GOVP1199803626

최 종
연구보고서

639.31
L293 C

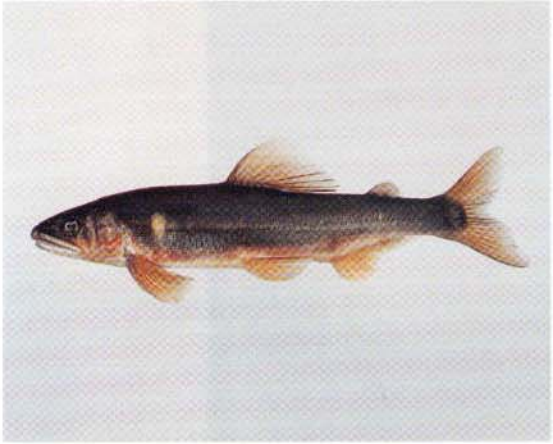
담수에서의 은어 종묘생산 기술 개발

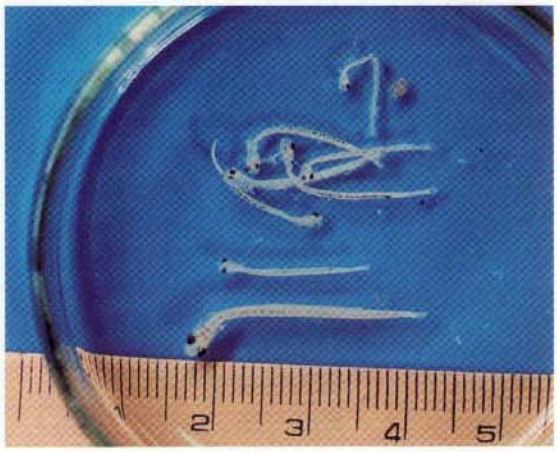
Technical development on the seedling production of sweet smelt fish in freshwater

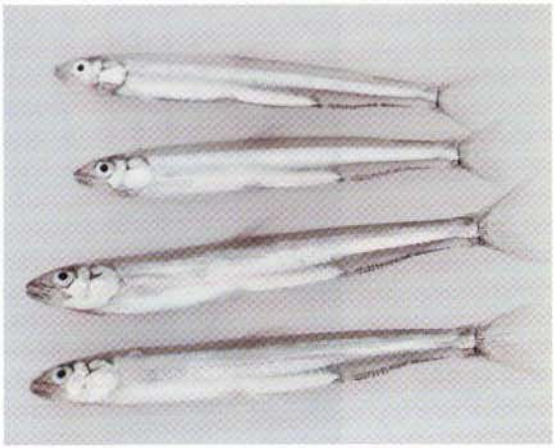
연구기관

국립수산진흥원
진해내수면연구소

농 림 부




2
3
4
5



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "담수에서의 은어 종묘 생산기술 개발" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 2

주관연구기관명 : 국립수산진흥원
총괄연구책임자 : 김 웅 오
연 구 원 : 노 용 길
이 철 호
강 언 종
김 광 석
김 이 청
손 재 경
이 배 익
협동연구기관명 : 국립전북대학교
협동연구책임자 : 김 익 수
연 구 원 : 이 완 옥
윤 창 호

여　　백

요 약 문

Ⅰ. 제 목

담수에서의 은어 종묘생산 기술개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 중요성

은어 (*Plecoglossus altivelis*)는 연어科(Salmonidae)의 소형 담수어로 치어기에 바다에서 하천으로 소상하여 성장한 후 산란하며, 부화된 자어는 바다에서 치어기까지 성장한 후 다시 하천으로 소상하는 생활사를 가진다. 이 종은 우리나라를 비롯하여 일본, 중국 등의 대륙 연안부에 분포하며, 맛이 담백하고 특유의 향기를 함유하고 있어 일본 및 우리 나라에서 예로부터 많이 식용으로 이용되어 왔으나 최근 공업화와 다목적 댐 축조 등 환경 조건의 변화에 따라 자연자원이 감소하고 있어 양식의 필요성이 요구되고 있다.

일본의 경우 1940년대부터 양식이 시작되어 은어 성숙과 광주기의 관계, 은어 치어 수송시 수질변화와 생존에 대한 영향, 못양식과 채란 등에 대한 연구보고를 비롯하여 염색체 공학에 의한 은어의 3배체까지 연구되어 은어 양식에 대한 기술 축적이 많은 편이다.

우리 나라에서는 1977년에야 자연산 종묘를 식용어까지 양성하는 시험을 시작으로 양성, 성숙억제, 인공채란 등에 대한 시험이 수행되어 양식에 대한 기초가 마련되었고 최근에는 국립수산진흥원 종묘배양장에서 은어 종묘를 민간양식장에 분양 보급함으로서 은어 양식이 보편화되었다.

한편 과거의 은어 양식방법은 강에서 산란·부화된 자어가 바다로 내려가 어

느 정도 성장하여 봄에 다시 강으로 소상할 때 채포한 종묘로 양식하였지만 지금은 대부분 인공종묘에 의해 양식이 이루어지고 있으나 다음과 같은 애로사항이 있다.

즉, 은어 종묘 생산은 담수에서 사육한 친어에서 수정난을 얻어 담수에서 부화시킨 후 바다물을 이용 치어까지 키우고 이를 다시 담수에 순치시켜 양식용 종묘로 이용하고 있는 형편이다. 한편 바다에 가까운 곳에서는 식용어 사육을 위한 담수원 확보가 어려우므로 종묘 생산은 바닷가에서 이루어지지만 생산한 종묘를 이용한 실제 은어 양식은 대부분 내륙지방에서 이루어져 채란과 사육은 내륙에서 그리고 인공종묘는 바닷가에서 실시되는 문제점을 안고 있다.

따라서 현지 양어가들이 직접 바다물을 이용하여 종묘를 생산할 수 없으므로 종묘 수급이 불안정하고, 종묘 생산지로부터 양성지까지 수송하는 추가비용이 들며, 수송중 폐사로 인한 피해 등 종묘수급에 많은 어려움이 있는 실정이므로 담수산 먹이생물을 이용한 담수에서의 은어 종묘생산은 경제적으로 매우 중요한 의미를 가진다.

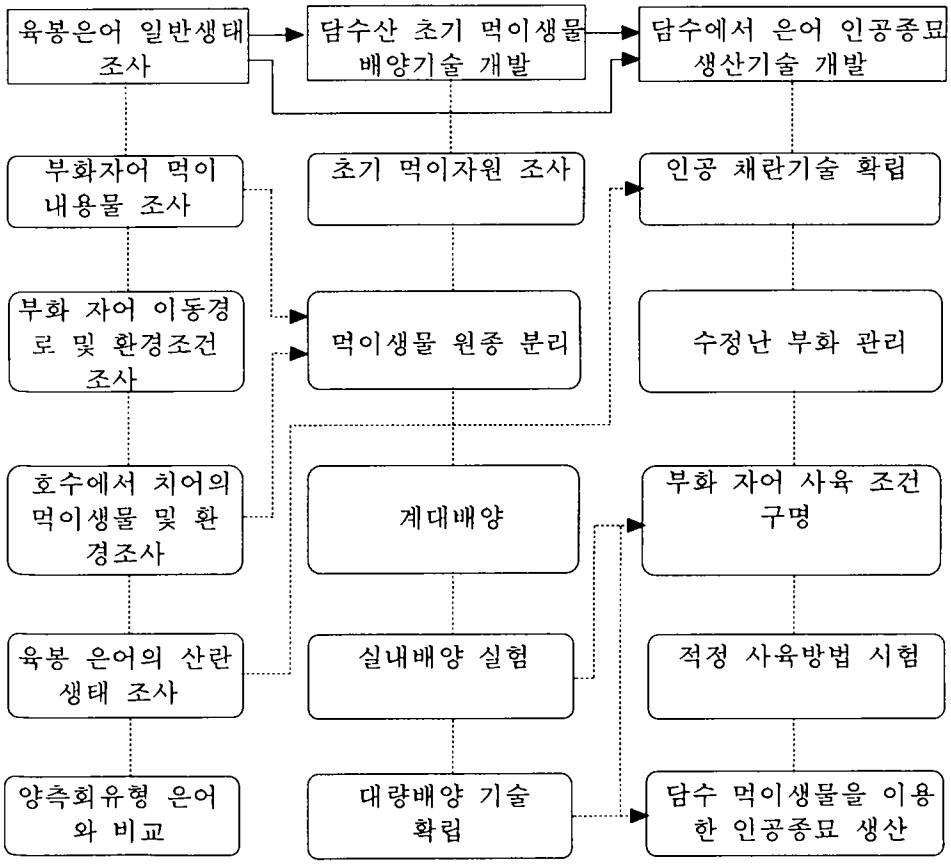
본 연구소에서는 수차에 걸쳐 경북 안동호와 경남 진양호에서 이전에 이식방류한 은어가 호수에 육봉화되어 바다로 회유하지 않고도 호수의 유입부 하천에서 자연산란을 하는 사실을 확인한 바, 이러한 육봉 은어의 생태에 대한 이해와 담수산 먹이생물의 배양이 가능하다면 담수에서 은어 종묘를 인공으로 생산할 수 있으므로 내수면 양어가의 소득에 크게 이바지할 것으로 기대되어 본 연구를 시작하게 되었다.

한편 해산어 양식에는 해산 윤충인 *Brachionus plicatilis*를 이용하여 실내에서 대량으로 종묘를 생산하고 있는 반면 담수어 양어에 있어서는 아직도 야외사육지에 소독과 시비를 거친 후 자연발생하는 먹이생물 계열을 이용하여 인공종묘를 생산하고 있어 고부가 가치를 가지는 어종의 양식이 다양화되지 못하고 있는 바, 본 연구 결과 얻어질 것으로 예상되는 담수산 먹이생물 배양기술은 은

어 종묘 생산뿐만 아니라 다른 담수어 양식에도 중요하게 이용되리라 기대되며, 수산 선진국인 일본 등지에서도 아직 개발되지 않았으므로 고부가가치를 가질 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 육봉화된 은어에 대한 조사로부터 양식에 필요한 자료를 얻어내고, 한편으로는 종묘생산에 필요한 먹이생물의 개발을 병행하면서 담수에서 종묘까지 사육기술을 개발하는 일련의 연계된 과정으로 구성되었으므로 다음과 같은 내용에 대해 중점을 두고 2년에 걸쳐 연차적으로 세부화되도록 계획되었다.



Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

육봉 은어의 일반생태 조사

안동호산 육봉 은어의 생태학적인 조사를 위하여 안동호의 9개지점과 동해와 남해로 유입되는 6개의 하천에서 1995년 11월부터 1997년 11월까지 채집된 표본을 중심으로 분석하였다.

안동호에 어류는 육봉은어를 포함하여 4목 12과 30속 36종으로 참몰개 *Squalidus chankaensis tsuchigae* (22.8%), 피라미 *Zacco platypus* (19.7%), 은어 *Plecoglossus altivelis* (11.9%), 돌마자 *Microphysogobio yaluensis* (7.4%) 및 치리 *Hemiculter eigenmanni* (5.9%) 등이 우세하게 출현하였다.

조사결과, 4월 말부터 7월까지 안동호내의 은어 치어집단은 계류로 소상하는데 이들 치어집단은 부착조류를 선택적으로 섭식하면서 산란기인 9월까지 최고 체장범위 169.4㎜까지 성장하였다.

육봉은어와 자연집단의 은어는 형태적 차이는 나타나지 않아, 현재까지는 안동호산 은어와 자연 집단의 은어 사이에서 형태적으로 분화되지 않은 것으로 사료된다.

부화직후의 전기자어(전장 6.4㎜)는 입은 개방되어 있으나, 형성된 직선형의 소화관은 폐쇄되어 있었다. 전장 7.1㎜의 개체는 난황이 완전히 흡수되었으나 항문은 폐쇄되었으며, 전장 12.8㎜의 개체는 항문이 개방된 상태였으나, 호흡기관에 해당되는 새엽과 새파는 아직 발달되지 않았다. 전장 16.0㎜의 개체는 척색말단이 구부러졌고 등지느러미 기조원기가 형성되었다. 18.1㎜의 개체는 등지느러미와 뒷지느러미의 기조수가 각각 9개씩이었고, 꼬리지느러미의 기조수는 18개이었다. 체장 42.8㎜의 개체는 기름지느러미가 뚜렷하게 형성되었고, 두정부와 새개부에 흑색소포가 집중되며 체측 중앙부에 흑색소포가 침적되어 반문

열이 나타났다.

난황이 완전히 흡수되기 전의 전기자어기인 전장 6.4㎜의 개체는 2개의 미동정 동물질 포자만을 섭식하였다. 난황이 완전히 흡수된 후부터 모든 지느러미의 기조수가 정수에 이르기까지의 후기자어기는 요각류, 요각류의 유생, 및 약간의 윤충류를 주로 섭식하였다. 치어기는 요각류(57.7%), 물벼룩류(29.1%) 및 깔다구류(12.4%)를 주로 섭식하는 것으로 확인되었고 전장 71~80㎜ 범위의 성체(미성숙)개체들은 대부분 동물성 먹이를 섭식하면서 일부 개체에서 부착조류를 섭식하였다. 전장 81㎜ 이상의 개체는 동물성 먹이는 섭식하지 않고 *Synedra, Fragilaris, Navicula, Cymbella* 및 *Pinnularia* 등의 규조류를 섭식하였다. 이러한 현상은 안동호산 육봉집단 뿐만 아니라, 자연상태의 은어에서도 동일한 양상으로 나타났으며, 이는 치계가 원추치에서 즐상치로 변화되었기 때문으로 사료된다.

본 조사에서 확인된 육봉은어의 산란장은 안동댐에서 상류로 37km떨어졌으며, 도산서원기점으로부터 상류방향으로 3.5㎞지점사이의 하천으로 유속은 10~50㎝/sec, 하폭은 1.0~4.5m, 수심은 5.0~45cm, 하상은 자갈과 돌이었다. 산란은 주로 오후 8~12시 사이에 하는 것으로 확인되었다.

담수산 먹이생물 배양 기술 개발

담수산 윤충의 대량배양 기술 개발을 위해 진해내수면연구소 야외사육지에서 micro-pipette을 이용하여 *Brachionus calyciflorus*를 분리하여, 피갑의 크기, 포란 수 등을 조사하였고, 온도별 배양시험, 대량배양 시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

분리한 담수산 윤충인 *B. calyciflorus*의 피갑의 크기는 두 가지로 S-type은 길이가 평균 141.0±16.7㎛(110.1~182.5, n=44), 폭이 평균 107.0±20.3㎛(75.3~152.3, n=44)이었으며, L-type은 길이가 262.8±15.2㎛(234.4~288.6, n=20), 폭이

182.6±13.4(159.8~207.0)이었다.

배양시 개체당 포란수는 1개에서 11개까지 다양하였으며, 난의 장경은 대형난과 소형난으로 구분되었는데 S-type의 경우 1~2개 포란한 경우 장경 평균 범위가 85.7~107.8㎛이었고 3개 이상 포란한 경우는 장경 평균의 범위가 55.1~65.2㎛이었다. 한편 L-type의 경우 1~3개 포란한 경우 장경 평균 범위는 104.9~121.8㎛로 대형이었고, 4개 이상 포란한 경우 62.8~89.1㎛ 범위로 소형난이지만 S-type의 난보다 비교적 큰 편이었다.

온도별 시험구에서 최대 밀도에 도달한 시기는 4일째로 성장이 가장 양호한 시험구는 25°C 시험구로 평균 배양 밀도 583.9개체/ml로 최대이었으며, 22°C 시험구는 배양 밀도 421.3개체/ml로 최대 밀도에 달하였으며, 28°C 시험구의 경우 배양 1일 후 평균 4.7개체/ml로 급격히 감소한 후 3일째에는 3개체/ml 이하로 감소하여 성장이 극히 불량하여 배양조건으로 부적합하였다.

일간 개체군 증가율은 22°C 시험구의 경우 배양 2일째에 가장 높아 0.802이었고 다시 낮아진 다음 최대 밀도에 도달했던 4일째에 0.762로 회복되었으며, 25°C 시험구의 경우 배양 3일째에 0.964까지 점차 높아진 후 감퇴되었다.

한편 암컷 개체당 포란수는 22°C 시험구에서는 배양 3일째에 0.614로 가장 높았으며, 25°C 시험구의 경우 배양 4일째에 0.772로 가장 높았다.

700ℓ 배양액으로 실시한 대량배양 방법 중 일괄수확(batch culture) 시험구의 1차시험(먹이량: 농축클로렐라 6×10^6세포/ml/일과 유지효모 0.06g/ℓ/일, 윤충 20개체/ml 접종)은 접종후 3일째에 접종일 대비 6.5배 개체밀도가 증가한 130개체/ml로 증가하여 9천1백만개체를 수확할 수 있었다. 한편 먹이량을 2배로 한 2차시험에서는 접종 후 2일째에 접종일보다 18.4배 개체밀도가 증가한 368개체/ml로 2억5천7백만 개체를 수확하였다.

연속수확(semi-continuous culture) 시험구의 1차시험(먹이량: 농축클로렐라 6×10^6세포/ml/일과 유지효모 0.06g/ℓ/일, 윤충 20개체/ml 접종)에서는 접종 후

2일째부터 4일째까지 2천7백만개체~4천2백만개체/일을 연속수확할 수 있어 3일간 총 1억5백만 개체를 수확할 수 있었으며, 배양 후 5일째에는 1억1천만개체를 일괄수확하여 시험기간 중 모두 2억1천5백만개체를 수확할 수 있었다.

연속수확 시험구의 먹이량을 1차시험에 비해 2배로 증가시킨 2차시험 결과 접종 후 2일째부터 4일째까지 6천1백만개체~7천7백만개체/일을 연속수확하여 3일간 총 2억1천8백만개체를 수확하였으며, 배양 후 5일째에는 1억5천2백만개체를 일괄수확할 수 있어서 시험기간 중 모두 3억7천만개체를 수확할 수 있었다.

본 시험결과 생산개체수 및 윤충 백만개체를 생산하는데 드는 먹이가격을 고려하면 일괄수확시험구의 2차시험이 적은 비용으로 많은 윤충이 생산되어지는 것으로 나타났으나 적은 양의 담수 윤충이 연속적으로 필요할 때에는 연속수확 시험구의 1차 시험결과가 적합할 것으로 나타나 담수산 윤충 대량배양시 적정 사육방법은 필요한 윤충 개체수를 고려해 선택해야 할 것으로 사료되었다.

이상의 결과로부터 본 시험에서 순수분리하여 원종 개발한 담수 윤충인 *B. calyciflorus*의 배양시 적정 온도는 25°C, 대량 배양시 적정 먹이 투여량은 농축 클로렐라 $6\sim12\times10^6$세포/ml/일과 유지효모 $0.4\sim1.0g/10^6$ 윤충/일로 추정되어졌다.

담수에서 은어 인공종묘 생산기술 개발

담수에서의 은어 인공종묘 생산기술 개발을 위하여 안동호산 육봉 은어의 월별 성숙도 조사, 육봉형과 양식산 은어의 인공채란 및 부화상태 비교, 담수 순치 조건에 따른 부화자어 예비사육시험, 자연산 치어 채집과 실내사육 및 인공채란, 부화 자치어의 적정 사육조건을 위한 먹이계열별 및 밀도별 생산시험 등을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

안동호산 육봉 은어의 산란기는 8월말에서 9월말까지 길게 형성되었으며 산란기간 중의 생식소숙도지수(GSI)는 암컷이 16.152~16.535, 수컷은 6.716~

9.640이었다.

산란기인 9월 중순에 안동호 현지에서 채포한 육봉 은어 친어의 체중은 암컷이 15.2~44.3g 범위, 수컷은 23.4~30.9g 범위로서 양식산으로부터 인공 채란한 은어 친어의 암컷 체중 68.7~98.2g, 수컷 57.2~104.6g 보다 암·수 모두 작은 개체임에도 불구하고 성숙되어 인공채란이 가능하였다.

육봉 은어에서 인공 채란한 알의 수정율은 84.8~100%, 발안율은 52.9~90.0%로서 양식산 은어에서 채란한 알의 수정율 60.2~78.8%, 발안율 20.5~54.2%보다 양호하게 나타났다. 그러나 부화율은 육봉 은어가 5.1~10.2%, 양식산 은어는 6.3~19.4%로 비슷한 경향이었다.

초기 먹이생물인 담수산 윤충(*Brachionus calyciflorus*)을 이용하여 부화 자어 예비사육시험으로 담수구와 기수구(Cl 3‰) 그리고 기수구에서 사육하다가 부화 20, 40, 60일 후에 직접 담수구로 전환하여 부화 후 100일까지 사육한 결과 기수구, 담수구, 20일 담수구, 40일 담수구는 부화 80일 이내에 모두 폐사하였고 부화 60일 후 담수로 전환한 시험구만 부화 후 100일까지 2마리가 생존하여 평균 전장 33.05±1.93mm로 성장하였다. 대량 폐사의 주요 원인은 기포병이었고, 대량폐사 이전 부화 후 60일째 까지의 성장은 기수구나 담수구 그리고 기수구에서 사육하다가 담수구로 전환한 시험구에서 뚜렷한 차이는 없었다.

부화 자어를 담수에서 순환 여과식 수조 사육과 유수식 수조 사육으로 나누어서 부화 100일째까지 사육시험 결과 유수식 사육은 부화 12일째, 평균 전장 11.86±1.42mm까지 성장 후 모두 폐사하였다. 폐사원인은 수조 내벽이 밝은 청록색으로 부화 자어가 수조 내벽을 향하여 붙어 있는 상태에서 먹이를 먹지 않고 소화관이 비어있는 상태로 모두 폐사되어 수조 내벽은 빛이 반사되지 않는 비교적 어두운 색깔을 선택하여야 할 것으로 사료되었다. 순환여과식 수조 사육은 부화 후 100일까지 12.6%가 생존하였으며 평균 전장 61.21±11.76mm, 평균 체중은 1.37±0.81g으로서 종묘분양이 가능한 크기로 성장하여 담수에서의

대한민국국회도서관장서

은어 인공종묘 생산 가능성을 보였다.

하천산, 양식산 및 육봉 은어 치어를 인공채란 가능시기까지 야외 사육지에서 사육 시험을 실시한 결과 하천산은 평균 체중 66.45±7.32g, 양식산은 평균 체중 88.91±17.10g, 육봉 은어는 평균 체중 78.83±6.05g으로 성장하였을 때 인공 채란이 가능하였으며 채란 가능시기까지의 생존율은 양식산 은어가 92.0%, 육봉 은어는 83.3%인데 비해 하천산 은어는 66.0%로서 상대적으로 매우 낮았으며 자연에서 치어를 채집하여 사육한 하천산과 육봉형 은어의 채란일자는 육봉 은어가 9월 23일로서 하천산 은어의 10월 20일보다 약 1개월 가량 빨리 성숙되었다.

하천산, 양식산, 육봉형 은어의 인공 수정난을 수온 15, 18, 21°C의 조건에서 각각 부화율을 비교한 결과 모두 수온 21°C의 조건에서 부화율이 양호하게 나타났으며 하천산이 68.0%, 양식산은 69.0% 그리고 육봉형이 72.4%로서 가장 좋았다.

하천산, 양식산, 육봉 은어 자어를 담수에서 부화 후 90일까지 비교사육하였을 때의 성장은 평균 전장이 모두 32.17~32.83mm 범위, 생존율은 6.0~6.7% 범위로 뚜렷한 차이가 없었다.

담수에서의 은어 인공종묘 생산시 초기 먹이생물인 담수산 윤충의 적정 공급기간은 부화 직후부터 80일간이 가장 양호하였다. 윤충을 부화 후 7일까지는 2개체/ml, 부화 10일까지 5개체/ml, 부화 20일까지 8개체/ml, 부화 80일까지는 10개체/ml로 1일 2회 공급하고 부화 90일까지 *Artemia*를 1개체/ml로 1일 2회 그리고 인공사료를 부화 20일부터 부화 100일까지 공급하여 사육시 부화 자어는 평균 전장 36.68±2.52mm로 성장하였으며 생존율은 13.7%이었다.

담수에서 은어 인공종묘 생산시 부화자어의 적정 수용밀도는 m^3당 15,000마리가 가장 적당하였는데 부화 후 100일까지 사육시 평균 체중은 0.78±0.24g으로 성장하였으며 생존율은 8.6%이었고, m^3당 생산마리수가 1,290마리, 생산 총

중량은 m^3당 1,006.2g이었다.

2. 활용에 대한 건의

담수산 초기 먹이생물의 배양 기술이 개발됨에 따라 현재 초기 먹이생물의 대량확보 실패로 양식이 이루어지지 않고 있는 내수면 고부가 양식종인 담수산 진주조개 등 담수산 패류 양식이나 미꾸라지 등 어류의 양식기술 개발을 촉진시키게 되어 양식품종의 다양화와 더불어 생산성 향상에 의한 국제 경쟁력이 강화되어 수입개방화에 적극적으로 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 연구 개발된 담수산 먹이생물을 이용하여 은어를 육봉화시키는 담수에서 인공종묘 생산기술은 앞으로 종묘 생산지를 바닷가의 배양장에서 내륙지로 확대시킬 수 있을 뿐만 아니라 종묘 수급도 원활히 이루어지게 하므로 내수면 양식어민의 좋은 소득원이 될 수 있을 것이다.

앞으로 담수산 먹이생물의 배양기술과 담수에서의 인공종묘 생산기술을 양식어민에게 적극적으로 지도하고 내수면 관련기관 등에 기술이전을 실시하여 양식의 생산성 향상 및 소득 증대를 도모하는 한편 연구방법 및 결과를 대내외적으로 발표하므로서 다른 양식품종의 기술개발에 응용될 수 있도록 할 예정이다.

아울러 육봉 은어의 일반 생태조사에서 얻어진 갖가지 생물학적 내용은 수산양식 또는 자원 보호를 위한 기초자료로 활용가능토록 모든 자료를 학계에 보고하여 다른 응용분야에서 이용할 수 있도록 할 계획이다.

SUMMARY

Ecological survey on the land-locked sweet fish

Ecological surveys on the land-locked sweetfish, *Plecoglossus altiveius* were conducted at the Andong Dam Reservoir and it was compared to six population from natural streams of Korea in 1995~1997.

The fish fauna of the Andong Dam Reservoir were composed of 36 species, 30 genera and 12 familes in 4 orders. It was confirmed that the dorminant species in Andong Dam Reservoir were *Squalidus chankaensis tsuchigae* (22.8%), *Zacco platypus* (19.7%), *Plecoglossus altivelis* (11.9%), *Microphysogobio yaluensis* (7.4%) and *Hemiculter eigenmanni* (5.9%).

The young sweet fish occurred from the Andong Dam Reservoir in the late of April to July moved to the stream from the lake of Andong Dam Reservoir. The sweet fish populations of the streams feed on selectively the aquatic algae, and then they attained 169.4mm in sandard length untill September, spawning season.

There are no significant differences between the land-locked populations and natural stream populations in the several morphometric chracters investigated.

Although the mouth of the hatched larva (total length, 6.4mm) was opened, the straight digestive system of them were closed. And the yolk of larva of 7.1mm in total length was absorbed, however, the anus of them were closed. In the larva of 12.8mm in total length, the anus was opened and the gill was also developed. In the larva of 16mm in total length, the terminal of

notochord was curved up, and the origin of dorsal rays was formed.

When the larva attained 18mm in total length, they had 9 rays in the dorsal and anal fin. And when the larva attained 48.2mm in total length, adipose fin was explictly formed. The band with the compacted chromatosphore was appeared in midlateral region of the body.

The pre-larva of 6.4mm in total length without yolk sac fed on the two animal cysts only. After the absorption of the yolk, the post-larva fed on the copepods, the nauplis of copepods and rotifers.

The immature fishes of 71.0~80.0mm in total length mainly fed on the animal organisms and some aquatic algae. The immature fishes more than 81mm in total length did not feed on the animal organisms, but only diatoms such as *Synedra, Fragilaris, Navicula, Cymbella* and *Pinnularia*.

The change pattern of food habit were same in the age groups of both the natural populations and land-locked populations. And It was also accordance with the change pattern of dentary system from conical teeth to comb-like teeth.

The spawing site of the land-locked sweet fish in Andong Dam Reservoir was found from Dosanseowon to 3.5km of the upper stream. It was remarked that the land-locked sweet fish were spawned at PM 8~12 in spawning sites.

Development of techniques for culture the freshwater rotifer

Although the first food organism in aquaculture for fish larvae has important meaning in its nutrient aspect and the size that can be eaten by such a small fish, the culture method is not yet developed in the freshwater

fish farming. Therefore, the seedling production has very complex in its procedure and low efficiency till now.

This study was conducted to define the optimal conditions for culture of the freshwater rotifer to feed the larvae of sweet fish. We isolated the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*, which is belonging to same genus with marine rotifers used in mariculture recently, from the fish farm of Chinhae Inland Fisheries Research Institute. In this paper, the authors presented some biological information of the rotifer needed for culture, the result of incubation experiment under the various controlled temperature, and some culturing methods that can be used in mass culture. The results are as follows;

The size of the lorica of the rotifer was divided into two groups; the length and the width for the S-type was 141.0±16.7㎛(110.1~182.5, n=44) and 107.0±20.3㎛(75.3~152.3, n=44), and those for the L-type was 262.8±15.2㎛(234.4~288.6, n=20) and 182.6±13.4(159.8~207.0).

The egg number being attached on the female was various from 1 to 11 when it was under the culture condition. Egg type was divided into two groups, large and small one. Large and small egg was measured in its major axis as 85.7~107.8㎛ and 55.1~65.2㎛ for S-type, and 104.9~121.8㎛ and 62.8~89.1㎛ for L-type.

In the culture experiment, the maximum density was reached at 4th day after incubation. The density was 583.9 rotifers/ml for 25°C-exp. group and 421.3 rotifers/ml for 22°C-exp. group respectively. In the case of 28°C- exp. group, it was suddenly decreased into 4.7 rotifers/ml at 1st day after incubation and did not recovered to its original density.

The maximum rate of increase of population per day was reached 0.802 for 22°C-exp. group at day 2 and fluctuated thereafter. For 25°C-exp. group it increased to 0.964 at day 3 day of incubation and then declined. And the egg ratio of female was reached the maximum of 0.614 for 22°C- at 3rd day and 0.772 for 25°C-exp. group at 4th day of incubation.

It was considered that the chief cause on so high increase rate of population size was the presence of individuals with more than 3 eggs and it was maximum at 10.7% and 23.1% among individuals with eggs for 22°C- and 25°C-exp. group at 4th day of incubation.

Some other experiments on the freshwater rotifer which was separated in this study were conducted to define the optimal method for mass culture. In this experiment on mass culture, the initial density was 20 ind./ml, the water temperature for culture was 25°C, and the volume of culture was 700 ℓ.

The experiment were divided into two parts based on the method of culture; batch and semi-continuous culture. And each parts were conducted twice by their feeding amount.

In the first experiment on batch culture(feed amount; concentrated freshwater *Chlorella* at the density of 6×10^6 cell/ml/day and oil-enriched yeast 0.06g/ℓ/day) the density of rotifer increased to 130 ind./ml at 3 day after incubation and the rotifers harvested was 9.1×10^7. In the second experiment on batch culture (feed amount; concentrated freshwater *Chlorella* at the density of 1.2×10^7 cell/ml/day and oil-enriched yeast 0.12g/ℓ/day) the density of rotifer increased to 368 ind./ml at 2 day after incubation and the rotifers harvested was 2.57×10^8.

In the first experiment on semi-continuous culture (feed amount; concen-

trated freshwater *Chlorella* at the density of 6×10^6 cell/ml/day and oil-enriched yeast 0.06g/ℓ/day) harvesting started 2 days after incubation and total rotifers harvested was 2.15×10^8 individuals during 5 days of culture. In the first experiment on semi-continuous culture (feed amount; concentrated freshwater *Chlorella* at the density of 1.2×10^7 cell/ml/day and oil-enriched yeast 0.06g/ℓ/day) harvesting started 2 days after incubation and total rotifers harvested was 3.70×10^8 individuals during 5 days of culture.

The maximum rotifer production and lower feed cost was found in second experiment on batch culture and the first experiment on semi-continuous culture had good result when small amount of rotifers is needed continuously.

It is resulted that the amount feed for mass culture of rotifer is 6×10^6~1.2×10^7 *Chlorella*/ml/day and 0.06~0.12g oil-enriched yeast/ml/day.

Seedling production of sweet fish in freshwater

In order to develop the techniques for seedling production of *P. altivelis* in freshwater we conducted some research on the monthly change of the GSI of land-locked sweet fish from Andong Lake, experiments on artificial spawning of land-locked and cultured sweet fish, adequate cultural condition for hatched larvae, collection of natural seedlings and artificial spawning after indoor culture, and the seedling production according to various schedule feeding first food organism and rearing density to define the adequate conditions for larviculture in freshwater. The result are as follows:

The spawning season for land-locked sweet fish from Andong Lake was the end of Aug. to the end of Sep. The gonadosomatic index (GSI) of female

was 16.152~16.535 and 6.716~9.640 for male.

The body weight of female of land-locked sweet fish collected from Andong Lake during spawning season was 15.2~44.3g and 23.4~30.9g for male. Though the size of land-locked sweet fish was somewhat smaller than that of cultured fish, 68.7~98.2g for female and 57.2~104.6g for male, the artificial spawning was possible.

The fertilization rate of eggs stripped from land-locked was 84.8~100% and the rate of eyed embryo was 52.9~90.0%. It was better than that of data 60.2~78.8% and 20.5~54.2% for the fertilized and eyed embryo respectively from cultured one. But the hatching rate was similar between the land-locked and cultured one as 5.1~10.2% and 6.3~19.4% respectively.

As a preliminary cultural experiment the authors reared the larvae in pure freshwater, brackish water containing 3‰ of Cl, and freshwater transfered from brackish water culture 20, 40, 60 days after hatching to 100 days after hatching feeding freshwater rotifers, *B. calyciflorus*. All the larvae except the one transfered from brackish water 60 days after hatching were died within 80 days after hatching. 2 survivors to 100 days after hatching were from the one trnasfered from brackish water 60 days after hatching and the mean total length is 33.05±1.93mm. We think the very small air bubbles ingested by the larvae is the main cause of mass mortality and can't find other differences in growth under various group of experiment.

To comparing the cultural method we conducted the experiment on small water recirculating system and continous flowing of water system for 100 days. In the continous flowing of water system all the larvae was died at 12 day after culture and the mean total length was 11.86±1.42mm. We

considered that bright color of the inner wall of aquarium was the main cause of the mass mortality, causing the larval movement to the wall and failing to fed rotifers. In the water recirculating system the survival rate was 12.6% and the mean total length was 61.21±11.76mm and mean body weight was 1.37±0.81g. This result showed the possibility that the production of seedlings in freshwater can be possible.

We cultured the sweet fishes from amphidromous, cultured and land-locked in outdoor to spawning season to compare the quality as a parent using in further experiment on seedling production. The mean body weight of amphidromous one was reached to 66.45±7.32g, cultured one to 88.91±17.10g, and land-locked one to 78.83±6.05g, when it was possible to artificial spawning. And the survival rate was 92.0% for cultured, 83.3% for land-locked, and 66.0% for amphidromous. The survival rate of amphidromous one was so lower comparing to others, and the date for artificial spawning in land-locked fish was 23, Sep., about 1 month prior to others.

In the result of comparison of the hatching rates among eggs from amphidromous, cultured, and land-locked under the temperature 15, 18, 21°C, the best hatching rate was attained under 21°C condition as 68.0%, 69.0%, and 72.4% respectively.

There was almost no differences in the growth among the larvae of amphidromous, cultured and land-locked form cultured in freshwater for 90 days. The mean total length reached to 32.17~32.83mm and the mean survival rates was 6.0~6.7%.

The best result of seedling production appeared in the group feeding freshwater rotifers at least for 80 days after hatching. In this feeding

schedule freshwater rotifers was supplied at the density of 2 rotifers/ml for 7 days after hatching, and then 5 rotifers/ml for 3 days, 8 rotifers/ml for 10 days, 10 rotifers/ml for 60 days. Nauplius of brine shrimp was supplied for 10 days at the density of 1 ind./ml after rotifers. Among the period artificial feed was supplied 20 days to 100 days after hatching. All the supplying was done twice a day and the larvae reached to 36.68±2.52mm in its mean total length with survival rates of 13.7% for the 100 days culture.

It was appeared that the adequate density of the larvae is 15,000 ind./m^3. The mean weight of the larvae produced at above density cultured for 100 days was 0.78±0.24g with survival rates of 8.6%. Total number and weight of larvae produced was 1,290 and 1,006.2g per squameter respectively.

CONTENTS

Summary 13

Contents 21

List of tables 22

List of figures and plates 25

Chapter 1. Introduction 31

Chapter 2. Ecological survey on the land-locked sweet fish 35

Chapter 3. Development of techniques for culture the freshwater rotifer 79

Chapter 4. Seedling production of sweet fish in freshwater 117

References 161

List of Tables

Table 1. Lists of the collection sites at An-dong Dam 36

Table 2. Lists of collection schedule 38

Table 3. Environmental factors of the surveyed sites 43

Table 4. Fish species compositons investigated at Andong-Dam from October 1995 to August 1997 45

Table 5. Number of individuals and sizes of *Plecoglossus altivelis* at the surveyed sites in Andong-Dam from 1995 to 1997 49

Table 6. Number of individuals and sizes of *P. altivelis* about the collected dates in Andong-Dam from 1995 to 1997 50

Table 7. Comparisons of morphometric and meristic characters of *P. altivelis* beteen the land-locked population from Andong-Dam and the population of natural stream. 53

Table 8. Alimentary contents of *P. altivelis* by the body size in Andong-Dam from Korea 58

Table 9. Size of alimentary contents of *P. altivelis* by total length at Andong-Dam 60

Table 10a. Alimentary contents of the immature fishes and adult fishes in Andong-Dam from Korea 63

Table 10b. Altimentary contents of the adult fishes on the several collecting sites from Korea 64

Table 11. Relationships of diet and teeth form of immatured land-locked *P. altivelis* from Korea 66

Table 12. Variations in total length and body weigth at Andong-Dam from Korea 66

Table 13. Results of larva of *P. altivelis* collected at the each sampling nets 71

Table 14. List of phytoplankton collected at Andong Lake from October, 1995 to April, 1996 89

Table 15. Macrofauna of the lake Andong from October, 1995 to April, 1996 93

Table 16. The lorica size of the rotifer *B. calyciflorus* isolated from the fish farm of Chinhae Inland Fisheries Research Institute(CIFRI). n=86 95

Table 17. The egg size group distinguished by their number of eggs deposited on each indivudual rotifer and those of resting egg of L- and S-type of *B. calyciflorus*. Unit; ㎛. 97

Table 18. Daily change of growth rate and egg rate for 5 days of culture 103

Table 19. The change of the number of rotifers harvested during the semi-continuous culture 114

Table 20. The feed cost for mass culture of rotifer, *B. calyciflorus*, during batch and semi-continuous culture 115

Table 21. Water quality parameters monitored during the preliminary culture of larvae 125

Table 22. Water quality parameters monitored during the culture period of larviculture to define adequate conditions for larvae 128

Table 23. Water quality parameters monitored during the density-dependent

culture 129
Table 24. Number of specimens of land-locked *P. altivelis* collected monthly at Andong Lake. See text for the collection sites 130
Table 25. The size of parents used in egg stripping 137
Table 26. The result of artificail spawning and hatching from land-locked and cultured *P. altivelis* 138
Table 27. The growth of larvae of *P. altivelis* in brackish and freshwater during culture period 140
Table 28. The growth and survival rate of larvae of *P. altivelis* rearing in water recirculating system 144
Table 29. The result of growth experiment of amphidromous, cultured, and land-locked P. *altivelis* during culture 147
Table 30. The result of ingestion of larvae on rotifers supplied at the density of 15 rotifers/ml. Number in parenthesis shows the density of rotifers which are not fed. All the data are means. 154
Table 31. The result of production of seedlings under various density of culture 158
Table 32. The summary of seedling production of *P. altivelis* according to various aurthors 160

List of Figures and Plates

Fig. 1. Collection sites for land-locked *P. altivelis* at Andong-Dam. See the text for the number. 37

Fig. 2. Collection sites for natural population from Korea. See the text for the number. 39

Fig. 3. External morphology of the larvae of *P. altivelis* at Andong-Dam from Korea. 56

Fig. 4. Dendrogram of alimentary contents of the larva and juvenile of land-locked *P. altivelus* at Andong-Dam from Korea. 59

Fig. 5. Dendrogram of the alimentary contents of the adult of *P. altivelus* at Andong-Dam and natural stream from Korea. 62

Fig. 6. Appearance ration of pre-larva in spawning site at Andong-Dam from Korea. 69

Fig. 7. Dendrogram of migration route and spawning site of the land-locked *P. altivelis* at Andong-Dam from Korea. 70

Fig. 8. Diagram showing the procedures for the isolation and clonal culture of rotifer. 82

Fig. 9. Diagram showing the procedures of clonal and indoor culture. 84

Fig. 10. Procedures of semi-continuous culture. 88

Fig. 11. The change of rotifers per well during culture under various temperature. 99

Fig. 12. The result of preliminary experiment showing change of pop-

ulation density of *B. calyciflorus* during culture for 5 days. ····· 100
Fig. 13. The change of population density of *B. calyciflorus* during culture for 7 days. ····· 101
Fig. 14. Daily change of % individual of *B. calyciflorus* with egg(s) during culture for 7 days. ····· 104
Fig. 15. The change of % individuals of *B. calyciflorus* with more than 3 eggs during culture for 7 days. ····· 106
Fig. 16. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on first batch culture. ····· 108
Fig. 17. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on second batch culture. ····· 109
Fig. 18. Total amount of rotifers harvested during the culture. ····· 111
Fig. 19. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on first semi-continuous culture. ····· 112
Fig. 20. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on second semi-continuous culture. ····· 113
Fig. 21. Practical process for mass culture of the freshwater rotifer, *B. calyciflorus*. A; batch culture, B; semi-continuous culture. ····· 116
Fig. 22. Collection sites for *P. altivelis* at Andong Lake and near streams flowing into the Lake. St. 1; Chujin-ri, Yean-myon, Andong-si, St. 2; Punchon-ri, Tosan-myon, Andong-si, St. 3; Togye-ri, Tosan-myon, Andong-si, St. 4; Kwanjang-ri, Sangun-myon, Andong-si, Tochon-ri, Myongho-myon, Andong-si. ····· 120
Fig. 23. Feeding schedule for the larval and juvenile sweet fish. ····· 123

Fig. 24. Monthly change of GSI of land-locked and cultured *P. altivelis*. 132

Fig. 25. Monthly change of GSI of land-locked female *P. altivelis* from Andong Lake. 134

Fig. 26. Monthly change of GSI of land-locked male *P. altivelis* from Andong Lake. 135

Fig. 27. Hatching rate of eggs stripped from amphidromous, reared, and land-locked *P. altivelis* under controlled temperature. 149

Fig. 28. The comparison of growth of larvae of amphidromous, cultured, and land-locked *P. altivelis* 151

Fig. 29. The comparison of survival rate of larvae of amphidromous, cultured, and land-locked *P. altivelis* 152

Fig. 30. The result of growth from experiment on various feeding schesule. 155

Fig. 31. The result of survival rate from experiment on various feeding schesule. 156

Plate 1. A; *Cyprinus carpio*, B; *Carassius auratus*, C; *Acanthorhodeus assumussi*, D; *Acheilognathus koreensis* 72

Plate 2. A; *Coreoleuciscus splendidus*, B; *Pseudorasbora parva*, C; *Pungtungia herzi*, D; *Squalidus gracilis majimae* 73

Plate 3. A; *Hemibarbus labeo*, B; *Hemibarbus longirostris*, C; *Pseudogobio esocinus*, D; *Mircophysogobio yaluensis* 74

Plate 4. A; *Culter brevicauda*, B; *Hemiculter eigenmanni*, C; *Moroco oxycephalus*, D; *Zacco platypus* 75

Plate 5. A; *Zacco temmincki*, B; *Misgurnus mizolepis*, C; *Cobitis sinensis*, D; *Niwaella multifasciata* 76

Plate 6. A; *Silurus asotus*, B; *Liobagrus mediadiposalis*, C; *Rhinogobius brunneus*, D; *Rhinogobius giurinus* 77

Plate 7. Freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*, A; typical adult with two eggs, B; two type of eggs showing size difference, C; hatching, D; hatched larvae, E; adult with resting eggs, F; resting egg. 94

목 차

제 1 장 서 론 31

제 2 장 육봉 은어의 일반생태 조사 분야 35
제 1 절 서 론 35
제 2 절 재료 및 방법 36
제 3 절 결과 및 고찰 42

제 3 장 담수산 초기먹이생물 배양기술 개발 분야 79
제 1 절 서 론 79
제 2 절 재료 및 방법 81
제 3 절 결과 및 고찰 87

제 4 장 담수에서 은어 종묘 생산기술 개발 분야 117
제 1 절 서 론 117
제 2 절 재료 및 방법 119
제 3 절 결과 및 고찰 129

참고문헌 161

여 백

제 1 장 서 론

은어는 일반적으로 하천에서 성장하여 산란하고 죽는 1년어로 부화된 자어는 연안에서 성장한 후 봄에 소상하는 양측회유형 어류이다(金, 1997). 은어는 자연 분포지가 우리 나라, 일본 그리고 중국 등지로 규조류 등 수생 조류를 먹고 살므로 육질의 향이 좋아 예로부터 널리 식용되어왔으나 근래에는 자연자원의 감소로 양식기술이 개발되어 널리 보급되었다.

일본의 경우 1940년대부터 양식에 대한 연구를 시작하여 1958년도 못양식에서 98톤이 생산된 것을 시작으로(稻葉・本莊, 1961) 은어 성숙과 광주기의 관계(白石・武田, 1961), 은어 치어 수송시 수질변화와 생존에 대한 영향(大上・山崎, 1967), 못양식과 채란(大上, 1980) 등에 대한 기술보고가 있으며, 최근에는 광주기 조절에 의한 조기성숙 및 억제에 대한 연구(伏木, 1982)도 수행되어 은어 양식의 역사가 비교적 길고 양식에 대한 기술 축적도 많은 편이다.

우리 나라의 경우 은어 양식 역사는 늦어서 1997년에야 국립수산진흥원 진해내수면연구소에서 자연산 종묘를 식용어까지 양성시험한 결과가 있고, 1991년부터 시작하여 양성, 성숙억제, 인공채란 등에 대한 시험을 수행함으로서 양식에 대한 기초를 마련한 실정이다(具 등, 1994).

이러한 연구결과로 현재 은어의 양성기술은 양호한 편으로 인공 사육한 은어로부터 대량 인공채란하는 기술, 수정난을 부화시켜 해수에 순치시켜 치어를 생산하는 기술, 치어를 방양하여 년내에 상품 크기로 양성하는 기술이 개발되어 상품을 생산할 수 있으며, 조도조절에 의한 성숙억제 및 촉진이 가능하여 조기 채란 및 상품성을 오래 유지할 수 있는 상태이므로 양식기술 자체는 거의 완료된 것으로 보아진다. 그러나 현재 종묘 생산 과정은 반드시 해수가 있는 곳에서 해산 초기 먹이생물인 *Branchionus plicatilis*를 배양해야 하며, 담수에서

채란한 수정난을 바닷가의 배양장으로 옮겨야 하고, 성장시킨 치어는 다시 담수에 순치시켜 양성하고 있으므로 두 번의 순치 과정중 폐사하는 비율이 높고 종묘 생산 과정이 까다로운 편이어서 일반 양어가는 종묘생산에 참여하지 못하는 실정이다.

이러한 종묘 생산 과정은 바닷가에 가까운 생산지에서만 생산이 가능하고, 내륙의 양성지로 치어를 운반하는 운송비가 포함되어야 하며, 운송시 수질의 변화로인한 폐사의 위험성이 있고 이로 인한 경제적 손실까지도 고려해야 하므로 종묘생산 단가가 비교적 높은 편이다. 한편 상품화된 은어는 높은 가격에 판매되고 있으나 활어로서 운반이 어려우므로 일부 지역에서만 소비되고 있어 시장이 크게 형성되지 않는 등 은어 양식업계의 어려움을 가중시키고 있다.

또한 담수 생물 양식을 위한 먹이생물에 대한 연구는 해외에서도 *B. plicatilis*의 잉어류 자어에 대한 먹이생물로서 가능성 시험(Lubzens et al., 1987)을 비롯하여 대량 배양 가능성에 대한 연구만 진행되었을 뿐이고 국내에서는 담수산 윤충의 배양에 대한 연구가 거의 없어 허와 박(1996a)의 *B. calyciflorus* 분리에 대한 보고 등 기초 연구가 시작되었을 뿐, 담수에서 종묘생산은 야외사육지에서 소독과 시비 후 먹이연쇄에 의해 발생하는 먹이생물 계열을 이용(Yu, 1989)하고 있으며, 부화자어 수용시기, 적절한 크기의 먹이생물 발생시기 조절 등에 문제가 있어 안정적인 종묘생산과 보급 그리고 경제성 있는 새로운 어종의 양식기술개발과 자원보강을 위한 종묘생산 등에 어려움이 따르고 있다.

한편 일본의 경우 육봉화된 은어가 출현하며(本間, 1962), 본 연구소에서 확인한 바에 의하면 예전에 안동호와 진양호 등에 이식한 은어가 육봉화되어 호수의 유입하천에서 자연 산란하는 사실을 확인한 바, 육봉화된 은어가 호수에서 먹고 자라는데 필요한 초기먹이생물의 조사 및 인공 배양, 부화자어의 이동에 관한 정보, 이 과정에서 이용하는 먹이생물 종류 등에 대한 정보를 얻고 아울러 담수에서의 초기 먹이생물 양산 기술이 개발된다면 담수산 초기 먹이생물

의 대량 확보에 실패하여 고부가 가치 어종의 양식기술이 개발되지 않은 다른 내수면 양식대상종에 대한 양식기술 개발이 가능하게 될 뿐만 아니라 인공적으로 육봉화시키는 담수에서의 은어 인공종묘 생산이 가능하리라 사료되어 1995년부터 2년간 본 연구를 수행하게 되었다.

여　　백

제 2 장 육봉 은어의 생태조사

제 1 절 서 론

은어 *Plecoglossus altivelis*는 바당빙어과 Osmeridae의 소형 일년생 어류로 우리 나라를 비롯하여 중국, 대만 및 일본 등의 하천과 연안에 분포하며 맛이 깨끗하고 담백할 뿐만 아니라 특유한 향기를 가지고 있어 옛날부터 식용으로 많이 이용해 왔다.

은어의 어린 새끼 고기는 강하구 주변의 바다에서 월동하다가 봄이 되면 하천으로 올라와 주로 부착조류를 섭식하면서 성장한 후, 가을이 되면 다시 하천 중·하류로 내려와 산란을 하는 양측회유성(amphidromous migration)의 생태적 특성을 가진다(本間·田村, 1962; Nishida, 1985; 向井 等, 1992). 그러나 최근 하천 수질오염과 댐 축조 등으로 인하여 은어가 이동할 수 있는 분포지역은 매우 제한되고 있는 실정이다.

근래에는 은어의 자연자원이 현저히 감소되었고 식생활이 고급화되어 수요가 급속히 증가하고 있어 은어 양식이 일반화되어 있으나, 양성을 위한 은어의 종묘생산과정은 담수에서 채란하여 해수에서 부화 자치어를 사육한 다음 담수로 순치시켜 사육하는 과정이 포함되어 매우 복잡하고 비경제적이어서 문제시되고 있다.

한편 일본의 비와호에(Nishida, 1986) 그리고 우리 나라의 안동호에는 해수를 필요치 않고 순 담수에서 생활사를 마감하는 육봉화된 은어가 출현함이 알려졌다. 특히 안동호의 육봉 은어는 그 적응기간이 길지 않으므로 육봉화 과정을 구명하고 종 분화 과정을 연구하는데 매우 중요한 가치를 가진다고 보며, 뿐만 아니라 단기간에 걸친 적응 성공력은 은어의 경우 인위적으로 육봉화 과정을 적용하면 담수에서 은어 종묘를 생산할 수 있는 정보를 얻을 수 있음을 시사한다.

그러나 본 종에 대한 생태학적인 연구결과는 매우 한정되어, 산란기 은어에 대한 간단한 생태적 특징에 대한 보고가 있을 뿐이며(김, 1974; 김과 정, 1976) 경제성 유용자원의 학보를 위한 육봉 은어의 자치어기의 생태조사를 포함하여 생물학적 기초적인 연구결과 등은 전무한 상태이다.

본 조사는 국내 최초로 호수에 육봉화된 것으로 알려진 안동호산 은어의 생태학적인 기초조사를 실시하고 양측회유형 은어와 비교함으로서 담수에서의 은어 인공종묘생산기술 개발 뿐만 아니라 종분화 과정 등 생물학적 연구를 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

조사지역은 경상북도 안동시와 경산군 등의 안동호에서 호내 3 지점, 안동호와 계류가 만나는 접경수역 1 지점, 그리고 계류의 5 지점으로 총 9 지점이었다 (Fig. 1, Table 1).

Table 1. Lists of the collection sites at An-dong Dam

An-dong Dam	Natural sites
St. 1. Socheon-ri, Peobcheon-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	St. 1. Keundeok-myon, Samcheok-shi, Kangwon (Maeup Stream)
St. 2. Myongho-ri, Myongho-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	St. 2. Pyonghae-up, Uljin-gun, Kangwon (Namdae Stream)
St. 3. Kwanchang-ri, Myongho-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	St. 3. Kyongju-shi, Kyongbuk (Daechong Stream)
St. 4. Kasong-ri, Dosan-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	St. 4. Yansan-gun, Kyongnam (Nakdong River)
St. 5. Togeyo-ri, Dosan-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	St. 5. Kwangyang-gun, Chonnam (Somjin River)
St. 6. Buncheon-ri, Dosan-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	St. 6. Kangjin-gun, Chonnam (Tamjin River)
St. 7. Bupo-ri, Eyoan-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	
St. 8. Domok-ri, Eyoan-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	
St. 9. Sanya-ri, Waryong-myon, Bonghwa-gun, Kyongbuk	

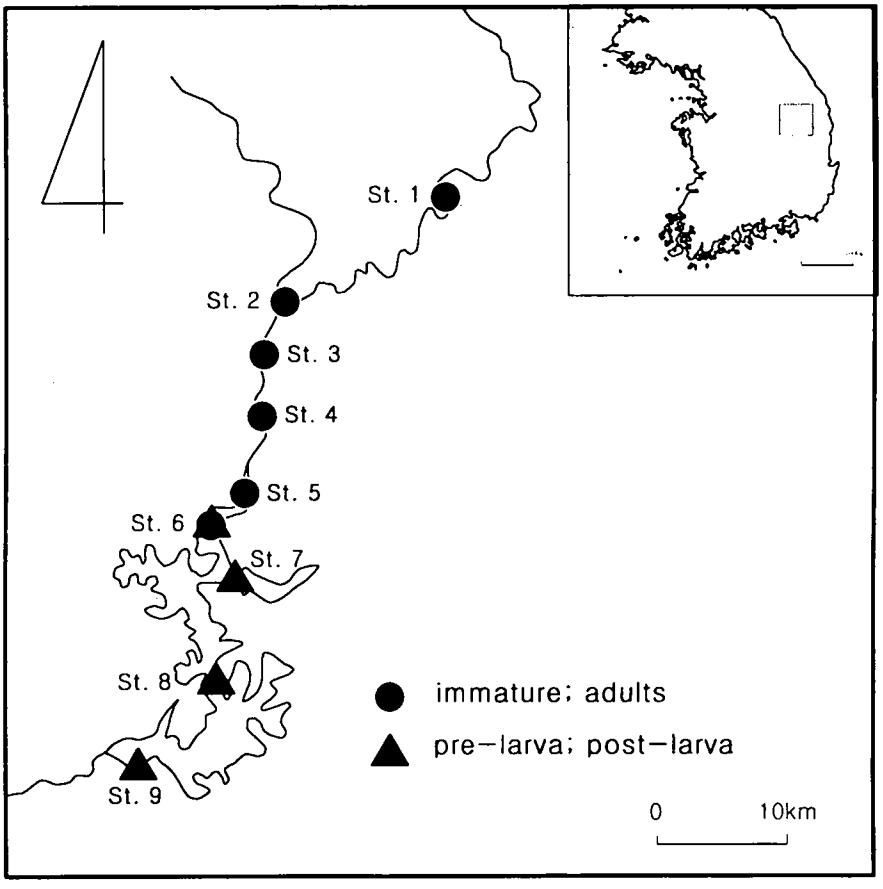


Fig. 1. Collection sites for land-locked *P. altivelis* at Andong-Dam. See the text for the number.

안동호내 조사지점에서는 1995년 11월부터 1996년 8월까지 자치어군의 서식현황을 조사하였고, 계류의 조사지점에서는 1996년 5월부터 소상한 치어와 미성어군의 서식현황을 조사하였다. 안동호와 계류의 접경지점에서는 육봉은어의 자치어와 미성어의 동태를 파악하기 위하여 매 조사시마다 채집을 실시하였다.

한편 육봉 은어와 해산 은어의 형태비교를 위하여 강원도 마읍천을 포함하여 동해안과 남해안으로 유입되는 모두 6개 지역에서 채집을 실시하였다(Fig. 2).

조사시기는 Table 2에 나타냈다.

Table 2. Lists of collection schedule

October 18-19, 1995	July 23-25, 1996
November 14-16, 1995	August 26-27, 1996
December 11-12, 1995	September 13-15, 1996
January 12-13, 1996	March 10-11, 1997
March 5-7, 1996	April 23-24, 1997
April 9-11, 1996	May 20-23, 1997
May 7-9, 1996	June 17-18, 1997
June 14-16, 1996	August 12-14, 1997

1. 은어 서식환경조사

조사지역의 환경적 특성을 이해하기 위하여 조사지역별로 채집 및 조사를 실시하면서 동시에 conductivity meter(Orion 140, USA)를 이용하여 기온, 수온 및 전기전도도를 측정하였고, 수심, 하폭, 및 하상 등의 조사도 실시하였다.

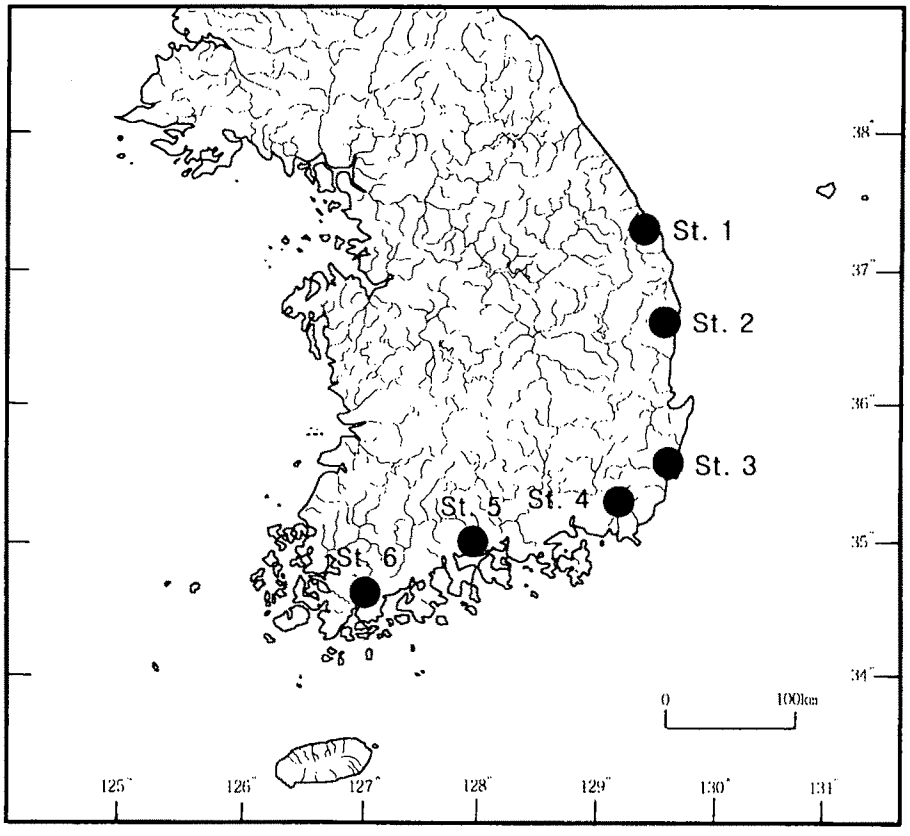


Fig. 2. Collection sites for natural population from Korea. See the text for the number.

2. 서식지 어류군집조사

어류상은 은어를 중심으로 조사하였다. 즉, 조사기간 중 매년 11월부터 다음해 4월까지는 은어가 안동호내에서 월동기를 보내기 때문에 안동호에 설치된 정치망을 주로 이용하여 조사하였고, 4월 중순부터 은어가 하천으로 소상하므로 안동호와 하천의 접경수역에서는 정치망을, 하천에서는 투망(망목 5×5㎜, 8×8㎜)과 반두(망목 5×5㎜)를 이용하여 직접 채집하였다.

투망 등의 직접적인 채집과 호수내에 설치된 어업용 정치망으로부터 포획한 표본은 포획 직후 5~10% formalin액에 고정하였다.

자어의 채집은 봉고네트(구경 100㎝, 길이 5m, 망목333㎛)와 직접 제작한 자어 채집용 네트(크기 100×60㎝, 길이 2.5m, 망목 0.8㎜)를 수표면층에 고정하여 각 지점별 5분간 예인하였다. 또한 은어가 상류 및 하천으로 소상하는지의 여부와 은어의 서식여부를 확인하기 위하여 수중관찰을 병행하였다.

한편 은어와 동소적으로 서식하는 동소종을 파악하기 위하여 이들의 채집도 동시에 실시하였다.

3. 은어의 형태조사

5~10% 포르마린액으로 고정한 자치어 및 성어는 실험실로 운반하여 Hubbs and Lagler(1958)와 Nishida(1986)에 따라서 1/20 daial caliper를 사용하여 체장 및 전장을 포함한 외부 형태형질을 계측하였다.

등지느러미 기조수와 같은 계수형질은 해부현미경(Nikon SMZ-U, Japan)하에서 계수하였고, 척추골수는 soft x-ray (Hitex 80, Hittachi, Japan)를 이용하여 촬영 후, 계수하였다.

4. 은어의 자어형태조사

육봉 은어와 자연산 은어의 자어 형태를 조사하기 위하여, 산란 예정시기인 8-12월에 은어가 서식하는 지역의 하류지점을 선정하여 자어의 채집을 중점적으로 실시하였다. 2m간격으로 조사지역을 횡단할 정도로 동물성 프랑크톤 네트(30cm×1.2m, 망목 150㎛)를 조립하여 설치한 후, 2시간마다 24시간동안 채집을 실시하여 조사하였다. 자치어의 형태는 정치망과 투망 등으로 채집된 개체를 중심으로 조사를 실시하였다.

5. 은어의 식성조사

포획된 은어의 자치어 및 성어의 식성조사를 확인하기 위하여 메스를 이용, 소화관을 적출하고 안과용 해부가위를 이용하여 소화관을 절단하였으며 증류수로 소화관을 충분히 세척한 후, 소화관 내용물을 해부현미경(Nikon SMZ-U, Japan)과 광학현미경(Nikon SE, Japan)하에서 검경하였다.

소화관 내용물의 동정은 김(1988), 上野(1986), 정(1993) 및 조(1993)를 참고하여 동정이 가능한 분류학적 수준까지 실시하였으며, 동정을 실시한 후 Hyslop (1980)의 numerical method에 의해 분석하였다.

한편 안동호 내에서 조사 기간중 매년 11월부터 다음해 4월까지 소상하기 전 은어의 자치어 먹이생물을 조사하기 위하여 식물성 플랑크톤 네트(망목 20㎛)과 동물성 플랑크톤네트(망목50㎛)를 이용하여 플랑크톤 조사를 병행하였다. 상류지역으로 소상한 은어는 부착조류만을 섭식하므로 매년 5월부터는 각 조사지점 별로 부착조류상도 조사하였다.

6. 은어의 산란생태조사

봄에 소상한 은어는 하천의 중류와 상류수역에서 돌에 붙은 부착조류를 섭식

하면서 성장한 후, 산란을 위해 가을에 하천의 하류로 내려온다. 따라서 산란생태를 조사하기 위하여 매년 8월부터 12월까지 경북 안동시 도산면 토계리와 분천리 일대에서 육봉은어를 조사하여 산란장의 환경조건, 산란시기, 포란수 및 난경 등을 정리하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 은어 서식환경조사

서식환경은 주 조사 대상이었던 안동댐을 중심으로 조사하였으며 그 결과는 Table 3에 나타내었다.

전기전도도는 조사시기별, 조사지역 별로 변이폭이 크게 나타났는데, 이는 우천으로 인한 하천상태의 일시적인 변화 때문인 것으로 생각된다.

12월부터는 안동호의 상류수역인 토계리 지역(St. 5)과 분천리 지역(St. 6)이 결빙되고, 다음해 1월에는 안동호의 중류수역인 도목리 지역(St. 8)까지 결빙되며 대부분 3월까지 결빙된 수역이 많아 충분한 조사는 이루어지지 않았다. 또한 매년 12월부터 다음해 6월까지는 안동댐의 수량이 현저히 변화하여 수위는 매우 낮아, 호의 주변부 바닥이 뭍에 들어나는 등 안동호와 계류의 접경수역의 수심변화는 아주 심한 편이었다.

안동호내의 각 조사지역의 개괄적인 상황은 다음과 같다.

St. 1. 경북 봉화군 법전면 소천리 : 안동호의 조사지점중에서 최상류수역에 해당되는 지역이다. 하폭 15~20m이며 수심 1~2m이고 하상은 주로 바위와 돌로 형성되어있으며, 일부 군데군데 자갈이 있었다. 수질이 매우 양호하다. 물의 흐름이 매우 빠른 여울부이며 상류에 2m 정도의 보가 설치되어 있어 은어가 소상할 수 있는 최상류 지점이다.

St. 2. 경북 봉화군 명호면 명호리 : 지류인 법전천과 만나는 지점으로 하폭 60~70m이며 수심 1~1.5m정도이다. 하상은 돌과 자갈이 주를 이루고, 일부는 모래로 이루어져 있다. 여울부로 물의 흐름이 비교적 빠른 곳이며 수질은 양호하였다.

St. 3. 경북 봉화군 명호면 관창리 : St. 4와 St. 2의 중간수역으로 청량산 도립공원 입구부분이다. 하폭 25~30m, 수심 1~2m정도이며, 하상은 대부분 큰 돌과 자갈로 형성되어있고 일부 모래가 있는 물의 흐름이 빠른 여울부이다.

Table 3. Environmental factors of the surveyed sites

Times		AT (℃)	WT (℃)	Conductivity (μS/cm)	Sites
1995	Oct.	20	18	333	5
	Nov.	5.8-11.5(8.0)	6.4- 9.0(8.1)	211-367(288.7)	5, 6, 7
	Dec.	2.9- 5.5(3.8)	1.0- 4.8(2.8)	219-452(316.7)	5, 7
1996	Jan.	4.3- 6.8(5.6)	4.1- 5.2(4.7)	213-216(214.5)	8, 9
	Feb.	-	-	-	
	Mar.	4.3-9.6 (6.5)	2.5- 4.0(3.6)	233-284(259.3)	5, 7, 8
	Apr.	8.1-17.6(12.1)	7.8-12.3(9.9)	182-226(204.8)	5, 6
	May	18.0-20.7(19.9)	16.0-16.9(16.4)	133-156(148.5)	4, 5, 6
	June	20.7-28.5(25.7)	23.2-27.2(25.5)	216-272(252.7)	2, 3, 4, 6
	July	28.3-36.8(32.0)	19.7-24.8(21.8)	106-134(122.4)	1, 2, 3, 5
	Aug.	18.7-21.9(20.0)	19.2-21.9(20.9)		1, 2, 4, 5, 6
	Sep.	28.0-28.3(28.2)	25.0		1, 2
1997	Mar.	9.3-16.7(13.8)	5.5- 6.9(6.3)	296-338(314.3)	5, 6, 7
	Apr.	17.0-23.7(21.1)	13.6-16.5(15.5)	157-250(212.7)	4, 5, 6, 7
	May	20.2-26.4(26.4)	15.8-29.8(24.5)	136-232(186.5)	3, 4, 5, 6
	June	25.0-32.8(28.5)	23.2-29.8(26.0)	104-232(164.2)	1, 2, 3, 5, 6
	Aug.	25.5-30.7(28.4)	23.4-28.6(25.5)		1, 2, 3, 4, 5, 6

AT: air temperature, WT: water temperature

St. 4. 경북 안동시 도산면 가송리 : 안동호의 접경지역으로 하폭 25~30m, 수심 1.5~2m정도이며, 하상은 큰돌, 자갈과 모래로 구성되어 있고 여울과 소(沼)가 반복되어있는 지역이다.

St. 5. 경북 안동시 도산면 토계리 : 안동호의 계류가 시작되는 부분으로 하폭 25~30m이며 수심 0.5~3m에 이른다. 하상은 바위와 큰돌, 자갈과 모래로 이루어져 있다. 물살이 비교적 느린 여울과 소가 반복되어 나타나며 가장자리에는 자갈로 구성되어 은어의 산란장 조건으로 충분히 조건을 가지고 있다.

St. 6. 경북 안동시 도산면 분천리 : 도산서원 아래의 조사지역으로 안동호의 최상류이면서 계류의 최하류에 해당되는 지역이다. 하폭은 40~50m, 수심은 0.5~6m정도이며 하상은 바위, 자갈과 모래로 구성되어 있다. St. 5에서 산란·부화된 자어가 물의 흐름을 타고 떠내려와 일정기간 지내면서 성장을 하는 것으로 확인된 지역이다. 유속이 비교적 느린 환경적 특성을 가지고 있는 지역이며 동절기의 결빙구간이다.

St. 7. 경북 안동시 예안면 부포리 : St. 6에서 약 1.5~2㎞ 아래수역으로 하폭은 45~50m이며 수심은 5~6m에 이른다. 어부의 정치망을 이용하여 표본을 채집한 지역이다. 동절기 결빙구간이다.

St. 8. 경북 안동시 예안면 도목리 : 동절기의 결빙하한선 바로 아래수역으로 안동호의 중류수역에 해당하는 곳이다. 최대 수심은 25m정도이며 수심 5m정도에 설치된 정치망으로부터 표본을 입수하였다.

St. 9. 경북 안동시 와룡면 산야리 : 안동호의 본댐에서 상류 방향으로 2㎞정도 떨어진 안동댐 주변의 골짜기로서 수심 25m정도이다.

2. 서식지 어류군집조사

1) 조사지점의 월별 어류상

안동호 주변에서 채집된 어류는 4목 12과 30속 36종으로 나타났다(Table 4).

은어와 동소적으로 출현한 36종의 어류중에서 가장 많은 종수가 출현한 분류군은 잉어목 Cypriniformes의 잉어과 Cyprinidae로서 모두 20종을 차지하여 55.6%의 비율을 나타냈으며, 다음으로 미꾸리과 Cobitidae로 나타났다.

Table 4. Fish species compositons investigated at Andong-Dam from October 1995 to August 1997

Scientific names \ Dates	1995				1996							1997				
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul	Aug.	Sep.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Aug.
Order Cypriniformes																
Family Cyprindae																
Cyprinus carpio		23	19		8	3				14	1					
Carassius auratus	2				13	3			2	4	1	2		2	1	
Carassius cuvieri		32	46	2	1											
Acanthorhodeus assumussi						1	1									
Acheilognathus koreensis•							12									
Coreoleuciscus splendidus•	3					14	21	58	18	25	16		12	15	24	9
Pseudorasbora parva		12	28	1	3	6	1									
Punptungia herzi		1	1		6	30	22	17	9	6	3	2	2	2	7	
Squalidus gracilis majimae•		19	42		6	5	2									
S. chankaensis tsuchigae•	6	27	14		1116	457	61	113	40	19	10					
Hemibarbus labeo	1				87	34	3	4	10	2	6		4	3	7	2
Hemibarbus longirostris		3				1	1	5	5					1		
Pseudogobio esocinus	2	1			1	12	23	28	3	5	1		2	4	1	4
Microphysogobio yaluensis•	11	114	37			83	65	137	24	30	15	10	119	10	42	14
M. tungingensis•		1	1	1	145	136	57	8		1			6	3	13	1
Culter brevicauda		52	38	3	4	3	6						1			
Hemiculter eigenmanni	4	300	106	66	22	9	45	1	1		1		5	2		
Moroco oxycephalus		1	1		1	4	7			1						
Zacco platypus	5	244	664	191	66	27	129	144	101	41	56	42	11	23	47	72
Zacco temmincki	1	36				1	34	43	12	22	45		13	11	39	14
Family Cobitidae																
Misgurnus mizolepis		1				2										
Cobitis sinensis	1	6				5	4	2		3			1	11	39	14
Niwaella multifasciata•							2	1		2					1	
Order Osmeriformes																
Family Osmeridae																
Hypomesus olidus		1		172	21	626	10					28	18	1		80
Plecoglossus altivelis		82	81	18		569	64	62	8	105	60			11	3	

(Table 4. continued)

Dates	1995					1996							1997			
Scientific names	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul	Aug.	Sep.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Aug.
Order Siluriformes																
Family Ictaluridae																
Ictalurus punctatus							1									
Family Bagridae																
Pseudobagrus fulvidraco		6	25			2							1			
Family Siluridae																
Silurus asotus		13				3	2				1					
Family Amblycipidae																
*Liobagrus mediadiposalis**						1	1	1								
Order Perciformes																
Family Centropomidae																
*Coreoperca herzi**								1	1	1				1		
Family Centrarchidae																
Repomis macrochirus				9	24	9	2									
Micropterus salmoides					26	7				1						
Family Odontobutidae																
*Odontobutis platycephala**	2					5	1	2	3	2						
Family Gobiidae																
Rhinogobius brunneus	2	12			2	70	138	1	2	1	1		3			
Rhinogobius giurinus				3							7					
Family Channidae																
Channa argurus						2										

* : endemic species

채집된 어류중에서 모든 조사지역에서 비교적 균등하게 출현한 종은 돌고기 *Puntungia herzi*, 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*, 피라미 *Zacco platypus*, 치리 *Hemiculter eigenmanni* 및 은어 *Plecoglossus altivelis*이었다. 이들 어류들은 대부분 식물성플랑크톤을 주로 섭식하고 일부는 잡식성의 경향을 나타내는 종으로 알려져 있어(김 · 강, 1993), 본 은어 *P. altivelis*와는 먹이관계에서 서로 경쟁관계에 있는 것으로 사료된다.

최우점종으로 확인된 종은 참몰개 *Squalidus chankaensis tsuchigae*로서 전체의 22.8%를 차지하였고, 다음으로 피라미 *Zacco patypus*(19.7%), 은어 *Plecoglossus altivelis*(11.9%), 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*(7.4%) 및 치리

Hemiculter eigenmanni(5.9%) 등은 우세하게 서식하고 있다.

본 연구과정에서 외래이입 어류로 확인된 종은 파랑볼우럭 *Repomis macrochirus*, 큰입우럭 *Micropterus salmoides*, 떡붕어 *Carassius cuveri* 및 챤넬메기 *Ictalurus puncatus*의 4종이었다. 이 가운데 파랑볼우럭 *Repomis macrochirus*과 큰입우럭 *Micropterus salmoides*의 경우는 치자어나 어란을 주로 섭식하고 탐식성의 먹이습성을 가진 것으로 알려져 있어 향후 안동댐에서 은어를 비롯하여 다른 토속어종의 서식분포에 막대한 영향을 미칠 것으로 예상되었다.

1997년도 조사결과에 있어서 96년 조사결과와 비교하여 현저하게 은어의 개체수가 감소하여 나타났고 소상하는 은어 *Plecoglossus altivelis*의 이동흔적을 확인할 수 없었던 사실은 전술한 바와 같이 수심의 급격한 변화로 서식지역의 환경이 자주 변하고, 남획이나 이들 외래이입 어종의 생태적 압박 등이 영향을 주었으리라 추정된다.

출현분포양상을 보면 잉어 *Cyprinus carpio*, 떡붕어 *Carassius cuvieri*, 참붕어 *Pseudorasbora parva*, 백조어 *Culter brevicauda*, 치리 *Hemiculter eigenmanni*, 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*, 메기 *Silurus asotus*, 빙어 *Hypomesus olidus*, 파랑볼우럭 *Repomis macrochirus*, 및 큰입우럭 *Micropterus salmoides* 등은 댐내에서 주로 채집되었고, 수수미꾸리 *Niwaella multifasciata*, 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis* 및 꺽지 *Coreoperca herzi* 등은 상류의 계류에서 주로 채집되었다.

한편 안동호와 주변 수역에서 출현하는 어류중에서 경제성 어종으로는 참몰개 *Squalidus chankaensis tsuchigae*, 빙어 *Hypomesus olidus*, 은어 *Plecoglossus altivelis*, 떡붕어 *Carassius cuvieri*, 붕어 *Carassius auratus*, 잉어 *Cyprinus carpio*, 메기 *Silurus asotus* 및 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco* 등이었다.

한국 고유종은 칼납자루 *Acheilognathus koreensis*, 쉬리 *Coreoleuciscus*

splendidus, 긴몰개 *Squalidus gracilis majimae*, 참몰개 *Squlidus chankaensis tsuchigae*, 돌마자 *Microphysogobio yaluensis*, 됭경모치 *Microphysogobio tungingensis*, 수수미꾸리 *Niwaella multifasciata*, 자가사리 *Liobagrus mediadiposalis*, 동사리 *Odontobutis platycephala* 및 꺽지 *Coreoperca herzi*의 10종이다.

2) 육봉은어의 분포와 이동

각 조사지역에서 출현하는 안동호산 육봉은어의 체장 및 전장을 측정함으로서 성장에 따른 분포현황을 파악하였고 계절별로 정리하여 은어의 산란 장소 및 이동경로를 확인하였다.

조사과정에서 가장 크기가 작은 개체들은 Table 5에서 보는 바와 같이 전장 6.4~9.6㎜이었다. 이들은 작은 난황을 가지면서 항문이 개방되지 않은 전기자어의 형태였다. 이들이 주로 채집된 지역은 St. 6(분천리 지역)이었으며, 전장 11.4~28.9㎜까지의 후기 자어와 체장 50.9㎜에 해당되는 치어들은 다른 조사지역에서는 전혀 채집 및 확인되지 않았고, 오직 St. 6(분천리 지역)에서만 출현하였다(Table 5). 이들 지역은 안동호와 인접하는 계류 지역으로서 다른 계류지역에 비하여 유속이 현저하게 완만해지는 특성과 은어 자치어의 먹이생물로 사용되는 동물성 플랑크톤이 집단 발생하는 생태적 환경을 가지고 있는 지역이다. 따라서 운동력이 적은 자어기 은어가 일시적인 성장기간을 St. 6(분천리 지역)에서 보내는 것으로 사료되었다.

체장 40~70㎜사이의 치어기 은어는 St. 6(분천리 지역), St. 7(부포리 지역) 및 St. 9(산야동 지역) 등에서 채집되었으나, 체장 100㎜를 넘은 성어의 개체들은 St. 6(분천리 지역)을 포함한 안동댐에서 출현하지 않고 St. 5(퇴계리 지역)을 포함한 계류지역으로 이동하는 것으로 확인되었다. 이러한 현상은 Table 5와 같이 체장 50㎜이상의 은어들이 St. 4의 계류지역으로 소상하며, 체장 70㎜이상부터는 안동호에서 은어가 소상할 수 있는 최상류 지역인 St. 2(명호리 지

역)까지 분포하는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 근거하여 자어기에는 St. 6(분천리 지역)에서 성장하면서 체장 40㎜이상이 되면 충분한 운동력을 갖게되어 월동기를 보내기 위하여 안동호의 본댐으로 이동하는 것으로 사료된다.

Table 5. Number of individuals and sizes of *P. altivelis* at the surveyed sites in Andong-Dam from 1995 to 1997

Body sizes(㎜)		Surveyed sites							No. of individuals
		2	3	4	5	6	7	9	
TL	6.4- 9.6					12			12
	11.4- 19.5					47			47
	26.0- 28.9					2			2
SL	39.5- 40.9					3			3
	41.0- 50.9					38	53	3	94
	51.0- 60.9			3		364	54	9	430
	61.0- 70.9	1		11	1	201	7	6	227
	71.0- 80.8	2		3		32			37
	81.3- 90.5	17		3	2	13			35
	91.9-100.9	16	5	3	17	1			42
	112.4-120.8		7	5	4				16
	121.1-129.2	1	5	3	5				14
	132.1-136.9		2	1	2				5
	142.7-143.6		1	1					2
No. of individuals		37	20	33	31	713	114	18	966

See the text for number of surveyed sites. TL : total length, SL : standard length

한편, 채집시기별로 확인된 안동호내에서 육봉 은어의 이동현황은 조사지역에 따른 육봉 은어의 분포현황과 일치하는 결과를 나타났다(Table 6).

즉, 본 연구결과와 함께 현지 어민으로부터 청취결과를 종합하면, 9~10월의

Table. 6. Number of individuals and sizes of *P. altivelis* about the collected dates in Andong-Dam from 1995 to 1997

Dates	1995				1996					1997	
Sites	Nov.	Dec.	Jan.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	May	Jun.
Andong Dam	*6.4-28.9* (61)										
	39.6-48.1 (21)	45.6-55.4 (81)	46.0-64.5 (18)	45.0-71.6 (569)	48.0-70.4 (47)						
Stream					56.6-72.5 (17)	92.3-121.1 (62)	64.9-110.6 (72)	86.7-169.4 (105)	88.5-167.6 (60)	70.3-87.6 (11)	69.2-80.5 (3)
Number of individuals	82	81	18	589	64	62	72	105	60	11	3

Italic modes indicate the total length and normal modes indicate the standard length.

( ) : number of individuals.

시기에는 St. 5(토계리 지역)에서 산란을 실시하고, St. 5에서 부화한 자어군은 계류의 흐름과 함께 St. 6(분천리 지역)까지 이동하여 전장범위가 6.4~28.9㎜에 이르는 자어기를 보낸다. 자어기를 보낸 이후, 체장범위가 45.6~64.5㎜에 이르는 치어기까지 성장하면 11월부터는 안동호 내로 이동한다. 이동 후, 동물성 플랑크톤을 주로 섭식하면서 12월에서 3월까지의 동절기를 안동호내에서 월동한다. 월동 후, 수온이 10℃이상에 이르는 4월이 되면 St. 6(분천리 지역) 주변에서 소상을 위한 집단을 형성한다.

4월 중순부터 상류의 계류지역으로 소상하여 5월에는 St. 4(가송리 지역)에서 체장 56.6~72.5㎜에 이르는 치어와 미성어군을 채집·확인되었다. 이와 같이 소상하는 은어의 치어집단은 St. 2(명호리 지역)까지 소상한 것을 예상된다. 또한 6월의 경우에는 St. 6(분천리 지역)에서 St. 2(명호리 지역)까지의 전 수역에서

92.3-121.1㎜(체장)의 치어집단이 확인되었다(Table 6). 따라서 4월 말부터 7월까지 안동호내에 있는 치어집단은 소상하고, 계류에 소상한 치어집단은 동물성플랑크톤보다는 식물성플랑크톤을 선택적으로 선호하면서 섭식하면서 성장하여 산란기가 시작되는 9월에 이르면 체장범위가 최고 169.4㎜에 이른다.

3. 은어의 형태조사

1) 육봉 은어와 자연집단 은어 성체의 형태 비교

은어의 성체에 대한 형태조사를 위하여 육봉 은어가 서식하는 안동산 집단과 삼척 마읍천, 울진 왕피천, 경주 대종천, 낙동강, 섬진강 및 탐진강의 모두 6개 자연 집단의 은어를 채집하여 육봉 은어와 자연 집단의 은어를 조사하였다.

조사결과, 안동의 육봉화 집단과 6개의 자연 집단간의 형태 차이는 나타나지 않았고 조사한 7개 집단에서도 형태적으로 구별되는 집단은 나타나지 않아, 현재까지는 안동호산 은어와 자연 집단의 은어 사이에서 형태적으로 분화되지 않은 것으로 사료된다(Table 7).

이러한 결과는 안동호로 이입된 은어가 자연집단과 구분될 만큼 충분한 시간이 경과하지 않았으며, 지난 3년동안 안동호내에서 울진 왕피천산 은어의 치어를 지역 주민에 의하여 계속적으로 방류하였다는 점도 관련있는 것으로 생각된다. 현재까지 확인된 은어의 형태적 특징은 다음과 같다.

등지느러미 연조수 11~12, 가슴지느러미 기조수는 14~16, 배지느러미 기조수는 8, 뒷지느러미 기조수는 15~17, 측선 비늘수는 67~72, 측선 상부비늘수는 17~21, 측선 하부비늘수는 10~15, 상악의 빗살 모양 이빨수는(comb-like teeth upper jaw) 13~16, 하악의 빗살 모양 이빨수는 12~15, 새파수는 40~46, 척추골수는 61~65개이다. 몸은 약간 측편되었고 길다. 머리는 큰 편이고 주둥이는 끝이 뾰쪽하다. 입은 주둥이 끝에 열리며 입이 커서 상악의 후단부가 눈의 후연까지 이른다. 등지느러미는 몸의 거의 중앙에 있고 뒷지느러미는 앞

부분의 기조가 약간 길어 가장자리가 오목하게 파여 있다. 측선은 완전하여 거의 직선으로 이어진다. 상악의 전단 아래에는 밑으로 향하는 돌기가 있고, 하악의 전단에는 1쌍의 사마귀 돌기가 있으며, 하악과 상악에는 이빨이 빗모양으로 배열되어 있다. 꼬리지느러미 후연은 둘로 갈라져 있다. 체장에 대한 백분비로서 등지느러미 기점거리는 42.3~47.3%, 배지느러미 기점거리는 46.3~52.4%, 뒷지느러미 기점거리는 69.5~52.4%, 체고는 14.7~18.8%, 항문 위치에서의 체고는 10.5~13.7%, 미병장은 12.3~14.2%, 미병고는 5.6~7.2%, 두장은 20.5~24.0%, 문장은 6.5~8.2%, 상악길이는 10.0~11.6%, 양안간격은 6.0~7.2%, 두번째 등지느러미 기조길이는 13.9~17.0%, 등지느러미 기저길이는 20.4~26.1%, 가슴지느러미 길이는 10.4~15.4%, 배지느러미 길이는 11.0~13.1%이다.

체색은 등쪽이 회갈색이고 배쪽은 은백색이며 모든 지느러미는 반문이 없으며 거의 투명하다. 산란기가 되면 수컷은 체색이 검어지며 체측 하단부와 새개부 하단에 붉은색의 띠가 선명하고 지느러미는 황색을 띤다. 비늘은 원린으로 산란기에 수컷은 비늘 표면에 돌기가 밀생하고 배지느러미와 뒷지느러미의 기조에도 돌기가 나타난다. 암컷의 뒷지느러미의 모양은 전반부가 돌출되어 만곡이 심하고, 수컷은 완만하다.

한편 우리 나라의 제주도 집단과 일본 비와호의 두 집단이 유사한 형태적 특징을 나타낸다고 기록한 Nishida(1986)의 결과를 본 연구결과와 비교하면, 본 조사 대상인 7개 집단의 뒷지느러미 기조수가 16-17개인 반면에 Nishida(1986)는 14~16개인 점, 체장에 대한 체고비에서 우리나라의 집단은 평균범위가 18.3~20.0인 반면에, Nishida(1986)는 25.6~26.3의 평균범위의 차이점 등의 계수계측형질에서 차이를 나타내고 있었다. 따라서 추후 한반도의 내륙지방에 서식하는 은어와 제주도 및 일본산 표본에 대한 정밀한 분류학적인 연구가 요망된다.

Table 7. Comparisons of morphometric and meristic characters of *P. altivelis* beteen the land-locked population from Andong-Dam and the population of natural stream.

sites / characters	Andong (n=72)	Maup S. (n=68)	Wangpi S.(n=23)	Daejong S.(n=17)	Nakdong R. (n=32)	Somjin R. (n=18)	Tamjin R. (n=31)
Standard length	65.7-154.8	57.5-128.0	66.0-110.8	73.4-129	59.3-103.4	74.4-145.2	70.9-112.9
In standard length							
head length	25.5±0.9 (22.9-27.5)	25.1±0.7 (23.6-27.0)	24.8±1.7 (18.5-27.1)	25.4±0.8 (23.8-26.6)	25.9±0.1 (25.9-26.3)	24.3±1.2 (21.9-26.2)	25.2±0.8 (24.0-26.8)
body depth	19.0±1.5 (15.2-22.1)	18.3±1.9 (14.1-21.1)	19.0±1.0 (16.9-21.0)	18.8±1.2 (17.0-21.3)	19.3±0.4 (17.1-19.3)	20.0±1.5 (17.6-22.5)	19.9±0.8 (18.3-22.1)
body depth at anus	14.7±0.7 (13.1-17.2)	14.8±1.4 (12.1-20.7)	14.9±0.7 (13.6-15.9)	14.6±0.7 (13.5-16.0)	14.9±0.2 (13.7-14.9)	16.4±2.8 (14.0-26.1)	15.1±0.9 (13.7-17.3)
l. of predorsal fin	48.4±1.0 (46.1-50.5)	48.1±1.0 (45.0-50.5)	48.5±1.3 (43.9-50.1)	48.9±1.0 (47.6-52.0)	48.8±0.2 (48.8-50.0)	48.3±2.0 (42.6-50.5)	49.4±0.8 (47.6-51.0)
l. of preventral fin	51.1±1.1 (48.6-54.0)	50.9±0.9 (49.1-53.4)	50.3±1.5 (44.8-53.9)	51.7±1.4 (50.0-55.3)	51.4±0.2 (51.4-52.7)	49.3±1.4 (45.3-51.1)	51.5±1.0 (49.7-53.8)
l. of preanal fin	74.1±1.5 (71.0-77.6)	73.6±1.1 (69.3-76.6)	72.7±2.3 (63.9-76.7)	74.0±1.7 (72.4-78.5)	73.5±0.2 (73.5-74.8)	71.7±2.6 (65.5-74.9)	74.3±1.2 (71.8-77.3)
l. 2nd dorsal fin	16.2±0.9 (14.2-19.4)	15.4±0.9 (12.8-17.4)	15.0±0.7 (13.8-16.1)	16.0±0.6 (14.9-17.0)	15.9±0.2 (14.9-16.0)	16.6±2.1 (14.5-23.8)	16.6±0.9 (14.9-18.0)
l. depressed dorsal fin	19.6±2.6 (16.2-27.7)	18.4±1.3 (15.2-22.5)	17.8±1.5 (15.8-20.9)	19.2±1.2 (17.2-21.2)	18.3±0.2 (17.0-18.3)	21.4±3.1 (16.6-26.8)	19.1±1.6 (16.5-22.5)
l. pectal fin	16.2±1.0 (14.8-19.5)	14.3±1.0 (11.9-16.4)	14.3±0.8 (12.7-16.0)	14.9±0.5 (14.0-15.7)	15.2±0.1 (15.2-15.7)	16.0±1.4 (13.6-18.4)	15.9±0.7 (14.8-18.1)
l. ventral fin	13.3±1.4 (11.5-18.9)	11.9±0.6 (10.7-13.5)	11.9±0.5 (10.6-12.9)	12.4±0.5 (11.6-13.6)	12.6 (12.4-12.6)	13.6±1.9 (11.3-16.7)	12.7±0.5 (11.2-13.9)
l. longest caudal fin.	20.4±1.4 (16.4-23.2)	19.6±1.5 (16.6-23.1)	20.5±1.2 (18.2-23.2)	20.9±0.8 (19.5-22.7)	21.7±0.1 (21.7-22.2)	17.5±1.3 (14.4-20.1)	20.8±1.3 (17.0-23.0)
CPL	13.5±0.9 (11.0-15.6)	13.3±0.7 (11.9-15.1)	13.8±0.8 (12.4-14.9)	13.5±0.5 (12.8-14.4)	21.7±0.1 (12.6-14.9)	13.5±0.7 (11.6-14.5)	13.5±0.7 (12.3-15.2)
CPD	8.1±0.4 (7.6-9.0)	8.1±0.4 (7.3-9.1)	8.0±0.4 (7.3-9.0)	8.0±0.3 (7.4-8.6)	8.1 (8.0-8.1)	8.5±0.4 (7.8-9.2)	8.2±0.4 (7.6-9.5)
CPD/CPL	60.4±4.7 (51.5-75.9)	60.8±3.0 (54.3-66.7)	58.3±3.9 (53.1-71.4)	59.6±2.8 (55.2-66.3)	63.6±1.8 (53.7-64.0)	63.2±2.6 (55.8-67.1)	61.0±3.4 (51.7-68.4)
In head length							
snout length	35.2±1.3 (31.5-38.0)	32.4±3.4 (26.1-39.4)	33.5±2.6 (29.2-37.7)	36.5±1.7 (33.5-40.6)	31.7±0.2 (31.6-32.9)	34.0±1.3 (31.6-36.2)	24.2±3.1 (19.4-30.0)

(Table 7. continued)

characters / sites	Andong (n=72)	Maup S. (n=68)	Wangpi S.(n=23)	Daejong S.(n=17)	Nakdong R. (n=32)	Somjin R. (n=18)	Tamjin R. (n=31)
interobital-width	30.2±1.8 (25.0-34.4)	29.4±2.4 (23.6-35.6)	17.4±3.2 (13.2-25.0)	22.5±2.8 (17.1-29.4)	28.3±0.2 (28.2-29.3)	29.6±2.8 (23.9-34.0)	22.0±2.6 (17.6-27.1)
Dorsal fin	11 (10-12)	11 (10-12)	11 (11-12)	11 (11-12)	11 (10-12)	11 (10-12)	11 (10-12)
Pectoral fin	15 (14-16)	15 (14-15)	14-15 (14-16)	15 (14-15)	15 (14-16)	15 (15-16)	14-15 (14-16)
Ventral fin	8	8	8	8	8	8	8
Anal fin	17 (16-18)	17 (16-18)	17 (17-18)	17 (17-18)	16 (16-17)	17 (16-18)	17 (16-18)
Lateral line scales	66 (64-69)	66 (64-68)	66 (64-68)	65-66 (64-69)	66 (64-67)	65 (63-68)	66 (62-69)
Scale above lateral line	20-21 (19-23)	20-21 (19-23)	21-22 (21-23)	22-23 (21-23)	20-21 (19-22)	20-21 (19-23)	21-22 (19-23)
Scale below lateral line	12-13 (12-14)	12-13 (12-14)	12-13 (12-15)	12-13 (12-15)	12-13 (11-14)	12-13 (11-14)	12-13 (11-14)
L. above. Lateral line	13.1±0.9 (11.8-15.8)	13.3±0.8 (11.5-15.2)	12.5±0.5 (11.7-13.8)	12.5±0.7 (11.6-13.8)	13.0 (13.0-13.2)	13.5±0.9 (11.8-15.1)	13.3±0.7 (11.9-15.1)
L. below Lateral line	10.3±0.9 (8.4-13.2)	11.2±0.9 (9.1-12.6)	9.7±0.6 (8.6-11.2)	9.1±0.7 (8.2-10.5)	10.0±0.2 (10.0-11.0)	11.9±0.6 (13.4)	9.7±1.1 (7.9-12.9)
Upper teeth	14 (12-15)	13-14 (0-15)	12-13 (6-15)	14 (12-15)	13-14 (9-14)	11-15 (13-14)	13-14 (12-14)
Lower teeth	13-14 (11-15)	12-13 (0-14)	12-13 (5-14)	13 (12-14)	12-13 (9-14)	12-13 (12-14)	11-14 (12-13)
Vertebrae	62 (61-63)	62 (61-63)	62 (61-63)	62 (61-63)	62 (61-64)	62 (61-63)	62 (61-64)
Gill rakers	36-38 (35-42)	34-36 (28-38)	34-35 (32-41)	36 (34-41)	33-36 (33-43)	35-36 (34-39)	35-36 (33-41)

CPD : caudal penduncle depth, CPL : caudal penduncle length, ( ) : range

2) 육봉은어의 자어 형태

은어의 성체에 대한 형태적 조사 뿐만 아니라, 은어의 자어에 대한 형태조사를 동시에 실시하였다.

St. 6(분천리 지역)에서 봉고네트로 채집된 자어의 형태적 특징은 다음과 같다(Fig. 3).

전장 6.4㎜에 이르는 부화직후 자어는 입은 개방되어있으나, 소화관은 직선형이 형성되어있음에도 불구하고 아직 개방되지 않았다. 또한 안구보다 작은 난황이 아직 남아있으며 근절은 62개였다. 가슴지느러미와 막지느러미가 발달된 상태이며 안구는 검고 복부에 흑색소포가 밀집해 있었다. 이들 흑색색소포는 복부방향의 소화관과 등쪽 방향의 소화관에도 산재하여 분포하였다(Fig. 3A).

전장 7.1㎜의 개체는 난황이 완전히 흡수되었으나 항문은 아직 열리지 않은 상태였다(Fig. 3B). 전장 12.8㎜의 개체는 항문이 개방된 상태였으나, 호흡기관에 해당되는 새엽과 새파는 아직 발달되지않았고 이들의 원기로서 추정되는 4개의 새궁이 뚜렷하게 나타났다(Fig. 3C).

전장 16.0㎜에 이르는 개체는 척색말단이 구부러지기 시작하고 등지느러미 기조원기가 형성되었다. 흑색소포는 후두부, 소화관 등쪽과 배쪽, 그리고 꼬리부분에 산재하였으며, 근절수는 감소하여 59개에 이르렀다(Fig. 3D). 전장 18.1㎜의 개체는 등지느러미와 뒷지느러미의 기조수가 각각 9개씩으로 형성되었고, 꼬리지느러미의 기조수는 18개이었다. 이미 형성된 4쌍의 새궁에 새엽이 뚜렷하게 형성되고, 새파가 돌출되기 시작하였으며 척색말단이 위로 구부러졌다(Fig. 3E). 체장 42.8㎜의 개체는 기름지느러미가 뚜렷하게 형성되었고, 두정부와 새개부에 흑색소포가 집중되며 체측중앙부에 흑색소포가 침적되어 반문열이 나타났다. 각 지느러미의 기조는 정수(D. 10, A. 15)에 이르고 체형도 성어와 유사한 치어기에 도달하였다(Fig. 3F).

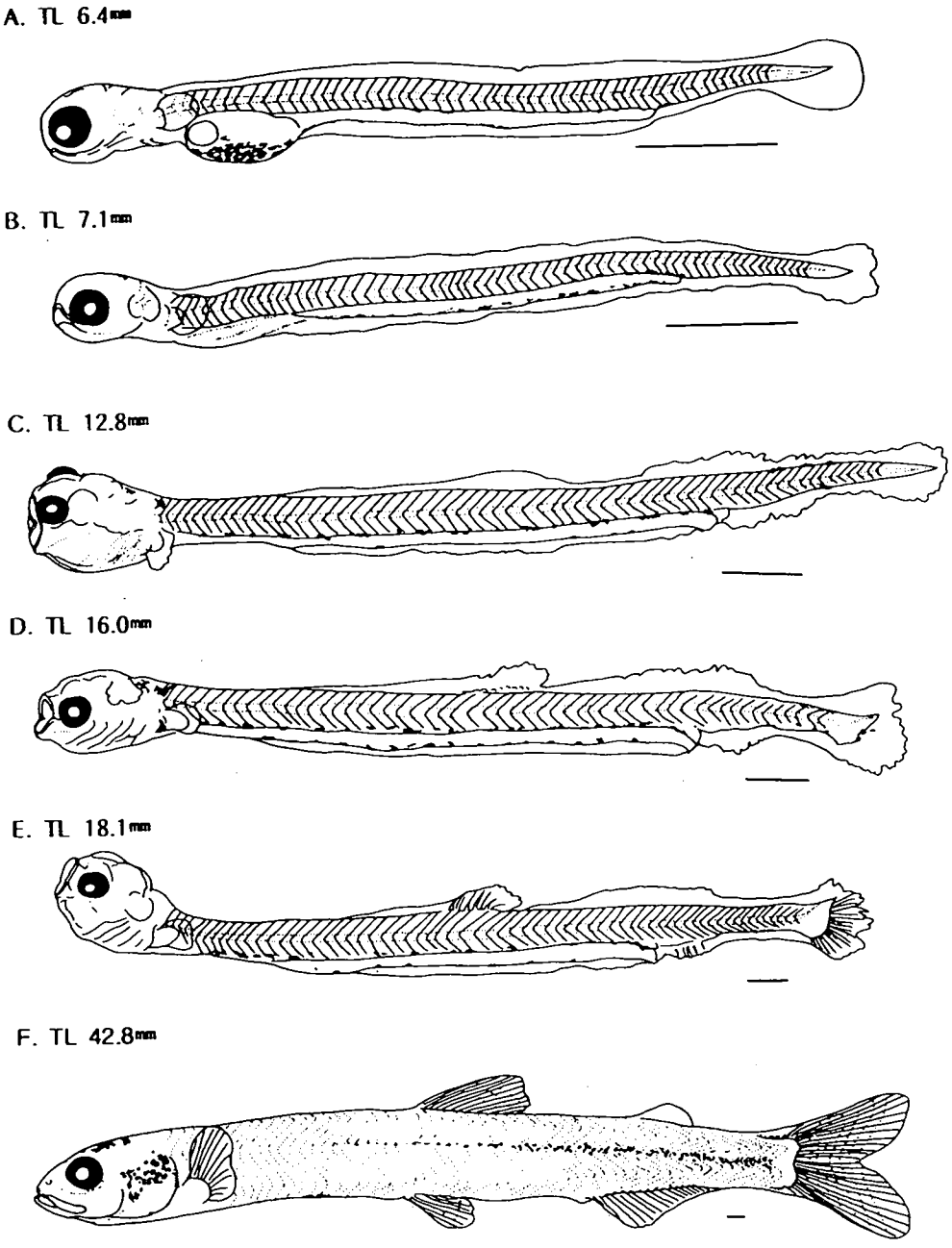


Fig. 3. External morphology of the larvae of *P. altivelis* at Andong-Dam from Korea.

5. 은어의 식성조사

1) 육봉은어의 자치어

전장 6.4~156.4㎜범위에 해당되는 안동호의 육봉은어와 섬진강 및 탐진강에서 채집한 자연집단의 은어을 중심으로 식성조사를 실시하였다.

은어의 성장단계 구분은 Iwai(1962)의 기준에 따라 전기자어기(prelarval stage), 후기자어기(postlarval stage) 및 치어기(juvenile stage)로 구분하고 이들 성장단계별로 소화관 내용물을 조사하였다.

난황이 완전히 흡수되기 전까지의 전기자어기에 해당하는 전장 6.4㎜의 개체는 항문이 열리지 않았음에도 불구하고 2개의 미동정 동물질 포자를 섭식한 것으로 확인되었고 그 외 특별한 먹이생물은 나타나지 않았다.

난황이 완전히 흡수된 후부터 모든 지느러미의 기조수가 정수에 이르기까지의 후기자어기에는 요각류, 요각류의 유생, 및 약간의 윤충류를 주로 섭식하는 것으로 나타났다.

치어기에는 요각류(57.7%), 물벼룩류(29.1%) 및 깔다구류(12.4%)를 주로 섭식하는 것으로 확인되었고(Table 8), 윤충류(0.6%)와 식물성플랑크톤, 어류의 비늘, 환형동물과 같이 섭이과정에서 일부 흡입된 것으로 보이는 기타 종류(0.2%)가 극히 일부분 차지하는 것을 확인하였다(Fig. 4). 요각류 중에서는 Cyclopoida아목에 해당하는 종류가 91.2%를 차지하였고, 물벼룩류는 코끼리물벼룩속(*Bosmina*)이 85.9%를 점유하였다. 또한 깔다구류는 유충과 번데기가 각각 45.1%와 54.9%로서 비슷한 비율을 나타냈다(Table 9).

2) 육봉은어의 성체

안동호산 육봉은어의 경우, 4월 중순경부터 도산면 분천리 일대에서 집단을 형성하며 소상을 준비하다가 하순경부터는 계류로 소상하기 시작한다. 5월초에 채집된 전장 55.9㎜의 개체부터 부착조류를 섭식하기 시작하여 전장 71~80㎜

Table. 8. Alimentary contents of *P. altivelis* by the body size in Andong-Dam from Korea

foods / total length(㎜)	life style	copepods	rotifers	cladocerans	chironomids	other	phytoplankton
6.4-9.6 (12)	prelarva	4	3				
11.4-19.5 (41)	postlarva	45	11				
28.9 (1)	postlarva						
45.5-50.9 (15)	juvenile	35	1			2	
52.0-60.9 (29)	juvenile	42	2	377	6	1	
61.2-70.5 (38)	juvenile	537		302	126	3	
71.3-80.3 (42)	juvenile	1099		209	247		diatoms
81.2-90.5 (7)	immature						diatoms
92.7-100.3 (19)	immature						diatoms
101.6-110.6 (12)	immature						diatoms
111.0-129.6 (16)	immature						diatoms
132.3-140.9 (11)	immature						diatoms
144.4-149.8 (2)	immature						diatoms
ratio		1,762 (57.7%)	17 (0.6%)	888 (29.1%)	379 (12.4%)	6 (0.2%)	diatoms

( ) : number of individuals of the each total length

범위의 개체들은 대부분이 동물성 먹이를 섭식하면서 일부 개체에서 부착조류를 섭식하기 시작한다.

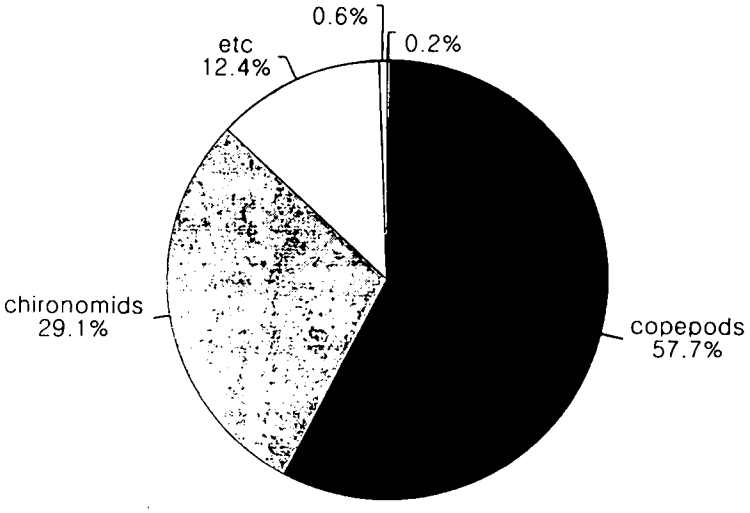


Fig. 4. Dendrogram of alimentary contents of the larva and juvenile of land locked *P. altivelus* at Andong-Dam from Korea.

Table 9. Size of alimentary contents of *P. altivelis* by total length at Andong-Dam

total length (mm)	copepods	cladocerans	rotifers	cysts
6.5-9.6 (n=12)			3(0.1-0.175mm)	3(0.2mm)
11.4-19.5 (n=41)	A; 32(0.75-1.2mm) N; 13(0.15-0.375mm		11(0.1-0.175mm)	7(0.15-0.2mm)
28.9 (n=1)				
45.5-50.9 (n=15)	A; 35(0.75-1.2mm)	204(0.25-0.45mm)	1(0.125mm)	4(015-0.2mm)
52.0-60.9 (n=35)	A; 45(0.75-1.5mm)	173(0.5-1.125mm)	2(0.1-0.125)	1(0.2mm)
61.2-70.5 (n=42)	A; 539(0.75-1.5mm) N; 2(0.2-0.375mm)	181(0.25-0.45mm) 121(0.5-1.125mm)		2(0.2mm)
71.3-80.3 (n=47)	A;1085(0.75-2.0mm) N; 19(0.2-0.375mm)	136(0.25-0.45mm) 73(0.5-1.125mm)		

A; adult, N; nauplius

또한 전장 범위가 81㎜ 이상인 개체는 식성의 변화가 완전히 이루어져 동물성 먹이는 섭식하지 않고 부착조류만을 섭식하는 것으로 나타났다(Table 10a). 대부분의 소화관 내용물은 규조류로서 *Synedra, Fragilaris, Navicula, Cymbella* 및 *Pinnularia* 등이고 일부 약간의 녹조류와 남조류도 포함되어있었다(Table 10a, 10b). 또한 섭이과정에서 혼식된 것을 추정되는 깔다구 유충이 극미량 들어있었다. 이 시기의 은어는 형태적으로는 성어와 유사하나 성적으로 성숙하지

않은 미성어기에 해당한다. 이러한 현상은 안동산 육봉집단 뿐만 아니라, 삼척 마읍천을 포함하여 전남 탐진강의 자연분포 은어에서도 동일한 양상으로 나타났다. 즉 식물성플랑크톤에서도 *Synedra, Fragilaris, Navicula, Cymbella* 및 *Pinnularia* 등의 규조류와 같은 부착조류를 주로 섭식하면서 극히 일부의 녹조류와 남조류도 섭식하는 것으로 확인되었으나, 동물성 플랑크톤이나 동물성 먹이는 전혀 섭식하지 않은 것으로 확인되었다(Table 10b, Fig. 5).

은어는 소상함에 따라 치어기의 원추치(conical teeth)에서 성어기의 즐상치(comb-like teeth)로 변화하는 것이 알려져 있으며(Iwai, 1962), 소상기에 치어형 치계가 탈락하면서 동물성에서 식물성으로 식성도 변화한다(Komada, 1981, 1982). 본 조사에서도 치계와 식성변화의 관계를 알아보기위해 소상시기의 치계의 변화유무를 조사한 결과, 4월에 채집된 모든 표본에서는 대부분이 원추치를 가지고 있으면서 식성은 동물성이고 즐상치가 미소하게 나타나기 시작한다. 5월과 6월에 채집된 표본에서는 대부분이 전장 70㎜이상으로 즐상치를 나타내며 차츰 식성도 식물성으로 변화된다(Table 11).

일반적으로 은어의 경우는 겨울에서 봄까지는 성장이 매우 느리다가 4월 중순경부터 소상을 시작하면서 급속히 성장하여 7월에는 전장이 평균 130㎜, 체중이 22g에 이른다(Table 12). 이와같이 급격한 신장과 체중의 증가는 영양적인 면에서 비록 다소 적은 영양치를 가지지만, 이동성이 적고, 많은 양이 풍부하게 존재하므로 산란과 성장을 위하여 충분한 먹이를 습득할 수 있는 식물성 플랑크톤으로 변화시키는 것과 깊은 관련이 있다고 추정된다.

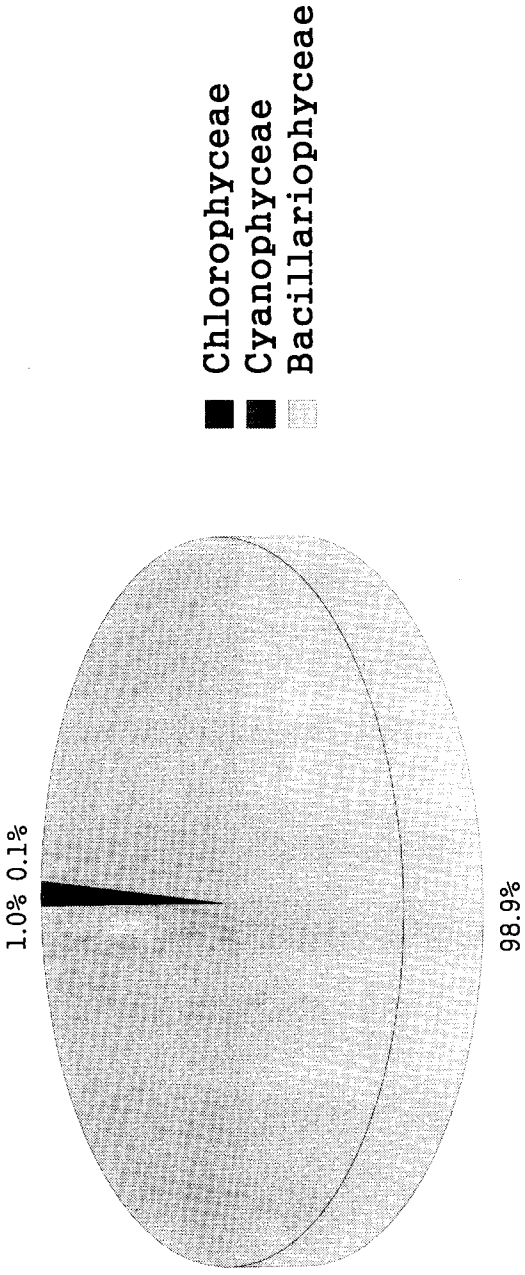


Fig. 5. Dendrogram of the alimentary contents of the adult of *P. altivelus* at Andong-Dam and natural stream from Korea.

Table 10a. Alimentary contents of the immature fishes and adult fishes in Andong-Dam from Korea

total length / phytoplankton	58.4-84.6㎜	94.5-108.3㎜
ClassChlorophyceae		
Order Chlorococcales		
Family Coelastraceae		
Scenedesmus	+++	++
Order Zygnematales		
Family Desmidiaceae		
Closterium	++	+
Cosmarium	++	+
Staurastrum		+
Family Zygnemataceae		
Spirozyra		+
Order Chaetophorales		
Family chaetophoraceae		
Stigeoclonium	+	+
Class Cyanophyceae		
Order Nostocales		
Family Oscillatoriaceae		
Phormidium	++	
Class Bacillariophyceae		
Order Pennales		
Family Diatomaceae		
Synedra	++++	+++
Diatoma		++
Fragilaria	+++	+++
Family Naviculaceae		
Gomphonema	++	+++
Cymbella	++++	++++
Navicula	++++	++++
Pinnularia	+	+++
Rhoicosphenia	+	
Family Surirellaceae		
Surirella	++	++
Order Centrales		
Family Thalassiosiraceae		
Cyclotella	+	+
Family Melosiraceae		
Melosira	++	+

Table 10b. Altimentary contents of the adult fishes on the several collecting sites from Korea

phytoplankton \ sites	Andong-Dam	Maup S.	Uljin S.	Daejong S.	Tamjin R.
Class Cyanophyceae					
Order Chroococcales					
Family Chroococacae					
Aphnocapsa		+			
Family Oscillatoriaceae					
Oscillatoria			+	+	+
Schizothrix			+		
Phormidum					+ +
Class Bacillariophyceae					
Order Pennales					
Family Achnanthaceae					
Cocconeis			+		
Family Diatomaceae					
Syndera	+ + + + +	+ +	+ +	+	
Diatoma	+				
Fragilaria	+ + +	+ +	+ + +	+ + + +	+ + +
Family Naviculaceae					
Gomphonema	+	+		+	+ +
Cymbella	+ + + +	+ + + +	+ + +	+ + +	+ + + +
Navicular	+ + + +	+ + + +	+ +	+ +	+ +
Pinnularia	+ +	+ +			+ +
Amphora		+			
Tabellaria				+ +	+
Diploneis		+	+	+ +	
Family Achnanthaceae					
Achnanthes					+ +
Family Surirellaceae					
Surirella	+ +				
Order Centrales					
Family Thalassiosiraceae					
Thalassiosira			+		
Family Melosiraceae					

(Table 10b. continued)

sites / phytoplankton	Andong-Dam	Maup S.	Uljin S.	Daejong S.	Tamjin R.
Melosira	+				
Class Chlorophyceae					
Order Chlorocoddales					
Family Scenedesmaceae					
Scenedesmus	+ +	+		+	
Order Ulotrichales					
Family Ulotrichaceae					
Klebsomidium			+ +	+ +	+
Order Chaetophorales					
Family Chaetophoraceae					
Stigeoclonium	+		+ +		
Draparnaldiopsis				+	
Order Ulvales					
Family Schizomeridaceae					
Schizomeris		+ +	+		+
Order Chlorocoddales					
Family Micractiniaceae					
Micractinium				+	
Order Zygnematales					
Family Zygnenataceae					
Mougeotia			+		
Spirogira	+			+	+ + + +
Zegnema					
Family Desmidiaceae					
Closterium	+	+	+	+ +	+ +
Cosmarium	+ +	+ +	+	+	

Table 11. Relationships of diet and teeth form of immatured land-locked *P. altivelis* from Korea

teeth	conical teeth				conical+comb-like teeth				comb like teeth				organism
SL(㎜)	A.	M.	N.	L.	A.	M.	N.	L.	A.	M.	N.	L.	
-60	3	4											Zoo.
70	18				8	5				6			Zoo.
80	11				6				2	39	2	1	Zoo./Phyto.
90					1					8	22		Phyto.
100											35		Phyto.
110											25	4	Phyto.
120											13	20	Phyto.
130											1	12	Phyto.
140												13	Phyto.
150											1	13	Phyto.
160												5	Phyto.
170												2	Phyto.
Organism	Zoo.		-		Zoo.	Phyto.			Zoo.	Phyto.	Phyto.	Phyto.	

SL : standard length, A: April, M: May, N: June, L: July, Zoo: zooplankton, Phyto: phytoplankton.

Table 12. Variations in total length and body weigth at Andong-Dam from Korea

dates	no. of individuals	total length(㎜)	body weighh(g)
November, 1995	82	6.4~55.6(23.1)	0.1>~0.7g(0.1)
December, 1995	81	51.0~68.6(59.2)	0.6~1.5g(0.9)
January, 1996	18	52.3~75.9(67.5)	0.6~2.5g(1.7)
April, 1996	569	50.1~85.3(69.0)	0.4~1.9g(1.7)
May, 1996	62	57.3~89.5(74.0)	0.8~5.2g(2.8)
June, 1996	99	78.1~141.4(99.1)	3.6~29.4g(8.4)
July, 1996	72	77.5~170.0(131.1)	1.8~56.1g(22.2)

( ) : average

6. 은어의 산란생태조사

육봉 은어의 산란장과 산란시각을 측정하기 위하여 구경 30㎝, 길이 1.2m 망목 0.2㎜의 네트를 2m간격으로 하천에 설치하여 매 2시간마다 은어 자어를 채집하였다.

조사지점은 도산면 토계리의 2개지점으로 제 1지점은 도산서원을 기점으로 하여 상류쪽으로 1.4㎞지점, 제 2지점은 3.5㎞지점을 설정하였다. 조사지점 1은 하폭은 50m, 수심 89~155㎝범위로 하상은 모래, 자갈 및 바위로 구성되어있다. 유속은 약 5~10㎝/sec정도이다.

은어의 산란장으로 확인된 지류와 접한 지역에서 난황이 흡수되지 않은 많은 전기자어를 채집하였고 시간대는 오후 8~12시 사이에 가장 많았으며, 오전 8시 이후의 주간에는 전혀 채집되지 않았다. 따라서 은어는 유속의 흐름이 비교적 작고, 하상에 모래와 자갈 등으로 구성되어있는 지역을 산란으로 선호하는 것으로 생각된다. 또한 주간보다는 야간에 주로 산란을 실시하고, 새벽까지 이동하다가 주간이 되면 돌틈이나, 하상의 바닥으로 이동하여 숨어지내다가 다시 야간에만 이동하는 것으로 추정된다.

조사지점 2는 하폭 38m, 하상이 자갈과 바위로 되어 있고 수심은 15-75㎝범위이며 유속은 상당히 빨라 약 30~100㎝/sec정도였다. 오후 6시부터 오전 6시까지 조사를 실시하였으나, 갈겨니나 피라미 자어로 생각되는 2개체만이 채집되었을 뿐, 은어 자어는 전혀 채집되지 않았다.

따라서 본 조사를 통해 은어의 산란장은 안동댐에서 상류로 37km떨어졌으며, 도산서원부터 상류방향으로 3.5㎞지점까지의 유입하천으로 확인되었고, 은어 자어는 주로 야간에 특히 오후 8~12시사이에 부화하여 유하함을 알 수 있었다(Table 13; Fig. 6).

이와 같은 조사를 통하여 확인한 은어의 산란장을 정밀하게 조사하였다. 산란시기는 9월과 10월로 추정되면, 본 연구에서 확인한 육봉은어의 산란장은 도

산면 토계리에서 안동호 본류로 유입되는 하폭이 1~4.5m, 수심이 5~40㎝이며 하상은 자갈과 돌, 유속은 10~50㎝/sec인 지류의 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 오후 12시 이전의 야간에 70~100여마리의 은어가 본 산란장인 지류로 이동하여 산란을 한다(Table 13).

산란시기가 야간이므로 상세한 산란행동은 관찰이 불가능하였다. 단지 암수의 은어가 서로 엉키면서 마치 사람이 물을 첨벙거리는 것과 같이 물을 튀기는 소리을 내었다. 수심이 10㎝도 되지 않는 곳에서는 산란을 위하여 본류에서 이동하는 은어를 손으로 잡을 수 있을 정도였다. 후레쉬 불빛에 산란이 방해받았는지 본류로 도주하는 개체들이 많고 큰 돌이나 바위 밑으로 숨는 개체도 많았다.

지류에는 녹조류(*Cladophora*)가 밀생하는데 이 녹조류에 구형의 많은 은어 알들이 부착되어있는 것을 확인하였고 혹은, 손바닥만한 크기의 돌과 지름 2~3㎝정도의 자갈에도 은어의 알들이 부착되어 있었으며 발안난도 채집이 가능하였다.

은어의 알은 구형으로 외난막에 의해 녹조류, 자갈 및 돌에 부착되면 분리침성부착란으로 옅은 황색의 난황을 가지고 있다. 지류의 산란장 내에서 주로 자갈바닥으로만 된 지점에서 1㎡내 7개소에 부착된 알의 수를 조사한 결과 1~52개로 매우 다양하고, 주로 지류와 본류가 만나는 지점에서 많은 수의 알이 부착되어 있었다.

또한 녹조식물이 많은 수역에서는 수심 3~15㎝에서 10개소에서 알수를 조사한 결과 10㎠당 1~44개로 다양하였다. 오전 9시에 수온은 산란장인 지류가 19.2℃, 본류가 22.3℃, 그 접경수역이 19.9℃로 지류와 본류에 수온이 2℃정도 차이가 있었다(Fig. 7). 동일한 지역에서 주간에는 20~30여마리의 은어들이 부착조류를 섭식하는 것을 관찰할 수 있었다.

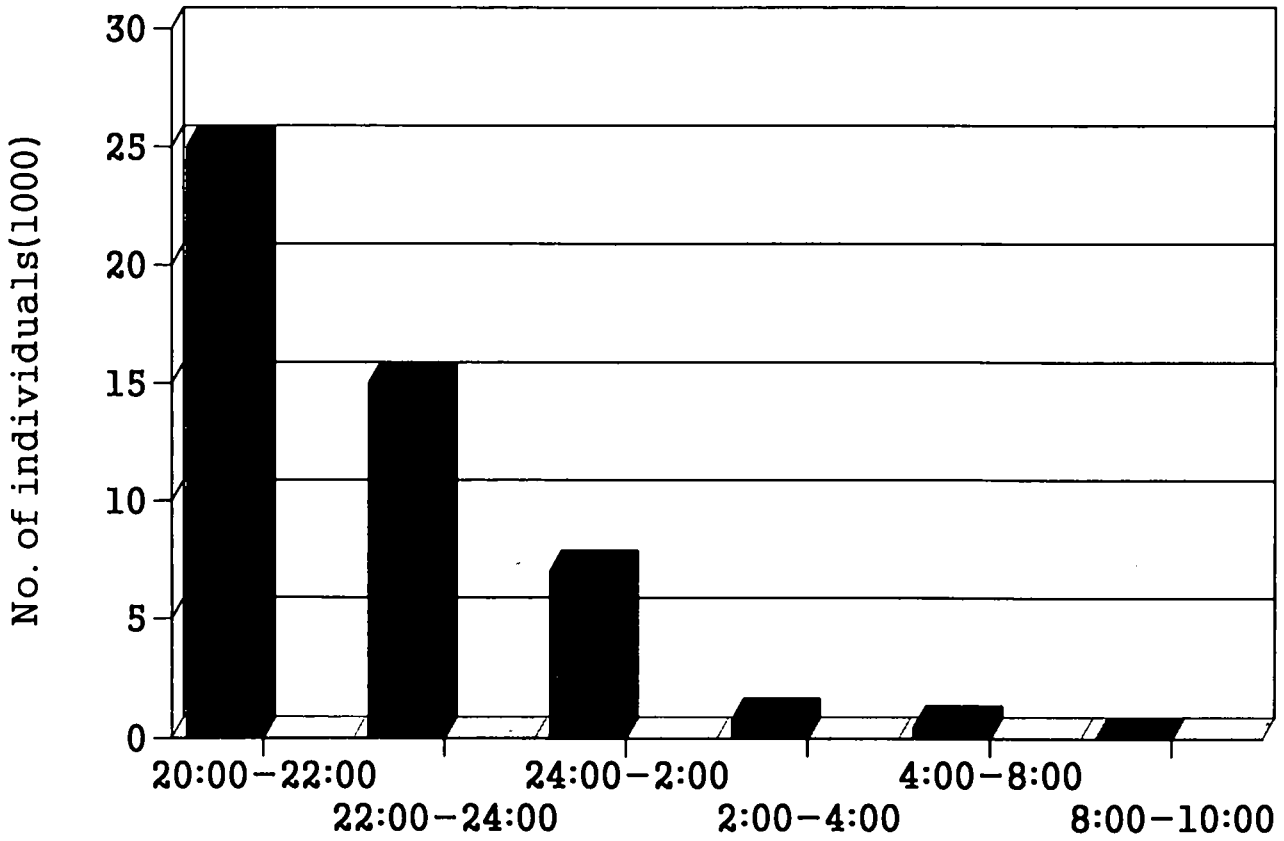


Fig. 6. Appearance ration of pre-larva in spawning site at Andong-Dam from Korea.

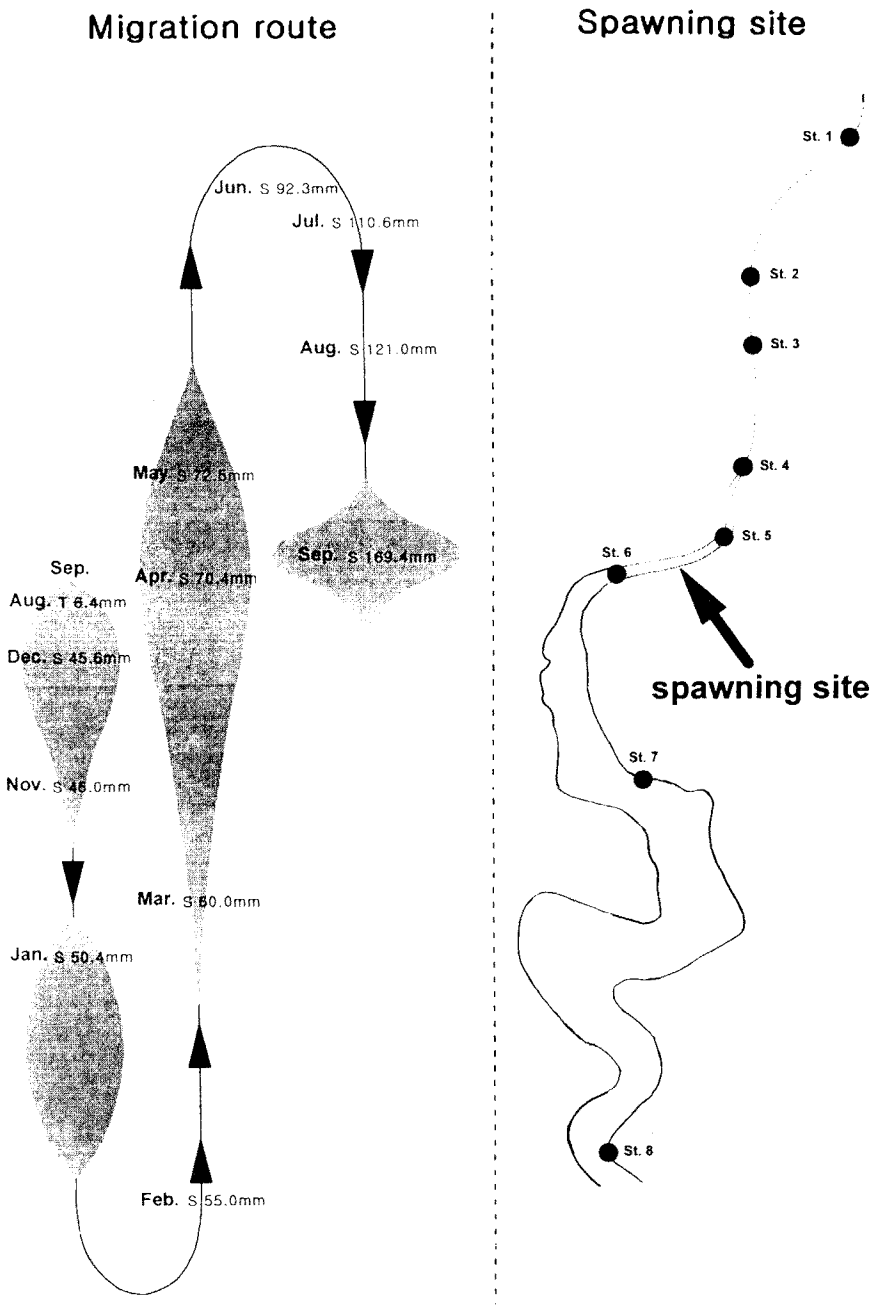


Fig. 7. Dendrogram of migration route and spawning site of the land-locked *P. altivelis* at Andong-Dam from Korea.

Table 13. Results of larva of *P. altivelis* collected at the each sampling nets

no. of nets	depth	Sep. 13 20:00-22:00	22:00-24:00	Sep. 14. 12:00-2:00	2:00-4:00	4:00-8:00	8:00-10:00
1	89	+++++	++++	+++	++	++	
2	100	+++++	++++	+++	++	++	
3	111	++++	++++	++++	+	+	
4	125	++++	+++++	+	+	+(20)	
5	129	+++	+++++	++	+	+(200)	
6	135	+++	++++	+	+	+(100)	
7	146	+++	++++	+	+	+(90)	
8	144	++	++++	+	+	+(70)	
9	143	++	++++	+	+	+(70)	
10	155	++	++++	+	+	+(70)	
11	144	+	+	+	+	+(25)	
12	153	+	++	+	+	+(25)	
13	145	++	++	+	+	+(25)	
14	144	++	+++	+	+	+(25)	
15	90	++	++	+	+	+(20)	
16	113	+++	+	+	+	+(20)	
17	102	+	+	+	+	+(20)	
18	93	+	+	+(4)	+	+(20)	
19	103	+(3)	+	+(20)	+	+(1)	

+++++ 3,000-4,000; ++++ 2,000-3,000; +++ 1,000-2,000; ++ 500-1,000; + <500

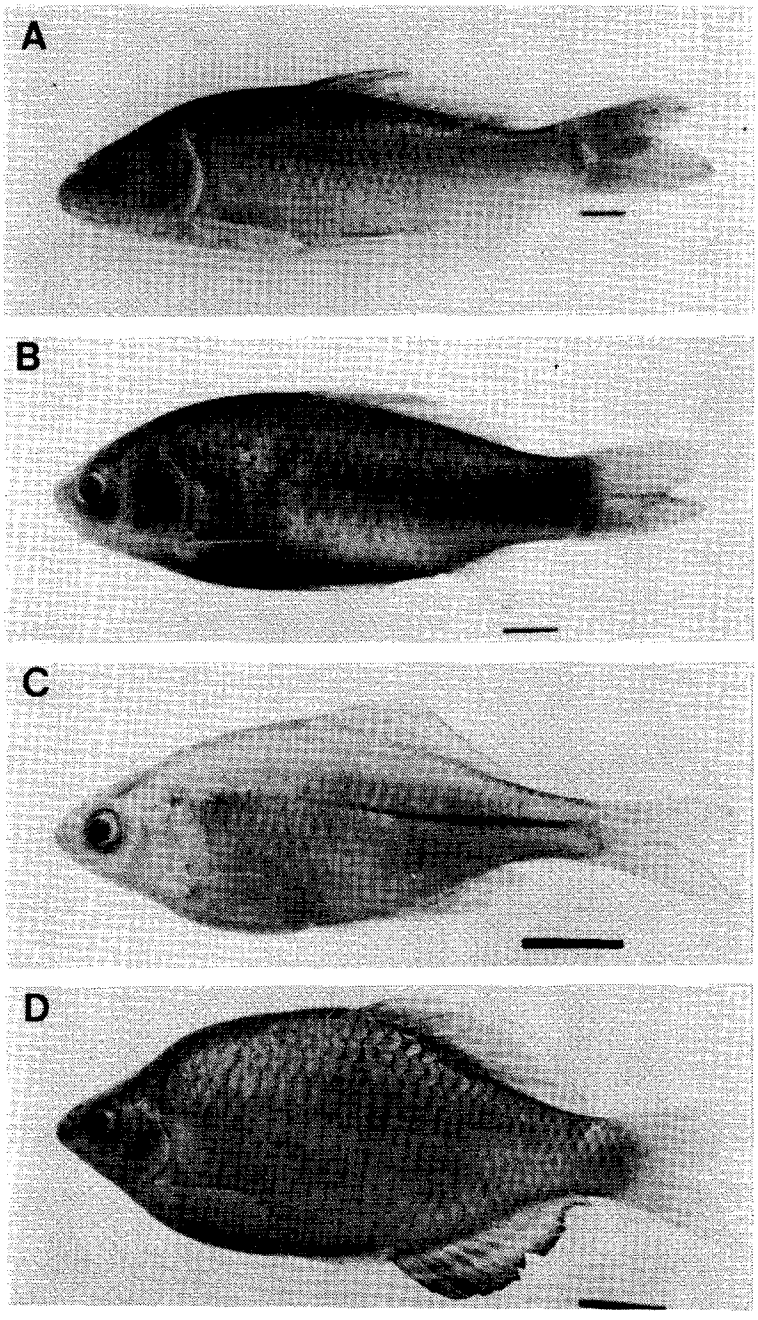


Plate 1. A; *Cyprinus carpio*, BL; *Carassius auratus*, C; *Acanthorhodeus assumussi*, D; *Acheilognathus koreensis*

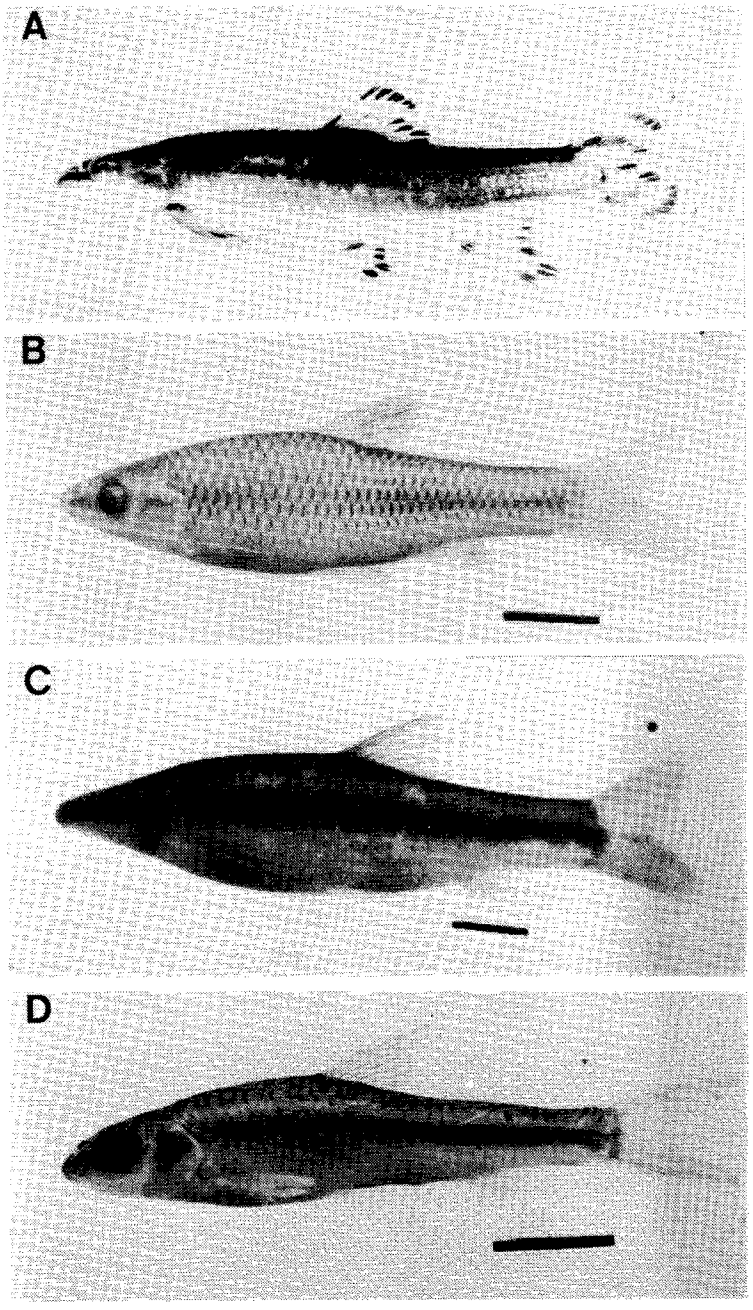


Plate 2. A; *Coreoleuciscus splendidus*, B; *Pseudorasbora parva*, C; *Pun ptungia herzi*, D; *Squalidus gracilis majimae*

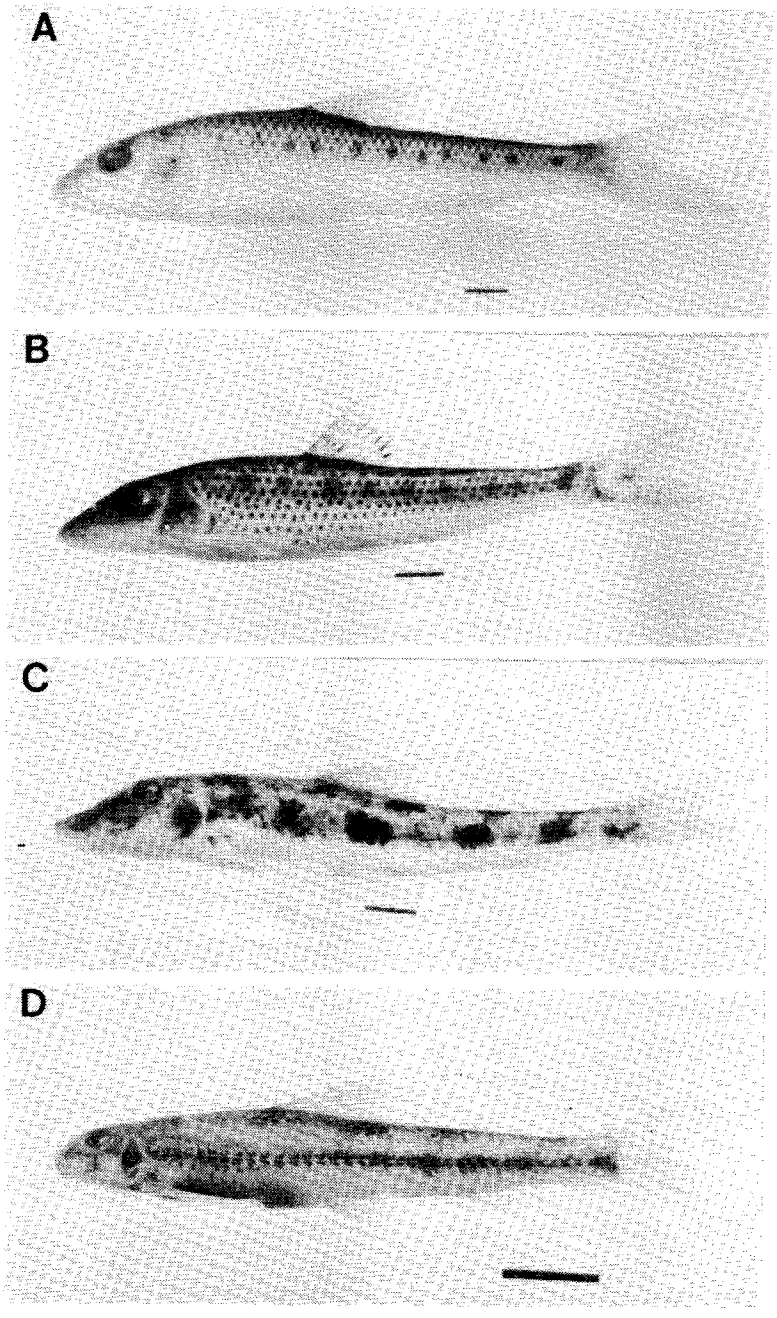


Plate 3. A; *Hemibarbus labeo*, B; *Hemibarbus longirostris*, C; *Pseudogobio esocinus*, D; *Microphysogobio yaluensis*

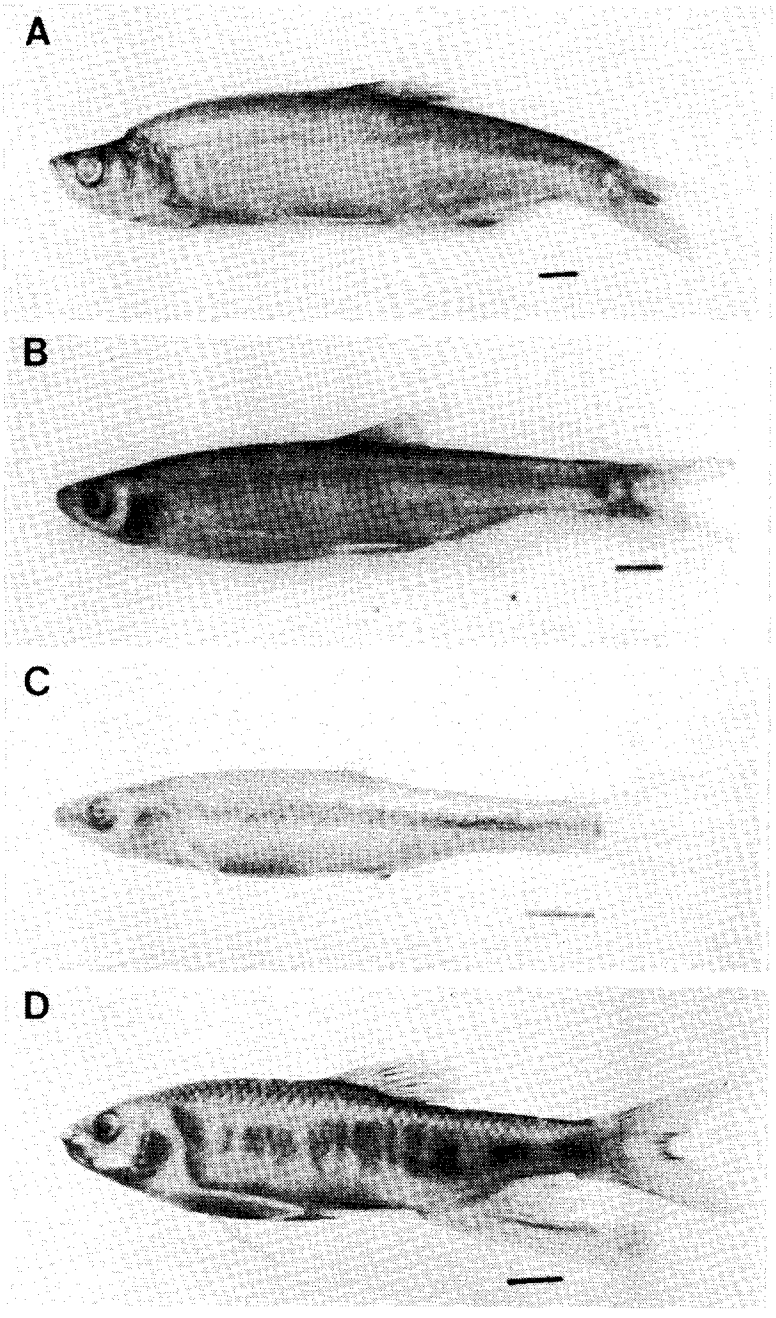


Plate 4. A; *Culter brevicauda*, B; *Hemiculter eigenmanni*, C; *Moroco oxycephalus*, D; *Zacco platypus*

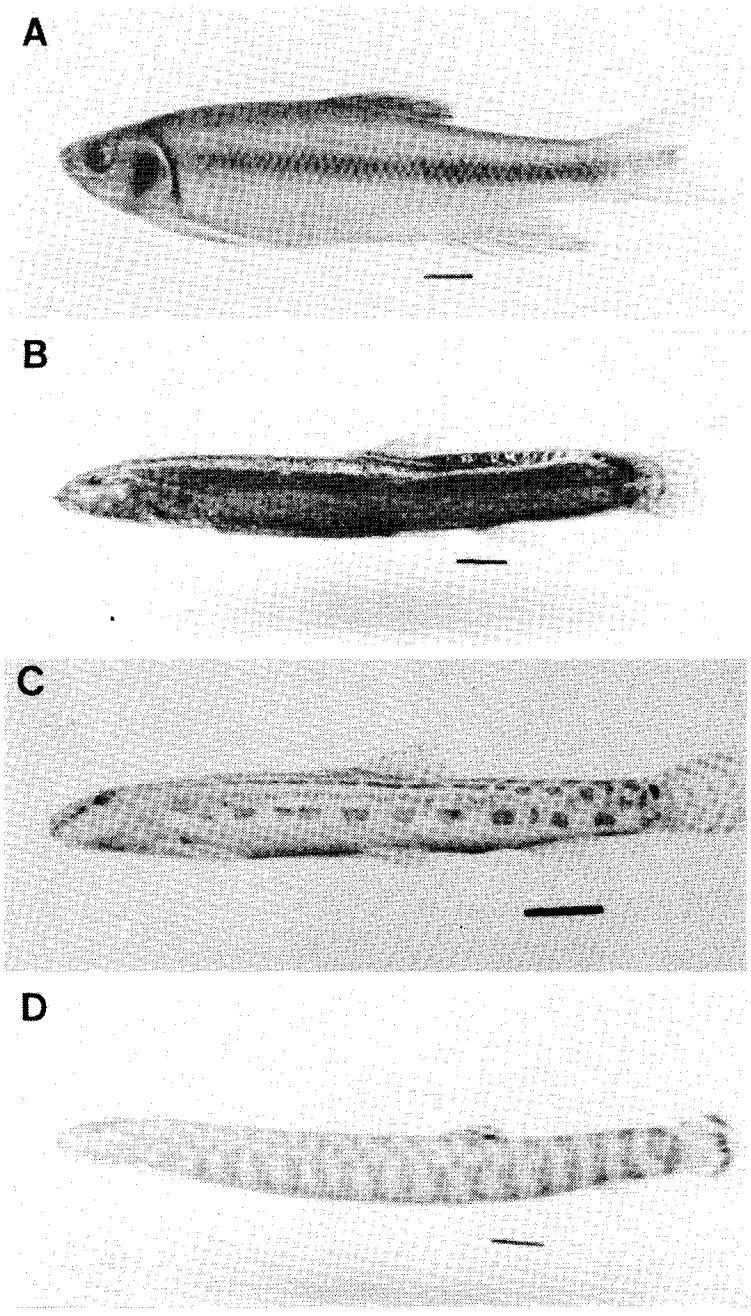


Plate 5. A; *Zacco temmincki*, B; *Misgurnus mizolepis*, C; *Cobitis sinensis* D; *Niwaella multifasciata*

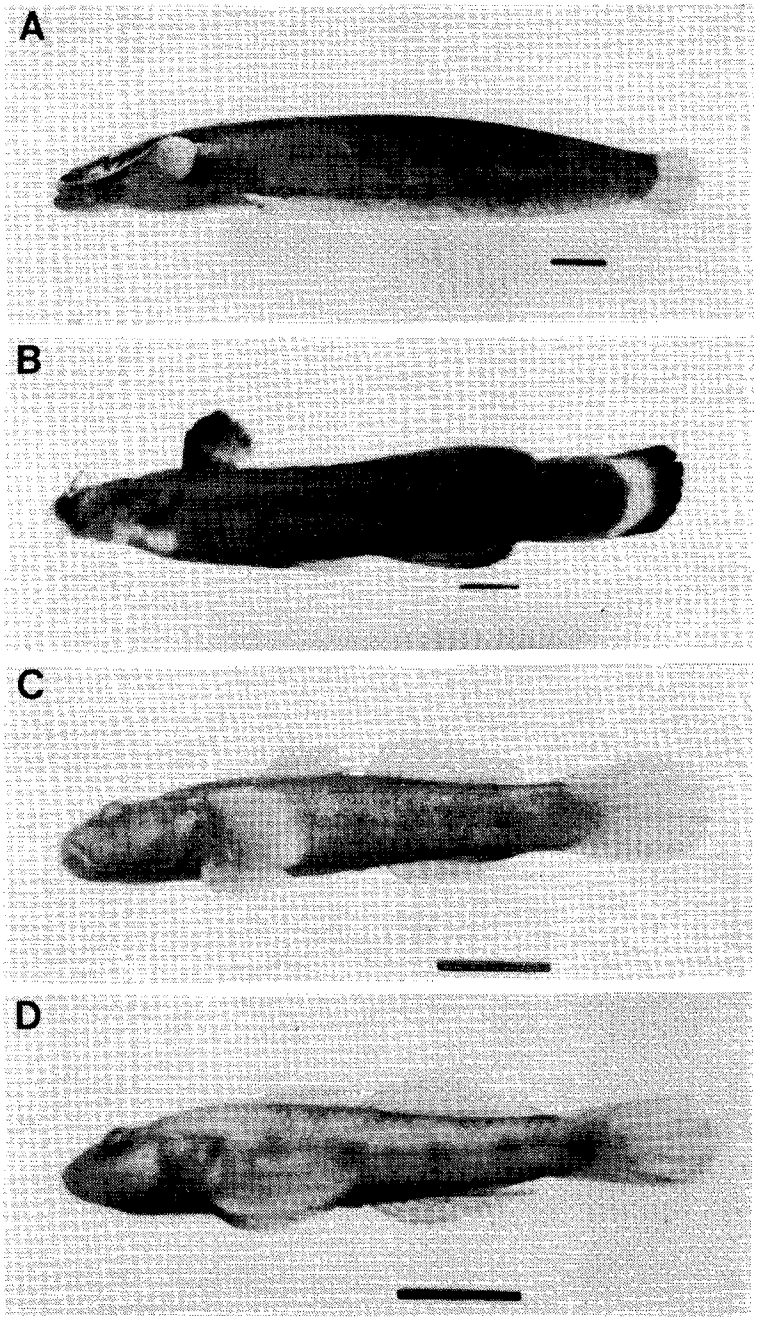


Plate 6. A; *Silurus asotus*, B; *Liobagrus mediadiposalis*, C; *Rhinogobius brunneus*, D; *Rhinogobius giurinus*

여　　백

제 3 장 담수산 초기 먹이생물 배양기술 개발

제 1 절 서 론

근래 어류 등 수산생물을 통한 단백질 공급의 중요성은 증대되고 있는 한편 오염과 남획 등으로 어획량은 감소하고 있어, 양식을 통한 질 좋은 단백질의 공급이 중요시되고 있다. 한편 어류의 자원 조성 및 양식 산업의 성공 여부에는 좋은 친어의 사육 및 인공 조절을 통한 인공채란이 중요하지만 부화한 자어에게 적절한 먹이생물을 얼마나 공급할 수 있는가 하는 문제는 더욱 중요하다. 이에 따라 년중 필요한 시기에 질 좋은 종묘가 얼마나 보급되는지 결정되기 때문이다.

한편 수산생물의 종묘를 조절된 시기에 대량으로 생산하기 위해서는 초기 성장을 보장할 완전 사료가 필요하나 초기 배합사료의 개발이 어렵기 때문에 자연 생태계의 먹이사슬관계를 이용한 살아있는 동물과 식물을 먹이로서 이용하고자 하는 노력이 계속되고 있다.

해산어 양식의 경우 일찍이 초기 먹이 생물 개발의 중요성이 인식되어 해산 윤충 *Branchionus plicatilis*의 가치 및 배양방법에 대한 연구가 이루어져(日本水産學會編, 1983; Watanabe *et al.*, 1983; 福所, 平山 編, 1989), 대량배양을 위한 연구(Hirayama and Nakamura, 1976), 먹이 종류별 윤충의 생식율 변화(Snell *et al.*, 1983), 윤충의 먹이인 *Chlorella* 밀도별 배양시험(James and Abu-Rezeq, 1988) 등 노력이 계속되고 있으며, 국내에서도 적정 먹이생물 종에 대한 연구(許와 金, 1988; 許 等, 1989), 연속반복수확을 위한 연구(文, 1981), 허와 박(1996a, b)에 의한 해산 윤충인 *Brachionus plicatilis*에 대한 내구란의 연구 등이 이루어지는 등 윤충의 이용이 일반화되었다.

그러나 담수 양식을 위한 먹이생물의 배양은 전통적으로 야외 사육지에 시비를 한 후 조방적으로 생산을 하는 방식이 널리 이용되고 있으며(野村 編, 1982; Yu, 1989) 집약적으로 먹이생물을 배양하여 이용하는 기술에 대한 보고는 거의 없는 실정이어서 해산 윤충인 *B. plicatilis*를 잉어류 자어에 대한 먹이생물로서 가능성을 시험(Lubens *et al.*, 1987)한 정도가 있을 뿐이다.

담수어 양식에 이용 가능한 담수산 윤충에 대한 연구는 *B. calyciflorus*의 유성생식 암컷 생산에 대한 연구(Gilbert, 1963), 유성생식 암컷의 생식 생물학적 연구(Galindo and Guisande, 1993), 연령에 따른 생식율에 대한 연구(Rougier and Pourriot, 1977), pH 상승에 따른 *B. calyciflorus*의 생존율과 번식에 대한 연구(Mitchell and Joubert, 1986), 허와 박(1996a)의 *B. calyciflorus* 분리에 대한 보고 등 배양에 필요한 기초 생물학적 연구는 다소 진전되었으나 대량배양 및 실제 이용에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

즉, 담수에서 윤충을 먹이생물로 이용하려는 연구는 *B. rubens*의 대량배양에 대한 연구(Groeneweg and Schlüter, 1981) 그리고 *B. calyciflorus*의 대량배양 가능성에 대한 보고(田中, 1983; Mitchell, 1986)등 기초 연구가 진행된 상태에 불과하여 적절한 시기에 맞춘 종묘생산 및 고부가 가치의 담수어 양식기술 개발 등에 많은 장애가 되고 있다.

본 연구는 일본에서 뿐만 아니라 우리 나라에서도 육봉화된 은어(1장 참조)가 발견됨에 따라 은어의 육봉화를 인공적으로 유도하여 은어 종묘생산기술의 단순화를 꾀한 연구의 일환으로 은어에 필요한 담수산 초기 먹이생물의 개발을 위해 수행되었다.

본 연구는 그간 담수산으로서 이용 가능성이 제시되어진 담수산 윤충인 *B. rubens*와 *B. calyciflorus* 중 생물학적 연구가 어느 정도 이루어졌고 기존에 해산에서 종묘생산에 필수적으로 이용되어 온 *B. plicatilis*와 분류학적으로 유사하여 배양기술 개발에 유리한 것으로 사료되는 *B. calyciflorus*를 순수분리하게

되었고, 일부 생물학적 특징을 밝혔으며, 적정 온도 등 배양에 필요한 적정조건을 구명하였고, 실내수조에서 대량배양 및 수확 방법에 대한 자료 등이 도출되었기에 정리하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 초기 먹이생물 자원 조사

실제 분포하고 있는 부유생물의 종류를 파악하여 은어가 이용할 수 있는 범위를 알아보고자 은어가 육봉화 되어 서식하고 있는 안동호에서 부유생물 채집망(망목 50㎛)을 이용 동물성 부유생물을 채집하였다. 채집된 부유생물은 물과 함께 4% 포르말린액에 고정한 후 실험실로 옮겨 曺(1993), Pennak(1978) 등에 따라 가능한 한 종의 수준까지 동정하였다.

2. 초기 먹이생물 가능 종의 분리 및 원종 배양 시험

어류 양식시 초기 먹이생물로서 가장 일반적이며 은어 자어의 소화관 내용물 조사결과 유사한 크기를 가지는 윤충을 목표로 하여 개체 분리법에 의한 분리 및 원종 배양을 시도하였다.

본 연구에서 원종 분리에 이용한 시료는 *Brachionus calyciflorus*로서 자연수계가 아닌 진해내수면연구소 야외 사육지의 환경에 어느 정도 안정되었고, 일반적으로 은어를 비롯하여 해산 종묘생산시 이용되고 있는 *B. plicatilis*와 크기가 비슷(허와 박, 1996b)하며, 분류학적으로 같은 속에 해당하여 생물학적 특성이 비슷할 것으로 사료되어 기술 개발에 다소 용이할 것으로 판단되었다.

원종 분리는 대형 부유생물을 분리하는 일반적인 방법(Doris *et al.* ed., 1983)을 실정에 맞게 약간 변형하였다(Fig. 8).

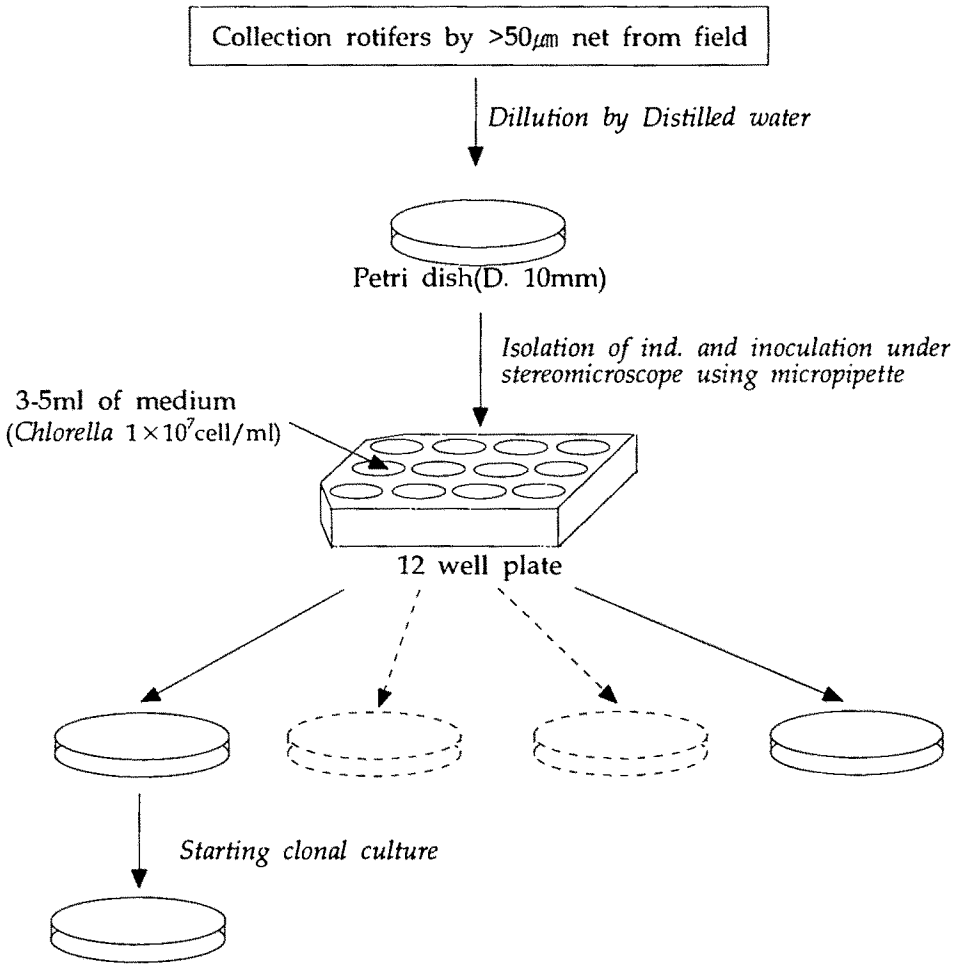


Fig. 8. Diagram showing the procedures for the isolation and clonal culture of rotifer.

먼저 야외 사육지에서 부유생물 채집망(망목 >50㎛)을 이용 채집한 표본수는 사육환경의 수온 등을 그대로 유지하기 위해 가능한 한 빨리 실험실로 운반하였다. 표본수에는 원하지 않는 다른 부유생물도 같이 혼합되어 있고 밀도가 높아 다른 개체가 혼합될 우려가 있으므로 채집한 수온과 동일한 수온의 증류수를 섞어 희석한 후 원종분리에 이용하였다.

원종 분리에 이용한 윤충 먹이액으로는 일반적으로 널리 사용하는 *Chlorella*를 이용하였으며, 개발 단계에서 편의를 위하여 시판되고 있는 농축 *Chlorella*를 이용하였다. 배양시 *Chlorella*의 밀도는 추후 기초자료로 활용하기 위해 통일시키고자 1×10^7cell/ml로 하였다.

분리한 원종은 배양기내에서 배양하였으며 추후 성장 조건 등을 알아보기 위해 온도별 분리 후 배양시험을 하였다. 온도 시험구는 일반적으로 높은 수온에서 성장속도가 빠른 점을 배양에 이용하고자 원 서식지의 수온에 가까운 25°C를 기준으로 하고 이보다 약간씩 높은 27, 30°C의 시험구를 포함 3개의 시험구로 하였다.

3. 계대배양 및 실내배양

수회 반복하여 분리한 원종은 12 well plate에서 배양하면서 성장이 양호한 clone을 선별하였으며, 선별한 clone을 이용 계대배양하였다.

계대배양은 원종배양시와 동일한 농도의 *Chlorella*가 포함된 배양액을 이용 10ml에서 시작하여 50ml, 200ml, 1000ml의 순으로 옮겨가며 실내배양한 후 최종 20ℓ 아크릴 수조에서 유지하였다(Fig. 9).

각 단계별로 윤충을 옮기는 시기(배양액 교환 시기)는 윤충의 밀도가 10개체/ml에 도달하였을 때를 기준으로 하였고 윤충을 옮길 경우에는 70㎛ 망지를 이용하여 배양액을 거른 후 윤충만을 옮겨 배양액의 오염정도를 최소화 하였다.

배양 과정은 매 24시간마다 입체현미경하에서 관찰하였으며, 시험에 사용한

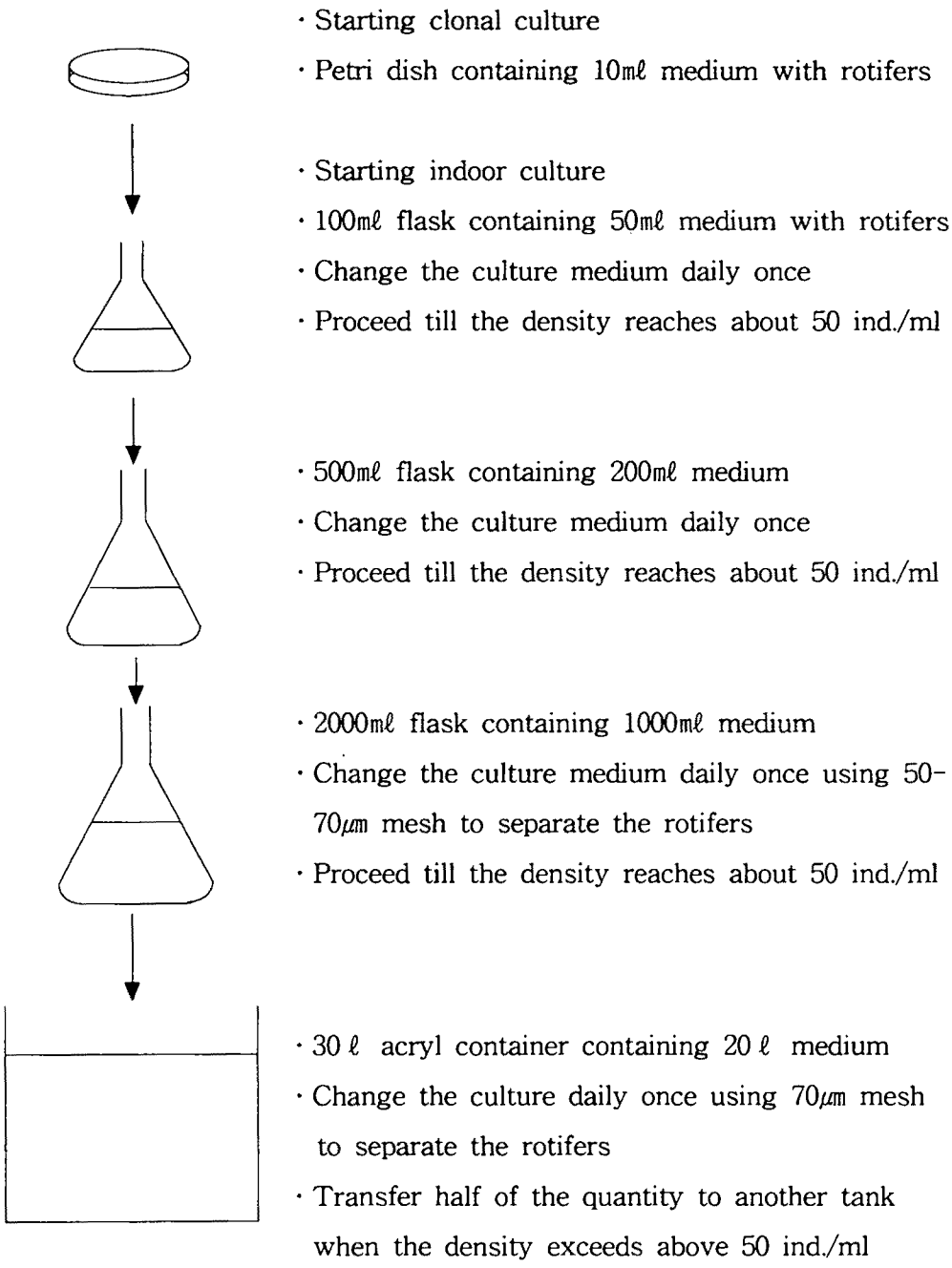


Fig. 9. Diagram showing the procedures of clonal and indoor culture.

*Chlorella*의 밀도는 100배율에서 혈구계산판을 이용하여 그리고 윤충의 피갑과 난의 측정은 50배율에서 영상분석기(SiS사, 독일)에 의해 처리하였다.

계대 배양 중 배양중인 윤충의 적정 배양 수온을 알아보기 위하여 계대배양중인 윤충을 계대배양시와 동일한 농도의 *Chlorella* 용액 250ml를 넣은 500ml 삼각플라스크에서 배양하여 시험에 적절한 개체수를 확보한 후 다음과 같은 온도별 각 시험구에 무작위적으로 분주하여 성장시험을 실시하였다.

실험은 경제성을 높이기 위해서 예비시험과 본 시험으로 구분하였으며 예비시험은 15~30°C 까지 5°C 간격으로 4개의 시험구를 설정 성장상태를 비교하여 대략의 성장에 적합한 온도범위를 결정하였고, 본 실험에서는 예비시험 결과 나타난 배양 온도 범위 중 성장이 비교적 양호한 범위인 22~28°C까지를 3°C 간격으로 좁힌 3개의 시험구를 설정함으로서 불필요한 시험구를 줄였다.

각 시험구는 분리시와 동일한 *Chlorella*액 500ml을 넣은 1000ml flask 3개를 1조로 하였고, 시험 시작시 접종 밀도는 일반적으로 윤충 배양시 접종하는 밀도인 20개체/ml로 하였다(Fulks and Main, 1991). 시험중 배양액은 매일 동일한 농도로 보충하였고 pH는 7.0~8.0 사이를 유지하였으며, 시험은 배양중인 윤충의 밀도가 최대에 도달한 후 급격히 하락하기 시작한 2일 후 종료하였다.

시험기간 중 윤충의 밀도는 피펫으로 각 시험구의 개별 시험 플라스크에서 배양액 1㎖을 취한 후 입체현미경하에서 암컷 개체만을 계수하였으며 3회 반복하였고, 시험구별 평균치를 구하였다.

한편 각 실험구별 개체군 성장률은 다음 식에 의해 구했으며(Rico-Martinez et. al., 1992; Schmid-Araya, 1995), 개체군 증가속도에 미치는 영향을 알아보기 위해 암컷의 평균 포란율을 구했다.

$$r = [\ln(D_t/D_0)]/t$$

(단, r= 성장률, D_t=측정 당시의 밀도, D_0=접종 밀도, t=배양시간)

4. 일괄 수확 대량배양시험

대량 배양 시험은 실질적으로 생산하여 운용할 수 있는 규모로 실내배양시 일반적으로 얻을 수 있었던 밀도인 300개체/ml로부터 1일 2억개체 생산을 목표로 하였을 때 필요한 수량인 700ℓ로 설정하였으며, 관찰이 용이한 800ℓ 용량의 아크릴 수조를 사용하였다. 해산어의 경우 보통 부화 7일에서 30일까지 윤충을 먹이로 하며 이때 자어 1마리당 필요한 윤충의 개체수는 40,000~100,000개체(Lubens *et al.*, 1987)임을 감안한다면 2,000~5,000마리의 자어를 사육할 수 있는 양이므로 대량배양으로서 의미를 가진다고 보았다.

한편 이 실험을 위한 접종 개체수는 접종밀도를 20개체/ml로 하였을 때 한 사육조에 1.4×10^6개의 접종용 윤충이 필요하므로 이를 충분히 감당할 수 있는 규모의 중간배양조로 250ℓ FRP 수조에 사육수 200ℓ로 하여 중간배양하였다. 중간 배양시에는 실험실내에서 계대배양중인 윤충을 접종하였다.

대량배양 접종시 사용했던 윤충 개체군의 포란율은 약 30%이었으며 각 실험시마다 보인 약간의 변동은 실험결과에 별도로 명기하였다.

사육시험은 실내 배양실험을 통하여 좋은 성장결과를 나타낸 수온인 25±1℃에서 실시하였으며, 윤충의 먹이밀도는 해산 윤충 사육시 이용되는 일반적인 농도(Fulks and Main, 1991)를 기준으로 하였으며, 먹이 농도별 배양시험을 실시하였다.

1차 시험은 접종 당일 농축 클로렐라 6×10^6cell/ml/일로 급이한 후 다음날부터 종료시까지 농축 클로렐라 6×10^6cell/ml/일과 유지효모 0.06g/ℓ/일로 급이하였다. 2차시험은 1차시험의 2배 농도의 클로렐라와 유지효모를 이용하였다. 먹이의 공급은 아침과 저녁으로 2회에 나누어 실시하였고, 배양액의 수질 개선을 위해 매일 사육수의 1/3을 미리 준비한 깨끗한 사육수로 교환하여 주었다.

결과의 관찰은 매 시험시 24시간 간격으로 윤충의 밀도, 포란율의 변화를 조사하였으며, 윤충의 밀도 및 포란율은 사육수 50ml을 취해 잘 저은 다음 1ml을

취해 실체현미경하에서 실시하였고 3회 반복하여 평균을 구했다.

배양물의 수확은 포란율이 5% 이하로 떨어져 개체 증가가 예상되지 않는 시점이나 일반적으로 수확하는 밀도인 250개체/ml 이상일 때 실시하였다.

5. 연속수확 대량배양시험

연속수확을 위한 대량배양은 한 사육조에서 배양기간 동안 수확과 배양을 수회 병행하여 많은 양을 연속적으로 수확할 수 있는 방법으로 文(1981), Lim(1991)이 제시한 방법에 따랐으며 실제 시험에서는 이를 실정에 맞게 변형시켜 Fig. 10과 같은 과정에 따랐다.

윤충의 접종밀도, 먹이공급량 및 사육 조건은 일괄 대량배양시험과 동일하게 하였으며 먹이농도에 따라 1차 시험과 2차 시험으로 구분하였다.

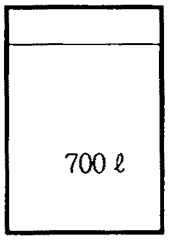
수확의 경우 윤충 밀도가 100개체/ml 이상이 된 배양 2일째부터 매일 1/3씩 수확한 후 수확시 배출한 양 만큼의 새로운 배양액을 첨가하여 배양을 계속하였으며 포란율이 5% 이하로 떨어져 다음날 개체 증가가 기대되지 않을 것으로 판단되는 시점에서 전체량을 수확하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 안동호의 부유생물

육봉 은어가 서식하고 있는 것으로 알려진 안동호(1장 참고) 내에서 은어의 자치어가 활용할 수 있는 자원을 알아보고 담수산 먹이생물의 배양기술 개발에 참고하기 위해 1995년부터 1996년까지 부정기적으로 부유생물을 조사한 결과는 다음과 같다.

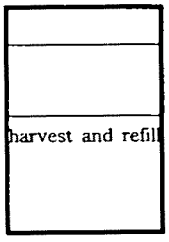
안동호에서 채집된 식물성 부유생물은 총 6강 11목 27과 46속으로(Table 14)



· Inoculation at density 20 rotifers/ml

· *Chlorella* density 6×10^6 cell/ml

Inoculation

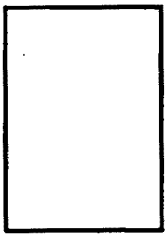


· 1/3 harvest when the density reaches about >100 rotifers/ml

· Refill fresh water and *Chlorella*

· Repeat harvest rotifers and refill the medium daily till the ind. with eggs less than 5-10%

Harvest and refill



· Total harvest when the ratio of individuals with egg(s) is less than 5% or the culture is contaminated heavily with ciliates

· Clean the tank and preparation for further culture

Fig. 10. Procedures of semi-continuous culture.

Table 14. List of phytoplankton collected at Andong Lake from October 1995 to April, 1996

	1995			1996		
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Mar.	Apr.
Class Cyanophycae						
Order Nostocales						
Family Rivuriaceae						
Genus *Gloeothichia*					+	
Family Oscillatoriaceae						
Genus *Oscillatoria*	+					
Spirulina	+				+	
Order Chroococcales						
Family Chroococcaceae						
Genus *Merismopedia*	+					
Microcystis	++++	++++	+			
Class Chrysophyceae						
Order Ochromonadales						
Family Dinobryaceae						
Genus *Dinobryon*			+++		+++++	+
Class Bacillariophyceae						
Order Pennales						
Family Achnanthaceae						
Genus *Achnanthes*						+
Family Diatomaceae						
Genus *Synedra*		+	+++	+	++++	+++
Tabellaria						+
Diatoma						+++
Thalassiothrix				++++		
Fragilaria	+	+++	+++++	++++	+++++	+++++
Asterionella		++++	++++		++++	
Family Naviculaceae						
Genus *Gomphonema*	+	+		+		+++
Cymbella	+	++		+	+	
Navicula	+++	+		++	+	+++++
Pinnularia	+				+	++++
Pleurosigma						++

(Table 14. Continued)

	1995			1996		
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Mar.	Apr.
Family Nitzschiaceae						
Genus *Nitzschia*	++				+	++
Family Eunotiaceae						
Genus *Eunotia*						+
Family Surirellaceae						
Genus *Surirella*						+
Order Centrales						
Family Thalassiosiraceae						
Genus *Aulacoseria*	+	+		+		+
Cyclotella	+	+	+	+++	++++	++
Family Melosiraceae						
Genus *Melosira*	+	++	++	++	++	++
Class Dinophyceae						
Order Peridiniales						
Family Ceratiaceae						
Genus *Ceratium*	+					
Family Peridiniaceae						
Genus *Peridinium*					+++	
Class Euglenophyceae						
Order Euglenales						
Family Euglenaceae						
Genus *Euglena*	+					+
Phacus						+
Class Chlorophyceae						
Order Chlorococcales						
Family Chroococcaleae						
Genus *Chroococcus*	+			+		
Agmenemllum	+					
Family Oocystaceae						
Genus *Chlorella*	+				+	+
Tetraodron	+			+		
Family Coelastraceae						
Genus *Coelastrum*	+++++	++++	++++		++	+

(Table 14. Continued)

	1995			1996		
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Mar.	Apr.
Family Dictyosphaeriaceae						
Genus *Dictyophaerium*	+					
Family Micractiniaceae						
Genus *Golenkinia*	+	+	+	+		
Family Hydrodictyaceae						
Genus *Pediastrum*	+++	+		+	+	+
Family Coelastraceae						
Genus *Scenedesmus*	+	+			+	+
Order Zyganematales						
Family Desmidiaceae						
Genus *Arthrodesmus*		+				
Closterium	+					+
Cosmarium	+					
Staurastrum	+++	+	+	++	+	++
Family Zygnemataceae						
Genus *Zygnema*	+	+		+	+	+
Spirozyra						+
Order Tetrasporales						
Family Palmellaceae						
Genus *Sphaerocystis*	+					
Order Ulotrichales						
Family Ulotrichaceae						
Genus *Ulothrix*	+	+++		+++++	++	+
Order Cladophorales						
Family Cladophoraceae						
Genus *Cladophora*						++

Total 6 classes, 11 orders, 27 families, 46 genus

+++++ very abundant, ++++ abundant, +++ common, ++ rare, + very rare

이중 규조강에 해당하는 종류가 8과 18속, 녹조강이 12과 18속으로 가장 많이 출현하였고, 남조강이 3과 5속, 와편모조강이 2과 2속, 유글레나강과 황편모조강이 1과 1속이었다. 이중 비교적 풍부하게 출현하는 종류는 규조류의 *Fragilaria, Asterionella*와 녹조류의 *Coelastrum, Ulothrix*이었다.

한편 동물성 부유생물은 5강 13종류로 요각류(Cyclopoida)가 대부분을 차지하였으며 약간의 지각류(주로 Bosmina)와 윤충류(주로 Polyarthra)가 채집되었다(Table 15). 이들 3종류는 계절에 관계없이 거의 일정한 정도로 채집되었으며, 치어기 은어의 중요한 먹이생물이 될 것으로 사료된다.

1. 원종 분리 및 배양시험

가. 원종분리

진해내수면 연구소 야외 사육지에서 채집한 윤충은 *Brachionus, Keratella, Asplanchna* 등 3속에 해당하는 종류이었다. 이중 *Keratella*속의 윤충은 크기가 100㎛ 이하로 피갑이 두텁고 크기 면에서 먹이로서의 가능성이 희박하였으며, *Asplanchna*속의 윤충은 크기 면에서는 적절하였으나 다른 원생동물이나 작은 윤충을 잡아먹는 등 포식성이 있는 관계로 시험에 부적절하다고 판단되었다.

한편 *Brachionus*속의 윤충은 크기면에서 200㎛ 정도로 적절하고, 기존 해산에서 배양되고 있는 종과 분류학적으로 유사하므로 생물학적 특징이 유사할 것으로 예상되어 추후 기술개발에 관련하여 용이한 점이 많을 것으로 판단되어 *Brachionus*속의 윤충에 대해 동정, 분리 및 배양을 실시하였다.

나. 분리한 담수산 윤충, *Branchionus calyciflorus*의 형태적 특징

본 연구에서 분리한 원종은 해산 자어 사육시에 많이 사용하는 *Branchionus plicatilis*와 같은 속에 해당하는 *B. calyciflorus*로 분류학적 위치는 다음과 같다.

Subclass Monogononta 單性亞綱

Order Ploima 遊泳目

Family Brachionidae 방패윤충科

Brachionus calyciflorus Pallas (Plate 7)

Table 15. Macrofauna of the lake Andong from October, 1995 to April, 1996

	1995		1996		
	Oct.	Dec.	Jan.	Mar.	Apr.
Rotifers					
Keratella	++	++++	+++		+
Polyarthra	+++	++++	++++	++	++
Testudinella		++			
Lepadella				+	
Trichocerca	+				
Brachionus	+				
Nematoda					+
Brachiopoda					
Bosmina	+++++	++	++++	++++	
Daphnia	+	++			++
Chydorus	++		+++		+++
Copepoda					
Cyclopoida	++++	+++	++	++++	+++++
Nauplius	++	+++			+
Diptera					
Chironomus	++	+		+++	+++

+++++ very abundant, ++++ abundant, +++ common, ++ rare, + very rare

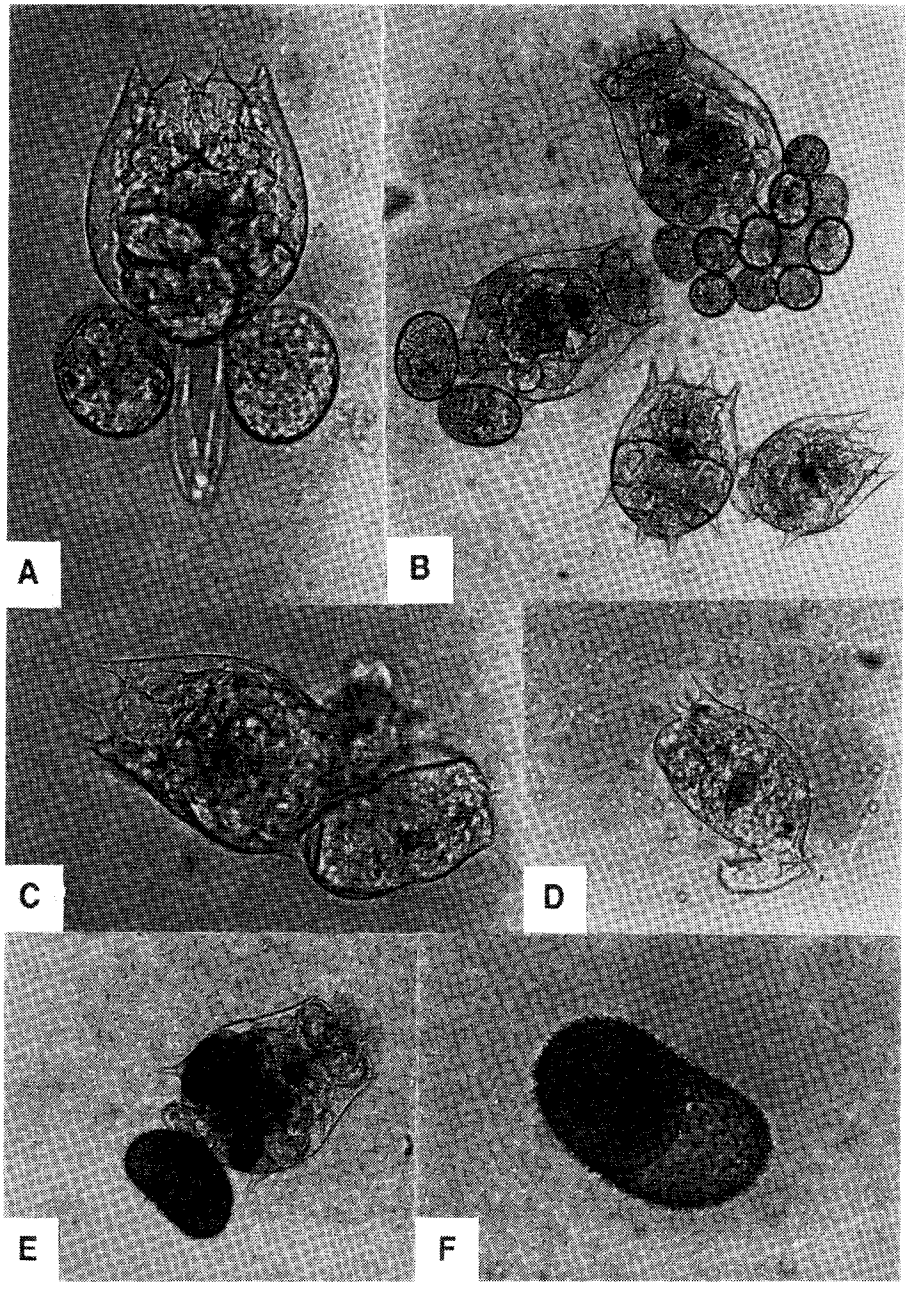


Plate 7. Freshwater rotifer, *Branchionus calyciflorus*. A; typical adult with two eggs, B; two type of eggs showing size difference, C; hatching, D; hatched larvae, E; adult with resting egg, F; resting egg.

이 윤충은 등껍질 앞쪽에 4개의 후두돌기가 있고, 돌기의 길이에 변이가 많다. 피갑은 얇고, 무성생식하는 암컷의 크기가 110~288㎛이므로 6.5~19.5mm의 은어 자어 소화관내용물 분석결과인 0.1~0.2mm범위(1장 Table 9 참조)에 적합하며, 기존 개발된 종과 분류학적으로 같은 속에 해당되므로 본 연구의 인공종묘기술 개발 목적종인 은어 뿐만아니라 여러 가지 다른 담수어의 자어 사육에도 적합할 것으로 사료되었다.

분리한 윤충의 생물학적 특성을 알아보기 위해 계대 배양중이던 *B. calyciflorus*의 피갑 크기, 난의 크기, 포란한 난의 수를 측정 및 계수한 결과는 Table 16, 17과 같다.

Table 16. The lorica size of the rotifer *B. calyciflorus* isolated from the fish farm of Chinhae Inland Fisheries Research Institute(CIFRI). n=86

Type	Length	Width
S-type	141.0±16.7 (110.1-182.5)	107.0±20.3 (75.3-152.3)
L-type	262.8±15.2 (234.4- 288.6)	182.6±13.4 (159.8-207.0)

피갑의 크기를 측정한 결과 1997년 3월과 4월의 두 strain에서 두 가지 중복되지 않는 범위의 크기로 나타났다(Table 14). 즉 길이가 평균 141.0±16.7㎛(110.1~182.5, n=44), 폭이 107.0±20.3㎛(75.3~152.3)인 다소 작은 strain과 길이가 평균 262.8±15.2㎛(234.4~288.6, n=20), 폭이 182.6±13.4(159.8~207.0)인 두 가지로 구분되어 잠정적으로 각각을 S-type과 L-type으로 구분하였다.

윤충의 경우 보통 무성생식기 동안에는 암컷의 유전적 성질이 그대로 전달되는 clone 개체군이고, 윤충의 크기는 계절적으로 또는 다른 요인에 의해 달라지는 바 동일 시기에 두 가지 type이 나타난 점은 주목되며 본 종은 변이가 많은 종

으로 종 수준에서의 분류학적 고찰 등 추후 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

한편 본 결과는 해산 윤충인 *B. plicatilis*의 S-type과 L-type 각각의 크기와 유사하였으며(허와 박, 1996b), 허와 박(1996a)은 국내 4 장소에서 담수산 *B. calyciflorus*를 분리하였는 바, 평균 피갑장의 크기는 211.8~229.9㎛ 범위이어서 본 결과 나타난 S-type과 L-type의 중간에 해당하였지만 Rico-Martinez and Dodson(1992)의 4 strain에 대한 측정결과인 195.3~277.3㎛과는 거의 일치하였는데 이는 strain의 차이가 아닌가 사료된다.

이들 윤충이 배양중 포란하고 있는 난의 수 및 크기는 배양에 있어 중요한 요소가 될 것으로 판단 이에 대해 조사한 결과 난의 크기는 한 개체당 포란하고 있는 난의 수에 따라 두 가지로 구분되었다(Table 17). 즉, 한 개체가 조사당시 포란하고 있는 난의 수는 1~11개로 다양하였는데, 이 종의 무성 생식 암컷은 부화 약 18시간부터 시작하여 약 2일 동안 3시간 간격으로 계속 알을 낳아 피갑에 달고 다니므로 한 번에 관찰할 수 있는 알의 수는 흔히 3개에서 13개까지이다는 결과(Gilbert, 1963) 일치하였다.

암컷 몸의 크기가 작으면서 1~2개 포란한 경우 난의 장경은 평균 범위가 87.5~107.8로 대형이었고 3개 이상 포란한 경우는 평균 55.1~65.2㎛로 소형이었다. 몸의 크기가 큰 L-type의 경우 난의 크기는 다소 커서 1~3개를 포란한 경우 난의 장경은 평균 범위가 104.9~121.8로 대형이었고, 4개 이상 포란한 경우 62.8~89.1 범위로 소형난이어서 S-type의 난보다 비교적 큰 편이었다.

한편 휴면란은 본 시험기간동안 L-type에서만 관찰되었는데 일반 난의 크기보다 장경 및 단경이 약간 컸고(Table 17), 허와 박(1996a)이 보고한 것 보다 더 크게 나타나 주목된다.

다. 원종 배양시험

개체 분리법에 의해 3~5ml의 배양액에 1 개체씩을 분리한 후 배양하여 원종 개체군을 형성하였다.

배양중 추후 배양시험에 대한 기초자료를 얻고자 원종분리 중 배양액의 수온

Table 17. The egg size group distinguished by their number of eggs deposited on each indivudual rotifer and those of resting egg of L- and S-type of B. calyciflorus. Unit; ㎛.

Type	Amictic egg								Resting egg	
	No. of egg(s) deposited on amictic female									
	1		2		3		>4			
	major	minor	major	minor	major	minor	major	minor	major	minor
S-type	107.8±6.8 (92.7-115.9)	76.2±4.2 (69.0-84.6)	87.5±10.7 (71.3-119.2)	75.0±4.8 (65.2-83.7)	65.2±5.9 (54.8-78.0)	50.0±6.3 (34.0-58.7)	55.1-65.9*	47.0-52.7*	not found	
L-type	121.8±4.7 (115.9-126.7)	84.5±6.0 (75.3-91.1)	108.9±12.6 (90.2-117.6)	76.4±7.9 (66.2-84.1)	104.9±13.8 (83.7-121.3)	80.3±3.8 (74.7-110.3)	62.8-89.1	48.5-78.8	160.0±5.6 (149.4-169.9)	93.7±5.0 (81.1-99.3)

*; range of mean

을 채집장소의 수온과 유사한 25.0°C를 기준으로 하고 배양 속도를 높이기 위해 수온을 높여 27.5 및 30.0°C의 3 시험구별로 배양한 결과는 Fig. 11과 같다.

세 시험구 중 성장률이 가장 좋았던 것은 자연 서식지의 수온과 유사한 25°C 시험구로 배양 5일째에 평균 45개체/well(3 ml)로 증식되었으며, 30.0°C의 고온구에서는 거의 증식되지 않았고 배양 4일째에 최고에 달한 후 점차 줄어들었으며 간혹 휴면란이 발견되었다.

이러한 결과로 볼 때 분리한 원종의 적정 배양 온도는 25.0°C 이하일 것으로 예상되었으며, 추후 모든 시험에서 기준 온도로 이용하였다.

2. 계대 배양 및 실내배양

실내 배양 및 대량배양의 적정 배양 온도를 구하기 위한 기초자료로 활용하고자 예비실험으로 15.0°C에서 30°C까지 5°C 간격으로 4개 시험구를 설정하여 시험하였고, 본 시험으로는 예비실험 결과 성장이 가장 좋았던 25.0°C를 중심으로 상 하 3°C 차이를 둔 22, 25, 28°C의 3개 시험구를 설정하였다.

가. 시험구별 배양일수에 따른 윤충 밀도의 변화

예비시험에서 적정 배양 온도 및 수확 시기를 알기 위해 각 시험구별 배양일수에 따른 윤충 밀도의 변화를 조사한 결과는 Fig. 12와 같았다.

밀도와 성장이 가장 좋았던 시험구는 25°C 시험구로 최대 밀도는 배양 5일째까지 점진적으로 증가하여 평균 215.3개체/ml로 시험 시작시보다 10.8배 증식되어 안정적인 성장을 보였다.

한편 30°C 시험구는 배양 3일째까지는 25°C 시험구보다 성장이 좋아 당일 117.5개체/ml로 증가하였으나 점차 성장이 감소되어 안정적이지 못했다. 20°C 시험구의 경우는 안정적으로 점차 증가하는 경향은 25°C와 같았으나 성장도가 그에 미치지 못했으며 15°C 시험구의 경우는 시험 시작시에 비해 점차 감소하는 경향으로 윤충 배양에 부적절할 것으로 사료되었다.

본시험에서 적정 배양 온도 및 수확 시기를 알기 위해 각 시험구별 배양일수에 따른 윤충 밀도의 변화를 조사한 결과는 Fig. 13과 같았다.

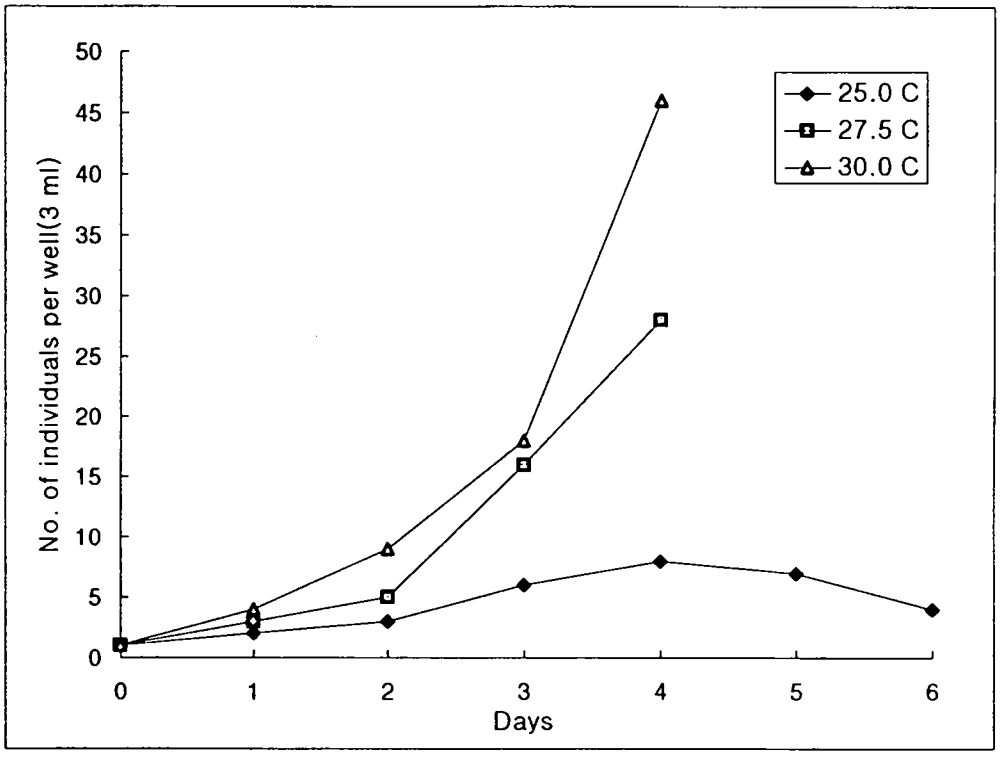


Fig. 11. The change of rotifers per well during culture under various tem perature.

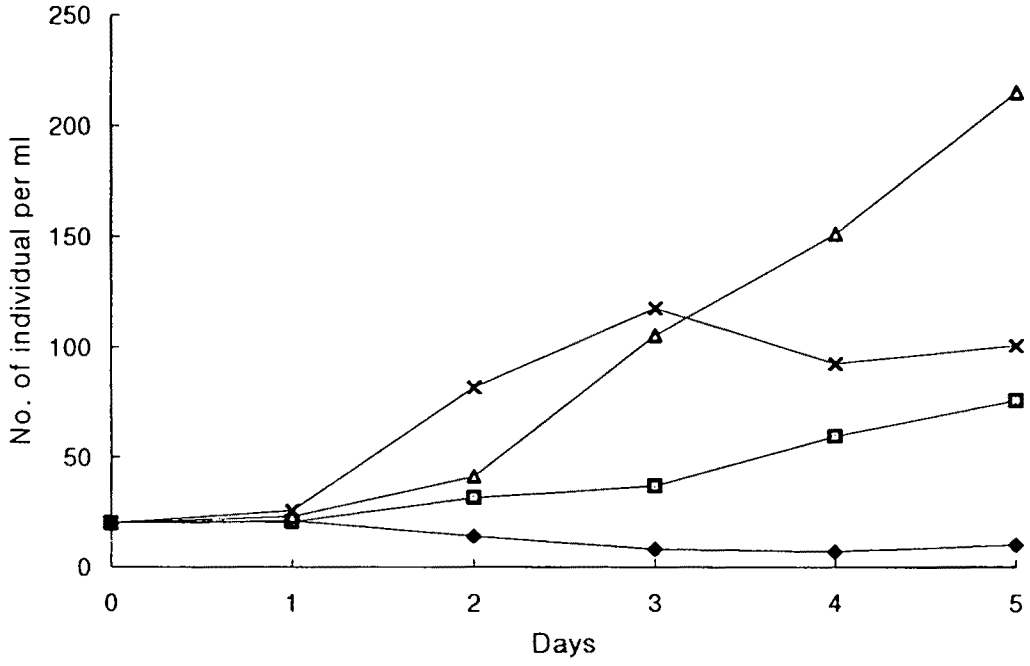


Fig. 12. The result of preliminary experiment showing change of population density of *B. calyciflorus* during culture for 5 days.

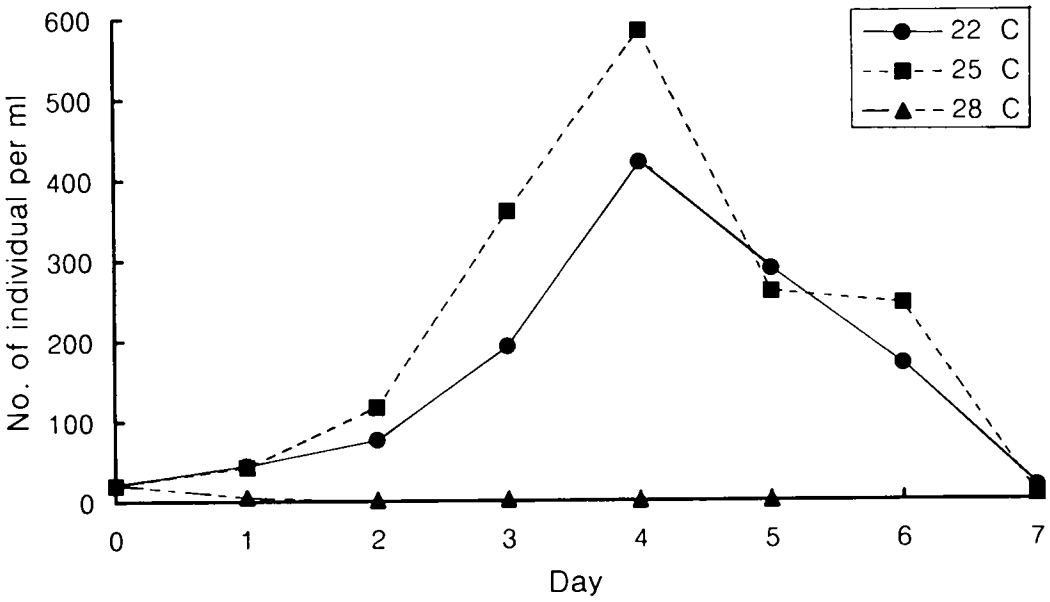


Fig. 13. The change of population density of *B. calyciflorus* during culture for 7 days.

시험결과 배양 도중 배양 밀도가 최대로 되는 시기는 배양 5일째로 일반 배양에서 20개체/ml을 접종 했을 때 적정 수확시기는 배양 시작 5일째로 예상되었다.

한편 밀도가 가장 높게 배양되었던 시험구는 25°C 시험구로 최대 밀도는 배양 5일째에 평균 583.9개체/ml로 시험 시작시보다 29.2배 증식되었으며 이후 점차 감소하였다.

22°C 시험구의 최대 밀도 도달시기는 25°C 시험구와 마찬가지로 배양 5일째였으며, 이때의 밀도는 평균 421.3개체/ml로 시험 시작시보다 21.1배 증식한 후 점차 감소하였다. 이는 25°C 시험구에 비해 최대 밀도에서 다소 낮은 수치였다.

28°C 시험구의 경우 배양 밀도는 배양 시작 1일 후 평균 4.7개체/ml로 급격히 감소하였으며 3일째에는 3개체/ml 이하로 감소하였고, 시험 종료때 까지 회복되지 않았다.

이와 같이 온도별 배양시험에서 도달한 최대 밀도는 성장이 가장 좋은 25°C 시험구에서 583.9개체/ml 그리고 22°C 시험구에서 421.3개체/ml이어서 허와 박(1996b)이 보고한 해산 *B. plicatilis*의 753.3개체/ml 보다 약간 낮은 수치이었지만 종묘 부화장에서 일반적으로 수확하는 밀도인 200-300개체/ml (Fulks and Main, 1991)보다는 훨씬 높아 초기 먹이로서의 배양 및 이용가치가 기대되었다.

한편 온도별 성장 결과 28°C 시험구에서는 거의 배양이 이루어지지 않는 반면 22, 25°C 시험구에서는 접종밀도에 대해 각각 21, 29배로 증식되어 적정 배양 온도범위는 22-25°C 범위가 좋을 것으로 사료되어 Awaïss and Kestemont (1992)의 결과와 일치하지만 30°C에서 좋은 성장을 보였던 Rico-Martinez and Dodson(1992)의 결과와는 차이를 보여 주목되었다. 추후 비교적 고온에 대한 면밀한 검토가 요구된다.

나. 포란율의 변화 및 개체군 증가율

배양 중 밀도변화와 관련하여 재접종을 위한 개체군 선택시기를 알아보기 위해 24시간 간격으로 배양 시기별 포란개체 출현율을 조사하였다. 접종한 개체

군의 포란율은 41.3%이었으며, 전 시험구에서 배양 2일째에는 22.3~38.8%로 감소하는 경향이었고(Fig. 14), 이는 새로운 환경에 대한 적응 과정과 알이 부화되어 개체군으로 유입되는 과정에 나타나는 현상으로 사료되었다.

이러한 포란개체 출현율은 22°C와 25°C 시험구의 경우 배양 3일째부터 증가하기 시작하였으나 28°C 시험구의 경우 계속 감소하였다.

22°C 시험구의 경우 배양 4일째에는 포란 개체의 출현율이 37.6%를 보여 시작시보다는 낮은 수치이었으나 거의 원상태로 회복되었으며 이후 감소하였다. 25°C 시험구는 변화의 경향은 마찬가지이었으나 회복된 시기는 배양 5일째로 45.7%에 달해 시험 시작시보다 약간 높게 증가하였고, 이 후 급격히 감소되었다. 다만 22°C 시험구의 경우 배양 3-5일째 모두 큰 변화가 없었으나 25°C의 경우 배양 5일째를 전후하여 급격한 변화를 보여 주목되었다.

시험기간동안 개체군의 성장 속도를 알아보기 위해 최대 밀도에 도달한 당시 개체군 성장률 및 전일 대비 일간 개체군 성장률을 조사하였고, 개체군 성장에 미치는 요인을 알아보기 위해 전체 개체군의 암컷이 가지는 평균 난수를 조사한 결과는 Table 18와 같다.

Table 18. Daily change of growth rate and egg rate for 5 days of culture

Exp. group		Culture day				
		day 1	day 2	day 3	day 4	day 5
22°C	growth rate	0.802	0.673	0.755	0.762	0.534
	egg rate	0.343±0.069	0.542±0.175	0.614±0.112	0.566±0.019	0.144±0.127
25°C	growth rate	0.749	0.882	0.964	0.844	0.513
	egg rate	0.395±0.07	0.628±0.103	0.704±0.169	0.772±0.367	0.056±0.005

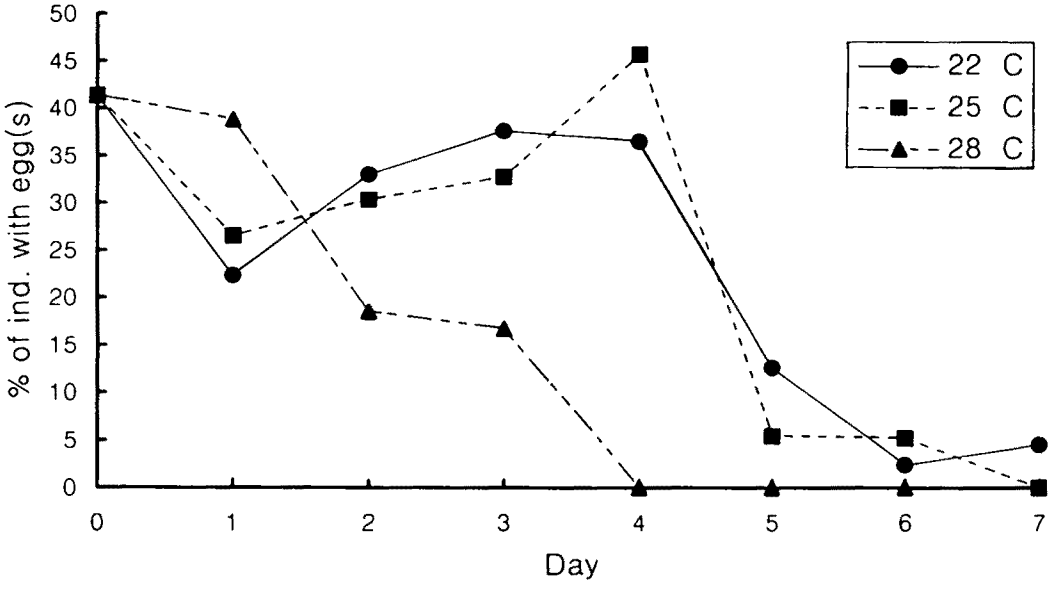


Fig. 14. Daily change of % individual of *B. calyciflorus* with egg(s) during culture for 7 days.

조사 결과 각 실험구별 성장속도가 가장 높았던 시점은 22°C 실험구의 경우 배양 2일째로 개체군 성장률은 0.802이었고 다시 낮아진 다음 최대 밀도에 도달했던 4일째에 0.762로 회복되었으며, 25°C 실험구의 경우 배양 3일째 0.964까지 점진적으로 높아진 후 감퇴되어 22°C 시험구보다 개체군 증가가 안정적이었다.

한편 성장이 가장 양호했던 25°C 실험구에서 성장률은 0.749-0.964 범위로 동일 종에 대한 Rico-Martinez and Dodson(1992)의 보고와는 일치하지만 유사종인 *B. plicatilis*의 0.194~0.552보다는 훨씬 높아 주목되었다(1996a).

개체군 증가율에 영향을 미칠 것으로 예상되는 암컷 개체당 포란수는 22°C 실험구의 경우 배양 3일째 0.614로 가장 높았으며, 25°C 실험구의 경우 배양 4일째로 0.772이었다. 이러한 결과는 Rico-Martinez and Dodson(1992)의 동 종에 대한 0.183~1.617보다는 약간 낮은 수치였지만 성장률은 유사해 추후 각 strain에 대한 면밀한 조사가 요구된다.

배양시 적정 배양 접종 개체군 선택 시기 판단을 위해 각 포란 난 수별 개체의 출현율을 조사하여 비교한 결과는 Fig. 15과 같다.

시험 시작시 3개 이상의 알을 가진 개체는 포란한 개체의 7.3%이었으며 배양 4일째에 최대치를 보였는데 22°C 시험구의 경우 10.7%로 비교적 낮았으나 25°C 시험구의 경우에는 23.1%로 아주 높아 22°C 시험구에 비해 2.6배나 높게 나타났다. 한편 25°C 시험구의 경우 배양 4, 5일째 모두 거의 변화가 없이 높은 수준인 것으로 나타났다.

따라서 차기 배양을 위한 접종 개체군 선택은 수온 25°C일 때 배양 3~4일째에 채취하여 접종하는 것이 가장 좋을 것으로 판단되었다.

한편 본 조사 결과 포란 수에 따라 난의 크기가 달라짐이 나타났는 바 윤충의 난 크기는 포란하는 난의 수에 반비례로 줄어 들며 이는 에너지 소비를 줄이는 생식 전략일 수 있음이 시사된 바 있다(Walz *et al.*, 1995). 또한 난의 크기

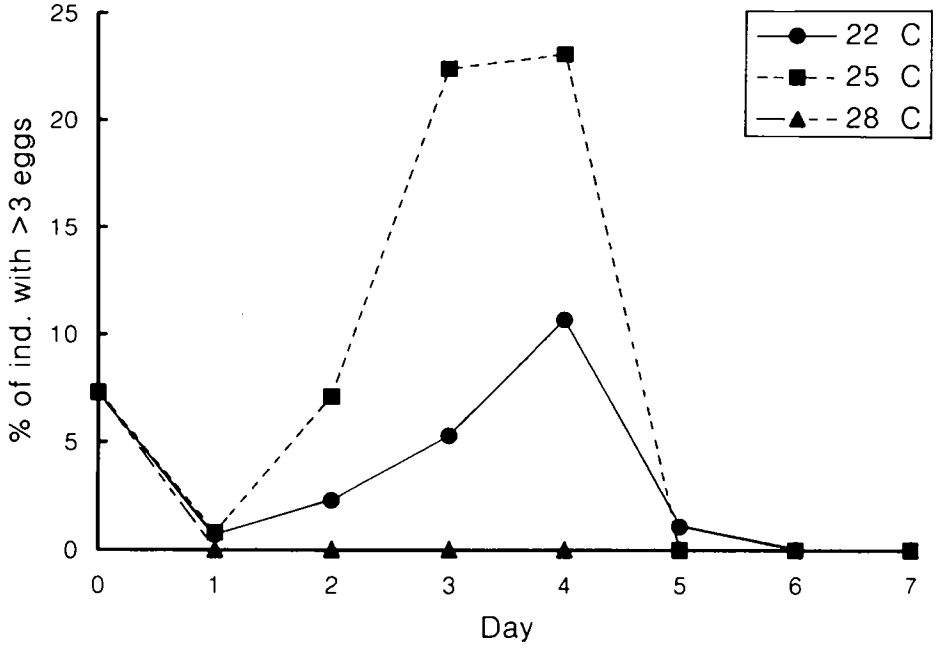


Fig. 15. The change of % individuals of *B. calyciflorus* with more than 3 eggs during culture for 7 days.

는 몸의 크기에 비례하며, 작은 난에서 부화된 유생은 큰 난에서 부화된 유생에 비해 성체로 성장하는데 걸리는 시간이 긴 것에 비해 큰 난은 부화 후 성장시간이 짧은 이점이 있을 것으로 사료되고, 배양 조건에 따른 난 크기 그리고 수적 변화 등의 분석이 필요한 바(Ricci, 1995), 본 조사결과 나타난 소형난의 역할은 윤충 배양에 있어 추후 반드시 연구되어야 할 사항으로 남는다.

3. 대량배양 시험

윤충의 먹이 밀도를 표준으로 한 1차 시험 결과 접종 후 1일째는 평균 개체 밀도가 49개체/㎖, 2일째는 71개체/㎖, 3일째는 130개체/㎖로 증가하여 시험기간중 전일에 비해 1.4~2.5배 개체 밀도가 증가하였고, 접종일과 비교하면 최종 6.5배 개체 밀도가 증가하였으나(Fig. 16), 실제 이용을 위한 생산량에는 부족한 것으로 나타났다.

한편 윤충의 먹이 밀도를 2배로 한 2차시험에서는 접종후 1일째는 평균 개체 밀도가 143개체/㎖, 2일째는 368개체/㎖로 증가하여 시험기간중 전일에 비해 2.6~7.2배, 접종일에 비해 18.4배 개체 밀도가 증가하여(Fig. 17) 일반적인 윤충 생산밀도인 250개체를 훨씬 초과하여 종묘생산에 이용할 수 있는 것으로 나타났다.

이처럼 1차시험 및 2차시험의 동일 사육 기간중 윤충 밀도를 비교하면 접종밀도는 동일하여도 먹이량이 증가함에 따라 윤충의 생산량이 크게 증가하는 경향을 보였다. 즉, 1, 2차 시험의 총 먹이 공급량은 큰 차이가 나지 않았으나 배양기간은 하루 단축되었고 생산량은 2.8배나 높게 나타나 높은 생산성을 보였다. 이는 접종 1일째부터 나타나는데 접종후 1일째는 2차시험 결과는 1차시험에 비해 2.9배 높은 밀도를 보였고 접종밀도에 비해서는 7.2배나 증가되어 매우 높은 증가배수를 보여 주목되었다.

일괄 수확 배양 시 전체 수확량을 보면 1차 시험은 접종후 3일째 윤충 개체

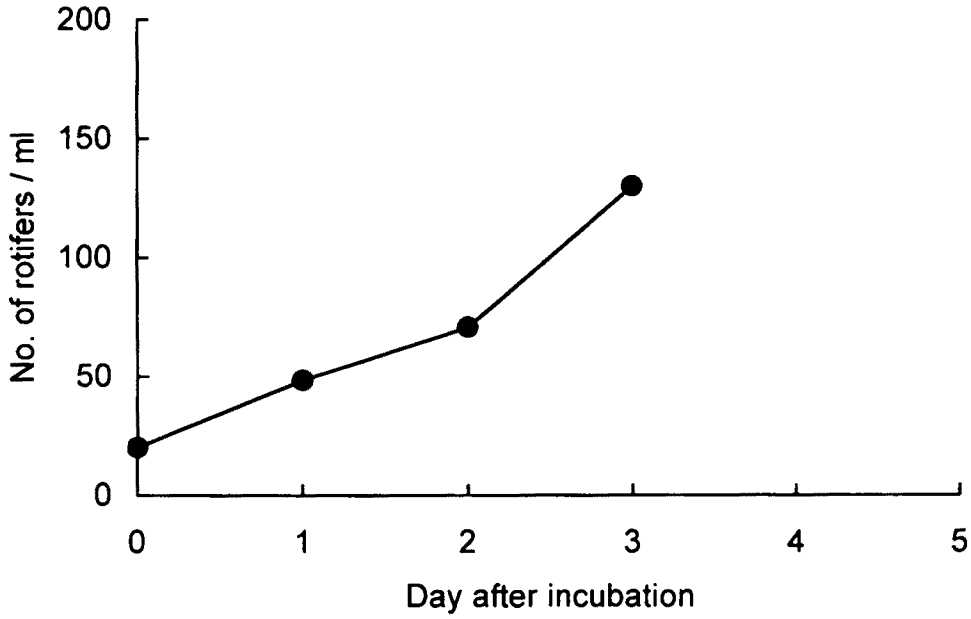


Fig. 16. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on first batch culture.

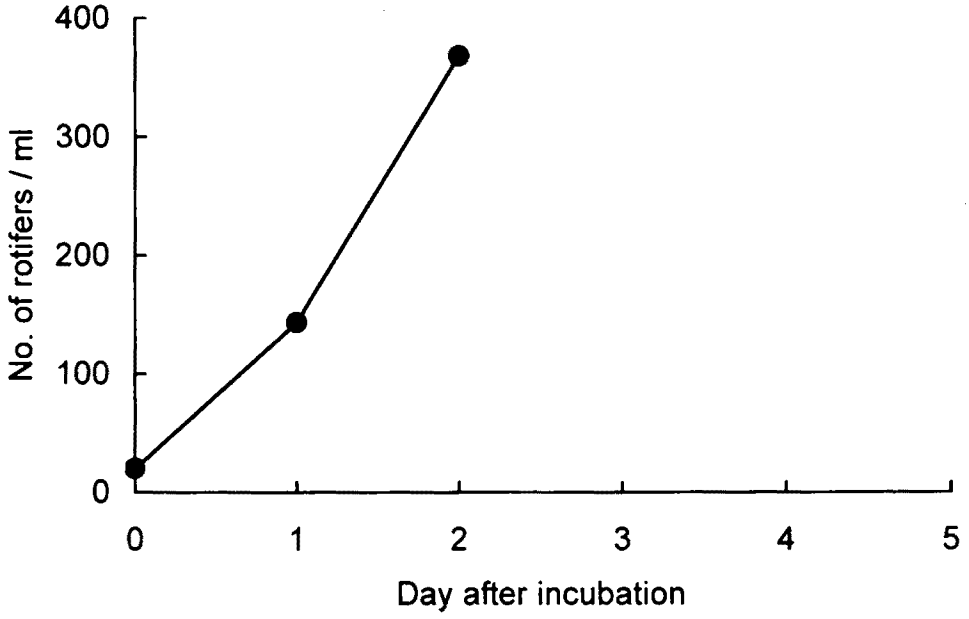


Fig. 17. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on second batch culture.

밀도가 130개체/㎖로 증가하여 700ℓ수조에서 9천 1백만개체가, 2차시험에는 접종후 2일째 윤충 개체 밀도가 368개체/㎖로 증가하여 1차시험시보다 2.8배가 많은 2억5천 7백만개체가 생산되었다(Fig. 18).

한편 이 사육 기간중 윤충의 총 먹이 공급량은 1차시험에는 농축 *Chlorella* 600㎖ 및 유지효모 80g이었고, 2차시험에는 농축 *Chlorella* 800㎖ 및 유지효모 80g이었다.

4. 연속배양 및 수확시험

먹이밀도가 낮았던 1차시험 결과 접종 후 1일째 일차 수확전 개체밀도는 54개체/ml이었고 2일째에는 117개체/ml, 3일째는 152개체/ml. 4일째는 182개체/ml이었으며, 시험 종료일인 5일째는 157개체/ml이었다(Fig. 19).

배양 2일째부터 4일째까지 연속수확한 결과는 배양 2일째 2천7백만개체에서 마지막 종료일 당시 4천2백만개체로 3일에 걸쳐 총 1억 4백만개체를 수확할 수 있었다(Table 19).

윤충의 먹이밀도가 2배 증가된 2차시험의 경우 배양 1일째에 일차 수확전 평균 개체밀도가 119개체/ml, 배양 2일째에는 328개체/ml, 3일째에는 332개체/ml, 4일째에는 262개체/ml이었고 실험종료일인 배양 5일째에는 217개체/ml로 계속하여 높은 밀도를 유지하였다(Fig. 20).

2차시험의 연속수확은 역시 배양 2일째부터 4일째까지 3회 반복되었으며 배양 2일째 7천7백만개체로 시작하여 4일째 6천1백만개체까지 3일간 총 2억 1천5백만개체를 수확할 수 있어 1차시험에 비해 2.1배에 달했다(Table 19).

연속수확 및 일괄수확의 대량배양 시험 결과를 실제 응용면에서 분석하기 위해 다음과 같이 일간 생산량 및 경제성을 분석하여 보았다.

윤충 생산량을 사육일수로 나누어보면 일괄수확 1차시험에서는 3일간 700ℓ수조에서 총 9천1백만개체가 생산되어 1일 약 3천만개체를, 2차시험에서는 총

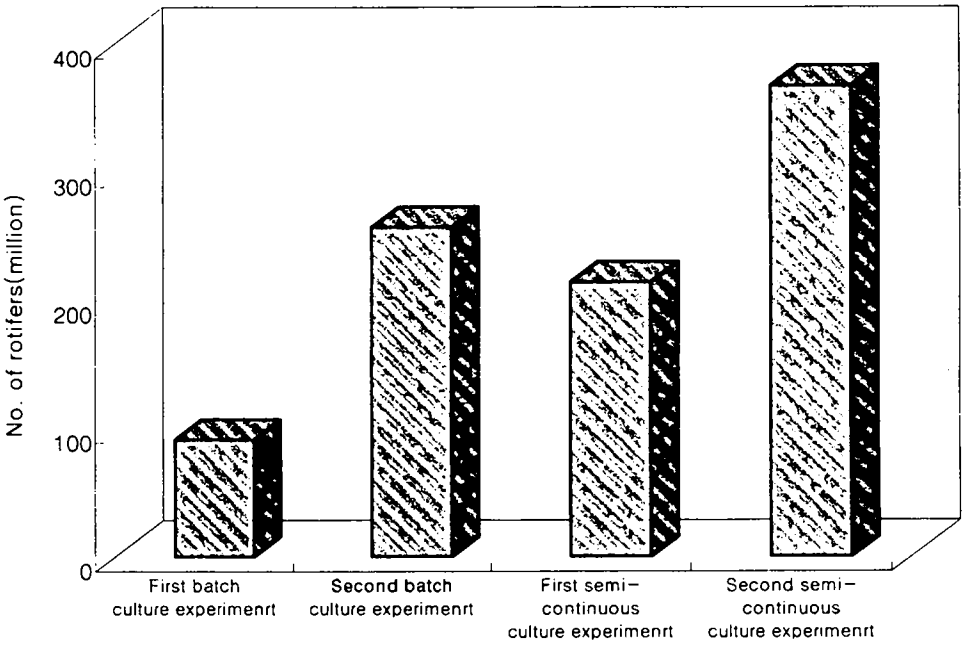


Fig. 18. Total amount of rotifers harvested during the culture.

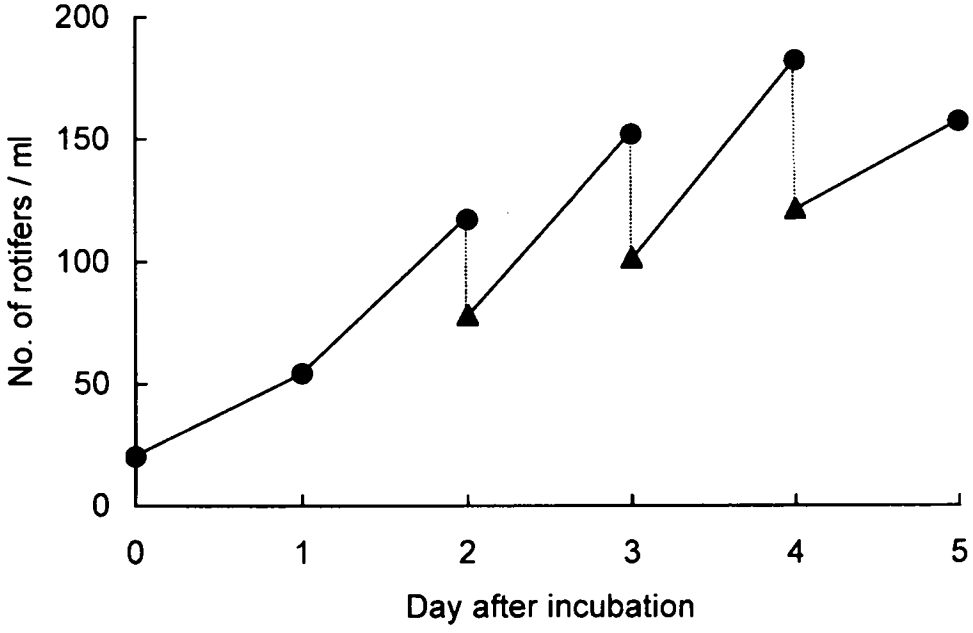


Fig. 19. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on first semi-continuous culture.

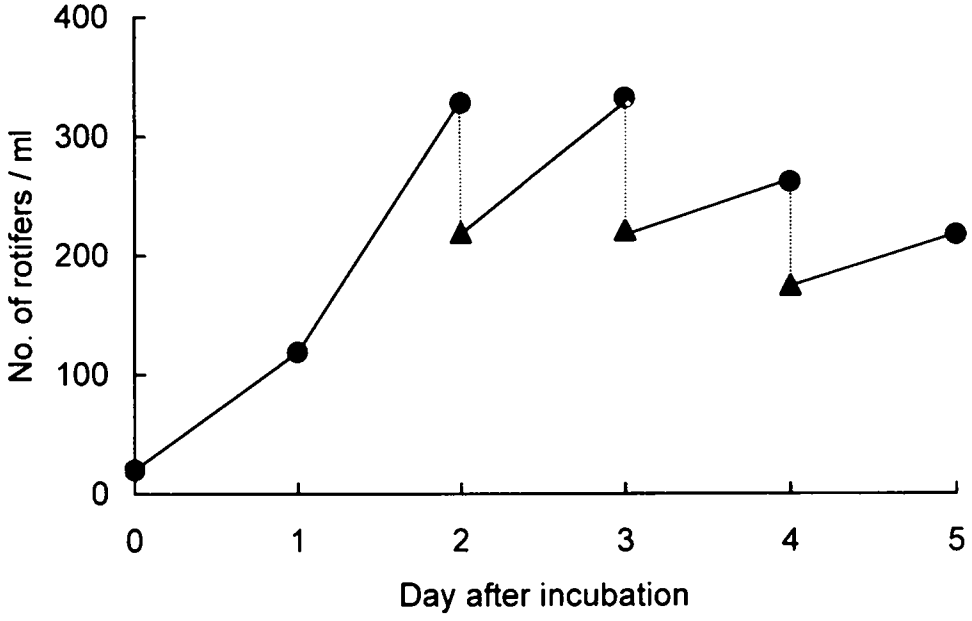


Fig. 20. The change of the density(ind./ml) of the rotifer, *B. calyciflorus* during the experiment on second semi-continuous culture.

Table. 19. The change of the number of rotifers harvested during the semi-continuous culture

Day after incubation	No. of rotifers harvested	
	First exp. on semi-continuous culture	Second exp. on semi-continuous culture
2	2.7×10^7	7.7×10^7
3	3.5×10^7	7.7×10^7
4	4.2×10^7	6.1×10^7
Total	1.04×10^8	2.15×10^8

2억5천7백만개체가 생산되어 일일 1억3천만개체가 생산되었다. 연속수확구에서는 1차시험에서 5일간 총 2억1천5백만개체가 생산되어 1일 4천3백만개체를, 2차시험에서는 5일간 총 3억7천만개체가 생산되어 일일 7천3백만개체이므로 일괄수확에 비해 약간 낮았으나 공급일수는 긴 결과를 나타냈다. 따라서 생산면에서 본다면 농축클로렐라 12×10^6cell/ml/일과 유지효모 0.12g/ℓ/일의 농도로 먹이를 공급하며 배양할 때 배양 후 2일째 일괄수확하는 방식이 효율적인 것으로 나타났다.

한편 윤충 생산시 경제성을 보면 사용한 먹이의 가격이 농축클로렐라 30만원/20ℓ, 유지효모 8천원/kg이어서 백만개체 생산에 일괄수확 2차시험의 경우 49원밖에 들지 않아 가장 효율적인 것으로 나타났다(Table 20). 그러나 적은 양의 윤충을 연속적으로 필요로 할 때에는 연속수확 1차시험의 결과가 먹이 가격면에서 가장 좋은 결과를 보였다.

연속수확의 경우 일괄수확보다는 매일 일정량의 윤충이 생산되므로 소모성이 적고, 필요한 사육수조가 상대적으로 적게 들므로 경제적일 수 있으므로 담수

산 윤충 대량배양시 적정 배양 방법은 일간 필요한 윤충 개체수를 고려하여야 하리라 사료된다.

Table 20. The feed cost for mass culture of rotifer, *B. calyciflorus*, during batch and semi-continuous culture

	Batch culture		Semi-continuous culture	
	1st exp.	2nd exp.	1st exp.	2nd exp.
Feed amount				
Chlorella	600	800	1000	2000
Oil-enriched yeast	80	80	160	320
Total harvesting no.	91	257	215	367
Feed cost(Won/10^6 ind.)	106	49	76	89

이상의 결과로부터 담수 윤충 대량 배양시 적정 먹이 투여량은 일괄수확 2차 시험 및 연속수확 1차시험으로부터 추정컨데 해산 윤충의 먹이 공급량(日本水産學會編, 1983)과 크게 차이나지 않았으며, 농축클로렐라 6-12×10^6 cell/ml/일 및 유지효모 0.4-1.0g/10^6 윤충/일로 추정된다(Fig. 21).

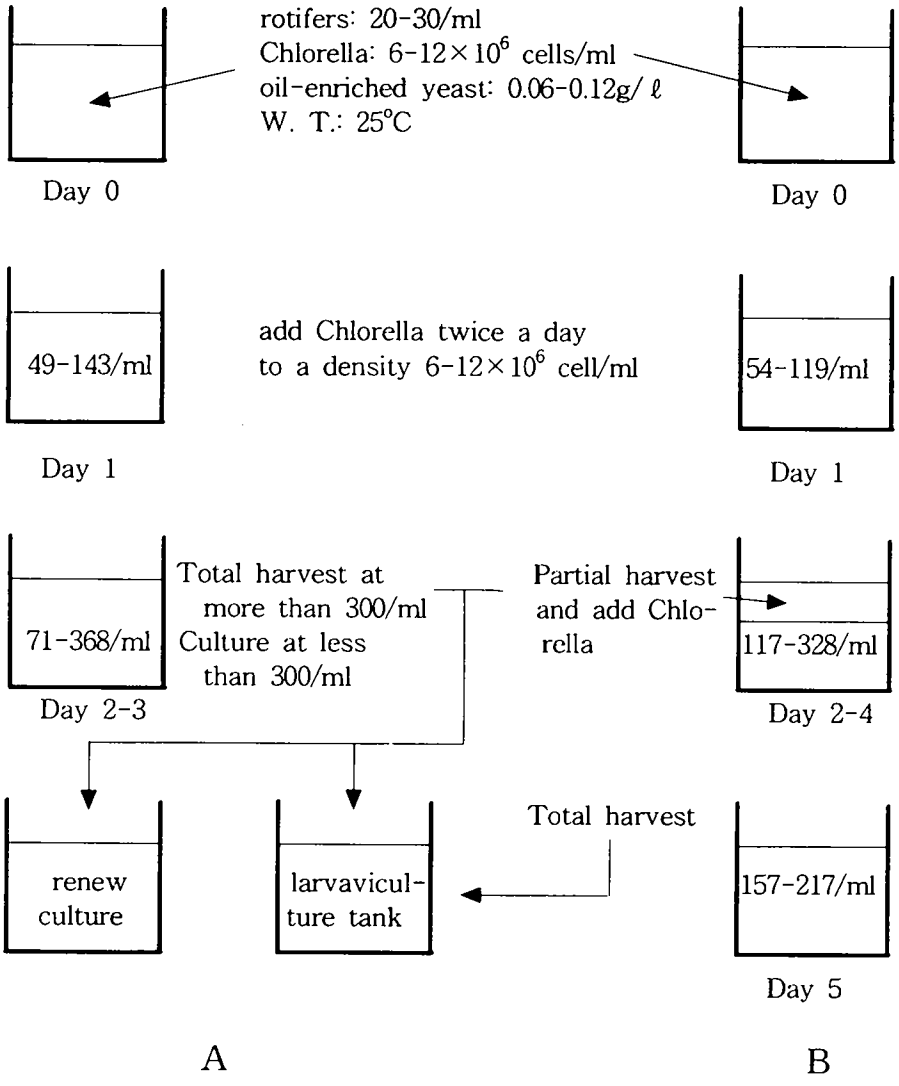


Fig. 21. Practical process for mass culture of the freshwater rotifer, *B. calyciflorus*. A; batch culture, B; semi-continuous culture.

제 4 장 담수에서 은어 종묘생산 기술개발

제 1 절 서 론

은어, *Plecoglossus altivelis*는 봄부터 여름에 걸쳐 성장하고 가을에 성숙, 산란후 사망하는 1년생으로서 우리나라를 비롯한 일본, 대만, 중국의 크고 작은 하천에 분포하는 극동아시아 지역의 특산어종이다.

우리나라에는 동·남해안의 섬진강, 밀양강, 경북 영덕 오십천, 울진 왕피천, 강원도 삼척 오십천 및 양양 남대천등에 많이 서식하고 있으나 근래에는 생활오수 유입과 공업화에 따른 하천수질의 오염, 농업용수 확보를 위한 댐축조와 하천 차단등으로 자연자원이 감소일로에 있어 자원회복을 위해 인공종묘생산에 의한 치어방류가 늘어나고 있는 추세이다.

은어의 인공종묘 생산에 관한 연구는 대만에서 1923년대에 小林(1923)에 의해 처음으로 시도 된 이래 그후 일본의 伊藤(1972)가 rotifer를 이용해 종묘의 안정적인 사육에 성공하므로서 대량 생산체계가 확립되어 일본은 매년 10,000톤 이상의 은어를 생산하고 있다.

우리나라에서는 1980년대말까지는 주로 자연산 종묘를 채포하여 식용어까지 양성시험을 하다가(이, 1996), 1990년대 초부터 임 등(1993)에 의해 인공종묘 생산기술개발이 이루어져 현재는 수산종묘배양장을 비롯한 민간 양어장에서 매년 900만마리 내외의 종묘를 생산하고 있으며 '97. 3월말 기준, 전국 은어 양식장은 약 50개소에 식용어 생산량은 150톤 내외로 추정된다.

우리나라 은어의 양식은 크게 종묘생산과 식용어 양성으로 나눌 수 있고, 종묘생산은 해수를 이용할 수 있는 연안 바닷가의 배양장에서 그리고 식용어 양성은 지하수를 이용한 내륙에서 이루어지고 있다. 이러한 은어의 생산 형태는 1년생 어류임에도 불구하고 담수에서 사육·성숙시킨 다음 인공채란 한 부화자

어를 해수에 순치시켜 종묘 육성 후 다시 담수로 옮겨 사육하여야 하는 번거로움과 순치과정중 폐사의 위험이 있어 생산이 비효율적이고 종묘가격이 높아 지게 되는 문제점이 있다.

따라서 은어를 육봉화시켜 담수에서 인공종묘를 생산하고 식용어까지 양성할 수 있다면 종묘생산지도 바닷가에서 내륙지로 확대 될 수 있을 뿐만 아니라, 종묘수급도 원활히 이루어질 수 있어 은어 양식의 보편화에 의한 내수면 양식어가의 좋은 수입원으로 자리매김을 할 수가 있을 것이다.

육봉화된 은어에 대해서는 이미 일본에서는 琵琶湖산 육봉형 은어가 있음이 잘 알려져 있고 매년 전국 각지의 하천이나 은어가 서식하지 않는 천연호, 인공호에 인위적인 방류를 실시하여 자연번식을 시키고 있다(藤原, 1988). 우리나라에서의 은어 육봉화에 관한 최초의 연구는 藤本 등(1934)이 1928년과 1929년 2회에 걸쳐 전북 운암호에 밀양강산 은어수정란 1,000만립을 이식방류하여 1932년에 육봉형 은어의 번식을 확인하였으며 1933년에는 약 30만 마리의 은어를 채포하여 제방축조전 이수역에서의 은어 어획고보다도 4배 이상의 어획을 올린 바 있다.

최근에는 도립 내수면개발시험장 등에서 경천댐, 소양호 등 일부 호수에 육봉화를 위한 은어 수정란 방류사업을 실시하고 있으나 아직 육봉 은어의 정착은 이루어지지 않고 있다. 그러나 안동호에서는 1989년에 소천면 청년회에서 치어 7,000마리를 구입하여 방류를 실시한 결과 이들이 성장하여 안동호내에서 자연산란 및 번식이 이루어져 육봉형 은어의 대량 서식이 확인되었다(최,1995).

이와 같은 결과는 은어 종묘를 바닷가의 해수가 아닌 내륙의 담수에서도 충분히 생산이 가능함을 시사하고 있기에 담수에서의 인공종묘 생산기술 개발을 위하여 육봉은어의 성숙도 조사, 자연산치어 채집, 실내사육, 인공채란 및 부화관리기술, 담수산 초기먹이 생물을 이용한 부화자어 및 치어의 적정 사육조건 등을 비교 검토 하였다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 육봉산 은어 서식현황 및 성숙도

안동호 내에 서식하는 육봉형 은어의 산란시기를 파악하기 위하여 본 종을 채집, 월별 성숙도 조사를 실시하였다. 조사지점은 은어의 서식에 적합하다고 판단되고 채집이 용이한 안동호내 2개 지점과 유입하천의 3개 지점, 총 5개 지점에서 실시하였으며 각 조사지점은 Fig. 22와 같다.

조사시기는 1996년 4월부터 1996년 10월까지 육봉형 은어의 소상, 서식, 산란기를 중심으로 매월 1회씩 총 7차례에 걸쳐 현장조사를 실시하였으며 조사일정은 다음과 같다.

1차 조사 : 1996년 4월 24~26일, 2차 조사 : 1996년 5월 21~23일
3차 조사 : 1996년 6월 26~28일, 4차 조사 : 1996년 7월 23~25일
5차 조사 : 1996년 8월 26~28일, 6차 조사 : 1996년 9월 19~21일
7차 조사 : 1996년 10월 29~31일

본 종의 채집은 안동호 내에서는 삼각망을, 하천에서는 주로 투망(망목 8×8mm)을 이용하였으며, 표본은 채집한 직후 10% formalin용액에 고정 후 실험실로 옮겼다. 모든 표본에 대해서는 Digital caliper(유효수치=0.01cm)로 전장 및 체장을 측정하였고, 체중은 직독식 전자저울로 0.1g까지 측정하였다. 생식소 발달유무는 복부를 절개하여 내부형태를 관찰한 후 생식소 중량(GW)을 측정하였으며 생식소숙도지수(GSI)는 「$GW \div BW \times 10^2$」의 계산 식(BW=체중)으로 산출하였다.

2. 육봉형 및 양식산 은어의 인공채란과 부화시험

안동호에 서식하는 육봉형 은어를 대상으로 1차로 1996년 9월 12~13일까지

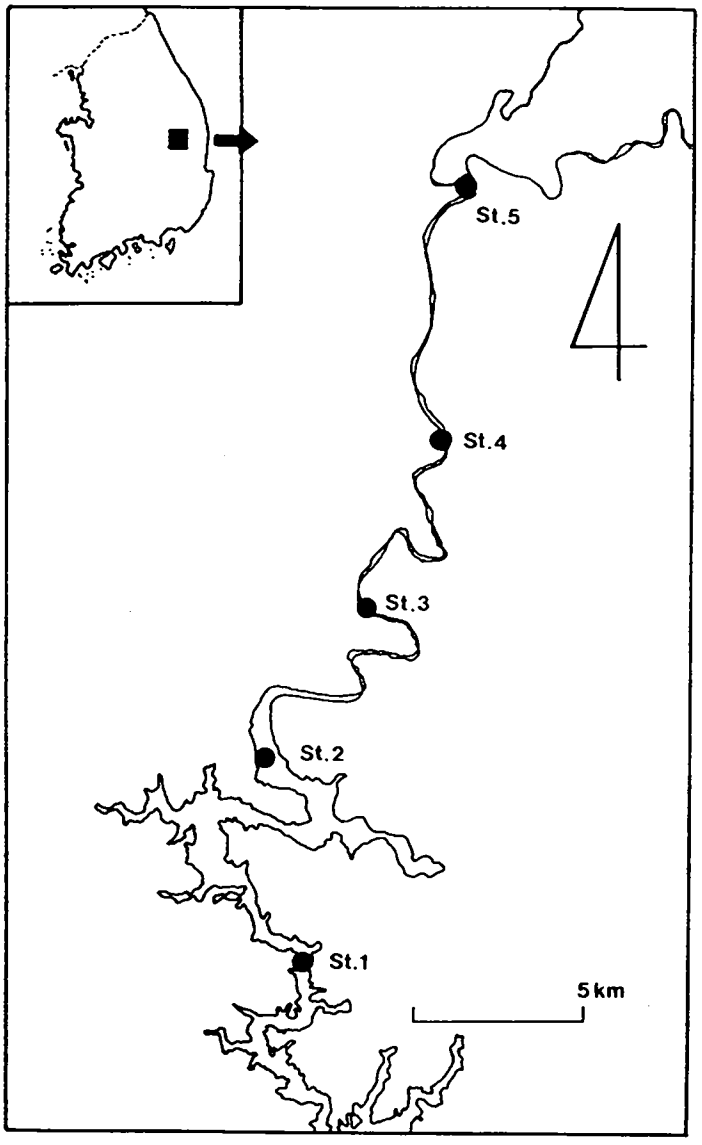


Fig. 22. Collection sites for *P. altivelis* at Andong Lake and near streams flowing into the Lake. St. 1; Chujin-ri, Yean-myon, Andong-si, St. 2; Punchon-ri, Tosan-myon, Andong-si, St. 3; Togye-ri, Tosan-myon, Andong-si, St. 4; Kwanjang-ri, Sangun-myon, Andong-si, Tochon-ri, Myongho-myon, Andong-si.

안동시 도산면 분천리(도산서원 앞)에서 성숙된 암컷 44마리와 수컷 30마리를 삼각망으로 채포하여 현지에서 복부압박으로 짜낸 알을 건식법으로 수정하고 망목 1mm정도의 망사로 된 채란틀(25×50cm)에 부착시킨 다음 습기를 유지한 상태로 실험실로 운반하여 실험에 사용하였으며, 채란 된 알은 100만립이었다. 2차는 1996년 9월 21일 1차와 동일한 장소에서 암컷 35마리와 수컷 20마리의 성숙개체를 역시 삼각망으로 채포하여 현지에서 동일한 방법으로 50만립을 채란하여 실험실로 수송하였다.

3차 채란은 진해내수면연구소 실내사육수조에서 광주기조절(16L/8D)로 성숙억제한 양식산 은어로부터 1996년 11월 7일 암컷 7마리와 수컷 5마리에서 10만립을 채란하여 실험에 사용하였으며, 4차 채란은 광주기조절(16L/8D)로 성숙억제한 양식산 은어를 1997년 3월 13일 개인양식장에서 구입하여 진해내수면연구소 실내사육지에서 처음에는 광주기를 12L/12D로 10일간 사육하고 그후 10L/14D로 조절하므로서 1997년 4월 11일 암컷 17마리와 수컷 8마리에서 18만립을 채란하였다.

모든 수정란은 부화하기까지 실내수조에서 수온 16±2℃의 지하수를 유수하면서 관리하였으며 이 기간 중에 수생균 발생억제를 위하여 마라가이트 그린을 1ppm농도로 1시간 약욕한 후 유수하는 방법을 2~3일 간격으로 처리하였다.

수정율은 수정 24시간 후에 채란된 알 100~150립을 현미경 아래에서 관찰하여 전체난에 대한 백분율로써 구하였으며, 부화율은 1000㎖ 비이커에 수정란 100~150립씩 수용한 후 수온 18±3℃에 사육하여 부화 완료된 자어로부터 환산하였다.

3. 부화자어 예비 사육시험

1996년 9월 28일 부화가 완료된 1차 채란분과 1996년 10월 3일 부화가 완료된 2차 채란분의 부화자어는 주광성을 이용하여 야간에 부화수조 한쪽에 전등

을 이용, 유생을 한곳에 모이게 한 후 사이폰으로 실내 콘크리트 사육수조 (3.8m^3) 2개소로 옮겨 담수에서 사육하였다.

자어의 수용밀도는 1차 채란분이 사육수량 톤당 11,000마리, 2차 채란분은 사육수량 톤당 13,000마리였으며 먹이는 부화 2일 후부터 배양한 담수산윤충(*Brachionus calyciflorus*)을 5~10ind./㎖/日 공급하여 주었고, 가끔 야외사육지에서 채집한 복합 먹이생물(윤충류 80%+물벼룩류 10%+코페포다유생 10%)을 함께 공급하였다.

사육기간중 수온은 17±2℃로 유지하였고, DO는 3.41~7.42ppm, pH 6.75~8.05 범위로 은어의 사육수질 조건에 영향이 없는 범위로 조절하여 주었으며, 조도는 실내사육실로 자연차광이 되어 510~950Lux로 비교적 낮은 조건이었다.

1996년 11월 7일 부화 완료된 3차 채란분은 부화 일령별 담수에 대한 적응능력을 검토하기 위하여 부화직후부터 순담수구와 기수구(Cl 3‰), 그리고 기수구에서 사육하다가 부화 20, 40, 60일 후에 담수로 전환하여 100일째까지 사육하였을 때의 성장 및 생존율을 조사하였다.

사육수조는 230ℓ의 FRP수조를 이용하였는데 순담수구에는 부화자어를 100마리 수용하였고 기수구는 1,000마리를 수용하였다가 부화 20, 40, 60일후에 각각 100마리씩 다른 수조로 옮겨 순담수로 사육하였으며 수온 및 조도는 각각 17±2℃, 520~1,620Lux였다.

먹이는 Fig. 23과 같이 농축 *Chlorella* 및 유지효모로 배양한 담수산윤충과 Artemia nauplius유생을 공급하였고, 인공사료는 해산용 미립자사료를 자치어의 성장에 따라 사료입자 크기별로 구분하여, 부화 16일부터 35일까지 20일간은 입자크기 250㎛, 부화 36~70일(35일간)은 400㎛, 부화 71일부터는 700㎛의 크기로 공급하였다.

1997년 4월 11일 부화 완료된 4차 채란분은 은어의 인공종묘 생산시 사육방

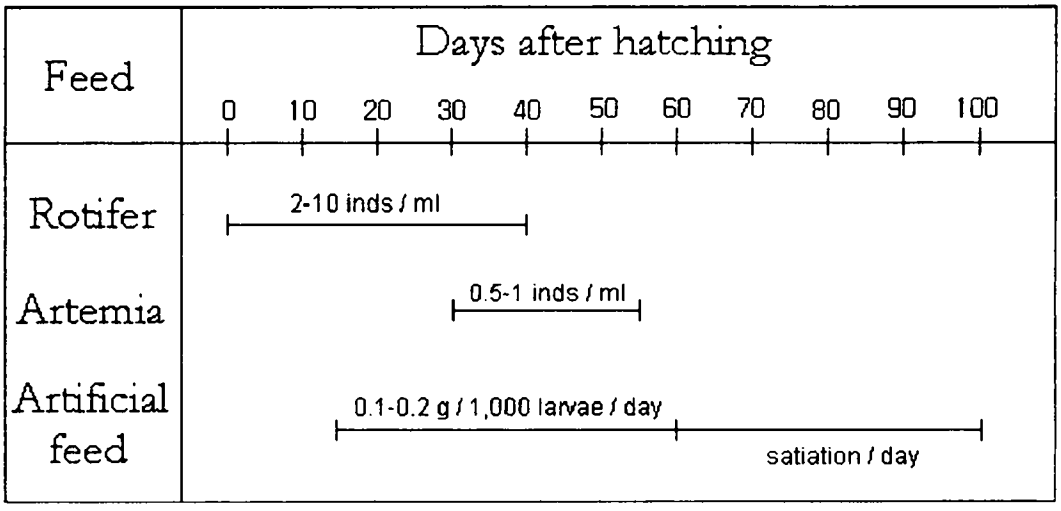


Fig. 23. Feeding schedule for the larval and juvenile sweet fish

식에 의한 성장 및 생존율을 비교 검토하기 위하여 담수에서 순환여과식 수조사육과 유수식 수조사육으로 나누어서 실험하였는데, 순환여과식 수조사육은 4개의 유리수조(90×60×45cm)를 연결하여 3개의 유리수조에는 부화자어를 1당 10마리를 수용하고 남은 1개의 유리수조에는 선라이트 파판과 스펀지를 넣어서 여과조로 활용하였으며, 여과조의 물은 1/12마력 펌프를 이용하여 사육조로 골고루 분산 주수되도록 하고 주수된 물은 다시 여과조로 항시 순환되도록 하였으며 환수를 매일 전체 사육수 양의 5%정도 실시하였다.

유수식 수조사육은 FRP수조(230 l) 2개소에 1당 10마리의 부화자어를 수용하고 미세기포가 함유되지 않은 다른 지하수를 2 l/min으로 상시 공급하여 주었으며, 사육수조 저면 찌꺼기는 사이폰 형식으로 1일 1회 오전 중에 매일 청소하여 주었다.

시험사육 기간중의 수온은 유수식 사육에서는 17±2℃범위를 유지할 수 있었으나 순환여과식 사육은 6월까지는 자연상태의 수온(15.2~21.5℃)으로 관리하였지만 7월부터는 수온상승으로 인해 4kw용 냉각기를 설치하여 사육수온을 21℃이하로 유지하였다. 조도는 인위적으로 형광등(40W×2개)을 이용하여 조절하여 주었으며 순환여과식 수조사육 기간중의 조도 및 수질환경은 Table 21과 같이 유지관리되어 은어의 사육조건에 지장이 없는 범위에서 체중 1g전후의 종묘크기까지 사육하였다.

먹이공급은 *Chlorella*로 배양된 담수산 윤충을 성장단계별로 2~10 ind./mℓ 범위 내에서 증가시키며, 부화 1일~60일까지 1일 2회 공급하였고 부화 35~60일까지는 Artemia를 0.5~1 ind./mℓ로 1일 2회 공급하였다. 인공사료는 해상용 미립자 사료를 부화 35~60일까지는 입자크기 250㎛을 10~20mg/100 larvae/day로 공급하였고, 부화 61~80일에는 400㎛, 부화 81일부터는 700㎛를 포식을 전제로 1일 4~6회 공급하여 주었다.

Table 21. Water quality parameters monitored during the preliminary culture of larvae

Days after hatching	Light intensity (Lux)	DO (ppm)	pH	DIN (ppm)	PO_4-P (ppm)
Just hatched	1010	7.05	7.82	4.026	0.021
20	1035	7.40	7.58	5.791	0.674
40	1257	7.08	7.81	6.449	0.653
60	1056	6.63	7.66	5.364	0.878
80	1152	7.16	7.64	6.029	1.152
100	1420	8.17	7.45	6.128	1.439

4. 자연산 치어 채집, 실내 사육 및 인공채란

1997년 6월 17일 강원도 양양 남대천의 하천산 은어 200마리(평균 전장 10.43±0.80cm, 평균 체중 7.69±2.03g)와 1997년 6월 27일 안동호 육봉형 은어 12마리(평균 전장 6.90±0.77cm, 평균 체중 5.49±0.80g)를 현지에서 채집하여 진해내수면연구소로 수송하였고, 1997년 5월 21일 울진수산종묘배양장에서 분양 받아 사육중인 양식산 은어 200마리(평균 전장 16.51±0.99cm, 평균 체중 43.25±6.86g)를 1997년 6월 30일 함께 야외사육지 3개소(10.5m^2)에 각각 수용하여 지하수(10~20 l/min)를 유수하면서 채란용 친어로 사육 관리하였다.

먹이는 시판 잉어용 배합사료를 어체중 2~3%범위에서 1일 4~5회, 09:00~17:00시까지 2시간 간격으로 급이하였고, 사육 평균 수온은 18.0~19.8℃범위였다.

채란은 1997년 9월 23일~10월 20일 사이에 각각 가능하였는데 하천산, 양식산, 육봉형 은어 수정란의 적정 부화온도를 비교 검토하고자 1000㎖의 비이커

에 각각의 수정란을 100개씩 수용, 실내 배양기를 이용하여 수온 15, 18, 21℃의 조건에서 부화율을 3반복으로 조사하였다.

한편 담수에서의 하천산, 양식산, 육봉형 은어 부화자어의 성장 및 생존율 등을 비교 검토하기 위하여 콘테이너 수조(50 l) 3개소에 각각의 부화자어를 1당 3마리씩 수용하여 부화 후 90일째까지 사육시험을 실시하였다. 사육방식은 순환여과식으로 4개의 콘테이너 수조를 연결, 3개의 수조는 사육조로 활용하고 남은 1개의 수조에 차광막과 스펀지를 넣어 여과조로 사용하였으며 여과조의 물을 1/12마력 펌프를 이용, 사육조로 골고루 분산 주수 되도록 하고 주수된 물은 다시 여과조로 항시 순환 운용되도록 하였다.

사육수온은 17±2℃ 범위를 유지하도록 하였고 DO는 3.24~5.38mg/l, pH 6.54~8.02 범위로 은어의 사육조건에 지장이 없는 범위였으며, 조도는 950~1,050Lux로 유지되었다.

먹이공급은 농축 *Chlorella* 로 배양하여 유지효모로 영양 강화된 담수산 윤충을 2~10 ind./㎖ 범위에서 성장단계별로 증가시켜 부화 1일~60일까지 1일 2회 공급하였고, 부화35~80일까지는 *Artemia*를 0.5 ind./㎖로 1일 2회 공급하였다. 인공사료는 해산어용 미립자사료를 부화35~60일까지 입자크기 250㎛, 부화 61~80일까지는 400㎛, 부화 81일 부터는 700㎛를 1일 4~6회 소량씩 공급하며 사육 관리하였다.

5. 부화 자치어 적정사육조건 시험

가. 먹이계열별 사육시험

담수에서의 은어 인공종묘 생산시 먹이생물인 담수산윤충의 적정공급기간을 알아보기 위하여 담수산 윤충의 공급기간별 성장 비교시험을 실시하였다.

부화 자어는 진해내수면연구소 실내사육수조에서 8L/16D로 광주기 조절한 양식산 은어 친어(♀:전장 20.7±0.98cm, 체중 99.68±12.16g, ♂:전장 21.2±

1.19cm, 체중 87.63±16.52g)로부터 1997년 9월 8일 인공채란하여 부화시킨 것이다.

사육은 순환여과방식으로 4개의 유리수조(110 l)를 서로 연결하여 3개의 수조는 사육조로, 1개의 수조는 여과조로 활용하여 사육수가 여과조를 거쳐 사육조로 상시 순환 운용되도록 설치하였으며, 사육조에는 1 당 10마리의 부화자어를 수용하여 부화 후 100일째까지 사육 관리하였다.

먹이공급은 농축 *Chlorella* 및 유지효모로 배양된 담수산 윤충을 각 시험구별 부화 직후부터 40, 60, 80일간 공급구로 구분하여 성장 및 생존율을 비교 검토하였다. 담수산 윤충의 공급밀도는 부화 후 7일까지는 2 ind./㎖, 부화 10일까지 5 ind./㎖, 부화 20일까지 8 ind./㎖, 윤충 공급 완료시까지는 10 ind./㎖를 1일 2회 공급하였다. 각 시험구별 담수산 윤충 공급이 완료된 후는 *Artemia*를 10일간 1일 2회, 1 ind./㎖로 공급하고, 인공사료인 해산용 미립자사료를 부화 20일부터 시험종료시까지 성장단계별로 입자크기 250㎛, 400㎛, 700㎛로 구분하여 적정량을 공급하였다.

성장도 조사는 각 시험구별 20일 간격으로 전장 및 체중을 측정하였으며, 사육수온은 자동온도 조절기를 이용하여 18±2℃에서 사육하였고, 조도는 형광등(40W×2개)을 사용하여 인위적으로 조절하여 주었는데 사육기간중의 조도 및 수질환경조건은 Table 22와 같다.

나. 밀도별 생산시험

담수에서의 은어 인공종묘 생산시 종묘양산을 위한 부화 자어의 적정사육밀도에 대하여 검토하였다.

부화 자어는 울진수산종묘배양장에서 종묘를 분양 받아 진해내수면연구소 야외사육지($10.5m^2$)에서 양성한 양식산 성숙 친어(♀: 전장 27.1±1.84cm, 체중 96.1±19.49, ♂: 전장 21.8±1.54cm, 체중 79.7±14.73g)로부터 1997년 9월 29일 인공채란하여 부화시킨 것으로서 사육밀도는 보온사육동내 실내 원형 FRP수조

Table 22. Water quality parameters monitored during the culture period of larviculture to define adequate conditions for larvae

Days after hatching	Light intensity (Lux)	DO (ppm)	pH	DIN (ppm)	PO_4-P (ppm)
Just hatched	1440	7.08	8.27	4.028	0.020
20	1410	7.67	7.68	6.062	0.656
40	1470	6.73	7.31	6.901	0.562
60	1315	6.49	7.49	6.050	0.840
80	1300	5.52	6.76	6.253	0.558
100	1280	6.74	7.62	6.851	0.605

($2m^3$) 4개소에 부화자어를 20,000, 25,000, 30,000, 35,000마리를 각각 수용하여 종묘분양가능 크기까지의 부화 후 100일째까지 사육하면서 성장, 생존율 및 밀도별 생산량을 조사하였다.

사육방식은 초기에 각 수조당 1/3정도의 물을 채우고 농축 *Chlorella*를 50cc (100만 cells/㎖) 첨가하여 물 만들기를 한 후 부화 자어를 수용하였고, 사육하면서 점진적으로 사육수를 증가시켜 나가다가 부화 후 20일 부터는 가끔 소량의 지하수를 주수하면서 간이 유수식으로 사육하였다.

먹이공급은 각 시험구별로 농축 *Chlorella* 및 유지효모로 배양한 담수산 윤충을 부화 후 80일째까지 공급하였는데 담수산 윤충의 공급밀도는 부화 7일까지 2 ind./㎖, 부화 10일까지 5 ind./㎖, 부화 20일까지 8 ind./㎖, 부화 80일까지는 10 ind./㎖로 1일 2회 공급하였다. 각 시험구별 담수산 윤충 공급이 완료된 후 *Artemia*를 0.5~1 ind./㎖로 10일간 공급하고 해산용 미립자사료는 부화 20일부터 성장단계별로 250㎛, 400㎛, 700㎛의 입자크기로 적정량을 공급하였다.

성장도 조사는 시험종료시 전장 및 체중을 조사하였으며 생존율은 매일 수조

저면을 사이폰으로 청소시 찌꺼기를 모은 다음 폐사된 개체를 계수 하여 산출하였다.

사육수온은 각 수조당 자동 온도조절기(1KW용×2개)를 사용하여 17±2℃에서 사육하였으며 사육기간중 각 수조별 조도 및 수질환경조건은 Table 23과 같다.

Table 23. Water quality parameters monitored during the density-dependent culture

Exp. group*	Light intensity (Lux)	DO(ppm)	pH	DIN(ppm)	PO_4-P(ppm)
A	880~2250	5.63~7.64	6.85~7.92	2.653~5.299	0.261~0.463
B	740~2540	5.39~6.91	6.65~7.78	2.653~4.835	0.032~0.308
C	1000~1840	5.16~7.44	6.93~7.66	2.653~5.635	0.032~0.383
D	880~2250	5.63~7.64	6.87~7.92	2.653~5.299	0.032~0.463

* rearing density, A; 17,500/㎥, B; 15,000/㎥, C; 12,500/㎥, D; 10,000/㎥

제 3 절 결과 및 고찰

1. 육봉형 은어 서식현황 및 성숙도

가. 서식현황

안동호내에 서식하는 육봉형 은어의 서식현황과 성숙도 조사를 위해 1996년 4월부터 1996년 10월까지 매월 1회 채집한 결과를 Table 24에 나타내었다.

4월에는 안동호 중류(St. 1)와 상류(St. 2)에서 삼각망으로 516마리의 치어가 채집되었는데 중류(34마리)보다 상류쪽(482마리)에서 채포수가 많은 것으로 보

Table 24. Number of specimens of land-locked *P. altivelis* collected monthly at Andong Lake. See text for the collection sites

Station	Apr.	May	June	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
st. 1	34	—	1	42	6	—	—
st. 2	482	291	—	51	30	16	37
st. 3	—	5	—	57	25	69	1
st. 4	—	—	72	—	—	—	—
st. 5	—	—	18	9	30	5	1
Total	516	296	91	159	91	90	39

아 수온 상승에 따른 안동호의 중류에서 상류쪽으로 회유가 진행되고 있으며, 5월 조사시에는 296마리가 채집되었는데 대부분 St. 2에서 채집되었고 유입하천인 St. 3에서는 투망으로 5마리가 채집되어 서서히 하천으로 소상하고 있음을 알 수 있다.

6월에는 유입하천의 중류인 St. 4에서 72마리, 상류지역의 St. 5에서 18마리가 채집되어 전 하천에 걸쳐 서식하고 있으며, 7월의 채집시에는 안동호내와 유입하천에서 함께 채집되었는데 St. 3 지역에서 채집된 일부 수컷 개체는 외형상 혼인색이 나타난 개체도 있었다.

8월말에는 채집어의 대부분이 아가미뚜껑 옆에 황색의 세로띠가 선명하고 비늘이 거칠면서 혼인색이 매우 발달하여 전형적인 은어의 산란기때 형태를 나타냈으며, 200~300마리씩 무리지어 수면으로 도약하여 몰려다니는 산란기때의 행동이 관찰되었다.

9월말 채집시에는 유입하천의 상류인 St. 5에서는 채집수(5마리)도 적고 채집된 개체도 혼인색이 미약하였으나 유입하천의 하류인 St. 3에서는 여울에서 무리지어 다니는 61마리를 투망으로 채집하였는데 모두 암컷으로 일부개체는 방

란의 흔적이 보이고 일부는 완숙한 상태의 알을 가지고 있어 안동호 육봉은어의 산란시기는 8월에서 9월까지 산란기가 길게 형성되며 주 산란기는 8월말에서 9월초순이라고 추정된다.

10월 조사시에는 이미 산란이 완료된 후였으며 St. 3과 St. 5에서 투망으로 각각 1마리씩, St. 2에서는 삼각망에서 37마리 채집되었는데 모두 암컷으로 산란 후 잔여 알을 가지고 있었으며 외형적으로는 혼인색이 짙게 나타나고 체형이 마른 상태로 있었다. 그리고 채포된 은어는 특이하게도 모두 암컷으로서 榮 등(1996)의 조사에 의하면 廣島縣 太田川에 서식하는 육봉형 은어중에는 월년은어가 있고 월년하는 은어는 모두 암컷만이라고 하였는데 본 조사 기간중에 채포된 은어 역시 모두 암컷이었고 산란기 이후에도 폐사되지 않아 안동호내에서의 월년 은어가 아닌다 추정되지만 금후 보다 자세한 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

나. 육봉은어와 양식은어의 성장 및 성숙

육봉 은어는 1996년 4월부터 10월까지 매월 1회 안동호내의 2개 지점과 유입하천의 3개 지점에서 정치망과 투망을 이용하여 소상하는 은어를 채집 성장과 성숙도를 조사하였고, 양식 은어는 1996년 4월 4일 울진수산종묘배양장에서 분양받은 치어(전장 5.08±0.48㎝, 체중 0.67±0.24g)를 야외 원형지(Φ 15×1m)에서 사육 후 안동호 육봉 은어 조사와 같은 시기에 매월 1회 정기적으로 성장과 성숙도 조사를 실시하였다.

육봉 은어와 양식 은어 모두 4월과 5월에는 생식소 발달의 육안관찰이 어려웠고 6월부터 생식소숙도지수(GSI) 산출이 가능하였는데 육봉 은어는 7월달에 수컷의 크기가(전장 13.61±1.43㎝, 체중 23.81±9.60g) 양식 은어(전장 15.77±1.58㎝, 체중 50.01±15.59g)보다 작았음에도 혼인색이 나타나기 시작하고 복부압박시 정액이 산출되었는데 이때의 육봉 은어 수컷의 평균 GSI는 2.493±3.35로 나타났다(Fig. 24).

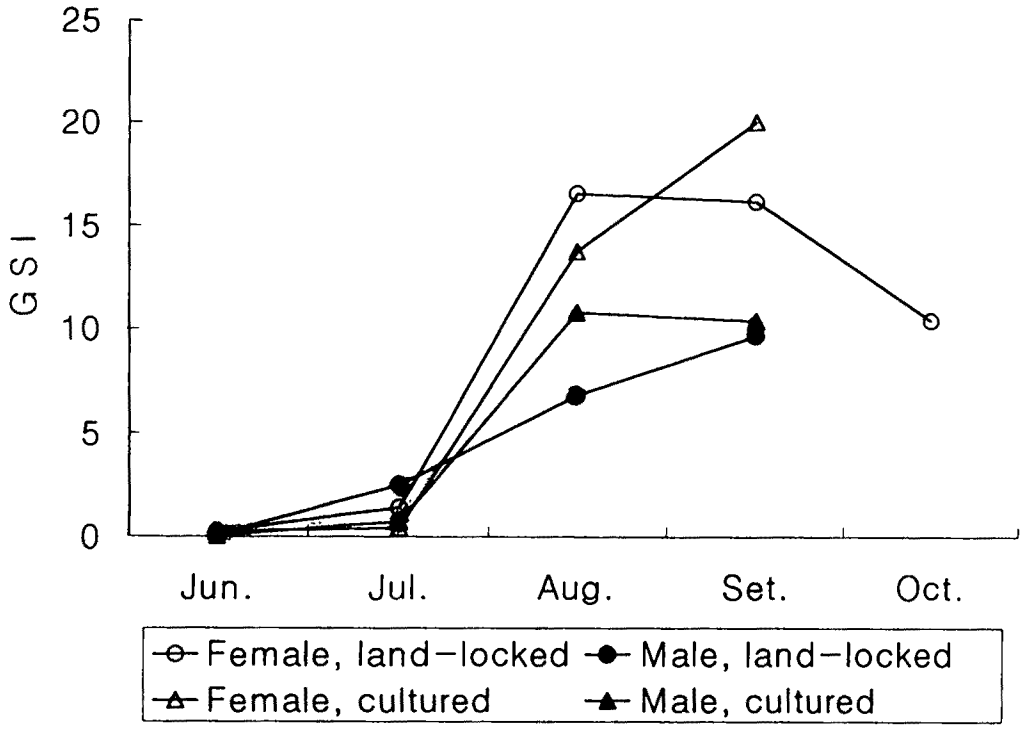


Fig. 24. Monthly change of GSI of land-locked and cultured *P. altivelis*.

8월달에 채집된 육봉 은어(♀: 전장 13.24±2.51㎝, 체중 23.66±18.75g, GSI 16.535±8.29, ♂: 전장 14.01±2.67㎝, 체중 27.85±19.23g, GSI 6.716±2.28)는 양식 은어(♀: 전장 19.28±0.69㎝, 체중 71.38±9.41g, GSI 13.726±1.59, ♂: 전장 19.68±0.41㎝, 체중 71.32±3.98g, GSI 10.770±0.44)보다 크기가 작고 GSI 수치가 낮았음에도 8월말경 육봉 은어의 일부개체는 산란하기 시작하였다.

연구소에서 사육한 양식 은어는 6, 7월까지는 GSI(♀: 0.225±0.03-0.421±0.33, ♂ 0.016±0.01-0.718±0.59)가 서서히 증가하다 8, 9월(♀: 13.726±1.59-20.003±4.43, ♂ 10.770±0.44-10.347±0.96)에 급속히 증가되었는데, 은어의 생식소숙도지수에 대하여 李(1995)는 자연일광으로 사육한 양식 은어의 산란직전 암컷 GSI는 26.28~49.06, 수컷은 10.96~11.39이라고 하였고, 다른 담수어종인 동자개 *Pseudobagrus fulvidraco*의 22~23%(임, 1994), 각시붕어 *Rhodeus uyekii*의 11%(安, 1994)보다도 훨씬 높았으며, 伏木(1979)는 은어는 다른 어종에 비해서 단위체중당 생식소 중량이 무겁다고 하였는데 본 조사에서도 양식 은어의 9월달 GSI는 암컷 20.003±4.43, 수컷 10.347±0.96으로 산란 직전임을 알 수 있었다.

육봉 은어의 생식소 발달은 8월말에 암컷의 GSI가 16.535±8.29~16.152±7.30, 수컷은 6.716±2.28~9.640±5.83으로 최대치가 되어 산란기가 양식 은어보다 1개월정도 일찍 시작되고 산란기간도 길게 형성되고 있었다.

한편 육봉 은어의 조사지점별 GSI의 변화를 Fig. 25, 26에 나타내었는데 6월에는 유입하천의 중류인 St. 4와 상류인 St. 5에서만 성숙이 시작되는(♀: 0.223±0.02~0.138±0.01, ♂: 0.039±0.01~0.016±0.01)개체가 채집되어 성장이 빠른 개체가 먼저 소상한 것으로 사료되며 서식한 후 7월에는 안동호를 향해 유입하천 상류에서 산란장이 있는 하류쪽으로 GSI가 높은 것으로 보아 서서히 산란하기 위한 육봉은어의 하강이 시작되었고, 8월말에는 일부 개체(♀: 18.877±10.45~20.857±5.96, ♂: 8.380±1.27~9.363±0.43)의 산란이 시작되어 9월말(♀:

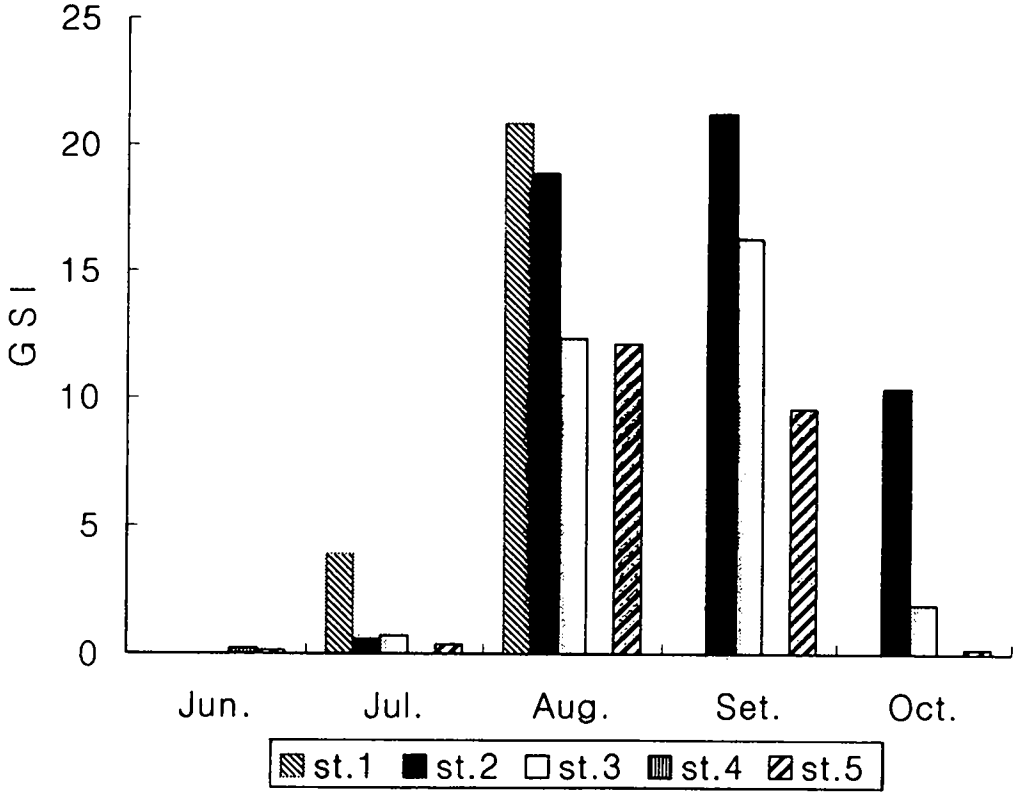


Fig. 25. Monthly change of GSI of land-locked female *P. altivelis* from Andong Lake.

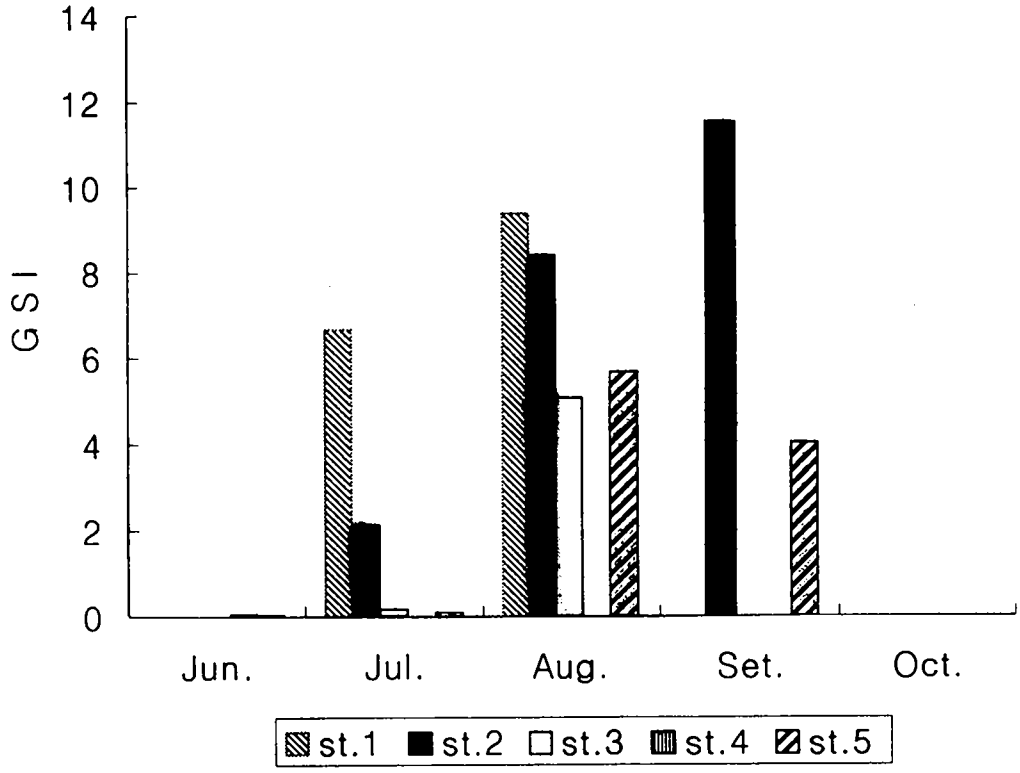


Fig. 26. Monthly change of GSI of land-locked male *P. altivelis* from Andong Lake.

21.253±5.31, ♂: 11.514±5.46)까지 진행되고 있음을 알 수 있었는데 關 등(1984)의 호소산(육봉형)은어의 GSI값은 8월을 시점으로 해서 암컷의 성숙이 진행되어 높고 9월 중순까지 배란되는 개체가 확인되었다는 보고와 같은 경향임을 알 수 있다.

본 조사에서 산란기가 끝난 10월말에 채집된 암컷중 유입하천인 St. 3과 St. 5에서 채집된 개체의 GSI는 0.193과 1.927로 매우 낮았으나 산란장인 안동호 상류의 St. 2에서 채집된 개체의 GSI는 10.371±5.51로 방란 후 잔여알이 흡수되는 과정으로 전술한 바와 같이 이 중에서 살아 남는 개체는 월년 은어로 다음해까지 생존되는 것이 아닌가 생각된다.

은어는 1년생으로서 산란 후 폐사하는데 은어가 폐사하는 이유에 대해 Honma(1959, 1961), 本間(1959, 1960), 立原 · 木村(1988)은 산란에 따른 체력 감모와 성숙에서 산란까지 갑상선이나 부신피질의 기능저하, 먹이섭취의 기능 저하가 폐사의 원인이라 하였다.

그렇지만 榮 등(1996)은 은어가 정상적으로 성숙하고 산란한 개체중에서 대사기능과 활발한 섭식기능이 회복된 개체는 월년하여 익년 여름까지 생존한다고 하며 월년 은어가 여름이 지나 폐사하는 것은 단백질 동화기능의 저하가 원인이라고 하였다.

2. 육봉형 및 양식산 은어의 인공채란과 부화시험

안동호의 육봉형 은어 및 진해내수면연구소 실내사육지에서 양성한 양식산 은어의 인공채란에 사용한 친어의 크기는 Table 25와 같다.

육봉형 은어 친어의 체중은 암컷이 15.2~44.3g 범위, 수컷은 23.4~30.9g 범위로서 양식산 은어 친어의 암컷 체중 68.7~98.2g, 수컷 57.2~104.6g 보다 암 · 수 모두 작은 개체임에도 불구하고 성숙되어 인공채란이 가능하였다.

東(1973)은 육봉화에 의한 비와호 은어의 변이성에 대한 기본적인 특징은 성

Table 25. The size of parents used in egg stripping

Parents		T. L.(cm)	S. L.(cm)	B. W.(g)
Land-locked	♀	12.6~18.5	10.5~16.2	15.2~44.3
	♂	14.7~16.5	12.3~14.2	23.4~30.9
Cultured	♀	17.8~19.5	15.9~17.2	68.7~98.2
	♂	17.0~21.3	15.1~19.0	57.2~104.6

장과 발육으로서 전반적으로 성장속도가 늦고 치어의 특징이 남아 있는 상태에서도 성숙하고, 번식시기의 조기화와 상대적 포란수의 증대가 이루어지는 것이라고 하였다. 또한 성장 속도가 늦고 저년령에서 성 성숙에 달하는 생활주기가 짧은 육봉형 어류의 예는 연어과(Salmonidae) 어류와 그 근친종 중에도 꽤 있고 육봉화에 따라 왜소화 현상이나 그와 관련한 제반적인 변이는 상당히 널리 알려진 일반적인 경향이라고 하였다.

안동호 내의 육봉형 은어도 이러한 변이성에 의해 성숙체형이 작아져 체중이 불과 15g 정도의 개체에서도 인공채란이 가능하였던 것으로 추정되며 금후 이들 집단의 유전적 변이성에 대하여 상세한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

안동호산 육봉형 은어와 양식산 은어로부터 인공채란하여 부화한 결과는 Table 26과 같다.

육봉형 은어에서 채란한 알의 수정율은 84.8~100%, 발안율은 52.9~90.0%로서 양식산 은어에서 채란한 알의 수정율 60.2~78.8%, 발안율 20.5~54.2%보다 양호하게 나타났다. 그러나 부화율은 육봉형 은어가 5.1~10.2%, 양식산 은어는 6.3~19.4%로 비슷한 경향을 나타내었는데 육봉형 은어에서 수정 및 발안율이 양호한 반면 부화율이 낮았던 요인으로서는 안동호 현지에서 인공채란한 수정란을 진해내수면연구소로 이동하기 위한 장기수송으로 알에 충격이 있었던 것으로 보아진다.

Table 26. The result of artificail spawning and hatching from land-locked and cultured *P. altivelis*

Parents	Date	No. of parents (♀/♂)	No. of eggs	Fertilization rate (%)	Rate of eyed embryo (%)	Hatching rate (%)	No. of larvae hatched
Land-locked	'96. 9. 12~13	44/30	1,000,000	84.8	52.9	5.1	43,250
	'96. 9. 21	35/20	500,000	100	90.0	10.2	51,000
Cultured	'96. 11. 7	7/5	100,000	78.8	54.2	6.3	5,000
	'97. 4. 11	17/8	180,000	60.2	20.5	19.4	21,000

한편 的場(1978)은 양식산 은어와 육봉형 은어의 부화율 시험에서 양식산 은어의 부화율은 18.2~86.6%, 육봉형 은어는 44.4~94.9% 범위로 보고하였으며 伊藤(1972)도 양식산 은어와 육봉형 은어의 부화율 비교시험에서 양식산 은어의 부화율은 8~70%인 반면 육봉형 은어의 부화율은 58~92% 범위로 보고하였다.

본 연구에서 육봉형 은어와 양식산 은어의 부화율이 상기의 연구결과 보다도 전반적으로 낮았던 요인으로서는 양식산 은어의 경우 광주기로 성숙억제 또는 성숙억제와 촉진을 반복한 어미로부터 인공채란을 실시하였기 때문에 난질저하가 그 원인으로 사료되며 육봉형 은어의 경우 전술한 바와 같이 수정란의 장기수송에 따른 충격 때문인 것으로 사료된다.

실제로 李(1995)는 광주기로 성숙촉진을 진행시킨 양식산 은어와 자연일장에서 사육한 양식산 은어와의 부화율을 비교하였을 때 성숙촉진구의 부화율은 광주기를 8L/16D로 급격하게 낮춘 것은 2.5%, 서서히 낮춘 것은 72.2%로서 자연일장구의 80.1%보다는 낮게 나타났음을 보고한바 있다.

3. 부화자어 예비 사육시험

1996년 9월 28일 부화가 완료된 1차분 부화자어 43,250마리와 1996년 10월 3일 부화 완료된 2차분 부화자어 51,000마리를 실내콘크리트 수조(3.8m^3)에 각각 수용하여 부화 후 2일째부터 *Chlorella*로 배양한 담수산 윤충등을 공급하면서 담수에서 사육 관리하였으나 1차분 부화자어는 부화 9일부터 대량 폐사되기 시작하여 부화 12일째 전량 폐사하였고, 2차분 부화자어 역시 부화 6일째부터 대량 폐사가 시작되어 부화 8일째에 전량 폐사하였다.

폐사 직전의 개체는 모두 소화관내에 기포가 차 있고 그로 말미암아 평형을 잃고 수면위로 부상하여 유영불능의 상태로서 전형적인 기포병의 증상을 나타내었는데 神奈川縣淡水魚增殖試驗場(1981)의 보고에 의하면 기포병은 부화직후부터 15일경까지 발생하고 사육수 중 가스의 과포화, 폭기된 기포를 부화자어가 포식하므로서 발생하는 것으로 알려져 있지만 명확하지는 않다고 하였다.

山下(1964)는 기포병의 발생원인으로서는 수온이 올라갈 수 있는 직사광선이 비추이는 장소 등에서 일어나기 쉽고, 용존산소의 과포화에 의해 소화관내에 기포가 생겨 발병하는 것으로 추측하였으며 대책으로서 환수에 의한 수온의 하강이나 차광에 의한 일사량의 조절 등이 있다고 하였다.

본 예비사육시험에서 부화자어의 사육은 직사광선이 비추이지 않는 실내(조도 510~950Lux)에서 이루어졌지만, 사육용수로서 공급하는 지하수에서 일시적으로 많은 미세기포가 발생하여 이것을 자어가 포식하여 기포병이 발생한 것으로 추정되었지만 대량 폐사당시 사육수온은 17.8±2℃, DO는 5.36~6.38ppm으로 사육수 중의 용존산소는 과포화상태는 아니었다.

1996년 11월 7일 부화가 완료된 3차 채란분 부화자어에 대하여 부화직후부터 담수구와 기수구(Cl 3‰) 그리고 기수구에서 사육하다가 부화 20, 40, 60일 후에 직접 담수구로 전환하여 부화후 100일째까지 사육하였을 때의 성장관계를 Table 27에 나타내었다.

Table 27. The growth of larvae of *P. altivelis* in brackish and freshwater during culture period

Day(s)	Brackish water	Fresh-water	20 days in freshwater	40 days in freshwater	60 days in freshwater
Just hatched	6.35±0.10	6.35±0.10	—	—	—
20 days after hatching	13.31±0.12	13.10±0.18	13.31±0.12	—	—
40 days after hatching	15.23±1.72	14.86±1.42	15.67±1.87	15.23±1.72	—
60 days after hatching	22.08±2.00	21.70±3.05	17.68±2.09	22.98±2.67	22.08±2.00
80 days after hatching	—	—	—	—	27.53±3.01
100 days after hatching	—	—	—	—	33.05±1.93

기수구는 부화후 60일째까지 평균 전장 22.08±2.00mm까지 성장하였으나 부화 43일째부터 폐사가 시작되어 부화 80일 이내에 전량 폐사하였다.

순담수구 역시 부화후 60일째까지는 평균 전장 21.70±3.05mm까지 성장하였으나 부화 71~72일째에 전량 폐사하였으며, 기수구에서 사육하다가 부화 20일 후부터 담수로 전환 사육한 것도 부화 후 60일째까지 평균 전장 17.68±2.09mm까지 성장하였으나 부화70일부터 서서히 폐사되기 시작하여 부화 81일째에 전량 폐사하였다.

기수구에서 사육하다가 40일 후 담수로 사육한 시험구 역시 부화 후 60일째까지 평균전장 22.98±2.67mm로 성장하였으나 부화 20일 후 담수사육 시험구와 동일시기에 전량 폐사가 일어났고, 기수구에서 사육하다가 부화 60일 후 담수로 전환한 시험구만 유일하게 부화후 100일째까지 2마리가 생존하여 평균 전장 33.05±1.93mm로 성장하였다.

모든 시험구에서 대량 폐사가 일어난 주요시기는 부화후 70일째부터 80일째 사이로 폐사된 개체는 소화관내에 기포가 발생하여 옆으로 누운 상태로 부상 후 죽어 1, 2차 부화자어의 예비 사육시험에서와 같이 기포병이 주 원인으로서 은어자어 사육에 있어 기포가 함유되어 있는 지하수의 직접이용은 매우 문제시 되었다.

은어의 인공종묘생산에 있어 사육수는 염분함유량으로부터 담수(Cl 0.2‰이하), 기수(Cl 0.2~17‰), 해수(Cl 17‰이상) 사육으로 나누어질 수 있다. 사육수의 비중은 해수가 가장 크기 때문에 자어의 부력이 크고 에너지 소모도 적어 부화자어의 절식시 생존시간이 가장 길고 담수에서는 짧다(和田 · 稻葉, 1967). 또한 Ca함유량은 담수에 비하여 기수 · 해수가 크기 때문에 부화자어의 초기 생존 및 성장은 기수 · 해수의 편이 좋으며 사육수의 알카리도도 기수 · 해수가 담수보다도 크기 때문에 Buffer action이 강하고, 식물 플랑크톤의 광합성에 의한 pH의 상승도 기수 · 해수가 적기 때문에 pH의 이상상승에 의한 자어의 피해도 담수보다 적다(伊藤 등, 1967). 그러나 양질의 지하수량 확보는 입지조건에 따라서 다르겠지만 기수 및 해수의 지하수는 H_2S 및 Fe의 함유량이 많고 또한 무산소의 경우가 많아 저온 지표수로의 의존도가 크기 때문에 보온의 경제적인 부담이 있고 그에 비하여 담수의 지하수는 질이나 양적으로 모두 확보가 용이하고 보온의 경제적인 부담도 적은 이점이 있다(伊藤, 1972).

본 예비사육시험에서 기수사육과 담수사육의 효과를 상호비교하기에는 사육기간중 기포병에 의해 모두 부화 80일 이전에 폐사하였기 때문에 정확하게 언급을 할 수는 없지만 함께 생존한 부화후 60일째까지의 성장을 놓고 볼때는 기수구나 담수구 그리고 기수구에서 사육하다가 담수구로 전환한 시험구에서 뚜렷한 성장차이는 나타나지 않았다.

전(1997)은 갓 부화한 은어 자어를 여러 염분에서 사육하였을 때 완전해수보다 5~25‰에서 빠른 성장과 높은 생존율이 얻어졌으며 특히 10‰구에서 가장

양호하고 이에 비해 0‰에서는 가장 낮은 성장률과 사육 50일째에 모두 폐사하여 자어의 담수사육 가능성이 희박한 것으로 보고하였다.

그러나 본 예비시험에서는 담수구에서 전(1997)의 50일간사육보다도 조금 긴 부화후 70일째까지도 사육이 가능하였으며 전술한 바와 같이 기수구와 비교하여 성장에도 차이가 없었다. 이와 같은 결과는 전(1997)의 경우 담수에서 사육하면서 해산윤충을 공급하여 주었고 본 시험에서는 담수산윤충을 공급하여 주었기 때문으로 사료되는데 임 등(1993)은 해수산 *Chlorella*로 배양된 윤충은 비중 1.010이하에서는 전 개체가 바닥에 가라앉아 초기먹이 공급에 문제가 있다고 하였다.

伊藤(1972)는 담수사육 보다도 기수·해수 사육이 일반적으로 양호한 경향이지만 이러한 차이가 염분의 직접적 효과인지, 아니면 공급한 먹이생물의 폐사에 따른 간접적인 영향인지는 실험조건의 제약 때문에 엄밀히 판단하기는 곤란하지만 기수산윤충을 사용하여 해수·기수 담수에서 사육하였을때는 기수사육이 가장 성적이 좋았고 해수산윤충을 사용하였을때는 해수사육이 가장 성적이 좋아 염분농도의 차에 의한 먹이조건 변화의 간접적 영향이 무시될 수 없는 요인이라고 하였다. 또한 담수에 의한 인공종묘 생산에 있어서는 부화 120일째까지 최종 생존율은 20~30%, 생산마리수는 1,000~2,000마리/m^3는 보통이고 최대 생존율은 32.7%, 생산마리수는 5,240마리/m^3의 성적도 올릴 수 있다고 하였다.

1997년 4월 11일 부화가 완료된 4차 채란분 부화자어에 대하여 담수에서 순환여과식 수조사육과 유수식 수조사육으로 나누어서 부화직후부터 부화 100일째까지 성장 및 생존율을 비교 검토하였다.

유수식과 순환여과식 사육 모두 부화 5일째부터 은어 1개체가 담수산윤충 5~15개를 먹기 시작하는 것을 현미경하에서 확인이 가능하였으나 부화 7일째에 유수식사육은 대량으로 폐사가 시작하여 부화 12일째, 평균전장 11.86±1.42mm

까지 성장 후 모두 폐사하였다. 폐사상황을 관찰하였을 때 부화자어는 주간에 사육수 중의 표층에 집중 분포하여 연속 유영을 하지 않고 수조내벽을 향하여 붙어 있는 상태에서 먹이를 섭취하지 않고 결국 소화관이 비어 있는 상태로 전량 폐사하였다. 폐사된 개체를 수거하여 병리학적 검사결과 기생충 및 세균이나 비브리오가 검출되지 않았으며 폐사 당시의 사육수질 조건도 유수식으로 관리하여 pH 7.03~7.12, DO 7.08~7.40ppm, NH_4-N 0.037ppm 등으로 양호한 편이였다.

한편 日本全國湖沼河川養殖硏究會報告(1981)에 의하면 FRP수조가 밝은 청색일 경우 부화자어는 내벽을 향하여 떨어지지 않고, 먹이섭취가 불량하며 부화후 10~67일에 약 90%가 폐사하였다고 한다. 그리고 부화후 68일쯤에는 판라이트 수조로 남은 자어를 이동하였지만 폐사는 멈추지 않았고 수조바닥에 옆으로 누워서 경련을 일으키며 전량 폐사하였다고 하는데 본 예비사육시험에서도 FRP수조 내벽은 밝은 청록색이였기 때문에 상기와 같은 증상으로 폐사가 일어났었던 것으로 추정되며 은어 부화자어의 사육시 수조내벽은 빛이 반사되지 않는 비교적 어두운 색깔을 선택하여야 할 것으로 사료되었다.

그렇지만 유리수조를 이용한 순환여과식 사육에서는 상기와 같은 폐사 증상없이 자어가 주간에는 표층에 집중 분포하여 연속적인 유영과 왕성한 먹이섭취 활동을 하며 성장을 지속하였는데 분양 및 선별가능 시기인 부화후 100일째까지 사육하였을 때의 생존율 및 성장은 Table 28과 같다.

부화 20일째까지의 생존율은 33.0%로서 사육자어가 급격하게 감모하였고 그 이후인 부화후 20에서 60일까지는 사육자어의 급격한 감모없이 생존율이 29.6~26.1%를 나타내었다. 그러나 부화 80일에는 생존율이 15.3%로서 부화 60일에서 80일 사이에 사육자어의 급격한 감모가 또다시 나타났고 그 이후 사육자어의 급격한 감모없이 부화 100일째의 최종 생존율은 12.6%였다.

Table 28. The growth and survival rate of larvae of *P. altivelis* rearing in water recirculating system

Day(s)	T. L. (mm)	B. W. (g)	Survival rate(%)
Just hatched	6.25±0.16	—	100
20 days after hatching	10.78±0.67	—	33.0
40 days after hatching	18.37±1.24	—	29.6
60 days after hatching	30.84±2.18	—	26.1
80 days after hatching	43.67±4.31	0.396±0.11	15.3
100 days after hatching	61.21±11.76	1.366±0.81	12.6

伊藤 등(1967)은 방양자어의 초기감모는 부화 후 20일째까지 현저히 크게 나타 나고 이러한 현상은 부화자어의 일반적인 특성이라고 하였다. 부화 60일에서 80일 사이에 사육자어가 급격하게 감모한 것은 부화 60일째까지는 Artemia와 인공 배합사료를 병용하여 먹이를 공급하다가 그 이후부터 인공 배합사료만을 공급하였기 때문에 미처 사료순치가 되지 못한 개체에서 폐사가 많이 되었기 때문으로 사료되며 특히 폐사된 개체는 전체 사육개체군 중에서 성장이 늦은 작은 개체군이 대부분으로서 이 시기에 한번 분산수용이 필요할 것으로 사료된다.

성장은 부화직후 평균전장 6.25±0.16mm가 부화 후 20일에는 평균전장 10.78±0.67mm로 성장하였으며 부화후 40일에는 평균전장 18.37±1.24mm, 부화 후 60과 80일에는 각각 평균전장이 30.84±2.18mm와 43.67±4.31mm로 성장하였고 체표면에 비늘이 형성되기 시작하였다. 부화 후 100일에는 평균전장이 61.21±11.76mm로 성장하였으며 이때의 평균체중은 1.37±0.81g 으로서 종묘분

양이 가능한 크기였기에 이와 같은 결과는 종묘분양 크기까지 담수에서 충분히 종묘생산 가능성을 보인 것이다.

또한 全國湖沼河川養殖硏究會報告(1981)에 의하면 은어 자어의 평균적 성장은 부화시 전장 6~7mm, 부화 후 20일에서 11mm, 30일에서 15mm, 60일에서 20~25mm, 90일에서 30~35mm 그리고 120~150일에서 40~60mm 정도라고 하였는데 본 사육실험에서는 부화 후 100일에 전장이 60mm 전후로 성장하여 약 20~50일 정도 빠르게 나타났다. 성장이 빠르게 나타난 요인으로서는 은어 종묘생산은 일반적으로 10월초부터 시작되기 때문에 사육수온을 15~18℃ 범위로 유지관리할 수 밖에 없으나 본 실험은 성숙 억제한 친어로부터 4월 중순에 채란하여 8월초까지 양성하므로서 자연상태에서도 사육수온이 거의 21℃전후로 유지 관리되었기 때문으로 사료된다. 은어 종묘 생산시 자어의 사육수온은 全國湖沼河川養殖硏究會報告(1981)에서는 적수온이 14~19℃이고, 저수온의 경우 12℃이하에서는 거의 먹이를 먹지 않아 생존율이 낮고 성장도 나쁘게 되며 고수온의 경우는 수온 20℃이상이면 먹이 섭취량이 감소하고 생존율이 낮아진다고 하였지만 高橋(1979)는 조기채란한 부화직후의 자어를 수온 22~26℃에서 약 1개월간 사육하였지만 먹이섭취, 성장, 생존 등에 전혀 이상이 없음을 보고하였다.

은어의 인공 종묘생산에 있어 지금까지의 사육방식은 유수식과 순환여과식이 있고 사육용수를 직접해수를 이용할 경우에는 유수방식을, 인공기수나 희석해수를 이용할 경우에는 순환여과방식이 채택되어지고 있다(野村,1982).

유수방식은 염분의 조정, 수질악화 방지, 어병대책등의 노력 및 경비가 적고 자어의 생존율이 높은 장점이 있지만 겨울철 수온유지가 어렵고 양질의 풍부한 수량이 확보되어야 하는 단점이 있다. 순환여과 방식은 수온유지가 용이하며 공급되는 먹이생물의 허실이 적고 시설장소에 크게 구애를 받지 않는 장점이 있지만 시설비가 많이들고 수질 및 질병관리에 어려움이 있으며 자어의 생존율

이 낮은 단점이 있다.

본 예비 사육시험에서는 담수에서의 유수식 방식과 순환여과 방식으로 사육시의 부화자어의 생존율 및 성장을 비교 검토하고자 하였으나 유수식 사육에서 부화 후 12일째에 시험어가 전량 폐사하여 직접적인 비교 검토가 불가능하였다. 그렇지만 담수에서의 순환여과사육 방식으로 충분히 은어 자어 사육에 지장이 없는 수질조건을 유지하면서 종묘분양 크기까지 사육이 가능하였으며 부화 후 100일째에 평균 전장 61.21±11.76mm(평균체중 1.37±0.81g)로 성장하였고 부화자어의 생존율이 12.6%로서 全國湖沼河川養殖硏究會報告(1981)에서 기수 순환여과 방식으로 부화 후 100~120일(전장 35~40mm, 체중 0.1~0.3g)까지 사육하였을때의 부화자어의 생존율 10~15%정도와 비슷하여 해수를 이용하지 않고도 담수에서의 은어 인공종묘의 대량생산 가능성을 충분히 뒷받침할 수 있는 결과로 보아진다.

4. 자연산 치어채집, 실내사육 및 인공채란

양양 남대천의 하천산 은어와 안동호산 육봉형 은어를 현지에서 채포하여 진해내수면연구소로 수송 후 각각의 야외사육지(10.5m^2)에서 양식산 은어와 인공채란이 가능한 시기까지 사육 시험한 결과는 Table 29와 같다.

하천산, 양식산 및 육봉형 은어의 사육 기간동안 일간성장율 및 증중율은 채포시기의 차이에 의한 최초 방양시의 평균 체중과 사육기간이 각기 달랐기 때문에 직접적인 비교는 곤란하였으며 방양시 평균 체중이 5.49±0.80g으로 가장 작은 육봉형 은어의 일간성장율 및 증중율은 각각 3.03%이었고, 방양시 평균 체중이 3.69±2.03g인 하천산 은어는 1.73% 그리고 방양시 평균 체중이 43.25±6.86g으로 가장 큰 양식산 은어는 0.78%로서 가장 낮게 나타났다.

하천산 은어와 육봉형 은어의 성장관계에 관한 보고로서는 關 등(1984)이 평균체중 5g 전후의 크기를 동일 탱크내에서 5월 23일부터 9월 22일까지 4개월간

Table 29. The result of growth experiment of amphidromous, cultured, and land-locked *P. altivelis* during culture

Parents	Culture period (days)	B. W. (g)		Growth rate* (%/day)	Weight gain (g)	Survival rate (%)
		initial	final			
Amphi-dromous	'97 .6 .17**~ 10. 20(125)	7.69±2.03	66.45±7.32	1.73	58.76	66.0
Cultured	'97. 6. 30**~ 9. 29(92)	43.25±6.86	88.91±17.10	0.78	45.66	92.0
Land-locked	'97. 6. 27**~ 9. 23(88)	5.49±0.80	78.83±16.05	3.03	73.34	83.3

*growth rate(G1)=($\ln Y_T - \ln Y_t$)/(T-t), while Y_t=weight of fish on day t, Y_T= weight of fish on day T, T-t=culture period

**Date of artificial insemination

사육 시험한 결과 5월부터 6월까지는 하천산 은어가 육봉형 은어에 비해 성장이 양호하였지만 6월부터 8월에 걸쳐 고수온기(수온 18~20℃)에는 육봉형 은어가 급속히 성장하여 실험 종료시에는 하천산 은어에 비해 성장이 양호하게 나타났다고 하였다.

생존율은 양식산 은어가 92.0%, 육봉형 은어는 83.3%인데 비하여 하천산 은어는 66.0%로서 상대적으로 매우 낮게 나타났는데 이는 현지 채포후 장기수송에 의한 초기 폐사율이 높았기 때문이다.

한편 자연에서 치어를 채집하여 사육지에서 관리한 하천산과 육봉형 은어의 채란일자는 육봉형 은어가 9월 23일로서 하천산 은어의 10월 20일보다 약 1개월 가량 빨리 성숙되어 인공채란이 가능하였다.

荒井(1990)와 關 등(1984)은 동일 조건하에서 하천산 은어와 육봉형 은어를 사육지에서 산란기까지 사육한 결과 육봉형 은어가 하천산 은어에 비해 1~2개월 빨리 성숙한다고 보고하여 본 시험의 결과와 같았는데 東(1973)은 어류의 성 성숙 조기화는 먹이부족과 높은 사망율을 초래할 수 있는 생활조건을 가진

수계에 있어 종의 번식을 유지할 수 있는 중요한 적응적 변이로서 먹이부족에는 일정한 한도가 있고 한도 내에서는 먹이부족에 따라 개체수나 전중량은 감소하는데 비해 개체의 포란수, 성숙년령 등은 변화하지 않지만 그 한도를 넘어 더욱 부족하게 되면 발육의 정지, 개체의 왜소화와 더불어 성 성숙이 빨라진다고 하며 비와호산 육봉형 은어의 성 성숙 조기화는 이러한 현상과 관련하여 생긴 변이라고 보고하였다. 안동호산 육봉형 은어의 성 성숙 조기화도 이와 관련하여 형성되어진 변이인지는 금후 자세한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

하천산, 양식산, 육봉형 은어로부터 인공채란한 수정란은 수온 15, 18, 21℃의 조건에서 각각 부화율을 비교 시험한 결과는 Fig. 27에 나타내었다.

부화수온 21℃에서는 육봉형이 부화율 72.4%로서 가장 양호하였으며 하천산과 양식산은 각각 68.0과 69.0%로서 차이가 거의 없었다. 부화수온 18℃에서는 하천산과 양식산은 부화율이 각각 67.3과 68.5%로서 차이가 거의 없었으나 육봉형은 51.8%로서 가장 낮게 나타나 21℃에서의 부화율과는 차이가 있었다. 부화수온 15℃에서도 하천산과 양식산은 부화율이 각각 54.0%와 56.9%로 비슷하였으나 육봉형은 42.0%로서 낮게 나타났다.

전반적으로 수온 21℃의 조건에서 부화율이 가장 양호하였으나 하천산과 양식산의 경우에는 수온 18℃의 조건과는 거의 차이가 없었다. 그렇지만 육봉형 은어의 경우는 수온 21℃조건에서는 하천산이나 양식산보다 부화율이 양호하였으나, 수온 18℃ 와 15℃의 조건에서는 가장 낮게 나타났는데 이와같은 요인은 아마도 자연에서 육봉형 은어의 산란기가 하천산이나 양식산보다 1~2개월 빠른 8~9월의 수온이 높은 시기에 이루어지는 것과 연관이 있지 않나 추정된다.

하천산과 양식산의 부화율은 수온조건 별로 각각 비슷하게 나타났는데 伊藤(1972)는 하천산과 양식산의 인공수정란에 있어 부화율은 큰 차이가 없다고 하였다.

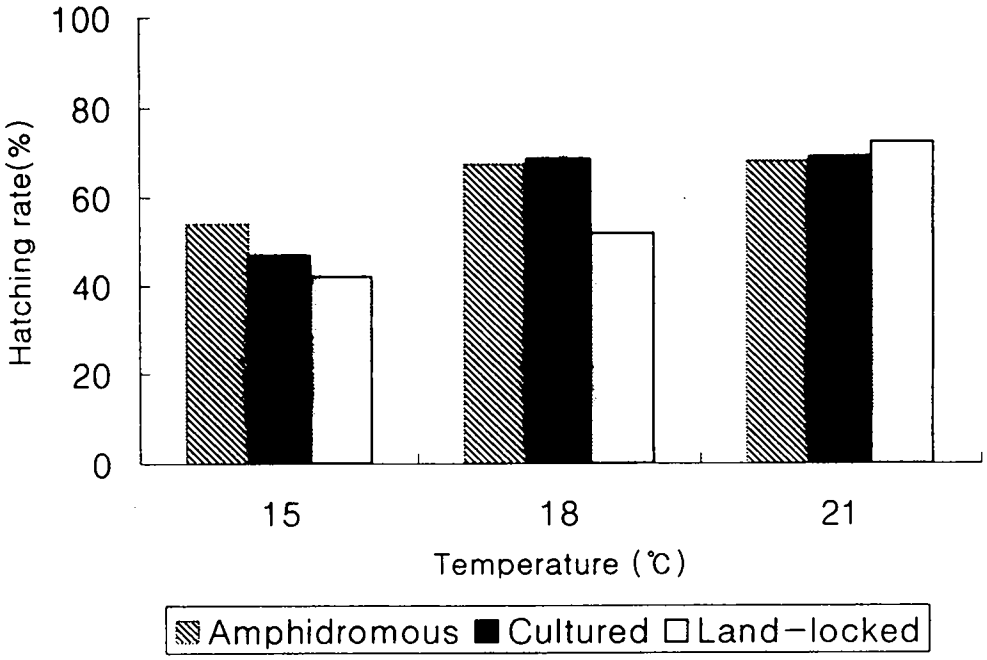


Fig. 27. Hatching rate of eggs stripped from amphidromous, reared, and land-locked *P. altivelis* under controlled temperature.

하천산, 양식산 육봉형 은어 자어를 부화 후 90일째까지 사육하였을 때의 성장 및 생존율은 Fig. 28과 Fig. 29에 나타내었다.

부화 직후의 자어의 평균 전장은 하천산, 양식산 육봉형 은어가 각각 6.45±0.21㎜, 6.86±0.33㎜, 6.07±0.13㎜로서 양식산 은어가 약간 크고 하천산, 육봉형 은어의 순이었다. 부화 20일째 자어의 평균 전장은 육봉형이 부화자어가 작았음에도 불구하고 12.67±0.60㎜로 가장 성장이 양호하였으며 양식산은 11.15±0.67㎜, 하천산이 9.66±0.52㎜였다. 그러나 부화 40일째부터는 양식산이 평균 전장 19.77±1.60㎜로 가장 성장이 좋았고 육봉형, 하천산이 각각 17.15±1.32㎜와 16.52±0.97㎜였다. 부화 60일째에는 하천산, 양식산, 육봉형 은어의 평균 전장은 각각 23.05±1.56㎜, 23.15±1.88㎜, 22.86±1.76㎜로 거의 성장차이가 없었으며 시험종료인 부화 90일째에도 하천산, 양식산, 육봉형 은어의 평균 전장은 32.17±1.89~32.83±2.51㎜범위로서 역시 성장차이가 나타나지 않았다.

岩井・山形(1989)은 하천산 은어와 琵琶湖産 육봉형 은어 부화 자어와의 성장을 비교 시험한 결과 부화 직후의 자어가 하천산이 평균 전장 7.10㎜, 육봉형 은어는 5.43㎜인데 비하여 부화 21일째에는 육봉형 은어는 전장 11.9㎜, 하천산은 11.5㎜로서 육봉형 은어의 초기 성장이 양호하다고하여 본 실험의 결과와 비슷한 경향이였지만, 사육일수가 경과하면서 하천산은 부화 59일째에 전장 23.1㎜, 육봉형은 부화 60일째 전장 17.0㎜로서 하천산의 성장이 우세하고 부화 96일째에 하천산은 전장 29.9㎜, 육봉형은 부화 90일째에 24.0㎜로서 역시 성장차이가 있다고 하여 일본 琵琶湖産 육봉형 은어 부화자어는 하천산 은어에 비해 성장이 열세하였다고 하여 본 실험의 결과와는 달랐다.

생존율은 하천산, 양식산, 육봉형 은어에서 부화 후 20일 까지 32.7~44.7%로서 초기 감모가 매우 높은 일반적인 경향을 나타내었는데 육봉형 은어의 생존율이 가장 높고 하천산. 양식산 은어의 순이였다. 그러나 실험종료시인 부화후 90일에는 하천산,양식산, 육봉형은어의 생존율은 6.0~6.7%로서 뚜렷한 차이가

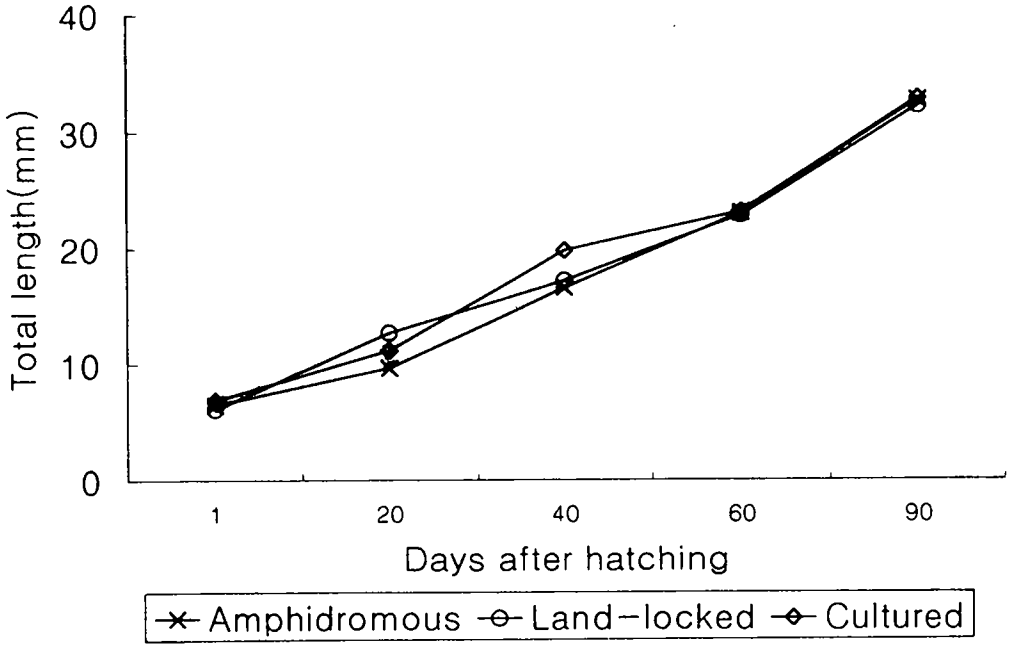


Fig. 28. The comparison of growth of larvae of amphidromous, cultured, and land-locked *P. altivelis*.

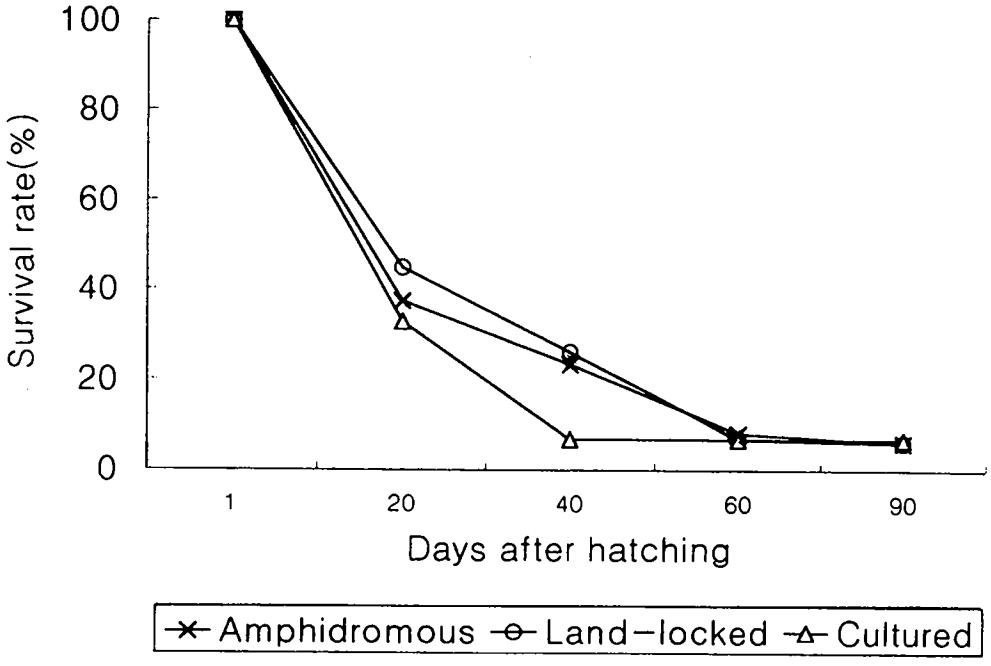


Fig. 29. The comparison of survival rate of larvae of amphidromous cultured, and land-locked *P. altivelis*

없었다.

초기에 육봉형 은어의 생존율이 높았던 요인은 빠른 성장에 기인된 것으로 사료되며 부화 90일에 모든 시험구의 생존율이 6%정도로서 낮았지만 全國湖沼河川硏究會報告(1981)에 의하면 해수에서 사육한 부화자어의 생존율은 보통 부화 60일까지 약 50%정도지만 생존에 영향을 미치는 요인은 먹이의 종류와 양, 수온, 조도, 수조의 크기, 수용 마리수 및 수질 등 여러가지 조건에 따라 다를 수가 있어 10% 전후로 되는 경우도 있다고 하였다.

한편 岩井・山形(1989)은 기수(Cl 3‰)에서 순환여과식으로 하천산 은어를 부화후 96일째까지 사육하였을 때 생존율은 45%였지만 동일조건에서 육봉형 은어는 부화후 96일째까지 4.8%로 보고하여 본 실험의 결과보다도 낮았다.

5. 부화자치어 적정사육 조건 정립

가. 윤충 공급 및 포식성 조사

본 시험은 배양에 성공한 담수산 윤충을 은어가 섭식하는지 그리고 공급 후 시간별로 얼마나 섭식하며 잔여 윤충의 밀도는 얼마나 되는지 파악함으로서 윤충 재 공급 시간을 알아보기 위해 실시되었으며, 먹이를 공급하기 시작한 후 10일 간격으로 20일 까지 윤충을 15개체/㎖의 밀도로 공급하고 하루 중 1시간, 4시간, 7시간 후 윤충 포식 수를 조사하였다(Table 30).

예비 실험 결과 은어 자어가 윤충을 먹기 시작하는 시기는 부화 후 5일경이었으므로 시험은 부화 후 5일을 공급 개시일로 하였고, 윤충 공급은 아침 09:00시에 필요한 윤충 전량을 공급하였으며 당일 17:00시까지 매 조사시 임의로 자어 10마리를 채포해 소화관 내용물을 실체현미경 하에서 관찰하였다.

본 시험 결과 은어 자어는 성장함에 따라 윤충 섭식 수가 증가함을 알 수 있었고, 하루 중 가장 많이 윤충을 섭식한 시기는 경향이 뚜렷하지는 않았지만 오전보다는 오후에 소화관 내용물에 많은 양의 윤충이 관찰되었는데, 이는 은어

Table 30. The result of ingestion of larvae on rotifers supplied at the density of 15 rotifers/ml. Number in parenthesis shows the density ofrotifers which are not fed. All the data are means.

Days after supplying rotifers	T. L. of larvae (mm)	Length of intestine of larvae(mm)	No. of rotifers ingested		
			1h later	4h later	7h later
0	7.10	4.22	10.6(10.0)	13.2(7.0)	not observed
10	8.71	4.76	23.2(13.5)	22.9(9.5)	42.6(6)
20	9.82	5.72	53.6(14.5)	83.8(5.0)	43.5(0)

자어가 먹이를 포식한 후 소화시키는 시간과도 연관지어 해석해야 하므로 확실하지 않다.

한편 사육 25일째에는 윤충 포식량이 평균 최고 83.8개체, 개체 최고량 160개체에 이르러 크게 증가하였으며, 7시간 후에는 사육수중에 윤충이 전혀 관찰되지 않을 정도로 윤충이 고갈되는 것으로 나타나 이 시기에는 윤충 공급량을 늘리거나 더 크 먹이로 전환시켜주어야 할 필요성이 있는 것으로 사료되었다.

본 조사 결과는 은어 자어가 배양한 담수산 윤충을 포식하면서 사육 25일까지 평균 2.72mm 성장함으로서 담수에서 사육 가능성을 시사한 자료로 판단되지만 윤충의 영양강화, 부화 자어가 시기별로 하루 중 필요한 윤충의 수 등은 추후 면밀히 분석되어져야 할 과제로 남는다.

나. 먹이 계열별 사육시험

담수에서의 은어 인공종묘생산시 초기먹이 생물인 담수산 윤충의 적정공급기간을 알아보기 위하여 부화직후부터 40, 60, 80일간으로 나누어 공급하였을 때의 성장 및 생존율을 각각 Fig. 30과 Fig. 31에 나타내었다.

성장은 부화 20일째 평균전장 범위가 11.10±0.98~12.44±0.70㎜, 부화 40일째는 17.25±2.14~17.93±2.61㎜ 범위로 윤충 60일 공급구의 성장이 약간 빨랐

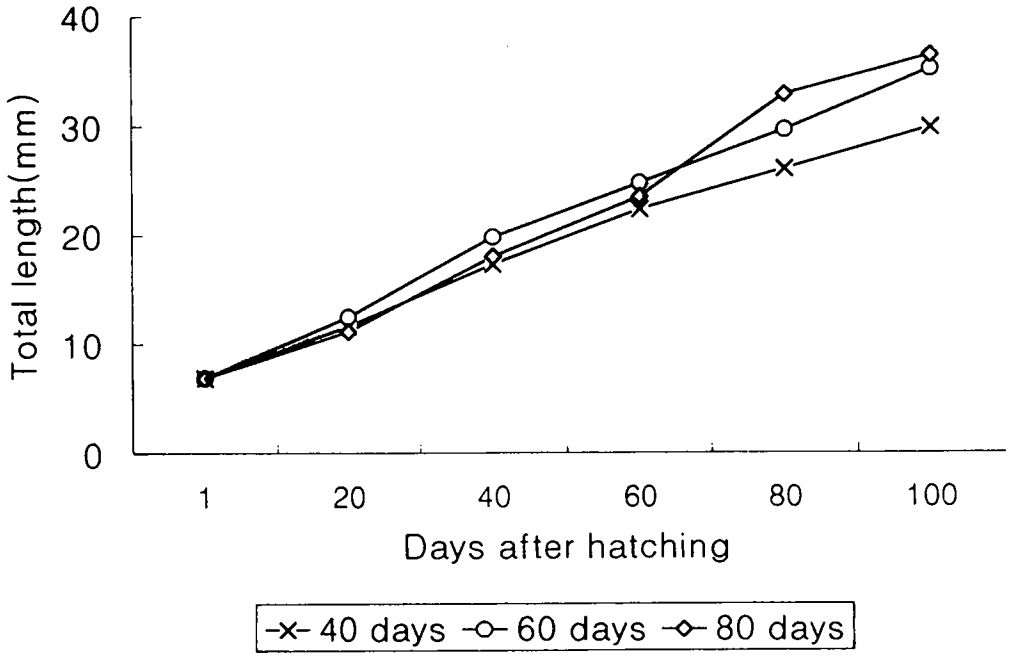


Fig. 30. The result of growth from experiment on various feeding schesule

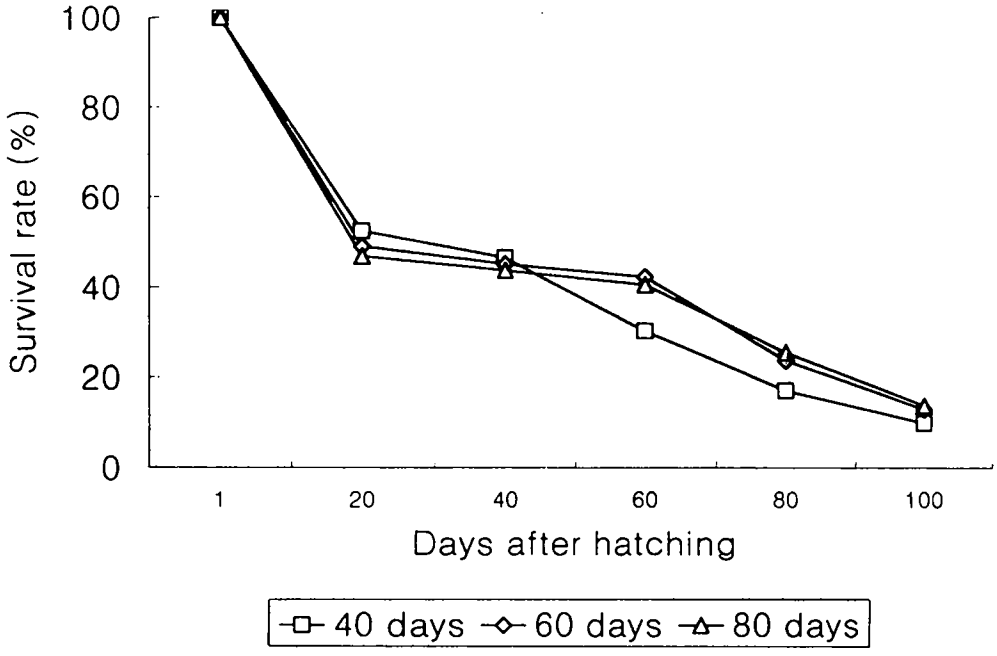


Fig. 31. The result of survival rate from experiment on various feeding schesule.

으며 윤충 40일 공급구와 80일 공급구와는 차이가 거의 없었다. 그러나 부화 60일째 부터는 윤충의 공급이 먼저 종료된 40일 공급구의 평균 전장이 22.32±2.30㎜로서 성장이 가장 낮았고 윤충 60일과 80일 공급구는 각각 평균 전장이 24.72±2.94㎜와 23.48±3.33㎜였다.

부화 80일째에는 윤충의 공급기간이 가장 긴 80일 공급구에서 평균 전장 32.83±2.73㎜로서 가장 성장이 양호하고 그 다음으로 윤충 60일 공급구와 40일 공급구 순으로서 평균 전장이 각각 29.57±3.55㎜, 26.02±2.28㎜였다.

실험종료인 부화 100일째 역시 윤충의 공급기간을 가장 길게 한 80일 공급구가 평균전장 36.68±2.52㎜로 제일 양호하고 윤충 60일 공급구에서도 평균 전장 35.15±3.39㎜로 80일 공급구와는 큰 차이가 없었지만 윤충의 공급기간을 가장 짧게 한 40일 공급구는 평균 전장 29.80±2.91㎜로서 다른 실험구에 비해 성장이 저조하게 나타났다.

따라서 담수에서의 은어 인공종묘 생산시 윤충의 적정 공급기간은 적어도 60일 이상은 공급하여 주어야하고 되도록 80일간 길게 공급하여 주는 것이 자어의 성장에 유리하였다.

부화직후의 자어기부터 단독으로 사육가능한 인공배합사료는 아직 개발되어 있지 않기 때문에 초기먹이로는 현재까지 윤충을 배양하여 공급하고 있는데 全國湖沼河川硏究會報告(1981)에 의하면 윤충의 공급기간은 부화후 50~100일까지 공급하는 것이 좋고 野村(1982)도 부화후 1~2일부터 100일간 정도 공급하여야 한다고 하였지만 伊藤(1972)는 부화후의 전기자어부터 75일까지 윤충을 공급하는 것이 가장 성적이 좋다고하여 본 실험의 결과와 같이 윤충의 적정 공급기간은 80일 전후 인 것으로 사료된다.

생존율은 부화 20일째에 46.8~52.4% 그리고 40일째에는 43.7~46.5% 범위로서 윤충 40, 60, 80일 공급구의 순이였으나 부화 60일째에는 30.2~40.6% 범위로서 윤충의 공급이 일찍 끝난 40일 공급구가 가장 낮고 60일 공급구가 가장

높았다. 부화 80일째에는 윤충 60일과 80일 공급구는 각각 23.7%와 25.4%인 반면 윤충 40일 공급구는 17.0%로서 다른 실험구에 비해 생존율이 매우 낮았다. 실험종료시인 부화 100일째에는 윤충 80일 공급구가 생존율 13.7%, 60일 공급구는 12.9%, 40일 공급구는 9.8%로서 윤충의 공급기간이 길수록 생존율이 높아지는 경향이였으며 성장이 빠른 실험구가 생존율도 좋았다.

다. 밀도별 생산시험

담수에서의 은어 인공종묘 생산시 부화자어의 수용밀도별 (㎥당 17,500, 15,000, 12,500, 10,000마리) 성장 및 생존율 그리고 생산량에 대하여 비교 검토한 결과는 Table 31과 같다.

부화후 100일째까지의 사육시 성장은 밀도가 낮은 실험구일수록 양호하여 부화자어의 수용밀도가 ㎥당 10,000마리가 평균 체중 0.837±0.51g으로서 가장 좋았고 그 다음으로 ㎥당 12,500마리가 평균 체중 0.795±0.38g, ㎥당 15,000마리는 평균 체중 0.780±0.24g 순이였으며 ㎥당 17,500마리가 평균 체중 0.593±0.06g으로서 가장 낮았다.

Table 31. The result of production of seedlings under various density of culture

Density (m^3)	Initial No. of larvae	Final			Survival rate (%)	Produced larvae/m^3	
		No.	Total weight(g)	Mean weight (g)		No.	Total weight(g)
17,500	35,000	2,625	1556.6	0.593±0.06	7.5	1,313	778.3
15,000	30,000	2,580	2012.4	0.780±0.24	8.6	1,290	1006.2
12,500	25,000	2,175	1729.1	0.795±0.38	8.7	1,088	864.6
10,000	20,000	1,960	1640.5	0.837±0.51	9.8	980	820.3

생존율 역시 성장과 동일한 경향으로서 부화자어의 수용밀도가 제일 낮은 ㎥당 10,000마리가 9.8%로 가장 좋았으며 ㎥당 12,500마리와 15,000마리는 각각 8.7%와 8.6%로서 거의 동일하였고, 수용밀도가 제일 높은 ㎥당 17,500마리가 7.5%로 가장 낮게 나타났다.

이상의 결과로부터 수용밀도가 제일 낮은 ㎥당 10,000마리 수용구가 성장 및 생존율이 가장 양호하였으나 단위수량(㎥)당 생산량을 놓고 볼 때는 생산 마리수가 980마리로서 4개 실험구중 가장 낮았으며 또한 총 중량도 820.3g으로 ㎥당 17,500마리의 수용구를 제외하고는 가장 낮았다.

한편 수용밀도가 제일 높은 ㎥당 17,500마리는 성장 및 생존율이 가장 낮았지만 단위수량(㎥)당 생산마리수가 1,313 마리로서 4개 실험구중 가장 높았다. 그러나 총 중량은 778.3g으로서 4개 실험구중 가장 낮아 실효성이 없었다. ㎥당 15,000마리 수용구는 단위수량(㎥)당 생산마리수에 있어 ㎥당 17,500마리 수용구와 거의 비슷한 1,290마리이고 총 중량은 1,006.2g으로서 4개 실험구중 가장 높았으며 ㎥당 12,500마리 수용구는 단위수량(㎥)당 생산마리수나 총 중량에 있어 각각 1,088마리와 846.6g으로서 ㎥당 15,000마리 수용구에 비해 낮았다.

따라서 담수에서의 은어 부화 자어의 적정 사육밀도는 ㎥당 15,000마리가 가장 적당한 것으로 간주되며, 은어 부화 자어의 사육방식은 크게 두가지로 나눌 수 있는데 부화자어를 방양하여 선별 및 분양 가능시기인 부화후 100일 전후까지 계속 사육하는 방식과 부화 자어를 방양 후 40~60일경에 분산 수용하는 방식으로 본 실험은 전자의 경우에 속하고 후자의 경우에는 부화자어의 수용밀도를 더욱 높일수 있을 것이다.

野村(1982)은 은어의 부화 직후 사육밀도는 사육수 1㎥당 10,000~30,000 마리이지만 부화후 40~60일의 기간중에 분산수용 할 경우에는 밀도를 50,000~100,000마리로 사육한다고 하였다.

담수, 해수, 기수에서 지금까지 인공종묘 생산한 기존의 연구 결과를 한데 묶어 Table 32에 나타내었다.

Table 32. The summary of seedling production of *P. altivelis* according to various aurthors

Water	Culture days	Produced larvae/m^3	Survival rate(%)	Author(s)
Fresh-water	100	842	28.4	伊藤 등(1967)
	100	237	8.3	〃
	112	477	2.6	伊藤(1972)
	112	295	4.9	〃
	119	1,240	15.6	〃
	120	5,240	32.7	〃
Brackish water	112	482	6.9	伊藤(1972)
	120	600	6.0	〃
	133	2,100	13.8	高橋 등(1977)
	146	889	5.6	〃
	133	2,777	20.0	高橋 등(1975)
	147	732	15.0	伊藤(1972)
Marine water	100	1,670	41.7	伊藤(1972)
	121	291	10.4	高見 등(1974)
	127	360	10.0	〃
	127	1340	39.4	〃
	129	1,109	50.2	〃
	131	2,680	39.2	〃

담수에서의 인공종묘 생산시 m³당 생산마리수는 237~5,240마리, 생존율은 2.6~32.7% 범위이고, 기수에서는 생산마리수 482~2,777마리, 생존율 5.6~20.0% 범위이며, 해수에서는 생산마리수가 291~2,680마리, 생존율은 10.0~50.2% 범위로서 해수, 기수, 담수 구분없이 보고자에 따라 차이가 크게 나타났다.

본 실험에서 성적이 가장 양호하였던 m³당 15,000마리 수용구의 종묘생산 결과를 담수에서 사육한 기존 연구결과와 비교해 볼 때 단위수량(m³)당 생산마리수 1,290마리, 생존율 8.6%는 伊藤(1972)가 보고한 담수사육 120일의 m³당, 생산마리수 5,240마리와 생존율 32.7%보다는 훨씬 낮았지만 119일간의 m³당 생산마리수 1,240마리, 생존율 15.6%와 비교해 볼 때 비록 생존율은 낮았지만 생산마리수는 거의 비슷한 수준이였다.

참 고 문 헌

서 론

Lubzens, E., S. Rothbard, A. Blumenthal, G. Kolodny, B. Perry, B. Olund, Y. Wax and H. Farbstein, 1987. Possible use of *Brachionus plicatilis* (O. F. Müller) as food for freshwater cyprinid larvae. Aquaculture, 60: 143~155.

Yu, Shigang, 1989. Pond fertilization and fish feeds, 51-70. *In* Integrated fish farming in China. Network of Aquaculture Centers in Asia and the Pacific, Banhkik, Thailand.

구자현, 김대진, 이우상, 김종두, 1994. 은어양식 시험. 수진사업보고, 94: 3~13.

김익수, 1997. 한국동식물도감 제37권 동물편(담수어류). 교육부. 341~344p.

허성범, 박흠기, 1996a. 한국산 rotifer, *Brachionus plicatilis*와 *B. calyciflorus*의 크기 및 내구란 형성. 韓國養殖學會誌 9(3): 187~194.

大上皓久, 1980. アユ地中養殖の技術. 農山漁村文化協會, 55~64.

大上皓久・山崎 浩, 1967. 海産稚アユの移植方法. 水會三川河口資源調査報告, 4: 195~200.

稻葉傳三郎・本莊鐵夫, 1961. アユの養殖. 淡水養殖, 324~341.

白石芳一・武田達也, 1961. アユの成熟に及ぼす光週期の影響. 淡水區水産報告, 11: 49~53.

伏木省三, 1982. 魚介類の成熟, 産卵の制御. 日本水産學會編, 104~114.

本間義治·田村榮光, 1962. ビワ湖産コアユの生殖腺における週年變化. 魚類學雜誌, 9(1-60) : 135~152.

Hubbs, C. L. and K. F. Lagler, 1958. Fishes of the Great Lakes Region. Ann. Arbor. Univ. Mich. Press. pp. 19~27.

Hyslop, E. J., 1980. Stomach contents analysis- a review of methods and their application. J. Fish Biol., 17: 411~429.

Iwai, T., 1962. Studies on the *Plecoglossus altivelis* problems: Embryology and histophysiology of digestive and osmoregulatory organs. Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ., 2: 1~101.

Komada, N., 1982. Amount of inorganic matter in comb-like teeth of *Plecoglossus altivelis*. Japan. J. Ichthyol., 27(4): 347~349.

Komada, N., 1982. Growth and replacement of dentary teeth in young ayu *Plecoglossus altivelis*. Japan. J. Ichthyol., 29(2): 213~219.

Nishida, M. 1985. Sexual difference in morphological characters in ayu, *Plecoglossus altivelis* (Pisces: Osmeroidea). Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyus, (40): 129~138.

Nishida, M. 1986. Geographic variation in the molecular, morphological and reproductive characters of the ayu *Plecoglossus altivlis* (Plecoglossidae) in the Japan-Ryukyu Archipelago. Japan. J. Ichthyol., 33(3): 232~248.

김익수·강언종, 1993. 원색 한국어류도감. 아카데미서적, 서울, 477pp.

김을배, 1974. 산란장에 있어서 은어 *Plecoglossus altivelis*의 식성, 난포식에 대하여. 한국육수학회지, 7(1, 2): 49~56.

김을배·정상철, 1976. 산란기를 전후한 천지천산 은어, *Plecoglossus altivelis*의 비만도와 체장체중관계. 한국수산학회지, 9(4) : 251~255.

김일회, 1988. 한국 담수산 물벼룩류에 대한 검색표. 한동분지, 2: 43~65.

정준, 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적, 서울, 496pp.

조규송, 1993. 한국담수동물플랑크톤도감. 아카데미서적, 서울, 387pp.

上野益三, 1986. 日本淡水生物學. 北隆館, 東京. 760pp.1. 참고문헌

本間義治·田村榮光, 1962. ビワ湖産コアユの生殖腺における週年變化. 魚類學雜誌, 9(1-60) : 135~152.

向井幸則·小林博·吉川弘正, 1992. アユ稚仔魚の側線系感覺器の形態變化と刺戟受容方向. 魚類學雜誌, 38(4) :411~417.

川那部浩哉・水野信彦, 1989. 日本の淡水魚, 山と溪谷社, p. 86~81.

담수산 먹이생물 배양 기술 개발

Awaïss, A. and P. Kestemont, 1992. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. 2. Influence of temperature on the population dynamics. Aquaculture, 105 : 337~344.

Fulks, W. and K. L. Main, ed., 1991. The design and operation of commerical-scale live feeds production systems. In: Rotifer and microalgae culture systems. Proceedings of a U. S.-Asia Workshop. Hawaii, 3~52.

Galino, M. D. and C. Guisande, 1993. The reproductive biology of mictic females in *Brachionus calyciflorus* Pallas. J. Plankton Res., vol. 15, no. 7: 803~808.

Gilbert, J. J., 1963. Mictic female production in the rorifer *Brachionus calyciflorus*. J. Exp. Zool., vol. 153: 113~124.

Groeneweg, J. and M. Schlüter, 1981. Mass production of freshwater rotifers on liquid wastes. II. Mas production of *Brachionus rubens* Ehrenberg 1838 in the effluent of high-rate algal ponds used for the treatment of piggery waste. Aquaculture, 25: 25~33.

Hirayama, K. and K. Nakamura, 1976. Fundamental studies on the physiology of rotifers in mass culture-V. Dry *Chlorella* powder as a food for rotifers. Aquaculture, 8: 301~307.

James, C. M. and T. Abu-Rezeq, 1988. Effect of different cell densities of *Chlorella capsulata* and a marine *Chlorella* sp. for feeding the rotifer *Brachionus plicatilis*. Aquaculture, 69: 43~56.

Lim, L. C., 1991. An overview of live feeds production systems in Singapore. In: Rotifer and Microalgae Culture Systems. Proceedings of a U. S.-Asia Workshop. Honolulu, Hi, 1991. 203~220.

Lubzens, E., S. Rothbard, A. Blumenthal, G. Kolodny, B. Perry, B. Olund, Y. Wax and H. Farbstein, 1987. Possible use of *Brachionus plicatilis* (O. F. Müller) as food for freshwater cyprinid larvae. Aquaculture, 60: 143~155.

Mitchell, S. A., 1986. Experiences with outdoor semi-continuous mass culture of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). Aquaculture, 51: 289~297.

Mitchell, S. A. and J. H. B. Joubert, 1986. The effect of elevated pH on the survival and reproduction of *Brachionus calyciflorus*. Aquaculture, 55: 215~220.

Pennak, R. W., 1978. Fresh-water invertebrates of the United States. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York. 157~210.

Ricci, C., 1995. Growth pattern of four strains of a Bdelloid roifer species: egg size and numbers. Hydrobiologia 313/314; 157~165.

Rico-Martinez, R. and S. I. Dodson, 1992. Culture of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. Aquaculture, 105 : 191~199.

Rougier, Cl. and R. Pourriot, 1977. Aging and control of the reproduction in *Brachionus calyciflorus* (Pallas) (Rotatoria). Exp. Geront., vol 12: 137 ~151.

Schmid-Araya, J. M., 1995. Disturbance and population dynamics of rotifers in bed sediments. Hydrobiologia 313/314 : 279~290.

Snell, T. W., C. J. Bieberich and R. Fuerst, 1983. The effects of green and blue-green algal diets on the reproductive rate of the rotifer *Brachionus plicatilis*. Aquaculture, 31: 21~30.

Walz, N., S. S. S. Sarma, and U. Benker, 1995. Egg size in relation to body size in rotifers: an indication of reproductive strategy? Hydrobiologia 313/314; 165~170.

Watanabe, T., C. Kitajima, and S. Fujita, 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a review. Aquaculture, 34: 115~143.

Yu, Shigang, 1989. Pond fertilization and fish feeds, 51-70. *In* Integrated fish farming in China. Network of Aquaculture Centers in Asia and the Pacific, Banhkik, Thailand.

강언종, 이배익, 김응오. 1997. 한국 담수산 윤충 *Brachionus calyciflorus*의 일부 생물학적 특징과 온도별 성장. 韓國養殖學會誌 10(4). 인쇄중.

文永鳳, 1981. 輪蟲의 連續反復 收穫을 爲한 適正輪蟲接種密度와 適正 *Chlorella* 濃度에 대하여. 韓水誌 14(2): 86~93.

福所邦彦, 平山和次編, 1989. 初期飼料生物-シオミズツボワムシ. 恒星社厚生閣. 240p.

野村 稔編, 1982. 淡水養殖技術. 恒星社厚生閣. 359p.

日本水産學會編, 1983. シオミズツボワムシ-生物學と大量培養. 恒星社厚生閣.

161p.

田中壽雄, 1983. 淡水産ツボワムシ*Brachionus calyciflorus*の大量培養の可能性. 水産增殖, 31(2): 72~77.

曺圭松 編, 1993. 韓國淡水動物플랑크톤 圖鑑. 아카데미서적, 서울. 387p.

許聖範, 金炫浚, 1988. Rotifer (*Brachionus plicatilis*) 飼育을 위한 *Chlorella* 培養. I. 適種 *Chlorella*의 選擇. 韓國養殖學會誌 1(2): 135~143.

허성범, 박홈기, 1996a. 한국산 rotifer, *Brachionus plicatilis*와 *B. calyciflorus*의 크기 및 내구란 형성. 韓國養殖學會誌 9(3): 187~194.

허성범, 박홈기, 1996b. 한국산 rotifer, *Brachionus plicatilis* (L과 S-type)의 내구란 대량생산. 韓國養殖學會誌 9(4): 345~351.

許聖範, 李昌奎, 李應昊, 1989. 高溫期 및 低溫期의 rotifer, *Brachionus plicatilis* 培養을 위한 適種 植物 먹이生物 選擇. 韓國養殖學會誌 2(2): 91~106.

담수에서 인공종묘 생산기술 개발

Honma, Y., 1959. Studies on the endocrine glands of a salmonoid fish, Ayu, *Plecoglossus altivelis* TEMMINCK et SCHLEGEL-Ⅱ, Endocrines of the spent fish or Otu-nen Ayu. J. Fac. Sci. Niigata Univ., Ser.Ⅱ, 2 : 235~242.

Honma, Y. 1961. Studies on the endocrine glands of the salmonoid fish Ayu, *Plecoglossus altivelis* TEMMINCK et SCHLEGEL-Ⅳ, The fate of the unspawned eggs and the new crops of oocytes in the spent ovary. Nippon Suisan Gakkaish, 27 : 873~879.

安哲民, 1994. 각시붕어의 生殖週期 및 그 制御에 관한 硏究. 부산수산대학교 대학원 박사학위 청구논문 : 81pp.

李佑祥, 1995. 光週期處理에 의한 은어, *Plecoglossus altivelis*의 成長과 成熟調

節에 關한 硏究. 부산수산대학교 석사학위 논문 : 25~26.

이철호, 1996. 3배체은어(*Plecoglossus altivelis*)의 생산. 부경대학교 석사학위 논문 : 37pp.

임상구, 1994. 동자개 *Pseudobagnrus fulvidraco* (Richardson)의 생식년주기. 부산동의대학교 대학원 석사학위 청구논문 : 33pp.

임영수, 문영홍, 박상언, 조기채, 1993. 은어 *Plecoglossus altivelis* 수정란의 부화와 자치어 사육에 미치는 비중의 영향. 수진연구보고, 47 : 59~69.

전민지, 1997. 은어 *Plecoglossus altivelis*의 성장과 삼투조절에 미치는 염분의 영향. 부경대학교 대학원 석사학위논문 : 4~36.

최기철, 1995. 봉화군 일대에 서식하는 육봉형 은어의 생태조사. 봉화군 용역보고서 : 5~6.

高見東洋, 河村勇一, 田村灝, 岩本哲二, 1974. 大型水曹でのアユ種苗の量産化, 山口縣內水水産試驗場 : 17~25.

高橋昭夫, 西原降通, 村山降夫, 1975. アユの種苗生産試驗Ⅴ. 神奈川縣淡水增殖報告, : 11~13.

高橋昭夫, 岡 彬, 戶田久仁雄, 1977. アユの種苗生産試驗Ⅶ. 神奈川縣淡水增殖報告, : 49~51.

高橋昭夫, 1979. アユの人工種苗生産. 神奈川縣淡水增殖報告, No.·15 : 9~13.

關伸吾, 谷口順彦,村上幸二,米田實, 1984. 湖産アユと海産アユの成長・成熟および行動の比較. 淡水魚 10號 : 101~104.

東幹夫, 1973. びわ湖における陸封型アユの變異性に關する硏究. 日本生態學會誌, 23(6) : 255~265.

藤本政男, 山本孝治, 1934. 貯水池に移植した鮎卵による鮎の蓄殖. 日水誌, 3(1) : 31~36.

藤原 進, 1988. アユ陸封化の要因と宮崎懸における人工湖の檢討. 宮崎水試事報

: 280～288.

伏木省三, 1979. アユの成熟への春季長日處理の效果に關する研究. 滋賀縣水産試驗場研究報告, 31 : 1～56.

本間義治, 1959. アユの一生と內分泌線の活動, 科學, 29 : 309.

本間義治, 1960. アユの一生における副腎皮質組織の變化, 科學, 30 : 364.

山下金義, 1964. マダイ養殖の基礎的研究-Ⅲ, 稚仔の疾病について(1)ガス病. 水産增殖, 12(2) : 127～133.

小林彦四朗, 1923. 鮎卵の發生と稚仔飼育とに就いて(1). 水産研究誌, 18(9) : 335～340.

神奈川縣淡水魚增殖試驗場, 1981. 汽水循環濾過水による種苗生産技術の現狀, アユ人工種苗研究報告. 全國湖沼河川養殖研究會 : 107pp.

岩井壽夫, 山形陽一, 1989. 海産アユとびわ湖産コアユの仔稚魚期の成長. 水産增殖, 37(1) : 57～62.

野村 稔, 1982. 淡水養殖技術. 恒星社厚生閣: 261～262.

榮研二, 海野徹也, 高原泰彦, 荒井克俊, 中川平介, 1996. 廣島縣太田川における越年アユの生物學的, 生化學的性狀, Nippon Suisan Gakkaishi, 62(1) : 46～50.

伊藤降, 岩井壽夫, 古市達也, 1967a. アユ種苗の人工生産に關する研究-XLV, 孵化仔魚の初期生殘・成長に對す飼育水の鹽分濃度の影響. Ibid., No 4 : 967～984.

伊藤降,岩井壽夫,古市達也, 1967b.アユの種苗の人工生産に關する研究-XLIX, 擴張式循環濾過飼育池による稚アユの人工生産試驗(2). Ibid., No 4 : 1075～1148.

伊藤 降, 1972. アユ種苗の人工生産に關する研究-LXX, アユ人工種苗技術の現狀の問題點. 全國湖沼河川養殖研究會要錄 : 1～56.

日本全國湖沼河川養殖研究會, 1981. アユ人工種苗生産研究報告. 部會報告 第2号 : 31pp.

立原一憲, 木村清朗, 1988. 也田湖における越年アユについて.日水誌, 54 : 1107 ~1113.

的場 洋, 1978. 各種アユ親魚の卵および孵化仔魚の特性について. 滋賀縣水産試驗場研究報告, 30 : 26~32.

和田吉弘, 稲葉左馬吉, 1967. 長良川におけるアユの産卵から仔アユの降下まで- Ⅳ, 環境變化に對する仔アユの抵抗性・順應性. 槽三川河口資源調査報告, No 3 : 37~47.

荒井眞, 1990. アユの種苗特性と多回放流技術. 水産増殖, 38(2) : 199~214.