이 확인되어져 있으나, 성 스테로이드가 직접 성 분화를 유도하는 물질이라는 증거는 확실치 않고, H-Y항원을 포함한 성 분화의 물질적 메카니즘은 앞으로의 연구과제이다.

물질적 메카니즘은 충분히 해명되어 있지 않으나, 유전적 성에 따른 생식세포 및 생식수관계(生殖輸管系)가 암수로 분화된다. 여기에 이어 생식선에는 성 스테로이드가 산출되어 외부 생식기가 형성된다. 생식선의 발달에 따라 여러 가지 이차 성징이 나타나고 외관상으로도 암수로 분화된다. 이러한 변화는 성 스테로이드의 지배하에 있으며, 생식선의 성 결정에 따라 나타난다. 행동

확상의 성도 성 스테로이드의 지배하에 있다. 어류에서는 미성숙기에 암수에 따른 행동상의 차이는 일반적으로 나타나지 않으나, 생식 행동에 있어서는 어소를 만들거나, 암컷을 따라다니거나, 포육(哺育) 등 암수에서 특이한 행동을 나타내는 어종도 적지 않다. 포유류에서 보는 것과 같은 뇌의 불가역적 성 분화에 관한 정보는 없으나, 생식 행동에서 보는 성의 특이적인 행동은 성 스테로이드에 의해 유발된다. 어류에서는 생식선의 성이 결정되면, 그 후 부속생식기관, 행동학적 성도 이것에 따라 분화한다. 따라서 성 제어의 기본은 생식선의 성 분화를 어떻게 유도하는가가 포인트로 된다.

### 3. 어류의 성 제어 방법

유전적 성이 생식선의 성 분화에 미치는 영향은 동물군에 있어서 다르다는 것을 설명하였다. 성 제어의 방법도 이것들을 고려하여 그 가능성을 찾지 않으면 안된다. 포유류에서는 유전적 성의 영향이 극히 강하고, 발생과정에 있어서의 성 분화 유도는 불가능하다. X정자, Y정자의 분리 또는 선택을 하여 유전적 성을 제어하지 않으면 안 된다. 조류에서도 마찬가지이다. 어류에서는 Yamamoto가 송사리, 금붕어에서 보고한 것과 같이, 성 스테로이드 투여에 의해 유전적 성과는 다른 성의 분화를 유도하는 것이 가능하다. XY형의 송사리를 이용한 실험에서, 유전적 암컷(XX)은 성 분화기의 옹성스테로이드 투여에 의해 기능적 수컷(XX형 수컷)으로 전환하여, 정상 암컷과의 교배로 모두 암컷 F<sub>1</sub>을 얻을 수 있었다. 또 유전적 수컷(XY)은 자성스테로이드 투여로 기능적 암컷(XY형 암컷)으로 전환하여 정상 수

컷과 교잡시켜 암컷 1:수컷 3의 F<sub>1</sub>을 생산하였다. 더욱이, F<sub>1</sub> 수컷에서는 1/3의 비율로 YY 수컷이 존재하는 것을 나타내었다. 금붕어에서도 같은 결과를 얻을 수 있어, 성염색체 형이 불명확하였던 이 종을 XY형의 성 결정 양식으로 하였다.

Yamamoto는 전반적인 연구 결과로부터, 성 분화기의 성 스테로이드 투여에 의해 기능적 성 전환이 가능한 것을 보여주고 있다. 더욱이 성 전환 어류의 성염색체 조성은 변화하지 않기 때문에, XY형 어종에서의 전환 어류 수컷은 X정자만을, 전환 어류 암컷은 X난, Y난의 두 종류의 알을, 또 YY형 수컷은 Y정자만을 형성하는 것을 보여주었다. 이러한 연구에서 성 전환은 성 분화 기구의 해명, 또는 성염색체 형 해명을 위한 실험 방법으로서 이용되어 졌다. 그러나, 이러한 결과는 단순한 학문적 흥미를 넘어, 어류 성 제어의 유용한 수단으로서 산업 어종으로의 응용이 기대된다. 최근 많은 어종에서 이와 같은 연구가 진행되어, 구피, 틸라피아, 무지개송어, Atlantic 연어, 은연어, chinook 연어 등에서 성 스테로이드에 의한 기능적 성 전환이 보고되고 있다. 저자도 연어·송어과 어류의 성 제어 방법으로서 성 분화 전환과 전환 어류를 이용한 전암컷(全雌) 또는 전수컷(全雄) 종묘의 생산에 대해 검토하였기에, 그 개요를 논하고자 한다.

### 3-1. XX형 수컷의 생산과 전암컷(全雌) 생산

Takahashi는 성 스테로이드에 의한 기능적 성 전환을 유도하기 위한 요점을 다음과 같이 정리하였다. 첫 번째로 적절한 종류의 호르몬을 적절한 양으로 투여하는 것, 두 번째로 적절한 시기에 투여하는 것, 세 번째로 적절한 방법으로 투여하

는 것을 들고 있다. 더욱이 성 전환이 기능적·영구적인 것을 증명하기 위해서 처리 어류와 정상 어류의 교배 실험을 하여야 한다고 말하고 있다. 이러한 점들을 고려하여, 유전적으로 모두 암컷인 것이 확인되어진 무지개송어를 이용하여 XX형 수컷의 생산을 검토하였다.

웅성스테로이드로서는 합성호르몬제인 메틸테스토스테론(MT)과 연어·송어과 어류의 천연 웅성스테로이드인 11-케토테스토스테론(11keto-T)을 사용하였다. 투여 방법은 배합 사료에 첨가하여 경구 투여하였다. 첫째로, 적정량 투여량을 검토하기 위하여 MT에 대해서는 사료에 대한 첨가 농도를 0.01~1,000 ppm으로 15단계, 11keto-T에서는 0.01~100 ppm 아홉 단계로 설정하여, 부상(浮上)기에서 8주간 호르몬 함유 사료를 공급하였다. 투여 종료 후에는 일반적인 방법으로 사육을 계속하여 부상 후 6~15주령(周齡)에 성별을 판정하였다. 난소를 가진 개체를 1. 간성(間性) 개체를 0.5로 하여 수컷으로의 전환율을 응성화율(雄性化率)로서 계산하였다.

$$\text{응성화율} = \frac{(1 \times \text{정소를 가진 개체 수}) + (0.5 \times \text{간성 개체 수})}{\text{총 개체수}} \times 100(\%)$$

실험 결과는 그림 2에 나타내었으나, MT, 11keto-T 모두 응성화율은 적정 농도를 피크로 하는 곡선을 나타내었고, 저 농도 측에서도, 고 농도 측에서도 급속히 감소하였다. 적정 농도는 MT에서 0.5~1 ppm, 11keto-T에서는 5 ppm 전후였다. 이 실험은 개체 당 먹이 공급량이 불명확하기 때문에, 적절한 투여량은 확인할 수 없지만, 일반적인 공급 조건(수온 8.5~9.5°C)에서의 응성

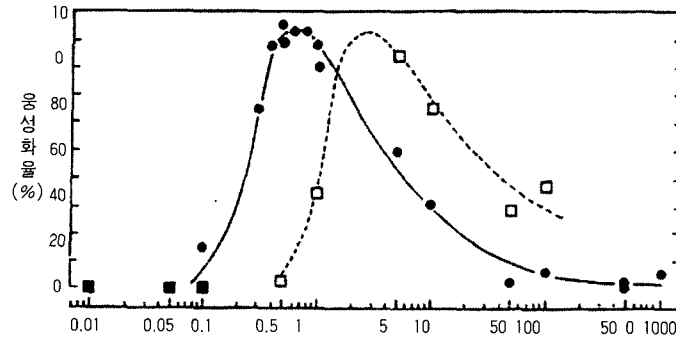


그림 2. 응성 스테로이드의 투여 농도와 응성화율.

●-● MT. (Methyltestosterone) □-□ 11 keto-T.(11. ketotestosterone)

스테로이드 첨가 농도가 기준이 되었다. 둘째로 적절한 투여 기간에 대한 검토이다. 부상 후의 다양한 기간에 MT를 경구 투여하여 응성화율을 조사하였다. 투여 실험은 다음의 네 가지 시험구를 설정하였다. 실험(1): 부상기에서부터 투여를 개시하여 투여 기간을 일주일씩 연장하여 최대 8주간 투여하는 8시험군, 실험(2): 투여 개시를 일

주일씩 늦추어 투여를 8주 째에 종료한 8시험군, 실험(3): 투여 기간을 8주간으로 고정하여 개시 시기를 부상기에서부터 1주씩 늦춘 9시험군, 실험(4): 투여 기간을 2주간으로 고정하여 개시 시기를 부상기에서부터 2주씩 늦춘 7시험군. 실험(1), (2)는 MT 5 ppm 함유 사료를 (3), (4)에서는 0.8 ppm 함유 사료를 투여하였다. 실험(1)~(4)의 MT

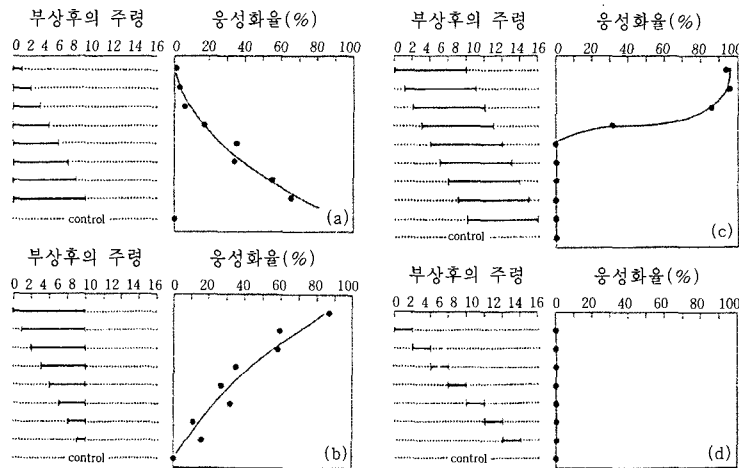


그림 3. 응성스테로이드(M.T)의 투여기간과 응성화율의 변화.

(a): 시험(1), (b): 시험(2), (c): 시험(3), (d): 시험(4)

:MT의 투여기간, .....일반적인 사육기간

투여 기간과 각 구의 응성화율을 그림 5.3에 나타내었다.

실험 결과, 부상 2주간 이내에 투여를 개시하여 8주간 연속 투여한 경우 높은 응성화율을 나타내었고, MT.투여는 부상 후 빠른 시기에 시작하여 2개월 정도 연속적으로 해야된다는 것이 명확하게 되었다. Takashima 등은 무지개송어의 성 분화 과정을 관찰하여 부상시 감수분열기의 생식세포를 확인하고 있다. 이번 실험에서도 부상시에 감수분열의 상(像)이 관찰되었으며, 부상 2~3주 쯤에는 대부분의 난세포가 감수분열 상을 나타내었다. 난원세포의 감수분열 개시를 난소 분화의 지표로 하면, 분화는 부상 2~3주 쯤에 종료하게 된다. 이것은 4주 이후의 투여구에는 응성화율이 극단적으로 저하되는 실험 결과와 일치하며, 난소의 분화 기구 해명의 실마리로 여겨진다.

투여 농도 및 투여 시기의 시험에서 적절한 투여법이 명확히 되어 90%이상의 응성화율을 얻을 수 있었다. 전환 어류의 일부에는 수정관이 형성되지 않거나 막혀있어 인위적으로 짜내는 방법에 의한 채정(採精)이 불가능한 개체가 나타났으나, 전환 어류의 절반은 정상 수컷과 동일하게 성숙

·채정 가능하여, 기능적 성전환이 확인되었다. 또 일반적인 암컷과의 교배에서도 수정률, 부화율의 저하는 볼 수 없었고, F<sub>1</sub> 세대는 전암컷을 얻을 수 있었다. 전암컷 F<sub>1</sub>의 성숙, 재생산에도 이상은 없었고, 정상적인 수컷과의 교배로 1:1의 F<sub>2</sub>를 생산하는 것을 확인하였다. 이러한 결과로 XX형 수컷을 이용한 전암컷 종묘의 대량 생산이 가능하게 되었고, 생산된 전암컷은 기능적으로도, 유전적으로도 정상적인 암컷이며, 이용상의 문제가 없다는 것이 명확해졌다(Okada). Johnstone 등은 같은 속의 대서양연어에 MT 경구 투여에 의해 XX형의 암컷 생산과 전암컷 생산을 보고하고 있다.

무지개송어속에서는 부상 후의 경구 투여로 성전환이 가능하지만 연어 속 어종에서는 부상 후의 투여는 효과가 없다. 연어 속에는 부상 이전의 호르몬 투여가 필요하며, 자어의 침적 투여와 부상후의 경구 투여를 병용(併用)하지 않으면 안된다. 은연어, chinook 연어, 산천어 등에서 병용에 의한 XX형 수컷의 생산과 전암컷 F<sub>1</sub>의 생산이 보고되어져 있다. 연어속 어종에서는 부상 시에는 이미 난세포의 대부분은 감수분열기에 있고, 무지개송어에 비해 성분화가 조기에 시작

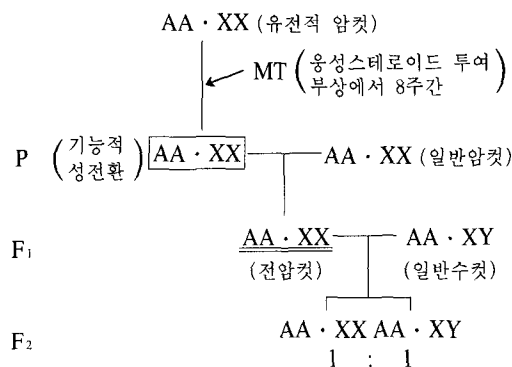


그림 4. XX형 수컷의 생산과 전암컷 생산.

AA : 상염색체, XY : 성염색체

되기 때문에 부상 후의 경구 투여만으로는 성 전환이 유도되지 않는다.

속에 따라 먹이는 방법은 다르지만, 연어·송어과의 대부분은, 특히 산업적 유용종에 있어서 XX형 수컷 생산과 전암컷 생산이 가능하게 되었다. 인공 수정에 의한 재생산이 일반적인 이러한 어종에서는 수정에 이용되는 수컷의 마리 수가 암컷의 1/10이라도 수정 현상에 실제적으로 문제가 없고, 실용화의 장점은 크다. 그림 4는 XX형 수컷에 의한 전암컷 생산의 모식도를 나타내고 있다.

### 3-2. YY형 수컷의 생산과 전수컷(全雄) 생산

송사리, 금붕어에서의 YY형 수컷 생산과 이것을 이용한 전수컷 생산이 가능하다. 앞의 실험에서 무지개송어의 성염색체가 XY형으로 판명되었

기 때문에, 유전적 수컷(XY)을 자성(雌性)화하여 정상적인 수컷과 교배하여 얻은 F<sub>1</sub>세대에는 YY형 수컷이 존재하게 된다. Okada는 무지개송어에서 자성 스테로이드의 경구 투여에 의해 기능적 XY형 암컷을 생산하였다. 정상적인 수컷과의 교배에는 암컷 1 : 수컷 3의 F<sub>1</sub>을 얻었고, F<sub>1</sub> 수컷에 YY형 수컷을 확인하였다. YY형 수컷은 일반적인 암컷과 교배하면 전수컷의 F<sub>2</sub>를 생산하고, 이러한 전수컷군은 생식 기능적으로도, 유전적으로도 정상적인 수컷인 것으로 확인되었다. YY형 수컷은 치사하는 경우도 많지만 무지개송어에서는 XY형 수컷과 같은 생존성을 나타내었다.

성 스테로이드에 의한 자성화는 음성화에 비해 연구가 뒤떨어져 있다. 이러한 배경에는 산업적 요구가 있는 것으로 생각되어지나, 전수컷 종묘가 유용한 경우도 많고, 앞으로의 연구가 진행되

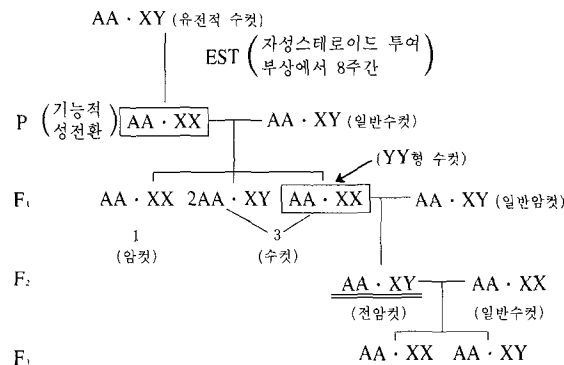


그림 5. XY형 수컷, YY형 수컷의 생산과 전수컷 생산.

AA : 상염색체, XY : 성염색체

어 많은 어종에서 YY형 수컷이 생산되는 것을 기대한다. 그림 5.5는 YY형 수컷 생산과 전수컷 종묘생산의 모식도이다.

### 3-3. 염색체조작 기술의 성 제어 응용

최근 연어·송어과 어류에서 자성발생기술 및 염색체 배가(倍加)기술이 확립되고, 그 응용이 검토되고 있다. XY형의 어종에서는 자성 발생어가 모두 암컷이 되고, 이것은 성 제어의 한 방법으로도 생각되어진다. 그러나, 자성발생에는 복잡

한 조작을 필요로 하고 대량 생산은 어려우며 발생률도 낮은 한편, 유전자의 호모화를 동반하여 집단유전학적 관점에서도 자성발생을 직접 성 제어와 결부시키기는 비현실적이다. 자성발생의 성 제어로의 응용으로서 (1) 자성 발생어를 이용한 XX형 수컷의 생산, (2) XY형 암컷의 자성발생 처리에 의한 YY형 수컷 생산의 두 가지 점을 생각할 수 있다. XX형 수컷, YY형 수컷 생산에는 복잡한 교배검정과 많은 시간을 필요로 하였지만, 자성발생을 이용함에 따라 이러한 문제점을 해결할 수 있었고, 보다 간단하게 생산할 수 있게 되었다. 자성 발생어에 응성 스테로이드를 투여하여 수컷이 출현하면 검정교배를 하지 않아도 XX형 수컷으로서 바로 사용할 수 있다. 또 XY형 암컷이 만드는 알을 자성 발생하면 XX 암컷과 YY 수컷이 1:1로 발생하게 된다. 성 스테로이드에 의한 성전환과 자성발생의 병용에 의해 성 제어는 보다 합리적인 것이 된다.

염색체 배가 기술에 의해 인위적 3배체의 생산이 가능하게 되었고, 불임화 종묘의 생산이 기대된다. 그러나 연어·송어과 어류에서는 3배체 암컷의 불임화는 확인되었으나, 같은 수가 출현하는 3배체 수컷은 이수성 정자를 형성하고 2차 성징을 발현한다. 따라서 단순하게 3배체를 생산하여도 불임화 종묘로서 실용 가치는 낮고, 불임화에는 전암컷 3배체를 만들지 않으면 안된다. 전암컷 3배체는 XX형 수컷으로 수정 후 배가 처리하는 것으로 얻을 수 있다. 염색체 조작과 성 제어의 병용에 의해 연어·송어과 어류에서는 불임화 종묘의 생산이 가능하게 되었다.

#### 4. 실용화의 현상과 앞으로의 과제

연어·송어과 어류에서는 XX형 수컷, YY형 수컷에 의한 성 제어가 가능하고 무지개송어의 양식에서는 전암컷 종묘가 실용화되어 있다. 전암컷 종묘는 앞으로의 수요 증가가 기대되는 대형 어류 생산에 유리하여 기술보급에 따른 이용이 확대될 것으로 예상된다. 연어·송어과 어류에서는 실용적 정자 보존 기술은 없지만, 기술 확립이 되어지면 X정자, Y정자의 유효한 이용이 가능하게 되어 성 제어는 한층 용이하게 된다. 빠른 시일내의 기술확립이 기대된다.

전암컷 3배체에 의한 불임화는 무지개송어 양식에서의 대형어 생산, 연어·송어류의 바다 양식 이용이 유망하다. 대량 생산이 어렵고, 아직 사업 규모까지는 이르지 못했지만, 가압기의 대형화, 온도 자극에 의한 배가법의 개발, 4배체와의 교배에 의한 생산 등의 연구가 진행되어져, 가까운 장래에 대량생산이 가능해질 것으로 여겨진다. 성 제어 기술은 양식업을 대상으로 하여 기술이 개발되어져 왔지만, 증식 사업의 응용에도 가능하게 되었다. 인위적 관리로 사육하는 양식 사업과 천연 수역에 방류를 하는 증식 사업에서는 기술도입에 있어서 다른 대응이 필요하다. 증식 업에서는 생태계의 영향, 천연 번식 집단에의 유전적 영향 등에 대해서도 검토할 필요가 있다. 생산 종묘의 다양한 특성 해명과 실험 하천에 있어서 방류 실험을 실시하여 증식 사업으로의 기술 도입을 검토하여야 할 것이다.

※ 본 내용은 「수산양식과 염색체조작」(제주대학교출판부, 2000년 2월)의 일부 내용을 재편집한 것입니다. 게재를 허락하여주신 제주대학교의 여인규 교수님과 국립수산과학원 남제주 배양장의 최미경 박사님께 감사드립니다.