

무지개송어양식 표준 매뉴얼



Rainbow trout



해양수산부
국립수산물과학원

발간사

P R E F A C E

“

무지개송어는 내수면 대표적 양식품종으로 질병관리, 전암컷 생산, 순환여과 양식, 전용사료 개발, 해수 양식, 양식 자동화 등 양식기술의 개발로 생산량이 지속적으로 증가할 것이며, 국내 연어류의 수입대체 및 중국시장 수출이 가능한 품종이다.

”



무지개송어는 냉수성 어종으로 성장이 빠르고, 사육하기 쉬워 세계적으로 양식되는 품종입니다. 우리나라에서도 1965년 미국으로부터 발안란 도입이후 50년 이상의 역사를 가지고 있으며, 1980년까지 11개소의 양식장에서 9톤이 생산되던 산업 규모가 2017년에는 연간 3,000여 톤 이상을 생산하는 내수면 양식 산업 중 가장 중요한 품종으로 자리를 잡고 있습니다.

이러한 발전은 업계의 오랜 기간 동안 축적된 기술과 특히 1982년 배합사료의 개발이 결정적으로 기여하였으며, 이 후 광주기 조절을 통한 여름철 수정란 생산, 3배체 생산, 우량 발안란의 도입 등 많은 연구와 노력의 결과로 생각됩니다. 또한 양식기술의 발전으로 이전에는 강원, 충북, 경북 및 경기 북부 등 주로 용천수가 풍부한 산간지대 중심에서 이제는 도심 근교, 제주도까지 지하수가 있는 곳이면 전국 어디에서나 양식이 가능하게 되었습니다.

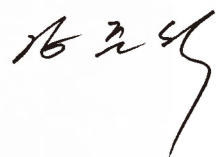
그러나 양식기술의 발달, 양식 가능지역의 확대 등으로 과잉생산에 따른 가격 폭락, 1983년의 디스토마 보도, 1991년의 에어로모나스 파동, 그리고 2005년의 말라카이트 그린 사태의 영향으로 생산량이 급감하는 등 시련의 시간도 보냈습니다. 다행이도 소비 촉진을 위한 홍보, 식품 안전에 대한 국제 세미나 개최, 지역의 축제문화 활성화 등 업계 스스로 자구책을 마련하고, 정부의 지속적인 지원으로 다시 안정적인 산업으로 자리 잡고 있습니다.

최근 우리나라 내수면 양식 산업은 기후변화나 자연재해에 따른 위기가 지속되고 있으며, 양자 또는 다자간의 FTA 체결로 인해 경쟁체제에 돌입하였습니다. 그러나 이러한 위기에 환경문제와 공존하면서 경쟁력 있는 산업으로 발전하기 위한 실제 양식 현장에서 필요로 하는 정보는 부족한 실정입니다.

이러한 취지로 지금까지 발행된 자료와 양식 산업계 종사자들의 경험을 토대로 무지개송어 양식에 도움이 될 수 있는 양식 표준 매뉴얼을 출판하니, 양식어업인 및 관심이 있는 분들에게 많은 도움이 되기를 바랍니다.

2017. 3.

국립수산과학원장



목차

CONTENTS

1 일반 개요 7

가. 서론	8
나. 생물학적 특징	9
다. 국내외 생산 동향	10

2 양식 조건 13

가. 적지 선정	14
나. 사육환경 조건	14
다. 입지적 조건	17
라. 사육시설	17

3 종묘생산 23

가. 친어사육	24
나. 채란과 부화	25
다. 자어 및 치어 관리	28

4 양성 31

가. 사육시설 관리	32
나. 선별	34
다. 사료의 종류와 공급	36
라. 사육중 주의 사항	40

5 해수 사육 43

- 가. 바다송어 44
- 나. 바다송어 양식기술 45

6 유전육종 49

- 가. 수산유전육종의 이해 50
- 나. 염색체공학 51
- 다. 어류의 성조절과 성전환 60

7 질병과 대책 69

- 가. 개요 70
- 나. 질병 발생시 진단요령 71
- 다. 주요 질병 71
- 라. 양식장에서 병원체 유입 차단 76
- 마. 외국 무지개송어의 주요 질병 79

8 경영 분석 81

- 가. 양식어가의 일반현황 82
- 나. 출하가격 및 비용비율 83
- 다. 수익성 및 경제성 분석 85
- 라. 요약 및 결론 91

9 참고문헌 93





일반 개요

1. 일반 개요

www.nifs.go.kr

가. 서론

무지개송어(*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792)는 경골아강(Osteichthyes), 연어목(Salmoniformes), 연어과(Salmonidae)의 냉수성 담수어종으로 미국 서부 태평양 연안의 강 하구역이 원산지이나, 열대수역을 제외한 미국 동부, 캐나다, 유럽, 남미, 일본, 뉴질랜드, 남아프리카 등 전세계 각지에 이식되어 서식하고 있다. 또한 무지개송어는 담백하고 맛이 좋은 어류로, 연어과 어류 중 사육하기 가장 쉬우며, 성장이 빨라 대표적 양식 품종이다.

우리나라에서도 1965년 캘리포니아산 무지개송어 발안란이 도입되어 양식기술 개발이 시작되었으며, 1967년부터 1968년까지 강원도립송어양식장에서, 이후부터 1974년까지 국립수산진흥원(현 국립수산과학원) 진해양어장 청평분소(현 국립수산과학원 중앙내수면연구소)에서, 이후부터 강원도립삼척연어인공부화장에서 양식 기술 개발이 이루어졌다. 1980년대부터 정부의 지원과 송어용 배합사료가 개발되면서 개인 양식업체가 지속적으로 증가하여 1990년대에는 300여개 이상의 양식장이 운영되었다.

무지개송어의 생산량은 1980년 9톤이던 것이 양식업체가 늘어남에 따라 지속적으로 증가하여 1998년에는 최대 3,994톤이 생산되었다. 이 후 2005년 말라카이트그린 발암물질 파동으로 민물고기 수요가 급감하면서 2006년에는 1,878톤까지 감소하였다가 최근에 다시 수요가 증가하고 강원도, 경상북도, 충청북도 등으로 민간양식장이 확대되어 양식 생산량이 3천톤 이상으로 회복되었다.

최근 무지개송어의 양식생산량은 국립수산과학원, 지자체 연구기관 및 민간 양식장에서 질병 관리, 전암컷 생산, 순환여과 양식기술, 전용사료 개발, 해수 양식기술, 양식 자동화 등 양식 기술의 개발로 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 또한 무지개송어는 지속적으로 증가하는 전 세계 연어류 소비 수요 상황에서 국내의 연어류 수입대체 품목으로 발전 가능하며, 한·중 FTA로 개방되는 중국시장의 수출 가능한 양식품목으로 성장할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 생물학적 특성

1) 형태적 특성

무지개송어는 형태적으로 가운데가 굽고 양 끝이 가는 방추형(fusiform)의 체형을 가지고 있으며, 체색(body coloration)은 황록색에서 파란색으로 체형의 가운데 길게 늘어진 측편(lateral line)은 분홍색을 띠고 있다. 담수에서는 몸을 따라 분홍색 또는 붉은색의 띠(band)가 몸을 따라 확장되어 있으며, 몸과 등지느러미, 꼬리에 검은색, 암녹색, 연두색, 갈색의 점들이 있다. 해수와 기수에서는 측편 위에 검은점을 나타내고, 지느러미와 몸에는 작은 검은 점들로 덮여져 있다(FAO, 2012). 지금까지 어획된 가장 커다란 무지개송어는 전장 1.22 m, 무게 16.3 kg이었다(GISD, 2012)(그림 1-1).



그림 1-1. 무지개송어의 외형.

2) 생태 및 생리적 특성

일생동안 바다에 내려가지 않고 산간 계곡의 맑은 찬물에서만 서식하는 종으로 서식수온은 5~20℃ (성장적온 10~20℃)이다. 산란은 서식환경에 따라 다르지만, 대개 10월부터 다음해 2월까지이며, 산란 연령은 2~3년을 넘어야 한다. 성장은 수온에 따라 차이가 있지만, 수온 13℃일 때에는 1년에 100~200 g, 2년에 600~1,000 g, 3년에 1,200~2,000 g 까지 자란다. 식성은 다른 송어 및 연어류와 마찬가지로 수서곤충이나 다른 작은 어류와 같은 수서동물을 주로 잡아먹는다.

다. 국내외 생산 동향

1) 양식 생산량

전 세계 무지개송어 생산량은 2006년 609,972톤이었으나 지속적으로 증가하여 2012년 883,390톤으로 최고치를 보인 후 일부 감소하여 2016년 814,091톤이 생산되었다(그림 1-2)(FAO, 2017).

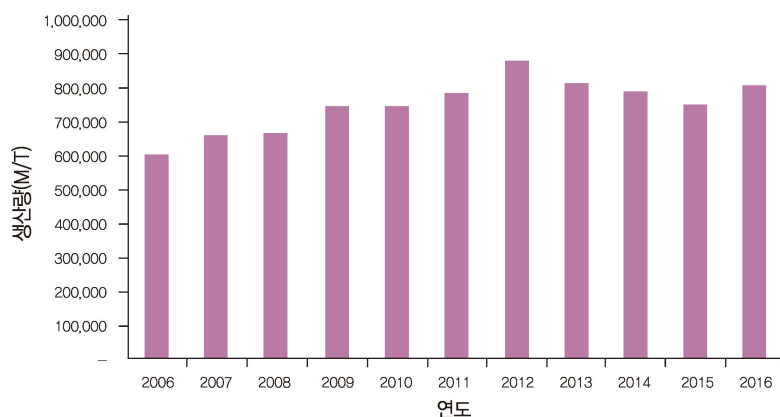


그림 1-2. 전세계 무지개송어 양식생산량.

국내 송어 양식 생산량은 1998년 약 4,000톤을 기록하였으나, 2005년 말라카이트그린(Malachite green) 파동을 기점으로 2006년에는 1,878여톤으로 급감 하였다. 이에 양식 업계와 국가, 지방자치단체의 적극적인 노력으로 양식생산량 증대와 국민 인식제고를 위한 지자체의 ‘송어축제’ 활성화 등을 기반으로 2011년부터 3천톤 이상으로 회복되었다. 이후 2013년 3,390톤이 생산되어 최대 생산량을 보였으며, 2016년에는 3,066톤이 생산되었다(그림 1-3).

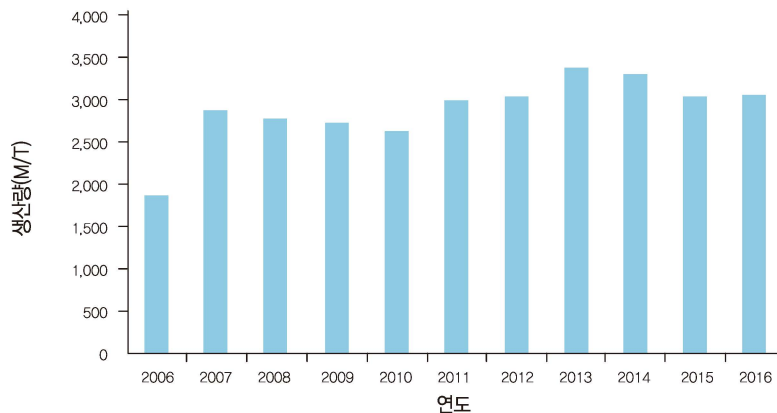


그림 1-3. 우리나라 무지개송어 양식생산량.

2) 수출입 동향

무지개송어의 연도별 수출량은 2010년 631.8톤이었으나 이 후 감소하여 2015년 39.8톤이었으며, 2016년 613.1톤으로 다시 증가하였다. 연도별 수입량도 2010년 911.1톤이던 것이 2013년부터 급감하여 2014년 389.7톤까지 감소하였으며, 2016년에는 485.5톤이 수입되었다(그림 1-4). 이러한 무지개송어의 수출입은 원료 상태로 수입된 후 가공하여 수출하는 것으로 추측되며, 실제 양식 생산된 무지개송어는 대부분 국내에서 소비되고 있다.

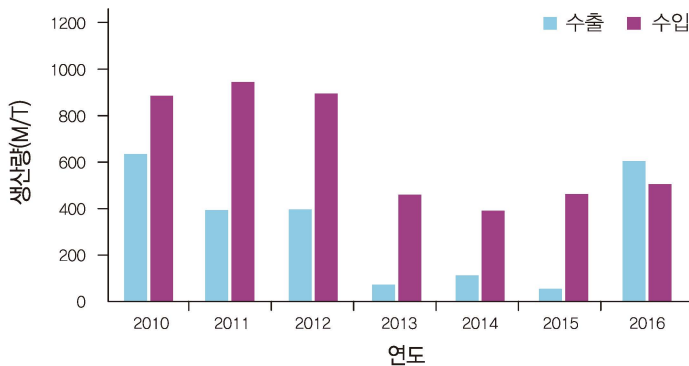


그림 1-4. 연도별 무지개송어의 수출입 변화.

한편 무지개송어의 수입단가는 1kg 당 2012년 6,897원이던 것이 2016년에는 8,982원으로 증가하였으며, 산지가격 10,000원 선과 비교하여 큰 차이가 없는 수준으로 상승함에 따라 최근 수입량의 감소에도 영향을 미치고 있는 것으로 보인다(그림 1-5). 한편 무지개송어와 유사한 연어의 수입단가도 1kg 당 2012년 7,054원이던 것이 2016년에는 10,920원으로 증가하였으며, 수입량도 2012년 15.7천 톤이던 것이 2016년 26.2천 톤으로 증가하고 있다(그림 1-5). 따라서 소비량이 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 연어의 수입 대체품목으로 무지개송어의 대량 생산이 요구되며, 양식 경쟁력은 높을 것으로 예상된다.

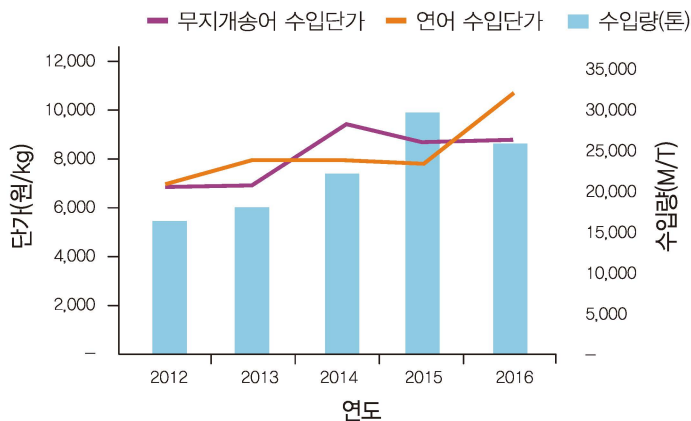


그림 1-5. 연도별 무지개송어의 수입단가 및 연어의 수입단가와 수입량.





양식 조건

2. 양식조건

www.nifs.go.kr

가. 적지 선정

양식생물은 종별 번식과 성장에 적합한 생활환경을 가지고 있기 때문에 적지에서 양식을 해야 한다. 양식 장소에 따라 생산물은 그 품질과 크기, 판매시기 등이 달라지며, 커다란 가격차가 생기고, 육성과 출하 조정 등 출하방식은 수익을 크게 좌우한다.

용천수나 지하수를 이용하는 무지개송어 양식은 기업화된 대량 생산 체제나 관광지 또는 도시주변에서의 자가 판매 등 대량판매를 위한 경영방식을 전제로 적지를 선정하지 않으면 안 될 것이다.



그림 2-1. 무지개송어 양식장.

나. 사육환경 조건

1) 수 량

적지선정의 제 1조건은 물이다. 어떤 성질의 물을 어떻게 확보할 수 있는가를 정확히 파악해야 하고,

배출시 문제가 발생하지 않아야 한다. 단기간의 관찰에 의한 성급한 계획이나 판단을 하지 말고 장기간에 걸쳐 관찰을 하되, 수온은 연중 20℃ 이하로 유지 할 수 있는 물이 확보되는 곳이면 냉수성 어류 양식 적지로서 이상적이며 필요한 수량은 전체 사육지 물을 하루에 열 번 이상 교환해 줄 수 있어야 한다. 또한 수온이 가장 낮은 1~2월에도 5℃ 이하로 내려가지 않고, 여름철 7~8월에 23℃를 넘지 않아야 하며 이를 초과할 경우는 반드시 지하수를 개발하여 이용해야 한다. 용수량은 양어지 시설규모와 생산량의 설정기준이 되는 가장 중요한 요건이다.

2) 수 온

변온동물인 어류의 경우 수온은 수량과 더불어 가장 중요한 요인으로, 수온에 따라 양식대상 어류의 종류가 결정되게 된다. 무지개송어의 경우 비교적 수온의 적응범위가 넓으며, 1년생의 경우 15℃ 전후가 적온이나 치어는 10~13℃가 적수온이라 할 수 있다. 무지개송어의 성장과 수온의 관계는 그림 2-2와 같다.



그림 2-2. 수온과 무지개송어와의 관계(原田·牛山, 1971).

자연계에 있어서 수온이 최저 0℃, 최고 25℃까지 서식이 가능하나 양식장에서 저수온과 고수온이 장기간 지속될 경우에는 사료섭취의 저하에 의한 영양실조와 성장 둔화, 질병에 대한 저항력 약화 등으로 결국 대량폐사에 의해 경제적으로 큰 피해를 입게 된다.

적응범위의 온도 내에서는 수온이 조금 높은 편일 때 성장이 잘 되며, 생물의 적온성과 환경온도의 변화를 명백히 알아야 하고 단기간 관찰이 아닌 지속적인 관찰을 하여야 한다.

3) 용존산소(DO)

수중의 용존산소는 동물 호흡에 필요한 중요 요인이다. 수온이 올라가면 수중의 용존산소량이 감소되는 반면 어류의 산소요구량은 증가하므로 여름철의 주 성장기에는 용존산소량이 생산을 좌우하는 원인이 되기 쉽다. 그러므로 온도가 높은 주 성장기에는 인위적 포기(aeration)를 시켜야한다. 포기는 공기와 물의 접촉 표면적을 넓게 해서 산소를 용해시키는 수단이다. 냉수성 어류는 활동성 어류이므로 다량의 산소를 필요로 하게 되며 산소가 부족할 때에는 순식간에 전멸하는 경우가 종종 발생한다. 바람이 없고 흐린 날이 계속될 때에는 밤에 산소 결핍으로 어류의 대량폐사를 당하는 일이 있으므로 각별히 신경을 써야 한다. 냉수성 어류 양식에 있어 이상적인 용존산소량은 10~11 mg/L(ppm) 이고 적어도 7 mg/L 이상인 물이어야 한다. 용존산소량이 5 mg/L 이하로 내려가면 호흡곤란을 일으키고, 여름철에 3 mg/L 이하로 되면 빠른 시간 내에 죽는다. 다량의 용존산소는 어류양식에 있어 절대적이며 단위면적당 사육 마리수가 많음에 따라 산소량은 이에 비례하게 된다.

수중 용존산소는 무지개송어의 수용량이 많을 때, 먹이주는 양이 과다했을 때, 일기가 불순할 때 부족하기 쉽다. 산소부족을 예방하는 방법은 다음과 같다.

- 물을 많이 넣어 준다.
- 넣는 물을 높은 곳에서 떨어지게 한다
- 수면에 물결이 일게 한다.
- 호스를 이용하여 물을 뿌린다.
- 에어브로워나 수차를 가동한다.
- 액화산소를 공급한다.

4) 수소이온농도(pH)

어류양식에 있어 수소이온농도는 중성이나 약알칼리성이 적당한데, 냉수성 어류인 무지개송어의 적정 수소이온농도는 6.7~8.7 사이이며, 그중에서도 6.7~8.2 사이가 좋다.

다. 입지적 조건

1) 수질

자연 서식종이 살고 있는 곳이라면 별 문제가 없다. 따라서 하천수를 용수로 사용하는 경우에는 농약이나 가축의 분뇨, 도시와 공장의 폐수유입 여부를 세밀히 관찰하고, 지하수나 용천수의 경우는 우물이나 수로에 이끼가 없고 어류가 살지 않는 곳은 양어용수로서 부적당하다고 판단해도 좋을 것이다. 그리고 하천수는 탁하지 않고, 특히 강우시의 탁수가 24시간 이내에 맑아져야 하며 지하수 양수시 기계고장, 정전에 대한 대비책 강구가 필요하다.

2) 토지

보수력이 좋고 잘 유실되지 않는 점토질, 양토질의 흙이 좋으나 이러한 조건의 사육지의 확보가 쉽지 않으므로 콘크리트 시설을 하는 것이 좋다.

3) 지형지세

가능한 햇빛이 많이 들고 바람을 막아줄 수 있으며, 홍수의 피해를 입지 않는 곳으로서 바람의 방향과 못의 길이가 긴 쪽으로 배치 가능한 곳이 좋다. 또한 토지의 경사가 충분하여 단계적으로 못의 배치가 가능하면 더욱 좋고 농약 및 폐수유입 우려가 없는 곳이어야 한다.

4) 교통

사료수송이나 판로가 편리한 곳을 선택해야 하고, 홍수나 폭설로 인해 교통이 마비되지 않는 곳이어야 경제적으로 불필요한 비용을 발생 시키지 않는다.

이와 같은 여러 가지 적지선정에 필요한 요건이 있으나, 어류양식의 주체는 관리자이므로 생활에 불편이 없고 생산에 지장이 없는 곳을 선정해야 한다. 제반조사 항목 중에서도 수량, 수온의 조사기간이 2년 전후가 필요한 것은 후일에 사업의 성패를 결정하는 주요인이 된다.

라. 사육 시설

1) 종묘생산 시설

가) 친어 사육지

친어 사육지는 양성중인 무지개송어 중에서 계통이 좋고, 성장이 빠른 개체를 골라 별도로 수용하여 사육 관리하는 수조로, 일반 사육지와는 구분하여 준비하여야 한다. 친어 사육조는 150~500 m²로 수심은 양성지보다 깊은 약 90 cm 정도로 한다.

나) 채란 및 부화 시설

채란 및 부화는 실내에서 해야 하므로 별도의 건물이 필요하다. 채란 시설로는 실내에 친어로부터 채란·채정 및 수정작업이 용이하도록 작업대를 설치한다. 부화 시설은 별도의 부화기가 필요하며, 부화기에는 수정란을 수용할 수 있는 구조로, 지속적으로 물이 흐르도록 하여야 한다.

(1) 상향식 부화기

긴 수조를 여러 칸으로 구획하고, 각 구획에 알을 담은 용기(바닥이 망으로 된 것)를 쌓아 올리고, 물은 각 구획마다 아래에서 위로 향하여 흐르도록 한 부화기이다.

(2) 병부화기

유리 또는 플라스틱 재질로 만든 병의 아랫부분에 망을 넣고, 그 위에 알을 넣는 구조로, 물은 병의 아랫부분으로 들어가 위쪽으로 배수되도록 한 부화기이다.

(3) 수직 부화기

견형 부화기의 알을 담은 용기에 각각 물이 독립적으로 통과할 수 있도록 설계된 부화기이다(그림 2-3). 서랍식 형태로 최근 주로 사용되는 부화기이다.



그림 2-3. 수직 부화기.

2) 사육 시설

가) 수로식 사육 시설

수로식 사육 시설(raceway)은 못을 길게 수로형으로 만드는 것으로 바닥은 청소가 편리하도록 콘크리트로 만들고, 경사는 1/100 또는 그 이상으로 하여 오물의 제거가 잘 되도록 한다. 수심이 얇고, 폭이 좁을 수록 바닥에 가라앉은 오물의 유출이 잘 되며, 배수문은 수심을 조절할 수 있도록 한다. 치어용 사육지는 폭을 1m 이내로 하고, 길이는 10 m 정도, 높이는 수심을 조절할 수 있도록 50 cm 정도로 한다. 양성용 사육지는 폭을 3 m 이내로 하고, 길이는 10~30 m의 정도로 하되 높이는 90 cm 정도로 하며, 수량이 풍부하면 수심을 깊게 하는 것이 좋다. 수문에는 그물을 설치하여 무지개송어가 빠져나가지 않도록 하여야 하며, 그물 크기는 무지개송어가 빠져나가지 않는 한 큰 것이 좋다(그림 2-4).



그림 2-4. 수로식 사육시설의 수문.

나) 원형식 사육 시설

원형식 사육 시설은 지름 2~10 m의 크기의 사육조로서 바닥은 콘크리트가 효과적이다. 일반적으로 치어용은 지름 2~3m 정도로 작게 하고, 양성용 사육지는 지름 10m 정도로 크게 만든다. 그러나 너무 크면 오물 등 찌꺼기의 배출이 잘 되지 않으므로 수량에 따라 사육조의 크기, 바닥의 경사 등을 조절하여야 한다. 수조의 가장 낮은 중앙에는 그물로 된 배수구를 설치하여야 하며, 사육수의 주입은 높은 곳에서 사육조 가장자리와 평행하도록 주입하여 물의 흐름에 따라 오물 등 찌꺼기가 중앙 배수구로 모이도록 하여야 한다.

최근에는 치어용 사육조로는 원형의 FRP 사육 수조를 이용하는 경우도 있으며, 사각 수조의 형태에 모서리의 각을 줄여 물의 회전을 원활하게 하는 형태의 우수식 양성용 수조가 많이 이용된다(그림 2-5). 이러한 시설은 자연수(계곡수 또는 용출수)가 풍부한 지역에서 가능하다.

다) 순환여과식 사육 시설

순환여과식 양식방법은 양식생물 사육시 사용한 물을 버리지 않고 사육수에 포함된 각종 고형오물이나 용존성 유기물, 대사성 배설물을 여과 처리해 재순환시켜 이용하는 방법이다. 일반적으로 사육수의 재사용을 위해서는 분 고형오물, 사료 찌꺼기, 수중 오물 결합체(유기물 덩어리) 등을 제거하는 물리적 여과와 주로 질산화(nitrification) 과정을 통해 암모니아(NH_3)와 아질산(NO_2)를 질산(NO_3)으로 산화 유도하는 과정 및 수중에 축적된 질산을 혐기성 상태에서 탈질산화(denitrification) 과정을 통해 질화산소(N_2O)나 질소(N_2) 등의 기체로 배출시키는 과정의 생물학적 여과가 필요하다. 이외에도 사육수의 재사용을 위해서는 소독이나 가스 교환(용존산소 공급) 등의 과정이 필요하나 실제 무지개송어 양식장에서는 소량의 사육수를 환수하는 반순환여과 사육방법을 이용하고 있다(그림 2-6).



그림 2-6. 국내 무지개송어 반순환여과양식 시스템.

3) 기타 시설

기타 시설로는 사료를 준비하고 보관하는 시설, 안정적인 물 공급을 위한 양수 시설, 산소 보충 및 오물 제거 장치 운영을 위한 전기 시설 등이 필요하다. 또한 야외 수조의 경우는 조류나 포유류의 피해를 방지하기 위한 보호 시설이 필요하다(그림 2-7).



그림 2-7. 야외 사육조 무지개송어 피해 방지그물.





종묘생산

3. 종묘생산

www.nifs.go.kr

종묘생산 과정은 친어 사육, 채란 및 부화, 자어 및 치어 사육과정으로 이루어지며, 수정란을 구매하여 사용할 경우 부화 관리, 자어 및 치어 사육과정으로 이루어진다.

가. 친어 사육

1) 친어관리

무지개송어의 종묘는 바이러스에 감염되어 있지 않은 친어로부터 알을 짜서 직접 생산하는 것이 좋다. 그 이유는 국내·외적으로 바이러스가 만연되어 그 피해가 심각하기 때문이다. 채란용 친어는 격리된 깨끗한 장소에서 기르는 것이 좋으며 친어는 식용어로 기르고 있는 것 중에서 특히 성장이 좋고, 병에 강하고 반문이나 채색이 좋은 것을 골라서 친어 후보로 하여 별도로 육성해야 하며, 친어의 나이는 3~4년생(2~4 kg)이 적당하며 수컷은 2년생도 가능하다. 암컷이 1.5 kg 이상일 경우 3,000개, 2.0 kg에서는 3,500개의 난을 확보할 수 있다.

암·수 구별은 쉽게 된다. 암컷은 입이 작고 입끝이 둥근 편이고 이빨이 작으나 수컷은 입이 크고 체폭은 얇고 체고가 높으며, 주둥이 부근이 길고 아래로 약간 굽어져 있다. 또한 이빨이 강하고 크다(그림 3-1).

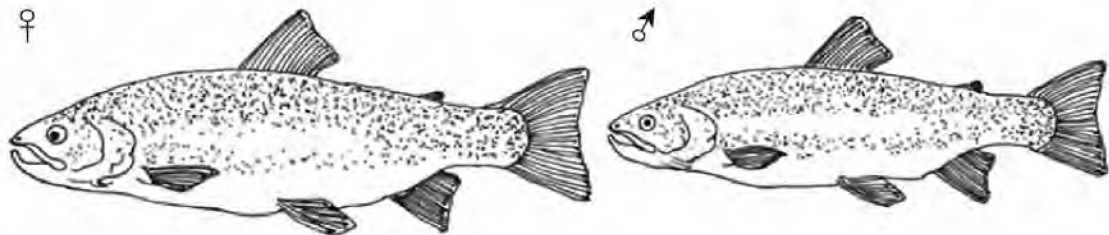


그림 3-1. 무지개송어 암·수 외형(출처: FAO 송어양식 매뉴얼).

먹이는 필수 아미노산을 비롯하여 비타민, 무기염류 등 여러 가지 영양분이 균형 있게 함유된 것을 주어야 하며 작은 물고기 등 살아있는 소형 수생동물을 먹이에 섞어주면 더욱 좋다. 산란하기 2~3일 전부터는 채란시 알에 오물이 섞이는 것을 막기 위해서 먹이공급을 중지하는 것이 좋다.

2) 산란시기와 산란수온

무지개송어의 산란시기는 일반적으로 10월에서 다음해 2월이며, 산란수온은 8~10℃로 유지시키는 것이 좋다. 요즘에 와서는 일부 양식장에서 광주기 조절법에 의해 연중 산란을 유도하는 곳도 있다.

나. 채란과 부화

1) 채란

가) 채란실

채란실은 직사광선이 차단된 실내이어야 한다, 그 이유는 난이 직사광선이나 빛, 충격에 매우 약하기 때문이다. 그리고 채란실은 친어지 옆에 시설하여 채란시나 채란직후 친어운반이 편리하도록 하여 친어의 스트레스를 가능한 줄여야 한다.

나) 채란

손으로 짜는 압착법과 공기를 이용한 공기 채란법이 있다. 채란 전 친어는 1주일에 한번씩 성숙도 감별을 하여야 한다. 또한 채란시 친어의 상처발생 예방과 작업을 쉽고 간단하게 하기 위해 마취제를 사용하는 것이 좋은데, MS-222는 0.1~0.15%로 하고 퀴날딘은 0.01~0.02%로 하여 사용한다.

완숙란은 암컷의 머리를 들면 줄줄 흘러나오나 미숙란은 복부를 만져 봤을 때 딱딱하고 배란이 전혀 되지 않는다. 짜낸 알은 물기가 없는 용기에 받는다.

다) 수정

압착 및 공기 채란법으로 채란된 난은 등조액(소금 <NaCl> 90.4 g, 염화칼슘<CaCl₂, 2H₂O> 3.4 g, 염화칼륨 <KCl> 2.4 g을 물 10 L에 섞음)에 세척 후 정액을 짜서 인공수정을 시키고 맑은 물로 깨끗이 씻어 준다. 등조액을 사용하는 것은 채란시 난막이 파괴된 알이 섞였을 경우 수정률을 저하시키기 때문에 수정률을 높이기 위해서이다.

수정은 알 1만개(암컷 3~5마리 분)에 수컷으로부터 짜낸 정액 약 10ml(수컷 2~3마리)를 넣고 잘 섞는다. 수정 작업 시 주의할 점은 채란한 난에 물이 들어가지 않게 해야 한다(그림 3-2).



그림 3-2. 무지개송어 수정란.

2) 부화

부화조는 일반적으로 상향식 또는 수직식 부화조를 사용하나 주수량이 적고 많은 양의 난을 부화 시키는데는 원통형 부화조를 사용한다. 그리고 원통형 부화조 사용시 여과조를 통과한 물이 주수 된다면 발안율이 훨씬 높을 것이다(그림 3-3).

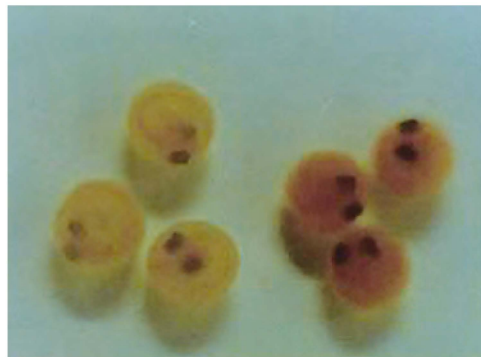


그림 3-3. 무지개송어 발안란.

무지개송어의 적정 부화수온은 7~15℃가 좋으며, 최적 부화수온은 10℃ 전후이다. 10℃에서 수정후 약 16일이 지나면 눈이 생기고 32일이 지나면 부화하며 60일이 지나면 부상하게 된다(표 3-1).

표 3-1. 부화 및 부상까지 소요일수와 적산온도

구 분	발 안		부 화		부 상	
	수온(℃)	일수(일)	일수(일)	적산수온(℃)	일수(일)	적산수온(℃)
9		18	36	324	68	612
10		16	32	320	60	600
11		14	29	319	55	605
12		13	26	312	49	595
13		12	24	312	45	585

가) 부화중 주의 사항

무지개송어의 알은 진동, 충격 및 광선 등의 자극에 대하여 매우 약하며 눈이 생길 때가 되면 비로소 저항력이 강해지므로 이 시기에 검란이나 수송이 가능해진다. 그러나 광선에 대해서는 계속 약하므로 주의를 해야 한다.

부화조는 뚜껑을 덮어 어둡게 해야 하며 광선에 대한 저항력이 발안기 이후가 가장 약하므로 더욱 주의해야 하고 전체가 부상해서 먹이를 먹기 시작하면 광선에 대한 저항력이 생기기 시작하나, 직사광선에 갑작스럽게 노출하는 것은 삼가해야 한다.

나) 부화중 수생균 처리

부화중에 죽은 알에서 수생균이 발생하고 이것이 곁에 살아있는 알에도 옮겨갈 위험성이 있기 때문에 수생균의 번식을 억제하기 위하여 수산용 소독제를 사용하는데, 각 소독제의 용량과 사용법은 각 지자체 별로 면허를 소지하고 있는 수산질병관리사의 처방에 따라 처리하도록 하여야 한다.

다) 검란

발안시까지는 알에 충격을 줄 수 없으므로 약욕처리로 죽은 알에 발생하는 수생균을 억제하다가 발안이 되었을 때 죽은 알과 미수정란을 제거하는 작업을 하는데, 이 작업을 검란이라 한다.

검란은 핀셋이나 싸이폰 등으로 사란을 제거하며 알에 부유물 등이 부착되면 검란작업이 힘들기 때문에 흐르는 물 가운데서 알을 손으로 가볍게 흔들어 주면 부유물이 쉽게 제거될 뿐 아니라 미수정란도 진동으로 인해 백색화 되어 검란하기가 더 쉬워진다. 이때 너무 세게 씻으면 살아 있는 알에도 충격을 줄 수 있으므로 조심스럽게 해야 한다. 또한 사란이 많은 경우에는 식염수를 이용하여 사란을 원형채로 1차 제거한 후 싸이폰이나 핀셋으로 2차 검란하는 것이 편리하다. 식염수를 이용하는 방법은 10% 전후의 식염수에 물기를 제거한 알을 넣으면 사란은 물위로 떠올라 쉽게 제거할 수 있다. 그러나 사란이 서로 뒤엉켜 있거나 불순물이 붙어 있으면 손으로 가볍게 떼어낸 뒤 조금씩 농도를 찾아서 이용해야 한다.

검란 후에는 바이러스와 같은 전염성 질병의 예방을 위해 요오드로 소독하는 것이 바람직하다. 소독은

요오드 유효농도 50 ppm에 15분간 약욕한 후 맑은 물로 씻어 수용하는데 약욕시 산소부족 현상을 막기 위해 포기를 하는 것이 좋다. 요오드제는 의약용으로 시판되고 있는 포비돈 요오드를 사용해도 무관하다.

다. 자어 및 치어 관리

1) 부화자어 관리

부화된 직후 난황을 달고 있는 자어는 매우 약하기 때문에 취급에 주의해야 한다. 특히 이 시기에는 활동이 둔한 자어들이 서로 겹쳐져서 질식사 하는 경우가 많은데, 이런 경우에는 부드러운 새 깃털 등으로 흩어 주어 겹치지 않게 해야 한다(그림 3-4). 자어가 건강한 치어로 성장하기 위해서는 달고 있는 난황이 체내에 전부 흡수될 수 있도록 진동이나 광선, 충격 등을 최소화하여 자어가 잠자는 것과 같은 안정된 환경을 만들어 주어야 한다. 자어의 건강을 확인하기 위해 자주 전등빛을 비추거나, 장화소리, 문 여닫는 소리를 크게 내는 것 등도 주의해야 할 점이다. 이 시기는 질병에 대한 저항력이 대단히 약하므로 세균성 질병이나 바이러스성 질병이 쉽게 전염되기 때문에 주의할 필요가 있다. 그리고 성어지에서 사용했던 기구는 치어지에서 사용하지 않도록 하고, 치어지에 들어갈 때는 장화를 갈아 신거나 소독을 하고 들어가는 것이 좋다.



그림 3-4. 갓 부화한 어린 무지개송어(출처: 한국송어양식 50년사).

2) 부상기 자어 관리

난황을 흡수하고 나면 부상하여 먹이를 찾게 되는데, 이 시기를 부상기라고 한다. 부상기가 되면 곧바로 먹이를 공급해야 하는데 이 시기를 놓치고 먹이를 주지 않으면 먹이를 먹는 습성을 잊어 버려 먹이를 먹지 않아 죽게 된다. 부상이 80%정도 되었을 때부터 먹이를 주기 시작 하는 것이 가장 바람직하다. 몇 마리가 부상했을 때부터 먹이를 주기 시작하면 사료 찌꺼기 등이 수질을 오염시켜 부상하지 않은 자어에 피해를 주거나 대량폐사의 원인이 된다.

70년대에는 먹이 붙임용 사료를 실지렁이나 계란노른자 찐 것, 소, 돼지의 생간, 곤쟁이등을 갈아서 공급하였다. 요즘은 송어용 배합사료를 처음부터 공급하기도 하는데, 이때 영양제를 같이 공급하거나 소, 돼지의 생간을 갈아서 같이 공급하면 먹이 붙임이 더욱 쉽다. 사료의 공급량은 하루에 8~10회에 걸쳐 계속 공급하는 것이 좋다.

부상기 이후의 자어는 먹이를 찾아 움직일 뿐만 아니라 활동이 매우 왕성해 조그마한 틈이 있어도 쉽게 빠져나가므로 틈이 생기거나 스크린의 크기가 크지 않도록 주의해야 한다.

3) 치어 관리

가) 사육지

치어기의 사육지는 가장 상류에 두어야 하고, 육성지의 사육수가 유입되지 않아야 한다. 사육지는 수로형의 긴 탱크를 사용하는 것이 좋다. 사육지의 크기는 폭을 1 m 미만, 길이는 10 m 또는 그 이내로 하고 도망 방지용 스크린의 그물크기는 1.5 mm로 한다. 수심은 30 cm를 넘지 않는 것이 좋다. 같은 물량으로도 수심을 줄이면 유속이 빨라지므로 찌꺼기의 유출을 위하여 하루 1~2회씩 수심을 알게 하여 청소를 하는 것이 좋다.

나) 방양밀도

수온이 15℃일 때, 1 m²당 4g 내외의 치어 600~900마리를 기준으로 방양한다. 이렇게 하면 약 10배의 크기로 될 때까지 기를 수 있다.

다) 사육관리

먹이 붙임이 끝난 치어는 왕성한 식욕으로 먹이를 먹기 시작하므로 이 때부터 사료공급에 충실해야 한다. 사료는 1일 8~10회에 걸쳐 계속 공급하는 것이 좋으며, 특히 5 g 이하의 치어기에는 단백질 분해 효소가 위속에만 있고, 유문수나 장내에는 거의 없으므로 사료는 단백질이 특별히 소화되기 쉽도록 어분

등은 아주 곱게 갈아서 원료로 써야 한다. 그리고 비타민과 무기염류도 넉넉히 함유시킨다.

사료 공급량이 증가함에 따라 사료 찌꺼기 및 배설물이 쌓여 사육지 청소를 자주하게 되는데, 이는 치어에 많은 스트레스를 주게 되므로 조심스럽게 다뤄야 하고, 가능하면 부드러운 솔 등으로 가볍게 밀어낸 뒤 주수량을 증가시키고 수위를 낮춰 찌꺼기가 빨리 유출되게 해야 한다.

이 시기에 바이러스성 질병으로 인해 대량폐사 하는 경우가 많으므로 각별히 신경을 써야 한다. 사료는 치어의 성장에 따라 주는 양을 증가시키지만 1일에 주는 횟수는 줄인다. 무지개송어의 크기와 수온에 따른 먹이 공급률은 표 3-2와 같다.

표 3-2. 무지개송어의 체중과 수온에 따른 공급률(건조사료 기준 체중의 %)

체중(g) 수온(°C)	0.18 이하	0.18 ~1.5	1.5 ~5.1	5.1 ~12	12 ~23	23 ~39	39 ~62	62 ~92	92 ~130	130 ~180	180 이상
2	2.6	2.2	1.7	1.3	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4
3	2.8	2.3	1.8	1.4	1.1	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4
4	3.1	2.5	2.0	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5
5	3.3	2.7	2.2	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
6	3.6	3.0	2.4	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8	0.8	0.7	0.6
7	3.9	3.2	2.6	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7
8	4.2	3.5	2.8	2.2	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7
9	4.5	3.8	3.1	2.4	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8
10	4.9	4.2	3.3	2.6	2.0	1.6	1.4	1.2	1.1	0.9	0.8
11	5.3	4.5	3.6	2.8	2.1	1.7	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9
12	5.7	4.8	3.9	3.0	2.3	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
13	6.2	5.2	4.2	3.2	2.4	2.0	1.7	1.5	1.3	1.1	1.1
14	6.7	5.6	4.5	3.5	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.2
15	7.2	6.0	4.9	3.8	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.3	1.3
16	7.7	6.4	5.2	4.1	3.1	2.5	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3
17	8.3	6.8	5.6	4.4	3.3	2.7	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4
18	8.8	7.3	6.0	4.8	3.5	2.8	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5
19	9.3	7.9	6.4	5.1	3.8	3.0	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6
20	9.9	8.2	6.9	5.5	4.0	3.2	2.5	2.2	2.0	1.8	1.7



양성

4. 양성

www.nifs.go.kr

양성은 종묘생산 과정에서 사육한 5~10g 정도의 종묘로부터 식용을 위해 출하할 수 있게 될 때까지 기르는 과정이다.

가. 사육시설 관리

종묘의 단계에서 식용어의 양성에 들어가면, 어체의 성장과 더불어 다량의 먹이를 먹고, 이에 따라 많은 산소를 소비하면서 다량의 배설물을 내어 놓게 된다. 따라서 보다 많은 용수가 필요하게 되며, 또 어체가 성장함에 따라 못의 크기는 더욱 큰 것이 필요하게 된다.

1) 산소의 보충

유입수의 산소만으로는 대사 작용을 위한 산소가 부족해지는 경우가 있으므로 다음과 같은 방법으로 산소를 보충한다.

가) 펌프를 이용한 포기

펌프로 물을 퍼 올려서 낙하시키거나 사육지의 수면에 분출시켜 기포를 일으켜서 포기를 한다.

나) 수차를 이용한 포기

가장 흔히 이용되는 것이 수차의 사용이며, 여러 가지 분무식 교반기를 이용하여 물을 휘젓게 한다(그림 4-1).

다) 블로워 펌프를 이용한 포기

공기 압축기(Compressor) 또는 다른 형태의 강제 송풍장치로서 공기를 파이프 또는 호스를 통해서 수중으로 보내고 물속에서 공기 분산기를 통해서 작은 기포를 분출시킨다(그림 4-1).



그림 4-1. 무지개송어 양식장의 수차.

2) 오물의 제거

배설물이나 먹이의 찌꺼기가 못 바닥에 쌓이면 이것이 물속에서 풀어져 수질을 크게 악화시키므로 오물의 빠른 제거는 매우 중요한 과제이다.

가) 수중청소 펌프의 이용

여러개의 작은 구멍이 뚫린 청소 파이프를 사용하여 파이프 토막이 바닥을 스치면서 파이프와 연결된 펌프로 오물을 빨아올려서 배출시킨다.

나) 유속에 의한 오물의 제거

유속을 빠르게 하면 바닥의 오물이 따라 내려갈 수 있다. 매초 7~8 cm 정도의 유속이면 효과적으로 제거된다. 원형지에서는 비교적 적은 유입수로도 물을 잘 회전시킬 수 있어 찌꺼기가 쉽게 중앙부분에 모이므로 바닥 중앙의 배수구를 통해서 오물이 제거된다. 수로식인 긴 못에서는 많은 수량이 필요한데 못이 좁고 수심을 얇게 하면 더욱 효과적이다.

배수문의 구조는 수심을 조절할 수 있도록 만들어 청소할 때 수심을 30 cm 정도로 낮추면 유속이 빨라져 청소가 잘된다.

나. 선별

다른 모든 양식어류와 마찬가지로 무지개송어도 성장과정 중에 개체간의 대소차이가 심해지면서 큰 것이 작은 것을 잡아먹는 공식현상이 나타난다. 특히, 치어기에 두드러지게 나타난다. 이러한 현상을 없애고 밀식에 의한 환경악화와 스트레스를 막기 위해 크고 작은 것을 골라내어 별도로 수용하여 기르는데 이 작업을 선별이라 한다.

1) 선별기의 종류

선별은 사육관리상 제일 힘든 작업으로서 그 능률의 향상을 도모한다는 것은 대단히 중요하다.

가) 막대선별기

일반적으로 가장 흔히 사용하는 방법으로 상자의 바닥에 일정한 간격으로 막대(PVC 파이프, 목재, 알루미늄, 스텐 파이프 등)를 배열한 것으로 고기의 크기에 따라 막대의 간격이 다른 여러 개의 선별기를 준비해 놓고 사용한다.

나) 대야식 선별기

특별한 선별기를 사용하지 않고 손을 이용한 원시적인 방법으로 큰 대야에 물을 넣고 반두나 쪽대로 선별할 고기를 떠넣어 손으로 선별하는데, 이 방법은 숙달되면 눈이나 손에 잡히는 감촉으로 선별하기 때문에 정밀도가 높은 선별을 할 수 있다. 다만 작업중 고기가 질식되는 일이 없도록 주의해야 한다.

2) 선별시기 및 횟수

어릴 때에는 선별을 자주하고 자라면서 선별 횟수를 줄인다. 5~20g 사이에서는 1개월에 한번 정도가 이상적이다. 그 후 어느 시기까지는 어체의 크기에 큰 차가 없으므로 고기의 무게가 평균 20g 정도가 되면 한번 선별하고 다음은 70~80g 정도가 됐을 때 다시 한 번 한다(표 4-1).

표 4-1. 선별기의 눈과 선별고기의 크기

1) PVC파이프

눈의 크기(mm)	고기의 크기(g)
5.2	0.37
6.1	0.80
7.6	1.26
9.1	2.28
11.2	5.50

2) 목재

눈의 크기(mm)	고기의 크기(g)
8.2	8
10.6	13
12.1	24
13.6	57
15.2	65
16.6	84
18.2	135
21.2	200
22.7	250

3) 알루미늄 스텐파이프

눈의 크기(mm)	고기의 크기(g)
5	1.4
6	2.5
7	4
8	6
9	9
10	12
11	17
12	23
13	30
14	45
15	60
16	75
17	100
18	120
19	150
20	180

3) 선별시 주의 사항

선별은 성장을 고르게 하고 사료효율을 높여줄 뿐 아니라 고기의 평균 체중의 추정을 용이하게 하여 사료의 크기 결정이나 약물 처리 시 양 결정, 출하나 판매시의 편리 등을 주므로 자주 선별하는 것이 좋으나, 선별도 심한 스트레스를 주게 되므로 가능하면 질병이 발생하기 쉬운 시기를 피하여 하는 것이 좋으며, 필요이상의 선별은 피하는 것이 좋다. 선별 시 너무 무리하게 많은 양을 선별하지 않아야 하고, 선별하기 전에는 하루 정도 굶기는 것이 좋다. 어류에 대한 취급을 난폭하게 하면 체표의 점액이나 비늘이 벗겨져 수생균이 생기게 되므로 주의하여 다뤄야 한다. 선별 후에는 항생제 등으로 약육하는 것이 좋으며, 선별직후에 사육지를 청소하는 등의 스트레스를 주는 요인은 억제하는 것이 좋다.

다. 사료의 종류와 공급

1) 배합사료의 사용 현황

최근 5년간 담수어 양식용 배합사료 생산량은 연간 25.1천톤~40.4천톤이 생산되었으며, 이 중 무지개송어용 배합사료는 2011년에는 3,862톤이 생산되었으며, 이후 2012년~2015년에는 4,437~6,383톤이 생산되어 점차적으로 안정되는 경향을 보였다(표 4-2).

표 4-2. 무지개송어용 배합사료 연도별 생산 현황

(단위 : 톤)

	2011	2012	2013	2014	2015
담수어용	28,313	28,665	25,156	33,302	40,486
무지개송어용	3,862	6,305	4,437	6,383	5,584

출처 : 배합사료 생산통계(농림축산식품부)

2) 영양소 요구량

무지개송어의 필수 영양소별 요구량을 표 4-3에 나타내었다. 어류의 성장에 가장 중요한 영양소는 단백질이며, 무지개송어의 사료 내 단백질 요구량은 어체 크기에 따라서 38~48%가 적합한 것으로 보고되었다(NRC 2011). 또한 무지개송어의 최적 성장을 위한 필수지방산인 n-3 고도불포화지방산 요구량은 0.4~0.5% 이상으로 보고되었다. 주요 지용성 비타민인 비타민 E 요구량은 사료 1 kg 중 25~100 mg으로 보고되었으며, 수용성 비타민인 비타민 C의 요구량은 사료 1 kg 중 5~500 mg 으로 보고되었다. 양식 어류가 스트레스 상황에 노출될 경우에는 비타민 C와 비타민 E 첨가량은 다소 높이는 것이 유용하다. 미네랄 중 인(phosphorous) 요구량은 0.7~0.8%로 보고되었다.

무지개송어의 사료내 아미노산 종류별 요구량은 아르기닌(arginine)은 4.2%(조단백질), 히스티딘(histidine)은 1.0~1.2%, 이소류신(isoleucine)은 1.5~2.8%, 류신(leucine)은 2.3~2.9%, 라이신(lysine) 6.6~8.4%, 메티오닌(methionine)은 1.9%, 페닐알라닌(phenylalanine)은 2.0%, 트레오닌(threonine)은 2.6% 및 트립토판(tryptophan)은 0.9%로 보고되었다(표 4-4).

표 4-3. 무지개송어의 영양소별 요구량

영양소	어체중별 적정 함량	
조단백질	20 g	48%
	20~200 g	40%
	200~600 g	38%
	600~1,500g	38%
필수지방산	n-3 PUFA 0.4~0.5%	
비타민 E	25~100 mg/ kg 사료	
비타민 C	5~500 mg/ kg 사료	
인	0.7~0.8%	

출처 : NRC (2011)

표 4-4. 무지개송어 사료 내 아미노산 요구량

아미노산	요구량(% of crude protein)
Arginine	4.2%
Histidine	1.0~1.2%
Isoleucine	1.5~2.8%
Leucine	2.3~2.9%
Lysine	6.6~8.4%
Methionine	1.9%
Phenylalanine	2.0%
Threonine	2.6%
Tryptophan	0.9%

출처 : NRC (2011)

3) 어체 크기 및 수온별 일일 사료 섭취량

양식어류의 사료 섭취량은 사육 환경, 어체 크기, 수온 및 사료공급 횟수 등에 따라 달라질 수 있다. 무지개송어의 어체 크기 및 사육수온별 에너지 요구량을 계산하여 적정 배합사료 공급량을 표 4-5에 나타내었다 (NRC 1993). 사육 수온 및 어체 크기별 무지개송어의 일일 적정 사료 공급률은 0.6~6.5%였다.

표 4-5. 무지개송어의 어체 크기 및 수온별 일일 에너지 요구 및 사료 공급량

5℃			10℃			15℃		
체중(g)	가소화 에너지요구 (kcal)	사료량 (%/체중)	체중(g)	가소화 에너지요구 (kcal)	사료량 (%/체중)	체중(g)	가소화 에너지요구 (kcal)	사료량 (%/체중)
1.0	—	—	1.0	—	—	1.0	—	—
1.2	0.08	2.01	1.4	0.17	4.19	1.7	0.27	6.52
1.4	0.09	1.90	1.9	0.22	3.72	2.5	0.37	5.45
1.7	0.10	1.80	2.5	0.26	3.36	3.7	0.49	4.69
1.9	0.12	1.71	3.3	0.32	3.06	5.2	0.63	4.12
2.2	0.13	1.63	4.2	0.38	2.81	7.0	0.78	3.69
2.5	0.14	1.56	5.2	0.45	2.61	9.2	0.96	3.34
2.9	0.16	1.49	6.4	0.52	2.43	11.8	1.15	3.05
3.3	0.17	1.43	7.7	0.59	2.28	14.9	1.37	2.81
3.7	0.19	1.38	9.2	0.68	2.14	18.5	1.60	2.61
4.2	0.20	1.33	10.9	0.76	2.02	22.6	1.85	2.44
4.7	0.22	1.28	12.8	0.86	1.92	27.3	2.12	2.29
5.2	0.24	1.23	14.9	0.96	1.83	32.6	2.42	2.16
5.8	0.25	1.19	17.3	1.07	1.74	38.5	2.73	2.04
6.4	0.27	1.16	19.8	1.18	1.66	45.1	3.06	1.94
7.0	0.29	1.12	22.6	1.30	1.60	52.4	3.42	1.85
7.7	0.31	1.09	25.7	1.42	1.53	60.5	3.79	1.76
8.4	0.33	1.06	29.0	1.55	1.47	69.3	4.19	1.69
9.2	0.36	1.03	32.6	1.69	1.42	79.0	4.61	1.62
10.0	0.38	1.00	36.4	1.83	1.37	89.5	5.04	1.56
10.9	0.40	0.98	40.6	1.98	1.33	100.9	5.51	1.50
11.8	0.43	0.95	45.1	2.14	1.28	113.3	5.99	1.45
12.8	0.45	0.93	49.9	2.30	1.24	126.6	6.49	1.40
13.9	0.48	0.91	55.0	2.47	1.21	141.0	7.02	1.35
14.9	0.50	0.89	60.5	2.64	1.17	156.4	7.57	1.31
16.1	0.53	0.87	66.3	2.82	1.14	172.8	8.14	1.27
17.3	0.56	0.85	72.4	3.01	1.11	190.4	8.74	1.23
18.5	0.59	0.83	79.0	3.21	1.08	209.1	9.35	1.20
19.8	0.62	0.81	85.9	3.41	1.05	229.1	9.99	1.17
21.2	0.65	0.79	93.2	3.61	1.03	250.2	10.66	1.13
22.6	0.68	0.78	100.9	3.83	1.00	272.6	11.34	1.11
24.1	0.71	0.76	109.1	4.05	0.98	296.3	12.05	1.08
25.7	0.74	0.75	117.6	4.28	0.96	321.4	12.79	1.05
27.3	0.77	0.74	126.6	4.51	0.94	347.8	13.55	1.03
29.0	0.81	0.72	136.1	4.75	0.92	375.6	14.33	1.00
30.7	0.84	0.71	146.0	5.00	0.90	404.9	15.13	0.98
32.6	0.88	0.70	156.4	5.26	0.88	435.7	15.96	0.96
34.5	0.92	0.69	167.2	5.52	0.86	468.0	16.82	0.94
36.4	0.95	0.67	178.6	5.79	0.84	501.8	17.70	0.92
38.5	0.99	0.66	190.4	6.07	0.83	537.2	18.60	0.90
40.6	1.03	0.65	202.8	6.35	0.81	574.3	19.53	0.89

* 사료: 4.06 kcal/g 에너지 함유 및 가소화 단백질 92mg/kcal 함유

4) 배합사료 공급

무지개송어가 자라서 100g 전후로 된 때에는 몸이 튼튼해지는데, 이때는 치어기에 비해 사료원료의 가루가 약간 거칠고, 단백질 함량이 어느 정도 낮은 사료로 길러도 잘 자란다. 더욱 자라면 소화 및 흡수의 능력이 도리어 감퇴되는데, 이때에는 영양가가 높은 사료를 주어도 모두 소화, 흡수하지 못한다. 따라서 성장기 후기에는 영양가가 약간 낮은 보통사료를 주어도 된다.

가) 어유(fish oil)의 첨가

시판하는 펠릿 사료를 사용할 때에는 사료를 주기 전에 어유를 첨가하여 주면 성장이 촉진된다. 사료 제조시에는 사료의 보관중에 지질의 산화, 변질을 막기 위하여 지질의 함량을 낮추어야 하므로, 사용시에 어유를 따로 사료에 흡착시켜 공급한다. 약 20g 이상으로 되는 치어기 때부터 약 10% 정도의 어유를 첨가한다. 그러나 지나친 고수온기와 저수온기에는 어유를 첨가하지 않는다.

나) 사료량

양성을 위한 사료의 공급량은 무지개송어의 활동상태, 먹이를 먹는 상태에 따라 조절해야 한다. 무지개송어용 시판 배합사료의 권장 공급표를 표 4-6에 나타내었다. 사료 회사에 따른 차이는 있겠지만 무지개송어용 배합사료는 크기가 1~6mm까지 생산되고 있으며, 크기에 따라 총 8종 내외의 제품이 판매되고 있다. 수온 및 어체 크기별 1일 사료 공급량은 체중의 0.7~7.3%였으며, 사료공급은 한번에 다 주지 말고 2~5회로 나누어 공급할 것을 권장하고 있다.

표 4-6. 무지개송어용 시판 배합사료 권장 공급표

	입자도 (mm)	어체중 (g)	수온별 공급률(%/어체중/일)				공급 횟수
			8℃	12℃	16℃	20℃	
1	1.0~1.1	1.5~4	2.6	3.0	3.3	7.3	4~5
2	1.5~1.6	5~9	2.5	3.0	3.2	7.0	4~5
3	2.0~2.2	9~13	2.2	2.8	3.2	3.5	3~4
4	2.5~2.7	14~25	1.8	2.4	2.8	3.2	3~4
5	3.0~3.2	25~50	1.4	1.4	2.4	3.0	2~3
6	4.0~4.3	50~150	1.0	1.2	2.0	2.6	2~3
7	5.0~5.3	120~400	0.8	1.1	1.8	2.2	2~3
8	6.0~6.3	400이상	0.7	0.9	1.4	1.8	2~3

다) 먹이공급시 주의사항

자동사료 공급기에 의하여 그때 그때의 상황에 관계없이 일률적으로 주는 것보다 사람의 손으로 직접 관찰하면서 천천히 주는 것이 좋다. 천천히 주다가도 먹이가 바닥에 떨어지기 시작하면 먹이 주는 것을 중단한다. 이때는 약 80% 이상은 충분히 먹었다고 보아야 한다. 어떤 경우라도 70~80% 정도의 만족감을 주는 것이 사료효율이 가장 좋고, 또 수질관리에도 크게 도움이 된다. 먹이를 주는 속도가 빠르면 50%도 먹지 못하고 남은 것은 바닥에 쌓이게 된다. 그 결과 사료를 허비하게 되고, 사료의 부패에 의한 수질의 악화를 초래하게 된다.

먹이 주는 양을 감소시켜야 할 경우는 다음과 같다.

- 주수량이 감소할 때
- 수온이 갑자기 너무 높아지거나 낮아졌을 때
- 물이 탁해졌을 때
- 어류의 활동상태가 비정상적일 때
- 못을 옮겼거나 다른 이유로 무지개송어를 잡아냈다가 다시 못에 넣었을 때

특히, 수온이 올라가면 어류의 생활 대사량이 증가하고 먹이를 더 먹으려고 한다. 반면에 증가되는 산소 요구량의 보충과 축적되는 대사오물의 처리 등이 뒤따르지 못하면 도리어 식욕감퇴를 일으키고 몸이 쇠약해지는 일이 있다.

라. 사육중 주의 사항

1) 포획시의 주의사항

무지개송어를 판매, 그 밖의 목적으로 포획시 24~48시간 동안 절식시켜 창자내에 먹이가 없도록 하며, 몸표면에 상처가 나지 않도록 조심해서 다뤄야 한다.

2) 운반시의 주의사항

가) 대사기능 저하

운반전 1~2일 동안 어류를 굶기고 운반용수의 온도를 낮게 유지시키면 생리기능이 낮아지고 따라서 산소 소비량이 감소하며 대사 배설물의 배출이 적어진다.

나) 산소보충

아무리 어류의 대사기능을 저하시키더라도 좁은 용기에 고밀도로 수용하면 수중의 산소가 부족해지므로 그만큼의 소요량을 물속에 산소 또는 공기를 주입해야 한다.

나) 오물제거

장시간 운반시 물을 교체해주거나 여과장치를 하여 오물을 제거해야 한다.

3) 육질향상을 위한 관리

무지개송어의 맛은 사료의 종류에 따라 다르므로 신선하고 좋은 사료를 주도록 하며, 정제된 어유를 첨가하여 공급함으로써 육질 및 맛을 개선시킬 수 있다. 순환 여과식에 의해 사육된 송어에서는 여과조 내의 미생물에 의한 좋지 않은 냄새가 나는 일이 있으므로 출하전에 유수식 또는 반유수식 사육시설에서 10~15일 이상 반드시 축양하여 해감내가 나지 않도록 한다.





해수 사육

5. 해수 사육

www.nifs.go.kr

가. 바다송어

송어(무지개송어)는 대부분 내수면에서 양식 생산되나, 최근 전라남도 고흥을 시작으로 바다송어 양식 및 출하가 시작되는 단계에 있다.

무지개송어의 주 출하 규격은 800 g이 일반적이며, 양식장에서 유통업자를 거쳐 횡집으로 유통되는 전형적인 형태와 양식장에서 횡집으로 바로 유통되는 직거래 방식이 공존하고 있으나, 바다송어의 경우에는 연어와 같이 주로 2~3 kg까지 대형으로 양성한 후 출하를 하고 있으며, 현재는 여름철 고수온기에 대한 적응(월하) 문제로 인해서 연중 생산되는 공급량이 일정하지 않은 실정이다. 그러나 2013년 20여톤에서 2016년 300여톤의 비약적인 성장세를 보이고 있으며, 최근 제주지역 및 남해안, 강원도 고성 지역을 중심으로 출하 및 수출이 시작되는 단계이다.



그림 5-1. 무지개송어의 해수 사육.

2014년 기준 국내 연어과 어류(송어 포함)의 소비량은 2.5만톤 규모로 매년 급격하게 증가하는 추세이나, 국내 송어 생산량이 이에 절대적으로 부족한 실정으로 현재는 부족분을 전량 수입에 의존하고 있는 실정

이다. 또한, 2020년 국내 연어과 어류 소비규모는 약 10만톤에 달할 것으로 예측하고 있어 국내 송어 및 연어 양식생산과 관련된 연구개발 및 양식생산이 시급한 실정이다.

이와 같은 환경 변화에 대응하기 위해서 ‘해수를 이용한 무지개송어(연어과 어류) 양식’이 도입·확산되고 있는 시점으로 시장에서의 가격 경쟁력 확보 가능성 여부가 산업화의 핵심 이슈로 대두되고 있다.

본 매뉴얼에서 언급하는 ‘바다송어’는 해상 가두리 및 육상 수조식 양식장과 내수면에서 양식되고 있는 무지개송어를 대상으로 해수 순치를 통해 양성하는 방법으로 생산된 어류를 지칭하였으며, 추후 해상에서 가두리 양식을 통해 생산되는 연어과 어류(대서양 연어 등)와는 구분이 필요할 것이다.

나. 바다송어 양식기술

1) 외국 바다송어 양식

덴마크의 경우, 연간 6.5만톤의 송어를 양식하고 있으며, 이 중 약 2만톤 정도가 해상 가두리에서 생산되고 있다. 이러한 해상가두리 양식장 1개소에서 약 3,000톤의 양식 생산량을 보이는 업체가 있을 정도로 대규모 양식장 위주로 생산되고 있으며, 양식기술 및 가두리 설비 등의 기술력이 높은 수준이다. 그러나 송어를 바다에서 양성하는 기간은 단기간으로 우리나라의 바다송어 양식과 그 방법적인 부분에서 국내와 유사한 부분이 많아 벤치마킹에 적합할 것으로 사료된다.

중국에서도 최근 연어류(바다송어)의 소비가 증가되고 있는 추세로, 송어 양식에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다. 이러한 내용을 반영하듯, 중국 산둥성에 위치한 ‘동방해양’에서는 바다송어 수정란을 노르웨이 등 유럽에서 수입하여 담수에서 100g 전후의 종묘까지 사육 한 후, 해수 순환여과식 사육수조에서 육성하고 있다. 현재, 100만마리 이상의 치어를 90톤 규모의 사육수조에서 15 kg/m²의 밀도로 14개월가량 육성하여 약 2 kg 정도의 상품크기까지 사육 후 판매를 하고 있는 실정이다. 사육수조 내 공급되는 해수는 지하해수를 사용하고 있으며 5~10%의 일일 환수율을 보이는 전형적인 순환여과 방식으로 양식장을 운영 중에 있다.

2) 국내 바다송어 양식

우리나라의 경우, 1988년 한국해양연구소에서 최초로 무지개송어의 해상 가두리 양식이 시범적으로

시행되었으며, 2011년을 기점으로 전남, 경남, 제주, 충남, 경북, 강원도에 이르기까지 전국적으로 확산되고 있는 추세이다.



그림 5-2. 무지개송어의 해상가두리 양식(출처: KMI 수산동향).

국내에서 양식되는 무지개송어는 냉수성 어종으로 겨울철에도 양식이 가능하며, 남해안의 경우에는 겨울철 해상가두리 양식대상 품종이 없는 휴한기로 유히가두리가 많아 휴한기 양식장 어가소득 증대 차원에서 시범양식이 시행되었다.

일반적인 바다송어(해수 무지개송어 순치) 양식은 내수면 양식장에서 생산된 200g 전후의 무지개송어 중간종묘를 일정기간 해수 순치 후 해상 가두리 또는 육상 수조식 해수 양식장에 입식하여 6개월 정도(약 2kg 크기) 양성한 성어를 출하하고 있다(전남 해상가두리 양식).

3) 연어와 송어의 시장 구분

연어와 송어를 별도의 품종으로 구분하고 이에 대하여 소비 시장에 대한 패턴, 수요 계층, 수요 시기 등을 고려할 경우, 두 개의 품종이 형성하는 시장이 별도로 구분되기 어렵다는 것이 일반적인 시각이다.

바다송어의 주요 소비시장인 일본에서는 해면에서 양식된 무지개송어(니지마스)는 살몬 트라우트 또는 트라우트 살몬으로 표기하여 판매되고 있다.(2013. 일본 소비자청 메뉴포시 가이드라인/AT 수산물해외시향 동향, 2014).

이러한 시장의 현황을 반영하여 국내 송어(연어, 바다송어 포함)의 내수시장에 높은 수입의존도를 보이는 외국 수입산 연어를 대체할 수 있는 방안이 필요하며, 이를 위한 돌파구로서 바다송어가 중요한 역할을 담당하여야 할 것이다.

그러나, 현재 바다송어는 일본으로 수출되는 소량을 제외하고는 판로가 확보되지 않아 대부분 시식회나

표 5-1. 지역별 해수 송어양식 현황 및 주요 특성(2012년 기준)

	전남	제주	경남	충남	경북	강원
세부지역	고흥, 여수	서귀포	통영, 거제	홍성	포항	고성
시작연도	2008	2012	2011	2012	2012	2012
입식크기	300~400 g	120~130 g	600 g (수정란 1년육성)	120~200 g	400 g	200~250 g
입식량	15천마리	13천마리	23천마리	9천마리	3.5천마리	5천마리
출하크기	1.5~3 kg	2~4 kg	1.5~3 kg	0.8~1.5 kg	1.3 kg	0.9 kg
생산량	30톤	10톤	24톤	5톤	1톤	2톤
양성기간	6~7개월	연중	6~7개월	6~7개월	6~7개월	연중
생존율	90%	70%	90%	90%	80%	—
주요어종	무지개송어/ 시마연어/ 황금송어	무지개송어/ 황금송어	무지개송어	무지개송어	무지개송어	무지개송어
종자구입	경북, 강원	강원, 충북	수입(덴마크)	강원	경북	강원
기술지원	전남해양 수산과학원	제주해양 수산연구원	경남수산 자원연구소	충남수산 관리소	경북어업 기술센터	강원환경해 본부
장점	기술, 경험우수	연중생산가능	양식기술우수	소비지근접성	종자수급원활	연중생산가능
단점	연중생산불	경험少	경험少, 연중생산불	경험少, 연중생산불	경험少, 연중생산불	초기시설 고비용
주요특징	최초도입 특허출원 시험어종다양	지하해수이용	수입산 육종활용 유통중심지	수도권인접 지역축제소비	전암컷 생산기술 종자수급원활	내수면 송어산지 종자수급원활

출처: 이남수(2013), “국내 해수 송어양식 동향과 시사점”, 『계간 해양수산』, 2013년 가을호 제3권 제3호,
한국해양수산개발원

생산지 인근의 일부 횡집에서 소비되고 있는 실정으로 판로에 대한 해결이 시급한 문제로 대두되고 있다. 또한, 세계적 기업인 노르웨이의 연어 양식생산업체(마린 하베스트, Marine Haverst)의 국내 진출이 국내 송어 산업에 미치는 영향에 대해서도 충분히 고려를 해야할 부분이라고 판단된다.





유전육종

6. 유전육종

www.nifs.go.kr

가. 수산유전육종의 이해

20세기 초반, 그리고 20세기를 걸쳐 해양을 물리적으로 지배하는 민족이 세계를 지배하였다. 반면, 21세기는 한정된 각국의 배타적 경제수역(EEZ) 내에서 무한한 생산 잠재력을 지닌 해양을 어떻게 잘 관리하고, 어느정도 잘 개발하고자 노력하려는 해양의 세기가 될 것이다. 아울러 「제 3의 물결」로 널리 알려진 앨빈 토플러는 해양 개발, 생명공학, 지식 정보화 및 우주 개발을 제 3의 물결을 주도할 4대 핵심 산업이라고 언급한 바 있다. 이들 21세기 4대 핵심 산업중 생명공학 기법을 도구로 한 해양개발인 해양생명공학(Marine biotechnology)은 육상에서 이루어졌던 생명공학적 기법들을 해양생물을 대상으로 적용, 개발하여 「청색혁명(Blue revolution)」을 이루고자 하는 분야이다. 따라서 해양생명공학의 궁극적인 목적은 단지 그 연구 대상을 해양생물에 국한한다는 것 뿐, 생명공학의 궁극적인 목적과 마찬가지로, 물질과 에너지원으로서의 자원 개발, 인간에 의해 야기된 환경 오염의 제거 및 경제적으로 유용한 생화학적 과정을 통한 생산이라고 대별할 수 있다. 해양생명공학의 적용 범위는 대체로 건강, 식품, 환경, 에너지 및 화학 분야이며, 해양생명공학의 정의는 '인간의 복지를 위하여 해양생물의 System process, 나아가 생물 그 자체를 이용하는 기술'이라고 할 수 있다.

수·해양은 고급 단백질원 제공과 인류 최후의 식량 보고라는 측면에서 그 중요성이 점차 증대되고 있으나, 최근들어 어업 여건의 국제적 악화 및 연안해역의 오염과 매립 및 환경 오염으로 인해 그 수급에 있어서 큰 차질이 예상되고 있어 이미 잡는 어업(Fishery)만으로는 수산물의 수용 충족에 한계를 나타내고 있다.

더욱이 우리나라의 수산물 산업은 최근 WTO 체제의 출범으로 인한 본격적인 농수산물의 국제화, 개방화 시대로의 돌입과 동시에 무한 경쟁 체제하에 놓이게 되었다. 이에 수산업의 국제 경쟁력 확보, 국민 복지 증진의 요구 수렴, 국가 식량 문제에 기여할 수 있는 기술의 전략적 개발과 세계시장의 진출을 통한 수산물 산업의 수출 전략이 매우 중요시되고 있다.

이러한 범세계적 추세와 국민적인 요구를 충족시키기 위해서는 집약적 첨단 기술 개발에 의한 생산성 향상의 극대화와 양식(기르는 어업, Aquaculture) 생산량의 증대가 절실히 요구되고 있다. 양식 생산을 위한 기본 요건중, 종묘(치어, Seed)의 생산은 생산물의 원료 확보라는 측면에서 가장 중요시 되며, 더욱이 우량 종묘의 생산은 양식 생산성 향상의 극대화를 꾀할 수 있는 첩경으로 여겨지고 있다.

최근 들어 단기간에 걸쳐 단위 노력당 생산성을 극대화 하기위해 유전공학 기법을 이용한 고부가 가치의 우량 품종을 생산하고자 하는 노력이 전 세계적으로 이루어지고 있으며, 특히 수산물중 가장 경제적 가치가 높은 어류에 많은 연구들이 집중되고 있다.

1971년에 세계식량농업기구(FAO)에 의해 수산양식 산업에서 생명공학적 연구의 필요성이 대두된 이래, 해양생물을 대상으로한 수산유전육종학(Aquatic Genetics and breeding, Aquatic Genetic improvement, Aquatic applied Genetics) 연구는 어류(Fish), 패류(Shellfish), 해조(Sea weed) 및 기타 수산생물(Aquatic animal)을 대상으로 최근까지 질적, 양적으로 꾸준히 증가 되어왔고, 현재 4년 단위로 "양식에서의 유전학(Genetics in aquaculture)"이라는 명제하에 국제심포지움이 개최되고 있다. 이와 더불어 수산양식 산업에서의 수산유전육종학적 기법 및 그 산물에 대한 수요 요구가 점차 증가 추세에 있다. 수산유전육종학이 비록 이와같은 30년이라는 비교적 일천한 연구 역사에 비해 현재 활발히 연구되고 실용화되고 있는 이유는, 그 연구 대상인 해양생물이 포유류와 조류가 주축을 이루는 가축에 비하여 첫째, 대부분 체외수정으로 생식을 하므로 배우자와 접합자(수정란)의 조작이 수월하며 둘째, 개체 크기가 가축과 비교시 매우 작고 그 생활사가 비교적 짧아서 연구 결과와 연구 효과를 단기간내에 집단적으로 확인 할 수 있고 셋째, 성염색체가 거의 미분화 상태여서 배수체(Polyploid)의 생존력이 정상이며, 성(Sex)을 자유로이 기능적으로 전환 시킬 수 있는 등의 장점에 기인된 것이다. 수산유전육종학의 산물은 방향성과 목적성(예컨대, 빠르고 고른 성장)이 있어야 하며, 수산유전육종 결과 신기능(신품종) 생물의 형성이나 우량 품종으로의 개량으로 인하여 양식 산업성 증가에 효과가 있어야 할 것이다.

나. 염색체공학(Chromosome engineering/manipulation)

생물의 모든 활동과 기능은 세포 핵 내의 유전자(DNA)에 물리적인 기반을 두지만, 핵 DNA는 이미 정해진 영역마다 염색체라는 구조로 조직되어 있다. 이들 염색체의 수와 형태로 나타나는 생물학적 특징(핵형)은 일반적으로 종마다 일정하다. 어류를 비롯해 유성생식을 하는 생물에서는 모친(난)으로부터 1세트(게놈이라 한다), 부친(정자)으로부터 1세트, 합계 2세트의 염색체를 수정을 통해 갖게 된다(이 상태를 2배체라고 하며 $2n$ 으로 나타낸다). 이후, 세포가 증식될 때 모든 염색체가 복제되고, 이들이 2개의 낭세포로 나누어진다(체세포분열). 그러나, 배우자를 형성할 때는 배우자(난, 정자)의 염색체는 1세트(n)로 반감된다(감수분열).

염색체 이상(Chromosome abnormality)에는 염색체상 숫적 이상인 배수체(Euploidy)와 이수체(Aneuploidy)가 있고, 구조적 이상인 유전자 돌연변이(Gene mutation, Point mutation: Position effect)가 있다. 염색체 상의 숫적 이상에서 배수체 만이 현재로서는 유도 가능하며 이러한 배수체는 염색체공학

(Chromosome engineering) 혹은 염색체조작(Chromosome manipulation)에 의해 유도될 수 있다. 염색체공학은 염색체 또는 염색체 조직의 수준에서 염색체나 염색체의 반수체 또는 이배체를 넣어 주거나 제거하여 조작하는 것으로서 이의 조작은 배란과 수정 사이에 난자의 핵분열(Meiosis시의 Karyokinesis), 또는 수정란의 난할(Cleavage) 제1 분열시 이들을 억제함으로써 용이하게 조작할 수 있다.

어류에서는 잉어에서 제2 감수분열을 저지하여 염색체의 배수화에 성공한 것이 최초의 예이다. 최근, 이 기술은 특히 육종의 관점에서 주목을 받아 많은 성과가 얻어짐과 동시에 그 대상은 패류, 갑각류로 계속 넓혀지고 있다. 수산생물을 대상으로 한 이러한 염색체공학의 적용은 3배체(Triploid), 잡종 3배체(Hybrid triploid, Allotriploid), 4배체(Tetraploid), 자성발생성 2배체(Gynogenetic diploid) 및 웅성발생성 2배체(Androgenetic diploid)로 나타나고 있다. 세포분열의 억제를 위하여는 물리, 화학적인 처리를 하여야 한다. 이때 물리적 처리는 수정란을 저온처리, 또는 고온처리하거나, 강력한 수압을 가함으로써 가능하며, 화학 약품을 처리하는 경우도 있다.

1) 배수체 어류

게놈(Genome)은 생물들의 생활 기능의 조화를 갖기 위해서 빼놓을 수 없는 유전정보가 들어있는 염색체의 한 조(Set)를 의미한다. 예를 들어, 세균 등의 원핵생물(Prokaryote)의 염색체는 커다란 환상의 DNA에 들어있기 때문에 이것이 세균의 게놈이다. 동물, 식물 등의 진핵생물(Eukaryote)에서는 유전정보가 복수의 염색체로 나누어 지는데, 진핵생물에 있어서 게놈은 그 생물의 생식세포(배우자)가 갖고있는 염색체 혹은 유전자 전체를 가리킨다. 진핵생물은 양친의 생식세포(동물에서는 알과 정자, 각각의 염색체 수 n)가 융합하는 것에 의해 만들어지는 것이기 때문에, 그 몸체를 구성하는 세포는 $2n$ 의 염색체, 즉 2배의 게놈을 갖는 2배체가 그 기본이 된다.

염색체 수가 n 의 생물은 반수체로, 동물에서는 어류의 자성발생처럼 유전정보를 반밖에 갖지 않기 때문에 발생이 시작되어도 결국 죽어버리는 경우가 많다. 그러나 벌 또는 개미와 같은 생식과 노동의 역할 분담이 분명하게 구별되어 있는 사회성 곤충은 역할에 따라 Parthenogenesis(처녀생식, 단위생식, 불수정생식)에 의해 2배체와 반수체의 양쪽이 존재한다.

배수체라는 것은 기본이 되는 2배체 보다 많은 게놈을 갖는 생물도 있을 수 있다. 이러한 생물은 게놈의 중복 정도에 의해 3배체(Triploid), 4배체(Tetraploid, Amphidiploid), 5배체(Pentaploid), 6배체(Hexaploid), 7배체(Heptaploid), 8배체(Octaploid) 라고 부른다. 자연계에도 이렇게 게놈을 중복하여 갖는 생물이 존재하는데 주로 식물이며, 어류(잉어과 및 연어과 어류는 일반적으로 2배체이나 인위적으로 4배체화한 것임), 파충류, 양서류에도 있다.

일반적으로 세포의 크기는 배수성에 비례하는 것이기 때문에, 배수체는 2배체에 비교하면 각각의 기관과 몸 전체가 커지는 경우가 많다. 그러나 배수성을 높이면 얼마든지 커질 수 있는 것이 아니라 4~6배체까지

이며, 그 이상이 되면 거꾸로 감소한다. 따라서 배수체는 기본이 되는 게놈이 3배, 4배라는 것으로 개체의 크기가 3배, 4배가 된다는 것은 아니다.

2) 3배체

수산양식 산업에서 3배체는 이미 1956년에 영국의 Swarup에 의해 어류 수정란에 간단한 저온(cold shock)처리로 유도 하였으며, Purdom은 1972년에 Plaice (*Pleuronectes platessa*)를 대상으로 해산어에서는 최초로 3배체를 유도한 이래, 현재까지 주요 양식어류를 대상으로 염색체공학에 관한 연구와 기술이 급속히 진전되고 있다. 어류에서 3배체 유도는 현재까지 300사례 이상 보고되고 있으며, 연어과 어류 중 무지개송어가 70사례 이상, 잉어과 어류 중 초어가 15사례 이상 보고되고 있다.

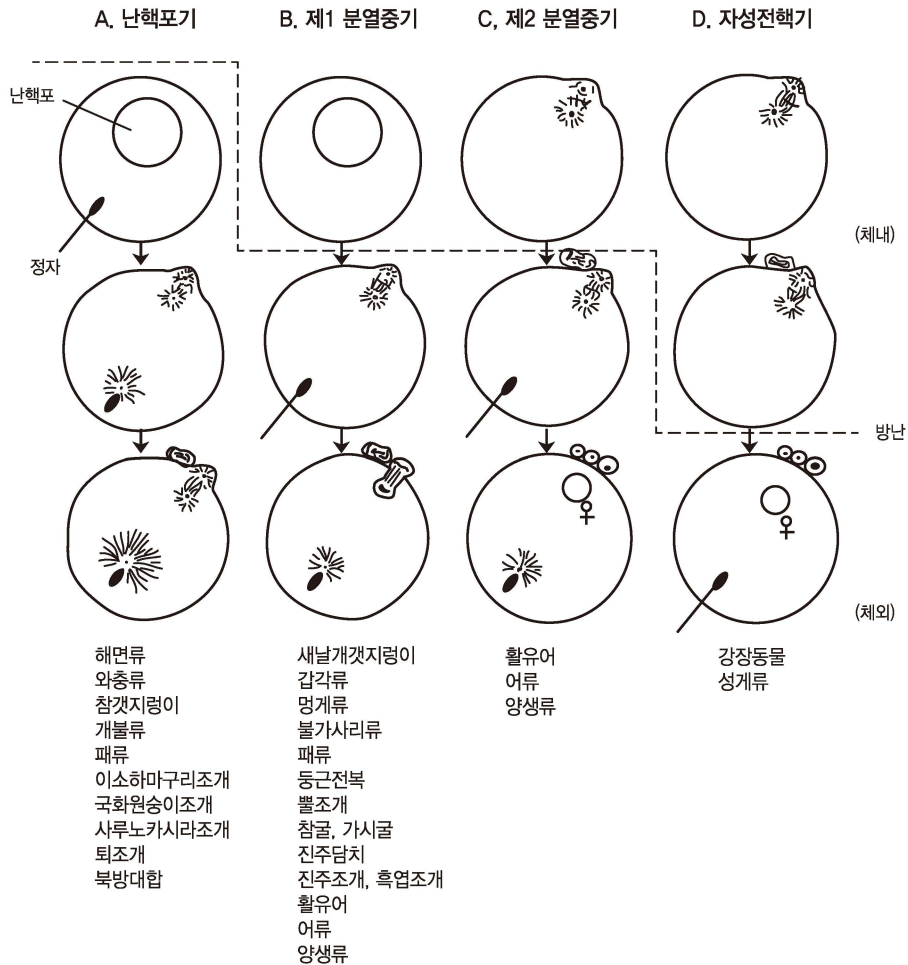


그림 6-1. 수생생물의 방란과 수정이 일어나는 시기.

3배체 유도시 기본 개념인 양성혼합(Amphimixis)에서 수정시 정자 침입 시기를 난모세포에서의 감수분열 단계로 알아보면 다음과 같다(그림 6-1). 첫째, 제1 난모세포가 제1 감수분열 후 제1 극체 방출을 완료하고 이후, 제2 감수분열의 중기에서 그 이상의 난자형성과정은 중지됨과 동시에 배란이 일어나 난모세포가 수정한 후에야 비로소 제2 감수분열이 완료되어 제2 극체가 방출하는 유형(척추동물); 둘째, 난모세포가 제1 감수분열의 중기에 수정하는 유형(피낭류, 연체동물 및 일부 환형동물); 셋째, 난모세포가 제1 감수분열을 시작하기 전에 수정하는 유형(환형동물, 유형동물 및 모악동물)이다.

결론적으로 말해서 암·수의 배우자가 각각의 감수분열에 의해 염색체 수를 반감시켜 양친의 상동 염색체간의 교차에 의한 유전인자의 재조합이라는 변이성을 일으켜 각 생물 개체들이 환경 변화에서 살아갈 수 있는 기회를 증가시키는 과정을 거치게 되는 것이다. 또한 이러한 과정을 통해서 만들어진 수 천만개의 정자 중 단 하나만이 한 난자의 국부를 자극시켜 발생하여 난자를 활성화 시켜 정자의 웅성 전핵과 난자의 자성전핵이 융합하여 염색체 수는 $2n$ 의 복상의 되는 수정란을 방출하게 되는 것이다.

가) 3배체 유도법

그림 6-2에서와 같이 어류인 경우 수정후 제2 감수분열을 하여 난에서 제2 극체가 방출되므로, 어류 3배체는 이러한 제2 극체의 방출을 억제하여 유도한다($3n = \text{난자 전핵 } n + \text{정자 전핵 } n + \text{제2 극체 } n$). 패류인 경우 수정후 제1 감수분열을 하여 난에서 제1 극체가 방출되고 이후 제2 감수분열을 하여 난에서 다시 제2 극체가 방출되므로, 패류 3배체는 제1 극체 방출 저지형 3배체(Meiotic I arresting triploid)와 제2 극체 방출 저지형 3배체(Meriotic II arresting triploid)가 있을 수 있다.

3배체 유도시 제1, 2극체 방출 저지법으로는 여러가지 처리(Treatment) · 충격(Shock)법이 있으며, 이들은 물리적 처리인 저온처리(Cold treatment), 고온처리(Heat treatment)와 화학적처리(Chemical treatment) 및 수압처리(Hydrostatic pressure treatment)이다. 이들 모든 처리들은 방추사(Tubulin) 형성을 억제하여 극체 방출을 저지시킨다. 저온처리는 친어 산란시 사육수온 보다 약 10°C 아래로 처리 하며 온수성 어류와 열대성 어류에서는 $-2 \sim 4^{\circ}\text{C}$, Tilapia는 15°C , 차멜메기에서는 5°C 로 처리된다. 고온 처리는 친어 산란시 사육수온 보다 약 10°C 이상 높게 처리하며 냉수성 어류인 경우 치사온도 이상인 $26 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 로도 처리되며, 이때는 저온처리시의 처리시간 보다 짧게 처리한다.

화학적처리 시 사용되는 화합물로는 Colchicine, Colcemid이 있으며 이들은 세포독성(Cytotoxicity)이 있으며, 카페인, Velvan, Cytochalasin B (CB)도 사용된다. 특히 Cytochalasin B는 패류에서 제1, 2 극체 방출 저지에 사용되며, 이때 Cytochalasin B는 Microfilament를 억제하여 세포함입(Cell furrow; 세포질 분열, Cytokinesis)이 일어나지 않게 한다. Nitrous oxide (N_2O , 흡입 마취제)와 11기압의 수압을 수정후 30~60분에 병행 처리하여 90%의 무지개송어 3배체를 유도한 바 있으며(Shelton 등, 1986), Freon 22를 사용하여 3배체 대서양연어를 유도한 바 있다(Johnstone 등, 1989).

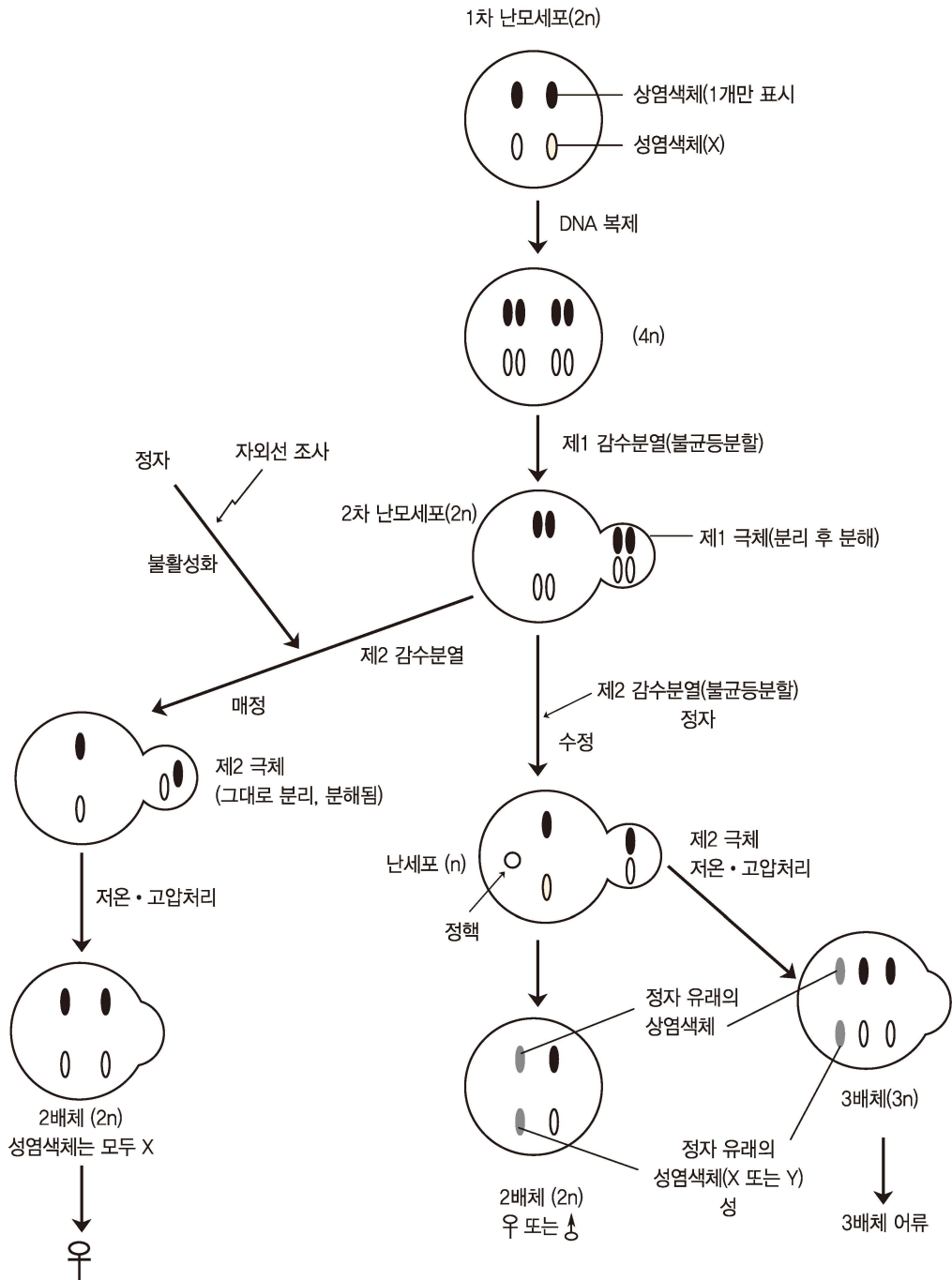


그림 6-2. 자성발생 및 3배체의 유도방법.

수압처리(Hydrostatic pressure)에 의한 수정란의 압축은 제1, 2 극체 방출 저지는 물론 제1 난할(Mitosis, 체세포분열)에도 효과적이다. 보통 500~700 kg/cm², 9000 psi (pressure per square inch)이 사용되고 있으며, 이러한 수압을 위하여는 수압처리 Cylinder 단면적이 커질 수 없어 Cylinder 크기 제한에 따른 처리 난수가 적은 단점이 있다.

저온, 고온 및 수압처리와 Cytochalasin B를 제외한 화학적 처리에 의한 핵분열의 저지는 중심체, 성상체 및 방추체 등의 핵분열 장치의 기본구조인 Tubulin의 중합체인 미세소관(Microtubule)의 파괴로 염색체의 양극이동을 저지시킨다.

3배체 유도시 제1, 2 극체 방출 저지를 위한 이러한 여러가지 처리법으로 처리시 고려사항으로는 첫째, 극체의 생성시기 포착으로 이러한 사항은 최초처리시간(Initial treatment time; Anaphase, 후기 이전)을 결정한다는 측면에서 중요하다(수정후 몇 분에 처리); 둘째, 사용되는 처리법의 종류 및 처리강도(수온, 압력, 약품농도)로, 이는 가장 중요한 요소이다; 셋째, 처리법에 따른 처리시간(Treatment time; Duration of treatment, 처리지속시간)이다. 그러므로 3배체 유도시 제1, 2 극체 방출 저지를 위한 조건은 「수정후 0분에 0처리로 0분간 처리」로 표현된다. 극체 방출 시간은 수온 의존적이므로, 최초 처리시 이전기간에서의 사육수온도 고려할 사항이다.

처리시간을 결정하기 위해서는 미리 일정 수온조건에서 제1, 제2 극체 방출에서부터 난할에 이르는 시간과 세포학적 과정을 미리 조사해두면 유익하다. 그러나 3요소의 적정 조건을 결정하는 것은 쉽지 않기 때문에 어종마다 시행 착오적인 실험을 반복하여 3배체의 유도율이 가장 높고, 아울러 사망, 기형 등의 부작용이 적은 조건을 택할 필요가 있다.

연어과 어류에 있어서 3배체 유도 사례를 표 6-1에 나타냈다. 압력처리에서는 French press의 Chamber 내에 분리비부착란은 직접, 혹은 부착성 난의 경우에는 난을 유리판에 붙여 유리판을 넣어 압력을 가한다. 온도처리 경우에는 수온을 일정하게 유지한 수조(Water bath) 안에 수정란을 넣는다. 연어, 송어류에서는 고온 또는 압력이 효과적이다.

3배체 유도를 위한 또다른 시도로는 Polythyleneglycol(PEG)이나 높은 pH, 고농도의 칼슘처리로 정자를 융합 혹은 접착시켜 이점(Dispermy)수정 시키는 방법이 있으나, 그 실용성에는 제한이 있다. 유도된 4배체로 부터의 2배체 배우체와 정상 2배체로 부터의 상대 반수체 배우체의 수정($2n + n \rightarrow 3n$)만으로 3배체를 유도 시킬 수 있다.

표 6-1. 연어과 어류의 인위 3배체 유도와 처리조건과 배수체 유도

어종	처리	처리시간 (분)	처리시기 ¹⁾ (수정후, 분)	배수체 판정시기/방법	(%)
연어	압력650 kg/cm ²	6	6	배/염색체	90~100
연어	고온29℃	10	10	배/염색체	70~100
은연어	고온29℃	10	—	치어/flow-cytometry	50~70
곰사연어	고온29℃	10	10	유어/flow-cytometry	72
왕연어	고온29℃	10	10	유어/flow-cytometry	60
무지개송어	압력500 kg/cm ²	4	40	배, 치어/염색체	100
무지개송어	고온26℃	20	25	배, 치어/염색체	100
무지개송어	고온29℃	10	10	배/염색체	94
무지개송어	고온28℃	10	10	—	90<
무지개송어	일산화질소가스 11atm	30	0	치어/현미농도측광	100
브라운송어	고온29℃	10	5~45	배/염색체	77~91
브라운송어	고온28℃	10	10	배/염색체	100
대서양연어	고온32℃	5	20	치어/적혈구 크기	100
대서양연어	압력730 kg/cm ²	3,6	20	치어/적혈구 크기	100
대서양연어	고온28℃	10	10,20	치어/현미농도측광	100
태평양연어	일산화질소가스 11atm	30	0	치어/현미농도측광	80
태평양연어 ²⁾	압력580 kg/cm ²	5	30	5개월/flow-cytometry	92
바위송어	압력650 kg/cm ²	7	15	배/염색체	63~72
강송어	고온28℃	10	10	배/염색체	100
강송어	압력700 kg/cm ²	6	10	배/염색체	90
강송어	고온29℃	10	30	배/염색체	100
강송어	고온28℃	10	15	7~8개월/flow-cytometry	100

1) 수정란 배양온도는 10℃ 전후

2) 대형 가압기 사용.

나) 3배체의 산업성

3배체 어류도 여타 동·식물과 마찬가지로 게놈 크기가 증가하면 이에 비례하여 세포의 크기가 증가하나, 개체 발생과정에서 일반적으로 각 기관의 세포수를 감소시켜 세포크기 증가가 개체 크기에 영향을 주는 효과를 상쇄 시키므로, 염색체 조 증가에 따른 어류 3배체에서의 거대화(Giantism)는 불가능하다. 비록 어류 3배체에서 거대화는 일어나지 않지만 성숙시 3배체는 감수분열(Meiosis) 이상에 기인되어 불임을 보이고 있다(적어도, 3배체 암컷에서는 100% 불임을 보임). 이러한 3배체 어류의 생식시 불임은 어류 체중 30%까지도 이르는 생식소 발달을 위한 체 에너지가 생식소로 전환되지 않고 체내에 그대로 유지되므로, 2배체에 비해 산란기에 성장, 육질 및 사료효율이 월등히 뛰어나다. 그림 6-3에서 나타난 바와 같이 산란기 은어에서 3배체는 2배체에 비해 복강두께가 두껍게 보이고 있다. 이것은 산란기 3배체 은어가 불임으로서 난소와 정소 형성 체내 에너지를 그대로 유지함을 시사한다.

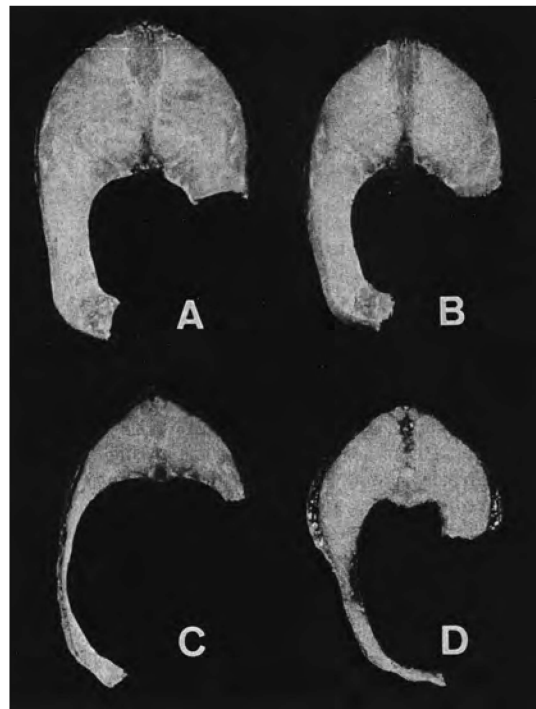


그림 6-3. 2배체 은어와 3배체 은어에서의 복강 중간부위에서의 횡단절단.

A; 3배체 암컷, B; 3배체 수컷, C; 2배체 암컷, D; 2배체 수컷

3배체 유도는 적어도 최초 산란후 출하되는 어종을 대상으로 시도 되어야만 3배체 유도의 그 산업적 의미가 있으며(3배체 처리종 선택이 중요), 3배체는 온순(Shy)하여 가축화(Domestication), 순화에 유리하나, 2배체와 먹이경쟁에서 뒤떨어지므로 3배체 생산율 즉, 3배체 유도율 $\times$ (3배체 생존율 / 2배체 생존율)을 고려하여야 하며, 여기서 3배체 유도율은 최소한 90% 이상이 되어야 바람직하다.

3) 4배체(Tetraploid)

정상 정자의 침입 후 난에서는 감수분열의 완료와 함께 일련의 수정현상을 거쳐 자성(♀) 전핵과 웅성(♂) 전핵이 융합되어 제 1난할이 일어나지만, 세포분열에 앞서 염색체가 복제되는 시기가 있다. 이때 감수분열 저지와 마찬가지로 처리를 하여 염색체를 배화시켜, 4배체를 유도하는 것이 가능하다. 배화된 염색체가 복제하여 분열을 일으키면, 4배체의 낭세포가 2개가 만들어져 거름 발생을 진행하게 된다. 그러나 3배체와 비교하면 4배체의 유도는 아주 어렵고, 발생초기에 4배체를 확인한 예는 적지만 보고는 되어 있으며, 성체까지 사육하여 그 특성을 해석한 예는 어류의 경우 송어류에 한정되어 있다. 이 밖에 차넬메기, 틸라피아에서 생존능력이 있는 4배체 유도가 보고 되었다(표 6-2).

표 6-2. 인위적으로 유도된 어류 4배체

종 명	처리방법	저 자(년도)
차넬메기	고온처리	Bidwell et al. (1985)
무지개송어	고온처리	Chourrout (1984)
무지개송어	수압처리	Chourrout (1986)
틸라피아	저온처리	Don & Avtalion (1989)

4배체 유도가 곤란한 이유는 처리 후 방추체의 재생, 체세포에서 미소관과 방추체 발달의 현저, 처리의 부작용에 의한 염색체의 손상, 세포질만의 분열에 의한 무핵세포의 출현으로 추측된다. 그러나 소수에 불과하지만 4배체 성어를 유도한 예가 있으므로, 4배체 유도가 어렵긴 하나 이론적으로 뿐만 아니라, 실제적으로도 불가능한 것은 아니다. 일단 4배체가 얻어진다면, 이들은 $2n$ 의 배우자를 형성하므로, 4배체 집단의 유지·증식은 물론, 2배체와의 교배에 의해 효율적으로 3배체를 유도할 수 있다.

패류의 경우도 4배체 유도는 어려우며, 굴에서는 제 1난할 처리에 의하여 얻어진 유생에서 4배체가 확인되었지만, D형 유생 이후 생존하는 개체는 없었다. Guo and Allen는 2배체가 출산한 난의 크기에서는, 4배체는 대형화된 핵을 가지기 때문에, 충분한 세포수를 가진 유생으로 발생되지 않을 가능성을 생각하여 인위 3배체가 낮은 빈도로 생산하는 대형의 난에 주목하였다. 그래서 이러한 3배체의 난을 2배체의 정상 정자로 수정시킨 후, 제1 감수분열을 저지하여 생존성이 있는 4배체를 얻었다. 한편, Scarpa 등은 홍합에서 제1, 제2 감수분열을 저지한 실험군 중에서 생존성의 4배체를 발견했다. 이론적으로는 이 두 감수분열을 저지하면, 5배체가 생기게 되지만, 5배체는 초기 유생에서 관찰되었다고 한다.

이상의 조작은 모두 동종 내의 동질배수체(Autopolyploid)의 유도지만, 어류에서는 종이 다른 이종간에도 교잡이 가능한 경우가 많다. 따라서 전술의 조작법에 의하여 종이 다른 이종에서 유래한 염색체를 포함한, 잡종 3배체, 4배체를 만드는 것이 가능하다. 이러한 종이 다른 이종에서 유래하는 비상동 염색체를 가지는 배수체를 이질배수체(Allopolyploid)라 총칭한다. 이들에서는 동질배수체와는 다른 효과가 기대된다.

다. 어류의 성조절과 성전환

1) 성결정과 성분화

암수의 성은 「대형의 배우자(난)를 만드는 것은 암컷이고, 소형의 배우자(정자)를 만드는 것은 수컷」으로 정의할 수 있다. 성결정에는 종에 따라 유전적으로 결정되는 것과 환경에 의하여 결정되는 것이 있다. 전자를 GSD(Genetic sex determination), 후자를 ESD(Environmental sex determination)이라 부른다. 실제로 발생과정에서 암수의 특징이 나타나는 것을 성분화라 부르며, 분화된 성을 기능적성이라 부른다. 성전환에 의해 유전적성과 기능적성이 바뀌는 경우도 있다. GSD에는 성염색체의 조합, 성염색체의 양적 비율에 의한 것 등이 있다. 한편 ESD에는 온도, 빛, 사회환경에 의한 것 등이 있다. 동물의 성 결정 기구는 표 6-3에 나타난 바와 같이 매우 다양하다.

표 6-3. 동물의 성 결정 양식

종명	유전자 성 결정 기구	환경에 의한 성 결정	성
포유류	XX-XY 우성 Y	X	♂: XY, ♀: XX
조류	ZZ-ZW (Z/A 비)	X	♂: ZZ, ♀: ZW
파충류(거북류)		온도	♂: 저온, ♀: 고온
파충류(악어류)		온도	♂: 저온, ♀: 고온
파충류(뱀류)	ZZ-ZW		♂: ZZ, ♀: ZW
양서류	XX-XY, ZZ-ZW	X	암수는 많은 종에서 유전적으로 결정
어류	XX-XY, ZZ-ZW, 기타	온도, 사회환경, pH	암수는 많은 종에서 유전적으로 결정
초파리	XX-XY (X/A 비)	X	♂: XY, ♀: XX
파리	우성 M 유전자		♂: M/m, ♀: m/m
꿀벌	haploidy-diploidy (반수체-배수체)		♂: 반수체 (n), ♀: 배수체(2n)
왕게과	몸의 크기	사회환경	♂: 몸의 크기가 작은 것 ♀: 몸의 크기가 큰 것
붉은새우	일장	광 환경	♂: 장일 ♀: 단일
<i>Ione thoracica</i>	암컷의 존재 유무	사회환경	♂: 암컷이 있을 때 ♀: 암컷이 없을 때
환형동물 <i>Bonellia</i> sp.	암컷과의 접촉	사회환경	♂: 암컷과 접촉이 있을 때 ♀: 암컷과 접촉이 없을 때
선충 (<i>C. elegans</i>)	XX-XO (X/A 비)		♂: XO, 자웅동체: XX

2) 성염색체에 의한 성 결정

동물에서 각각의 종은 개체마다 염색체 수/구성이 일정해서(종 내에서 염색체수에 변이가 있는 경우도 있지만), 그 구성은 양성 모두에 공통적으로 존재하는 상염색체(Autosome)와 1쌍의 성염색체(Sex chromosome)로 되어 있다.

성염색체는 보통 수컷 Hetero형, 즉 수컷이 서로 다른 성염색체 쌍을 가질 때 X와 Y로 나타내며(수컷 XY, 암컷 XX), 암컷 Hetero형, 즉 암컷이 서로 다른 성염색체 쌍을 가질 때는 Z와 W(수컷 ZZ, 암컷 ZW)로 나타낸다. 전자(XY형)에서는 암컷에서 만들어진 난은 X+A만의 하나의 형이지만, 수컷에서 만들어진 정자는 X+A, 또는 Y+A의 2형을 만든다. 즉 정자가 가지는 성염색체에 따라서 성이 결정된다.

후자의 경우는 완전히 반대로 수컷은 Z+A 하나의 형만의 정자를 만들지만, 암컷은 Z+A, 또는 W+A의 2형의 난을 만들며, 암컷 난의 성염색체에 따라 성이 결정된다. 이밖에 한쪽의 성이 성염색체가 1가닥이 없거나, 성염색체가 1쌍이 아니고 복수의 쌍을 가지는 종 등이 존재하지만, 기본적으로는 수컷형/암컷형의 변형도 생각할 수 있다.

3) Hormone에 의한 성분화 제어

어류를 대상으로 하여 hormone 물질을 투여하여 생리학적 성전환을 일으키는 시도가 지금까지 많이 있다. 이들의 결과를 보면, 성공하기 위해서는 투여개시의 시기, 투여물질의 종류, 투여량, 투여기간, 투여방법 등을 잘 고려해야 한다.

우리나라에서는 생리적 성전환과 유전적 성전환을 거친 단일성 암컷 넙치가 생명물질 특허를 획득 하였으며, 그 수정란이 분양되고 있다. 현재 영국에서 「슈퍼송어(Super trout)」라는 송어가 시판되는바, 이러한 슈퍼송어는 100% 암컷 단일성 집단에, 앞서 언급한 3배체 유도 기법을 병행 처리하여 창출된 송어로서 불임인 단일성의 암컷을 나타낸다.

가) 투여개시의 시기(Initial treatment time)

성전환을 완전하게 하며, 또한 이 개체가 만들어진 배우자가 기능을 할 수 있게 하기 위한 Hormone 투여는, 형태학적 성분화가 일어나기 전에 시작한 것이 가장 적당하며, 성분화가 일어난 후에 Hormone을 투여하면 그 효과가 없거나 불완전한 성전환으로 끝나는 경우가 많다. 예를들면, 무지개송어는 수정 후 2개월 쯤 지나면 형태학적인 성분화를 분명하게 볼 수 있는데, 이 시기에 약 반수의 개체 생식선에는 감수분열의 전기에 있는 난모세포를 볼 수 있다. 이 시기는 내부영양(난황에서 유래)을 모두 소비하고 외부영양(사료에서

유래)을 필요로 하는 시기이므로 인공사료를 잘 섭취한다. 그래서 사료 속에 Estrogen을 첨가하여 주면 암컷의 비율이 증가된다. 표 6-4에서와 같이 무지개송어의 부상 치어에게 17β -estradiol을 2~4 개월간 투여한 후, 만 2년째에 검사한 것으로 약 70%가 암컷으로 되었다. Johnstone 등도 사료 1g 당 17β -estradiol 20 μ g을 첨가한 사료를 무지개송어의 부상 치어에게 투여하면 89%가 암컷으로 된다고 보고하였다. 또한 Okada 등은, 무지개송어의 부상 치어에게 Methyltestosterone을 경구 투여하면 60~80%가 수컷으로 된다고 보고하였다.

무지개송어는, 이와 같은 성 Steroid 호르몬을 경구 투여함으로써 유전적인 성을 전환시킬 수는 있지만 완전한 것은 아니다. 이것은 무지개송어의 경우, 경구 투여할 수 있는 시기에 이미 성분화의 방향이 결정된 개체이므로 이들은 별 효과가 없다고 생각된다. 따라서 좀 더 조기에 성 Steroid 호르몬을 투여하면 보다 높은 율의 성전환이 일어날 수 있으리라 생각된다. 사실 망막세포가 형성되는 단계의 발안란과 부화된 치어를 200 μ g/l의 17β -Estradiol 수용액에 침지한 경우는 100%가 암컷으로 되었다.

한편 어중에 따라서는, 형태학적으로 성분화가 일어난 이후라도 외인성 Steroid 호르몬에 의하여 성전환을 일으킬 수 있다. 예를들어 송사리인 경우, 이미 유전적 암컷으로 성분화가 일어난 전장 9mm의 암컷 송사리나, 유전적 수컷으로 성분화가 일어난 전장 10mm의 수컷 송사리에게 성 Steroid 호르몬을 투여하여도 성전환이 일어난다. 이와 같은 결과는 Guppy에게도 보고되어 있으므로, 성분화가 일어난 후에도 기능적으로 성전환을 일으킬 수 있다. 이들의 결과는 성분화가 일어난 후에도 난원세포나 정원세포가 양성으로 분화할 수 있는 능력이 아직 남아 있다고 추측되지만, 일단 분화된 성을 다른 성으로 완전히 성 전환시킨 사례를 다른 어종에서는 볼 수 없다.

나) 투여물질의 종류(Sex inducer)

투여물질로는 성 Steroid 호르몬이 가장 유효하며, 암컷의 비율을 높이고 싶으면 여성 호르몬(Estrogen), 수컷의 비율을 높이고 싶은 경우는 남성 호르몬(Androgen)을 이용하는 예가 많다(표 6-4). 성 Hormone의 약리 효과는 불분명하지만, 성유도물질 또는 성결정인자 도태물질이라고 한다. 합성 Estrogen은 고가이며 자연계 Estrogen 오염시 친어의 난황 단백질 합성 억제, Pheromone(수컷 유인 호르몬) 생산을 저해 시키므로 취급에 주의하여야 한다. 예를 들어 Witschi는, 양서류 생식선원기는 피층과 수층에 형성되며, 피층에 존재하는 여포세포는 자성화 유도물질인 Corticin을, 수층에 있는 간질세포는 웅성화 유도물질인 Medullarin을 분비한다고 가정하면, Medullarin의 분비가 항진되면 피질은 퇴화하므로 정소로 분화하고, 피층에서 Corticin의 분비가 활발하게 되면 난소로 분화한다고 생각하였다. 그래서 Witschi는 이러한 물질로서, 성 Steroid 호르몬이나 부신피질 Steroid 호르몬, 일종의 항체 모양 단백질 등일 가능성을 지적하였다.

한편 Yamamoto는, 암컷은 백색이며 유전형은 XX이고, 수컷은 등적색이며 XY형이므로 체색에서 성적 차이가 있는 웅성 Hetero형 송사리를 이용하여, 부화 직후로부터 전장 12mm까지의 성분화 임계기에 각종

Steroid 호르몬을 투여하였다. 그 결과, 유전적으로 수컷(XX)인 송사리를 기능적으로 암컷인 송사리로 전환시키는데 유효한 Steroid 호르몬은 Estrone, Estradiol이며, 유전적으로 암컷 (XX)인 송사리를 기능적으로 수컷인 송사리로 전환시키는데 유효한 Steroid 호르몬은 Methyltestosterone, Testosterone, Androsterone, Androstenedione이라고 보고한 바 있다.

그는 이들 결과로부터 Estrogen은 자성화 촉진물질(Gynoiductor 또는 Gynotermone), Androgen은 웅성화 촉진물질(Androinductor 또는 Androtermone)이라고 생각하였다. 이런 방법으로 성전환이 일어나게 되는 기작은, 수컷이 Hetero인 어종의 경우, 자성화 결정인자(F)와 웅성화 결정인자(M)가 함께 상염색체상에 있으며 성은 상염색체상의 인자와 상염색체상의 인자가 총화를 이루어 결정된다고 하는 Winge의 이론을 예로 들었다. 결국 생식세포가 $\Sigma M > \Sigma F$ 이면 수컷으로 되지만, 상염색체상의 성결정 인자는 도태되기 쉬우므로 유전적으로는 자성(XX)이지만 $\Sigma F < \Sigma M$ 인 상태가 되어 기능적으로는 수컷으로 된다. 또한 유전적으로는 웅성(XY)이지만 $\Sigma M < \Sigma F$ 인 상태가 되어 기능적으로는 암컷으로 된다고 하였다.

이와 같은 견해가 오늘날 알려져 있지만, 어린 개체가 성 Steroid를 분비하는지 어떨지에 대한 증거는 얻을 수 없으므로 의문시하는 경향도 있다. 예를 들면, 송사리는 부화를 전후(전장 4.5~5 mm)하여 성분화의 형태학적 증거를 볼 수 있지만 전장 11~12mm의 생식선에서 처음으로 3 β -Hydroxysteroid 탈수소효소(3 β -HSD)가 검출된 바 있으며, 성분화 임계기의 생식선에는 성 Steroid 호르몬을 합성하는 세포를 발견할 수 없다고 보고된 바 있다.

그러나 최근, 무지개송어는 형태학적 성분화기(부화 전후) 이전의 미분화 생식선이라도 3 β -HSD나 $\Delta 5,4$ -Isomerase, 17 α -Hydroxylase의 활성을 볼 수 있으므로, Steroid가 생산된다는 가능성을 제시하였다. 다만 17 β -HSD나 17 α -20-Desmolase, 11 β -Hydroxylase의 활성을 볼 수 없으므로 Estrogen이나 Androgen이 생산될 가능성은 낮다. 오히려 미분화 생식선에서는 웅성화 촉진물질로서 Progesterone계의 물질이 생산되어, 장차 수컷으로 될 미분화 생식선에서 생산되는 Androgen에 의하여 Progensterone의 효과가 약화되므로 웅성화가 일어난다고 하였다

이와 같은 생각은, 난소의 분화는 Estrogen에 의하여, 정소의 분화는 Androgen에 의하여 유도된다고 하는 Yamamoto의 설과는 달리, 유전적으로 수컷인 경우는 자성화 촉진인자가 먼저 생산되며, 유전적으로 수컷인 경우는 자성화 촉진인자가 먼저 생산되며, 이것보다 늦게 생산되는 Androgen이 자성화 촉진인자를 길항하므로서 웅성화로 전환한다는 것이다. 금후에 실질적 검토가 있어야겠지만, 성 Steroid 호르몬에 의하여 성분화가 일어난다는 사실을 설명하는 새로운 가설로서 흥미롭다. 또한 이와 같은 견해로 보면, 어릴때의 자웅동체 즉 Juvenile hermaphroditism이나 자성선숙형 자웅동체의 과정을 설명하는 것도 가능하며, 길항인자의 생성시기가 늦은 어류의 성분화는 이런 유형에 속하지 않을까도 상상된다.

표 6-4. 경골어류에 있어서 성 Steroid 호르몬 투여에 의한 성전환의 성공예

어종	투여개시 시기	기 간	투여물질	투여량	투여방법	실험기간의 수온(°C)	성비(%)		성분화시기
							대조군	투여군	
웅성화							웅성	웅성	
Tilapia	부화자어	69일	methyltestosterone	10~50 µg/g(사료)	경구	20±1	77	82~100	부화 후 35~48일
mossambica	부화 후 7일	25일	"	50 "	"	22±2	59.5	83.3	부화 후 10~25일
T.nilotica	구중포육이 끝난 치어	2개월	"	40 "	"	20~30	≈50	100	-
	전장 9~12mm 치어	25일	"	60 "	"	20~26	50.4	"	-
	"	"	ethyltestosterone	60 "	"	"	"	"	-
	"	59일	methyltestosterone	60 "	"	"	54.0	"	-
	"	"	ethyltestosterone	60 "	"	"	"	"	-
	전장 8.5~12.0mm	30	methyltestosterone	50~100 "	"	27~30	72	"	-
T.aurea	전장 9~11 mm	23	"	15~60 µg/ℓ	침지	21	56	84~100	전장 18~22 mm
무지개송어	부상치어	58	"	1~10 µg/g	경구	10~15	44	60~88	부상시기의 전후
은연어	알시기(발안란)	부상 후	"	발안란 25~400 µg/ℓ	침지(2~6회)	10	54~42	100	-
		13주까지		부상치어 20 µg/g	경구				
대서양연어	부상치어	60일	"	3 µg/g	경구	12~16	-	100	-
자성화							웅성	자성	
Tilapia	전장 9~12 mm	25일	diethylstilbestrol	100 µg/g(사료)	경구	20~26	49.6	90.8	-
nilotica	"	"	estrone	100 "	"	"	"	62.8	-
	"	59일	diethylstilbestrol	100 "	"	"	46.0	87.7	-
무지개송어	"	"	estrone	100 "	"	"	"	71.9	-
	부상치어	60~80일	"	10 "	"	10~15	57.5	>80	부상시기의 전후
	"	30일	estradiol-17β	20 "	"	12~16	47	89	"
						9~10	"	100	
	부상자어	4주	progesterone	300 µg/ℓ	침지	11.5	50	65~74	"
	"	"	dimethylformamide	1 µg/ℓ	"	"	"	80~91	"
	알시기(발안란)	부상 후	estradiol-17β	알·부화치어 250 µg/ℓ	"	12~16	47	100	"
		30일까지		부상치어 20 µg/ℓ	경구	9~10	48	"	"
	부상치어	21일	"	20 µg/ℓ	"	12~16	45	"	-
	알시기(발안란)	부상 후 21일	"	250 µg/ℓ, 20 µg/ℓ	침지·경구	"	"	"	-
대서양연어	부화 후 5일	18일	"	0.5~5 µg/ℓ	침지	15±1	50	"	부상 후 13일
"	부상치어	60일	"	20 µg/ℓ	경구	4	54	99	-
		부상 후	"	알·부화치어 25~400 µg/ℓ	침지(2~6회)	10	54~42	60~100	-
	알시기(발안란)	13주까지		부상치어 10 µg/g	경구				
	부상자어	8개월	estrone	1250 U/g	"	실온	50	100	부화 전후
		—	estrone	1.3×10 ⁻³ µg/알	주사	-	48~50	90~100	"
	"	—	ethylstilbestrol	1.7×10 ⁻² µg/알	"	-	"	"	"
구피	출생 직후의 자어	30~10일	ethynylestradiol	150 µg/g	경구	23~25	48~50	100	출생시

다) 투여량(Effective dose)

유전적인 성을 전환하고 싶을 때, 유효한 성 Steroid 호르몬의 투여량을 결정하기란, Steroid 물질의 종류나 어종, 성, 투여방법 때문에 일괄적으로 정할 수는 없다. Yamamoto는 유전적으로 암컷 혹은 수컷인 송사리를 50% 정도로 성전환시키는데 필요한 경구 투여량과 Steroid 종류를 발표하였지만, 그 중에 다른 어종에서도 자주 사용되는 것은 17β -estradiol와 Methyltestosterone이며 그 유효 투여량을 표 6-5에 나타내고 있다.

표 6-5. 유전적으로 암컷 내지 수컷인 송사리를 50% 정도로 성전환시키는데 필요한 성 Hormone의 경구투여량($\mu\text{g/g}$, 사료)

자성 Hormone		웅성 Hormone	
Hexesterol	0.4	19-nor-ethnyltestosterone	1.0
Euvestin	0.8	17-ethlytestosterone	3.4
Ethynyl estradiol	1.7	methylandrostenediol	7.8
17β -estradiol	5.8	methyltestosterone	15.0
Stilbestrol	7.5	testosterone propionate	560.0
Estrone	20.0	androsterone	580.0
Estriol	130.0	dehydroepiandrosterone	3200.0

또한 Guppy에게 대량으로 그리고 장기간 투여하면, 성전환 후에 생식선의 기능이 이상하게 되어 암컷은 임신이나 출산이 잘 되지 않는다고 하였다. 또한 17β -estradiol나 Diethylstilbestrol를 투여하면 간세포가 비대해지는 경향도 있다. 그러나 연어나 송어류의 치어를 성전환 시키는데 필요한 양으로는 이러한 현상을 볼 수 없다.

라) 투여기간(Duration of treatment), 처리지속기간

완전히 성전환을 한 후, 이 개체가 만들어낸 배우자가 기능적으로 정상적이기 위한 성 Hormone의 투여는, 형태학적인 성분화가 분명해지는 시기 이전에 시작하는 쪽이 좋다. 이것은 이 시기 이전에도 이미 분화과정이 시작되고 있다고 생각되므로, 완전한 성전환을 실시하기 위해서는 형태학적인 성분화가 분명해지는 시기 이전에 처리할 필요가 있다(성분화 과정, Gonad differentiation 해명이 필요함). 또한 형태학적으로 성분화가 확실히 일어난 이후에도 정원세포나 난원세포가 양성으로 분화할 능력이 남아 있을 가능성이 지적되고 있다. 따라서 실용상의 투여기간은 형태학적 성분화의 임계기를 포함할 수 있도록 비교적 길게 잡는 것이 효과적이다. 부화 기간과 초기 기관형성 기간이 비교적 긴 냉수성어류인 경우 부화 후 일시의 개념과 더불어 매일 평균 수온을 기준한 적산온도 개념도 포함시키고 있다.

마) 투여방법(Treatment procedure)

표 6-4에서 볼 수 있듯이, 성전환을 시도하려면 성 호르몬을 경구투여 하는 것이 좋다. 이것은 많은 어종이 성분화의 임계기에 이미 섭식능력을 구비하고 있으므로, 성 호르몬을 첨가한 인공사료를 먹이기에 용이하기 때문이다. 그러나 임계기가 자어(아직 어미를 낳지 않고 배에 노른자를 달고 있는 어린 새끼고기)기의 전기에 있는 연어나 송어류는, 부화한 자어를 성 호르몬이 용해되어 있는 물 속에 담구어 적시는 방법 즉 침지법도 병행하면 한층 효과적이다.

사료첨가에 의한 경구투여는 비교적 쉬운 방법이지만, 개체에 따라 섭식량의 차이가 있을 수 있기 때문에 효과가 동일하지는 않을 것이다. 그러나 먹이공급 방법을 잘 조절하면 이 결점은 보완될 수 있다. 한편 침지법에서는, 그때 그때의 임기응변으로 용액을 다시 만들어야하는 수고와, 체내의 흡수량을 잘 모르므로 유효 농도를 파악하기 어려운 점 등, 실용화하기에는 다소 문제점이 있다.

4) 수산으로의 응용

성 염색체 특이적 DNA의 수산분야에의 응용에 대해서도 서술해 두고자 한다. 어류의 성 조절은 생물학상의 흥미뿐만 아니라 산업에 밀접하게 결부되어 있다. 이쿠라(러시아어, 연어 알을 소금물에 절인 식품)를 만들 수 있는 연어, Caviar를 낳는 철갑상어와 같이 암컷 쪽이 산업적 가치가 높은 종이나 반대로 틸라피아와 같이 수컷이 성장이 빨라 상품가치가 높은 종도 있다. 이들 종에서의 성의 조절은 수산업상 매우 중요하다. 현재 무지개송어를 비롯한 연어·송어에서는 염색체 세트를 조작하여 일상적으로 성을 조작할 수 있게 되었다. 특히 그림 6-4에 나타난 것처럼 자성발생과 호르몬 처리에 의한 성전환을 병행한 전 암컷 생산법이 실용화되고 있다. 그 방법은 먼저 자성발생법의 의해 유전적으로 전암컷의 XX 개체를 만들어, 그 중 일부를 호르몬에 의한 성전환을 통해 가짜수컷(유전적으로는 암컷, XX, 그렇지만 기능적으로 수컷)을 만들고, 일반 암컷 XX와 교배 시킴으로써 다음 세대는 모두 XX의 전암컷으로 된다. 그러나, 어종에 따라서는 이와 같이 자성발생이 곤란하거나 성공률이 낮은 종도 있다. 이와같은 종의 경우 유전적 수컷(XY)과 유전적 암컷(XX)이 섞인 집단에 호르몬을 처리하여, 일반 암컷과 교배하여 다음 세대의 성비를 관찰함으로써 그 개체가 유전적 수컷인지 암컷인지를 알 수 있다는 것이다(그림 6-4). 즉 유전적 수컷(XY 수컷)이라면, 다음 세대에서 암수비가 1:1로 나올 것이고, 가짜 수컷(XX 수컷)이라면 다음세대에는 모두 XX인 전 암컷으로 된다.

그러나 이 방법에서는 1세대를 성숙시켜 그 다음 2세대를 보지 않으면 어느 것이 진짜 수컷인지 알 수 없고, 시간적·경제적 낭비가 크다는 단점이 있다. 게다가 한 번의 채정으로 죽어버리는 종에서는 정자의 동결보존 등 매우 복잡한 순서를 거쳐야 하므로 비현실적이다. 여기에서 성 특이적인 DNA Marker를 가지고 있으면, 치어의 초기에 살아있는 상태로 유전적 성을 확인할 수 있으며, 유전적으로 암컷(XX)의 개체만을

선택하여 가짜수컷을 확보할 수 있다. 이와같이 유전적 성의 DNA Marker가 입수되는 것만으로도 성조절에 대한 응용이 가능하다. 또한 성결정에 직접 관여하고 있는것 같은 유전자가 탐색되면, 현재의 염색체를 세트로 조작하는 방법보다도 직접 효율적인 성 제어방법이 개발될 가능성도 있다.

동물계, 그리고 어류의 몇 가지 예를 들어 유전적 성결정 시스템에 대하여 서술 하였다. 척추동물에서 만약 공통 조상형 성결정 체계가 존재한다면 그 진화의 수수께끼를 해결할 수 있는 열쇠가 어류의 성결정 시스템에 숨겨져 있을 지도 모른다. 어류는 그 성결정 기구의 변이가 다양할 뿐만 아니라, 인위적으로 성전환하기도 하며, 자성발생 등의 염색체 세트 조작이 쉽다는 큰 장점이 있다. 그러나 현재까지 다른 실험동물에 비교하여 어류의 성결정에 관한 분자생물학적인 정보는 매우 적다. 어류의 성결정 체계의 변이를 계속 연구하기 위해서는 공통의 시스템을 연구해 갈 모델 어류의 선택이 필요하다.

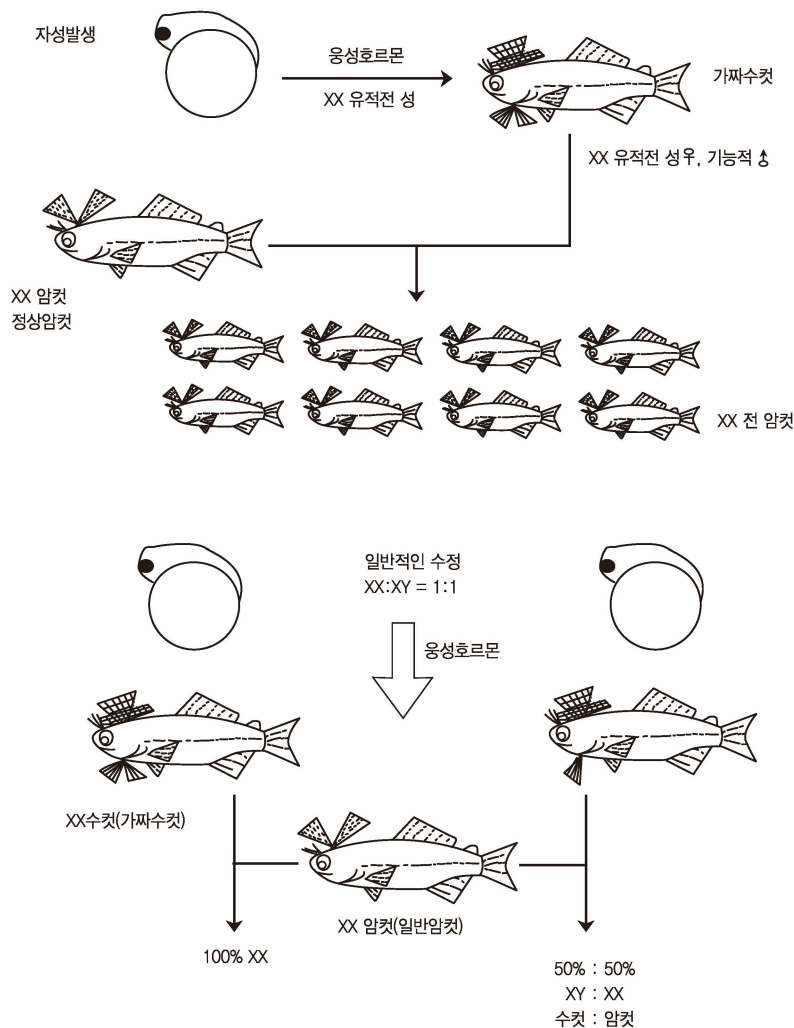


그림 6-4. 전암컷 생산법





질병과 대책

7. 질병과 대책

www.nifs.go.kr

가. 개요

1) 발병 원인 및 조건

질병은 병원체, 환경요인, 어류상태의 복합적인 연관관계에 의해 발생하며 사육환경 개선, 최적의 수산용 의약품 사용, 어류의 생체방어능력 증강을 통해 질병에 의한 피해를 최소화시킬 수 있다.

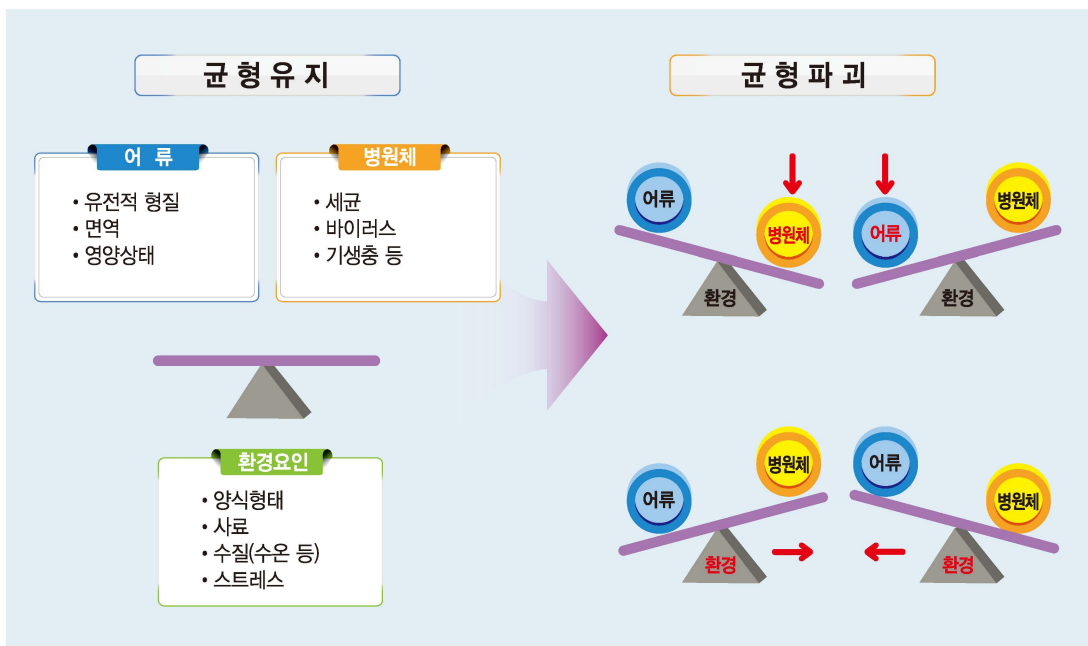


그림 7-1. 어병 발생의 메카니즘과 발병감소를 위한 대책.

나. 질병 발생시 진단요령

1) 질병 진단 방법

양식어류에 질병이 발생하면 수산질병관리원 등 전문검사기관에 질병검사를 의뢰하게 되는데, 검사자는 무지개송어 양식장의 사육관리 정보와 질병 검사 결과를 종합적으로 검토하여 진단하여야 한다.

가) 양식어류에 대한 청취조사

검사기관의 검사자는 양식장 관리인에게 양식장 현황, 어류의 상태에 관해 문의하여야 하고, 양식장 관리인은 평소에 이러한 사항을 기록하여야 정확한 진단이 이루어 질 수 있다.

검사자가 청취조사를 하여야 할 사항은 다음과 같다. 양식장 위치 및 시설을 파악하여 양식 방식을 알아야 하며, 수질을 확인하여 수온, pH, DO, 암모니아/질산/아질산 농도 등을 확인하고 최근의 갑작스런 사육 조건 변화가 없었는지 확인한다. 또한 사육중인 양식 수산생물 이력을 확인하여 최근 치어 등 외부에서 새롭게 들어온 수산생물 여부, 이전 병력 및 투약 기록, 양식 품종, 연령, 크기(체중, 체장), 전체 사육량, 밀도, 폐사 유무, 일일 폐사량, 누적폐사량을 조사한다. 최근 날씨 변화도 질병 발생에 영향을 줄 수 있으며, 사육하는 수산생물의 최근 병력을 청취하는 것이 질병의 원인을 파악하는데 도움이 된다. 폐사하는 어류가 있었다면 공통적인 증상이 있었는지, 작년에 양식장에서 발생한 질병이 올해 재발하는 경우가 많으므로 양식장에서 반복적으로 발생하는 질병의 유무를 파악하는 것이 필요하다.

나) 질병 검사와 처방

청취조사 후에 기생충 검사는 체표와 아가미 등을 현미경으로 검사하고, 세균은 세균 분리배양법 등으로 검사하며, 바이러스 검사는 유전자증폭법(PCR) 등으로 검사한다. 검사결과에 따라 수산용 의약품을 처방하며 세균성 질병의 경우에는 항생제 감수성 검사를 실시하여 감수성 있는 약품을 선정한다.

다. 주요 질병

1) 전염성 조혈기 괴사증

Infectious Hematopoietic Necrosis Virus (IHNV)의 감염에 의해 질병이 발생한다. 증상은 병어는 활동이 완만하고, 때에 따라서 경련을 일으키면서 갑자기 폐사하고, 몸 표면에 줄 모양으로 출혈반이 보이며, 1g 미만에서는 선상 혹은 V자상으로 출혈이 나타나고, 2g 이상이 되면 선상출혈은 적고, 점상출혈이 많아진다. 어릴수록 질병에 걸릴 확률은 더 높으며, 감염 과정 중에 바이러스가 변, 오줌, 난소액, 정액 및 외부 점액을 통해 배출되는 반면, 신장, 비장, 뇌 및 소화관 등에서는 많은 양이 축적된다(그림 7-2, 3).

감염은 수평 전파 또는 난을 통한 수직 전파가 이루어지거나, 수중에 존재하는 생물이 매개체로 작용하여 이루어지며, 야생동물 및 조류도 이 바이러스 전파자로서 역할을 한다. 취급 등 스트레스 요인이 감염어로 하여금 질병을 유발한다. IHNV 발병의 중요한 요인인 수온의 경우, 자연 조건(8~15℃)에서 발생된다. 연령, 어종, 수온, 증상, 양어장 질병 내력, 사육량 등을 조사하고 정확한 진단을 위해 조혈조직 및 체액 등을 채취하여 표준화된 세포배양법 및 PCR법으로 진단한다.

이 질병의 뚜렷한 치료대책이 없으므로 무엇보다 예방이 중요하다. 난을 통한 전파는 표면소독에 의해 현저히 감소될 수 있다. 근원적으로 바이러스 감염을 막기 위해서는 바이러스가 전혀 없는 수중에서 부화된 소독난을 사용할 필요가 있다. 발안란의 소독에는 승인받은 포비돈 요오드의 수산용 제품을 제시된 용법과 용량에 따라 사용한다. 오염의 우려가 있는 수송 기구와 수송차의 소독에도 주의해야 하고 부화시 IHNV가 없는 용천수를 이용하는 것이 좋고, 수원으로부터 병원체 보균어가 될 수 있는 연어과 어류나 잡어를 제거해야 한다. 또한 치어지는 양어장 최상류에 설치해야 하며, 성어와 혼합양식을 피해야 한다.



그림 7-2. IHNV에 감염된 무지개송어.

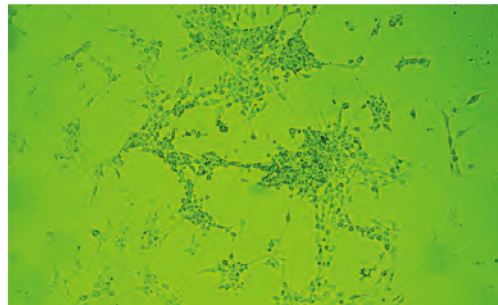


그림 7-3. IHNV의 CPE.

2) 전염성 췌장 괴사증

Infections Pancreatic Necrosis Virus (IPNV)의 감염에 의해 질병이 발생한다. 증상은 외견상 체색이 검게 변하고 안구 돌출 및 복부팽만이 관찰되고 병어는 유영이 완만하고 회전운동을 하다가 저면에 떨어져 폐사된다.

IPNV는 집약적 사육조건에서 양식되는 어린 연어과 어류에서 잘 발생하는 전염성이 높은 질병으로, 물과 난을 통해서 수평 및 수직적으로 감염된다. 치어에 감염되면 2주만에 높은 폐사율을 나타내고 종식시까지 누적

폐사율은 50~90%에 달한다. 연령, 어종, 수온, 증상, 양어장 질병 내력, 사육량 등을 조사하고 정확한 진단을 위해 조혈조직 및 체액 등을 채취하여 표준화된 세포배양법 및 PCR법으로 진단한다. 어란 등의 종묘를 다른 양어장으로부터 구입할 필요가 있는 경우에는 IPN발생 사례가 없는 지역에서 구입해야 하고 치어지는 양어장 최상류에 시설해야 하며, 성어와 혼합양식을 피해야 한다. 사용기구, 기자재는 정기적으로 소독을 실시하고, 각 양어지전용의 것을 사용해야 하고 일단 IPN이 발생하면, 병어 및 폐사어를 전부 처분하고 발생한 수조와 시설을 소독하여야 한다.

3) 바이러스성 출혈성 패혈증

Viral Haemorrhagic Septicaemia Virus (VHSV)의 감염에 의해 발생한다. VHS의 증상은 3가지로 나누어지는데 급성형은 체색흑화, 아가미와 지느러미 기저부 발적, 복강출혈, 간, 신장, 비장 종대, 복수 증상이 있고, 만성형은 체색흑화, 안구돌출, 복부팽만, 아가미 탈색 및 빈혈, 내부장기 퇴색, 간, 신장, 비장 부종 증상이 있으며 신경형은 신경질적인 회전유영을 하며 체색흑화, 안구돌출, 신장비대와 갈색화를 나타낸다. 유럽에서 연중 발생하며 주로 봄(4~14℃)에 발병하고 치어에 감수성이 높으며, 수직감염, 수평감염이 모두 일어난다. 급성형은 폐사율이 높고 만성형은 지속적으로 폐사가 발생된다. 연령, 어종, 수온, 증상, 양어장 질병 내력, 사육량 등을 조사하고 정확한 진단을 위해 조혈조직 및 체액 등을 채취하여 표준화된 세포배양법 및 PCR법으로 진단한다. 일단 VHS가 발생하면, 병어 및 폐사어는 전부 처분하고 수조와 시설도 소독하여야 한다.

4) 부스럼병

에로모나스균(*Aeromonas salmonicida*)의 감염에 의해 질병이 발생한다. 증상은 체표에 1개 또는 수개의 팽윤된 환부가 형성되며, 궤양은 외부손상에 의한 것이 아니고, 모세혈관 내에서 병원균이 증식해서 혈관 벽과 근육을 붕괴시켜 혈액과 농이 나오고 조직이 괴사된다. 당년생이나 성어에서도 볼 수 있으나 일반적으로 고연령어에 많다. 초기 진단은 어려우며 중증인 경우 체표의 팽윤환부를 보고 개괄적 진단이 가능하고 환부 및 신장으로부터 병원균의 분리 동정이 필요하다. 병어의 조기 발견에 의한 치료가 무엇보다도 중요하며 전문가에게 의뢰하여 처방받은 항생제를 투여하여 치료할 수 있다.

5) 비브리오병

비브리오균(*Vibrio anguillarum*)의 감염에 의해 발생한다. 초기 증상은 먹이섭취 활동이 완만하고

체표나 지느러미 기부가 검게 변한다. 발병 중기에는 먹이섭취가 활발치 못하고 무리를 이탈하여 사육지 가장 자리나 배수구에 모이고, 안구 돌출, 근육 종양 형성, 항문, 체표, 구강, 출혈 증상을 나타낸다. 말기 증상은 표피 붕괴, 근육 과사부 노출, 부종, 극도의 빈혈을 수반한다. 부화 후 수개월부터 1년생 치어에서 증상의 진전이 빠르고 폐사율도 높다. 진단은 세균을 분리, 배양하여 동정하고, 원인균의 감염을 검사한다. 대책은 어체 취급시 물리적 및 생리적 스트레스를 적게 하고 적정 사육밀도를 유지하며, 치료 약품은 전문가의 진단과 처방을 받은 항생제를 사용한다.

6) 아가미부식병

아가미부식병은 플라보박테륨(*Flavobacterium*) 속 세균의 감염에 의해 발생하고 아가미의 심한 부식, 아가미뚜껑이 열려 있으며, 오물이 부착되어 아가미가 분홍색이나 흰색으로 변하여 빈혈을 나타낸다. 심해지면 내장의 색깔도 퇴색되고 간은 황색으로 변하며 체색은 회백색으로 변한다. 아가미부식병은 수온의 급변, 탁수의 유입, 용존산소의 저하 등으로 감염되어 발병된다. 진단은 외견상 아가미 결손과 조직의 붕괴 확인 후 환부점액을 도말하여 600배로 검경하면 표면에 망목상의 장간균을 확인할 수 있다. 대책은 전문가의 처방을 받은 항생제를 경구투여 및 약욕을 실시한다. 외상이나 기생충, 수질 등에 의한 발병 원인을 없애고, 0.5% 소금물에 30분 이상 약욕시킨 경우도 어느 정도 효과를 거둘 수 있다.

7) 아가미흡충병

닥티로자이러스(*Dactylogyrus* sp.)가 아가미에 기생하여 발생한다. 증상은 아가미 유착 및 출혈, 아가미 뚜껑이 열려 있기도 하다. 어류의 아가미나 체표에 부착하여 기생하며, 표면의 상피세포를 먹고 자라기 때문에 자극에 의한 어류의 조직 증식과 점액과다분비, 식해에 의한 상처를 받는다. 아가미를 100~200 배의 광학현미경으로 관찰하면 기생충의 감염을 확인할 수 있다. 대책은 3% 식염에 1시간 약욕하면 효과적이고 전문가의 처방을 받아 승인된 수산용 구충제를 사용하는 것이 효과적이다.



그림 7-4. 무지개송어 체표에 기생하는 흡충.

8) 백점병

백점병은 담수 백점충(*Ichthyophthirius multifiliis*)이 기생하여 발생한다. 증상은 체표, 두부, 지느러미 및 아가미에 지름 1mm 이하의 희고 작은 흰점이 생기고 기생부위에 표피 탈락, 지느러미 손상, 아가미 점액 과다분비, 아가미 상피붕괴 및 유착현상이 나타나며, 대량 기생하면 호흡장애도 일으킨다. 백점충은 광범위한 수온에서 발육이 가능하지만 비교적 고수온기에 유행하고 유행은 숙주의 면역획득 여부, 스트레스 등에 영향을 받는다. 진단은 육안으로 체표의 흰색반점을 확인하고, 체표 및 아가미의 점액을 현미경으로 관찰한다. 전문가의 처방을 받아서 치료하지만 치료가 어려운 질병이다.

9) 트리코디나증

무지개송어를 포함한 각종 담수어류의 아가미와 체표에 기생하여 피해를 입히는 기생충성 질병으로 치어에서 성어에 이르기까지 자주 감염된다. 원인은 트리코디나속 기생충으로 주로 발생하는 시기는 봄철이나, 지수식 양어장에서는 연중 발생한다. 증상은 아가미와 체표에 기생하게 되면, 상피세포에 자극을 주게되어 체표의 일부가 괴사 및 붕괴되는 퇴행성 증상을 유발한다. 아가미에는 점액이 과다 분비되어 호흡곤란을 유발하며, 식욕이 급격히 떨어지고 폐사한다. 대책은 밀식과 수질오염을 피하는 것이 예방책이며, 감염된 어류는 3~5%의 식염수에 1~2분간 약욕하고, 수산용 포르말린, 과산화수소수 등으로 약욕한다.

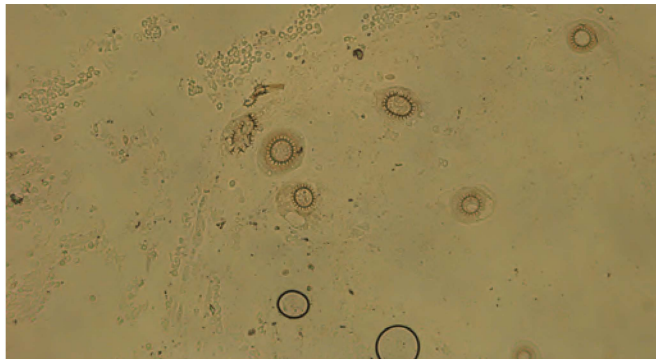


그림 7-5. 무지개송어 체표에 기생하는 트리코디나충.

10) 물곰팡이병

수생균병은 곰팡이의 일종인 사프로레그니아(*Saprolegnia* spp.)가 몸 표면에 기생해서 발생한다. 무지개 송어 알은 수정 후 부화조에서 사란이 발생되어 있을 경우 가는 실 모양의 수생균이 반드시 기생하게 된다.

이를 그냥 방치해 두면 군사가 증식하여 죽은 알 주위의 살아 있는 알까지도 군사가 둘러싸서 질식하게 된다. 무지개송어에 기생하는 경우, 초기에는 지느러미 끝이나 체표에 작은 흰점이 발견되며, 그 흰점이 확산되면서 가는 실 모양의 덩어리가 된다.

라. 양식장에서 병원체 유입 차단

수산동물 양식장에서 질병이 발생하는 것을 예방하기 위해 가장 중요하게 고려하여야 할 것은 병원체가 양식장 안으로 들어오지 못하도록 막는 것이다. 상식적으로 생각하여 보아도 병원체가 없으면 병원체 감염에 의한 질병이 발생할 가능성이 없을 것이다. 이렇게 병원체가 양식장 안으로 들어오지 못하도록 출입을 제한하여 질병의 전염을 예방하고자 하는 조치를 차단방역이라고 한다.

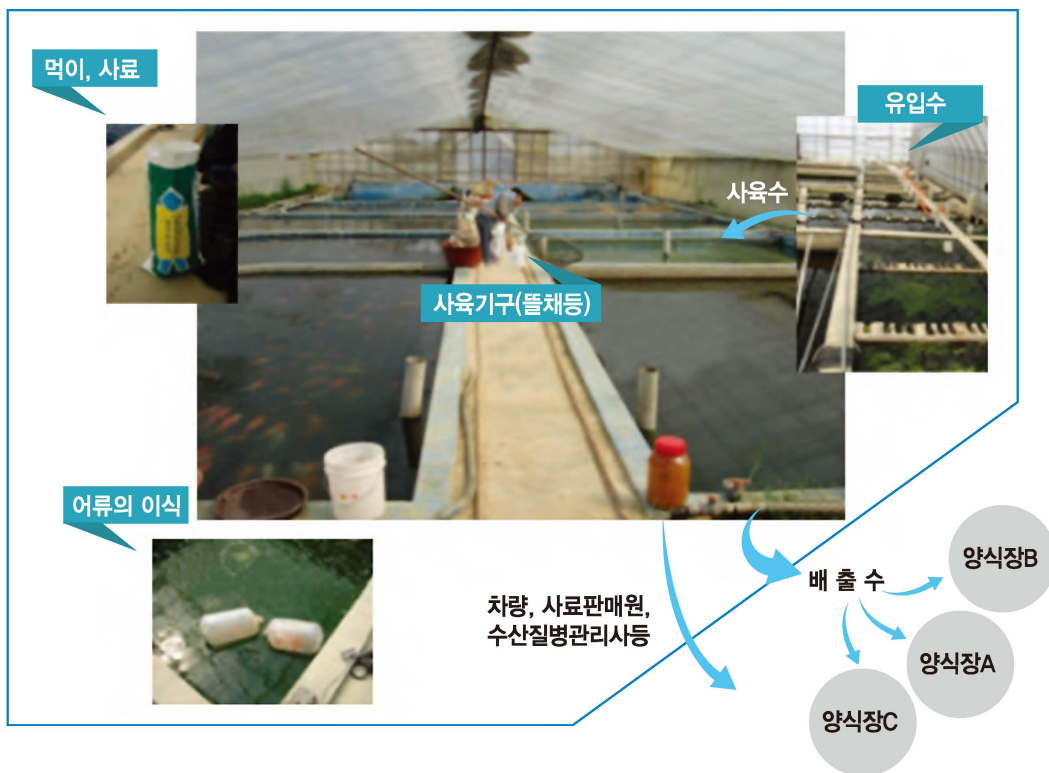


그림 7-6. 양식장에서 수산생물 전염병 병원체의 유입 경로와 외부 전파 경로.

양식장 안으로 병원체가 유입될 수 있는 경로는 먼저, 양식을 위해 사용되는 물(유입수), 사료, 새로운 수산동물의 이식, 외부 출입차량, 사료공급자, 질병을 관리하기 위한 수산질병관리사 또는 수의사, 야생동물 등에 의해 병원체가 양식장 안으로 유입될 가능성이 있다. 그리고 양식장 출입자와 배출수에 의해 다른 양식장으로 병원체가 확산될 수도 있다.

양식장 안에는 여러 개의 수조가 있기 때문에 수조와 수조사이의 병원체 이동은 수조별로 뜰채, 장화와 같은 사육기구를 별도로 사용하지 않고 공동으로 사용하는 것, 선별에 의한 수산동물의 이동, 순환여과 양식장의 사육수, 사육수가 떨어지는 과정에 발생하는 미세한 물방울에 의한 확산 등의 원인이 있을 수 있다.

이러한 사항을 고려하면 차단방역은 크게 4가지 구성요소, 즉 격리, 수송수단 통제, 위생 그리고 예방약 접종으로 구성되어 있다.

첫째, 격리는 양식시설의 출입을 통제하는 것이다. 특히 새롭게 양식장으로 들어오는 어류와 격리하여야 한다. 둘째, 수송수단 통제는 사료·약품 운송차량, 소독되지 않은 활어차 그리고 일반차량의 양식장으로 이동과 양식장 안에서 이동의 통제와 제한을 말한다. 셋째, 위생은 한마디로 소독이다. 방문객, 양식장에서 사용되거나 양식장 안으로 유입되는 기계 및 기구, 그리고 관리인의 청결과 소독을 말한다. 넷째, 예방약 접종도 차단방역의 중요한 부분이다. 차단방역으로 설정된 경계선을 넘어 질병이 양식장으로 유입되었을 경우 수산동물이 예방약 접종으로 면역이 되었다면 질병 발생을 막을 수 있다.



그림 7-7. 양식장 출입제한 시설과 조류 접근 방지 시설(HACCP 양식장).



그림 7-8. 수산동물 사육동 출입제한 시설(HACCP 양식장).



그림 7-9. 폐사어 보관실(HACCP 양식장).



그림 7-10. 체스트 보관구역과 손, 발판 소독시설(HACCP 양식장).

양식장에서 차단방역을 실시하는 것은 유입수 소독이 필요하며, 유입수는 UV 살균, 오존 살균 등의 방법이 있지만 보다 효과적이고 경제적인 방법의 개발이 필요하다. 격리와 수송수단의 통제를 위해 양식장 출입문에 출입통제 시설을 설치하고 출입을 제한하는 안내표지를 붙이고 소독시설을 설치한다. 위생을 위해서는 각각의 수조에 개별 사육기구를 사용하고 사용한 사육기구는 철저히 소독하여야 하고 발생이 예상되는 질병에 대한 예방접종을 실시하는 것이 좋다. 현재 국내에 무지개송어의 질병 예방을 위한 백신은 개발되어 있지 않지만 관련 연구가 진행되고 있다.

이러한 차단방역을 위한 시설과 양식장 관리인의 의식은 HACCP(위해요소 중점관리)를 위한 시설 및 체계와 유사하고 실제로 닭을 키우는 양계농장의 HACCP 관리기준에는 차단방역관리, 농장시설관리, 농장위생관리, 질병관리 등의 항목이 포함되어 있다.

양식장의 HACCP 관리기준에는 이러한 세부적인 사항이 규정되어 있지 않지만 HACCP을 실시하는 양식장의 차단방역이 일반적인 양식장 보다 잘 이루어지고 있다.

마. 외국 무지개송어의 주요 질병

1) 영국에서 ISA에 대한 방역대책

영국에서 연어과 어류에서 주요 질병 중의 하나는 ISA(Infectious Salmon Anemia)이며 양식 산업에서 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 이 ISA가 발병하였을 경우 양식어를 즉시 수거하여 버리고 양식시설은 관리기관의 감독 하에 소독되어야한다. ISA는 진단이 쉽지 않으나 다른 바이러스 질병들과 마찬가지로 임상 증상, 병리학적 소견, IFAT(Indirect Im-minofluorescent Antibody Test) 그리고 PCR(Polymerase chain reaction)에 의해 검출될 수 있다. ISA는 양식어 간에 전염되는 것으로 보이며 무지개송어에서는 이 바이러스를 보균하고 있다고 하여도 임상증상이 없는 것으로 보고 되었으나 영국에서는 ISA가 발병한 연어 양식장 가까이에 있는 송어 양식장의 양식어 이동을 통제한다.

2) 일본에서의 IHN에 대한 방역대책

일본에서의 주요한 무지개송어 질병으로는 IHN(Infectious Hematopoietic Necrosis)를 꼽을 수 있으며 주요 발병요인으로는 발안란의 이동에 의한 병원균의 전파나 근무자에 의한 전파, 오염된 강물의 이용으로 인한 병원균의 전파를 들 수 있다.

IHN의 진단은 2g 이하에서는 근육의 출혈과 창백한 아가미, 그리고 2g 이상 크기의 무지개송어에서는 창백한 간과 신장, 아가미에서의 출혈 등의 육안소견에 의한다. 일본에서 IHN의 방역 방법은 첫째, 발안기에 15분간 요오드 소독을 통해 병원균을 제거하거나 둘째, 사육수로부터의 오염을 방지하기 위하여 IHNV (IHN virus)가 없는 물을 사용하고 셋째, 사람에 의한 병원균 전파를 막기 위해 허용된 일부의 사람만을 출입하게 하는 것, 넷째, 어미 및 각 성장시기별로 무지개송어 간의 전파를 막기 위해 발안란, 치어, 상품 크기까지 각기 분리된 양어수조를 이용하는 것, 다섯째, 빗물로부터의 병원체 유입을 막기 위해 지표면에서 약간 올라가 있는 수조를 제작하여 빗물의 유입을 방지하고 여섯째, 사료와 모든 기구를 자외선을 이용하여 살균한다. 또한 일본에서는 양수정화 시스템을 사용하여 사육수를 정화한 후 병원균이 없는 깨끗한 물을 양어지에 공급한다고 한다.



경영 분석

8. 경영 분석

www.nifs.go.kr

가. 양식어가의 일반현황

1) 지역 및 분석대상

우리나라의 무지개송어 양식생산은 내수면 양식생산에서 뱀장어에 이어 생산량이 많은 어종으로 2011년 이후 지속적으로 3천 톤 이상을 생산하고 있는 주요 어종이라 할 수 있다. 무지개송어 양식은 1965년 1월 미국으로부터 발안란을 받아 화천댐 하단에 양식을 시작하여 이후 오랫동안 양식 생산량이 많지 않음에도 지속되어 왔다. 이는 냉수성어종의 특성상 우리나라의 추운 겨울을 날 수 있고 성장이 빠른 장점으로 인해 자금 회전율이 높기 때문이다. 최근에는 무지개송어의 특성상 순치를 통한 해수 양식이 전남 고흥, 제주, 충남, 경북, 강원도 등 전국 곳곳에서 시도되어 지고 있다.

현재 전체 162개(사단법인 한국송어양식협회) 양식업체가 생산 중에 있으며 이중 강원도 74개 45.68%, 경상북도 36개 22.22%, 충청도 32개 19.76%를 차지하고 있다.

표 8-1. 무지개송어 양식어가의 일반 현황

	지역	양식방법	규모(평) (총면적/수면적)	입식량(마리)	자가종묘생산	생존율(%)
A	강원도	유수식	1,500/1,000	125,000	×	60~70
B	강원도	유수식	10,000/3,000	150,000	○	60~70
C	강원도	유수식	12,000/4,000	200,000	×	50
D	충청도	유수식	2,323/1,550	120,000	×	80~85
E	충청도	순환여과식	1,000/700	80,000	×	70
F	경상북도	순환여과식	1,500/863	80,000	×	80
G	경상북도	순환여과식	- /1,200	320,000	○	40~50

이 중 양식장의 규모, 지역, 양식방법, 경력에 의해 양식장을 선정하였는데 우리나라의 무지개송어 양식 생산량을 고려하여 강원도 3곳, 경상북도 2곳, 충청도 2곳으로 고르게 선정하여 조사하였다. 또한 선정된 양식장의 종사경력은 15~32년으로 대체로 오랜 시간에 걸쳐 양식업에 종사한 업체로 무지개송어 양식의 기술적 측면과 경영적 측면에서 안정성이 확보된 곳으로 선정하였다.

대상 양식장의 경영정보의 문제로 각 업체의 표기는 무기명으로 하였으며 각 업체의 양식경영에 있어서 일반현황은 표 8-1과 같다. 조사대상 양식장의 평균 총면적은 4,720평 정도이며, 평균 수면적은 1,759평이다. 입식량은 적게는 8만 마리에서 많게는 32만 마리까지 나타나고 있다.

2) 입식량 및 생존율

무지개송어의 상품 가치는 암컷에 비해 수컷이 떨어지는데, 수컷은 성숙기에 상호공격으로 상처를 입히고, 사료를 섭취하지 않아 성장이 둔화되는 경향을 보이며, 체색의 변화로 인해 소비에서도 상품성이 떨어진다는(이, 2007). 그래서 조사대상 양식장은 대부분 전 암컷 및 3배체의 무지개송어를 양식 대상으로 삼고 있는 것으로 조사되었다.

조사대상의 양식장 입식량은 최소 8만, 최대 32만 마리로 평균 입식량은 15.3만 마리였다. 면적(1평)당 입식량은 A양식장이 125마리, B양식장이 50마리, C양식장이 50마리, D양식장이 77마리, E양식장이 114마리, F양식장이 93마리, G양식장이 267마리로 나타났으며 G양식장은 치어생산을 통해 성어 이전에 대한 판매 비율이 높았다.

생존율은 각 업체에 따라 최소 40%에서 최대 85% 정도로 넓게 분포하였다. 생존율의 경우 대부분의 양식장에서 추정하고 있는 추정치를 바탕으로 입식량에 대한 출하량의 비율을 생존율로 계산하였다. 그러므로 실제로는 초기단계에서 강제로 탈락시키는 종묘와 중간 육성 이후에도 성장이 부진한 종묘를 탈락시키는 비율을 포함하고 있는 현실에 비추어 볼 때, 실제의 생존율은 상기의 생존율보다 높게 나타날 것으로 보인다.

나. 출하가격 및 비용비율

1) 출하가격

각 조사 대상 양식장의 출하가격 및 비용자료는 업체의 경영상 개인정보이며, 규모에 따른 비용의 차이가

크게 발생하여 객관적 비교가 쉽지 않으므로 설문조사 자료를 바탕으로 비율로 환산하여 표기하였다 (표 8-2).

표 8-2. 무지개송어 출하가격 및 양식비용 비율

		A	B	C	D	E	F	G
출하가격(원/ kg)		6,500	6,500	6,500	7,500	10,000	7,500	8,000
비용비율 (%)	종묘비	9.29	8.34	12.09	9.22	7.19	4.84	10.99
	사료비	49.54	46.35	55.80	52.83	41.07	48.40	45.79
	전기료	1.78	3.34	2.23	11.53	5.90	4.36	5.61
	유류비	—	—	—	3.46	—	—	2.55
	시설유지비	2.48	18.54	0.93	10.57	7.70	7.26	11.91
	고정인부인건비	24.77	13.35	8.93	4.38	20.53	17.42	10.99
	임시인부인건비	—	1.85	1.45	1.31	—	1.45	—
	주부식비	2.97	2.22	2.23	2.10	4.62	2.90	2.29
	사무비	2.48	0.44	0.25	0.19	0.13	1.02	0.18
	제세공과금	2.97	2.22	15.81	2.31	0.77	2.42	1.79
	감가상각비	3.72	—	0.28	1.92	5.78	6.05	4.12
	임대료	—	1.11	—	—	—	—	—
	차입이자	—	—	—	—	0.92	1.45	1.14
	판매비	—	—	—	—	—	—	—
	약품비	—	2.22	—	0.19	0.26	2.42	0.34
	안전관리비	—	—	—	—	2.57	—	2.29
	기타	—	—	—	—	2.57	—	—

양식의 수익에 있어서 가장 중요한 요인은 생산량과 그에 따른 출하가격이다. 조사한 양식장의 출하크기는 0.8~1.2 kg, 최대 1.5 kg으로 출하하고 있으며, 해양수산개발원의 관측센터에서는 이상적 출하기준을 800g으로 보고 있으나 조사된 양식장 대부분 1.0 kg을 기준으로 출하하는 것으로 조사되었다. 7곳의 양식장에서 조사된 마리당 출하가격은 6,500원에서 10,000원 사이로 큰 차이를 보이고 있다. E양식장의 경우 10,000원의 가격을 받는데, 이는 전량 사전 계약을 통해 생산량을 결정하고 그에 따른 가격을 일정한 상태로 고정하여 출하하는 형태로 다른 양식장과 비교해 생산량 결정과 판매형태에서 차이가 있었다.

2) 양식비용 비율

조사기간 중 출하가격은 5,000~6,000원 사이로 조사되었으나 조사기간은 무지개송어 소비의 비수기로 연중 최저 가격임을 고려하여 연평균 가격을 바탕으로 조사하고 분석하였다.

무지개송어의 가격은 최근 매우 큰 변동을 보이고 있는데 2014년 9월 한때 무지개송어 마리당 가격이 13,745원으로 나타나기도 했다(강, 2015). 그래서 출하가격의 최소가격과 최대가격을 조사해본 결과 최대가격은 2014년 당시이며 높을 때에는 15,000원까지 출하되기도 한 것으로 나타났고, 반면 최소 가격일 때는 5,000원 선이며, 낚시 등의 용도로 출하되는 무지개송어의 가격은 1,000~2,000원으로 일부 판매되기도 하는 것으로 조사되었다.

무지개송어를 양식하는데 사용된 비용항목을 살펴보면, 평균 비율이 높은 3개 항목은 사료비, 고정인부인건비, 종묘비 순으로 나타났으며, 이 상위 세 항목의 평균 합은 71.36%로 나타나 생산비용의 절대적인 비중을 보이고 있었다. 사료비는 모든 양식장에서 가장 높은 비율을 보이고 있으며 그 평균 비율은 48.54%로 거의 절반에 이르는 것으로 나타났다. 고정인부인건비의 평균 비율은 14.34%로 나타났으며, 종묘비가 8.85%로 뒤를 이었다. 시설유지비의 평균 비율은 비율이 8.48%로 상당부분 차지하고 있었다.

감가상각비의 경우 양식장에 따라 내용연수의 차이를 보이고 있으나 짧게 20년 이상으로 보고 있고, 양식장을 운영함에 있어 발생하는 시설물에 대한 고장 및 수리비용은 시설유지비로 처리하여 분석하였다.

본 연구의 대상 양식장에서는 유수식 4곳(A, B, C, D)과 순환여과식 3곳(E, F, G)으로 양식하고 있었다. 두 양식방법의 특성상 발생하는 비용의 차를 비교해보면, 순환여과식으로 양식하는 곳에서 유수식에 비해 전기를 연평균 1.25배, 유류비는 1.65배, 감가상각비는 4.02배 더 사용하고 있었으며, 산소 및 전기 시설 등에 대한 안전관리비도 유수식에서는 발생하지 않았으나 순환여과식에서는 연평균 약 1천만원이 발생하고 있었다.

다. 수익성 및 경제성 분석

1) 분석방법

화폐의 시간적 가치를 고려하여 투자안들을 평가하는 방법을 현금흐름할인법(Discounted Cash Flow method: DCF)이라고 하는데 이 방법의 일종인 순현재가법(Net Present Value: NPV)은 투자의 결과 발생하는 현금유입의 현재가치에서 현금유출의 현재가치를 차감한 것을 의미한다. 순현재가치가 0보다 크면 타당성이 있는 사업으로 판단하는데 조사한 양식장의 NPV는 할인율 5.5%, 8%로 분석한 결과 모두 0보다 크게 나타

나고 있어 양식장의 가치는 증가하고 있다고 볼 수 있다.

어떤 사업에 대해 사업기간 동안 현금 수익 흐름을 현재가치로 환산하여 합한 값이 투자지출과 같아지도록 할인하는 이자율을 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)이라고 한다. 즉 투자에 소요되는 현금유출액(cash outflow: CO)의 현재가치합계액과 투자로 인해 예상되는 현금유입액(cash inflow: CI)의 현재가치합계액을 일치시켜주는 할인율로 투자안의 평균투자수익률을 의미한다. 조사된 양식장에서 IRR이 가장 낮은 업체가 9.85%였고, 가장 높게 나타난 업체는 42.47%이다. 할인율 5.5%와 비교해 모두 높게 나타나고 있어 투자 가치는 존재한다고 볼 수 있다.

2) 매출이익률 및 손익분기점

양식장의 수익성을 분석하기 위해 매출액에서 매출총이익의 비율인 매출이익율을 사용하였으며(홍, 2015), 매출액에 대한 양식이익률의 경우 표준값은 정해져 있지 않지만 적어도 20%정도는 되어야 하며, 수산업의 특수성을 고려하면 30% 이상 되어야 적합할 것으로 예상된다(박, 2006). 선행연구에 따르면 20% 정도가 안정적이며, 30% 이상은 수산업의 불확실성까지 반영된 결과라 할 수 있다.

조사한 양식장의 매출이익률의 결과를 보면 평균 매출이익률은 22.02%로 나타나고 있으며 선행연구의 기준인 30%에 이르는 업체는 E양식장 1곳이다. D양식장이 29.89%로 거의 30%에 이르렀고 상위 3곳을 제외한 나머지 업체의 매출이익률의 평균은 17.41%로 나타나고 있다(표 8-3).

표 8-3. 무지개송어 양식장 매출이익률 및 NPV, IRR

	매출이익률(%)	NPV(천 원)			IRR(%)
		할인율 4%	할인율 5.5%	할인율 8%	
A	23.56	605,498	534,169	431,202	28.26
B	14.89	225,863	171,775	93,696	11.71
C	17.29	373,882	309,458	216,459	16.28
D	29.89	1,279,663	1,152,426	968,753	41.29
E	30.43	992,497	894,811	753,798	42.47
F	13.92	128,608	90,313	35,033	9.85
G	24.18	1,385,384	1,225,729	995,258	29.47

조사된 양식장의 현재 경영상황에서 생산량, 출하가격, 생존율의 손익분기점을 산출하였다. 손익분기점을 통해 최소한의 지속적 경영을 유지하기 위한 정도를 파악하여 항목별로 비교해 보았다(표 8-4).

표 8-4. 무지개송어 양식장 손익분기점

	A	B	C	D	E	F	G
생산량 (손익분기점 대비 현재생산량)	46,465 (1.75)	70,344 (1.39)	60,568 (1.65)	46,621 (2.12)	30,348 (1.85)	47,557 (1.35)	82,866 (1.74)
출하가격(원)	4,969	5,532	5,376	5,258	6,957	6,456	6,066
생존율(%)	37.17	46.90	30.28	38.85	37.94	59.45	25.90

각 양식장의 생산량의 추정은 표 8-1의 입식량과 생존율의 곱으로 산출하였고, 이렇게 추정된 생산량과 손익분기점을 대비해 본 결과, F양식장이 1.35배로 가장 낮았으며, D양식장이 2.12배로 가장 높은 비율로 생산하고 있는 것으로 분석되었다. 또한, 출하가격의 손익분기점을 현재 출하가격과 비교해보면 평균 차액은 1,698원으로 나타났고, 최소 968원에서 최대 3,043원의 차를 보이고 있다. 출하가격의 차가 클수록 수익에 있어서 안정적이라고 볼 수 있는데 생산량과 차액을 고려해 볼 때, 현재 수준의 가격은 수익구조에서 안정적이라고 생각되지만 비수기의 5,000원대의 출하가격은 1곳을 제외한 모든 업체가 수익을 창출할 수 없다는 것을 알 수 있다.

생존율에 있어서 각 양식장의 손익분기점은 조사업체에서 모두 달성되고 있으며, 현재 생존율과 손익분기점 생존율의 최소 차가 약 18%이며, 최대 차는 43% 정도로 나타나 생존율의 변화에 따른 경영의 악화는 크게 우려하지 않아도 되는 상태이지만 생존율이 경영성과에는 영향을 미치는 만큼 안정적인 양식이 뒷받침 되어야 할 것이다.

3) 민감도 분석결과

조사된 양식장의 경영상황에 따른 분석결과에 따르면 출하가격은 양식장과 지역, 판매방식에 따라 서로 다르지만 kg(혹은 마리)당 6,500원에서 8,000원 선에서 거래되고 있었으며, 평균 시장가격은 7,500원으로 조사되었다. 각 업체의 현재 출하가격을 기준으로 가장 낮은 가격인 5,000원과 평균 수준에서 1,000원 낮은 경우와 1,000원 높은 경우, 현재 최고가이며 양식경영자가 가장 선호하는 가격인 10,000원, 그리고 최근 가장 높은 월별 가격대인 13,000원으로 각각 출하가격을 가정하여 그에 따른 매출이익률과 할인율 5.5%일 때의 NPV, IRR의 변화를 살펴보았다(표 8-5).

출하가격의 등락을 구분하여 분석해본 결과, 출하가격이 5,000원으로 책정된 경우 매출이익률은 6곳에서 음(-)으로 나타나며, 평균값도 -16.04%로 매우 낮은 결과를 나타냈다. 출하가격이 5,000원으로 하락하면 모든 업체에서 지속적인 경영에 대한 유인이 없는 것으로 판단된다. 6,500원의 출하가격은 매출이익률 평균 10.74%로 나타났고, NPV는 7개 양식장 중에서 4개의 양식장에서 음(-)에서 양(+)으로 전환되는 것으로 나타

났다. 또한 IRR은 평균 6.36%로 분석되었다. 출하가격이 8,500원인 경우 평균 매출이익률에서 30%를 초과하였으며, NPV, IRR평균도 각각 2,425백만 원, 46.85%로 상당한 경영 개선과 호황을 누리는 것으로 나타났다.

생산량은 내부적으로 양식 생산기술에 따라 입식량과 생존율에 따라 결정되며, 외부적으로는 생산된 무지개 송어를 판매할 수 있는 판매처의 수요에 따라 결정된다. 대부분의 조사대상 업체에서 생산 수준은 자체적으로 결정할 수 있으나 시장의 소비 수준에 따라 그 생산량을 조절하고 있다고 밝혔다. 즉, 판매처가 확보되고 시장의 규모가 커지면 생산량을 늘릴 수 있는 것으로 조사되었다.

생산량에 따른 민감도 분석결과(표 8-5)를 보면 생산량을 20% 감소할 경우 매출이익률에서 평균 19.49%의 하락을 보였으며 3곳의 양식장에서 음(-)으로 나타났다. 평균 순현재가치(NPV)도 음(-)으로 전환되었고, 총 4곳의 양식장에서 음(-)으로 나타나 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 단 2곳의 양식장만 내부수익률(IRR)도 기준 할인율 5.5% 보다 높게 나타났다.

표 8-5. 무지개송어 시장가격의 민감도 분석

		A	B	C	D	E	F	G
판매수익 (%)	5,000원	0.63%	-10.65%	-7.52%	-5.16%	-39.14%	-29.13%	-21.32%
	6,500원	23.56%	14.89%	17.29%	19.11%	-7.03%	0.67%	6.68%
	8,500원	41.55%	34.91%	36.75%	38.14%	18.15%	24.04%	28.64%
	10,000원	50.31%	44.68%	46.24%	47.42%	30.43%	35.44%	39.34%
	13,000원	61.78%	57.44%	58.64%	59.55%	46.48%	50.34%	53.34%
NPV (1,000원)	5,000원	-384,479	-930,603	-821,185	-713,136	-1,215,724	-1,115,707	-2,030,526
	6,500원	534,169	171,775	309,458	406,201	-582,563	-392,095	-402,398
	8,500원	1,759,033	1,641,612	1,816,984	1,898,651	261,651	572,721	1,768,438
	10,000원	2,677,681	2,743,990	2,947,627	3,017,988	894,811	1,296,334	3,396,565
	13,000원	4,514,978	4,948,745	5,208,915	5,256,663	2,161,133	2,743,558	6,652,819
IRR (%)	5,000원	-32.75%	-	-	-	-	-	-
	6,500원	28.26%	11.71%	16.28%	19.71%	-	-32.16%	-5.67%
	8,500원	70.74%	52.87%	57.49%	61.13%	17.91%	29.22%	38.59%
	10,000원	101.17%	80.54%	85.83%	90.04%	42.47%	54.16%	64.40%
	13,000원	161.63%	134.96%	141.79%	147.22%	86.69%	101.26%	114.25%

생산량을 10% 감산할 경우 평균 매출이익률은 13.36%로 나타나 현재수준보다 상당한 감소를 보였다. 순현재가치(NPV)는 평균 양(+)의 값을 가지지만 여전히 3곳의 양식장에서 음(-)으로 나타났다. 순현재가치(IRR)에서는 평균 7.71로 나타나 기준 할인율 5.5%를 초과하였다. 그러나 여전히 3곳의 양식장에서는 기준 5.5%에 미치지 못해 경제성이 없는 것으로 나타났다.

반대로 10%의 증산의 경우 현재 경영상황과 비교해 매출이익률에서 평균 7.09%의 상승을 보였고 4곳에서는 30% 매출이익률을 초과달성하였으며, 모든 양식장에서 20% 이상을 달성하는 것으로 분석되었다. 평균 순현재가치(NPV)도 현재 경영 상황보다 1.82배 증가한 것으로 나타났다. 순현재가치(IRR)도 현 수준 25.62%에서 40.31%로 나타나 큰 폭의 증가를 가져온 것으로 분석된다. 또한 20% 증산이 일어날 경우에는 평균 매출이익률이 35.02%로 나타나 기준 매출이익률을 달성하는 것으로 나타났고, NPV도 현재 경영상황과 비교해 2.63배 증가하는 것으로 나타났다. 평균 내부 수익률은 54.03%로 현저한 증가세를 보이는 것으로 나타났다.

생산량에 따른 민감도 분석결과(표 8-6) 20% 생산량 감소는 심각한 경영악화, 10% 생산량 감소는 일부 업체의 심각한 경영악화, 10% 생산량 증가는 일부 업체의 경영개선이 두드러지며, 20% 생산량 증가는 모든 업체에서 우수한 경영상황으로 전환할 수 있는 것으로 분석되었다.

표 8-6. 무지개송어 생산량에 대한 민감도 분석

		A	B	C	D	E	F	G
수익률 (%)	-20%	4.45	-6.39	-3.39	12.37	13.04	-7.60	5.22
	-10%	15.07	5.43	8.10	22.10	22.70	4.35	15.75
	+10%	30.51	22.63	24.81	36.27	36.75	21.74	31.07
	+20%	36.30	29.07	31.07	41.58	42.02	28.26	36.81
NPV (1,000원)	-20%	-261,993	-783,619	-670,433	33,089	50,597	-633,299	-510,940
	-10%	136,088	305,922	-180,487	592,757	472,704	-271,493	357,394
	+10%	932,250	649,472	799,404	1,712,095	1,316,918	452,119	2,094,063
	+20%	1,330,331	1,127,169	1,289,350	2,271,763	1,739,026	813,925	2,962,398
IRR (%)	-20%	-11.93	-	-	6.81	8.13	-	-9.60
	-10%	12.06	-8.99	-2.23	25.43	26.58	-12.24	13.36
	+10%	42.64	26.44	30.73	56.25	57.49	24.74	43.89
	+20%	56.33	39.52	43.90	70.83	72.17	37.80	57.65

4) 기타 분석결과

무지개송어 양식장은 냉수성 어종의 특성상 맑은 물이 풍부한 곳에서만 양식이 가능하여 양식 적지가 한정되어 있다(이, 2013). 이처럼 양식지 선정이 어려우며 양식지에 따른 수면적의 차이도 상이하게 나타난다. 조사대상 양식장 수면적을 기준으로 1,000평 미만(2곳), 1,000~3,000평 미만(3곳), 3,000평 이상(2곳)의 세 그룹으로 나누어 각각 소·중·대규모로 구분하여 평균값을 비교하였다(표 8-7).

표 8-7. 무지개송어 양식장 규모에 따른 분석

		소규모 (1,000평 이하)	중규모 (1,000~3,000평)	대규모 (3,000평 이상)
수익률 (%)		22.18	25.88	16.09
NPV(1,000원)		492,562	970,775	240,617
IRR(%)		26.16	33.01	14.00
손익분기점	생산량	38,953	58,651	65,456
	출하가격(원)	6,707	5,431	5,454
	생존율(%)	48.70	33.97	38.59

규모에 따른 분류로 양식장의 경제성을 비교한 결과 매출이익률, NPV, IRR 모두 중규모에서 가장 높게 나타났으며, 대규모에서 가장 낮게 나타나고 있다. 주어진 자료가 단 7곳이라는 표본의 한계와 무지개송어 양식의 특성상 규모가 환경의 영향을 받는 점이 반영된 결과라고 생각된다. 손익분기점을 비교해보면 소규모 그룹에서는 가장 적은 생산량으로 손익분기점을 달성할 수 있지만, 가장 높은 출하가격은 중규모와 대규모 그룹에서 5,400원대로 나타나는데 반해 소규모에서는 6,700원대로 나타나 1,300원의 차이가 발생했다. 즉, 출하가격의 변동에 따른 영향은 소규모 그룹에서 상대적으로 크게 받게 될 것으로 예상된다. 또한, 생존율도 소규모 그룹에서 가장 높게 나타나 상대적으로 생존율에도 영향을 크게 받을 것으로 예상된다.

표 8-8. 무지개송어 지역에 따른 분석

		강원	충북	경북
수익률(%)		18.58	30.16	19.05
NPV(1,000원)		338,467	1,023,619	658,021
IRR(%)		18.75	41.88	19.66
손익분기점	생산량	59,126	38,485	65,212
	출하가격(원)	5,292	6,108	6,261
	생존율(%)	38.12	38.40	42.68

표 8-8을 살펴보면 분석 대상 양식장은 강원도 3곳과 충청, 경북 지역이 각 2곳이었는데, 매출이익률에서는 충청지역이 강원과 경북지역에 비해 10% 이상 높게 나타나고 있는 것으로 나타났다. 또한 NPV, IRR에서도 모두 충청지역이 가장 높게 나타났고, 강원도가 가장 낮게 나타나고 있다. 손익분기점은 출하가격과 생존율 항목에서 강원도가, 생산량은 충청도에서 안정적인 경영이 가능할 것으로 나타났다.

라. 요약 및 결론

무지개송어 양식의 경제성 분석을 위해 규모별, 지역별로 선정한 7곳의 어가를 대상으로 경제성을 분석한 결과 현재 경영상태는 매출이익률, NPV, IRR에서 각각 평균 22.02%, 625,526천 원, 25.62%로 양호한 경영상황을 유지하고 있었다. 현재 경영상태에서 손익분기점과 비교해도 생산량, 출하가격, 생존율에서 경영을 유지하고 지속하기 위한 충분한 유인이 발생하고 있는 것으로 보인다.

하지만 출하가격에 대한 현장조사와 선행연구의 가격 자료를 살펴본 결과 상당한 가격변동을 겪고 있으며, 연중 출하가격의 차이도 평균 2,000~3,000원 정도로 크게 나타나고 있었다. 이러한 가격변동에 대한 어가의 경영 상황을 파악하기 위해 출하가격에 대한 민감도 분석을 실시한 결과, 연중 최저가격으로 조사된 5,000원에서는 심각한 경영적자를 가져오며, 현재 출하가격에서 1,000원의 가격하락은 경영을 위한 경제성이 낮은 것으로 나타났다. 반면, 1,000원의 출하가격 상승은 상대적으로 낮은 경영 성과를 보이던 업체에서도 상당한 경영개선이 나타났다.

출하되는 생산량은 각 업체의 수익을 결정하는 중요한 요소로 이에 대한 민감도 분석을 실시한 결과, 20%의 생산량 감산에서는 거의 모든 업체가 경제성을 가지지 못했으며, 10%의 감산에도 일부 업체의 NPV가 음(-)으로 나타났고, IRR 값도 할인율 5.5%에 미치지 못하는 양식어가 발생하였다. 반면 10%의 생산량 증산은 매출이익률의 평균을 약 30%에 이르게 했고, NPV, IRR도 상대적으로 모두 높게 나타났다. 20% 생산량을 증가시키면 모든 업체가 우수한 경영 상태로 전환되는 결과를 가져왔다. 그러나 현재 생산량의 결정은 판매처의 확보에 따라 결정되게 되어 있어 무조건적인 증산은 가격하락과 생산비용의 증가를 가져올 수 있다.

수면적을 기준으로 한 규모별 양식장의 경제성을 살펴본 결과, 중규모(1,000~3,000평 미만)에서 매출이익률, NPV, IRR 값이 모두 가장 높게 나타났으며, 대규모(3,000평 이상)에서 가장 낮게 나타났다. 소규모(1,000평 미만)는 손익분기점에서 가장 높은 출하가격과 생존율을 보여 현재 경영상태 대비 급격한 변화가 일어날 경우 가장 불안정적일 것으로 분석되었다.

지역별 분석결과를 살펴보면, 충청지역이 강원과 경북지역에 비해 매출이익률과 NPV, IRR에서 높게 나타나고 있으며, 손익분기점은 출하가격과 생존율이 가장 낮은 강원이 상대적으로 안정적인 것으로 분석되었다.

경영상황을 분석한 결과 7곳의 경영 상황은 모두 안정적인 것으로 나타나고 있다. 또한 경영자들은 안정적인 상황에서 좀 더 나은 이윤창출을 위해 양식장 운영을 통한 소득 외 식당운영 등으로 이윤을 창출하고 있다. 본 연구에서도 7곳 중 6곳이 식당 운영을 통해 부가적인 이윤을 얻고 있었다. 조사 결과 최근 식당운영은 양식장 운영에서 비롯되는 이윤이 낮아지는 경향에 따른 필수적인 선택이라고 한다. 이러한 경향은 경영상 불예측성과 불안감에 따른 결과라고 볼 수도 있다. 생산자의 의지로 조절이 불가능한 가격의 변동은 최근 매우 불확실한 것으로 조사되었고, 그에 따른 경제성 분석 결과가 크게 달라진다는 것은 분석결과를 통해 확인되었다. 그러므로 무엇보다 무지개송어 양식의 안정적인 경영상황을 확보하기 위해서는 가격안정화에 힘써야 할 것이며, 가격안정화 이후 시장확대 등을 통해 연어시장의 대체재 혹은 경쟁 상품으로 자리매김 할 수 있도록 정책적 뒷받침이 필요할 것으로 보인다.



참고문헌

참고문헌

- 강효병. 2015. KMI 수산업관측센터 해외수산정보-세계 양식연어의 수급 불균형과 시사점. 한국해양수산개발원, 한국해양수산개발원 수산업관측센터, 해외수산정보 VOL. 14, 1~3pp.
- 김도훈. 2012. 고등어 외해가두리 양식의 경제성 분석. 수산경영론집, 제43권, 제 3호, 23~30pp.
- 김동수, 김병기, 김종만, 박인석, 최경철. 1996. 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)와 은연어(*O. kisutch*) 간의 잡종 및 잡종 3배체 생산. 한국양식학회지, 9 (2): 133-140.
- 김동수, 김봉석, 안재현, 정창화. 1995. 염색체 조작에 의한 전 암컷 3배체 무지개송어 조기난의 대량생산. 한국양식학회지, 8(2): 141-148.
- 김동수, 김봉석, 안철민. 1995. 2배체와 3배체 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)의 생식소 발달. 한국양식학회지, 8(4): 327-341.
- 김동수, 김응오, 남윤권, 노재구, 이상윤, 이종윤. 2002. 자연산 3배체 붕어(*Carassius auratus*) 클론 집단에 대한 유전학적 동정. 한국수산학회지, 35(6): 589-594.
- 김동수, 남윤권, 노충환. 1996. 17 α -Methyltestosterone의 침적처리에 의한 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 성전환. 한국양식학회지, 9(2): 141-149.
- 김동수, 남윤권, 노충환. 2000. 성전환 및 염색체 공학 기법을 이용한 초수컷(YY) 및 초암컷 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)생산. Ⅲ. 초수컷 및 초암컷의 수컷 자손 생산능력 비교. 한국양식학회지, 13(4): 325-330.
- 김동수, 남윤권, 오승용, 조재윤. 1998. 잉어(*Cyprinus carpio*)와 붕어(*Carassius auratus*)간 잡종의 세포유전학적 분석. 한국양식학회지, 11(1): 77-81.
- 김동수, 남윤권. 1993a, 어류의 유전육종과 산업에의 응용에 관하여. 제주대 해양연보, 17 : 129-136.
- 김동수, 남윤권. 1995. 미꾸라지에 성장호르몬 유전자 이식을 위한 최적 조건 개발. 한국양식학회지, 8(3): 241-249.
- 김동수, 노섬, 이영돈, 정창화. 1994a. 3배체 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 유도에 관한 연구. 한국양식학회지, 7(1): 55-61.
- 김동수, 문영봉, 박인석, 정창화. 1996. 자성발생성 2배체 넙치의 제2세대 생산. 한국양식학회지, 9(3): 287-291.
- 김동수, 박인석, 최경철. 1990b. 3배체 나일틸라피아 생산에 관하여. 한국양식학회지, 3(2): 135-144.
- 김동수, 박인석, 최경철. 1997. 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*와 산천어, *O. masou* 간의 잡종 및 잡종 3배체 생산. Ⅱ. 성비 및 계측. 한국양식학회지, 10(1): 49-54.
- 김동수, 박인석. 1990a. 양식 틸라피아에 대한 유전학적 동정. 한국양식학회지, 3 (1): 31-37.
- 김동수, 박인석. 2000. 미꾸라지, *Misgurnus mizolepis*와 미꾸리, *M. anguilli-caudatus*간 잡종 및

- 잡종 3배체 일부 조직에서의 세포 및 핵 크기. 발생과 생식, 4(1): 19-28.
- 김형배, 박인석. 1994. 3배체 산천어 (*Oncorhynchus masou*) 유도. 한국양식학회지, 7 (4): 207-223.
- 남윤권, 박상용, 방인철, 이윤아. 2007. 대농갱이 *Leiocassis ussuriensis* (Siluriformes) 자성발생성 이배체 생산. I. 자성발생성 이배체 유도 처리 조건의 최적화. 한국양식학회지, 20(3): 184-189.
- 노충환, 박인석, 방인철, 임재현. 2000. 체세포분열 억제성 자성발생 2배체 메기, *Silurus asotus* 유도. 한국양식학회지, 13(4): 359-362.
- 박경일, 백진이. 2016. 우리나라 무지개송어 양식업의 경제성 분석. 한국해양교육학회
- 손인배, 이남수. 2009. 송어 유통과 소비 : 송어 음식점, 소비자 진출방안 모색돼야. 한국수산신문사
- 손인배, 이남수. 2009. 송어 음식점, 소비자 진출방안 모색돼야. 한국해양수산개발원, KMI수산동향 2009년 9월, 26~31pp.
- 손인배, 이남수. 2010. 송어 산업의 새로운 시도 '바다송어'. 한국해양수산개발원, KMI수산동향, 2010년 3월, 26~30pp.
- 이남수. 2013a. 국내 해수 송어양식 동향과 시사점. 한국해양수산개발원, 해양수산 제3권, 제3호, 66~112pp.
- 이남수. 2013b. 한국의 송어 해수양식업 동향과 전망. 아쿠아인포, 제7권, 제11호, 40~53pp.
- 이철호. 2007. 무지개송어 양식어업인 소득증대를 위한 전 암컷 대량생산. 부경대학교 박사학위 논문
- 이철호. 2010. 무지개송어의 자성발생 2배체 성전환 수컷을 이용한 전 암컷 생산. Journal of Life Science, 제20권, 제12호, 1902~1905pp.
- 이희찬. 2009. 내수면어종 소비시장 분석. 수산경영론집, 제40권, 제1호, 75~96pp.
- 한국송어양식협회. 내수면양식의 길을 열다! 한국송어양식 50년사. 사단법인 한국송어양식협회
- 한현섭. 2000. 은어의 자성발생 2배체와 Clone의 생리적 형질에 대한 유전적 변이성 : 수온과 염분내성. 발생과 생식, 4(2): 153-160.
- Devlin, R.H., T.Y. Yesaki, C.A. Blagi and E.M. Donaldson. 1994. Extraordinary salmon growth. Nature 371 : 209-210.
- FCI Team. 2005. The Fisheries Competitiveness Index 2004-2005.
- Kim, D.S., I.B. Kim and Y.G. Baik, 1988. Early growth and gonadal development of triploid rainbow trout, *Salmo gairdneri*. J. Aquat., 1: 41-51.
- Lincoln, R. and V. Bye, 1984. Triploid rainbows show commercial potential. Fish Farm., 7 : 22-26.
- Macleay, N. and D. Penman, 1990. The application of gene manipulation to aquaculture. Aquaculture, 85 : 1-20.
- Noakes Donald J. 2003. On the decline of Pacific salmon and speculative links to salmon farming in British Columbia.

무지개송어양식 표준 매뉴얼

발행일	2017년 3월
발행인	국립수산과학원장 강준석
저 자	최혜승, 임재현, 이시우, 김명석, 김경덕, 백진이
편 집	명정인, 전제천, 이정용
감 수	김이청, 장영진, 오영택
발 행	국립수산과학원 부산광역시 기장군 기장읍 기장해안로 216 Tel. 051-720-2114
디자인/인쇄	메이플디자인 Tel. 051-257-0302 http://mapledesign.blog.me

ISBN 979-11-959616-2-7 93520