

최 종
연구보고서

T0024915

서해안 축제식 복합양식 기술개발 및 월동대책

Development of the technique of polyculture and
winterization in earthen pond system in the
Western South Korea

2007. 7

주관연구기관 : 국립수산과학원 서해수산연구소
서해수산연구소 서해특성화연구센터

참 여 기 업 : (주)SCF

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “서해안 축제식 복합양식 기술개발 및 월동대책” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2007년 7월 일

주관연구기관명 : 국립수산과학원 서해수산연구소

총괄연구책임자 : 강 희 응

세부연구책임자 : 서해특성화연구센터

장 인 권

연 구 원 :

서해수산연구소 : 조 기 채, 박 영 제

송 홍 인, 강 덕 영

이 진 호, 전 제 천

박 광 재

서해특성화연구센터 : 서 형 철, 조 영 록

김 봉 래, 김 종 식

(주) SCF : 김 주 민, 오 성 국

장 세 옥

국립수산과학원 : 이 종 윤, 손 상 규

황 진 옥, 김 도 훈

변 원 호

연구보조원 : 김 규 희, 이 준 배

조 국 진, 박 규 완

이 재 용, 나 원 흙

한 흥 환

요 약 문

I. 제 목

서해안 축제식 복합양식 기술개발 및 월동대책

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목적

가. 새우와 어패류의 복합양식 기술을 개발하여 축제식 새우양식장의 질병피해를 최소화하고 생산성을 향상시키고자 함.

나. 서해안 축제식 양식장의 동절기 어장환경 특성 파악 및 축제식 비닐하우스식 월동 기술을 개발함으로써 어류동사 피해를 방지하고 광대한 폐염전 등을 활용한 새로운 품종의 양식산업화를 이루고자 함.

2. 필요성

가. 해마다 반복되는 축제식 새우양식장의 바이러스질병에 의한 대량폐사 저감과 축제식양식장의 생산성 향상을 위한 대책의 일환으로 어패류와의 복합양식방법이 권장되고 있으나 이에 대한 현장적용 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 복합양식기술을 통한 질병피해 감소와 양식생산성 향상을 위해서는 현장적용 시험을 통해 실용적인 연구개발이 필요하다.

나. 서해안 축제식 양식장은 매년 한파로 인해 어류동사 피해가 반복되어 막대한 손실을 입고 있으며 월동에 따른 문제점으로 다양한 서해 특산품종의 안정적인 양식기술 개발에 걸림돌이 되고 있다. 따라서 축제식 양식장의 동사피해를 방지하고 효율적인 이용을 도모하기 위해서는 경제적인 비닐하우스식 월동기술 등의 개발이 시급히 요구되고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 실내 pilot 실험을 통한 새우-패류(가무락, 바지락) 복합양식 효과조사
2. 실내 pilot 실험을 통한 새우-어류(황복) 복합양식 효과조사
3. 실내 pilot 실험을 통한 새우-어류(황복), 어류(넙치)-어류(황복) 복합양식 효과조사
4. 축제식 복합양식 현장 적용실험 및 생산성 분석
5. 축제식 복합양식 상업적 현장 적용실험
6. 서해안 지역별 동절기 평년기상 분석 및 한파피해 현황 조사

7. 축제식 비닐하우스 월동실험
8. 월동기 황복과 가숭어의 수온별 사육에 의한 성장 및 생존
9. 월동기 저수온 충격에 의한 양식산 황복, 가숭어의 생리생화학적 반응
10. 경제성 분석

IV. 연구개발 결과

1. 새우와 패류의 복합양식 효과를 조사하기 위하여 2톤 FRP 원형수조(3.14 m²)에서 새우와 패류(바지락, 가무락)를 단독 혹은 복합으로 24일간 사육한 후 각 생물의 생존율과 성장률, 수질환경 변화를 비교하였다.

1-1. 새우의 생존율은 바지락 및 가무락과의 복합사육구에서 각각 93%, 98%, 새우 단독구는 95%로서 생존율에 큰 차이가 없었다. 바지락은 단독사육구에서 평균 45%의 생존율을 보였으나, 복합사육구에서는 전량 폐사하였으며 가무락은 단독사육구에서 90%, 복합사육구에서 70% 생존율을 보여 바지락에 비해 생존에 양호한 것으로 조사되었다.

1-2. 중량대비 새우 성장률은 새우 단독사육시 평균 104.8%, 바지락과의 복합사육시 94.5%, 가무락과의 복합사육시 99.7%였다. 바지락의 경우, 단독사육시 성장률은 100.7%, 새우와 복합사육시에는 바지락은 전량 폐사하였다. 가무락의 경우, 단독사육시 성장률은 94.2%, 새우와 복합사육시에는 106.3%였다.

1-3. 소형수조에서의 단기간 사육으로 인한 낮은 성장률을 고려하지 않을 경우, 가무락은 새우와 복합사육시 바지락에 비해 생존률이 크게 높게 나타나 새우와의 복합양식은 바지락보다는 가무락이 양호한 것으로 조사되었다.

2. 새우와 황복의 복합양식 효과를 조사하기 위하여 실내 원형수조 (28 m²)에서 건강새우, 바이러스감염새우를 황복과 복합 혹은 단독으로 5일간 사육한 결과,

2-1. 황복의 생존율은 100%였으며, 건강새우 단독사육구는 75%, 건강새우와 황복의 복합사육구에서의 새우생존율은 41%이었다. 그러나 건강새우, 감염새우 및 황복의 복합사육구에서는 건강새우와 감염새우의 생존율은 각각 48%, 4%이었다.

2-2. 따라서 감염새우는 건강새우에 비하여 황복에 의하여 선택적으로 포식될 확률이 매우 높은 것으로 조사되었다. 별도의 수조에서 황복의 포식행동을 관찰한 결과, 황복은 활력이 약한 새우를 측면 혹은 후방에서 포식하는 것으로 나타났다.

3. 축제식 양식장에서의 입식초기 조건과 유사한 입식밀도와 체중으로 감염새우와 건강새우를 황복과 함께 실내수조(28 m²)에서 복합사육한 결과는 다음과 같다.

3-1. 황복의 생존율은 100%였으며, 건강새우 단독사육구의 생존율은 93.3%였다. 감염새

우 단독사육구의 생존율은 88.5%로 감염 후 8일 동안 대량폐사는 발생하지 않았다.

3-2. 황복과 건강새우 복합사육시 새우생존율은 76.4%였으며 황복과 건강새우, 감염새우 복합사육시 건강새우와 감염새우 생존율은 각각 89.1%, 46.0%로서 감염새우가 43.1% 낮게 나타났다.

3-3. 따라서 황복은 정상새우와 감염새우가 함께 사육될 경우, 건강새우에 비해 감염새우의 선택적 포식율이 훨씬 높은 것으로 조사되었다. 또한 동기간 동안 황복과 건강새우 혹은 건강새우, 감염새우구를 혼합하여 사육할 경우 황복 개체당 새우포식율은 18.8~20.2 마리로 건강새우나 감염새우에 관계없이 일정한 양의 새우를 포식하는 것으로 나타났다.

4. 새우와 복어, 복어와 어류 복합양식 효과를 조사하기 위하여 1톤 FRP 사각수조에서 대하와 황복, 황복과 넙치를 단독 혹은 복합으로 2개월간 사육하면서 새우의 생존율과 황복의 특성을 조사하였다.

4-1. 실내 pilot 수조에서 황복과 대하 성어의 복합사육시 투명도가 높을 경우 대하는 3일만에 황복에 포식되었으며, 8일째에 전량 포식으로 인해 폐사하였다.

4.2. 황복과 넙치의 복합사육에서도 소형의 황복이 대형의 넙치를 공격함으로써 황복은 공격성이 활발한 어류로 확인되었다.

5. 황복에 의한 새우 바이러스질병 억제효과를 조사하기 위하여 2005년 6~9월에 걸쳐 축제식 양식장(1,600~1,800 m²) 4개 사육지를 이용하여 새우(흰다리새우, 대하)와 황복의 복합양식 및 단독양식을 비교하는 현장사육시험을 실시하였다.

5-1. 복합양식장과 단독양식장의 일반 수질환경(수온, DO, pH, 알칼리도, 투명도) 및 영양염(TAN, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P) 농도는 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하였으며, 복합양식장(대하, 흰다리새우)은 단독양식장에 비해 영양염 농도는 2~5배 높은 것으로 조사되었다.

5-2. 대하 단독양식장은 흰반점바이러스발병으로 인하여 52일째 전량 폐사하였으며, 대하-황복 복합양식장은 58일째 대량폐사가 발생하여 조기수확한 결과 생존율이 4%로 조사되어 대하 단독양식에 비해 황복을 복합양식할 경우 바이러스발병이 약간 지연 혹은 억제되는 것으로 나타났다.

5-3. 흰다리새우-황복 복합양식장과 흰다리새우 단독양식장은 최종 생존율이 각각 32.4%, 18.2%였으며 단위생산량은 0.22 kg/m², 0.13 kg/m²로 조사되어, 흰다리새우는 황복과 복합양식할 경우 단독양식에 비해 생존율은 78%, 생산량은 69.2% 높은 것으로 나타났으며, 황복은 바이러스 감염 흰다리새우를 활발히 포식함으로써 새우의 바이러스 수평감염을 억제해주는 효과가 있는 것으로 조사되었다.

6. 2006년 6~11월에 걸쳐 축제식 양식장(13,000~16,500 m²) 5개 사육지를 이용하여 새우(흰다리새우)와 패류(가무락), 복어(황복)의 복합양식 및 단독양식을 비교하는 상업적 규모의 현장 복합양식시험을 실시하였다.

6-1. 사육수의 수질환경은 새우와 황복의 성장에는 적합한 범위를 유지하였으나 서산 독곶 흰다리새우-가무락 복합양식장의 가무락은 양식 중반기 이후 염분이 15 전후로 하강하여 생존에 좋지 않은 영향을 미쳤다.

6-2. 새우의 성장은 흰다리새우에 비해 대하가 빠른 성장을 보였으며, 새우의 질병은 서산 오지리는 8월 9일, 서산 독곶리는 9월 12일부터 나타났다. 황복의 성장은 0.52 g의 소형 종묘는 성장이 낮았으며, 13.0 g의 종묘는 평균 130 g으로 빠르게 성장하였다.

6-3. 축제식 양식의 새우 생산량은 흰다리새우+가무락 복합양식 실험구에서 3,000 kg을 생산하였고, 생존율은 40.5%였다. 황복과 대하의 복합양식은 대하 단독양식장의 전량폐사에 비해 생산량은 적었지만 상품생산이 가능하였다.

6-4. 황복의 장 내용물 분석(8~10월) 결과, 전 어체의 10% 이상이 새우류를 섭식하였고, 모두 흰반점바이러스에 감염되어 있었다.

7. 서해안의 지역별 동절기 평년기상과 한파피해 현황을 조사하였다.

7-1. 서해안 축제식 양식장의 한파피해는 매년 1~2월 기습적인 한파와 강풍을 동반하여 양식종인 숭어 등의 어류들이 대량 폐사하였다.

7-2. 한파피해 양상은 폐사된 가숭어가 축제식 양식장의 한쪽 가장자리로 몰려 동사하였으며 동사된 대부분의 양식장 수심은 1 m 전후였고, 대부분 출하를 위해 수심을 낮춘 상태였다.

7-3. 축제식 양식장은 어류동사 피해를 입었으며, 같은 시기의 축제식 비닐하우스 월동장 내부는 특별한 가온시설이 없이 12℃ 전후를 유지하였다.

8. 축제식 비닐하우스(430 m²)에서의 월동가능성을 조사하기 위하여 2004년 12월부터 2005년 4월까지 4개월 동안 서해안의 축제식 주 양식종인 가숭어(2 group)와 황복(2 group)을 동절기 한파발생 시기에 사육하면서 성장률과 생존율 및 수질환경 변화 등을 조사하였다.

8-1. 축제식 비닐하우스 월동장의 수질환경(염분, DO, pH, NO₂-N, NH₄-N 등)은 월동에 적합한 수준이었으며, 보온시설이 되지 않은 축제식 양식장은 어류의 동사피해를 입은 반면 비닐하우스 내부의 수온이 12℃ 전후가 유지된 축제식에서는 안정적인 월동이 가능하였다.

8-2. 축제식 비닐하우스 월동장에서 4개월간 월동사육한 결과, 체중변화는 2년생 황복 140.2±6.5 g이 수확시 121.7±28.0 g이었으며, 2년생 가숭어 715.9±49.9 g이 수확시 596.4±60.5 g으로 대형개체에서 체중감소가 크게 나타났다.

8-3. 축제식 월동 후 최종 생존율은 각각 황복當年생 63.9%, 2년생 74.2%, 가숭어當年생 96.5%, 2년생 98.6%로 대형개체에서 높은 생존율을 보였다.

8-4. 월동기 수온에 따른 황복 치어의 성장은 10~15℃일 때 축제식 월동장에서는 평균성장이 1.4~3.0 g이 증가된 반면, 육상수조에서는 20~23℃일 때 평균 40.4 g의 높은 성장을 보였다.

8-5. 축제식 비닐하우스 월동장에서 최대 수용밀도는 황복의 경우, 사육수 m²당 14 kg, 가숭어는 m²당 100 kg까지 가능하였다. 수용밀도별 생존율은 황복의 경우, 사육수 m²당 11~14 kg에서 97.2~98.2%, 가숭어의 경우, 사육수 m²당 70~100 kg에서 97.8~99.9%였다.

8-6. 가숭어는 월동수온 7℃로 밀도별로 사육했을 때 사육밀도가 증가할수록 체중감소가 많아 100 kg/m² 실험구에서는 일간성장률(SGRW)가 -109.2%였다.

9. 서해안의 주 양식대상종인 황복과 가숭어의 겨울철 성장과 생존에 미치는 수온의 영향을 알아보려고 3개월간 사육하였다.

9-1. 최종생존율은 황복의 경우, 자연수온구(NW)가 0%였으며, 10, 15, 20℃구는 90.0~100%로 차이로 없었으며, 가숭어의 경우, 자연수온구(NW)는 11.7%로 다른 실험구의 91.7~98.4%와는 유의한 차이가 나타났다.

9-2. 일간성장률(SGRW)은 황복의 경우, 모든 실험구가 유의차가 없는 반면, 가숭어의 경우 수온이 상승할수록 체중의 감소가 크게 나타나 전 실험구별로 -10.16 (NW)~-29.0% (20℃)의 성장을 보였다.

9-3. 비만도(CF)는 황복의 10℃구에서 32.5, 15℃와 20℃구에서 28.8~28.9였고, 가숭어의 경우 12.1~14.5의 낮은 값을 나타냈다.

9-4. 일간사료섭식량(DFI)은 황복의 경우, 수온이 높을수록 증가하였고, 가숭어의 경우, NW구와 10℃구는 0.15~0.23 g/fish으로 차이가 없었으며, 15℃구와 20℃구에서는 0.45~0.63 g/fish으로 유의하게 증가하였다.

9-5. 자연수온(1.8~10℃) 조건에서 육상수조에서도 황복은 생존율을 기대할 수 없으며, 가숭어의 경우도 월동장을 옮겨 사육할 경우 11.0% 내외였다.

9-6. 동절기에 수온을 높여 사육했을 때 황복은 낮은 수준으로 체중이 증가하였으나 가숭어의 경우 체중이 감소하여 동절기에 생존율과 연료비 등 경제성을 고려할 때 황복과 가숭어는 10℃가 가장 효율적인 월동수온으로 생각된다.

10. 양식산 황복을 대상으로 월동기 사육수온을 10℃에서 2.2℃까지 완만하게 하강(214시간)시켜 저수온에 노출시켰을 때 생존율은 수온이 2.7℃로 하강하였을 때 약 83.4%가 폐사하였으며, 2.2℃에 이르자 전량 폐사하였다.

10-1. 혈장 AST와 ALT는 수온이 10℃에서 4.4℃로 감소할 때 증가하는 경향을 보였고,

이후 수온이 3.3℃에 이르자 유의하게 감소하였으며, 실험 종료시점인 2.2℃에 이르러서는 최대값을 보였다. GLU는 10℃에서 3.7 mg/dL까지 별 차이가 없었지만, 2.7℃에 이르러서는 유의하게 증가하였다.

10-2. 혈장 코티졸의 경우 실험 개시부터 증가하기 시작하여 2.7℃에 가장 높은 값을 나타내었고, 이후 실험 종료시점인 2.2℃에 이르러서는 유의하게 낮아졌다.

10-3. 혈장 갑상선호르몬인 T₄의 경우 실험 개시시인 10℃에서는 가장 높은 값을 보이다가 5.2~2.2℃까지 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

11. 양식산 가숭어를 대상으로 축제식 월동기 한파가 일어났을 때 미치는 생리적 영향과 폐사 임계수온을 조사하였다.

11-1. 단기간(50시간)에 사육수 수온을 10℃에서 -1.2℃까지 급격히 하강시켜 가숭어에게 저수온 충격을 가했을 때의 생존율은 -1.0℃까지 약 28%가 폐사하였으며, -1.2℃에 이르러 전량 폐사하였다.

11-2. 혈장 AST와 ALT는 수온이 10℃에서 2.5℃로 감소할 때 증가하는 경향을 보였고, 이후 수온이 0.5℃에 이르자 유의하게 감소하여, 실험 종료시점인 -1.2℃에 이르러서는 실험개시 수준까지 안정화되었다.

11-3. 혈장 코티졸의 경우 실험 개시 48시간 뒤 2.5℃에서는 급격하게 증가하였으며, 0.5℃와 -0.5℃에 실험 기간 중 가장 높은 값을 나타내었다. 이후 실험 종료시점인 -1.2℃에 이르러서는 유의하게 낮아졌지만, 실험 개시단계보다는 여전히 높은 수준을 나타내었다.

11-4. 혈장 갑상선호르몬인 T₄의 경우, 실험개시 48시간 뒤 2.5℃에서는 급격하게 증가하였으며, 0.5℃에서 실험 기간 중 가장 높은 값을 나타내었고, -0.5℃ 이하에서는 그 농도가 떨어지는 경향을 나타내었다. T₃의 경우 실험 개시 48시간 뒤 2.5℃에서는 유의하게 감소하였으며, 이후 1.5℃에서 -1.2℃까지 지속적으로 낮은 혈장 수준을 유지하였다.

12. 서해안 축제식 양식품종에 대한 복합양식의 경제성을 평가 및 한파에 의한 동해방지 기술시스템 개발로 축제식 양식어류의 월동경제성을 조사하였다.

12-1. 축제식 복합양식에서 흰다리새우와 가무락과의 복합양식의 경우 흰다리새우의 복합양식이 단독양식에 비해 경제성이 높은 것으로 나타났다.

12-2. 황복 축제식양식과 육상수조식양식의 양식소득률은 각기 65.71%, 44.26%로서 축제식 양식의 양식소득이 육상수조식보다 높은 것으로 나타났다.

12-3. 가숭어 축제식양식과 해상가두리양식의 양식소득률 또한 42.80%, 13.45%로 나타나서 축제식양식의 양식소득이 더 큰 것으로 나타났다.

12-4. 동해방지기술개발시스템의 경제성분석에 있어서 황복의 월동 경제성은 월동양식

장 수용력의 33.6%수준에서 48.90%, 최대이용시 70.10%의 양식소득을, 가승어는 월동양식장 수용력의 71.6% 수준에서 37.64%, 수용력 100% 수준에서 48.00%의 양식소득을 나타내었다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

1. 본 연구에 의해 개발된 축제식 복합양식의 상업적인 조기 현장적용으로 생산성 향상
2. 축제식 복합양식 기술개발로 기존 새우양식장 및 휴면중인 폐염전을 활용하여 수산물 자급화의 안정화 도모
3. 축제식 비닐하우스 월동장 설계 및 시설기준 제시
4. 어종별 월동관리 기술 보급에 의한 축제식 양식산업의 안정화 유도
5. 수산관련 학술지 논문 발표 및 게재 : 7건

SUMMARY

I. Title

Development of the technique of polyculture and winterization in earthen pond system in the Western South Korea

II. Results and Discussion

1. To determine the effects of polyculture of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with shellfish (*Ruditapes philippinarum* and *Cyclina sinensis*), shrimp and/or shellfish were cultured in indoor circular tanks (3.14 m² in surface area) for 24 days and survival and growth rate and water quality were compared.

1-1. The survival rate of shrimp in shrimp+*R. philippinarum*, and shrimp+*C. sinensis* groups were 93% and 98% respectively. The survival rate of *R. philippinarum* was 45% in monoculture group but 0% in polyculture group with shrimp. The survival rate of *C. sinensis* was 90% in monoculture group comparing 70% in polyculture with shrimp. Therefore it suggests that *C. sinensis* is more suitable to polyculture with shrimp than *R. philippinarum*.

1-2. The growth rate of shrimp was 104.8% in shrimp monoculture group, 94.5% in polyculture with *R. philippinarum*, and 99.7% in polyculture with *C. sinensis*. The growth rate of shellfish ranged 94.2-106.3%, showing no significant differences among different monoculture and polyculture groups.

1-3. Regardless of low growth rate due to limited space and time for shellfish culture, *C. sinensis* is more suitable to polyculture with shrimp than *R. philippinarum* because it's higher survival rate in polyculture with shrimp.

2. In order to determine the effect of polyculture of shrimp with river puffer, high health shrimp (HHS), WSSV infected shrimp (VIS) and/or river puffer were cultured in indoor circular tanks (3.14 m² in surface area) for 5 days.

2-1. The survival rate of river puffer was 100% in all polyculture groups. The survival rate of shrimp was 75% and 41% in HHS monoculture and polyculture of HHS+puffer respectively, and 48% and 4% in polyculture groups of HHS+puffer and VIS+puffer respectively.

2-2. This result shows that the puffer tends to selectively predate the virus infected

shrimp (VIS) when there are virus infected and non-infected shrimps at the same space. Based on observation of puffer's predatory behavior, the puffer likes to attack on the lateral or rear sides of shrimps.

3. To make the same conditions (animal size and stocking density) to pond culture of initial stocking stage, HHS and VIS shrimps of about 0.6 g were cultured with river puffer of about 1 g in BW and the effects of polyculture of shrimp with puffer were determined.

3-1. The survival rate of puffer was 100% and that of HHS shrimp monoculture was 93.3%. The survival rate of VIS shrimp monoculture was 88.5% which indicated no mass death occurring in virus infected shrimps in 8 days after artificial infection with WSSV.

3-2. The survival rate of shrimps in HHS shrimp+puffer polyculture was 76.4%. The survival rates of shrimps in polyculture group of HHS and VIS shrimps with puffer were 89.1% and 46.0% respectively.

3-3. The result suggested that the river puffer tends to selectively predate the infected shrimp when the high health and virus infected shrimps are cultured with puffer. In addition, one puffer preyed on 18.8-20.2 shrimps during the same period regardless of infected or non-infected shrimps.

4. To determine the effects of polyculture of shrimp (*F. chinensis*) with puffer and puffer with other fishes, river puffer and flounder were cultured in square tanks (1 ton) by mono or polyculture for 2 months and survival rate of shrimp and/or character of river puffer were investigated.

4-1. For polyculture of river puffer with *F. chinensis* in indoor pilot tank, When turbidity is high, *F. chinensis* was predated by river puffer thus all of *F. chinensis* rearing in the tank were died at 8 days.

4-2. For polyculture of river puffer with flounder, It is find that river puffer has aggressive behaviour pattern result in river puffer of small size is attack flounder of large size.

5. For the implementation study of polyculture in outdoor ponds, two species of shrimps (*F. chinensis* and *L. vannamei*) were cultured with river puffer in four ponds (1,600-1,800 m² in surface area) from Jun. to Sep. 2005.

5-1. Selected parameters of water quality (water temp., DO concentration, pH, alkalinity and turbidity) were maintained to be suitable for growth of shrimp and puffer. Concentration of nutrients (TAN, NO₂-N, NO₃-N and PO₄-P), however, was 2-5 times higher in polyculture ponds than monoculture ponds of shrimp.

5-2. Mass mortality due to WSSV occurred in monoculture pond of *F. chinensis* on the 52 day after stocking and in polyculture pond of *F. chinensis* and puffer on the 58 day. Early harvest was made from the polyculture pond on 58 day and the survival rate of shrimp was 4.0%. It suggests that the effect of polyculture is not distinguished when *F. chinensis* is cultured with puffer.

5-3. In the culture of *L. vannamei*, the survival rates of monoculture and polyculture with puffer were 18.2% and 32.4% respectively, and shrimp production was 0.22 kg/m² and 0.13 kg/m², respectively. The survival rate and production of shrimp in polyculture pond were 78% and 69.2% higher than monoculture. This result suggests that the puffers may selectively predate the virus infected shrimps and the transmission of virus among shrimps can be delayed or inhibited by puffer's predatory activity in polyculture pond.

6. To compare with polyculture and monoculture, shrimp (*L. vannamei*), shellfish (*C. sinensis*) and puffer (river puffer) were cultured as commercial scale in five pond culture (13,000-16,500 m² in surface area) from Jun. to Oct. 2006.

6-1. Water quality is maintained appropriate range to growth of shrimp and river puffer but *C. sinensis* is affected badly result in salinity of seosan dokgok decrease to around 15 ‰ since middle of the culture.

6-2. For growth of shrimp, *F. chinensis* was rapidly growth than that of *L. vannamei*, disease was occurred on August 9 in seosan oji and on September 12 in seosan dokgok. In case of river puffer, seed of 0.52 g show low growth and seed of 13.0 g was rapidly growth showing that average weight is 130 g.

6-3. Shrimp in polyculture pond was produced 3,000 kg in polyculture of *L. vannamei* and *C. sinensis*, showed survival rate of 40.5%. Polyculture of river puffer and *F. chinensis* was possible to produce on commercial scale against monoculture of *F. chinensis* was all died.

6-4. Result of stomach contents analysis in river puffer (Aug.-Oct.) show that more than 10% of river puffer feed shrimp and was infected white spot virus disease.

7. We surveyed the extent of damage by cold wave in culture ponds on the west

coast of South Korea during winter.

7-1. A cold wave induce a mass mortality of mullets reared in culture pond on the west coast of South Korea from January to February every year.

7-2. The phenomena has been occasionally happened in culture pond less than about 1 m in water depth when culturist reduce the water depth for a sale. Most of mullet died around the edge of pond almost.

7-3. The damage by cold wave was almost appeared in outdoor culture ponds, but was not observed in indoor culture ponds in vinyl house maintained over 12°C in water temperature

8. For study of wintering potentiality in pond vinyl house (430 m² in surface area), redlip mullet (two groups) and river puffer (two groups), major culture fishes in West sea, was cultured during cold wave period of wintering from Dec. 2004 to Apr. 2005. Growth, survival rate and water quality is measured.

8-1. Selected parameters of water quality (salinity, DO concentration, pH, NO₂-N, NH₄-N) were maintained to be suitable for wintering and fishes in pond without heating system freeze to death, but water temperature in pond vinyl house was maintained around 12°C so wintering was possible.

8-2. For changes of weight, result of culture in pond vinyl house during four month show that river puffer (2 years old) was decrease from 140.2±6.5 g to 121.7±28.0 g, redlip mullet (2 years old) was decrease from 715.9±49.9 g to 596.4±60.5 g at the end.

8-3. After wintering by pond, final survival rates of yearling and 2 years old of river puffer were each 63.9%, 74.2% and that redlip mullet were respectively 96.5%, 98.6% so that large fishes showed high survival rate.

8-4. For growth of yearling river puffer reared in different water temperature during wintering period, 10-15°C group in wintering grounds of pond showed that average weight increased within 1.4-3.0 g and that of 20-23°C group in land-based tank showed high growth rate of average 40.4 g.

8-5. Maximum rearing density for wintering of river puffer was 14 kg/m³ (fishes body weight per rearing water), that of redlip mullet was possible to 100 kg/m³. Survival rate of river puffer reared in different density for wintering was 97.2-98.2% in 11-14 kg/m³, that of redlip mullet was 97.8-99.9% in 70-100 kg/m³.

8-6. for wintering water temperature is 7°C, redlip mullet reared in different density showed that increased rearing density caused decreased body weight so that SGRW in

100 kg/m³ group was -109.2%.

9. To study temperature effect of growth and survival for wintering period river puffer and redlip mullet, major culture fishes in West Sea, were cultured during 3 months.

9-1. Final survival rate of river puffer, was 0% in NW group, showed 90.0-100.0% in 10, 15, 20°C groups and that of redlip mullet was significantly 11.7% in NW group than 91.7-98.4% in other groups.

9-2. SGRW of river puffer, not show difference between results, but that of redlip mullet show growth of 10.16 (NW) - -29.0% (20°C) result in rised water temperature lead to decrease of body weight.

9-3. Condition Factor of river puffer was 32.5 in 10°C group, 28.8-28.9 in 15, 20°C group and that of redlip mullet was lower value as 12.1-14.5 in the whole group than that of river puffer.

9-4. DFI of river puffer was increased in high water temperature, that of redlip mullet was 0.15-0.23 g/fish in NW, 10°C group and significantly increased to 0.45-0.63g/fish in 15, 20°C group.

9-5. In natural water temperature condition (1.8-10°C), survival rate of river puffer in land-based tank could not expected, also survival rate of redlip mullet was about 11.0% at remove to wintering ground of land-based tank.

9-6. When fishes rear in high water temperature for wintering period, river puffer showed increased body weight but redlip mullet showed decreased body weight. For economical efficiency of survival rate, fuel expense during wintering period, rearing water temperature of 10°C was considered appropriate to river puffer and redlip mullet.

10. For study of physiological changes to cold wave hits and critical temperature to survival, water temperature stress experiment was performed to cultured redlip mullet.

10-1. redlip mullet was received low water temperature stress that was adjusted rapidly 1.0°C to -1.2°C for 50h. Around 28% of redlip mullet was mortality at the temperature point of -1.0°C in water temperature and all of fishes were died at the temperature point of -1.2°C.

10-2. Decreasing water temperature 10°C to 2.5°C, AST and ALT in plasma was increased thus water temperature down to 0.5°C, significantly was decreased, finally at

the end point water temperature was -1.2°C the value was stabilized to level of start point.

10-3. For cortisol in plasma, was rapidly increased at 2.5°C , 48h after start and showed the highest level at 0.5°C , -0.5°C in experiment period. After that was showed significantly low value at -1.2°C in the end point but higher level than that of start point.

10-4. T_4 , Thyroid hormone in plasma, was rapidly increased at 2.5°C , 48h after start showed the highest level at 0.5°C in experiment period. The concentration was decreased at lower temperature than -0.5°C . For T_3 , was significantly decreased at 2.5°C , 48h after start. After that T_3 , was maintained low concentration at 1.5°C to -1.2°C .

CONTENTS

List of tables	20
List of figures	23
Chapter 1. Summary of research and development project	34
Chapter 2. Present state of domestic and international technical development ...	37
Chapter 3. Results of research	39
Section 1. Effect of polyculture of shrimp with shellfish in pilot scale experiment	39
1. Materials and methods	39
2. Results and discussion	40
3. Summary	46
Section 2. Effect of polyculture of shrimp with finfish in pilot scale experiment ...	48
1. Materials and methods	48
1) Selective predatory effect of river puffer on virus infected shrimps	48
2) Polyculture effect of shrimp and river puffer	50
2. Results and discussion	52
1) Selective predatory effect of river puffer on virus infected shrimps	52
2) Polyculture effect of shrimp and river puffer	55
3. Summary	58
Section 3. Effect of polyculture by another fish species in pilot scale experiment	61
1. Materials and methods	61
2. Results and discussion	61
3. Summary	62
Section 4. Implementation experiment of polyculture in outdoor ponds	64
1. Materials and methods	64
1) Preparation of ponds	64
2) Stocking and management of animals	64
3) Investigation and analysis of water quality	65

4) Examination of parasitic diseases of shrimp	65
5) Survival and growth rates	66
2. Results and discussion	66
1) Changes of water quality in ponds	66
2) Diseases of shrimps	78
3) Survival and growth rates	79
a) Comparison of monoculture with polyculture of <i>L. vannamei</i> and puffer	79
b) Comparison of monoculture with polyculture of <i>F. chinensis</i> and puffer	82
4) Comparison of productivity of monoculture with polyculture	83
3. Summary	85
 Section 5. Commercial scale experiment of polyculture with outdoor ponds	 88
1. Materials and methods	88
1) Experiment pond	88
2) Stocking and management of animals	88
3) Investigation of water quality and nutrient	89
4) Analysis of sediment ingredient and quality in pond	89
5) Investigate of survival and growth rates	90
6) Investigation of stomach contents of river puffer and virus infection	90
7) Examination of virus diseases of shrimp	90
2. Results and discussion	91
1) Changes of water quality in ponds	91
2) Changes of sediment ingredient and quality in pond	97
3) Survival and growth rates	99
a) Comparison of monoculture with polyculture of <i>L. vannamei</i> and	
<i>C. sinensis</i>	99
b) Comparison of monoculture with polyculture of <i>L. vannamei</i> and	
puffer	99
c) polyculture of <i>F. chinensis</i> and puffer	100
4) Stomach contents of river puffer and investigation of virus infection	103
5) Virus disease in shrimps	105
3. Summary	106

Section 6. A common year weather of western Korea in winter during and examination of damage of cold wave	107
1. Materials and methods	107
2. Results and discussion	107
1) Damage of cold wave in ponds	107
2) Examination of water environment following depth in pond and vinyl house ground	110
3) Established wintering management of pond	112
3. Summary	113
 Section 7. Wintering experiment of pond vinyl house	114
1. Materials and methods	114
1) Construction of wintering ground and design	114
2) Experiment period and management of animals	115
3) Culture condition of wintering ground of vinyl house for fishes	116
2. Results and discussion	118
1) Investigate of rearing condition for river puffer and redlip mullet during wintering period	118
2) Design of wintering ground	122
3) Wintering experiment of river puffer fingering in different heating pattern	129
4) Diffusion of pond wintering technique	142
3. Summary	143
 Section 8. Growth and survival of river puffer and redlip mullet reared in different water temperature during wintering period	144
1. Materials and methods	144
1) Experiment groups and period	144
2) Rearing animal and condition	144
3) Investigate of growth rate	144
4) Investigate of survival rate	145
5) Investigate of water quality and nutrient	145
6) Statistics	145
2. Results and discussion	145
1) Growth rate	145

2) Survival rate	146
3) Changes of water quality and nutrient	153
3. Summary	159
Section 9. The effect of cold shock on the physiological responses of cultured river puffer in wintering period	161
1. Materials and methods	162
1) Experiment fishes and rearing facility	162
2) Experiment method	162
3) Statistics	162
2. Results and discussion	163
1) Survival rate	163
2) Changes of biochemical factor	163
3) Changes of cortisol and thyroid hormone	164
3. Summary	164
Section 10. The effect of cold shock on the physiological responses of cultured redlip mullet in wintering period	169
1. Materials and methods	169
1) Experiment fishes and rearing facility	169
2) Experiment method	170
3) Statistics	171
2. Results and discussion	171
1) Survival rate	171
2) Changes of biochemical factor	172
3) Changes of cortisol and thyroid hormone	173
3. Summary	177
Section 11. Economic feasibility	181
1. Productivity comparison of polyculture organisms	181
1) Productivity effect with polyculture shrimp and shellfish	181
2) Productivity effect with polyculture shrimp and fish	182
2. Economic analysis of pond polyculture	182
1) <i>L. vannamei</i> and <i>C. sinensis</i>	186

2) <i>L. vannamei</i> and river puffer	187
3. Economic analysis of witerization system	189
1) Economic analysis of river puffer culture	189
2) Economic analysis of redlip mullet culture	192
3) Cost analysis of build witerization system	197
4) Economic analysis of pond wintering in river puffer	199
5) Economic analysis of pond wintering in redlip mullet	200
4. Summary	202
 Chapter 4. Aim achievement level and contribution level in the relative part	204
 Chapter 5. Application plan of research product	207
 Chapter 6. Reference	208

List of tables

Table 1. Stocked number of shrimp and shellfish	39
Table 2. Changes of selected parameters of water quality	41
Table 3. Changes of selected parameters of water quality	41
Table 4. Changes of selected parameters of sediment quality	42
Table 5. Survival rate of polyculture of shrimp with shellfish	44
Table 6. Growth of shrimp and shellfish	44
Table 7. Growth rate of shrimp with shellfish	45
Table 8. Stocked number of shrimp and puffer	48
Table 9. Stocked number of shrimp and puffer	50
Table 10. Changes of selected parameters of water quality	52
Table 11. Survival rate(%) of shrimp and puffer	54
Table 12. Number of HHS and VIS shrimps predated by one puffer	54
Table 13. Changes of selected parameters of water quality	56
Table 14. Initial and final size of shrimp and puffer	56
Table 15. Initial and final number, and survival rate of shrimp and puffer	57
Table 16. Number of HHS and VIS shrimps predated by one puffer	58
Table 17. Summary of stocking information of cultured animals	64
Table 18. Comparison of nutrients concentration in ponds 1 and 2	72
Table 19. Comparison of nutrients concentration in ponds 4 and 5	75
Table 20. Infection intensity of parasites on gill and white spots on carapace in shrimps	78
Table 21. Summary of monoculture and polyculture with <i>L. vannamei</i> and river puffer	80
Table 22. Summary of monoculture and polyculture in ponds 4 and 5 cultured with <i>F. chinensis</i> and river puffer	82
Table 23. Comparison of monoculture and polyculture	84
Table 24. Sediment ingredient in pond	97
Table 25. Changes of selected parameters of sediment quality	98
Table 26. Summary of stocking information of cultured animals and harvesting ...	103
Table 27. Stomach contents of river puffer and <i>L. chinensis</i>	104
Table 28. Stomach contents of river puffer	104
Table 29. Weather conditions of a cold wave region (2004, KMA)	107
Table 30. Weather conditions of a cold wave region (2005, KMA)	108

Table 31. Direction and velocity of wind in following times in cold wave region (2005, KMA)	108
Table 32. Monthly changes of water temperature and air temperature following water depth in pond	111
Table 33. Monthly changes of water temperature and air temperature following water depth in vinyl house pond	111
Table 34. Equipment cost of vinyl house wintering system (430 m ²)	128
Table 35. Changes of selected parameters of water quality in experiment group I during winter season	129
Table 36. Changes of selected parameters of water quality in experiment group II during winter season	129
Table 37. Changes of selected parameters of water quality in experiment group III during winter season	130
Table 38. Growth changes of river puffer reared in different densities during winter season	142
Table 39. Growth changes of redlip mullet reared in different densities during winter season	142
Table 40. Culture condition for river puffer reared in different water temperatures	154
Table 41. Culture condition for redlip mullet reared in different water temperatures	155
Table 42. Survival and growth of polyculture of <i>L. vannamei</i> with <i>C. chinensis</i>	181
Table 43. Survival and productivity of polyculture of <i>L. vannamei</i> with river puffer	182
Table 44. Comparison between Economic Feasibility Analysis with Profitability analysis	183
Table 45. Purpose of aquaculture management	185
Table 46. Profitability comparison according to polyculture and monoculture of <i>L.vannamei</i> with <i>C. chinensis</i>	186
Table 47. Profitability comparison according to polyculture and monoculture of <i>L.vannamei</i> with river puffer	187
Table 48. Average Profitability in <i>L. vannamei</i> pond	188
Table 49. Economic analysis in <i>L. vannamei</i> pond	188
Table 50. Profitability analysis of pond culture and land based culture with river puffer	189

Table 51. Economic analysis of pond culture and land based culture with river puffer	190
Table 52. Construction costs of river puffer pond culture	191
Table 53. Construction costs of river puffer land based culture	192
Table 54. Profitability analysis of pond culture and net cage culture with redlip mullet	193
Table 55. Economic analysis of pond culture and net cage culture with redlip mullet	194
Table 56. Construction costs of redlip mullet pond culture	195
Table 57. Construction costs of redlip mullet net cage culture	196
Table 58. Construction costs in wintering system of vinyl house (430 m ²)	197
Table 59. Cost of additional construction and operation in wintering ground of river puffer	198
Table 60. Cost of additional construction and operation in wintering ground of redlip mullet	199
Table 61. Profitability analysis of pond wintering in river puffer	199
Table 62. Economic analysis of pond wintering in river puffer according to capacity 200	
Table 63. Profitability analysis of pond wintering in redlip mullet	201
Table 64. Economic analysis of pond wintering in redlip mullet according to capacity	202

List of figures

Fig. 1. Survival rate of polyculture of shrimp with shellfish	43
Fig. 2. Growth rate of polyculture of shrimp with shellfish	45
Fig. 3. Circular tanks for culture of shrimp and shellfish	47
Fig. 4. Chinese cyclina, <i>C. sinensis</i>	47
Fig. 5. Short-necked clam, <i>R. philippinarum</i>	47
Fig. 6. Microscopic photo of white spots on carapace of WSSV infected shrimp (VIS)	53
Fig. 7. Photo of gel electrophoresis with nested PCR products of WSSV non-infected shrimps (HHS)	53
Fig. 8. Photo of gel electrophoresis with nested PCR products of WSSV infected shrimps (VIS)	53
Fig. 9. Survival rate of shrimp and puffer. HHS, high health shrimp; VIS, virus infected shrimp	55
Fig. 10. Microscopic photo of white spots on carapace of WSSV infected shrimp (VIS)	58
Fig. 11. Juveniles of <i>L. vannamei</i> used in the experiment	60
Fig. 12. Circular tanks of 28 m ² in surface area	60
Fig. 13. River puffer eating shrimp	60
Fig. 14. Tank for observing predatory behavior of puffer	60
Fig. 15. Tank for polyculture in indoor	62
Fig. 16. Outward appearance of fishes in polyculture with river puffer and flounder	62
Fig. 17. Fin comparison with polyculture with river puffer and monoculture with flounder	62
Fig. 18. Cannibalism between river puffers	62
Fig. 19. Changes of body weight according to polyculture and monoculture in indoor	63
Fig. 20. Changes of survival rate according to polyculture and monoculture in indoor	63
Fig. 21. Changes of water temperature in ponds 1-5	68
Fig. 22. Changes of DO concentration in ponds 1-5	68
Fig. 23. Changes of salinity in ponds 1-5	69
Fig. 24. Changes of pH in ponds 1-5	69

Fig. 25. Changes of alkalinity in ponds 1-5	70
Fig. 26. Changes of turbidity in ponds 1-5	70
Fig. 27. Changes of TAN concentration in ponds 1 and 2	72
Fig. 28. Changes of nitrite concentration in ponds 1 and 2	73
Fig. 29. Changes of nitrate concentration in ponds 1 and 2	73
Fig. 30. Changes of phosphate concentration in ponds 1 and 2	74
Fig. 31. Changes of TAN concentration in ponds 4 and 5	76
Fig. 32. Changes of nitrite concentration in ponds 4 and 5	76
Fig. 33. Changes of nitrate concentration in ponds 4 and 5	77
Fig. 34. Changes of phosphate concentration in ponds 4 and 5	77
Fig. 35. Changes of <i>L. vannamei</i> body length cultured in ponds 1 and 2	81
Fig. 36. Changes of <i>L. vannamei</i> body weight cultured in ponds 1 and 2	81
Fig. 37. Changes of <i>F. chinensis</i> body length cultured in ponds 4 and 5	83
Fig. 38. Changes of <i>F. chinensis</i> body weight cultured in ponds 4 and 5	83
Fig. 39. Outdoor ponds for implementation experiment of polyculture	86
Fig. 40. Net for capturing crabs	86
Fig. 41. Net for controlling crabs	86
Fig. 42. Can for capturing crabs	86
Fig. 43. Harvest of puffers in polyculture pond	86
Fig. 44. Virus infected shrimp (above) and normal shrimp (below)	86
Fig. 45. Harvest of shrimps	87
Fig. 46. River puffer harvested from polyculture ponds	87
Fig. 47. Dead shrimp due to WSSV infection	87
Fig. 48. White spots on carapace of severely virus-infected shrimp	87
Fig. 49. Harvested <i>L. vannamei</i>	87
Fig. 50. Adult of <i>L. vannamei</i>	87
Fig. 51. Stocking and infiltration of <i>C. sinensis</i> with shrimp in polyculture pond	91
Fig. 52. Changes of water temperature in ponds during experiment period	93
Fig. 53. Changes of salinity in ponds during experiment period	93
Fig. 54. Changes of DO in ponds during experiment period	94
Fig. 55. Changes of pH in ponds during experiment period	94
Fig. 56. Changes of TAN concentration in ponds during experiment period	95
Fig. 57. Changes of nitrite concentration in ponds during experiment period	95
Fig. 58. Changes of nitrate concentration in ponds during experiment period	96

Fig. 59. Changes of phosphate concentration in ponds during experiment period ...	96
Fig. 60. Changes of total length of <i>L. vannaemey</i> and <i>L. chinensis</i> in cultured ponds	101
Fig. 61. Changes of body weight of <i>L. vannaemey</i> and <i>L. chinensis</i> in cultured ponds	101
Fig. 62. Changes of total length and body weight of river puffer in cultured ponds	102
Fig. 63. WSSV infected stomach contents (shrimp meat) of river puffer	104
Fig. 64. Stomach contents of river puffer	105
Fig. 65. WSSV infection of <i>L. vannaemey</i> and <i>L. chinensis</i> in pond	106
Fig. 66. Damage of cold wave in pond (2005, Taean Chungnam Province)	109
Fig. 67. Damage of cold wave in pond (2005, Buan Cheonbuk Province)	110
Fig. 68. Freezing of pond	111
Fig. 69. Redlip mullet activity during wintering (water temperature about 4°C)	111
Fig. 70. Changes in water temperature and air temperature during a cold wave period	112
Fig. 71. Construction of wintering grounds in earthen pond	115
Fig. 72. Vinyl house pond in winter	115
Fig. 73. Measuring of water temperature data in indoor wintering pond	115
Fig. 74. Wintering pond of vinyl house (pond)	116
Fig. 75. Wintering pond of vinyl house (P.P circular tank)	116
Fig. 76. River puffer stocking in wintering pond	117
Fig. 77. Capture operation for examination of body weight	117
Fig. 78. Changes of salinity and pH during winter season in vinyl house pond	119
Fig. 79. Changes of DO during winter season in vinyl house pond	119
Fig. 80. Changes of nitrite and TAN during winter season in vinyl house pond	120
Fig. 81. Changes of body weight during winter season in vinyl house pond	120
Fig. 82. Survival rate of river puffer and redlip mullet reared in vinyl house pond	121
Fig. 83. Harvest of test fishes in vinyl house ground	122
Fig. 84. Design of wintering system in pond (a plane figure and plane figure of roof)	124
Fig. 85. Design of wintering system in pond (a plane figure of basis and cross section of basis)	125
Fig. 86. Design of wintering system in pond (front and rear figure and side figure)	126
Fig. 87. Design of wintering system in pond (plan figure of main and plan figure of side)	127

Fig. 88. Body length changes of river puffer in different heating patterns	131
Fig. 89. Body weight changes of river puffer in different heating patterns	131
Fig. 90. Survival rate changes of river puffer in different heating patterns	132
Fig. 91. Condition factor changes of river puffer in different heating patterns	133
Fig. 92. Body weight changes of river puffer in different rearing density	135
Fig. 93. Body weight changes of redlip mullet in different rearing density	135
Fig. 94. Experiment in different rearing density during wintering period	136
Fig. 95. Abnormality (a) and normality (b) of caudal fin redlip mullet reared in 100kg/m ³	136
Fig. 96. Rearing of river puffer during wintering period (11 kg/m ³ experiment group)	136
Fig. 97. Rearing experiment of redlip mullet during wintering period (100 kg/m ³ experiment group)	136
Fig. 98. Specific growth rate in body weight (SGRW) and in length (SGRL) of river puffer reared in different densities ($P<0.05$)	137
Fig. 99. Specific growth rate in body weight (SGRW) and in length (SGRL) of redlip mullet reared in different densities ($P<0.05$)	138
Fig. 100. Condition factor of river puffer reared in different densities ($P<0.05$)	139
Fig. 101. Condition factor of redlip mullet reared in different densities ($P<0.05$)	139
Fig. 102. Daily individual feed intake (DFI) of river puffer reared in different densities ($P<0.05$)	140
Fig. 103. Feed conversion ratio (FCR) of river puffer reared in different densities ($P<0.05$)	140
Fig. 104. Survival rate of river puffer reared in different densities	141
Fig. 105. Survival rate of redlip mullet reared in different densities	141
Fig. 106. Standard length changes of river puffer reared in different water temperatures	146
Fig. 107. Standard length changes of redlip mullet reared in different water temperatures	147
Fig. 108. Body weight changes of river puffer reared in different water temperatures	147
Fig. 109. Body weight changes of redlip mullet reared in different water temperatures	148
Fig. 110. SGRW (%) of river puffer reared in different water temperatures	148
Fig. 111. SGRL (%) of river puffer reared in different water temperatures	149

Fig. 112. SGRW (%) of redlip reared in different water temperatures	149
Fig. 113. SGRL (%) of redlip mullet reared in different water temperatures	150
Fig. 114. Condition Factor of river puffer reared in different water temperatures	150
Fig. 115. Condition Factor of redlip mullet reared in different water temperatures	151
Fig. 116. DFI (g/fish) of river puffer reared in different water temperatures	151
Fig. 117. DFI (g/fish) of redlip mullet reared in different water temperatures ..	152
Fig. 118. FCR of river puffer reared in different water temperatures	152
Fig. 119. FCR of redlip mullet reared in different water temperatures	153
Fig. 120. Changes of natural water temperature in culture for redlip mullet	155
Fig. 121. Changes of TAN concentration in river puffer reared in different water temperature	155
Fig. 122. Changes of TAN concentration in redlip mullet reared in different water temperature	156
Fig. 123. Changes of nitrite concentration in river puffer reared in different water temperature	156
Fig. 124. Changes of nitrite concentration in redlip mullet reared in different water temperature	157
Fig. 125. Changes of nitrate concentration in river puffer reared in different water temperature	157
Fig. 126. Changes of nitrate concentration in redlip mullet reared in different water temperature	157
Fig. 127. Changes of phosphate concentration in river puffer reared in different water temperature	158
Fig. 128. Changes of phosphate concentration in redlip mullet reared in different water temperature	158
Fig. 129. Changes of silicate concentration in river puffer reared in different water temperature	158
Fig. 130. Changes of silicate concentration in redlip mullet reared in different water temperature	159
Fig. 131. The pattern of acute temperature change in the experiment. Arrows indicate the blood sampling time	166
Fig. 132. Change of survival rate following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%	166

- Fig. 133. Variations of AST, ALT, TP and GLU in plasma of river puffer following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 167
- Fig. 134. Variations of Na⁺, K⁺, Cl⁻ in plasma of river puffer following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 167
- Fig. 135. Variations of cortisol in plasma of river puffer following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 168
- Fig. 136. Variations of thyroid hormones in plasma of river puffer following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 168
- Fig. 137. The pattern of acute temperature change in the experiment. Arrows indicate the blood sampling time 178
- Fig. 138. Change of survival rate following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 178
- Fig. 139. Variations of AST, ALT, TP and GLU in plasma of redlip mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 179
- Fig. 140. Variations of Na⁺, K⁺, Cl⁻ in plasma of redlip mullet puffer following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 179
- Fig. 141. Variations of cortisol in plasma of redlip mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 180
- Fig. 142. Variations of thyroid hormones in plasma of redlip mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5% 180

목 차

Table목차	20
Figure목차	23
제 1 장 연구개발과제의 개요	34
제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보	37
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	39
제 1 절 실내 pilot 실험을 통한 새우+패류 복합양식 효과조사	39
1. 재료 및 방법	39
2. 결과 및 고찰	40
3. 요약	46
제 2 절 실내 pilot 실험을 통한 새우+어류 복합양식 효과조사	48
1. 재료 및 방법	48
가. 황복에 의한 감염새우의 선택적 포식효과	48
나. 새우+황복의 복합사육 효과조사	50
2. 결과 및 고찰	52
가. 황복에 의한 감염새우의 선택적 포식효과	52
나. 새우+황복의 복합사육 효과조사	55
3. 요약	58
제 3 절 실내 pilot 실험을 통한 어류+어류, 어류+새우 복합양식 효과조사	61
1. 재료 및 방법	61
2. 결과 및 고찰	61
3. 요약	62
제 4 절 복합양식 현장 적용실험	64
1. 재료 및 방법	64
가. 시험사육지 준비	64
나. 종묘입식 및 사육관리	64

다. 수질환경 조사 및 수질분석	65
라. 새우의 기생충성 질병조사	65
마. 성장률 및 생존율 조사	66
2. 결과 및 고찰	66
가. 양식장 수질환경 변화	66
나. 새우의 질병조사	78
다. 성장률 및 생존율	79
1) 황복+흰다리새우 복합양식과 흰다리새우 단독양식 비교	79
2) 대하+흰다리새우 복합양식과 대하 단독양식 비교	82
라. 복합양식과 단독양식의 생산성 비교	83
3. 요약	85
제 5 절 축제식 복합양식 상업적 현장 적용실험	88
1. 재료 및 방법	88
가. 시험사육지	88
나. 종묘입식 및 사육관리	88
1) 흰다리새우	88
2) 대하	88
3) 황복	88
4) 가무락	89
5) 사육수 관리	89
다. 수질환경 및 영양염류 조사	89
1) 사육수 수질환경	89
2) 영양염류 분석	89
라. 축제식 양식장 저질 입도 및 퇴적물 분석	89
1) 저질 입도 분석	89
2) 퇴적물 분석	90
마. 성장 및 생존율 조사	90
바. 황복의 장 내용물 및 바이러스 감염 조사	90
사. 새우의 바이러스 질병 조사	90
2. 결과 및 고찰	91
가. 양식장 수질환경 변화	91
1) 일반수질 변화	91
2) 영양염류 변화	92

나. 축제식 양식장 저질 입도 및 퇴적물 분석	97
1) 저질 입도 분석	97
2) 퇴적물 분석	97
다. 성장률 및 생존율	99
1) 흰다리새우+가무락 복합양식과 흰다리새우 단독양식 비교(서산 독곶리)	99
2) 흰다리새우+황복 복합양식과 흰다리새우 단독양식 비교(서산 오지리)	99
3) 대하-황복 복합양식(태안)	100
라. 황복의 장 내용물 및 바이러스 감염 조사	103
마. 새우의 바이러스 질병 조사	105
3. 요약	106
제 6 절 서해안 지역별 동절기 평년기상 분석 및 한파피해 현황 조사	107
1. 재료 및 방법	107
2. 결과 및 고찰	107
가. 축제식 양식장 한파피해	107
나. 축제식 및 비닐하우스 수층별 수질환경 조사	110
다. 축제식 양식장의 기존 월동관리 형태	112
3. 요약	113
제 7 절 축제식 비닐하우스 월동실험	114
1. 재료 및 방법	114
가. 월동장 시설 및 설계	114
나. 실험기간 및 사육관리	115
다. 어종별 비닐하우스 월동 적정 사육조건 조사	116
2. 결과 및 고찰	118
가. 황복, 가숭어의 월동 사육조건 조사	118
나. 비닐하우스 월동장 상세 설계도 작성	122
다. 가온방법에 의한 황복 치어의 월동사육시험	129
1) 월동장소별 월동기의 수질환경 변화	129
2) 월동기 실험어의 성장 변화 및 생존율	130
3) 적정 월동 사육밀도 조사	133
4) 생존율 및 질병 발생	134
라. 축제식 양식장 월동기술 보급	142

3. 요약	143
제 8 절 월동기 황복과 가숭어의 수온별 사육실험	144
1. 재료 및 방법	144
가. 실험구 및 실험기간	144
나. 실험생물 및 사육조건	144
다. 성장률 조사	144
라. 생존율 조사	145
마. 수질환경 조사	145
바. 통계처리	145
2. 결과 및 고찰	145
가. 성장률	145
나. 생존율	146
다. 수질환경	153
1) 일반수질환경	153
2) 영양염류	153
3. 요약	159
제 9 절 월동기 저수온 충격에 의한 양식산 황복의 생리생화학적 반응	161
1. 재료 및 방법	162
가. 실험어 및 사육시설	162
나. 실험방법	162
다. 통계처리	162
2. 결과 및 고찰	163
가. 생존율	163
나. 생화학적 변화	163
다. 코티졸 및 갑상선호르몬 변화	164
3. 요약	164
제 10 절 월동기 저수온 충격에 의한 양식산 가숭어의 생리생화학적 반응	169
1. 재료 및 방법	169
가. 실험어 및 사육시설	169
나. 실험방법	170
다. 통계처리	171

2. 결과 및 고찰	171
가. 생존율	171
나. 생화학적 변화	172
다. 코티졸 및 갑상선호르몬 변화	173
3. 요약	177
제 11 절 경제성 평가	181
1. 복합양식 품종에 대한 생산성 비교분석	181
가. 새우와 패류의 복합양식 생산성 효과	181
나. 새우와 어류의 복합양식 생산성 효과	182
2. 축제식 복합양식 경제성분석	182
가. 흰다리새우와 가무락	186
나. 흰다리새우와 황복	187
3. 동해방지 기술개발 시스템의 경제성분석	189
가. 황복양식의 경제성분석	189
나. 가숭어양식의 경제성분석	192
다. 동해방지시스템 구축에 따른 비용분석	197
라. 황복 축제식양식 월동시험의 경제성분석	199
마. 가숭어 축제식양식 월동시험의 경제성분석	200
4. 요약	202
제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	204
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	207
제 6 장 참고문헌	208

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 1절 연구개발의 목적

서해안 축제식 양식장의 환경특성에 적합한 생태조화형 복합양식 기술개발로 새우와 어패류의 복합양식 원리를 구명하고 기술을 개발함으로써 축제식 새우양식장의 질병피해를 최소화하고 생산성을 향상시키고자 한다.

또한 서해안 축제식 양식장의 동절기 어장환경 특성 파악과 어종별 월동관리 조건 및 생리생태를 규명하고 축제식 비닐하우스식 월동기술을 개발함으로써 어류동사 피해를 방지하고 광대한 폐염전 등을 활용한 새로운 품종의 양식을 활성화 시킬 수 있는 길을 모색하고자 한다.

제 2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

서해안은 1920년대부터 잘 발달된 간석지를 이용하여 염전산업이 크게 발전하였으나 1990년대 이후 화학소금 및 각종 조미료 등의 개발로 그 소비량이 점차 감소되고 수입개발방으로 중국산 소금이 대량수입 되면서 대부분의 염전이 폐쇄되어 축제식 양식장으로 용도전환이 이루어지고 있다.

현재 우리나라의 축제식 양식장 면적은 225개소에 3,000 ha로 이중 서해안에서만 200개소, 2,500 ha가 개발되어 있다. 주요 양식품종은 가숭어, 점농어 등 일부를 제외하고는 새우가 주종을 이루고 있다. 그러나 최근 들어 어업인들은 양식새우의 바이러스로 인한 질병발생으로 대량폐사가 매년 반복되자 새우양식을 기피하면서 어류양식으로 전환하고 있는 실정이며, 양식대상 품종도 가숭어, 점농어 외에 황복, 전어, 조피볼락, 감성돔, 돌돔 등으로 확산을 시도하고 있으나 축제식 양식장의 환경특성상 많은 어려움을 겪고 있다.

1980년대까지 우리나라 양식산업은 해조류와 사료를 따로 줄 필요가 없는 굴, 담치 등의 패류가 주요 생산품종이었으며, 1990년대 초에 이들 해조류와 패류의 복합양식에 대한 연구를 시작하여 일부 종들의 양식방법이 개발되었지만 거의 실용화되지 않은 실정이며, 오히려 단기적인 이익에만 급급한 집약적인 새우와 어류양식이 급성장하였다.

새우와 어류양식은 대량의 사료를 공급하여 많은 배설물이 발생하고 있으며, 수질악화의 원인이 되고 있다. 해조류와 패류의 복합양식은 공생이용으로 수질정화작용과 배설물

을 영양분으로 이용하고 있으며, 또한 새우와 어류가 배설한 고형물질이나 부유물질은 해조류나 패류의 먹이가 되어 수질 자정작용이 이루어진다. 복합양식의 기본원리는 생태계의 구성원인 생산자와 소비자를 연결시켜 주는 것으로 자연의 원리를 적용한 해조류와 어·패류 등의 복합양식은 당연히 환경친화적인 양식방법으로 질병을 예방하고 환경을 개선하기 위한 방안으로 복합양식이 절실히 필요하다.

서해안에서의 축제식 양식장 환경특성은 봄철에는 연안수온보다 1개월 정도 빨리 상승하기 때문에 비교적 높은 수온을 유지할 수 있는 장점을 가지고 있으나 여름철에는 수온이 너무 높아 6월부터 8월까지의 종묘생산에 문제가 있고 특히 겨울철에는 수온이 너무 낮아 월동기간이 길며, 월동 중 갑작스런 한파내습시 무방비 상태로서 매년 동사로 인해 막대한 피해가 발생되고 있다. '98~'03년까지 최근 6년간 한파에 의한 피해액은 무려 600억원에 가깝고 복구비도 380억원에 달한다.

이와 같이 서해안 축제식 양식장은 월동에 따른 문제점이 많아 매년 한파에 의한 어류 동사 피해가 반복되어 막대한 손실과 더불어 여러 가지 다양한 서해 특산품종의 안정적인 양식기술 개발에 걸림돌이 되고 있으므로 이러한 문제점을 해결하여 축제식 양식장의 지속적인 생산성 향상과 동해방지를 위한 기술을 개발하고자 한다. 또한 해양수산부에서는 매년 동절기 한파에 의한 대규모 어류동사 피해가 발생함에 따라 축제식 양식장 시설 요건 강화를 위하여 양식장 수심, 양식장내 월동구역의 비율 및 수심의 하한선, 입식량 등을 규정하고 「어업면허의관리등에관한규칙」에 반영 법제화를 추진하고자 계획 중에 있다. 그러나 아직까지 축제식 양식장에서의 한파피해 예방을 위한 구체적이고 과학적인 자료가 부족하여 동 추진에 애로사항이 있을 뿐만 아니라 법제화 추진에 앞서 실증적 연구를 통한 충분한 사전검토가 선행되지 않으면 여러 가지 시행착오가 우려되지 않을 수 없으므로 동 연구개발을 통하여 축제식 양식장에서의 한파피해 예방대책에 대한 확실한 근거자료를 제시하고자 한다.

2. 경제·산업적 측면

복합양식은 원래 양식공간의 활용도를 높여 생산성을 극대화하는 방안으로 이용되고 있지만 최근에는 양식생물(새우)의 질병예방 및 양식장 환경개선 방안으로도 적극 이용되고 있다. 따라서 기존 새우 양식장과 더불어 휴면중인 새우양식장 활용과 방치된 폐염전을 활용하여 새우+어류, 새우+어류+패류 등의 복합양식기술을 개발함으로써 새우 바이러스 피해 감소에 따른 새우생산을 증대시키고, 어류 양식생산성 증가시키는 효과 및 국토의 효율적인 이용을 도모하고자 한다.

서해안 일원에는 앞서 기술한 폐염전을 축제식 양식장으로 용도전환 이외에 아직까지도 염전이 경기도내 인천, 안산, 화성지역만 하여도 총 47개소에 1,452 ha가 있으며, 이중 활용되고 있는 염전은 27개소, 650 ha에 불과하고 20개소, 802 ha는 방치되어 있는 실정으로

(2003, 경기도 연업협동조합 자료) 서해안 전체를 파악하면 더욱더 많은 폐염전이 활용되지 않고 방치되어 있는 실정이다. 축제식으로 용도전환한 양식장 역시 새우 양식장 등으로 활용하여 산업적으로 크게 기여하고는 있으나 환경악화와 과밀방양, 관리상의 문제 특히 바이러스성 질병에 의한 대량폐사 현상이 매년 계속되어 축제식 양식장 활용에 문제점으로 대두되고 있다. 또한 축제식 양식장에서의 겨울철 월동관리 기술이 개발된다면 연간 평균 65억원에 달하는 한파에 의한 어류동사 피해를 줄일 수 있으며, 양식 대상품종도 송어 위주에서 농어, 황복, 조기류, 돔류, 민어 등으로 확대 가능할 뿐만 아니라 미활용되고 있는 폐염전 등을 어류양식장으로 활용함으로써 연간 3,000여톤(약 100억원)이상의 어업인 소득증대가 이루어질 것이다.

3. 사회·문화적 측면

서해 특산품종으로 황복, 대하, 가무락 등의 상호보완적 생태 복합양식으로 생산성을 향상하여 양식어업인들의 소득증대를 기하고 서해안 고속도로 개통과 함께 주 5일 근무제 및 국민소득과 식생활 수준의 향상에 따른 고급 기호식품으로 선호도가 높은 수산물 수요를 충족하여 침체되어 있는 서해안 축제식 양식산업에 활성화를 기여하고자 한다. 또한 동절기에 매년 발생되고 있는 축제식 양식장에서의 한파에 의한 어류 대량폐사는 가뜩이나 수입산 어류에 의해 피해를 보고 있는 어업인들에게 국내산 어류의 양식업을 영위할 수 있는 의욕을 상실케 함은 물론 폐사어체 처리에 따른 환경오염을 고려할 때 축제식 양식장에서 동절기 한파피해 예방에 대한 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

국내에서 복합양식기술에 관한 연구는 1990년대 초에 김과 바지락(동죽), 미역(다시마)과 우렁쉥이, 다시마(툇)와 전복 등을 대상으로 시도를 하였지만 이러한 방식은 축제식이 아닌 연안수역에서의 양식기술을 다룬 것이었다(수산청, 1994). 2000년도에 들어와서는 축제식과 가두리 양식장에서의 복합양식을 위하여 송어와 조피볼락, 넙치, 대하 등을 대상으로 주로 송어의 섭식습성을 이용한 수질과 저질환경 개선을 위한 복합양식 기술이 국립수산과학원과 일부 민간양식장에서 시도되었다(서해수산연구소, 1999). 서해안 지역에서는 축제식 대하양식이 중요한 양식산업으로 정착되어 있지만 해마다 바이러스 질병으로 인한 대량폐사로 피해를 입고 있어, 이에 대한 대안으로써 일부 민간 새우양식장에서는 감염새우의 선택적 포식을 위하여 황복을 함께 입식하는 시도가 있었지만 이에 대한 정확한 기준 등이 연구되어 있지 않아 산업화로 연결되지는 못하였다. 축제식 양식장은 주로 서해안에 분포하고 있으며 축제식양식장에서의 복합양식에 관한 연구 뿐 아니라 산업적인 응용은 실제로 거의 없는 실정이다.

복합양식이 가장 활발하게 연구되는 국가는 중국이다. 중국은 축제식 복합양식기술개발을 위해 많은 연구를 하고 있으며 다양한 품종을 복합양식하는 산업적인 양식산업도 매우 광범위하게 이루어지고 있는 실정이다. 특히 축제식 새우양식장에서는 새우와 어류, 패류, 해조류 등을 복합적으로 양식되고 있는데, 새우와 복합적으로 양식되는 어류는 주로 송어(Zhang et al., 1998; 2003), 농어(Wang et al., 1997), 틸라피아(Wang et al., 2000; Yang et al., 1998; Wang et al., 1998) 등이다. 이들 어종은 바이러스에 감염되어 활력이 저하된 새우를 포식하여 바이러스의 확산을 억제하는 효과도 함께 얻을 수 있는 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 복합양식되는 패류로는 맛조개(Zhang et al., 1998; Xu, X et al., 2005), 바지락(Yue and Liu, 1992), 해만가리비(Wang et al., 1999; Liu et al., 1992) 등이 있다. 해조류는 영양염을 제거함으로써 수질정화 효과를 얻을 수 있는 바람직한 복합양식의 형태로서 주로 홍조류의 일종인 꼬시래기(Lie et al., 1991, 1997)를 대상으로 실험적인 연구가 이루어져 있다. 중국에서는 두 종 이상의 복합양식 형태도 많이 이루어지고 있는데 새우와 어류(농어, 틸라피아) 및 패류(맛조개, 해만가리비) 등이 대상품종이다(Li and Dong, 2000; Tian et al., 2001; Wang et al., 1999).

동남아시아 국가들에서도 새우의 복합양식은 광범위하게 행해지고 있다. 특히 새우와 밀크피쉬(milkfish, *Chanos chanos*)는 많은 연구가 되어있으며, 틸라피아도 많이 양식되고 있다(Apud and Benagua, 1981; Pudadera and Lim, 1982; Ranoemihardj et al., 1979). 미주에서는 새우와 굴 및 기타 패류와의 복합양식이 연구되어 있지만 산업적으로는 크게 활성화되어 있지 않다(Martinez-Cordova and Martinez-Porchas, 2006; Hopkins et al., 1993).

중국에서 이루어지는 새우양식장에서의 어패류 복합양식은 주로 생산성향상과 소득증대를 위한 것이기 때문에 복합양식되는 종들의 입식밀도는 상당히 높은 수준이다. 그러나 새우양식장의 질병억제를 위한 생태학적 조절을 위한 복합양식에 관한 연구는 그리 많지 않은 실정이다. 해조류를 이용한 영양염제거와 수질향상 효과를 목적으로 하는 연구는 일부 이루어져 있지만(Yamasaki et al., 1997) 대부분이 실험적인 연구수준이며 해조류의 특성상 양식현장에서 산업화된 사례는 없다.

축제식 양식장에서의 어류양식은 우리나라, 중국 등에 국한되어 있고 중국의 경우 광둥성, 복건성 등을 위시한 주로 남방지역에서 이루어져 겨울철에도 따뜻한 수온유지가 가능하여 월동에 따른 문제점은 없다.

축제식 양식장(노지)의 월동은 담수의 경우, 조기 결빙이 이루어져 잉어(Christian and Günther, 2004), 틸라피아(Dan and Little, 2000) 등 많은 담수산 어류에서는 사육지의 일부에서 수심을 깊게 하여 월동에 들어간다. 내륙지방에서는 한파시기에도 표층이 결빙됨에도 불구하고 저층수온은 4℃ 전후로 담수어류의 노지 월동이 가능하다.

우리나라에서 양식되고 있는 해산어류의 대부분 온수성 및 아열대성 어류로 동절기에 해수의 수온이 매우 낮기 때문에 우리나라 서해안과 중국의 북방지역의 연안에서는 생존하지 못한다. 조피볼락, 쥐노래미, 돌가자미 등 단지 몇 종만이 겨울철에 살 수 있다. 따라서 대부분의 종들은 월동시설이 필요하다. 돔류, 넙치, 복어류 등 온수성 어류는 겨울철 실내수조에서 사육해야 한다. 중국 북방지역에서는 실내수조의 월동에서 수온을 올리기 위해 석탄보일러를 주로 이용하고 있다(Hong and Zhang, 2003). 그러나 이러한 월동방법은 많은 에너지를 소비하기 때문에 생산경비가 너무 많이 지출된다. 일부 지역에서는 화력발전소 및 지열발전소의 냉각수를 월동에 이용하기도 한다.

우리나라 서해안과 비슷한 위도상에 위치한 중국의 북방지역인 요령성(단동, 대련), 산둥성(위해, 연태)에서는 최근 축제식 복합양식이 발전하여 복어류(자주복, 참복 등)가 양식되고 있는데 수온이 10월말부터는 15℃ 이하로 낮아져 새우 및 패류를 수확하여 판매하고 복어는 육상수조로 옮겨 겨울철 가온에 의한 월동을 들어가는 실정이다.

우리나라는 축제식 양식어류인 가숭어, 농어, 전어 등의 겨울철에 한파에 의한 어류동사 피해가 매년 대량발생하고 있음에도 불구하고 축제식 양식장에서의 동해예방을 위한 표준화 시설 및 기술이 미흡한 실정이며 다만 양식어업인을 대상으로 월동전 조기출하 유도 및 양식장 가장자리나 일부를 구획하여 수심을 3.5~5 m 정도 되도록 월동장 시설을 지도하고 있다. 그러나 월동장 수심을 깊게 하더라도 강풍을 동반한 한파 내습시 수온이 극히 낮은 표층수가 저층으로 가라앉는 turn over 현상에 의해 동사가 발생하여 효과적인 대책이 되지 못하고 있는 실정으로 항구적인 대책마련이 시급하다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 실내 pilot 실험을 통한 새우+패류 복합양식 효과조사

최근 난치성 바이러스질환이 많은 새우양식장에서는 어류 혹은 패류와 복합양식을 함으로써 이들 상호간의 보완적인 관계를 통하여 질병을 억제하고 생산성을 높이려는 시도가 이루어지고 있다. 본 실험에 사용된 바지락(*Ruditapes philippinarum*)은 진판새목 백합과의 패류로서 크기는 껍데기길이 약 40 mm, 높이 약 30 mm 정도이며 조간대 모래나 진흙이 섞인 곳에 서식한다. 먹이는 식물플랑크톤, 유기물입자 등을 여과 섭식한다. 가무락(*Cyclina sinensis*)은 진판새목 백합과의 패류로서 크기는 껍데기 높이 및 지름 약 5 cm이며, 내만(內灣)·내해(內海) 개펄의 진흙 속에 서식한다. 먹이는 식물플랑크톤, 유기물입자 등을 여과 섭식한다. 이들 패류는 새우와 함께 양식할 경우, 잔량의 새우사료 및 유기물입자를 섭식함으로써 새우양식장에서 가장 문제가 되는 사육수의 오염을 억제하고 수질의 안정화에 기여할 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 실내사육조건으로 새우와 패류의 복합사육시 생존율 및 수질변화를 조사함으로써 새우-패류 복합양식의 효과를 조사하고자 한다.

1. 재료 및 방법

1) 실험구 및 실험기간

실험기간은 2006년 8월 1일부터 8월 24일까지 24일간이며 실내 환경에서 수행되었다. 실험 수조는 2톤 FRP 원형수조(Ø 2m×0.7 m) 10개에 저면에 사니질(펄의 함량 30%)을 조성하였다. 실험구는 새우, 바지락(*R. philippinarum*), 가무락(*C. sinensis*) 단독구 및 새우+바지락, 새우+가무락 복합양식 실험구를 각 2반복 설정하였다.

Table 1. Stocked number of shrimp and shellfish

Species	Tank 1-1	Tank 2-1	Tank 3-1	Tank 4-1	Tank 5-1
	1-2	2-2	3-2	4-2	5-2
shrimp	50	-	-	50	50
<i>R. philippinarum</i>	-	60	-	60	-
<i>C. sinensis</i>	-	-	30	-	30

2) 실험생물

실험에 사용된 새우는 하와이산 무병(SPF, specific pathogen free) 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*)에서 생산된 F1이며, 평균체중과 체장은 B.W. 22.98 ± 3.93 g, B.L. 120.29 ± 8.88 mm로서 실험구별 50마리/tank 씩 수용하였다. 바지락과 가무락은 충남 태안군 안면도 연안산이며, 바지락의 평균중량 및 각장은 B.W. 9.14 ± 2.52 g, S.L. 34.08 ± 2.73 mm인 개체를 60마리/tank 씩 수용하였고, 가무락은 B.W. 33.64 ± 9.92 g, S.L. 46.10 ± 4.21 mm인 개체를 30마리/tank 씩 수용하였다. 흰다리새우는 15.9 마리/m², 바지락은 19.1 마리/m², 가무락은 9.6 마리/m²의 밀도로 입식하였다(Table 1).

3) 사육조건 및 사육관리

먹이는 새우 EP사료(단백질 40%)를 새우총중량의 5~10%로 1일 2~3회 공급하였으며, 사육수는 새우양식장의 환경과 비슷하게 유지하기 위하여, 규조류(*Chaetoceros* sp.)를 2×10^5 cells/mL의 농도가 되도록 3일에 1회 공급하였다. 사육수 관리는 규조류의 농도에 따라서 1일 5~10% 환수하였다.

4) 수질 및 저질환경 조사

수질조사 중 수온, 염분, pH, DO는 2회/일(08:00, 14:00) 측정하였으며, 부유물질(SS), TAN, NO₂-N, NO₃-N, 알칼리도 분석은 3일 간격으로 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라 조사하였다. 저질조사는 COD, 황화물, IL을 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라 조사하였다.

5) 생존율 및 성장률 조사

새우 생존율 및 성장률은 실험 시작 및 종료시에 조사하였으며 새우의 폐사개체는 매일 조사하였다.

2. 결과 및 고찰

1) 사육수 수질환경

실험기간동안 사육수의 일반환경 및 영양염 농도는 새우와 패류(바지락, 가무락)의 성장에 적합한 범위를 유지하였다. 수온은 $23.6 \sim 28.0$ °C 범위였으며, 염분농도는 $29.1 \sim 31.5$, 용존산소 농도는 6.0 mg/L 이상을 유지하였다. pH는 $6.5 \sim 8.2$, 알칼리도는 120 mg/L 이상의 농도를 유지하였다(Table 2).

Table 2. Changes of selected parameters of water quality

Parameters	Tank 1-1 (shrimp)	Tank 1-2 (shrimp)	Tank 2-1 (<i>R. philippinarum</i>)	Tank 2-2 (<i>R. philippinarum</i>)	Tank 3-1 (<i>C. sinensis</i>)
WT(°C)	24.4~28.0	24.4~28.0	23.6~27.8	23.6~27.9	23.7~27.8
Salinity (‰)	29.4~31.0	29.3~30.7	29.1~31.5	29.3~31.4	29.1~31.4
DO (mg/L)	6.38±0.60 ^a	6.06±0.63 ^a	6.97±0.52 ^b	6.94±0.56 ^b	6.94±0.55 ^b
NH ₄ -N (mg/L)	1.05±0.35 ^a	1.31±0.42 ^a	0.10±0.04 ^b	0.06±0.02 ^c	0.03±0.03 ^c
NO ₂ -N (mg/L)	0.39±0.26 ^a	0.18±0.14 ^a	0.03±0.02 ^b	0.03±0.01 ^b	0.02±0.01 ^b
NO ₃ -N (mg/L)	2.15±1.23 ^a	0.95±0.55 ^b	0.61±0.20 ^b	0.70±0.24 ^b	0.87±0.17 ^b
pH	7.74±0.36	7.67±0.55	7.73±0.37	7.72±0.31	7.79±0.40
Alkalinity (mg/L)	169.4±42.6	172.5±45.7	126.3±7.9	127.5±10.0	115.0±7.1
SS(mg/L)	144.4±80.9 ^a	169.6±80.4 ^a	16.4±12.0 ^b	23.1±25.2 ^b	26.8±24.0 ^b

Table 3. Changes of selected parameters of water quality

Parameters	Tank 3-2 (<i>C. sinensis</i>)	Tank 4-1 (Shrimp+ <i>R. philippinarum</i>)	Tank 4-2 (Shrimp+ <i>R. philippinarum</i>)	Tank 5-1 (Shrimp+ <i>C. sinensis</i>)	Tank 5-2 (Shrimp+ <i>C. sinensis</i>)
WT (°C)	23.7~27.8	23.8~27.8	24.0~27.7	24.1~27.7	23.9~27.6
Salinity (‰)	29.3~31.4	29.3~31.5	29.2~30.9	29.3~30.6	29.1~30.7
DO (mg/L)	6.93±0.55 ^b	6.27±0.57 ^a	6.30±0.56 ^a	6.18±0.61 ^a	6.40±0.49 ^a
NH ₄ -N (mg/L)	0.23±0.54 ^b	1.26±0.31 ^a	0.87±0.52 ^a	0.92±0.41 ^a	0.57±0.53 ^a
NO ₂ -N (mg/L)	0.10±0.20 ^b	0.20±0.13 ^a	0.11±0.11 ^c	0.37±0.44 ^a	0.67±0.71 ^a
NO ₃ -N (mg/L)	0.98±0.66 ^b	1.03±0.34 ^b	0.58±0.14 ^b	1.68±1.61 ^a	2.46±2.23 ^a
pH	7.74±0.37	7.71±0.36	7.68±0.47	7.63±0.46	7.70±0.48
Alkalinity (mg/L)	121.9±2.6	184.4±66.6	170.6±60.8	168.1±40.4	155.6±40.6
SS(mg/L)	34.5±52.5 ^b	167.6±77.5 ^a	136.6±70.5 ^c	196.9±116.1 ^a	228.0±112.1 ^a

2) 저질환경

실험기간동안 저질조사는 실험 시작 및 종료시에 COD, 강열감량, 황화물, 함수율 등을 측정 조사하였다. 강열감량과 함수율은 시작 및 종료 시에 큰 차이를 보이지 않았으나, COD, 황화물은 배합사료를 공급한 실험구가 높게 나타났다(Table 4).

Table 4. Changes of selected parameters of sediment quality

Tank No.	Initial ('06. 8. 1)				Final ('06. 8. 24)			
	COD (mgO ₂ /kg · dry)	IL (%)	Sulfide (mgS/g · dry)	Hydrous rate (%)	COD (mgO ₂ /kg · dry)	IL (%)	Sulfide (mgS/g · dry)	Hydrous rate (%)
1-1	3.03	3.00	0.001	24.5	7.45	3.27	0.147	24.8
1-2	2.61	2.61	0.005	23.8	9.05	2.97	0.151	22.2
2-1	3.38	2.93	N.D	22.8	9.00	2.45	0.019	22.0
2-2	4.53	2.93	0.014	23.0	3.86	2.50	0.056	23.9
3-1	4.99	3.12	N.D	26.2	3.56	2.09	N.D	13.5
3-2	7.55	2.22	0.015	22.2	9.86	2.96	0.016	25.6
4-1	3.51	1.69	N.D	24.1	17.34	2.64	0.157	25.4
4-2	1.28	2.14	0.031	21.7	32.17	3.16	0.258	31.1
5-1	6.81	2.13	0.006	21.9	9.28	3.13	0.153	28.1
5-2	10.74	3.37	0.067	42.3	12.68	3.12	0.114	22.1

3) 생존율 및 성장률 비교

새우의 생존율은 바지락 및 가무락과의 복합사육구에서 각각 88.0~98.0% (평균 93%), 96.0~100.0% (평균 98%), 새우 단독구는 92.0~98.0% (평균 95%)로 생존율에 큰 차이가 없었다. 바지락은 단독사육구에서 43.3~46.7% (평균 45%)의 생존율을 보였으나, 복합사육구에서는 전량 폐사하여 실험조건에서 생존에 적합하지 않은 것으로 조사되었다. 가무락은 단독사육구에서 83.3~96.7% (평균 90%), 복합사육구에서 70%의 생존율을 보여 실험조건에서 바지락에 비해 생존에 양호한 것으로 조사되었다.

중량대비 새우 성장률은 새우 단독시험시 99.7~109.9% (평균 104.8%), 바지락과의 복합사육시 92.4~96.6% (평균 94.5%), 가무락과의 복합사육시 97.5~101.8% (평균 99.7%)이었다. 바지락의 경우, 단독사육시 성장률은 99.6~101.8% (평균 100.7%), 새우와 복합사육시에는 바지락은 전량 폐사하였다. 가무락의 경우, 단독사육시 성장률은 94.1~94.2% (평균 94.2%), 새우와 복합사육시에는 104.5~108.1% (평균 106.3%)였다. 소형수조에서의 단기간 사육으로

인한 낮은 성장률을 고려하지 않을 경우, 가무락은 새우와 복합사육시 바지락에 비해 생존율이 양호한 것으로 조사되었지만 축제식 양식장 조건에서의 패류새우 복합양식 효과에 대해서는 보다 정확한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

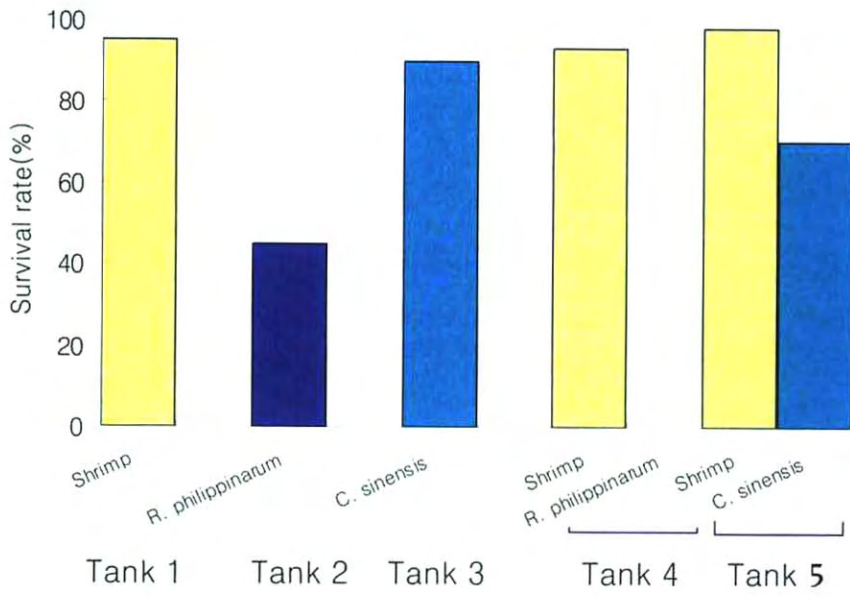


Fig. 1. Survival rate of polyculture of shrimp with shellfish.

Table 5. Survival rate of polyculture of shrimp with shellfish

Tank No.	Exp. groups	Survival (%)	
		Shrimp	Shellfish
1	Shrimp	95.0 (92.0 ~ 98.0)	-
2	<i>Ruditapes philippinarum</i>	-	45.0 (43.3 ~ 46.7)
3	<i>Cyclina sinensis</i>	-	90.0 (83.3 ~ 96.7)
4	Shrimp + <i>R. philippinarum</i>	93.0 (88.0 ~ 98.0)	0
5	Shrimp + <i>C. sinensis</i>	98.0 (96.0 ~ 100)	70.0

Table 6. Growth of shrimp and shellfish

Tank No.	Date (8/1~8/24)	Shrimp			Shellfish		
		B.L (mm)	B.W (g)	Stock density (inds/m ²)	S.L (mm)	B.W (g)	Stock density (inds/m ²)
1	Initial	119.91±8.69	22.75±4.10	15.9	-	-	-
	Final	119.78±6.19	23.87±3.30	15.1	-	-	-
2	Initial	-	-	-	34.41±2.45	9.48±2.51	19.1
	Final	-	-	-	33.44±2.71	9.55±2.44	8.6
3	Initial	-	-	-	45.40±4.22	32.61±10.1	9.6
	Final	-	-	-	45.00±5.04	30.61±7.94	8.6
4	Initial	122.12±9.13	23.82±3.88	15.9	33.74±2.95	8.80±2.48	19.1
	Final	117.07±4.22	22.54±3.51	14.8	0	0	0
5	Initial	118.88±8.75	22.38±3.75	15.9	45.73±4.73	33.02±9.95	9.6
	Final	119.98±5.89	22.30±3.02	15.6	47.10±4.03	35.12±9.58	6.7

Table 7. Growth rate of shrimp with shellfish

Tank No.	Exp. groups	Growth rate (%)	
		Shrimp	Shellfish
1	Shrimp	104.8 (99.7 ~ 109.9)	-
2	<i>Ruditapes philippinarum</i>	-	100.7 (99.6 ~ 101.8)
3	<i>Cyclina sinensis</i>	-	94.2 (94.1 ~ 94.2)
4	Shrimp + <i>R. philippinarum</i>	94.5 (92.4 ~ 96.6)	0
5	Shrimp + <i>C. sinensis</i>	99.7 (97.5 ~ 101.8)	106.3 (104.5 ~ 108.1)

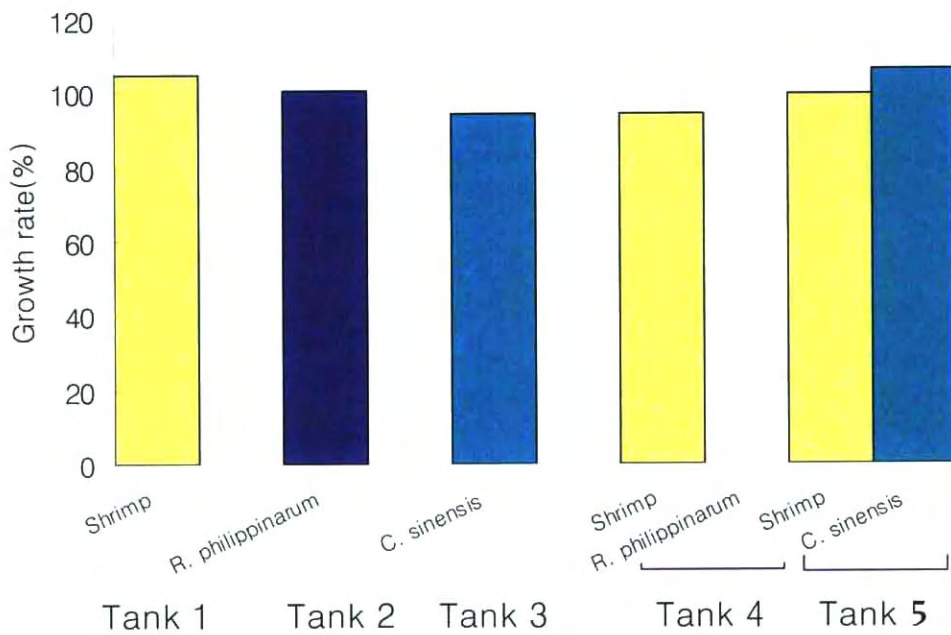


Fig. 2. Growth rate of polyculture of shrimp with shellfish.

3. 요약

가. 실내 2톤 FRP 원형수조(Ø 2 m, 3.14 m²)에서 새우와 패류(바지락, 가무락)를 단독 혹은 복합으로 24일간 사육한 후 각 생물의 생존율과 성장률 수질과 저질 환경변화를 비교하였다.

나. 수질은 수온 23.6~28.0℃, 염분 29.1~31.5였으며, pH, DO 그리고, 알카리도 농도에서는 새우의 성장 적정범위를 유지하였다

다. 새우의 생존율은 바지락 및 가무락과의 복합사육구에서 각각93%, 98%, 새우 단독구는 95%로 생존율에 큰 차이가 없었다 바지락은 단독사육구에서 평균 45%의 생존율을 보였으나, 복합사육구에서는 전량 폐사하여 실험조건에서 생존에 적합하지 않은 것으로 조사되었다. 가무락은 단독사육구에서 90%, 복합사육구에서 70% 생존율을 보여 실험조건에서 바지락에 비해 생존에 양호한 것으로 조사되었다.

라. 중량대비 새우 성장률은 새우 단독사육시 평균 104.8%, 바지락과의 복합사육시 94.5%, 가무락과의 복합사육시 99.7%였다. 바지락의 경우, 단독사육시 성장률은 1007.%, 새우와 복합사육시에는 바지락은 전량 폐사하였다. 가무락의 경우, 단독사육시 성장률은 94.2%, 새우와 복합사육시에는 106.3%였다.

마. 소형수조에서의 단기간 사육으로 인한 낮은 성장률을 고려하지 않을 경우, 가무락은 새우와 복합사육시 바지락에 비해 생존률이 양호한 것으로 조사되었지만 축제식 양식장 조건에서의 패류-새우 복합양식 효과에 대해서는 보다 정확한 연구가 필요할 것으로 사료된다



Fig. 3. Circular tanks for culture of shrimp and shellfish.



Fig. 4. Chinese cyclina, *C. sinensis*.



Fig. 5. Short-necked clam, *R. philippinarum*.

제 2 절 실내 pilot 실험을 통한 새우+어류 복합양식 효과조사

황복(*Takifugu obscurus*)은 한국과 중국의 하천의 하류에 서식하며 우리나라에는 남서 연안에 주로 분포하는 육식성 어류로서 갑각류, 새우, 어린 물고기, 알 등을 주로 포식한다. 중국의 경우 새우의 바이러스발병을 억제하기 위하여 황복을 새우와 함께 입식하지만 황복의 감염새우에 대한 포식효과에 대한 정확한 기작은 밝혀져 있지 않다. 따라서 황복에 의한 감염새우의 선택적 포식효과를 실험적으로 확인하기 위하여 2년산 황복과 중간크기의 새우를 수조에서 혼합사육하면서 각 새우군의 생존율(포식율)을 조사하고자 실험을 실시하였다.

또한 이를 근거로 새우의 종묘입식시기의 조건과 유사하게 체중 1g 이하의 새우와 당년산 황복(체중 약 10g)을 대상으로 양식현장에서 응용가능한 실제의 조건을 조성하고 황복과 새우의 복합사육을 실시하여 황복에 의한 복합양식의 효과를 실험적으로 증명하고자 한다.

1. 재료 및 방법

가. 황복에 의한 감염새우의 선택적 포식 효과 조사(1차 실험)

1) 실험구 및 실험기간

실험기간은 2006년 9월 4일부터 9월 8일까지 5일간이며 본 실험에 앞서 1주일간에 걸쳐 황복의 염분순치를 실시하였으며, 3일 이전부터 건강새우의 인위적인 바이러스 감염을 실시하였다.

실험구는 3개로서 tank 1에는 황복이 없이 바이러스 비감염건강새우(HHS)만 100마리 수용하였으며, tank 2에는 황복 5마리와 건강새우 100마리, tank 3에는 황복 5마리, 건강새우와 감염새우를 각각 50마리씩 수용하였다. 황복은 0.18마리/m², 새우는 3.5마리/m²의 밀도로 입식하였다(Table 8).

Table 8. Stocked number of shrimp and puffer

	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Puffer	-	5	5
HHS	100	100	50
VIS	-	-	50

HHS, High health shrimp (바이러스 비감염새우); VIS, virus infected shrimp (바이러스 감염새우)

2) 실험생물

실험에 사용된 새우는 서해특성화연구센터에서 종묘생산, 양성된 흰다리새우(*L. vannamei*) (mean B.W. 6.84 ± 2.03 g, mean B.L. 80.27 ± 8.35 cm)로서 nested PCR을 통하여 흰반점바이러스(WSSV)에 비감염된 건강새우(HHS)를 사용하였으며, 감염새우(VIS)는 건강새우를 인위감염하여 사용하였다. 감염새우와 건강새우의 구분을 위하여 감염새우는 우측 미지를 일부 절단하였으며 건강새우는 좌측미지를 일부 절단하였다.

황복은 2005년 부화되어 실내수조에서 1년간 저염분 조건(5‰)에서 사육된 것으로 본 실험을 위하여 1주일간에 걸쳐 염분순치(5‰ → 31‰)를 실시하였다. 황복의 평균체중과 체장은 각각 B.W. 85.82 ± 15.91 g, B.L. 133.53 ± 6.75 cm이었다.

3) 실험새우의 바이러스 인위감염

감염새우는 다음과 같은 방법으로 건강새우를 인위적으로 바이러스를 감염시켜 사용하였다. 즉 WSSV로 폐사되어 냉동보관한 새우의 육질을 분쇄하여 pellet (감염새우 육질 30% 포함)으로 만든 후 냉동건조하여 1일간(3회) 건강새우에게 공급하고 별도의 수조에서 3일 경과된 다음에 실험에 사용하였다. 바이러스 인위감염 후 3일 경과시킨 이유는 이전의 실험을 통하여 바이러스가 감염후 발현이 확인되는 시기로서 이 시기가 새우의 활력이 현저하게 저하되기 시작하는 기간으로 본 실험에 사용하기에 적합한 상태이기 때문이다.

4) 새우 바이러스 감염조사

건강새우와 인위감염새우의 바이러스 감염 여부를 조사하기 위하여 각각 10마리씩 개체의 아가미 조직부위 20~30 mg을 분리하여 DNA extraction kit (Qiagen Co.)를 이용하여 genomic DNA를 추출한 후 PCR의 template로 사용하였다. WSSV 검출을 위한 PCR 반응의 primer는 서해특성화연구센터에서 제작한 1F/1R 및 4F/4R을 사용하였으며 2회의 nested PCR을 실시하였다. PCR reaction solution (1.0 unit Taq polymerase, 250 μ M dNTP, 10mM Tris-HCl, 40mM KCl, 1.5mM MgCl₂)에 1.0 μ l의 genomic DNA와 2.5 pmol의 primer를 첨가하여 총 반응액이 20 μ l/tube가 되게 하였다. PCR은 1차 (94 $^{\circ}$ C 5분 pre-reaction, denaturation 94 $^{\circ}$ C x 30초, annealing 52 $^{\circ}$ C x 1분, DNA extension 72 $^{\circ}$ C x 1분, 30 cycles), 2차 (94 $^{\circ}$ C 5분, 94 $^{\circ}$ C x 30초, 55 $^{\circ}$ C x 45초, 72 $^{\circ}$ C x 45초, 30 cycles)로 하였으며 PCR product는 1.2% agarose gel에 넣고 80 volts에서 전기영동 후 UV 하에서 관찰하여 바이러스 유전자 증폭 여부를 확인하였다.

5) 사육조건 및 사육관리

실험에 사용된 사육수조는 콘크리트 원형수조 (\varnothing 6 m, 28.26 m³)이며 사육수는 여과해수를 넣은 후 식물플랑크톤이 번식된 별도의 사육수를 추가 공급하여 축제식양식장의 농도와

비슷하도록 유지하고 (투명도 약 50 cm, 수심 1 m) 수조별 약 30개의 에어스톤을 시설하여 충분히 폭기시켰다. 본 실험과는 별도로 황복의 새우 포식행동을 관찰하기 위하여 투명한 사육수에서 황복과 새우를 수용하고 황복의 행동을 동영상으로 촬영하였다. 먹이는 새우전용 EP (protein 38%) 사료만 새우체중의 8%의 용량으로 하루 2회 공급하였으며 황복의 먹이는 별도로 공급하지 않았다.

6) 수질환경 조사

사육수의 수질환경 조사는 매일 수온, 용존산소, 염분, 투명도, pH, alkalinity, NH₃-N, NO₂-N를 측정하였으며, 일반수질항목은 portable 수질측정기 (YSI 85, U.S.A.)를, 영양염과 알칼리도는 간이수질분석키트 (Merck Co., Germany)를 이용하였다.

7) 생존율 조사

실험 종료시 건강새우(좌측미지 절단)와 감염새우(우측미지 절단)의 생존율을 미지로서 구분하여 각각의 생존율을 계산하였다.

나. 새우-황복의 복합사육 효과조사(2차 실험)

1) 실험구 및 실험기간

실험구는 4개로 구분하였다. Tank 1에는 건강새우만 1,200마리, tank 2에는 황복 15마리와 건강새우 1,200마리, tank 3에는 황복 15마리와 건강새우 800마리, 감염새우 400마리, tank 4에는 건강새우 400마리와 감염새우 800마리를 넣었다. 황복은 0.53마리/m², 새우는 42.5마리/m²의 밀도로 입식하였다(Table 9).

실험기간은 2006. 10. 25~11.1(8일간)이며 본 실험에 앞서 약 10일 동안에 걸쳐 사육수 물만들기를 조성하여 1주일간 동안 황복의 염분순치를 실시하였고, 3일 이전부터 건강새우의 인위적인 바이러스 감염을 실시하였다.

Table 9. Stocked number of shrimp and puffer

	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 4
Puffer	-	15	15	-
HHS	1,200	1,200	800	400
VIS	-	-	400	800

HHS, High health shrimp (바이러스 비감염새우); VIS, virus infected shrimp (바이러스 감염새우)

2) 실험생물

실험에 사용된 새우는 서해특성화연구센터에서 종묘생산, 양성된 흰다리새우(*L. vannamei*) (B.W. 0.62 ± 0.32 g, B.L. 39.28 ± 6.98 cm)로서 nested PCR을 통하여 흰반점바이러스(WSSV)에 비감염된 건강새우(HHS)를 사용하였으며, 감염새우(VIS)는 건강새우를 인위적으로 감염하여 사용하였다. 감염새우와 건강새우의 구분을 위하여 감염새우는 우측 미지를 일부 절단하였으며 건강새우는 좌측미지를 일부 절단하였다.

황복은 평균체중과 체장이 각각 11.60 ± 2.39 g, 73.87 ± 3.71 cm 크기의 당년생으로 실내수조에서 약 5개월간 저염분 조건(5‰)에서 사육된 개체이다. 본 실험을 위하여 1주일간에 걸쳐 별도의 수조에서 염분순치(5‰ → 32‰)를 실시하였다.

3) 실험새우의 바이러스 감염

감염새우는 1차 실험과 동일한 방법으로 건강새우를 인위적으로 WSSV에 감염시켜 실험에 사용하였다. 인위감염 3일 후의 새우는 광학현미경 하에서 갑각에 흰반점들이 관찰되었으며 흰반점바이러스 감염의 전형적인 증상들(활력저하, 체색변화 등)이 관찰되었다.

4) 사육조건, 수질환경 조사 및 생존율 조사

사육수조와 조건, 사육수의 투명도 유지, 먹이의 공급, 수질환경의 조사, 생존율의 조사는 1차 실험과 동일하였으며, 사육수의 수온유지를 위하여 각 수조별 1 KW 전기히터를 설치하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 황복에 의한 감염새우의 선택적 포식 효과 조사(1차 실험)

1) 새우의 바이러스 감염여부 조사

건강새우와 인위감염새우의 WSSV 감염 여부를 조사하기 위하여 광학현미경에 의한 갑각의 흰반점 형성을 관찰하였으며 genomic DNA를 추출하여 PCR을 실시하였다. 각각 10개체의 갑각을 관찰한 결과, 건강새우에서는 흰반점이 전혀 검출되지 않았으며 인위감염새우의 갑각에서는 10마리 중 8마리가 흰반점이 관찰되었다. PCR 결과는 건강새우의 경우 10개체 모두 negative로 나타났으며, 감염새우는 10개체 모두 positive로 나타나 확실하게 WSSV에 인위적으로 감염된 것이 확인되었다.

2) 사육수 수질환경

실험기간동안 사육수의 일반환경 및 영양염 농도는 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하였다. 수온은 23.2~25.8℃ 범위였으며, 염분농도는 31.2~31.9‰, 용존산소 농도는 6.0 mg/L 이상을 유지하였다. 비이온화 암모니아와 아질산염 농도는 거의 측정치 이하의 농도를 유지하였으며 pH는 8.8~9.0, 알칼리도는 120 mg/L 이상의 농도를 유지하였다(Table 10).

Table 10. Changes of selected parameters of water quality

Parameters	Tank 1	Tank 2	Tank 3
WT(℃)	23.3~25.7	23.3~25.7	23.3~25.8
Salinity(‰)	31.2~31.7	31.6~31.9	31.5~31.9
DO(mg/L)	6.60±0.46	6.39±0.37	6.59±0.47
TAN(mg/L)	0.1	0.1	0.1
NH ₃ -N(mg/L)	0.03	0.03	0.03
NO ₂ -N(mg/L)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
pH	9.0	9.0	8.8
Alkalinity(mg/L)	135	140	120



Fig. 6. Microscopic photo of white spots on carapace of WSSV infected shrimp (VIS).

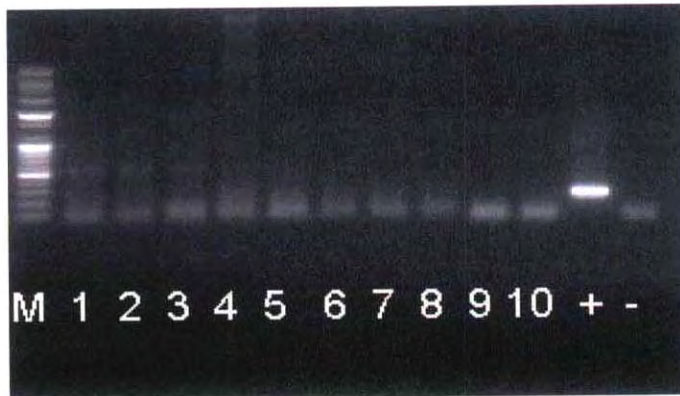


Fig. 7. Photo of gel electrophoresis with nested PCR products of WSSV non-infected shrimps (HHS).



Fig. 8. Photo of gel electrophoresis with nested PCR products of WSSV infected shrimps (VIS).

3) 새우의 생존율 비교

새우양식장과 비슷한 사육수 환경조건을 조성한 실내 원형수조에서 건강새우 바이러스 감염새우를 황복과 복합 혹은 단독으로 5일간 사육한 결과(Table 11), 황복은 100%의 생존율을 보였다(tank 2, 3). 건강새우 단독사육구의 새우생존율은 75%였으며 건강새우와 황복의 복합사육구(tank 2)에서의 새우생존율은 41%로서 새우 단독사육구에 비해 34% 포인트 낮게 나타나 황복에 의한 포식활동이 높은 것으로 조사되었다.

건강새우, 감염새우 및 황복의 복합사육구(tank 3)에서는 건강새우와 감염새우의 생존율은 각각 48%, 4%였다. 건강새우의 피식율은 황복+건강새우구(tank 2)의 41%에 비해 7% 높은 반면, 감염새우의 생존율은 4%로서 감염새우의 생존율에 비해 40%가 낮아 거의 대부분의 감염새우가 황복에 의해 포식된 것으로 나타났다.

Table 11. Survival rate (%) of shrimp and puffer

	Tank 1	Tank 2	Tank 3
Puffer	-	100	100
HHS	75	41	48
VIS	-	-	4

HHS, high health shrimp (바이러스 비감염새우); VIS, virus infected shrimp (바이러스 감염새우)

Table 12. Number of HHS and VIS shrimps predated by one puffer

	Tank 2	Tank 3
Predated No. of HHS	11.8	0.4
Predated No. of VIS	-	9.2
Predated total No. of shrimp	11.8	9.6

따라서 감염새우는 건강새우를 동일한 공간에 황복과 함께 사육할 경우 감염새우는 건강새우에 비해 황복에 의하여 포식될 확률이 크게 높은 것으로 나타났다.

실험기간동안 황복 1마리가 포식한 새우의 수는 tank 2와 3이 각각 11.8마리, 9.6마리로서 황복 1마리당 약 10마리 전후의 새우를 포식하였다. 그러나 건강새우와 감염새우를 함께 넣은 tank 3의 경우, 동 기간동안 건강새우는 0.2마리를 잡아먹은 반면, 감염새우는 9.2마리의 새우를 잡아먹었다(Table 12). 따라서 일정기간 동안 황복이 포식하는 새우의 수는 비슷하며, 활동이 둔화되는 새우(감염새우)가 함께 있을 경우, 이들 새우를 우선적으로 포식하는

것을 알 수 있다.

실험군과는 별도의 수조에서 황복의 새우 포식활동을 관찰한 결과 황복은 유영력이 떨어지는 약한 새우를 대부분 측면 혹은 후방에서 매우 신속한 동작으로 잡아먹는 것이 관찰되었다.

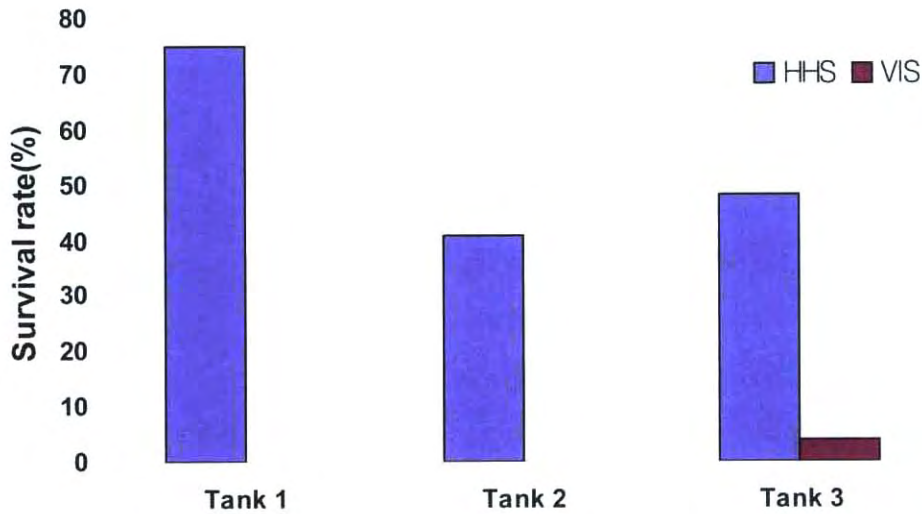


Fig. 9. Survival rate of shrimp and puffer. HHS, high health shrimp; VIS, virus infected shrimp.

나. 새우+황복의 복합사육 효과조사(2차 실험)

1) 사육수 수질환경

사육기간 동안의 사육수의 수질환경과 영양염 농도는 수온을 제외하고는 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하였다. 수온은 22.9~25.9℃의 범위로서 새우의 성장 적합수온인 25℃에는 약간 미치지 못하였으나 새우의 활동과 생존에는 영향을 주는 정도는 아니었다. 용존산소 농도는 전 기간 동안 6.0 mg/L 이상을 유지하였다. 비이온화 암모니아와 아질산염의 농도는 측정범위치 이하의 농도를 유지하였으며 pH 및 알칼리도도 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하였다(Table 13).

Table 13. Changes of selected parameters of water quality (2006. 10. 25~11. 1)

Parameters	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 4
WT (°C)	23.7~25.9	23.2~25.3	23.5~25.3	22.9~24.7
Salinity (‰)	32.8~34.2	32.5~33.2	33.4~34.0	33.0~33.7
DO (mg/L)	6.49±0.28	6.64±0.22	6.59±0.23	6.70±0.19
TAN (mg/L)	0.05±0.10	<0.01	0.18±0.13	<0.01
NH ₃ -N (mg/L)	0	0	0.01±0.01	0
NO ₂ -N (mg/L)	<0.01	<0.01	0.01	0.01
pH	8.0	8.0	8.0	8.0
Alkalinity (mg/L)	133.8±2.5	132.5±2.9	137.5±2.9	135.0±0.0

2) 새우의 생존율 비교 및 황복의 감염새우 포식효과

실험 시작과 종료시의 새우와 황복의 체중과 체장은 Table 14에 나타나 있다. 동 기간동안 새우의 평균체중은 0.62 g에서 0.99 g으로 약 60% 증가하였으며, 황복은 11.60 g에서 13.62 g으로 17.4% 증가하였다.

Table 14. Initial and final size of shrimp and puffer

Date	Shrimp		Puffer	
	B.L. (mm)	B.W. (g)	B.L. (mm)	B.W. (g)
10. 24	39.28±6.98	0.62±0.32	73.87±3.71	11.60±2.39
11. 1	46.15±6.55	0.99±0.46	79.89±4.68	13.62±1.57

실험기간 동안 황복을 넣은 tank 2와 3의 황복 생존율은 100%였다. 건강새우는 단독사육시(tank 1) 생존율은 93.3%였으며 황복을 넣지 않고 건강새우와 감염새우만을 사육할 경우(tank 4) 생존율은 각각 92.8%, 88.5%로 감염새우가 건강새우에 비해 4.3% 낮게 나타나 새우의 바이러스 인위감염 후 8일 동안에는 생존율은 약간 낮았지만 대량폐사는 발생하지는 않은 것으로 나타났다.

황복과 건강새우만을 함께 사육할 경우(tank 2) 새우의 생존율은 76.4%였다. 황복과 건강새우, 감염새우를 함께 사육할 경우(tank 3), 건강새우와 감염새우의 생존율은 각각 89.1%, 46.0%로서 건강새우에 비해 감염새우의 생존율이 43.1% 낮게 나타났다.

따라서 황복은 건강새우와 감염새우가 함께 사육될 경우, 정상적인 건강한 새우보다는 감염새우를 선택적으로 포식하는 것으로 나타났다.

이러한 경향은 황복 한 마리당 새우의 포식율을 보면 확실히 나타난다(Table 15, Fig. 10). 황복과 건강새우(1,200마리)를 함께 사육한 tank 2에서 황복 한 마리당 포식한 새우의 개체 수는 18.8마리였다. 그러나 건강새우(800마리)와 감염새우(400마리)를 함께 사육한 tank 3의 경우, 황복 한 마리가 포식한 새우의 총 수는 20.2마리로 tank 2의 18.8마리와 크게 차이가 나지는 않았지만, 동 기간동안 건강새우는 5.8마리, 감염새우는 14.4마리를 포식하여 감염새우에 대한 포식율이 현저하게 높은 것을 알 수 있다(Table 16). 더구나 건강새우의 수는 감염새우에 비해 2배가 높은 점을 고려하면 감염새우에 대한 황복의 포식율은 위의 결과보다 훨씬 높을 것으로 추정된다.

따라서 실험기간 동안 황복의 새우 포식율은 새우의 활력 여부와 관계없이 어느 정도 일정하지만, 건강한 새우와 감염된 새우가 공존할 경우 활력이 떨어지는 감염새우를 우선적으로 포식하는 것으로 조사되었다.

이상의 실험결과는 축제식 새우양식장에서 황복을 함께 입식할 경우 황복은 바이러스에 감염된 새우를 우선적으로 포식함으로써 감염새우를 선택적으로 제거시켜 주며, 이러한 황복의 활동으로 감염새우에 의한 바이러스 수평감염의 확산을 억제 혹은 지연시켜주는 효과를 가져오는 것으로 판단된다. 그러나 황복에 의한 새우의 과도한 포식활동을 방지하기 위해서는 향후 황복의 적정 크기와 밀도에 관한 연구와 황복의 새우사료 섭식정도 등에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

Table 15. Initial and final number, and survival rate of shrimp and puffer

Tank	Animal	Initial No.	Final No.	Survival (%)
1	HHS	1200	1119	93.3
2	Puffer	15	15	100.0
	HHS	1200	917	76.4
3	Puffer	15	15	100.0
	HHS	800	713	89.1
4	VIS	400	184	46.0
	HHS	400	371	92.8
	VIS	800	708	88.5

Table 16. Number of HHS and VIS shrimps predated by one puffer

	tank 2	tank 3
Predated No. of HHS	18.8	5.8
Predated No. of VIS	-	14.4
Total predated No. of shrimp	18.8	20.2

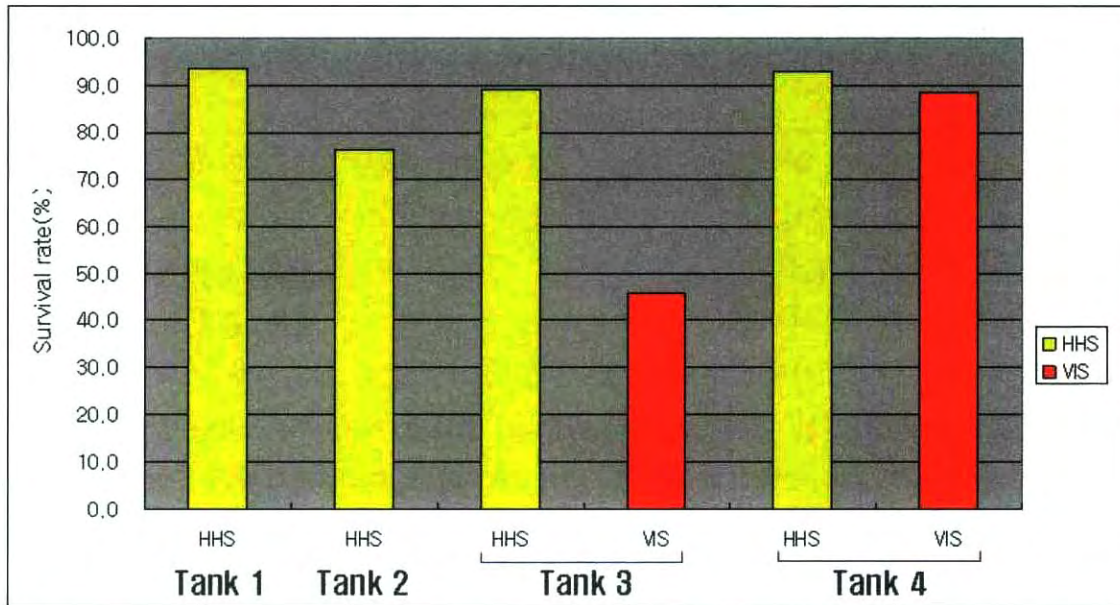


Fig. 10. Survival rate of shrimp and puffer. HHS, high health shrimp; VIS, virus infected shrimp.

3. 요약

가. 새우와 황복의 복합양식 효과를 조사하기 위하여 실내 원형수조 (28 m³)에서 건강새우, 바이러스감염새우를 황복과 복합 혹은 단독으로 5일간 사육하였다(1차 실험).

나. 황복의 생존율은 100%였으며, 건강새우 단독사육구는 75%, 건강새우와 황복의 복합사육구에서의 새우생존율은 41%였다.

다. 그러나 건강새우, 감염새우 및 황복의 복합사육구에서는 건강새우와 감염새우의 생존율은 각각 48%, 4%였다.

라. 따라서 감염새우는 건강새우에 비하여 황복에 의하여 선택적으로 포식될 확률이 매우 높은 것으로 조사되었다.

마. 별도의 수조에서 황복의 포식행동을 관찰한 결과, 황복은 활력이 약한 새우를 측면 혹은 후방에서 포식하는 것으로 나타났다

바. 축제식 양식장에서의 새우 입식초기 조건과 유사한 입식밀도 및 체중의 새우와 황복을 실내수조(28 m³)에 감염새우, 건강새우를 황복과 함께 사육하고 복합양식 효과를 조사하였다(2차 실험).

사. 사육수의 수질(수온, 용존산소, 염분, 투명도, pH, alkalinity, NH₃-N, NO₂-N)은 새우와 황복의 적정 성장범위를 유지하였다.

아. 황복의 생존율은 100%였으며, 건강새우 단독사육구의 생존율은 93.3%였다.

자. 건강새우 및 감염새우 단독사육구의 생존율은 각각 92.8%, 88.5%로 감염새우가 4.3% 낮게 나타나 감염후 8일 동안 대량폐사는 발생하지 않았다.

차. 황복과 건강새우 복합사육시 새우생존율은 76.4%였다.

카. 황복과 건강새우, 감염새우 복합사육시 건강새우와 감염새우 생존율은 각각 89.1%, 46.0%로서 감염새우가 43.1% 낮게 나타났다.

타. 따라서 황복은 정상새우와 감염새우가 함께 사육될 경우, 건강새우에 비해 감염새우의 선택적 포식율이 훨씬 높은 것으로 조사되었다.

하. 또한 동기간 동안 황복과 건강새우 혹은 건강새우, 감염새우구를 혼합하여 사육할 경우 황복 개체당 새우포식율은 18.8~20.2마리로 건강새우나 감염새우에 관계없이 일정한 양의 새우를 포식하는 것으로 나타났다.



Fig. 11. Juveniles of *L. vannamei* used in the experiment.



Fig. 12. Circular tanks of 28 m² in surface area.



Fig. 13. River puffer eating shrimp.



Fig. 14. Tank for observing predatory behavior of puffer.

제 3 절 실내 pilot 실험을 통한 어류+어류, 어류+새우 복합 양식 효과 조사

1. 재료 및 방법

실내 복합양식시험은 서해수산연구소 사육실험실 실내수조에서 2004년 9월 6일부터 11월 5일까지 2개월간 황복 단독(전장 7.9 ± 0.7 cm, 체중 10.9 ± 3.0 g), 넙치 단독(전장 13.6 ± 1.2 cm, 체중 21.6 ± 5.4 g), 대하 단독(전장 13.2 ± 0.9 cm, 체중 15.7 ± 2.9 g), 황복(전장 7.8 ± 0.8 cm, 체중 10.5 ± 3.6 g)-넙치(전장 13.8 ± 1.2 cm, 체중 22.7 ± 5.2 g), 황복(전장 8.0 ± 0.7 cm, 체중 11.9 ± 3.5 g)-대하(전장 13.4 ± 1.0 cm, 체중 15.6 ± 3.3 g)의 5개 실험구를 설정하여 1톤 FRP 사각수조를 이용하여 어종별 행동 및 생존율을 조사하였다. 성장은 10일 간격으로 체장(cm)과 체중(g)을 측정하였으며 생존율은 매일 확인하여 조사하였다.

2. 결과 및 고찰

서해수산연구소 실내 사육실험실(Fig. 15)에서의 2004년 9월 6일부터 11월 5일까지 2개월 동안 사육 수질환경은 수온이 $19.5 \pm 2.5^\circ\text{C}$ ($16.0 \sim 23.3^\circ\text{C}$), 염분 27.3 ± 1.6 ($26.7 \sim 28.5$), pH는 7.55 ± 0.15 ($7.23 \sim 7.75$), 용존산소는 5.21 ± 1.5 mg/L ($5.01 \sim 5.61$)이었다. 또한 사육실험실의 조도는 1,000 Lux 이하였다. 육상수조식 FRP 수조에서의 150마리/ m^3 의 사육밀도에서 각 품종별로 사육시험한 결과, 체중 10.5~11.9 g의 종묘를 이용한 황복단독구, 황복 복합실험구(넙치, 대하)에서 황복의 성장은 10월 중순이후 20°C 이하로 낮아져 성장은 저조하였으며, 각 실험구별 증중량은 황복 단독구가 평균체중 3.4 g, 황복(넙치) 복합실험구가 4.9 g, 황복(대하) 복합실험구가 3.4 g으로 큰 차이를 보이지는 않았으나 황복(넙치) 복합실험구에서의 황복 성장이 가장 양호하였다(Fig. 19). 체중이 15.6~15.7 g인 대하에 있어서는 대하 단독실험구, 대하(황복) 복합실험구에서의 성장은 섭식이 매우 불량하여 체중이 오히려 방양전보다 0.2 g 정도 감소하였으며, 황복과의 복합실험구에서는 시험개시 3일만에 90% 이상이 황복에 의해 포식되었으며 8일만에 전량 공식이 일어나 대하와의 복합양성은 일정한 규모의 도피 공간이 필요하였으며, 축제식과 달리 투명도가 높은 실내수조에서는 황복이 대하를 공식하는 현상이 높게 나타났다. 또한 황복의 크기에 비해 대하의 크기가 1.6배 정도 컸으나 황복치어의 공격력은 높게 나타났다. 넙치에 있어서는 체중 21.6~22.7 g의 종묘를 이용하여 시험한 결과, 단독실험구에는 32.5 g, 넙치(황복) 복합실험구에는 22.4 g으로 복합실험구보다는 단독실험구에서의 성장이 매우 양호하였다. 넙치와 황복 복합실험구에서는 황복치어에 비해 넙치시험어가 전장이 2배 정도 되어도 황복은 넙치를 공격하여 지느러미가 부식되기도 하였으며 심한 경우는 꼬리지느러미가 절단되었다(Figs. 16, 17).

황복 단독구에서 있어서도 상호간의 공식현상도 관찰되었다(Fig. 18). 2개월간 사육한 결과, 생존율은 황복 단독실험구에서 100%, 넙치 단독실험구 85.3±0.1%, 대하 단독실험구 18.7±2.4%, 황복(넙치) 복합실험구 97.3±3.7%, 넙치(황복) 복합실험구 84.0±3.8%, 황복(대하) 복합실험구 99.4±0.9%, 대하(황복) 복합실험구가 0%로 나타나 단독실험구가 복합양식 실험구에 비해 높은 생존율을 보였다(Fig. 20).

3. 요약



Fig 15. Tank for polyculture in indoor.

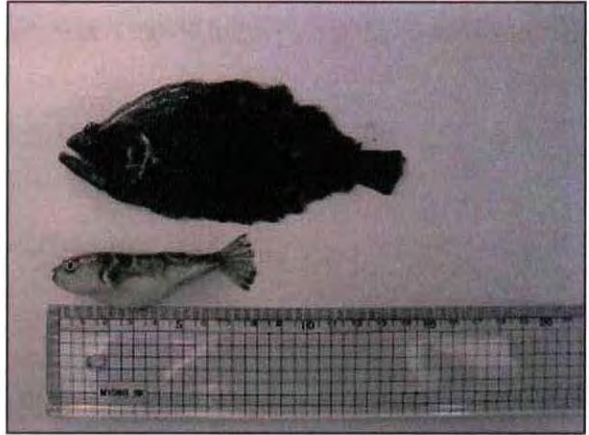


Fig 16. Outward appearance of fishes in polyculture with river puffer and flounder.



Fig 17. Fin comparison with polyculture with river puffer and monoculture with flounder.

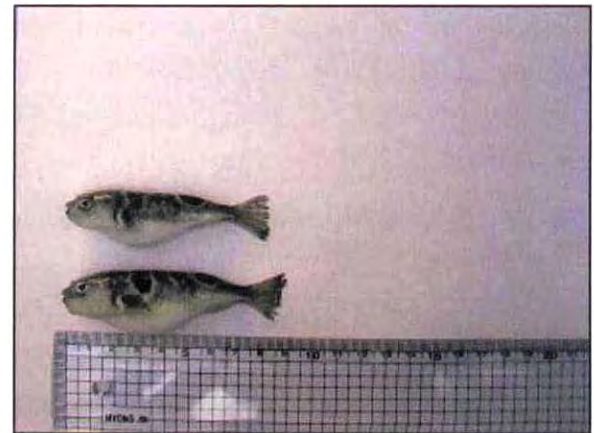


Fig 18. Cannibalism between river puffers.

가. 실내 pilot 수조에서 황복과 대하 성어의 복합사육시 투명도가 높을 경우 대하는 3일만에 황복에 포식되었으며, 8일째에 전량 포식으로 인해 폐사하였다.

나. 황복과 넙치의 복합사육에서도 소형의 황복이 대형의 넙치를 공격함으로써 황복은 공격성이 활발한 어류로 확인되었다.

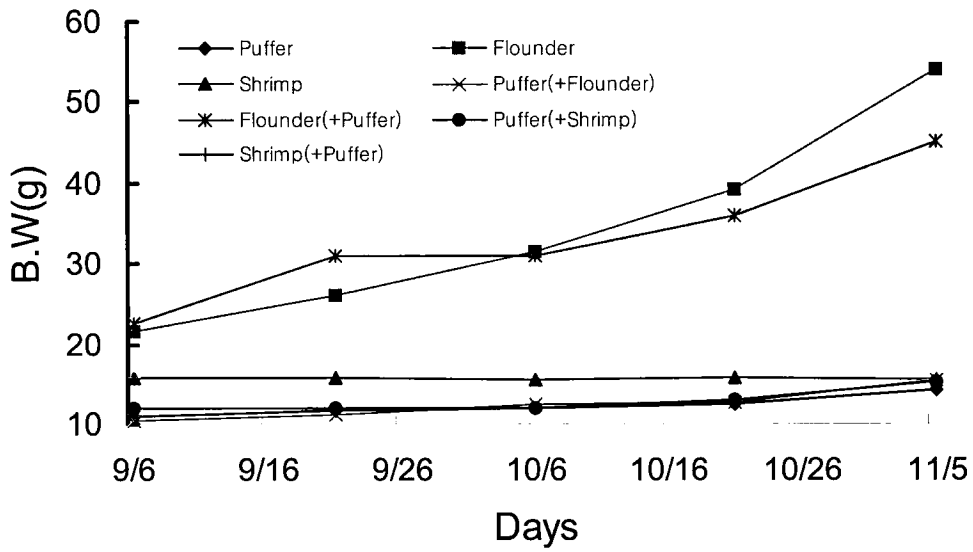


Fig 19. Changes of body weight according to polyculture and monoculture in indoor.

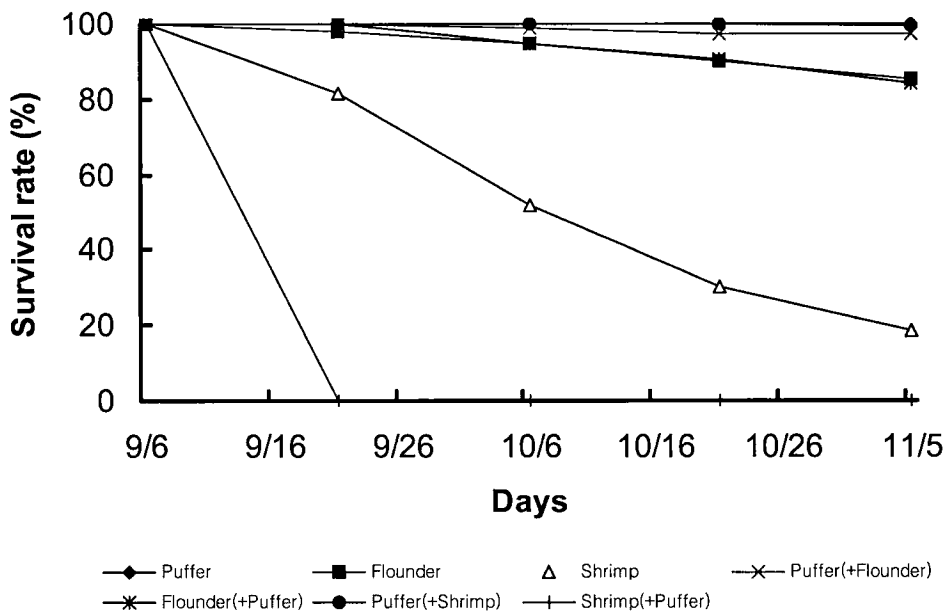


Fig 20. Changes of survival rate according to polyculture and monoculture in indoor.

제 4 절 복합양식 현장 적용실험

1. 재료 및 방법

새우(대하, 흰다리새우)와 황복의 복합양식 및 새우 단독양식의 효과를 조사하기 위하여 충남 태안군 소재 (주)SCF 부설 시험연구소의 축제식 양식장 4개 사육지를 이용하여 2005년 6월~9월에 걸쳐 다음과 같이 현장 사육시험을 실시하였다.

가. 시험사육지 준비

2005년 4월부터 트랙터 등 중장비를 이용하여 1,616~1,848 m² 크기의 4개 사육지 (pond 1~4)를 조성하고 저질을 제거한 후 제방을 정비(높이 1.8~2.0 m)하였다(Table 17). 사육지 조성 후 바닥을 건조시키고 5월 사육수(해수)를 수심 0.5 m로 취수한 후 사육수 내 바이러스 등 병원성 미생물과 바이러스 중간숙주를 죽이기 위하여 염소살포(최종 염소유효농도 50 ppm)를 하였다. 1차 염소 소독 2주일 후 다시 염소를 살포하여 2차 소독을 실시하였다. 종묘의 입식 전 사육수의 생태적 안정화를 위하여 유기비료(계분)를 각 사육지에 50 kg 씩 살포하여 식물플랑크톤을 번식시켰다.

산소공급과 사육수 교반을 위하여 4개의 사육지에 각각 paddle 형 수차(2Hp) 2대씩을 사육지 양측에 설치하였다.

Table 17. Summary of stocking information of cultured animals

	Pond 1		Pond 2	Pond 4		Pond 5
면적(m ²)	1,848		1,616	1,624		1,716
사육생물	흰다리새우	황복	흰다리새우	대하	황복	대하
입식량(마리)	85,000	400	70,000	40,000	400	52,000
입식밀도(마리/m ²)	46.9	0.22	43.4	24.6	0.25	30.3
종묘 체중(g)	0.0013	73	0.0013	0.054	73	0.054
입식일	6월 11일	7월 24일	6월 11일	6월 13일	7월 24일	6월 13일

나. 종묘입식 및 사육관리

1) 흰다리 실험구(pond 1, 2)

2005년 6월 11일 pond 1과 2에 흰다리새우 종묘(PL10기, BW 0.0013 g)를 각각

85,000(46.9마리/ m²), 70,000(43.4마리/ m²) 마리를 입식한 후 복합양식을 위하여 pond 1에는 2005년 7월 24일 황복 400마리(B.W. 50~167 g, 평균 73 g; B.L. 11.0~15.4 cm, 평균 13.2 cm)를 입식하였다(Table 17). 먹이로는 기본적으로 시판 새우용 EP 사료를 하루 3~4회(6~7월 4회, 8월 이후 3회) 공급하였으며, 황복 복합구에는 별도의 황복사료를 공급하지 않았다.

2) 대하 실험구(pond 4, 5)

2005년 6월 13일 pond 4과 5에 대하 종묘(평균 B.W. 0.054 g)를 각각 40,000(24.6마리/ m²)와 52,000(30.0마리/ m²) 마리를 입식한 후, 복합양식을 위하여 pond 4에는 2005년 7월 24일 pond 1에 입식된 것과 동일한 황복 400마리를 입식하였다. 먹이로는 대하실험구와 마찬가지로 새우용 EP 사료를 하루 3~4회 공급하였으며, 황복 복합구에는 별도의 황복사료를 공급하지 않았다.

다. 수질환경 조사 및 수질분석

1) 일반 수질환경 조사

사육수의 수온, pH, DO, 염분은 수질측정기(YSI 85 model, Yellow Springs Instrument, Ohio, U.S.A.)를 이용하여 매일 2회 (07:00, 14:00) 측정하였으며, 투명도는 14:00에 Secchi disc를 이용하여 cm 단위로 측정하였다.

2) 영양염류의 현장 측정

현장에서의 신속한 수질분석을 위하여 간이수질키트 (Merck Co., Germany)를 이용하여 NH₄-N, NO₂-N 및 alkalinity를 매주 1~2회씩 측정하였다. 본 현장측정 데이터는 양식관리를 위하여 사용하였으며, 보고서에는 기술하지 않았다.

3) 영양염류의 정밀분석

사육수 영양염류 변화의 정밀한 분석을 위하여 매주 1L씩 채수된 사육수는 실험실에 냉동보관 후 1개월 단위로 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라서 NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P를 분석하였다.

라. 새우 기생충성 질병조사

질병분석은 아가미의 기생충, detritus 및 갑각의 흰반점 형성 유무를 대상으로 조사하였다. 기생충 감염여부는 양식장별 새우 5마리를 그물 등으로 채집하여 실험실로 운반한 후 광학현미경을 이용하여 분석하였다. 아가미의 경우 5마리를 대상으로 사상균(filamentous bacteria), 섬모충류, 미세조류(microalgae), melanization 여부, 아가미 이물질 부착상태 등의 감염강도를 1~5단계로 구분하였으며, 갑각은 별도 분리하여 갑각의 흰반점 형성 강도로

서 구분하였다.

마. 성장률 및 생존율 조사

황복의 경우는 입식 전 및 최종 수확시에 전 개체의 체중 및 체장을 측정하였다. 새우는 입식 후 1주일 간격으로 사육지별 10마리 이상의 표본을 채집하여 전장 및 체중을 측정하였으며 최종 성장률은 사육지별 100마리 이상을 측정하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 양식장 수질환경 변화

1) 일반수질 변화

가) 수온

전 양식기간 동안 4개 사육지의 수온은 8월 초순 2일 정도의 고온현상으로 일시적으로 34℃로 상승된 시기 외에는 새우와 황복의 성장에 적합하게 유지되었다(Fig. 21). 흰다리새우가 입식된 pond 1, 2의 최저-최고 수온 범위는 21.3~34.2℃로 두개의 pond 모두 평균 27.5℃였다. 대하가 입식된 pond 4, 5의 최저-최고 수온 범위는 20.5~32.1℃로서 모두 평균 27.5℃로 나타났다.

나) 용존산소(DO) 농도

전 양식기간 동안 용존산소 농도의 범위는 5월 초순 pond 1에서 07:00 측정시 일시적으로 3.63 mg/L으로 저하된 것 외에는 용존산소 농도는 모두 최저 요구농도인 4 mg/L 이상으로 유지되었다. 전 기간 평균 용존산소 농도는 pond 1이 7.15 mg/L, pond 2는 7.03 mg/L, pond 3는 7.04 mg/L, pond 4는 7.57 mg/L으로 나타났다(Fig. 22).

다) 염분

염분농도는 전 사육기간 동안 17.0 이상을 유지하여 황복과 새우의 성장에 적합하였다(Fig. 23). 종묘입식 초기인 6월 초의 염분농도는 모두 31.3~32.0이었으나 양식기간 동안 서서히 저하되어 종료시기에는 17.0까지 낮아졌다. 전 사육지의 평균 염분은 24.7~25.7로 큰 차이를 보이지 않았다.

라) pH

4개 사육지의 최저, 최고 pH 변화는 7.6~8.8로 황복과 새우의 성장에 영향을 주지 않은 범위로 유지되었으며 6월 말 pond 1에서의 단기간 상승한 것을 제외하고는 전 기간 8.5 이

하를 유지하였다(Fig. 24). 4개 사육지의 평균 pH는 모두 8.1~8.2로서 사육지가 거의 차이가 나타나지 않고 안정되게 유지되었다.

마) 알칼리도

양식기간 중 전 사육지의 알칼리도 범위는 모두 100~150 ppm으로 황복과 새우의 성장에 적합하였다(Fig. 25). 각 사육지의 알칼리도 평균값은 125.7~129.6 ppm으로 사육지별 거의 차이가 없이 안정된 범위를 유지하였다.

바) 투명도

투명도(turbidity)는 양식기간에 따라 사육지별 차이가 크게 나타났다(Fig. 26). 입식 초기인 6월 동안 pond 1과 2는 투명도가 60 cm 이상을 유지하여 식물플랑크톤이 잘 형성되지 않았으나 pond 4와 5는 50cm 이하로 유지되어 식물플랑크톤이 어느 정도 번식된 상태에서 입식이 되었다. 6월 말~7월 초순으로 진행하면서 투명도는 점차 떨어져 pond 1과 2는 40 cm, pond 4와 5는 20 cm를 유지하였다. 이후 식물플랑크톤은 점차 안정되어 8월 중순까지는 모두 30 cm 전후로 유지되어 식물플랑크톤이 크게 번식한 상태가 지속되었다. 8월 중순 이후 투명도는 다소 떨어지면서 전 사육지가 모두 40 cm 전후로 유지되었다. 일반적으로 투명도가 20 cm 까지 저하되면 일일 용존산소 농도와 pH의 변화는 심하게 일어나며 종종 야간에는 식물플랑크톤의 과도한 호흡활동으로 인하여 새벽녘에 DO가 크게 떨어지지만 동일 기간동안 DO는 4 ppm 이하로 떨어지는 현상은 발생하지 않았다. 전 기간동안 투명도의 평균 농도는 pond 1과 2가 각각 43 cm, 40 cm였으며 pond 4와 5는 각각 30 cm, 31 cm로 나타났다.

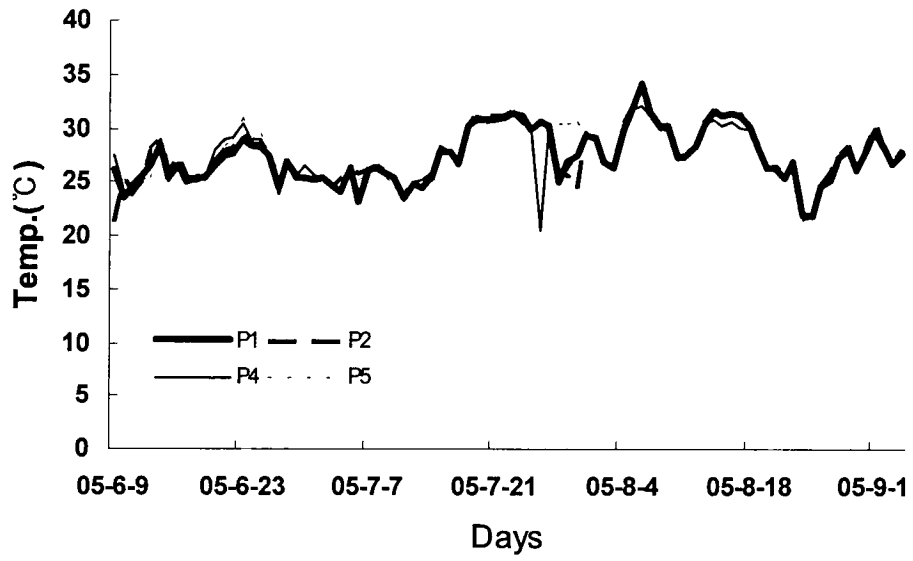


Fig. 21. Changes of water temperature in ponds 1-5.

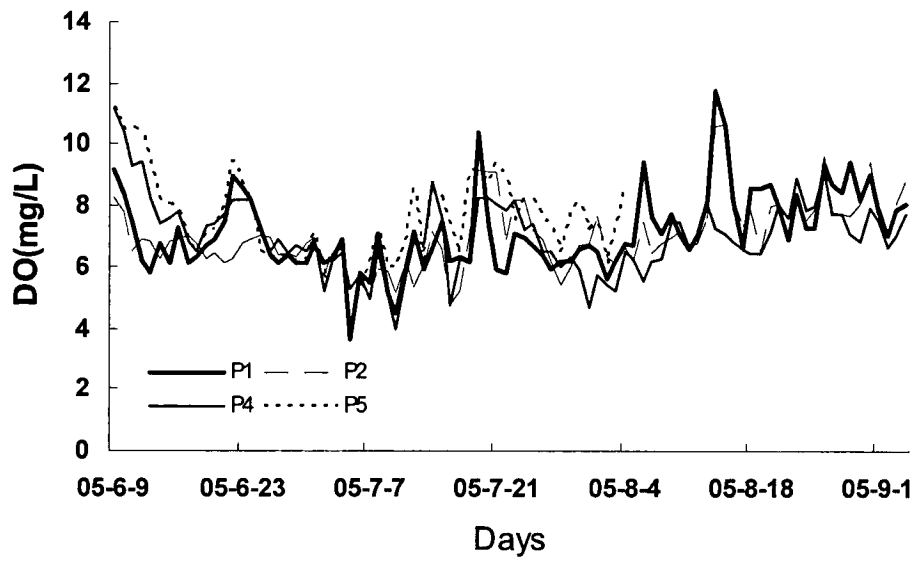


Fig 22. Changes of DO concentration in ponds 1-5.

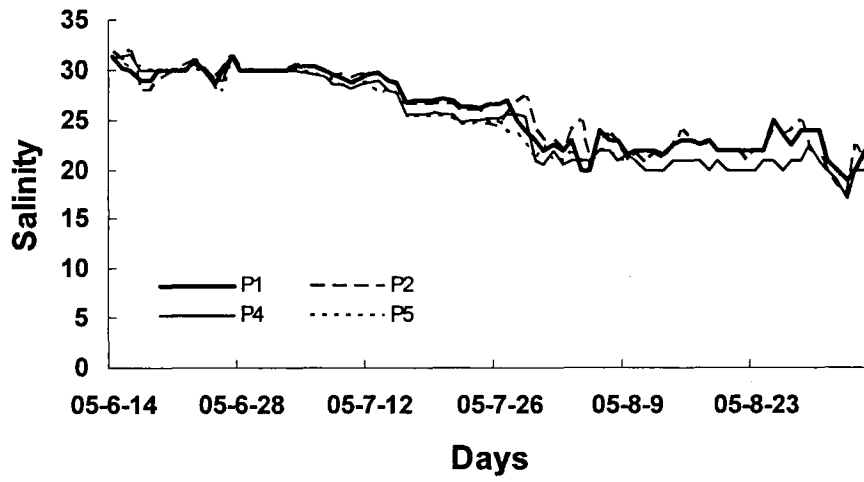


Fig. 23. Changes of salinity in ponds 1-5.

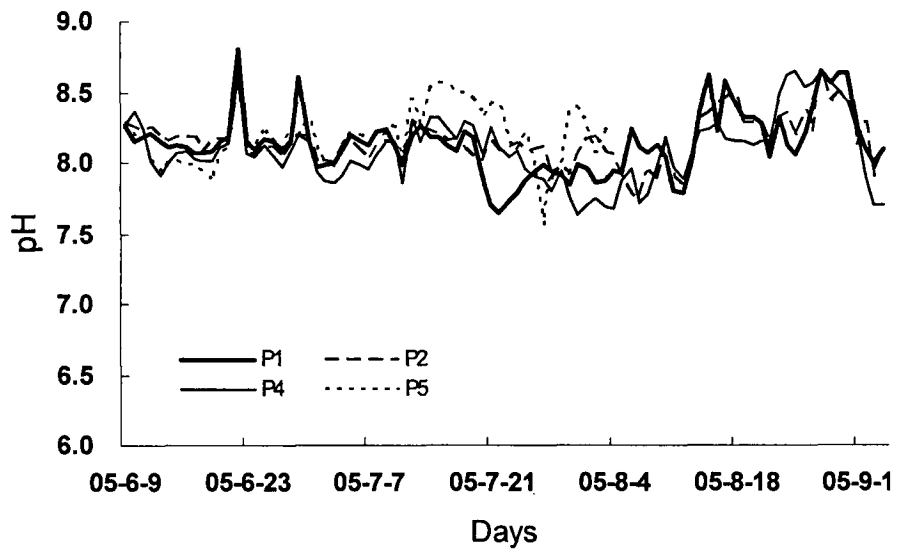


Fig. 24. Changes of pH in ponds 1-5.

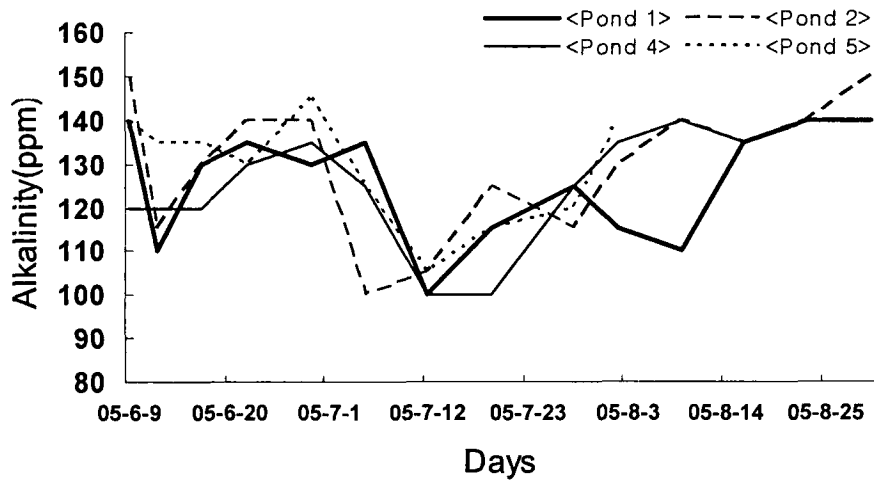


Fig. 25. Changes of alkalinity in ponds 1-5.

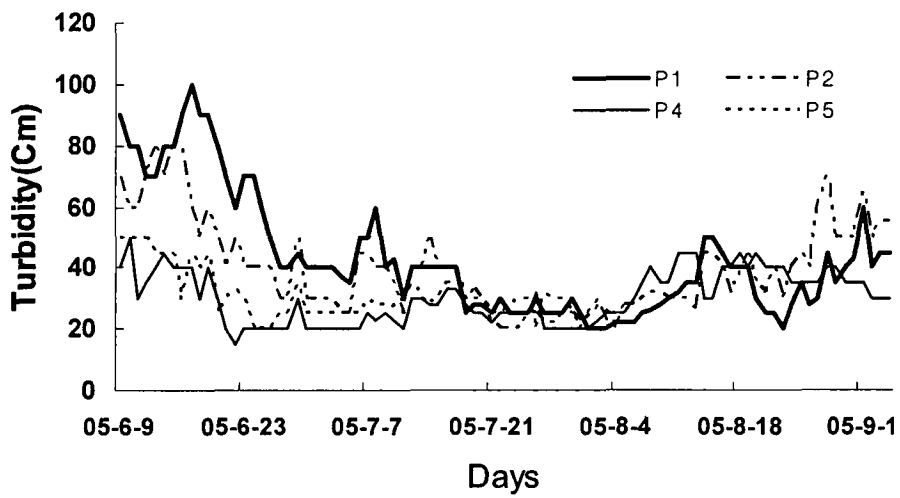


Fig. 26. Changes of turbidity in ponds 1-5.

2) 영양염 변화

가) 흰다리새우의 복합양식과 단독양식 비교시험

흰다리새우-황복 복합양식장(pond 1)과 흰다리새우 단독양식장(pond 2)의 사육수 중 총 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소 및 인산성 인의 농도변화는 Table 18 및 Figs. 27-30에 나타나있다. 총암모니아성 질소(TAN)의 경우, pond 1은 7월 중순부터 증가하기 시작하여 8월에 들어서서는 1.0 ppm 이상으로 높아져 8월 말에는 최고 1.46 ppm까지 증가하는 반면, pond 2는 양식후기까지 0.56 ppm을 초과하지 않았다. Pond 1과 2의 평균 암모니아성 질소 농도는 각각 0.37 ppm, 0.08 ppm으로 pond 1이 pond 2에 비해 4.6배 이상 높게 유지되었다. 아질산염의 농도도 총암모니아와 비슷한 양상을 보여주었다. Pond 1은 7월 중순까지 거의 변화를 보이지 않다가 7월 20일 이후 급격히 증가하여 8월 초순까지 0.1 ppm 이상을 유지하였다. Pond 2는 pond 1보다 늦은 8월 초부터 약간 높아져서 8월 17일 0.075 ppm을 정점으로 감소하였다. Pond 1과 2의 평균 아질산염 농도는 0.05 ppm, 0.02 ppm으로 새우에게 영향을 줄 정도의 농도는 아니었으며 pond 2는 pond 1에 비해 2.5배 높게 나타났다. 질산염 농도의 변화도 암모니아와 아질산염과 유사한 경향을 나타냈다. Pond 1의 경우 7월 20일 이후부터 0.1 ppm 이상을 증가하여 8월 9일에는 0.44 ppm으로 최고치를 보인 후에 점차 감소하였다. Pond 2에서는 8월 3일 1.0 ppm 이상으로 증가하여 8월 17일 0.36 ppm으로 최고치에 달한 후에 감소하였다. 전 기간 평균 질산염 농도는 pond 1과 2에서 각각 0.15 ppm, 0.09 ppm으로 pond 1이 pond 2에 비해 약 2배 정도 높게 나타났다.

인산염은 pond 1의 경우, 초기에는 낮은 농도로 유지되었으나 7월 27일부터 점차 증가하기 시작하여 8월 17일 0.43 ppm으로 최고치를 보인 후에 약간 감소하였다. Pond 2는 7월 6일까지 0.1 ppm 이상의 농도를 유지하다가 이후 점차 감소하는 경향을 보였다. 평균 인산염 농도는 질산염과 비슷하게 pond 1이 2에 비해 약 2배 높게 나타났다.

전반적으로 pond 1과 2의 영양염류(총암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소 및 인산성 인)의 농도 변화는 7월 중순 경부터 증가하기 시작하여 8월 초순-중순 경에 최고치를 보인 후에 점차 감소하는 경향을 보여주며 pond 1은 모든 항목에서 pond 2에 비해 최소 2배 이상 높은 것으로 나타났다.

Table 18. Comparison of nutrients concentration in ponds 1 and 2

구 분	TAN		NO ₂ -N		NO ₃ -N		PO ₄ -P	
	pond 1	pond 2	pond 1	pond 2	pond 1	pond 2	pond 1	pond 2
Min.	0.004	0.02	0	0	0.015	0.02	0.006	0.022
Max.	1.462	0.56	0.177	0.075	0.435	0.36	0.43	0.134
Mean	0.37	0.08	0.05	0.02	0.15	0.09	0.15	0.07

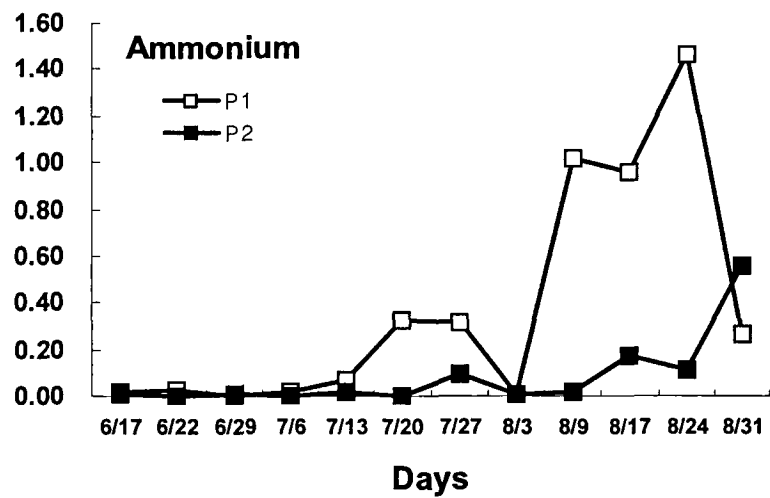


Fig. 27. Changes of TAN concentration in ponds 1 and 2.

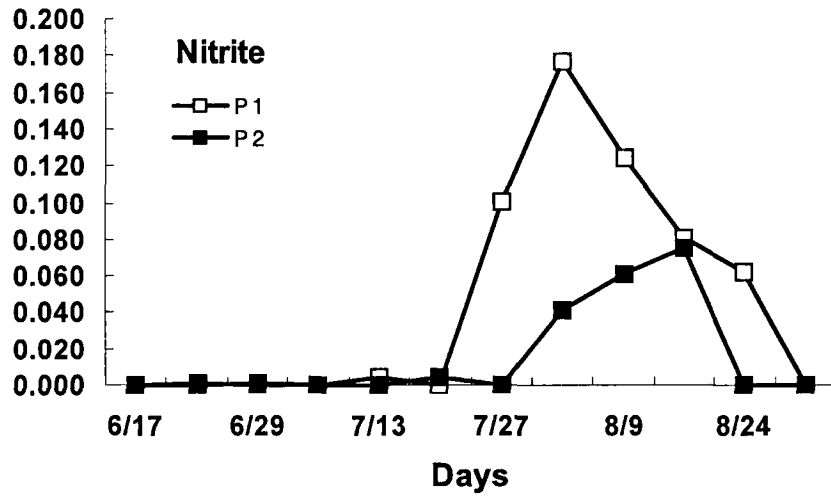


Fig. 28. Changes of nitrite concentration in ponds 1 and 2.

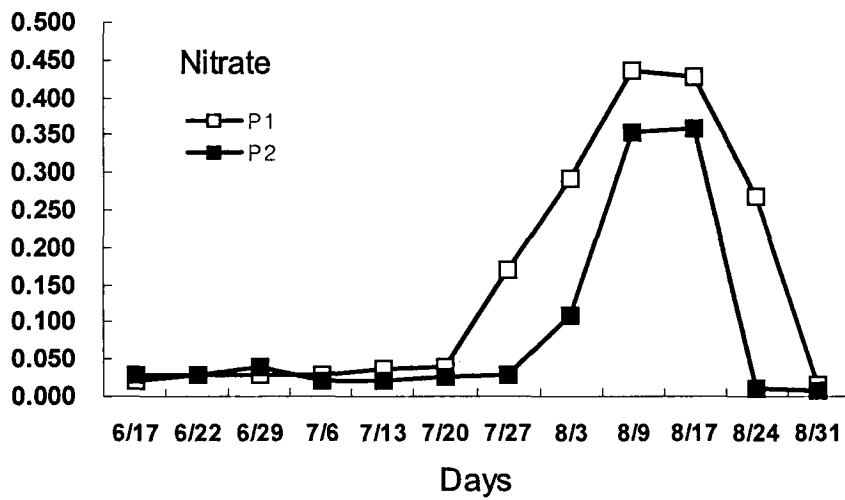


Fig. 29. Changes of nitrate concentration in ponds 1 and 2.

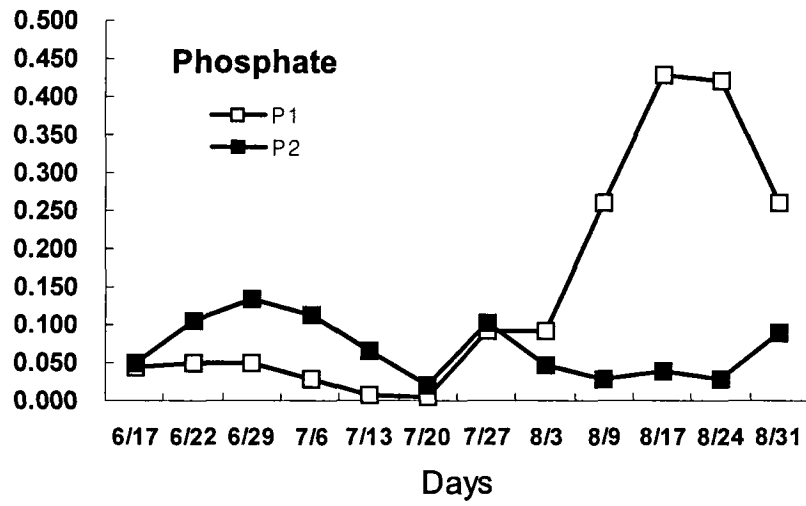


Fig. 30. Changes of phosphate concentration in ponds 1 and 2.

나) 대하의 복합양식과 단독양식 비교시험

Table 19. Comparison of nutrients concentration in ponds 4 and 5

구 분	TAN		NO ₂ -N		NO ₃ -N		PO ₄ -P	
	pond 4	pond 5	pond 4	pond 5	pond 4	pond 5	pond 4	pond 5
Min.	0.003	0.006	0	0	0.019	0.018	0	0.01
Max.	0.741	0.076	0.061	0.009	0.355	0.057	0.071	0.062
Mean	0.14	0.03	0.011	0.003	0.073	0.033	0.02	0.023

대하-황복 복합양식장(pond 4)과 대하 단독양식장(pond 5)의 사육수 중 총암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소 및 인산성 인의 농도변화는 Table 19 및 Figs. 31-34에 나타나있다.

총암모니아성 질소(TAN)의 농도는 전체적으로 낮은 수준을 유지하였으나 pond 4에서는 6월 22일 0.38 ppm, 7월 27일 0.74 ppm의 두 번의 상승이 있었다. Pond 5는 전체적으로 0.1 ppm 이하를 유지하였다. 전 기간 평균 총암모니아성 질소의 농도는 pond 4과 5가 각각 0.14 ppm, 0.03 ppm으로 pond 4가 pond 5에 비해 약 5배 높게 나타났다.

아질산성 질소의 농도는 전기간 0.1 ppm 이하의 낮은 농도를 유지되었으며 새우의 성장에 적합한 범위를 보였다. Pond 4와 5의 평균 농도는 각각 0.011 ppm, 0.003 ppm으로 모두 낮게 유지되었다.

질산성 질소는 pond 4에서는 8월 초순까지 낮은 농도를 유지하다가 8월 9일 0.35 ppm으로 상승된 것 외에는 전체적으로 낮은 농도를 유지하였다. Pond 5도 전기간 0.1 ppm 이하를 유지하였다. Pond 4와 5의 평균 질산염 농도는 0.073 ppm, 0.033 ppm으로 pond 4가 pond 5에 비해 약 2배 높게 나타났다.

인산염 농도를 pond 4와 5에서 전기간 0.1 ppm 이하를 유지하여 황복과 새우의 성장에 영향을 미치지 않은 것으로 조사되었다.

대하, 황복 복합양식장인 pond 4와 대하 단독양식장인 pond 5의 영양염 농도의 변화는 인산염을 제외하고는 pond 4가 pond 5에 비해 2-5배 높은 것으로 조사되었다. 질소화합물의 농도는 7월 중순까지는 대체로 낮은 농도를 유지하다가 7월 말 이후부터 상승하기 시작하여 8월 초순 보다 높아지는 경향을 보였지만 새우의 대량폐사로 양식이 중단되어 영양염이 가장 높아지는 8월 중하순의 농도는 조사되지 않았다. 전반적인 영양염 농도는 복합양식장에서 높게 나타나긴 했지만 황복과 새우의 성장에 영향을 미칠 정도로 나타나지는 않았다.

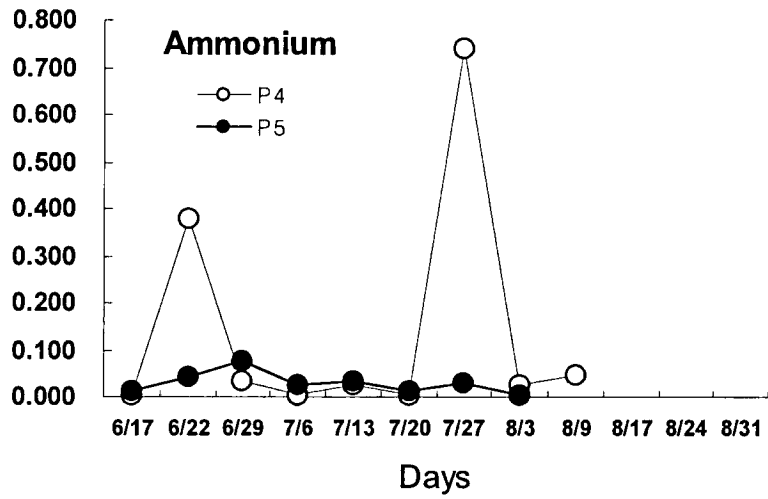


Fig. 31. Changes of TAN concentration in ponds 4 and 5.

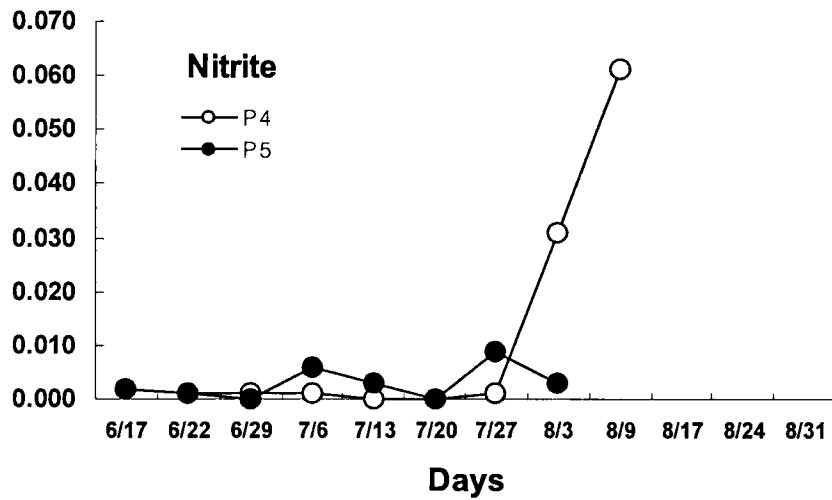


Fig. 32. Changes of nitrite concentration in ponds 4 and 5.

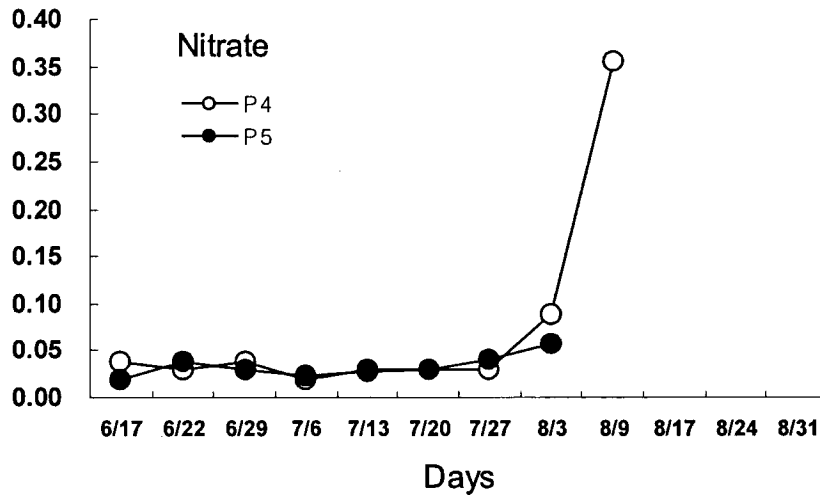


Fig. 33. Changes of nitrate concentration in ponds 4 and 5.

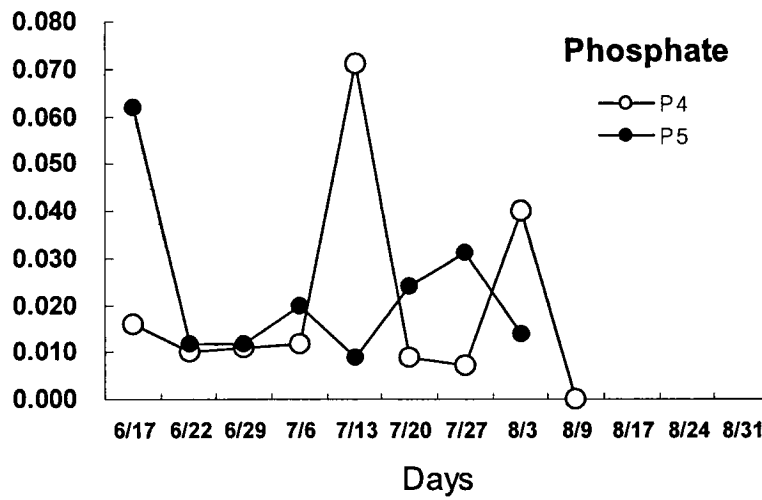


Fig. 34. Changes of phosphate concentration in ponds 4 and 5.

나. 새우의 질병조사

Table 20. Infection intensity of parasites on gill and white spots on carapace in shrimps

Date	Ponds	Bacteria	Melanized lesions	Stalked protozoans	Diatoms/algae	Detritus	White spot on carapace
Jul. 20	pond 1	0	0	1	0	0	0
	pond 2	0	0	3	0	0	0
	pond 4	0	1.0	4.5	0	0	0.2
	pond 5	0	0.2	0	0	0.2	1.2
Aug. 17	pond 1	0	0	0	0	0	1.2
	pond 2	0	0	0	0	0	0.4
	pond 4	-(폐사)	-	-	-	-	-
	pond 5	-(폐사)	-	-	-	-	-
Aug. 31	pond 1	0	0	0	0	1.0	1.0
	pond 2	0	0	0	0	1.0	0.2

※아가미 감염강도 : 0, 없음; 1=1-20%; 2=21-40%; 3=41-60%; 4=61-80%; 5=81-100%. 갑각흰반점 검출율 : 갑각에 대한 흰반점 점유 면적비율(감염강도)은 아가미와 동일

가) 아가미 기생충 감염강도

새우 아가미의 기생충 및 이물질의 부착과 갑각의 흰반점 형성율은 Table 20에 나타나있다. 조사된 모든 새우에서 아가미에 발생하는 부착성 세균 및 규조류 등은 전혀 관찰되지 않았다. 7월 20일 조사된 흰다리새우(pond 1과 2)의 아가미에서는 부착성 섬모충류가 각각 1, 3의 강도로 나타났으며 대하(pond 4와 5)에서는 각각 4.5와 0의 강도로 나타나 대하복합 양식장에서의 새우 아가미는 섬모충류에 심하게 감염되어 있는 것으로 조사되었다. 아가미의 세균 등 감염의 지표인 세사의 멜라닌화는 pond 4와 5에서 1.0, 0.2의 강도로 나타났으며 아가미의 쇄설물(detritus)는 pond 5에서 0.2의 강도로 나타나 대하가 흰다리새우에 비해 아가미의 기생충 등 건강상태가 크게 떨어지는 것으로 확인되었다.

8월 17일 조사된 흰다리새우의 아가미 관찰에서는 기생충과 이물질이 전혀 나타나지 않았다. 대하가 입식된 pond 4와 5는 각각 8월 9일, 8월 3일 흰반점바이러스로 인하여 대량폐사 되었다.

8월 31일 조사된 아가미 관찰의 경우, 흰다리새우는 양쪽 사육지 모두 detritus 만 1.0의 강도로 나타났다.

아가미의 기생충, 이물질 등의 감염강도는 건강도의 간접지표로 이용되어 현장에서 많이 활용되지만 이번 조사에서는 대하가 1회밖에 조사되지 않아 양쪽의 비교가 어려웠다. 흰다리새우의 경우도 두개의 사육지에서 큰 차이를 보이지는 않았다.

나) 갑각의 흰반점 발생강도

흰반점바이러스(WSSV) 감염의 간접지표로 이용되는 갑각의 흰반점무늬 발생강도는 Table 20에 나타나있다. 갑각의 흰반점(white spot)은 새우가 흰반점바이러스에 감염되어 세포가 괴사될 때 부산물이 갑각의 내측표면에 축적됨으로써 백색의 무늬가 형성되는데, 전형적으로 국화꽃과 같은 모양을 하고 있지만 바이러스가 급성으로 진행될 경우에는 살얼음 형태로 매우 불규칙한 구조를 보이기도 한다. 크기는 현미경적의 초기 단계에서 육안으로 식별이 가능한 크기까지 매우 다양하다. 흰반점이 형성된 새우는 모두 폐사하는 것은 아니며 바이러스증식이 억제되는 경우는 수확시까지 생존하기도 한다. 또한 흰반점이 없다고 해서 바이러스에 감염되지 않은 것이 아니며 급성으로 진행될 경우에는 반점형성 없이 폐사로 바로 이어지기도 한다.

7월 20일에 조사된 pond 1과 2의 흰다리새우에서는 흰반점이 관찰되지 않았지만 대하에서는 pond 4와 5에서 각각 0.2, 1.2의 강도로 나타나 이미 pond 5의 대하는 바이러스가 한참 증식하였음을 알 수 있다. 실제로 pond 5는 8월 3일 흰반점바이러스로 인하여 전량 폐사 되었으며, pond 4는 일주일 후에 대량폐사가 발생되었다. 이러한 경향으로 비추어 볼 때 pond 4와 5는 이미 7월 말경부터 바이러스가 한참 증식하여 사육지 내의 모든 대하에게 감염되었을 가능성이 높다. Pond 4가 pond 5에 비하여 폐사 시기가 늦고 폐사율이 낮은 이유는 pond 4에서 황복과의 복합양식 효과(황복에 의한 감염개체의 포식활동으로 수평감염이 저지되는 과정)에 의한 것이라는 추측은 가능하지만 직접적인 증거는 본 실험에서는 확실치 않다.

Pond 1과 2는 8월 17일 흰반점 발생강도가 각각 1.2, 0.4로 나타났는데, 이들 사육지에서는 이미 8월 중순경 흰반점바이러스 추정되는 증상으로 부분적인 폐사가 발생했었다. 8월 31일에는 pond 1과 2의 강도는 각각 1.0, 0.2로 나타났다.

다. 성장률 및 생존율

1) 흰다리새우-황복 복합양식과 흰다리새우 단독양식의 비교

흰다리새우와 황복의 복합양식(pond 1) 및 흰다리새우 단독양식(pond 2)의 결과와 흰다리새우 성장률 변화는 Table 21 및 Figs.35, 36에 나타나있다.

새우는 '05년 6월 11일 pond 1과 2에 각각 85,000(46.9마리/m²), 70,000(43.4마리/m²) 마리 입식하였으며 입식시 평균 체중은 0.0013 g으로 PL10~12기 크기이다. 복합양식을 위하여 pond 1에는 7월 24일 실내순환여과방식으로 생산된 1년산 황복(평균체중 73 g)을 400마리

입식하였다. 흰다리새우는 9월 14일까지 95일간 사육하였으며 pond 1에서의 총생산량은 401.5 kg으로 단위생산량은 0.22 kg/m²였다. 새우의 성장률(체장, 체중) 변화는 정상적인 성장곡선을 나타내었다(Figs. 35, 36). 그러나 8월 3일의 경우, 체장과 체중이 오히려 전 주에 비하여 감소하는 것으로 나타났는데 이것은 새우의 샘플에 문제가 있었던 것으로 추측된다. 새우의 수확시 평균 체중은 14.58 g이었으며 생존율은 52.5%였다. 황복은 9월 15일까지 53일 사육하였으며 총생산량은 47.6 kg이었다. 초기 400마리를 입식하여 368마리가 수확되어 생존율은 92%에 달했다.

흰다리새우만 단독양식한 pond 2에서는 최종 생산량이 210.3 kg였으며 단위생산량은 0.13 kg/m²로서 pond 1의 새우 단위생산량 0.22 kg/m²에 비해 약 0.1 kg/m² 낮은 것으로 나타났다. 생존율은 18.2%로서 pond 1의 생존율 32.4%에 비해 14.2% 낮았다.

Table 21. Summary of monoculture and polyculture with *L. vannamei* and river puffer

	Pond 1		Pond 2
	흰다리새우	황복	흰다리새우
사육생물	흰다리새우	황복	흰다리새우
입식량(마리)	85,000	400	70,000
입식밀도(마리/m ²)	46.9	0.22	43.4
종묘 체중(g)	0.0013	73.0	0.0013
수확시 체중(g)	14.58	129.4	16.51
총생산량(kg)	401.5	47.6	210.3
단위생산량(kg/m ²)	0.22	0.026	0.13
생존율(%)	32.4	92	18.2
입식일	6월 11일	7월 24일	6월 11일
수확일	9월14일	9월 15일	9월14일
양성기간	95일	53일	95일

Pond 1과 2의 새우 생존율은 각각 32.4%, 18.2%로서 일반적인 축제식 양식장의 정상수확시 예상생존율 50%에 크게 미치지 못한다. 또한 단위생산량도 각각 0.22 kg/m², 0.13 kg/m²로서 정상적인 생산량보다 작다. 이것은 8월 중순 경 양 사육지에서 부분적인 폐사현상이 발생한 것에 기인하는데, 폐사원인은 흰반점바이러스질병의 발병으로 추정된다. 일반적으로 대하의 경우는 흰반점바이러스 발병시 1주일 내에 거의 전량이 폐사되는 것에 비해 질병내성이 보다 강한 것으로 알려진 흰다리새우는 전량폐사로 이어지지 않는 것으로 판단된다. 이에 앞서 대하를 입식한 pond 4와 5에서 흰반점바이러스 발병으로 인한 대량폐사(pond 5는 8월 3일 전량폐사, pond 4는 8월 9일 대량폐사 발생)가 발생한 바 있으며, 이와

바로 인접한 pond 1과 2에 바이러스가 영향을 미친 것으로 판단된다.

황복과 함께 복합양식을 시도한 pond 1의 경우, 부분적인 폐사에도 불구하고 새우의 생존율은 32.4%로서 단독양식한 pond 2의 새우생존율 18.2%보다 14.2%가 높았으며 황복은 거의 폐사가 발생하지 않고 92%의 생존율을 나타냈다. 복합양식장의 새우 생존율이 높은 것은 황복에 의한 바이러스 발병새우의 포식활동과 관련이 있을 것으로 추측된다.

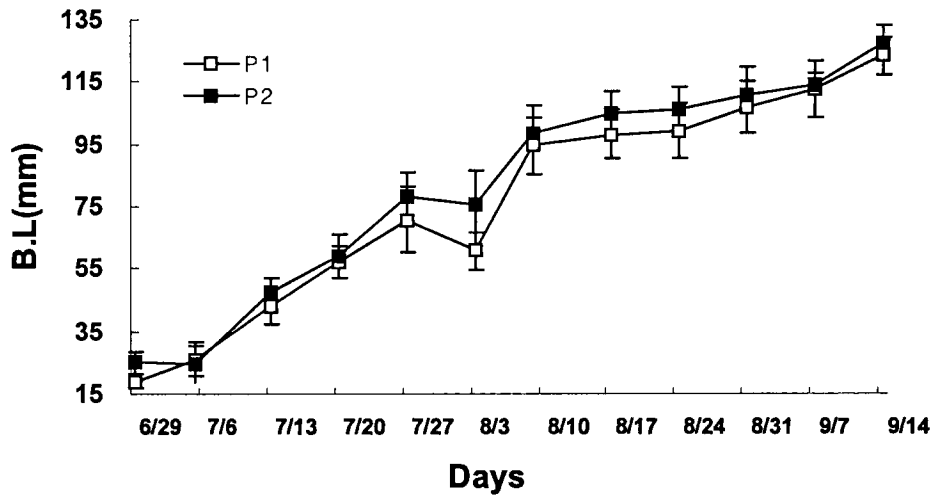


Fig. 35. Changes of *L. vannamei* body length cultured in ponds 1 and 2.

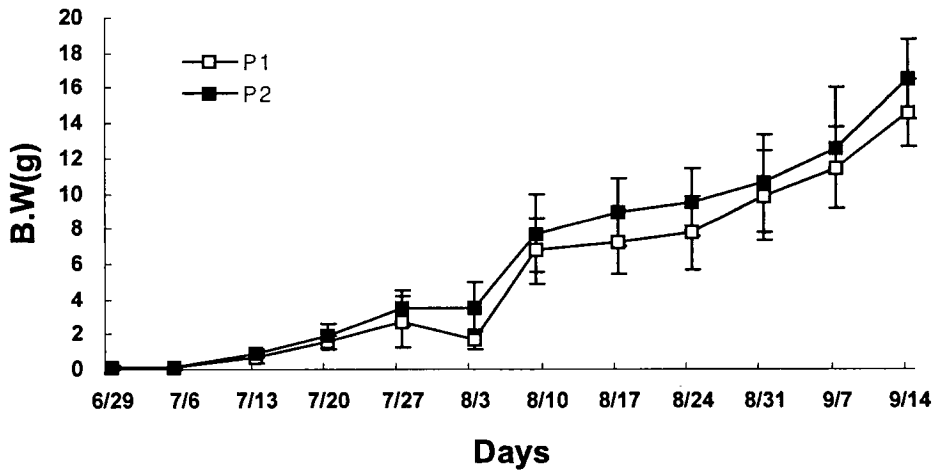


Fig. 36. Changes of *L. vannamei* body weight cultured in ponds 1 and 2.

2) 대하-황복 복합양식 및 대하 단독양식의 비교

대하와 황복의 복합양식(pond 4) 및 대하 단독양식(pond 5)의 결과와 대하의 성장률 변화는 Table 22 및 Fig. 37, Fig. 38에 나타나있다. 새우는 '05년 6월 13일 pond 4과 5에 각각 40,000(26.4마리/m²), 52,000(30.3마리/m²) 마리 입식하였으며 입식시 평균 체중은 0.054g이었다. 복합양식을 위하여 pond 4에는 7월 24일 실내순환여과방식으로 생산된 1년산 황복(평균체중 73g)을 400마리 입식하였다.

단독양식장인 pond 5의 대하는 7월 말부터 일부 폐사개체가 발견되기 시작하였으며 8월 3일 대부분의 새우가 폐사하였다. 소수의 생존개체를 채집하여 측정된 평균 체중은 4.17g이었다. 복합양식장인 pond 4는 pond 5에 비해 약 1주일 늦게 동일한 대량폐사가 발생하여 대부분의 새우가 폐사되었으며, 최종 7kg만이 수확되어 생존율은 4.0%에 불과하였다. Pond 4에 함께 입식한 황복은 대하의 대량폐사 이후에도 계속 방치한 후 9월 25일 수확하였는데, 생존율은 58.5%로서 pond 1의 황복생존율 92%에 비해 크게 낮았다.

흰다리새우와 달리 대하는 흰반점바이러스 발병시 수일 내에 거의 대부분이 폐사를 하는데, 이러한 경향은 흰반점바이러스가 발생한 pond 1, 2에서는 흰다리새우 생존율이 32.4%, 18.2%에 달한 반면 pond 5에서는 전량의 새우가 폐사한 현상에서도 알 수 있다. 그러나 황복과 함께 양식한 pond 4의 경우, 일부의 새우(7kg)가 수확되었는데 이것은 흰반점바이러스 발병에서도 살아 남는 새우를 의미하는 것이라기 보다는 전량폐사 이전에 새우를 수확하였기 때문으로 판단된다. Pond 4가 pond 5에 비해 대량폐사 현상이 늦게 발생 혹은 진행되는 것은 황복에 의한 바이러스감염새우의 포식활동에 기인할 가능성이 높다.

Table 22. Summary of monoculture and polyculture in ponds 4 and 5 cultured with *F. chinensis* and river puffer

사육생물	Pond 4		Pond 5
	대하	황복	대하
입식량(마리)	40,000	400	52,000
입식밀도(마리/m ²)	24.6	0.25	30.3
종묘 체중(g)	0.054	73.0	0.054
수확시 체중(g)	4.38	140.5	4.17
총생산량(kg)	7	32.88	-
단위생산량(kg/m ²)	-	0.020	-
생존율(%)	4.0	58.5	-
입식일	6월 13일	7월 24일	6월 13일
수확일	8월9일(폐사)	9월 25일	8월3일(폐사)
양성기간	58일	53일	52일

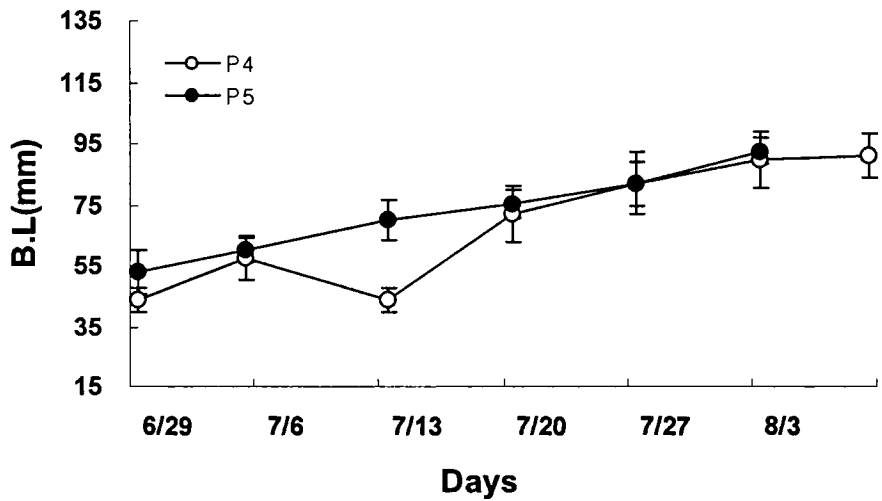


Fig. 37. Changes of *F. chinensis* body length cultured in ponds 4 and 5.

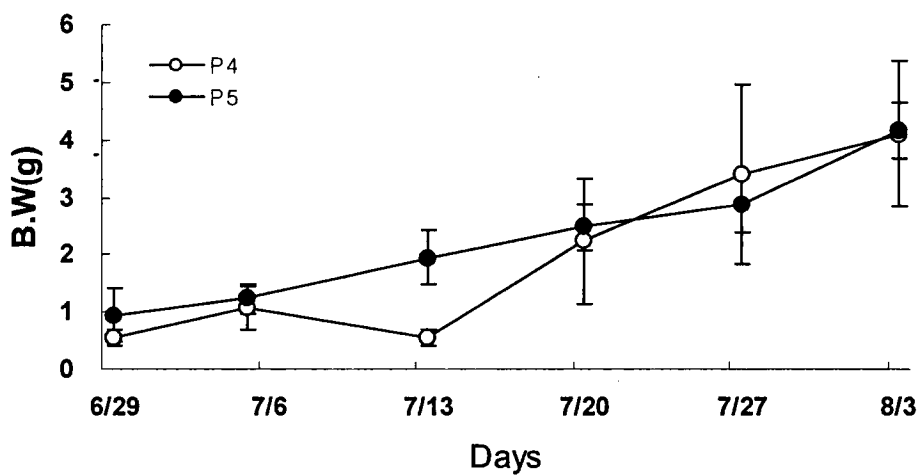


Fig. 38. Changes of *F. chinensis* body weight cultured in ponds 4 and 5.

라. 복합양식과 단독양식의 생산성 비교

바이러스질병 발병시 흰다리새우는 황복과 복합양식할 경우 단독양식에 비해 유리하게 작용하지만 대하는 단독양식과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 23. Comparison of monoculture and polyculture

	Pond 1		Pond 2	Pond 4		Pond 5
사육생물	흰다리새우	황복	흰다리새우	대하	황복	대하
수확시 체중(g)	14.58	129.4	16.51	4.38	140.5	4.17
총생산량(kg)	401.5	47.62	210.3	7	32.88	0
단위생산량(kg/m ²)	0.22	0.026	0.13	0	0.020	0
생존율(%)	32.4	92	18.2	4.0	58.5	0
비 고	8월 중순 부분폐사		8월 중순 부분폐사	58일째 대량폐사		52일째 대량폐사

대하를 입식한 pond 4와 5의 경우, pond 5는 52일째 바이러스 발병으로 전량 폐사하였으며 pond 4는 58일 대량폐사 후 새우 생존율은 4%로 나타났다. 그러나 pond 4의 새우는 완전 폐사가 진행되기 전에 수확을 하였기 때문에 약간의 생존개체들이 남아있는 것일 뿐이며 pond 5의 경우와 마찬가지로 전량폐사의 가능성이 높다. 다만 본 실험의 결과로부터 추정할 수 있는 것은 바이러스 발병시 폐사의 진행은 pond 4에서 1주일 이상 늦게 진행되었는데, 이것은 바이러스 질병이 발병하여 행동이 느린 새우를 황복이 활발하게 포식함으로써 새우 개체간 공식에 의한 수평감염을 약간 억제하는 것으로 추정할 수 있다. 특히 대하는 흰다리새우에 비해 공식현상이 강하여 바이러스와 같은 질병이 사육지 내에서 빠르게 전염될 가능성이 높다.

반면에 흰다리새우는 바이러스 발병시 황복과의 복합양식이 새우 단독양식에 비해 생존율이 높은 것으로 나타났다. Pond 1과 2는 pond 4와 5에서 바이러스로 인한 대량폐사가 발생 1주일 후인 8월 중순에 바이러스 발병으로 의심되는 새우의 폐사 현상이 현저하게 발생하였다. 그러나 pond 1과 2에서의 새우의 최종 생존율은 32.4%, 18.2%으로 대하양식장에 비해 현저히 많은 새우가 생존하였으며, 복합양식장인 pond 1은 pond 2에 비해 14.2%가 높게 나타났다. 특히 pond 1에서는 황복의 생존율도 92%로 높았으며 황복의 활동력도 pond 4에 비해 좋았던 것으로 추측할 수 있다. 이러한 황복의 활발한 활동력은 바이러스가 발병하여 활동이 저하된 흰다리새우를 왕성하게 포식하여 바이러스 수평감염의 속도를 억제한 것으로 추측된다.

또한 흰다리새우는 대하에 비해 질병내성이 높은 것으로 알려져 있는데 이러한 사실은 대하 단독양식구인 pond 5는 전량 폐사한 반면, 흰다리새우 단독구인 pond 2에서는 18.2%의 새우가 생존한 것으로 알 수 있다.

3. 요약

가. 황복에 의한 새우 바이러스질병 억제효과를 조사하기 위하여 2005년 6월~9월에 걸쳐 축제식 양식장 4개 사육지를 이용하여 새우(흰다리새우, 대하)와 황복의 복합양식 및 단독양식을 비교하는 사육시험을 실시하였다.

나. 복합양식장과 단독양식장의 일반 수질환경(수온, DO, pH, 알칼리도, 투명도) 및 영양염(TAN, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-N) 농도는 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하였으며, 복합양식장(대하, 흰다리새우)은 단독양식장에 비해 영양염 농도는 2~5배 높은 것으로 조사되었다.

다. 대하 단독양식장은 흰반점바이러스발병으로 인하여 52일째 전량 폐사하였으며, 대하-황복 복합양식장은 58일째 대량폐사가 발생하여 조기수확한 결과 생존율이 4%로 조사되어 대하 단독양식에 비해 황복을 복합양식할 경우 바이러스발병이 약간 지연 혹은 억제되는 것으로 나타났다.

라. 흰다리새우-황복 복합양식장과 흰다리새우 단독양식장은 최종 생존율이 각각 32.4%, 18.2%였으며 단위생산량은 0.22 kg/m², 0.13 kg/m²로 조사되어, 흰다리새우는 황복과 복합양식할 경우 단독양식에 비해 생존율은 78%, 생산량은 69.2% 높은 것으로 나타났으며, 황복은 바이러스 감염 흰다리새우를 활발히 포식함으로써 새우의 바이러스 수평감염을 억제해주는 효과가 있는 것으로 조사되었다.



Fig. 39. Net for capturing crabs.



Fig. 40. Outdoor ponds for implementation experiment of polyculture.



Fig. 41. Net for controlling crabs.



Fig. 42. Can for capturing crabs.



Fig. 43. Harvest of puffers in polyculture pond.



Fig. 44. Virus infected shrimp (above) and normal shrimp (below).



Fig. 45. Harvest of shrimps.



Fig. 46. River puffer harvested from polyculture ponds.



Fig. 47. Dead shrimp due to WSSV infection.



Fig. 48. White spots on carapace of severely virus-infected shrimp.



Fig. 49. Harvested *L. vannamei*.



Fig. 50. Adult of *L. vannamei*.

제 5 절 축제식 복합양식 상업적 현장 적용실험

새우(흰다리새우)와 황복, 가무락의 복합양식 및 새우 단독양식의 효과를 조사하기 위하여 충남 태안군, 서산시 소재 축제식 양식장 5개 사육지를 이용하여 2006년 5~11월까지 5개월에 걸쳐 다음과 같이 현장 사육시험을 실시하였다.

1. 재료 및 방법

가. 시험사육지

2006년 4월부터 사육지를 조성, 정비한 후 바닥을 건조시키고, 5월 사육수(해수)를 수심 0.5 m로 취수한 후, 염소소독(최종 염소유효농도 50 ppm)을 실시하였다. 산소공급과 사육수 교반을 위하여 4개의 대형 사육지(13,000~16,500 m²)에 각각 paddle 형 수차(2HP) 4대씩을, 소형 사육지(2,600 m²)에는 2대를 각각 설치하였다.

나. 종묘입식 및 사육관리

1) 흰다리새우

종묘는 본 시험양식장에서 자체 생산한 종묘로 2006년 6월 15일에 평균체중 0.0097 g의 종묘를 서산 독곶리에는 각각 500,000(38.5마리/m²), 오지리에는 600,000(36.4마리/m²)마리를 입식한 후 복합양식(가무락, 황복)과 단독양식을 실시하였다. 먹이는 새우용 EP 사료를 하루 3~4회(6~7월 4회, 8월 이후 3회) 공급하였다(Table 26).

2) 대하

종묘는 시험양식장에서 자체 생산한 것으로 평균체중은 0.0187 g이었으며, 태안 시험어장에서 6월 15일에 황복과 복합양식을 실시하였다. 먹이는 새우용 EP 사료를 하루 3~4회(5~7월 4회, 8월 이후 3회) 공급하였다.

3) 황복

서산 오지리 복합양식 시험에 사용된 황복은 전북 부안군 민간배양장에서 생산된 부화 후 2개월된 인공종묘(평균체중 0.52 g)였으며, 7월 20일에 축제식 복합양식 사육지에 방양하였다. 태안의 복합양식에 사용된 황복은 축제식 비닐하우스 월동장에서 월동 후 취양한 종묘(평균체중 13.0 g)를 5월 8일에 방양하여 이용하였으며, 새우 섭식을 관찰하기 위한 위 내용물과 바이러스 검사를 실시하였다. 먹이는 오지리 시험어장은 넙치용 EP 사료를, 태안 시험어장은 넙치용 침강사료를 하루 2회 공급하였다.

4) 가무락

패류인 가무락 종묘는 인천 송도의 갯벌 마을어장에서 사육중인 자연산 개체(평균체중 19.1g)로 6월 2일 활어차로 운반하여 시험사육지의 제방을 기준으로 4m 이내의 주변에 끌고루 방양하였으며, 방양 후 30분 내에 사육지 저면에 모두 잠입하였다(Fig. 51).

5) 사육수 관리

시험어장의 사육수는 실험 시작시에는 모두 자연해수를 이용하여 월 2회 환수하였으며, 서산 독곶리 시험어장은 7월 중순부터 지하수를 매일 100~150톤 정도로 사육지에 주입하였다. 또한 서산 독곶리의 복합양식 및 단독양식 실험구에는 8월 초순부터 9월말까지 수질을 안정시키기 위해 당밀을 1일 20L씩 공급하였다.

다. 수질환경 및 영양염류 조사

1) 사육수 수질환경

사육수의 일반 수질환경은 수온, DO, 염분은 수질측정기(YSI 85 model, Yellow Springs Instrument, Ohio, U.S.A.)를, pH는 pH Meter를 이용하여 측정하였다.

2) 영양염류 분석

영양염류 변화의 정밀한 분석을 위하여 2주 간격으로 1L씩 채수된 사육수를 실험실에 냉동보관 후 1개월 단위로 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1999)에 따라서 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$; $\text{PO}_4\text{-P}$ 등을 분석하였다.

라. 축제식 양식장 저질 입도 및 퇴적물 분석

1) 저질 입도 분석

퇴적물의 유기물이 완전히 제거될 때까지 10% 과산화수소수를 첨가하였으며, 잔류하는 과산화수소수는 100℃ 이상으로 가열하여 증발시킨 후, 3회 이상 증류수로 희석하여 퇴적물내의 염분을 제거하였다. 처리된 시료는 63 μm 의 표준체로 거른 후(습식 체질법), 체에 걸린 사질퇴적물은 건조하여 표준체로 분리(건식 체질법)하여 중량을 측정하였다(Ingram, 1971). 모래보다 큰 입도의 퇴적물 중 패각의 형태가 남아있는 패각파편은 분리하여 입도 분석에서 제외시켰다. 63 μm 의 표준체를 통과한 니질퇴적물은 환산제(sodium hexameta-phosphate)를 0.5% 첨가한 후 피펫법으로 분석하였다. 또한, 각 입도 구간별로 측정된 자료는 통계처리(Momentum methods)하여 평균 입도와 분급도 등을 계산하였으며, Folk (1954)의 분류에 따라 퇴적물의 종류를 결정하였다.

2) 퇴적물 분석

축제식 양식장의 퇴적물 분석은 실험 사육지를 대상으로 2주 간격으로 저질의 채취하여 COD 정량은 알칼리성 과망간산칼륨방법, 감열감량 정량은 강열감량법, 퇴적물 함수를 계산은 퇴적물의 건조 전 무게와 건조 후 무게 차이에 의해 측정하였으며, 퇴적물 황화물(AVS) 정량은 황검지관법을 이용하였다.

마. 성장 및 생존율 조사

황복의 경우는 입식시부터 매월 1개월 간격으로 투망으로 30마리씩 무작위 채집하여 전장, 체장 및 체중을 측정하였다. 새우는 입식 후부터 2주일 간격으로 사육지별 20마리 이상의 표본을 채집하여 전장 및 체중을 측정하였으며 최종 성장률은 사육지별 100마리 이상을 측정하였다.

바. 황복의 장 내용물 및 바이러스 감염 조사

충남 태안의 황복-대하의 축제식 복합양식장에서 황복이 바이러스성 질병 감염새우를 실제로 포식하는지 조사하기 위하여 투망을 이용하여 2006년 8월 9일부터 10월 11일까지 3개월동안 10마리씩 3회 시료를 조사하였다. 채포한 황복의 평균전장과 평균체중을 조사하였고 채집 즉시 해부하여 소화가 진행되지 않도록 장을 적출하여 100% ethanol에 고정 후 해부 현미경하에서 새우 등 먹이생물을 조사하였다.

또한 황복과 말뚝망둥어의 위 내용물에서 새우관련 육질이 관찰된 9개 시료의 WSSV 감염 여부를 조사하기 위하여 genomic DNA를 추출하여 PCR을 실시하였다.

사. 새우의 바이러스 질병 조사

축제식 복합양식 및 단독양식시 새우의 바이러스 질병 감염 유무를 조사하기 위하여 사육지별로 실험 개시일(5개 시험어장)과 종료일(4어장)의 5마리 시료를 각각 PCR 분석하였다. 분석은 흰반점바이러스(WSSV)와 간체장바이러스(HPV)를 조사하였다.



Fig. 51. Stocking and infiltration of *C. sinensis* with shrimp in polyculture pond.

2. 결과 및 고찰

가. 양식장 수질환경 변화

1) 일반수질 변화

전 양식기간 동안 5개 사육지의 수온은 8월 초순 2일 정도의 고온현상이 일시적으로 31℃ 이상으로 상승된 시기 외에는 새우와 황복의 성장에 적합하게 유지되었다(Fig. 52).

염분농도는 전 사육기간 동안 서산 오지리 및 태안 시험어장의 경우 21.0~33.7‰로 새우와 황복의 성장에 적합하였다. 그러나 서산 독곶리 시험어장의 흰다리새우+가무락 복합양식 및 흰다리새우 단독양식 실험구는 지속적인 지하수 공급에 의해 염분농도가 14.6‰까지 하강하였다(Fig. 53). 전 양식기간 동안 용존산소 농도는 4.60~10.20으로 모두 최저 요구농도인 4 mg/L 이상으로 유지되었다(Fig. 54). pH 변화는 모든 실험구에서 7.5~9.0으로 황복과 새우의 성장에 영향을 주지 않은 범위로 유지되었으며 8월 중순까지는 8.0 전후로 일정한 값을 보이다가 8월말에는 가장 증가하는 양상을 보였다(Fig. 55).

2) 영양염류 변화

축제식 복합양식인 새우(흰다리새우, 대하)+황복, 가무락의 복합양식장과 흰다리새우 단독양식장의 사육수 중 총암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소 및 인산성 인의 농도변화는 Figs. 56-59에 나타나있다.

총암모니아성 질소의 경우, 서산 독곶리 흰다리새우 단독양식, 오지리 흰다리새우+황복 오지리 흰다리새우 단독양식장은 시험개시부터 시험종료시 까지 0.05 mg/L 이하로 낮게 나타났다. 독곶리 흰다리새우+가무락 복합양식장은 9월 7일부터 9월 21일까지 0.092~0.095 mg/L로 증가하였다가 10월 26일에 최고 0.124 mg/L로 증가하고 그 이후 감소하였다. 사육지 면적이 소형인 태안의 황복+대하 복합양식장은 8.9일까지는 0.011 mg/L의 낮은 값을 보이다가 수온이 가장 높은 시기인 8월 24일에는 0.392 mg/L로 최대값을 보이다가 9월 7일부터는 0.011 mg/L로 급격히 낮아졌으며, 10월 26일에 약간 증가 양상을 보였다.

아질산염의 농도도 총암모니아와 비슷한 양상을 보여주었다. 태안 황복-대하의 복합양식장을 제외하고 모든 시험양식장은 0.000~0.015 mg/L 매우 낮은 값을 나타내었다. 태안 황복-대하의 복합양식장은 시험개시부터 8월 9일까지는 다른 시험양식장과 비슷한 0.002 mg/L 이하의 낮은 값을 보이다가 8월 24일에 0.194 mg/L로 급격히 증가하였다. 그 이후 낮아져 0.033 mg/L 이하의 값을 유지하였다.

질산염 농도의 변화도 암모니아와 아질산염과 유사한 경향을 나타냈다. 태안 황복+대하의 복합양식장을 제외하고 모든 시험양식장은 전 사육기간동안 0.000~0.039 mg/L 매우 낮은 값을 나타내었다. 태안 황복+대하의 복합양식장은 아질산염 농도와 같이 시험개시부터 8월 9일까지는 다른 시험양식장과 비슷한 0.007 mg/L 이하의 낮은 값을 보이다가 8월 24일에 0.623 mg/L으로 최고치에 달한 후 낮아지다가 다시 증가하여 10월 16일에는 0.413 mg/L 으로 증가 후 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

인산염은 서산 독곶리의 흰다리새우 단독양식장과 흰다리새우+가무락 복합양식장에서는 8월 9일부터 0.023~0.085 mg/L 으로 점차 증가양상을 보였으며, 9월 7일에는 0.148~0.176 mg/L의 최고값을 보인 후 점차 감소하였다. 오지리 흰다리새우 단독양식장은 7월 5일 0.189 mg/L로 높은 값을 보이다가 폐사(8월 9일 전후)가 나타나면서 급격히 낮아지는 경향을 보였다. 오지리 흰다리새우+황복 복합양식장은 전 사육기간 0.026~0.087 mg/L 으로 큰 차이가 없었으며, 태안 황복+대하 복합양식장은 시험개시부터 8월 9일까지 0.109~0.142 mg/L의 완만한 증가를 보이다가 9월 7일부터는 0.095 mg/L 이하로 점차 감소하는 경향을 보였다.

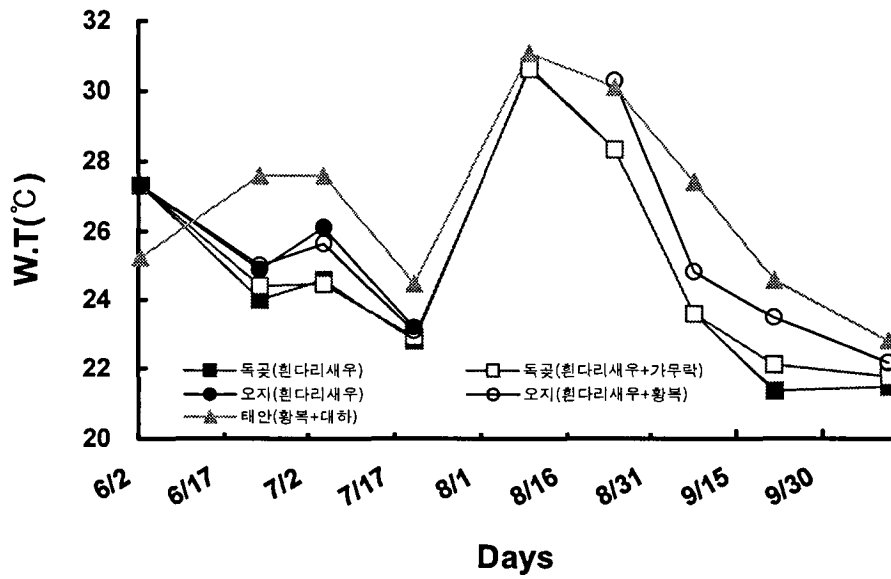


Fig. 52. Changes of water temperature in ponds during experiment period.

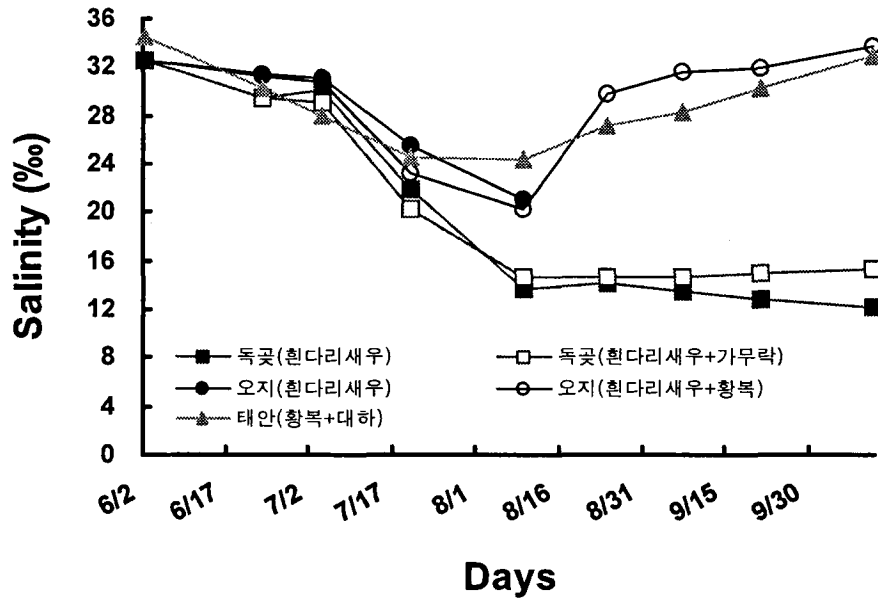


Fig. 53. Changes of salinity in ponds during experiment period.

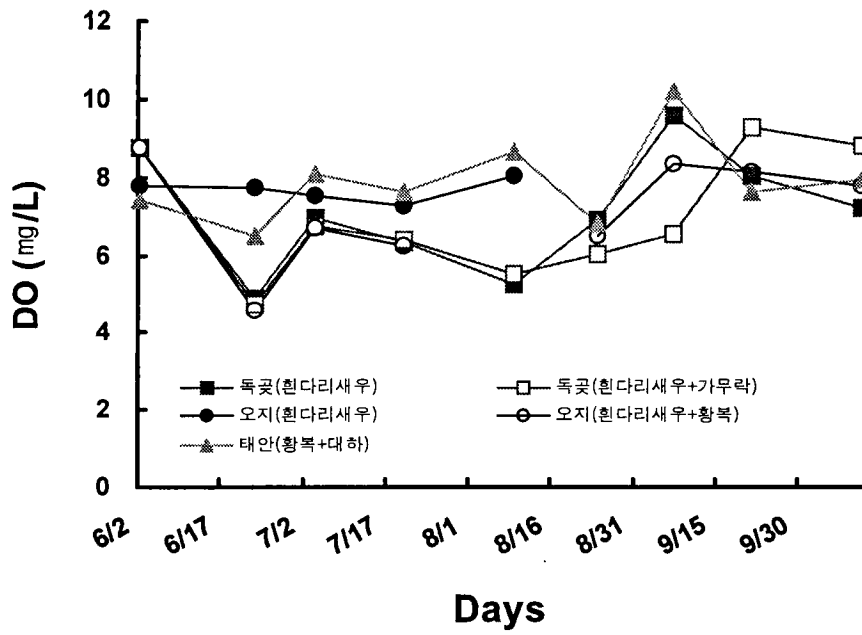


Fig. 54. Changes of DO in ponds during experiment period.

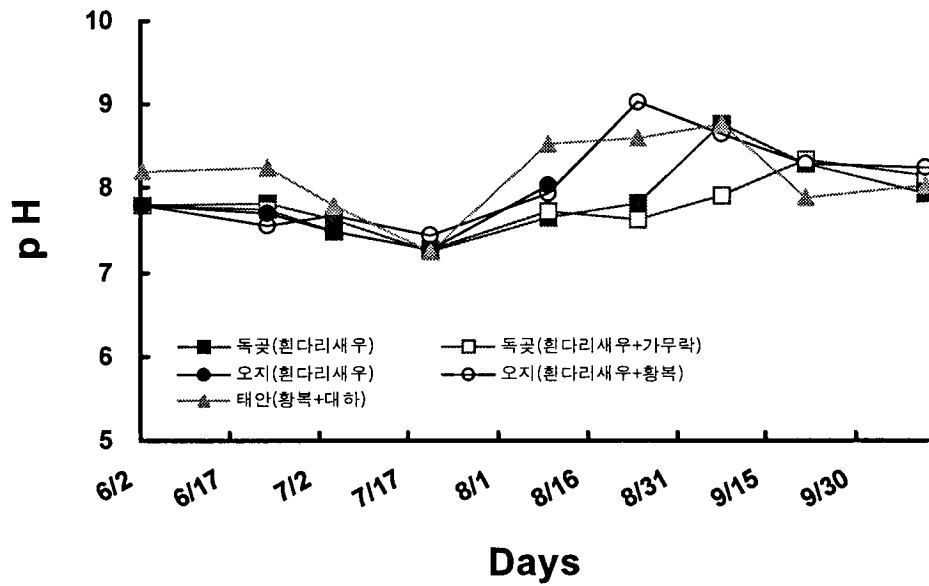


Fig. 55. Changes of pH in ponds during experiment period.

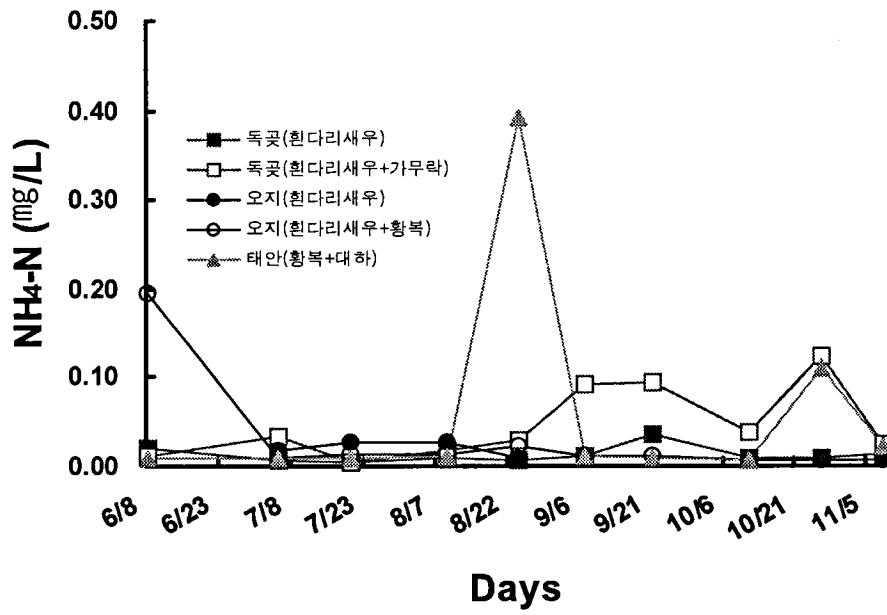


Fig. 56. Changes of TAN concentration in ponds during experiment period.

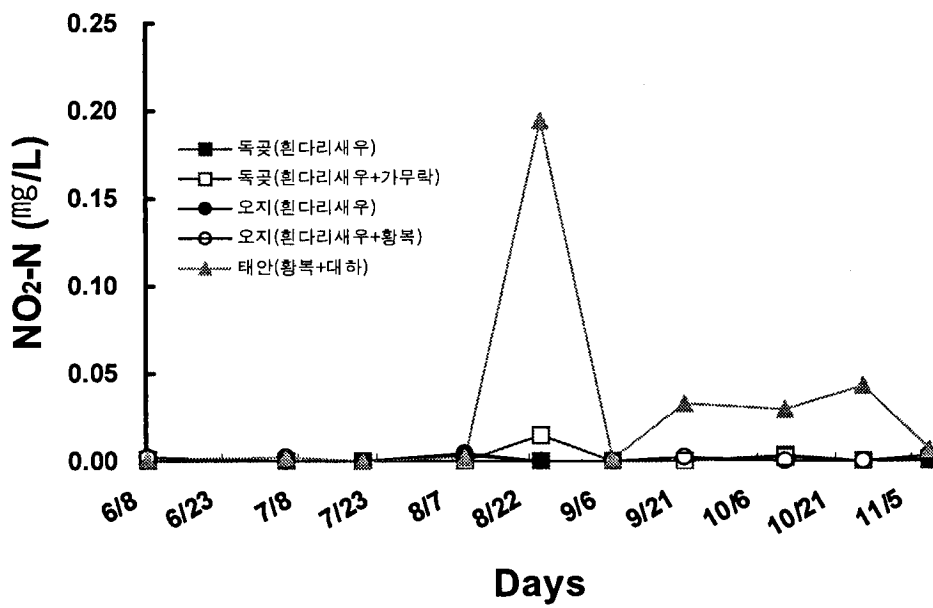


Fig. 57. Changes of nitrite concentration in ponds during experiment period

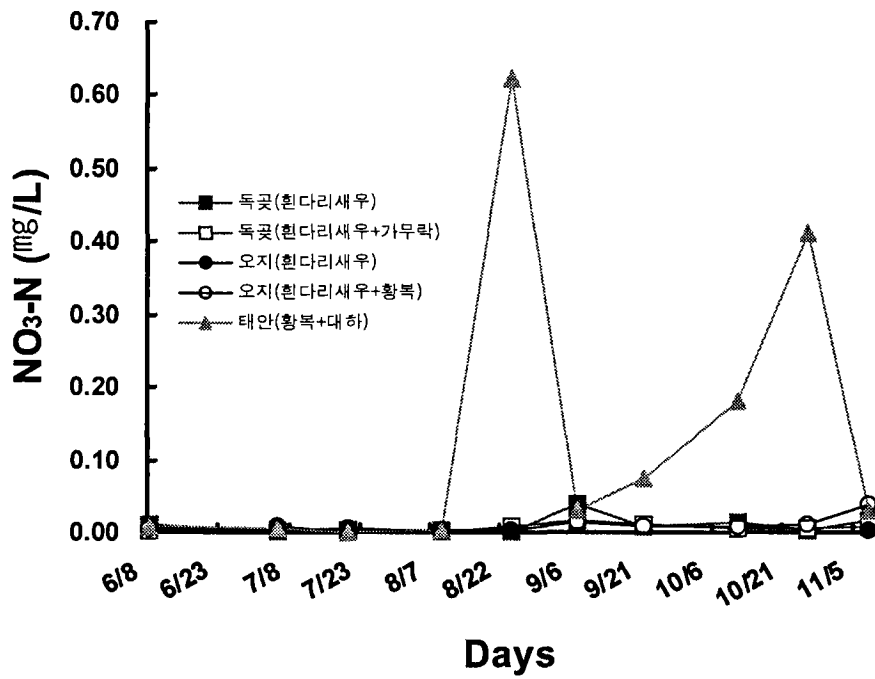


Fig. 58. Changes of nitrate concentration in ponds during experiment period.

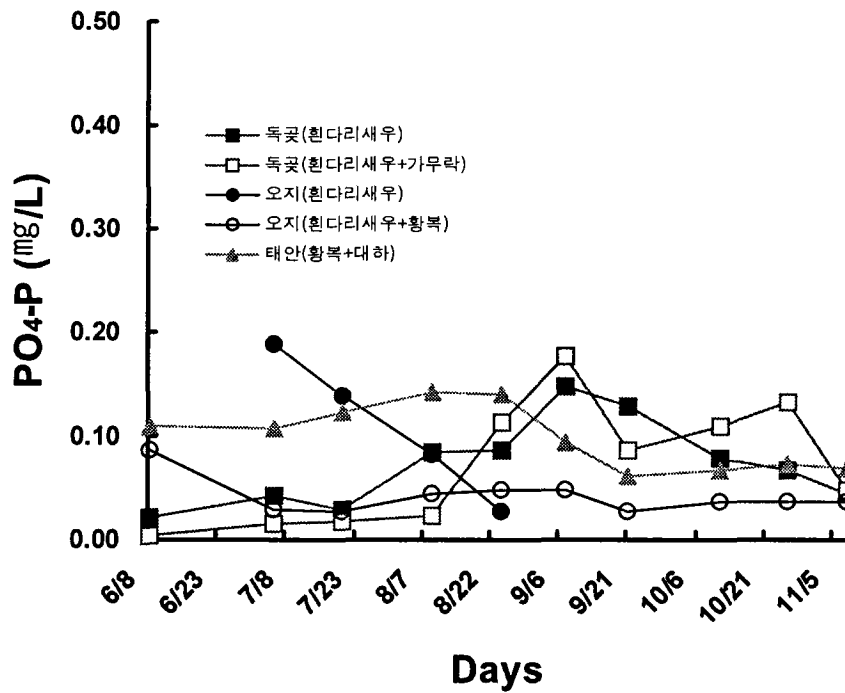


Fig. 59. Changes of phosphate concentration in ponds during experiment period

나. 축제식 양식장 저질 입도 및 퇴적물 분석

1) 저질 입도 분석

축제식 복합양식 및 단독양식을 실시한 사육지 저질의 입도는 Table 24와 같다. 각 사육지별 입도성분은 gravel, sand 성분은 적었으며, 대부분 silt가 대부분을 차지하였다. 서산 독곶리 양식장은 니질역, 역질니토였으며, 서산 오지리 양식장은 니토, 역질니토 및 사질니토, 태안 시험양식장은 역니질모래로 나타났다.

Table 24. Sediment ingredient in pond

사육지 장소별	Gravel (자갈)	Sand (모래)	Silt (침니)	Clay (점토)	계	명칭
서산독곶리(가무락+흰다리새우:독근처)	32.2	16.8	41.0	10.2	100	니질역
서산독곶리(흰다리새우 단독:독근처)	10.3	9.0	66.8	14.0	100	역질니토
서산오지리(황복+흰다리새우:중앙부)	0.0	3.6	75.9	20.5	100	니토
서산오지리(흰다리새우 단독:중앙부)	0.0	2.3	76.8	20.9	100	니토
서산오지리(황복+흰다리새우:독근처)	7.8	36.2	47.7	8.3	100	역질니토
서산오지리(흰다리새우 단독:독근처)	10.3	9.0	66.8	14.0	100	사질니토
태안(황복+대하:독근처)	13.7	50.4	30.1	5.8	100	역니질모래

2) 퇴적물 분석

축제식 양식장의 함수율은 서산 독곶리 흰다리새우+가무락 복합양식장 및 흰다리새우 단독양식장에서 사육기간 동안 높게 나타났으며, 감열감량은 7월 5일부터 하강하다가 8월 24일부터 증가 양상을 보였으며, 11월 8일에 서산 오지리의 흰다리새우+황복 사육지에서 가장 높게 나타났다. 황화물량은 독곶리 흰다리새우+가무락 복합양식장에서 양식후기로 갈수록 증가하였고, 화학적 산소요구량은 독곶리 흰다리새우+가무락 복합양식장 및 흰다리새우 단독양식장에서 증가양상을 보여 저질이 부영영화되어 있는 것으로 판단되었다 (Table 25).

Table 25. Changes of selected parameters of sediment quality

시험 사유지	조사일시	함수율 (%)	강열감량 (IL, %)	황화물량 (mg S/g.dry)	COD (mg/g.d)
서산독곶리(흰다리새우+가무락)	'06.07.05	29.84	3.93	0.058	15.20
	'06.07.20	37.30	3.57	0.001	19.37
	'06.08.09	26.66	2.42	0.003	11.00
	'06.08.24	23.90	2.50	0.203	9.81
	'06.09.21	35.18	4.00	0.520	20.78
	'06.10.11	36.87	3.65	0.188	13.21
	'06.10.26	34.30	2.29	0.688	26.52
	'06.11.08	23.73	2.33	0.081	13.51
서산독곶리(흰다리새우 단독)	'06.07.05	50.18	3.91	0.192	12.53
	'06.07.20	34.89	2.90	0.003	24.08
	'06.08.09	22.91	1.72	ND	5.28
	'06.08.24	27.10	2.68	0.089	12.59
	'06.09.21	32.01	3.40	0.084	15.78
	'06.10.11	33.94	3.38	0.246	20.38
	'06.10.26	29.97	2.29	0.040	23.55
	'06.11.08	32.31	2.38	0.192	15.79
서산오지리(흰다리새우+황복)	'06.07.05	22.92	2.09	ND	6.40
	'06.07.20	28.74	2.61	0.009	11.65
	'06.08.24	29.36	2.55	0.019	13.19
	'06.09.21	34.39	3.16	0.048	21.41
	'06.10.11	25.64	2.46	0.001	8.81
	'06.10.26	26.96	3.23	0.102	9.92
	'06.11.08	25.16	4.68	ND	2.71
서산오지리(흰다리새우 단독)	'06.07.05	27.01	3.24	0.000	9.30
	'06.07.20	32.25	2.82	0.060	14.06
	'06.11.08	28.19	3.31	0.002	7.28
태안(대하+황복)	'06.07.05	21.66	2.47	ND	13.46
	'06.07.20	19.84	2.07	0.001	11.02
	'06.08.09	22.71	1.26	0.003	5.05
	'06.08.24	25.66	3.37	0.006	8.02
	'06.09.21	27.21	2.31	0.001	14.76
	'06.10.11	26.03	2.51	0.002	9.95
	'06.10.26	24.26	2.81	0.009	8.47
	'06.11.08	22.33	2.26	0.004	12.19

다. 성장 및 생존율

1) 흰다리새우+가무락 복합양식과 흰다리새우 단독양식 비교(서산 독곶리)

흰다리새우와 가무락 복합양식 및 흰다리새우 단독양식의 결과와 흰다리새우 성장을 변화는 Table 26 및 Figs. 60, 61에 나타나있다.

흰다리새우는 '06년 6월 15일 각각 500,000마리(38.5마리/m²)를 입식하였으며 입식시 평균 체중은 0.0097 g이었다. 복합양식을 위하여 가무락은 사육지 가장자리에 자연산 가무락 400 kg을 사육지 가장자리에 살포하였다(평균 체중 19.1 g). 흰다리새우는 10월 15일까지 123일간 사육하였으며 흰다리새우+가무락 복합양식장과 흰다리새우 단독양식장에서의 새우 총생산량은 각각 3,000 kg으로 단위생산량은 0.23 kg/m², 1,000 kg으로 단위생산량은 0.077 kg/m²으로 가무락과의 복합양식이 생산성이 매우 높았다. 새우의 성장률(전장, 체중) 변화는 정상적인 성장곡선을 나타내었으나, 단독양식에 비해 흰다리새우+가무락 복합양식 실험구에서 높게 나타났다(Figs. 61, 62). 새우의 수확시 평균 체중은 흰다리새우+가무락 양식장이 14.7 g, 흰다리새우 단독양식장이 13.1 g이었다. 새우의 생존율은 흰다리새우-가무락 복합양식과 흰다리새우 단독양식이 각각 40.8%, 15.3%로 단독양식에 비해 복합양식이 높은 생존율을 나타내었다. 가무락은 '06년 6월 2일 입식하여 '07년 3월 13일 취양조사한 결과, 생존율이 4.9%로 낮았는데 이는 사육지에 지속적인 지하수 주입으로 인해 염분농도가 15 이하로 유지되어 많은 폐사가 나타났을 것으로 추측된다. 중국의 복합양식의 경우, 패류와의 복합양식시 염분농도를 20 이상을 유지하였을 때 정상 수확할 수 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 대하의 경우는 흰반점바이러스 발병시 1주일 내에 거의 전량이 폐사되는 것에 비해 질병내성이 보다 강한 것으로 알려진 흰다리새우는 전량 폐사로 이어지지는 않고 점차 폐사가 나타났다. 흰다리새우 단독양식장에서는 9월 17일에 일부 많은 폐사가 보였으며, 일부 수확이 가능하였다. 새우+패류와의 축제식 복합양식시 패류의 안정적인 수확을 위해서는 전 양식기간동안 염분농도를 20 이상 유지해야 한다.

2) 흰다리새우+황복 복합양식 및 흰다리새우 단독양식 비교(서산 오지리)

흰다리새우와 황복의 복합양식 및 흰다리새우 단독양식의 결과와 흰다리새우의 성장을 변화는 Table 26 및 Figs. 60, 61에 나타나있다. 새우는 '06년 6월 15일 각각 600,000마리(36.4마리/m²)를 입식하였고, 평균 체중은 0.0097 g이었다. 복합양식을 위하여 흰다리새우-황복 복합양식장에는 7월 20일 실내 종묘생산장에서 2개월간 사육한 황복종묘(평균체중 0.52 g)를 10,000마리 입식하였다.

흰다리새우 단독양식장은 8월초부터 일부 폐사개체가 발견되기 시작하였으며 8월 9일 거의 대부분의 새우가 폐사하였다. 흰다리새우+황복 복합양식장에서도 단독양식장과 비슷하게 새우에 흰반점바이러스가 발병하여 많은 폐사가 나타났다. 복합양식장에서의 새우 총 생산량은 500 kg으로 단위생산량은 0.030 kg/m²이었으며, 단독양식장은 수확을 전

혀 하지 못하였다. 복합양식장 새우의 성장은 9월 하순까지는 서산 독곶리 시험양식장에 비해 낮은 성장률을 보였으나 10월 중순부터는 비슷한 성장을 보였다. 흰다리새우와 황복의 복합양식장의 황복의 성장은 넓은 사육지에 소형의 종묘가 입식되어 성장은 입식시 평균 체중 0.5 g의 종묘가 3개월 사육후 10월 30일 취양시 평균 체중 6.5 g으로 저조한 성장률을 나타내었다. 흰다리새우와 황복의 복합양식장의 새우의 성장은 취양시 13.5 g이었다. 새우의 최종 생존율은 복합양식장이 6.2%, 단독양식장이 0%였으며, 황복의 생존율은 92.4%로 양호하였다. 수확량이 전혀 없었던 단독양식에 비해 흰다리새우와 황복의 복합양식장은 수확량이 500 kg으로 황복의 크기가 작았지만 황복에 의한 바이러스감염새우의 포식활동에 기인할 가능성이 높다. 향후 복어류의 축제식 복합양식시 복어의 성장에 의한 생산성과 새우의 바이러스감염새우의 포식율을 높이기 위해서는 평균 체중이 50 g 이상이면 적절할 것으로 판단된다.

3) 대하+황복 복합양식(태안)

대하와 황복의 복합양식 Table 26 및 Figs. 60~62에 나타나있다. 새우는 '06년 6월 15일 80,000마리(30.8마리/m²)를 입식하였고, 평균 체중은 0.0187 g이었다. 복합양식을 위한 황복은 '05년 12월부터 '06년 4월까지 축제식 비닐하우스 월동장에서 월동하여 수확된 황복 종묘(평균체중 0.52 g)를 6,500마리 입식하였다.

복합양식장에서의 대하 총 생산량은 32.0 kg으로 단위생산량은 0.012 kg/m²으로 생산성이 낮았다. 생산량이 낮은 원인은 복합양식장에 망둥어류가 서식하여 많은 양의 대하를 포식하고 또한 수확시기가 지연되었기 때문인 것으로 생각되며, 망둥어류 유입방지와 수확시기를 앞당기면 대하-황복 복합양식에서도 새우의 생산량이 증가할 것으로 기대된다. 복합양식장 새우의 성장은 흰다리새우 2배 이상으로 성장이 빨랐으며, 황복의 성장에 있어서도 입식시 평균 체중 13.0 g의 종묘가 6개월 사육 후 취양시 평균 체중 129.1 g으로 양호한 성장을 나타내었다(Fig. 62)

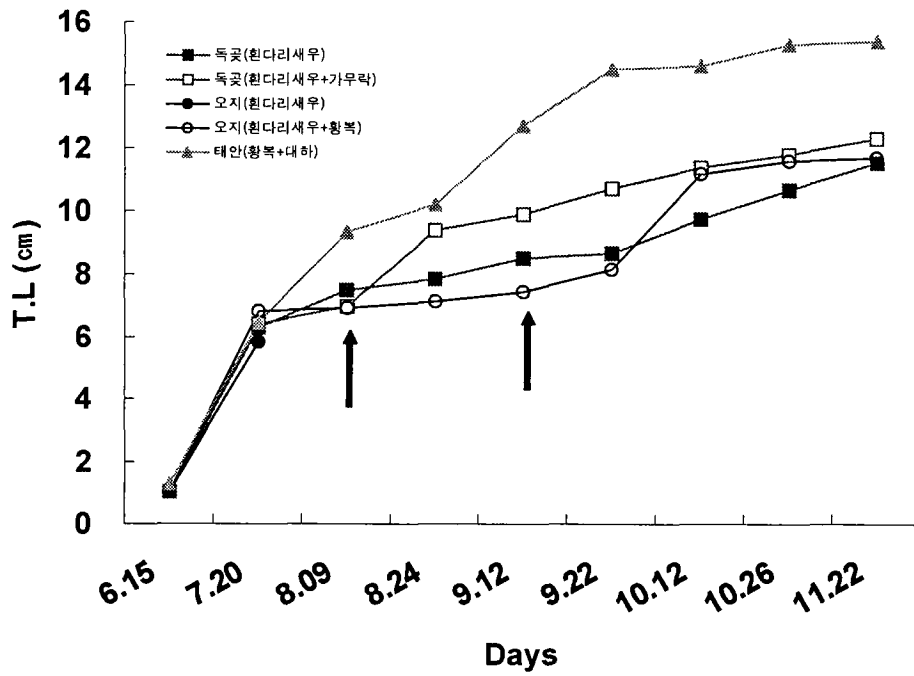


Fig. 60. Changes of total length of *L. vannamei* and *L. chinensis* in cultured ponds.

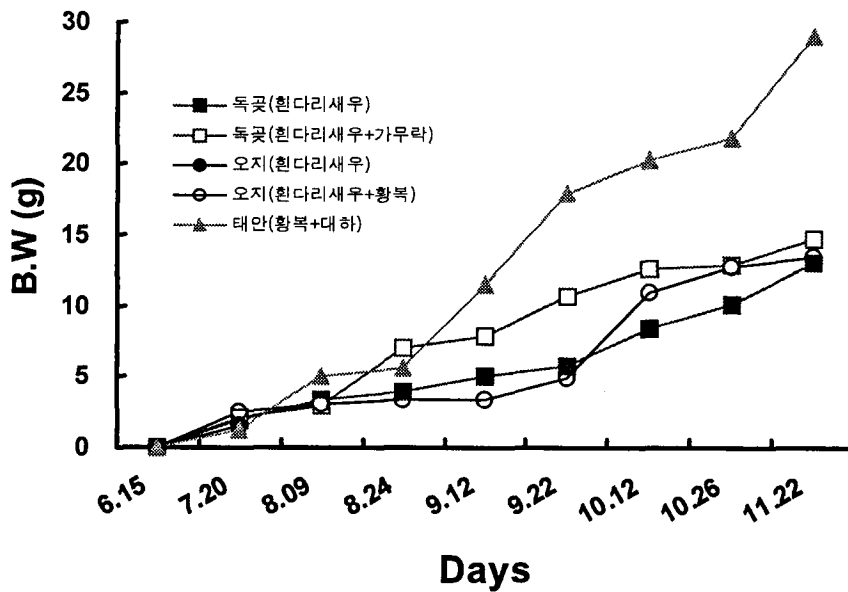


Fig. 61. Changes of body weight of *L. vannamei* and *L. chinensis* in cultured ponds.

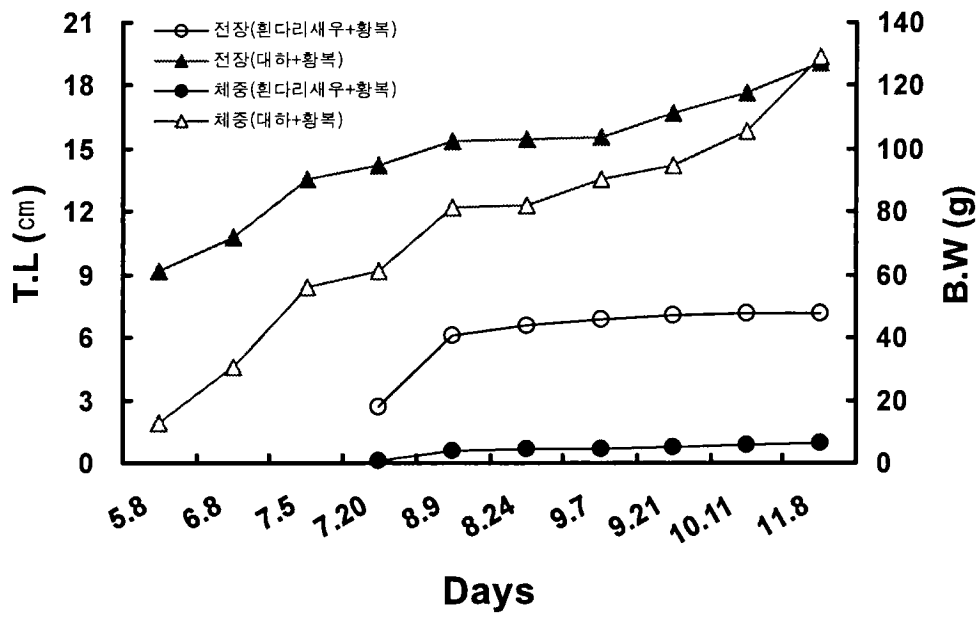


Fig. 62. Changes of total length and body weight of river puffer in cultured ponds.

Table 26. Summary of stocking information of cultured animals and harvesting

양식장소	서산 독곶		서산 오지			태안		
	복합양식		단독양식	복합양식		복합양식		
면적(m ²)	13,000		13,000	16,500		16,500		2,600
사육생물	흰다리새우	가무락	흰다리새우	흰다리새우	황복	흰다리새우	대하	황복
입식량(마리)	500,000	20,950 (400kg)	500,000	600,000	10,000	600,000	80,000	6,500
입식일시	6.15	6.2	6.15	6.15	7.20	6.15	6.15	5.8
취양일시	10.15	'07.3.13	10.15	10.15	10.30	8.9(폐사)	11.8	11.8
양성기간	123일	283일	123일	123일	103일	56일	147일	175일
입식밀도(마리/m ²)	38.5	1.6	38.5	36.4	0.6	36.4	30.8	2.5
입식시 종묘체중(g)	0.0097	19.1	0.0097	0.0097	0.52	0.0097	0.0187	13.0
취양시 체중(g)	14.7	19.0	13.1	13.5	6.5	-	29.0	129.1
총생산량(kg)	3,000	-	1,000	500	59.8	-	32.0	556.4
단위생산량(kg/m ²)	0.23	-	0.077	0.030	0.0036	-	0.012	0.21
생존율(%)	40.8	4.9	15.3	6.2	92.0	0	1.40	66.3

라. 황복의 장 내용물 및 바이러스 감염 조사

장 내용물 분석을 위한 황복은 8~10월에 평균체중이 81.2~105.9 g으로 새우류 및 다른 생물의 포식이 활발한 크기였으며, 대하의 체중도 빠르게 증가되었다(Table 27). 8월 9일에는 조사된 10마리 중 1마리가 새우로 확인되었으며, 양식장에 서식하는 육식성 말뚝망둥어의 위 내용물에서도 새우육질과 비슷한 먹이가 발견되었다. 9월 7일에는 10마리 중 1마리, 10월 11일에도 1마리의 새우 육질이 발견되어 대하가 성장하여 빠르게 도피함에도 황복에게 포식당하는 것을 알 수 있었다(Table 28, Fig. 64).

고정된 황복과 말뚝망둥어의 위 내용물을 PCR 실시한 결과 모든 위 내용물의 새우 육질들이 100% 흰반점바이러스(WSSV)에 감염된 것을 알 수 있었고(Fig. 63), 정상 새우보다 바이러스에 감염된 새우를 황복이 효과적으로 포식하는 것을 볼 수 있다.

Table 27. Stomach contents of river puffer and *L. chinensis*

조사일시	황복		대하	
	평균전장(cm)	평균체중(g)	평균전장(cm)	평균체중(g)
2006. 8. 9	15.4	81.2	9.4	5.0
2006. 9. 7	15.5	88.2	12.7	11.6
2006.10.11	17.7	105.9	13.7	21.6

Table 28. Stomach contents of river puffer

조사일시	8.9	8.9	9.7	10. 11
분석결과	새우 1, 새우육질관련 4	새우육질관련 2	새우 1	새우 1, 새우육질관련 1

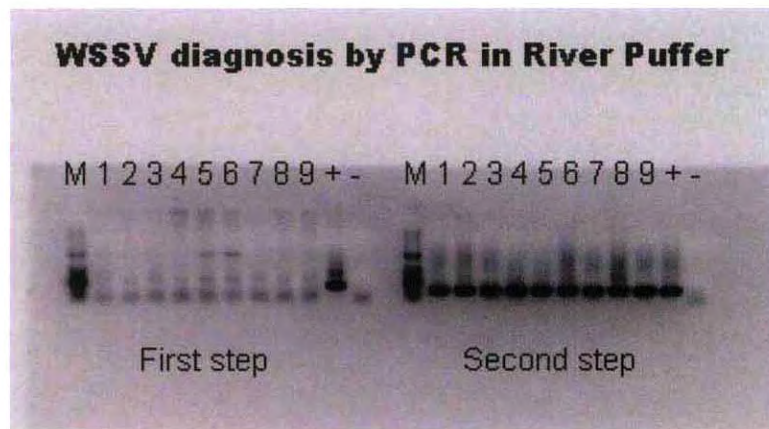


Fig. 63. WSSV infected stomach contents (shrimp meat) of river puffer.



Fig. 64. Stomach contents of river puffer.

마. 새우의 바이러스 질병 조사

PCR 조사결과, 서산 독곶리의 흰다리새우-가무락의 시험개시 시료 5마리 중 1마리만이 흰반점바이러스에 비감염된 것을 제외하고 모두 감염되었으며(Fig. 65), 흰반점바이러스 감염율은 97.7%였다. 그러나 간췌장바이러스는 모든 실험구에서 발견되지 않았다.

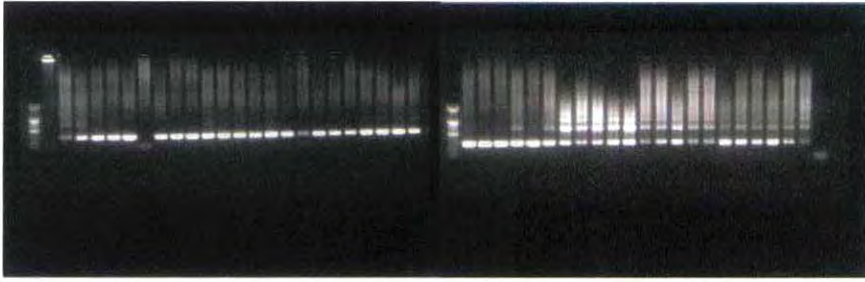


Fig. 65. WSSV infection of *L. vannaemei* and *L. chinensis* in pond.

3. 요약

가. 사육수의 수온은 8월 15일부터 8월 30일까지 30℃ 이상으로 상승하였고, 염분농도는 서산 독곶 시험어장은 지하수 공급으로 7월 하순부터 15 전후를 유지하였다. 영양염류 농도(NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-N)는 태안 시험어장에서 가장 높은 값을 보였으나 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하였다.

나. 새우의 성장은 흰다리새우에 비해 대하가 빠른 성장을 보였으며, 새우의 질병은 서산 오지리는 8월 9일, 서산 독곶리는 9월 12일부터 나타났다. 황복의 성장은 0.52 g의 소형 종묘는 성장이 낮았으며, 13.0 g의 종묘는 평균 130 g으로 빠르게 성장하였다.

다. 축제식 양식의 새우 생산량은 흰다리새우+가무락 복합양식 실험구에서 3,000 kg을 생산하였고, 생존율은 40.5%였다. 황복과 대하의 복합양식은 대하 단독양식장의 전량폐사에 비해 생산량은 적었지만 상품생산이 가능하였다.

라. 황복의 장 내용물 분석(8~10월) 결과, 전 어체의 10% 이상이 새우류를 섭식하였고, 모두 흰반점바이러스에 감염되어 있었다.

마. 가무락은 월동 후 '07. 3월 초순 취양조사하였으나 지속적인 염분농도 저하로 폐사하였을 것으로 추정되며(적정 염분농도 20~33), 사육지의 염분농도에 따른 복합양식 품종의 적절한 선택이 필요하다.

제 6 절 서해안 지역별 동절기 평년기상 분석 및 한파피해 현황 조사

1. 재료 및 방법

서해안 지역별 동절기 평년기상 분석은 기상청의 자료를 이용 분석하였으며, 2005년의 한파시기의 기온 및 풍향 등을 조사하였다. 또한 축제식 양식장과 비닐하우스 월동장의 수층별 수온과 기온 측정은 Data logger (Hobo Co, England)를 이용하여 4시간 간격으로 수온은 표층, 저층(수심 3 m), 기온을 양식장에 설치하여 측정하였다(Figs. 68, 73).

2. 결과 및 고찰

가. 축제식 양식장 한파피해

서해안의 축제식 양식장 한파피해는 겨울철 이상기온 현상이 나타나기 시작한 '98년부터 지속적으로 발생하고 있으며 갑자기 강추위가 닥치는 1월과 2월 초순에 집중적으로 발생하고 있다. 서해안 축제식 양식장이 위치한 지역은 주로 경기, 충남, 전북, 전남지역으로 2003년 1월 21일부터 24일까지 한파발생 지역인 전북 고창의 평년 최저기온(30년간)은 $-0.9 \sim -1.9^{\circ}\text{C}$ 인데 비하여 최저기온은 $-12.1 \sim -15.6^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 폭설을 동반한 한파로 축제식에서 사육중이던 송어 등 어류가 동사피해가 발생하였다(Table 29).

Table. 29. Weather conditions of a cold wave region (2004, KMA)

(단위 : $^{\circ}\text{C}$)

일 자	1.21일		1.22일		1.23일		1.24일	
	평년 최저기온	최저기온	평년 최저기온	최저기온	평년 최저기온	최저기온	평년 최저기온	최저기온
고 창	-1.9	-12.1	-1.0	-12.5	-0.9	-13.8	-1.3	-15.6
신 안	-2.1	-7.2	-1.7	-7.3	-1.4	-7.8	-1.4	-7.4

*KMA : Korea Meteorological Administration

2005년에도 축제식 양식장에 한파가 발생하였는데 주요 피해지역은 충남 태안과 전북 부안이었다. 충남 태안지역은 기존 새우양식장을 이용한 송어 축제식양식장으로 2005년 2월 1일 오전 8:00부터 10:00시 사이에 강풍이 동반된 폭설과 한파의 영향으로 풍속은 사람이 서있지 못할 정도의 바람세기였다(Fig. 66). 한파피해시 축제식 양식장은 염분 30.1, 수온 -1.5℃ (2월 2일 15:00 측정)였으며, 2월 1일 0시 30분 이후 서해안 지역(충남, 전남, 전북)에 강풍주의보가 발표(예상 풍향풍속 W-NW 20~26 m/s)된 상황이었고, 2월 1일 20시 충남지역에서 강풍주의보가 해제되었다. 한파피해 현황은 폐사된 송어가 축제식 양식장의 한쪽 가장자리로 몰려 동사하였으며, 눈이 쌓인 두께는 약 5 cm 전후, 수심은 1 m 전후였다. 축제식 월동 사육해수는 결빙은 되었으나 단단히 얼지 않고 팔빙수의 얼음과 같은 형태를 보였으며, 강한 바람의 영향으로 동사된 송어와 결빙된 얼음이 뒤섞여 있었다(Fig. 68). 2005년도 한파는 평년에 비해 기온은 -10℃ 이상이었으나 강한 바람의 영향을 크게 받았다(Tables 30, 31).

Table 30. Weather conditions of a cold wave region (2005, KMA)

일 자	1.31일		2.1일		2.2일	
	평년 최저기온	최저기온	평년 최저기온	최저기온	평년 최저기온	최저기온
태 안	-7.4	-10.0	-6.7	-10.1	-7.9	-7.3
부 안	-6.5	-8.6	-6.0	-8.6	-6.8	-8.0
신 안	-2.7	-5.3	-2.2	-6.5	-2.8	-4.9

Table 31. Direction and velocity of wind in following times in cold wave region (2005, KMA)

(단위 : m/s)

풍향풍속	1.31일		2.1일					2.2일					
	23시	4시	8시	12시	16시	20시	0시	4시	8시	12시	16시	20시	
태 안	NNW	NNW	NNW	NNW	NW	NW	NW	N	NNW	NNW	NW	NW	
	7.0	7.5	8.0	8.0	7.5	6.0	19.0	25	1.0	5.0	6.0	3.5	
부 안	N	NNE	N	N	N	N	N			ENE	N	N	
	7.5	1.5	4.5	3.5	5.5	4.5	19.5	-	-	1.0	2.5	4.0	
신 안	NNW	WNW	NW	NW	WNW	WNW	W	WN	WN	NW	WNW	WNW	
	5.5	6.5	7.5	6.0	9.0	8.5	41.0	W 7.5	W 7.0	7.5	8.0	5.0	

또 다른 피해지역인 전북 부안은 한파피해 시간이 2005년 2월 2일 새벽 00:00부터 05:00시 사이였으며, 피해어장 위치는 대부분의 양식장이 곰소만 끝자락에 위치한 기존 새우양식장을 개조한 숭어 축제식 양식장이었다. 한파피해 환경은 강풍이 동반된 폭설과 한파의 영향으로 풍속은 충남 태안과 비슷하게 사람이 서있지 못할 정도의 바람세기였다. 한파피해 현황은 폐사된 숭어가 축제식 양식장의 한쪽 가장자리로 몰려 동사하였으며 눈이 쌓인 두께는 약 5cm 전후, 수심은 1m 전후였고 Fig. 67과 같이 출하를 위하여 거의 수심을 낮춘 상태에서 한파피해를 당한 경우도 있었다.



Fig. 66. Damage of cold wave in pond (2005, Ttaean Chungnam Province).



Fig. 67. Damage of cold wave in pond (2005, Buan Cheonbuk Province).

나. 축제식 및 비닐하우스 수층별 수질환경 조사

축제식과 비닐하우스 내부의 표층수온, 저층수온(수심 3 m), 기온을 4시간 간격(00:00, 04:00, 08:00, 12:00, 16:00, 20:00시)으로 조사한 결과, 야외 축제식 양식장에서 가장 낮은 수온은 표층이 -1.39°C , 저층이 -1.06°C 이었으며, 눈이 내렸을 때 사육지 한쪽면의 수면이 약간 결빙현상이 관찰되었다(Table 32, Fig. 70) 반면 비닐하우스 내부에서의 가장 낮은 수온은 표층이 10.6°C , 저층이 11.0°C 였다(Table 33). 2005년 한파시기 전후인 1월 25일부터 2월 5일사이 축제식 양식장에서는 수온이 영하를 유지한 반면 비닐하우스 내부에서는 특별한 가온시설이 없이 12°C 전후를 유지하였다(Fig. 32). 비닐하우스 내부에서의 기온차이는 날씨의 변화에 따른 햇빛에 강도에 따라 일간 20°C 이상까지도 변화가 있었으며, 하루 중 04:00가 가장 낮았고, 08:00시부터 기온이 서서히 상승하기 시작하여 12:00부터는 급격히 높아졌으며, 20:00에는 급격히 하강하였다. 비닐하우스 월동장과 비교하여 축제식 양식장 자연환경의 최저수온은 2월 1~2일에 표층 -1.39°C , 저층 -1.06°C 로 표층과 저층간 수온은 약간 차이가 있었으며, 최저기온은 -16.1°C 를 나타내어 보온시설이 되지 않은 축

제식 양식장의 어류(가숭어)는 대부분 동사피해를 입었다.

Table 32. Monthly changes of water temperature and air temperature following water depth in pond

(단위 : °C)

월별	'04. 12월		'05. 1월		'05. 2월		'05. 3월	
	평균	범위	평균	범위	평균	범위	평균	범위
장소별								
표층수온	6.37	-0.16 ~ 15.62	0.72	-1.39 ~ 2.46	1.10	-0.94 ~ 3.28	6.24	-0.88 ~ 12.16
저층수온	6.17	-0.61 ~ 14.47	0.51	-1.06 ~ 2.46	0.89	-0.94 ~ 3.19	6.12	-0.55 ~ 11.77
기 온	4.13	-6.31 ~ 21.52	-1.14	-12.94 ~ 16.73	-0.18	-0.61 ~ 14.47	3.08	-16.12 ~ 16.76

Table 33. Monthly changes of water temperature and air temperature following water depth in vinyl house pond

(단위 : °C)

월별	'04. 12월		'05. 1월		'05. 2월		'05. 3월	
	평균	범위	평균	범위	평균	범위	평균	범위
장소별								
표층수온	12.95	11.38 ~ 15.62	11.82	10.60 ~ 13.32	12.14	10.60 ~ 13.70	15.80	11.77 ~ 19.04
저층수온	12.95	11.77 ~ 14.47	11.90	10.99 ~ 12.93	12.21	10.99 ~ 13.32	15.71	12.16 ~ 18.76
기 온	9.42	1.17 ~ 31.52	7.53	0.73 ~ 25.17	8.76	0.29 ~ 26.73	14.00	1.60 ~ 36.57



Fig. 68. Freezing of pond.



Fig. 69. Redlip mullet activity during wintering (water temperature about 4°C).

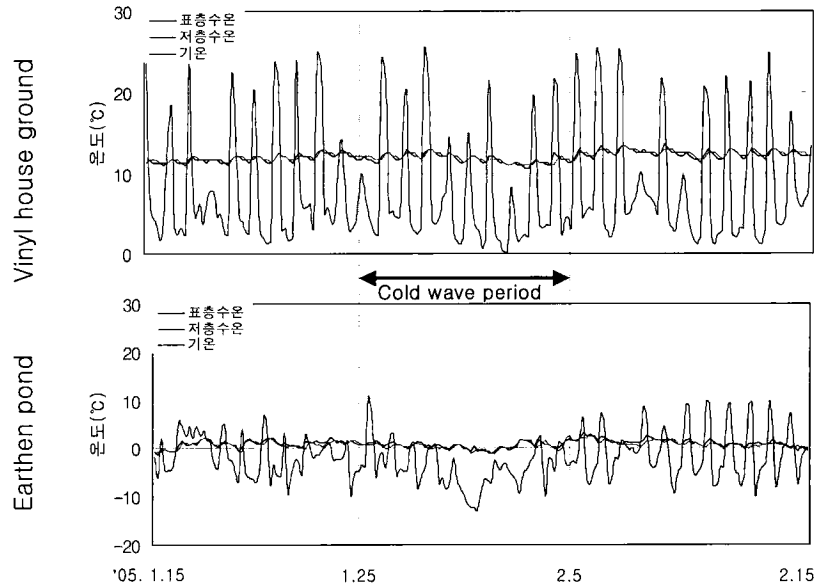


Fig. 70. Changes in water temperature and air temperature during a cold wave period.

다. 축제식양식장의 기존 월동관리 형태

축제식양식장에서 양성한 송어 등 양식어류의 월동관리는 최근 수년간 한파피해가 되풀이됨에 따라 다양한 방법으로 축제식 양식장의 저면구조를 개선하는 등 월동장을 시설하여 관리하고 있으나 항구적인 대책으로는 미흡한 실정이다

일반적인 월동관리 방법은 첫째, 사육지(16,500 m² 규모) 바닥 가장자리에 폭 4~5 m, 수심 4~5 m의 수로형태의 골을 파서 월동장으로 활용하는 경우, 둘째, 일부 양식장은 수로형태의 골 이외에 북쪽과 서쪽으로 독을 10 m 이상 높게 쌓아올려 방풍막으로 이용하기도 하며, 셋째, 사육지 한쪽을 완전 구획(길이 100 m, 폭 10 m, 수심 5 m)하여 월동장으로 활용하는 경우, 넷째, 별도 월동시설 없이 월동 전에 해수를 추가로 주입하여 양성시의 수심보다 1~2 m 깊게 하여 관리하는 경우, 다섯째, 규모가 작고(약 1,650 m²) 담수 주입이 가능한 양식장은 미리 담수로 염분농도를 낮추어 사육수 표면을 조기결빙 유도하는 등의 다양한 월동방법을 이용하였다 여러 월동방법을 이용하고 있으나 보온시설이 되지 않은 월동장은 안정적인 월동관리가 이루어지지 못하므로 축제식 월동장에 직접 저비용으로 양식어류에 최소한의 스트레스를 미치는 월동장 개발이 절실히 필요하다

3. 요약

가. 서해안 축제식양식장에서의 한파피해는 매년 1~2월 기습적인 한파와 강풍을 동반하여 양식중인 송어 등의 어류들이 대량 폐사하였다.

나. 한파피해 양상은 폐사된 가송어가 축제식 양식장의 한쪽 가장자리로 몰려 동사하였으며 동사된 대부분의 양식장 수심은 1m 전후였고, 대부분 출하를 위해 수심을 낮춘 상태에서 한파피해를 입은 경우도 있었다.

다. 보온시설이 되어 있지 않은 축제식 양식장은 어류동사 피해를 입은 반면, 같은 시기의 축제식 비닐하우스 월동장 내부는 특별한 가온시설이 없이 12℃ 전후(약간의 지하수 주입)를 유지하였다.

제 7 절 축제식 비닐하우스 월동실험

우리나라의 서해안은 잘 발달된 간석지를 이용하여 축제식 양식장이 잘 개발되어 주양식종은 새우(대하)가 주종을 이루고 있다. 그러나 최근 들어 바이러스성질병 발생으로 인하여 대량폐사가 매년 반복됨에 따라 어업인들이 새우양식을 기피하고 송어, 전어 등 어류양식으로 전환하고 있는 실정이다. 그러나 서해안 축제식 양식은 월동이라는 장벽이 가로막고 있으며 '98년부터 한파로 인한 어류동사 피해발생을 시작으로 매년 그 피해규모가 증가되고 있어 서해안 전역을 대상으로 막대한 경제적 손실('98년 47억원, '01년 227억원, '03년 322억원, '05년 10억원)과 더불어 다양한 서해특산 품종의 안정적인 양식기술 개발에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 한파피해를 방지하고 축제식 양식장의 효율적인 이용을 도모하기 위하여 서해안 축제식 양식장에서 주로 양식하는 가숭어와 서해특산 품종인 황복을 대상으로 비닐하우스 월동가능성을 조사하였다.

1. 재료 및 방법

가. 월동장 시설 및 설계

월동장 시설은 충남 태안군 남면 당암리의 (주)SCF 수산양식연구소에 있는 16,500 m² 규모의 축제식 양식장 한쪽에 축제식 바닥면보다 수심을 2~3 m 깊게 파서 비닐하우스를 건조한 시설로 길이는 33.5 m, 폭은 13.5 m인 450 m² 규모였다. 이 비닐하우스 내부의 수면적은 297 m² (30×10 m)이었으며 월동장의 구조는 축제식에서 양성하다가 취양을 위해 물을 배수하면 물길을 따라 어류들이 들어오도록 설계하였다. 비닐하우스 월동장의 높이는 중앙이 4 m, 가장자리는 1.9 m였으며, 가장자리 지주는 \varnothing 60 mm 백관 pipe를 나머지 지주는 \varnothing 40 mm 백관 pipe를 210 cm 간격으로 17개씩 설치하였다(Fig. 71). 기둥의 콘크리트 기초는 넓이 60~70 cm, 깊이 50 cm의 콘크리트를 타설하여 비닐하우스 시설을 견고하게 시설하였으며, 비닐은 두께가 0.1 mm인 농업용 비닐을 이용하였다(Fig. 71). 또한 농사용 비닐하우스 전문 제작업체인 경기도 화성시 송산면의 제일하우스 파이프에 설계 의뢰하였다.



Fig. 71. Construction of wintering grounds in earthen pond.



Fig. 72. Vinyl house pond in winter.

Fig. 73. Measuring of water temperature data in indoor wintering pond.

나. 실험기간 및 사육관리

축제식 비닐하우스 월동시험은 2004년 12월 4일부터 2005년 4월 4일까지 4개월간 실시하였으며, 월동장 내부에 그물망을 이용하여 4개 실험구로 구분하였다. 월동 사육밀도는 가숭어의 경우, 평균체중 59.7 ± 19.9 g인 당년생 종묘는 3.3 m²당 100마리(6 kg), 평균체중 715.9 ± 49.9 g인 2년생은 3.3 m²당 8마리(6 kg)였으며(Table 39), 황복의 경우, 평균체중 19.8 ± 6.5 g인 당년생 종묘는 3.3 m²당 150마리(3 kg), 평균체중 140.2 ± 26.6 g인 2년생은 3.3 m²당 50마리(7 kg) 실험구를 설치하였다(Table 38). 사육수는 지하해수('04. 12. 3일~'05. 1. 17일)와 해수('05. 1. 17일~시험 종료시)로 1일 0.5% 전후로 환수하였다. 산소공급은 수중 에어펌프(다우펌프)를 이용하였다. 수질환경 조사는 염분, DO, pH는 매일 NO₂-N와 NH₄-N은 1주일 간격으로 측정하였다. 생존율은 매일 폐사량을 조사하여 누적하여 계산

하였다. 체중의 감소는 입식 후 2개월, 시험 종료시 2회 전장과 체중을 무작위 30마리 이상 각 실험구별로 측정하여 조사하였다.

다. 어종별 비닐하우스 월동 적정 사육조건 조사

1) 가온방법에 의한 황복 치어의 사육시험

동절기 축제식 양식장과 육상수조식 황복양식장에서 당년생 황복치어를 이용하여 월동하면서 생존율과 체력소모 등을 조사하였다. 실험기간은 2005년 12월 1일부터 2006년 4월 7일까지 4개월간 실시하였다. 실험장소는 I 실험구(Fig. 74)은 축제식 비닐하우스 월동장(축제식 사육지), II 실험구(Fig. 75)는 축제식 비닐하우스 월동장(P.P 사육수조), III 실험구는 황복 육상수조 월동장의 3개 사육지로 구분하였다. 방양밀도는 당년생 황복 치어(평균체장 7.0 ± 0.1 cm, 평균체중 $11.4 \pm 0.4g \sim 13.2 \pm 0.4$ g)를 사육수 m^2 당 30마리 밀도로 방양하여 I 실험구는 9,000마리, II 실험구는 840마리, III 실험구는 1,500마리를 입식하였다. 사육수 온도유지는 I 실험구는 100,000 Kcal 보일러 2대를 설치하여 기온이 낮은 시기에만 가동하였으며, II 실험구는 전기용 히터 2kw 3대를, III 실험구는 폐목용 70,000 Kcal 보일러 2대를 이용하였다. 산소공급은 I 과 III 실험구는 브로워를, II 실험구는 수차를 이용하였다. 체중의 변화는 1개월 간격으로 체장, 체중, 비만도를 투망을 이용하여 무작위 30마리 이상 각 실험구별로 측정하여 조사하였다(Fig. 77). 환수는 I 과 II 실험구는 월 2회, III 실험구는 1일 1회 5% 전후 실시하였다. 수질환경 조사는 염분, DO, pH는 매일 NO_2-N 와 NH_4-N 등 수질환경은 1주일 간격으로 측정하였다. 생존율은 매일 폐사량을 조사하여 누적하여 계산하였다. 또한 월동시 질병발생 현황을 조사하였다.



Fig. 74. Wintering pond of vinyl house (pond).



Fig. 75. Wintering pond of vinyl house (P.P circular tank).



Fig. 76. River puffer stocking in wintering pond.



Fig. 77. Capture operation for examination of body weight.

2) 적정 월동사육밀도 조사

축제식 비닐하우스 월동장의 조건하에서 어종별 월동 적정 사육밀도를 규명하기 위하여 2006년 1월 6일부터 4월 6일까지 3개월 시험하였다. 시험장소는 서해수산연구소 부안 시험포의 실내사육실로 시험수조는 280 L (수용적 250 L)의 원형 FRP 수조를 이용하였다. 수온은 황복의 경우 12℃, 가숭어는 7℃로 자동온도조절기가 연결된 2Kw 전기히터를 1개씩 이용하여 유지하였다. 사육수는 축제식 환경과 비슷하게 2~3일에 약 50 g의 황토를 살포하여 투명도를 약 20 cm 전후로 유지하였고, 자연해수를 이용하여 지수관리하면서 1일 약 5%만 배수하고 새로운 해수로 채워주었다. 시험어는 황복의 경우 경기도 김포소재 육상수조 양식장에서 사육중이던 평균체중 102.8±7.0 g을, 가숭어는 충남 태안소재 해상가두리 양식장에서 사육중이던 평균체중 59.1±2.1 g이었다. 월동 사육밀도는 황복은 사육수 톤당 5 kg, 8 kg, 11 kg, 14 kg을, 가숭어는 10 kg, 40 kg, 70 kg, 100 kg으로 각각 2반복으로 방양하였다.

먹이공급은 황복은 체중의 0.5~1.3%로 황복용 배합사료를 매일 소량씩 공급하였고, 가숭어는 섭식하지 않으므로 공급하지 않았다.

시험기간동안 1개월 간격으로 전장, 체장, 체중, 비만도를 황복은 전 개체를 대상으로, 가숭어는 무작위 30마리 이상 각 시험구별로 측정하여 조사하였다. 수질환경 조사는 수온, 염분, DO는 매일 NO₂-N와 NH₄-N 등 수질환경은 1주일 간격으로 사육수를 냉동하여 분석하였다. 생존율은 매일 폐사량을 조사하여 누적하여 계산하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 황복, 가숭어의 월동사육 조건 조사

축제식 양식장에 비닐하우스 월동장을 시설한 결과, 2005년 한파시 강풍에 의한 시설물의 파손이나 월동중인 황복과 가숭어의 영향을 미치지 않고 한파를 극복하는데 성공하였다. 축제식 양식장에서 수온 4℃ 전후에서는 맑은 날 낮에 양식장 가장자리에 일부 무리를 형성하는 경우도 있었다(Fig. 69).

2004년 12월 4일부터 2005년 4월 4일까지 4개월 동안 수질환경은 염분은 월동사육 초기부터 중반기까지는 지하해수의 사용으로 염분농도가 27.0~9.5로 낮았으나 자연해수를 이용하면서 20 이상을 유지하였다. pH는 초기에는 7.0 이상을 유지하였으나 6.0 전후로 낮아져 염분 및 pH 농도를 높이기 위해 자연해수로 전환하였다(Fig. 78). 용존산소 농도는 월동기간동안 8.2~9.7 mg/L로 양호하게 유지되었으며(Fig. 79), NO₂-N, NH₄-N은 초기에는 매우 낮은 농도였으나 월동기 후반인 4월 초순에는 각각 0.2~0.6 mg/L, 0.1~0.2 mg/L를 나타내었다(Fig. 80).

4개월간의 비닐하우스 월동사육 과정에서 체중의 감소는 입식시 황복 당년생 시험어 19.8±6.5 g이 수확시에 19.8±6.5 g으로, 2년생 황복시험어 140.2±26.6 g이 수확시에 121.7±28.0 g이었다. 또한 가숭어 당년생 시험어는 방양시 59.7±19.9 g이 수확시에 48.4±15.1 g으로, 2년생 시험어 715.9±49.9 g이 수확시에 596.4±60.5 g으로 체중이 감소하여 소형어가 대형어보다는 체중의 감소가 적었으나 대형개체에서는 황복, 가숭어 모두 체중감소가 컸으며, 그중 가숭어 대형개체에서 체중감소가 가장 크게 나타났다(Fig. 81). 황복당년생 시험어는 월동기간중 사료를 일부 섭식하여 체중의 감소가 없었으나 다른 group에서는 사료를 거의 섭식치 않아 체중감소가 크게 나타났다.

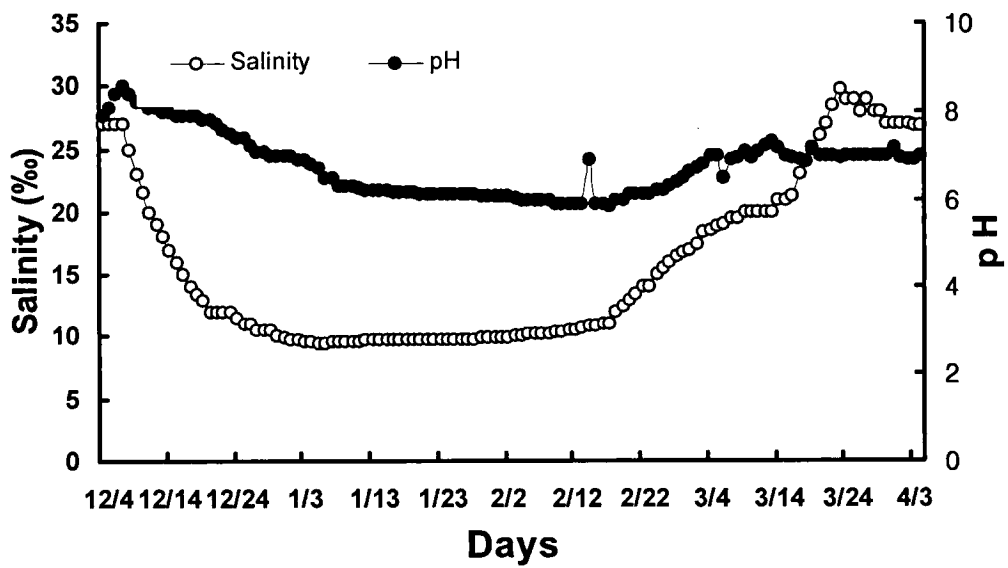


Fig. 78. Changes of salinity and pH during winter season in vinyl house pond.

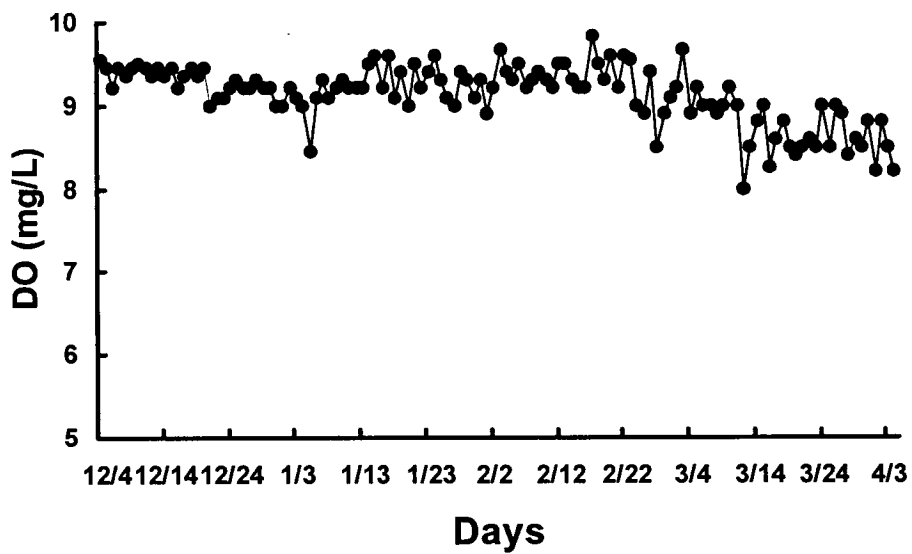


Fig. 79. Changes of DO during winter season in vinyl house pond.

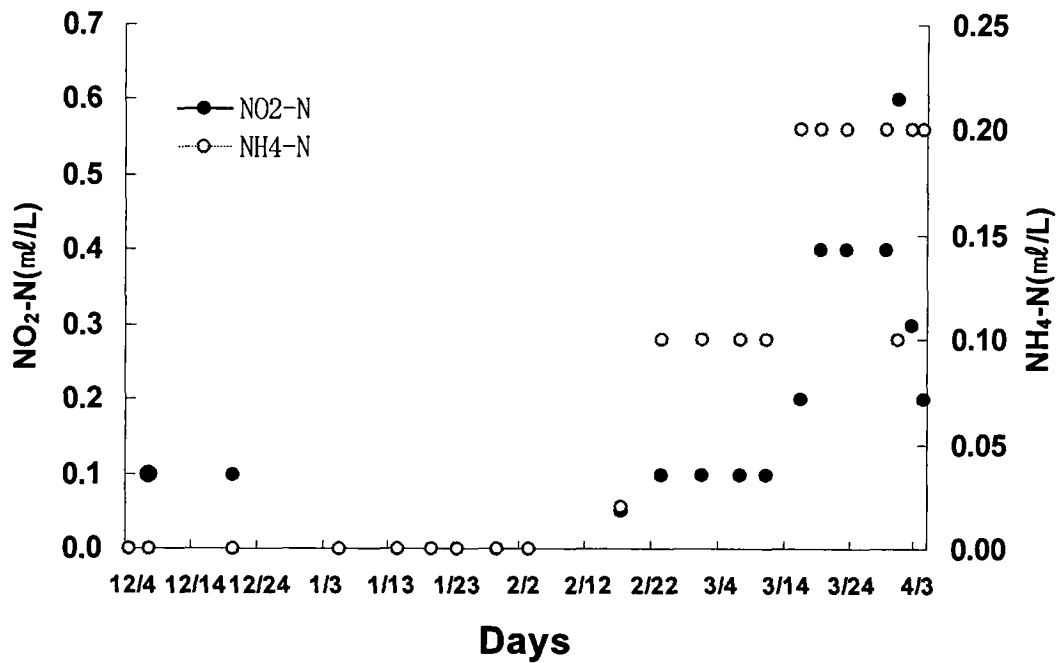


Fig. 80. Changes of nitrite and TAN during winter season in vinyl house pond

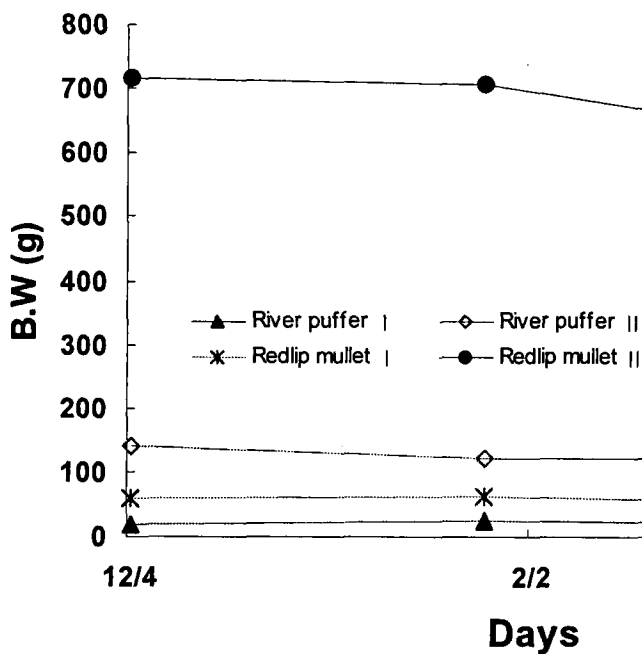


Fig. 81. Changes of body weight during winter season in vinyl house pond.

월동기간 중 생존율은 월동시험개시 후, 1개월 간의 4개 실험구 모두 95% 이상으로 큰 차이를 보이지 않았으나, 월동 중반이후부터는 가숭어에 비해 황복 실험구의 생존율이 낮았다. 최종생존율은 황복 당년생 시험어가 63.9%, 황복 2년생 시험어는 74.2%였으며, 가숭어 당년생 시험어는 96.5%, 2년생 시험어는 98.6%를 보였다(Fig. 82). 체중감소와는 반대로 생존율은 소형개체보다는 대형개체의 생존율이 양호하게 나타났다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 축제식에서 비닐하우스 월동장은 월동기간동안 체중의 감소는 있었으나 월동이 가능하여 향후 적정 사육밀도와 수질관리를 잘하면 서해 특산품종의 대량월동이 가능하리라 판단된다.

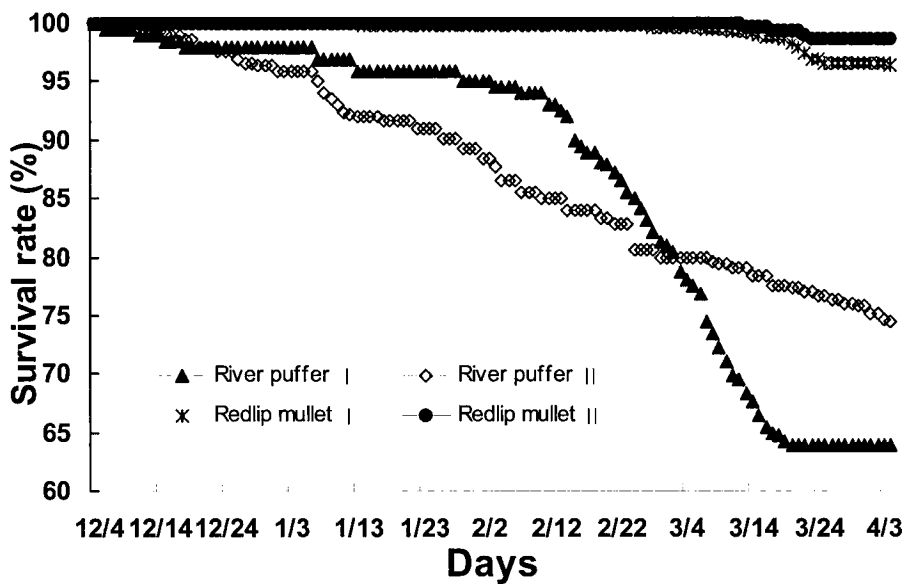


Fig. 82. Survival rate of river puffer and redlip mullet reared in vinyl house pond.



Fig. 83. Harvest of test fishes in vinyl house ground.

나. 비닐하우스 월동장 상세 설계도 작성

축제식 양식장에 시설한 비닐하우스 월동시스템의 설계도는 ①평면도 및 지붕평면도, ②기초평면도 및 기초단면도, ③전후면도 및 측면도, ④주단면도 및 측단면도로 구분할 수 있다. 축제식 비닐하우스 월동장은 최대강풍 10 m/s, 적설량 30 cm 조건에서 견딜 수 있도록 축제식 양식장 제방의 측면에 견고하게 설계하였다(Figs. 84~87).

비닐하우스 월동장은 축제식 사육지 저면보다 낮게 이루어져 있으며 평면도 및 지붕평면도는 가장자리 기둥은 $\varnothing 60$ mm 원형백관 pipe를 나머지 지주는 $\varnothing 40$ mm 원형백관 pipe를 210 cm 간격으로 17개씩 설치하였다. 기둥의 콘크리트 기초석은 넓이 60 cm, 깊이 50 cm의 콘크리트를 타설하도록 설계하였다. 월동장의 전후면도에는 출입문을 양쪽에 높이 1.75 m 넓이 1 m의 규격으로 2개를 시설하였다.

주단면도는 비닐하우스 폭이 13.5 m, 2 m 높이의 바람막이 덕, 비닐하우스 월동장의 높이는 중앙이 4 m였다. 지붕의 가로대는 D40 규격으로 트러스 시공으로 피복 PE.EVA.0.1T를 이용하였다. 비닐하우스 양쪽편에는 폭 2.3 m의 수로를 설치하였다. 측단

면도는 비닐하우스 길이가 33.5 m로 주 파이프는 백관 D40으로 트러스 시공하였고, 해수의 영향으로 부식을 방지하기 위하여 PE.EVA.0.1T로 피복하였다. 비닐은 바람의 영향에 견딜 수 있는 농업용 비닐로 두께는 0.1 mm였다. 비닐하우스 월동장시스템 시설비는 430 m² 기준으로 약 29,452천원이 소요되는 것으로 조사되었다(Table 34).

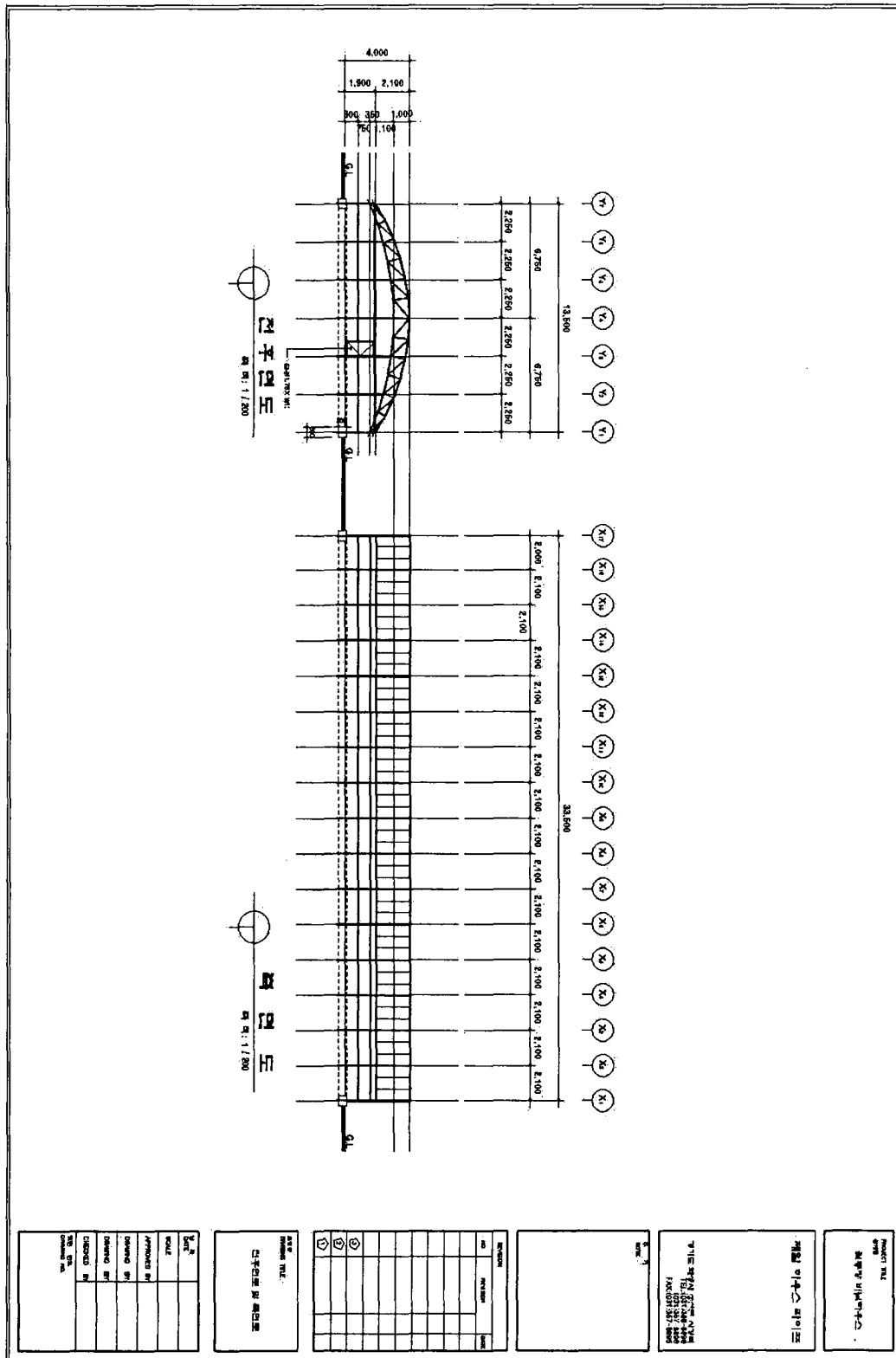


Fig. 86. Design of wintering system in pond (front and rear figure and side figure).

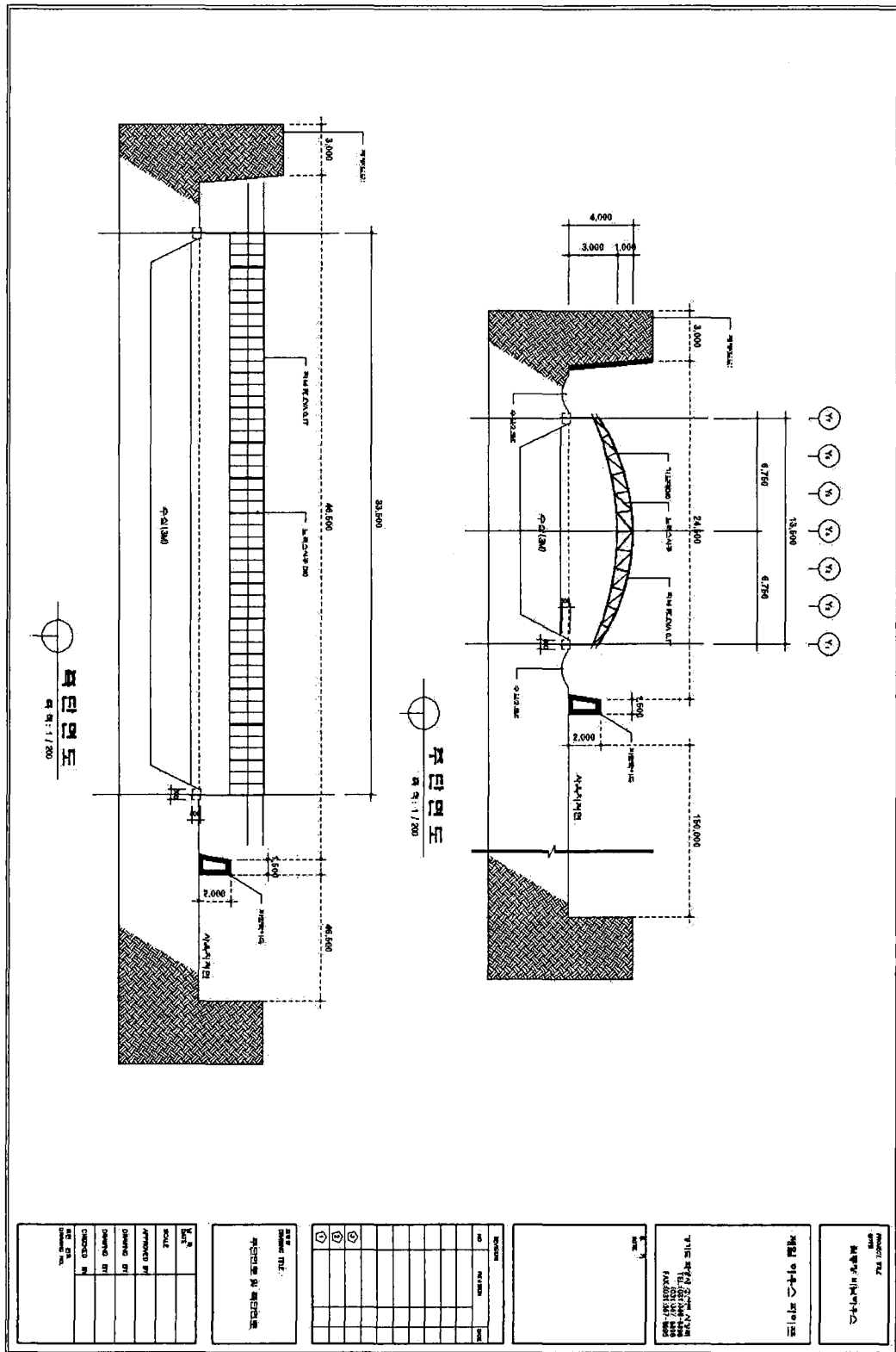


Fig. 87. Design of wintering system in pond (plan figure of main and plan figure of side).

Table. 34. Equipment cost of vinyl house wintering system (430 m²)

품 명	규격	수 량	단 가(원)	금 액(원)	비 고
백 관	D40×6	234	28,700	6,715,800	서까래 1층, 직관
파이프	32×1.5×8.5	64	13,500	864,000	서까래 보조
백 관	D40×2.5	17	51,500	875,500	기둥
백 관	D40×3.6	10	51,500	515,000	보
파이프	25m×1.5t×10M	30	12,400	372,000	브레싱 측면
연결핀	32mm	32	450	14,400	
연결핀	25mm	20	160	3,200	
연결핀	48mm	5	850	4,250	
외꽃이	48×32	64	1,200	76,800	
조리개	48m/32M	360	180	64,800	42×32
U크램프	50	190	1,200	228,000	45×45
새들고정구	25	200	100	20,000	
패드	6M	50	3,500	175,000	
패드스프링		20	150	3,000	
패드연결핀		40	70	2,800	
피 스	8×13(봉)	1	7,000	7,000	
문 짝	1×2M	2	27,000	54,000	1×1.75
C형 행가로라		4	2,500	10,000	
C형강	2M	2	4,200	8,400	
패드비닐	학표	2	10,000	20,000	
보호비닐	0.1×25×200	2	33,000	66,000	
학표, 장수	0.1×800×50	1	265,000	265,000	
학표, 장수	0.1×120×100	1	81,000	81,000	
레미콘		5	400,000	2,000,000	20m
포크레인		1	350,000	350,000	
인건비 외		90	130,000	11,700,000	
파이프	48mm×10M	5	31,300	156,500	
잡 비		1	700,000	700,000	폼대여료 160개 외
벤딩비		1	1,000,000	1,000,000	
크레인		1	400,000	400,000	
자재 loss		1	700,000	700,000	
이 윤		1	2,000,000	2,000,000	
				29,452,450	

다. 가온방법에 의한 황복 치어의 월동사육시험

1) 월동장소별 월동기의 수질환경 변화

실험구 I의 수온변화는 자연해수를 이용하여 월 2회 정도 5% 전후씩 환수하고 보일러를 설치하여 1~2월 한파시기에만 가동한 결과, '06년 1월중 수온은 평균 9.8℃로 월동기간 중 가장 낮았으며, 염분은 자연해수로 29.7~31.9였다. DO는 평균 7.0~8.5 mg/L, pH는 평균 7.1~8.0이었다(Table 35). 실험구 II의 수온변화는 월동기간동안 9.3~14.8℃로 점차 상승하는 경향을 보였으며, 염분은 입식초기에는 지하수를 이용하여 염분이 낮았으나 해수로 환수함에 따라 3~4월에는 자연해수와 동일한 30.6 전후로 전환되었다. DO는 평균 6.8~10.4 mg/L, pH는 실험구 I과 비슷한 경향을 보였다(Table 36).

Table 35. Changes of selected parameters of water quality in experiment group I during winter season

월별	수온(℃)	염분(‰)	DO(mg/L)	pH
'05년 12월	10.8(8.4~12.6)	30.5	8.5(7.6~10.7)	7.1(6.6~8.1)
'06년 1월	9.8(9.0~10.8)	30.3	8.0(7.6~8.7)	8.0(7.5~8.2)
'06년 2월	10.0(8.4~11.9)	28.9	8.3(7.9~9.4)	8.0(7.9~8.2)
'06년 3월	12.6(10.5~14.0)	29.7	8.4(7.4~9.4)	8.0(7.8~8.4)
'06년 4월	14.6(13.9~15.9)	31.9	7.0(6.5~7.8)	7.9(7.0~8.2)

* I 실험구 : 축제식 비닐하우스 월동장(pond)

Table 36. Changes of selected parameters of water quality in experiment group II during winter season

월별	수온(℃)	염분(‰)	DO(mg/L)	pH
'05년 12월	9.3(8.6~9.9)	9.9	10.4(10.2~10.5)	7.7(7.7~8.0)
'06년 1월	10.5(7.7~12.6)	20.1	8.9(7.3~10.5)	7.8(7.7~8.1)
'06년 2월	13.1(10.7~15.5)	28.4	6.8(5.0~9.5)	7.9(7.8~8.1)
'06년 3월	13.7(12.5~14.5)	30.6	8.3(7.0~9.2)	7.8(7.7~8.1)
'06년 4월	14.8(14.2~15.8)	30.7	8.2(7.1~9.0)	7.9(7.0~8.1)

* II 실험구 : 축제식 비닐하우스 월동장(P.P 사육수조)

실험구 Ⅲ은 육상의 황복양식장으로 월동기에도 폐목을 이용한 보일러를 활용하여 수온을 19.0~23.0℃로 유지하였다. 염분은 지하담수에 식염을 첨가하여 2.0~5.1로 낮았으며, DO 및 pH 값에 있어서도 실험구 I 과 II에 비교하여 낮은 값을 보였으나 황복 치어의 월동에는 큰 영향을 미치지 않았다(Table 37).

Table 37. Changes of selected parameters of water quality in experiment group III during winter season

월별	수온(℃)	염분(‰)	DO(mg/L)	pH
'05년 12월	19.0(18.0~20.0)	2.2	6.5(6.4~6.6)	6.4(6.4~6.5)
'06년 1월	20.0(20.0~21.2)	2.8	6.6(6.2~6.7)	6.7(6.4~6.8)
'06년 2월	20.7(19.3~22.0)	5.0	6.7(6.5~6.8)	6.7(6.5~6.8)
'06년 3월	21.0(21.0~21.2)	5.1	6.7(6.6~6.8)	6.6(6.4~6.7)
'06년 4월	23.0(23.0~23.2)	2.0	6.6(6.1~6.8)	6.8(6.7~6.8)

* Ⅲ실험구 : 황복 육상수조 월동장

2) 월동기 실험어의 성장 변화 및 생존율

황복 당년생 치어를 4개월간 월동사육한 결과, 체장은 Fig. 88에서와 같이 실험구 I은 평균 0.2 cm, 실험구 II는 평균 0.9 cm, 실험구 III은 평균 4.3 cm가 증가되어 월동시 수온이 10.0~15.0℃ 범위에서는 체장증가는 낮았으며, 20.0℃ 이상에서는 실험구 I, II에 비해 현저히 높았다(Fig. 88). 체중에 있어서도 실험구 I은 평균 1.4 g, 실험구 II는 평균 3.0g, 실험구 III은 평균 40.4 g으로 III 실험구가 실험구 I, II에 비해 현저히 증가하는 경향을 보였으며, 축제식 비닐하우스 월동장에서 월동시 체중의 감소는 일어나지 않았다(Fig. 89).

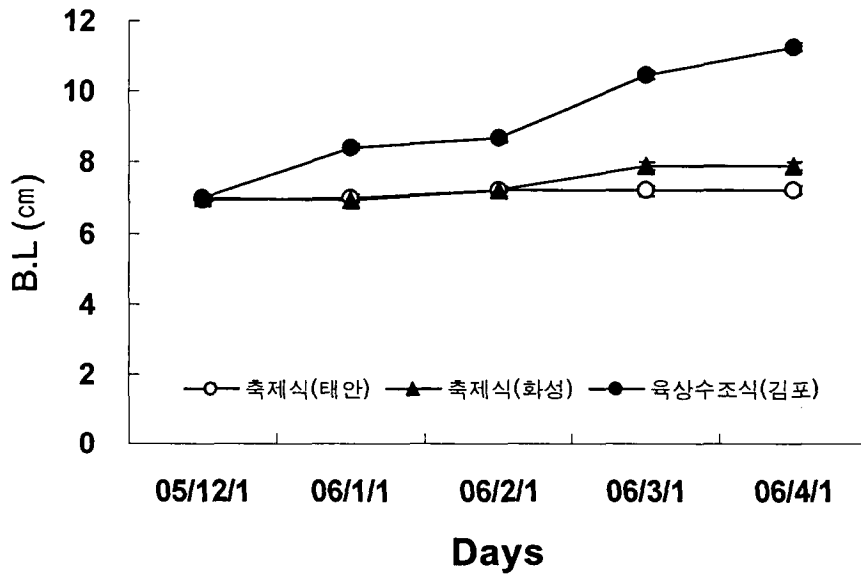


Fig. 88. Body length changes of river puffer in different heating patterns.

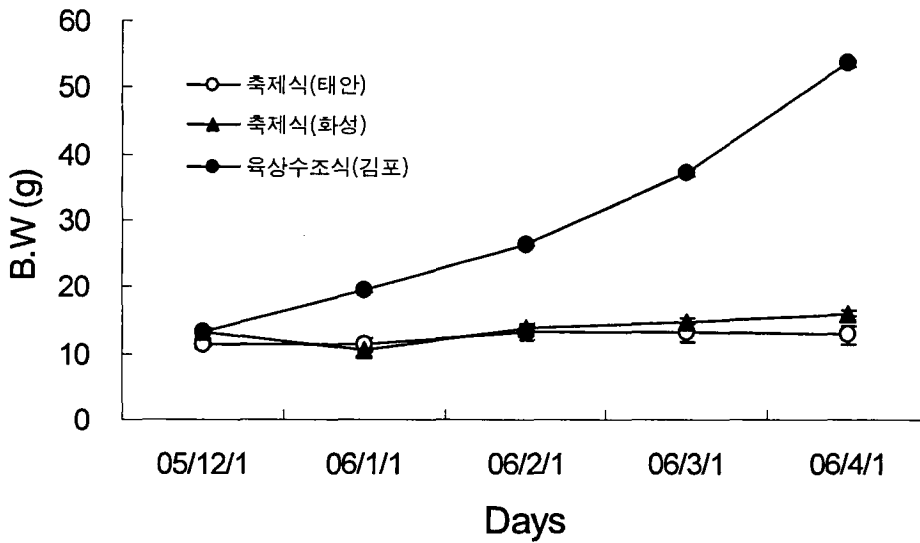


Fig. 89. Body weight changes of river puffer in different heating patterns.

최종 생존율은 실험구 I 이 87.5%, 실험구 II는 96.9%, 실험구 III은 99.5%로 축제식 양식장 저면에 월동장을 시설한 실험구 I 이 약간 낮았으나 월동장 입식시기가 11월 중순 이전이면 생존율을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 90). 또한 월동기간동안 3개 실험구에서 질병은 발견되지 않았다. 월동기간 중 황복은 복어 특유의 공식현상 즉 복부 등을 물어뜯는 현상이 수온이 낮은 실험구 I, II에서는 90~100%로 대부분의 개체

에서 복부에 3~4군데에 등근 이빨자국이 있었으며, 실험구 III에서는 3.3~23.3%로 나타났다.

비만도의 변화는 월동시험기간동안 주기적인 변동이 있었으며, 최종월동 종료시에는 입식시와 비교하여 실험구 I 이 5.1% , 실험구 II가 -8.5%, 실험구 III이 -2.8%으로 실험구를 제외한 실험구 II, III은 감소된 것으로 나타냈다(Fig. 91).

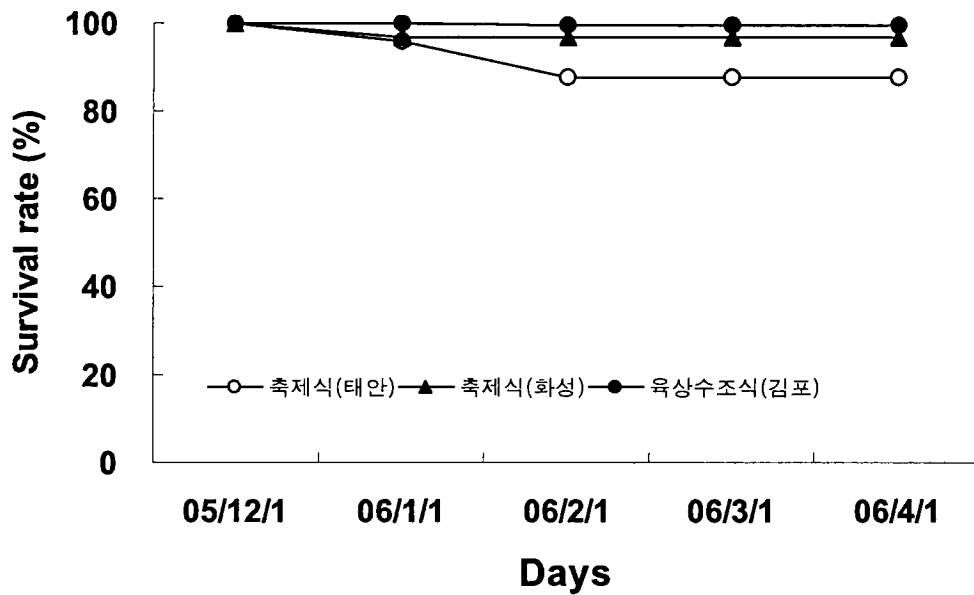


Fig. 90. Survival rate changes of river puffer in different heating patterns.

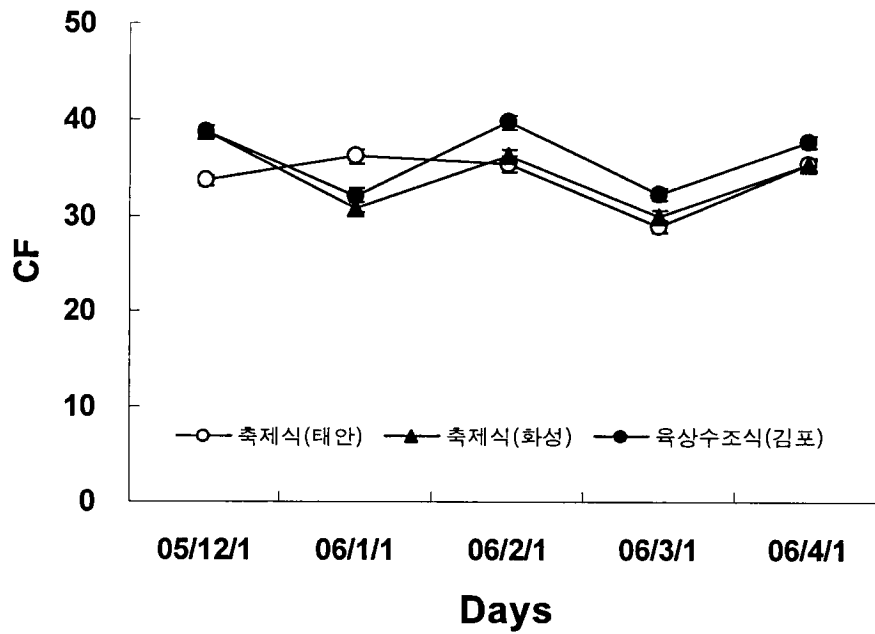


Fig. 91. Condition factor changes of river puffer in different heating patterns.

3) 적정 월동 사육밀도 조사

가) 일반 수질환경

황복과 가숭어의 적정 월동밀도를 규명하기 위하여 3개월간 밀도별로 사육(Fig. 94)한 결과, 수질환경은 황복 실험구는 수온 11.5~12.0℃, 염분 28.1~32.8, 용존산소는 실험구별로 5 kg/m³ 8.3~9.0 mg/L, 8 kg/m³ 8.5~8.8 mg/L, 11 kg/m³ 8.0~8.5 mg/L, 14 kg/m³ 7.6~8.3 mg/L으로 밀도가 높을수록 DO는 낮아지는 경향을 보였다. 가숭어 실험구는 수온 7.1~8.8℃, 염분 27.8~32.6, 용존산소는 실험구별 10 kg/m³ 8.9~9.6 mg/L, 40 kg/m³ 7.95~8.6 mg/L, 70 kg/m³ 7.50~8.6 mg/L, 100 kg/m³ 7.2~8.6 mg/L으로 황복과 유사하게 밀도가 높을수록 용존산소는 약간 낮았다.

나) 성장률

밀도별 월동사육시험 기간동안 실험어의 체중변화는 황복의 경우 10℃ 이상으로 수온을 유지한 결과, 체중의 증가는 많이 나타나지는 않았지만 체중의 감소는 보이지 않았고 약간의 증가 경향을 보였다(Fig. 92, Table 38). 월동 후 실험구별 체중의 증가는 저밀도구인 5 kg/m³가 4.6%, 고밀도구인 14 kg/m³가 0.5%로 고밀도일 때 체중의 증가량은 낮았다. 체장에 있어서도 체중의 변화와 비슷하게 고밀도 사육구에 낮게 나타났다. 비만도의 변화

는 5 kg/m³가 -1.4, 11 kg/m³가 -4.0으로 고밀도에서 낮게 나타나는 경향을 보였다.

축제식 비닐하우스 월동장과 유사한 수온조건으로 가숭어의 사육수온을 7~8℃로 유지하였을 때 체중의 변화는 월동시험 3개월 동안 실험구별로 5.8~9.6 g의 체중이 감소하여 체중감소율이 각각 -9.8%, -13.5%, -13.7%, -16.2%로 고밀도 실험구일수록 체중감소가 크게 나타났다(Fig. 93, Table 39). 체장에 있어서는 체중에 비해 감소는 적었지만 -0.6~-3.8%로 고밀도 실험구에서 높게 나타났다. 비만도의 변화는 40 kg/m³ 실험구가 -12.1로 가장 크게 나타났고 100 kg/m³ 실험구가 -6.0으로 낮았다.

SGRW은 황복의 경우, 다른 실험구에 비해 5 kg/m³에서 4.17%로 가장 높았으며, 가숭어는 밀도가 증가할수록 체중감소가 많아 고밀도구인 100 kg/m³에서는 -109.2%로 실험구간 유의한 차이를 보였다. SGRL은 황복의 경우, 5, 8 kg/m³ 실험구에서 0.015~0.025%로 유의하게 빠른 성장을 보였으며(Fig. 98), 가숭어는 10, 40 kg/m³에서는 감소가 나타나지 않은 반면, 70, 100 kg/m³구에서는 -0.015%로 길이성장이 감소하였다(Fig. 99). CF는 황복이 26.1~28.4, 가숭어는 13.6~14.2였다(Fig. 100). 황복의 DFI는 저밀도구인 5, 8 kg/m³에서 0.67~0.42 g/마리로 나타나 고밀도구인 14 kg/m³의 0.27 g/fish 보다 유의하게 높았다(Fig. 102).

4) 생존율 및 질병 발생

황복의 생존율은 5 kg/m³, 8 kg/m³ 실험구가 100%, 11 kg/m³ 실험구가 98.2%, 14 kg/m³ 실험구가 97.2%로 모든 실험구가 양호한 결과를 보였다(Fig. 104). 황복 공식현상인 복부의 물림현상은 5 kg/m³ 실험구가 60.6%, 8 kg/m³ 실험구가 56.1%, 11 kg/m³ 실험구가 87.9%, 14 kg/m³ 실험구가 85.5%로 나타나 수용밀도가 높은 실험구일수록 공격현상이 높게 나타났다.

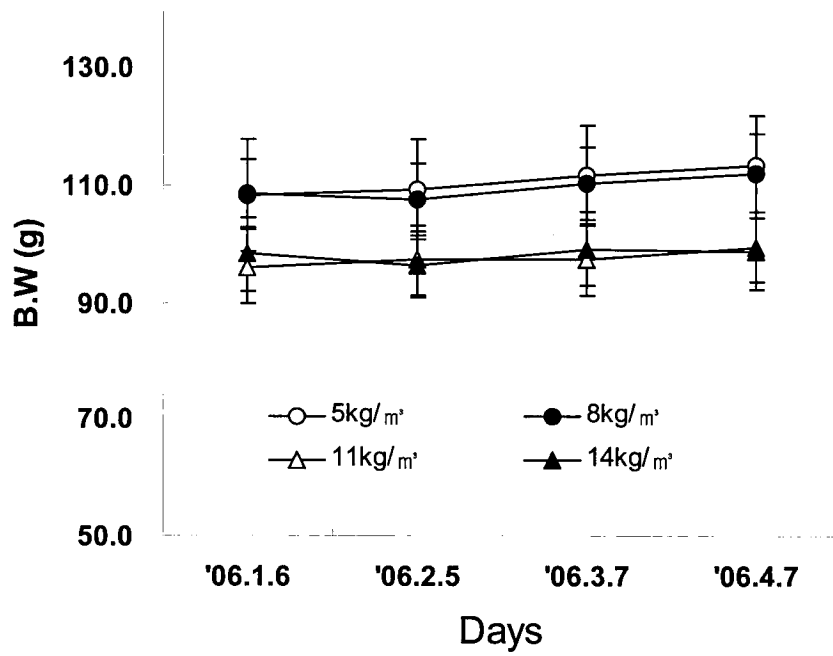


Fig. 92. Body weight changes of river puffer in different rearing density.

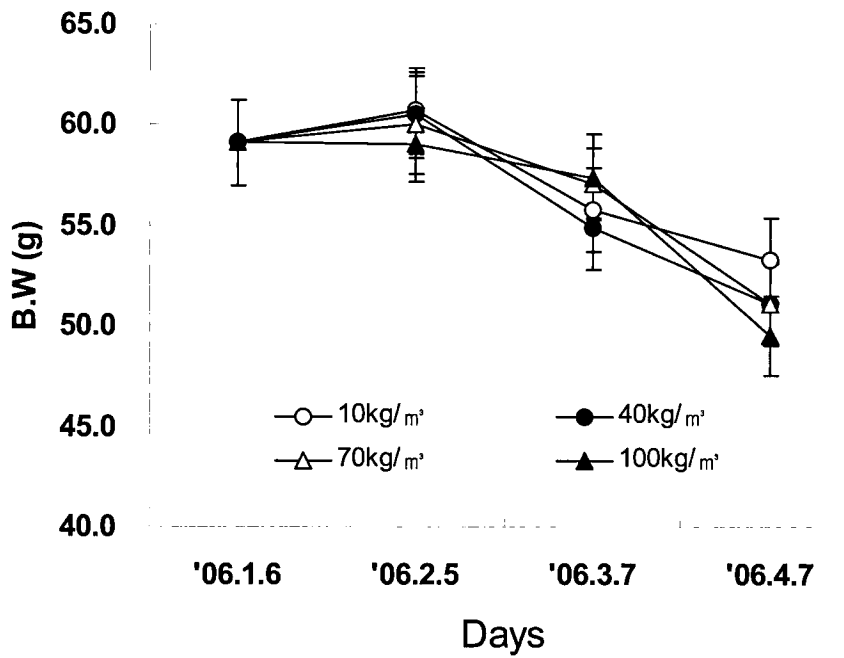


Fig. 93. Body weight changes of redlip mullet in different rearing density

가송어의 경우, 생존율은 10 kg/m³ 실험구가 99.0%, 40 kg/m³ 실험구가 99.8%, 70 kg/m³ 실험구가 99.9%, 100 kg/m³ 실험구가 97.8%로 모든 실험구가 비슷하게 나타났다(Fig. 105). 월동기간동안 특별한 질병은 발견되지 않았으나 고밀도 실험구의 꼬리지느러미에서 약간의 부식현상이 나타났는데 70 kg/m³ 실험구가 16.7%, 100 kg/m³ 실험구가 50%의 부식현상을 보였다(Fig. 95).



Fig. 94. Experiment in different rearing density during wintering period.

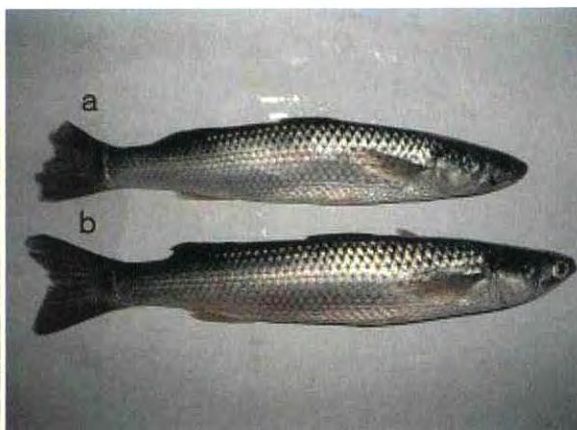


Fig. 95. Abnormality (a) and normality (b) of caudal fin redlip mullet reared in 100kg/m³.



Fig. 96. Rearing of river puffer during wintering period (11 kg/m³ experiment group).



Fig. 97. Rearing experiment of redlip mullet during wintering period (100 kg/m³ experiment group).

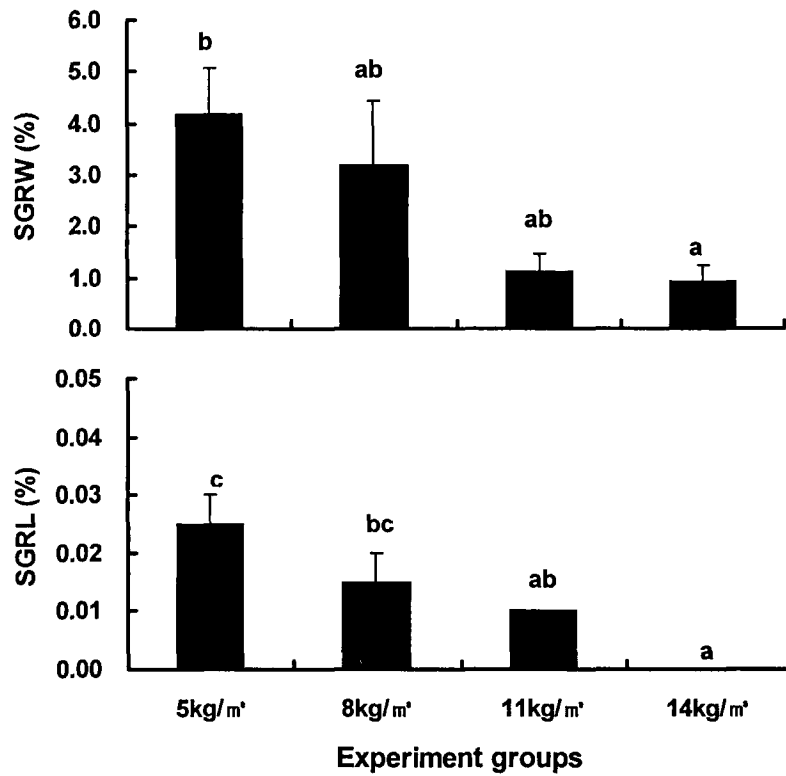


Fig. 98. Specific growth rate in body weight (SGRW) and in length (SGRL) of river puffer reared in different densities ($P < 0.05$).

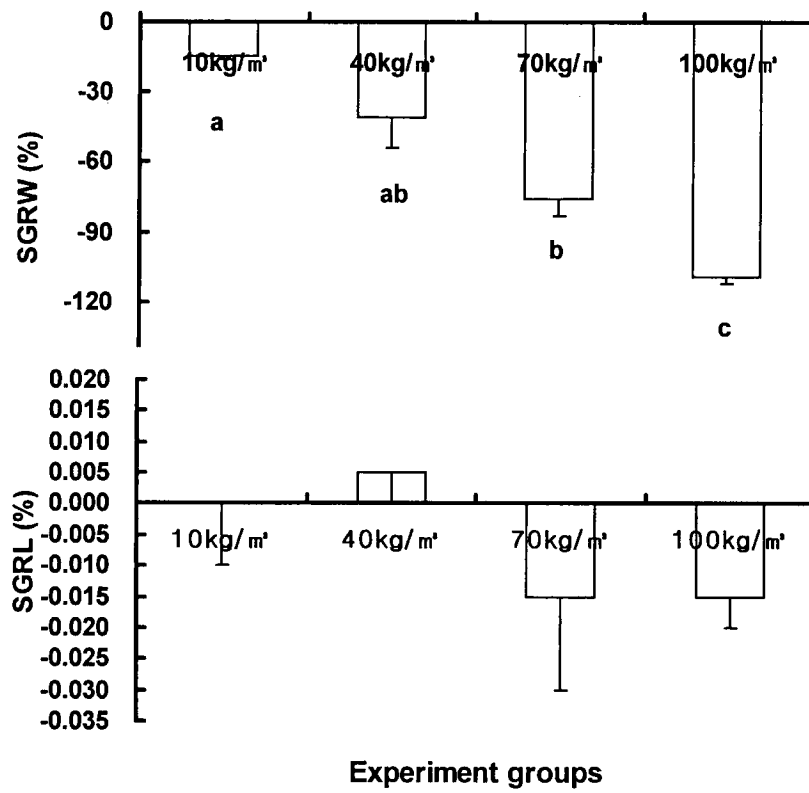


Fig. 99. Specific growth rate in body weight (SGRW) and in length (SGRL) of redlip mullet reared in different densities ($P < 0.05$).

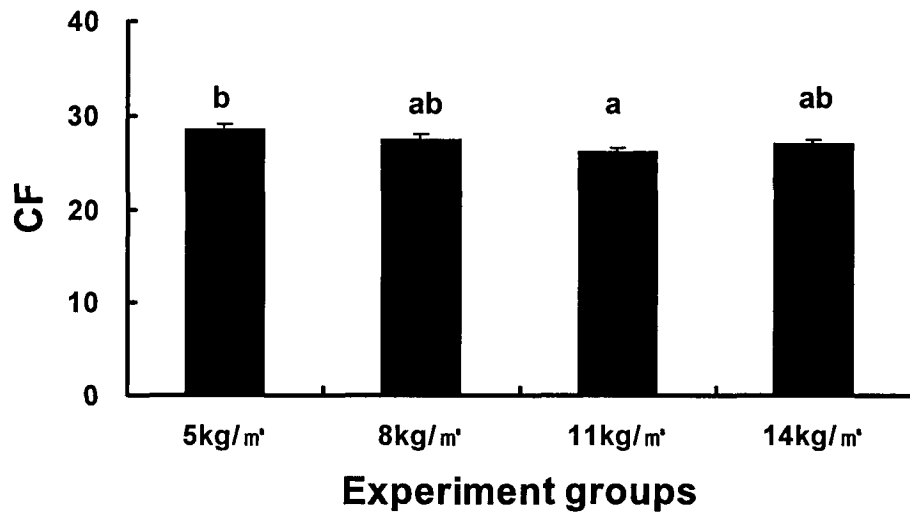


Fig. 100. Condition factor of river puffer reared in different densities ($P < 0.05$).

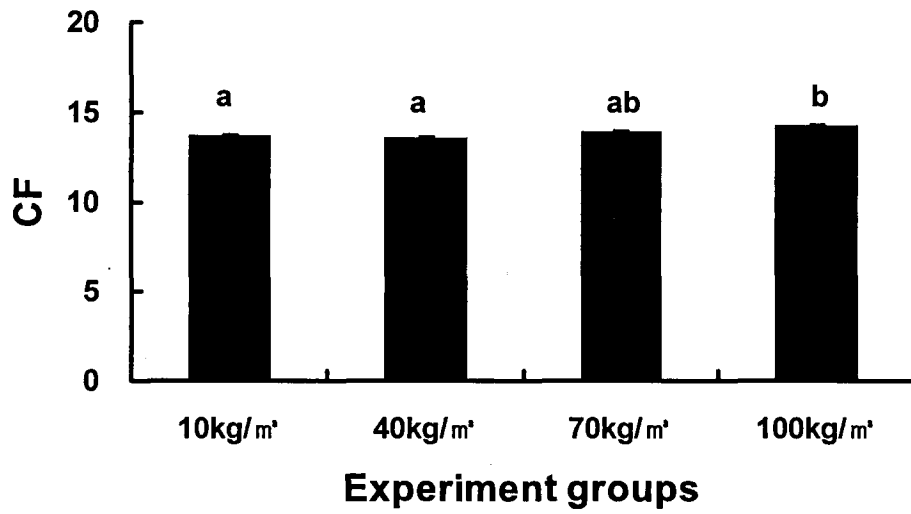


Fig. 101. Condition factor of redlip mullet reared in different densities ($P < 0.05$).

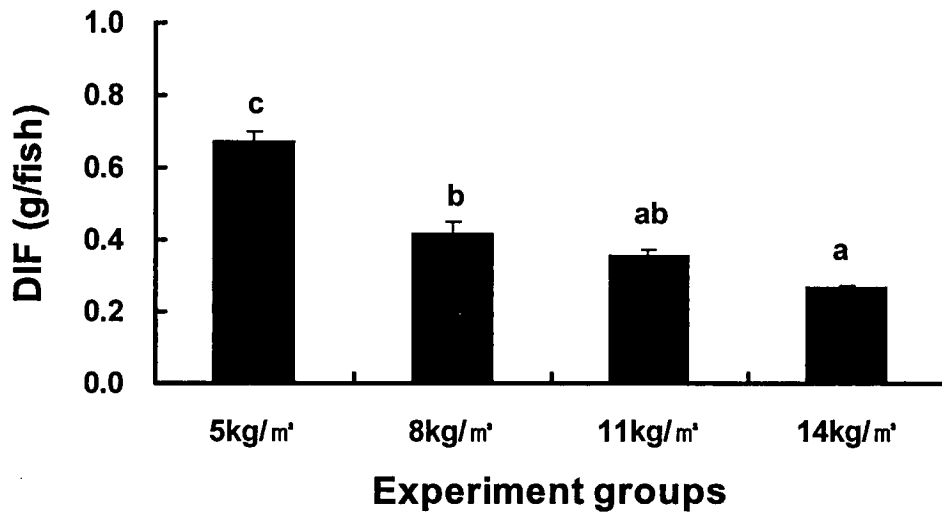


Fig. 102. Daily individual feed intake (DFI) of river puffer reared in different densities ($P < 0.05$).

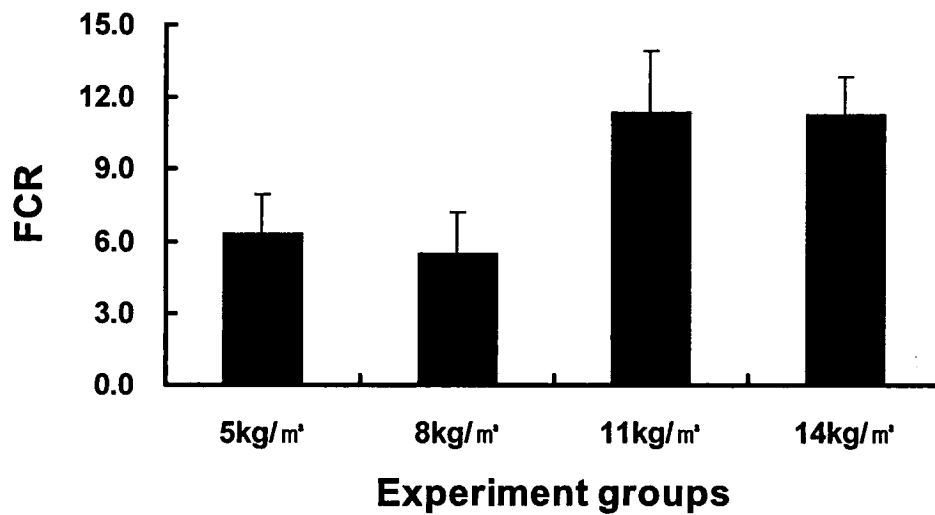


Fig. 103. Feed conversion ratio (FCR) of river puffer reared in different densities ($P < 0.05$).

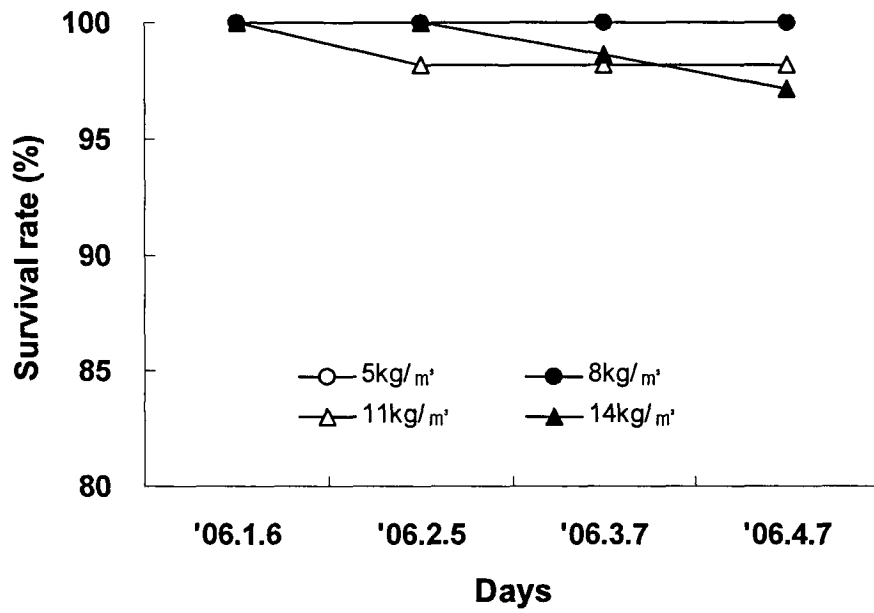


Fig. 104. Survival rate of river puffer reared in different densities.

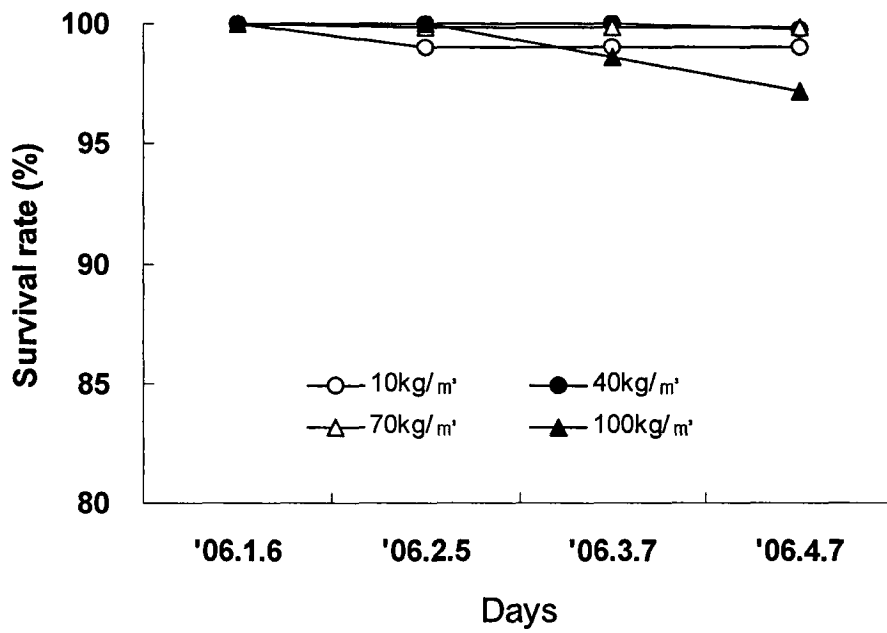


Fig. 105. Survival rate of redlip mullet reared in different densities

Table 38. Growth changes of river puffer reared in different densities during winter season

실험구	월동 전			월동 후		
	체장(cm)	체중(g)	비만도	체장(cm)	체중(g)	비만도
5kg/m ³	15.5±0.2	108.3±9.4	28.8±0.3	15.8±0.2(+1.9%)	113.3±8.6(+4.6%)	28.4±0.2(-1.4%)
8kg/m ³	15.6±0.2	108.5±5.8	28.2±0.2	15.9±0.2(+1.9%)	112.2±6.5(+3.4%)	27.5±0.3(-2.5%)
11kg/m ³	15.1±0.2	96.1±6.3	27.3±0.1	15.3±0.2(+1.3%)	99.6±6.0(+3.6%)	26.2±0.2(-4.0%)
14kg/m ³	15.2±0.2	98.4±6.3	27.7±0.1	15.4±0.2(+1.3%)	98.9±6.5(+0.5%)	26.7±0.2(-3.6%)

Table 39. Growth changes of redlip mullet reared in different densities during winter season

실험구	월동 전			월동 후		
	체장(cm)	체중(g)	비만도	체장(cm)	체중(g)	비만도
10kg/m ³	15.7±0.2	59.1±2.1	14.9±0.1	15.6±0.2(-0.6%)	53.3±2.1(-9.8%)	13.7±0.2(-8.1%)
40kg/m ³	15.7±0.2	59.1±2.1	14.9±0.1	15.6±0.2(-0.6%)	51.1±2.1(-13.5%)	13.1±0.3(-12.1%)
70kg/m ³	15.7±0.2	59.1±2.1	14.9±0.1	15.3±0.2(-2.5%)	51.0±2.0(-13.7%)	13.9±0.2(-6.7%)
100kg/m ³	15.7±0.2	59.1±2.1	14.9±0.1	15.1±0.2(-3.8%)	49.5±2.0(-16.2%)	14.0±0.2(-6.0%)

라. 축제식 양식장 월동기술 보급

축제식 비닐하우스 월동기술은 축제식양식장 바닥 구조의 보완, 바람막이 시설 등의 기존 월동관리와는 매우 차별화된 보온 월동시스템이다. 본 연구에서 설계한 축제식 비닐하우스 월동장은 최대강풍 10 m/s, 적설량 30 cm 조건에서 견딜 수 있어 서해안 동절기 월동환경에 적합하여 서해안의 주요어종인 가숭어, 황복양식에 적합하며, 조기류, 전어 등의 양식어업인들이 양식현장에서 직접 적용할 수 있는 기술이다. 정부에서는 2004년부터 축제식 월동장의 시설비 지원을 서해안 지역 10개소(전북 7, 전남 3개소)에 하고 있으나 지원형태가 융자 70%, 자담 30% 형태로 어업인의 실질적 지원 미흡으로 10개소 중 8개소가 월동장 지원사업을 반납하였고, 2개소의 경우도 전남 신안군 안좌, 비금도의 육상월동 시설(가온식)이었다. 육상가온식 월동시설은 유류비의 경제적 부담으로 월동어류의 경제성이 낮아지므로 저비용의 축제식 비닐하우스 월동기술개발 보급이 필요하다. 또한 가숭어와 황복의 월동사육지의 수면적에 따른 월동밀도와 적정 사육 수온 등을 어업인들에게 보급할 예정이다.

현재 정부의 월동장 지원형태 보다는 보조금형태의 예산을 책정하여 정부와 지방자치단체에서 30% 전후를 지원하며, 자부담의 비율을 더 낮추는 것이 바람직할 것으로 본다.

3. 요약

가. 2004년 12월 4일부터 2005년 4월 4일까지 4개월 동안, 축제식 비닐하우스에서의 월동 가능성을 조사하기 위하여 430 m² 축제식 비닐하우스 월동장을 시설하여 가숭어(2 group)와 황복(2 group)을 대상으로 4개 실험구를 설정하여 성장률, 생존율 및 수질환경 변화 등을 조사하였다.

나. 수질환경은 염분, DO, pH, NO₂-N, NH₄-N 등이 월동에 적합한 수준이었으며, 보온시설이 되지 않은 축제식 양식장은 동사피해를 입은 반면 축제식 비닐하우스 내부의 수온은 12℃ 전후로 유지되어 안정적인 월동이 가능하였다.

다. 축제식 비닐하우스 월동장 시설비는 430 m² 기준으로 29,452천원이 소요되는 것으로 조사되었다.

라. 축제식 비닐하우스 월동장에서 4개월간 월동사육한 결과, 체중변화는 황복 당년생 시험어의 경우 평균체중 19.8±6.5 g이 19.8±6.5 g, 2년생 황복 140.2±6.5 g이 121.7±28.0 g이었으며, 가숭어 당년생 59.7±19.1 g은 48.4±15.1 g, 2년생 가숭어 715.9±49.9 g이 수확시 596.4±60.5 g으로 대형개체에서 체중감소가 크게 나타났다.

마. 축제식 월동 4개월 후 최종 생존율은 각각 황복 당년생 63.9%, 2년생 74.2%, 가숭어 당년생 96.5%, 2년생 98.6%로 대형개체에서 생존율이 높게 나타났다.

바. 월동기 수온에 따른 황복 치어의 성장은 10~15℃일 때 축제식 노지 및 p.p수조에서는 평균성장이 1.4~3.0 g이 증가된 반면 월동수온이 20~23℃일 때 평균 40.4 g의 높은 성장을 보였다.

사. 축제식 비닐하우스 월동장에서 최대 수용밀도를 조사하고자 육상의 pilot 수조에서 축제식 양식장과 비슷한 조건을 설정하여 가숭어와 황복을 동절기(1~4월) 3개월간 사육한 결과, 황복은 사육수 m²당 14 kg의 월동사육이 가능하였고, 가숭어는 사육수의 10%인 m²당 100 kg까지 가능하였다.

아. 월동밀도별 생존율은 황복의 경우, 사육수 m²당 11~14 kg에서 97.2~98.2%였고, 가숭어의 경우, 사육수 m²당 70~100 kg에서 97.8~99.9%였다.

자. 가숭어는 월동수온 7℃로 밀도별로 사육했을 때 사육밀도가 증가할수록 체중감소가 많아 100 kg/m² 실험구에서는 SGRW가 -109.2%였다.

제 8 절 월동기 황복과 가숭어의 수온별 사육실험

수온은 생물의 대사효율과 활성을 변경시켜 변온동물인 어류의 성장과 생존에 직접적인 영향을 미치며 산소소비, 먹이섭식 그리고 많은 생리적인 기능들이 의존하는 중요한 요인이다. 우리나라의 겨울철 수온은 온대성 어류양식의 저해요인으로 작용할 뿐 아니라 대부분의 어종은 10℃ 이상의 월동수온을 요하기 때문에 월동 제한요인으로 작용하여 양식어종 다양화에 어려움을 주고 있다. 서해안에서 겨울철 월동은 연료비가 많이 지출되므로 경제성을 고려하여 어종별로 적정 월동수온을 구명하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구는 서해안의 주 양식대상종인 황복과 가숭어의 겨울철 성장과 생존에 미치는 수온의 영향을 알아보고 월동기 해산어류 양식에 대한 기초자료를 얻고자 하였다.

1. 재료 및 방법

가. 실험구 및 실험기간

실험기간은 황복은 2006년 12월 20일부터 2007년 3월 20일까지, 가숭어는 2006년 12월 27일부터 2007년 3월 28일까지 3개월간 실시하였으며, 실험구는 자연수온(평균 3.4℃), 10, 15, 20℃의 4개구를 2반복으로 설정하였다.

나. 실험생물 및 사육조건

시험용 황복은 육상수조식 실내수조에서 자연해수를 이용하여 사육한 평균전장 17.2 ± 0.1 cm, 평균체중 110.7 ± 1.6 g인 황복 30마리씩을 1톤 FRP 사각수조에 수용하여 유수식으로 사육하였다. 가숭어는 평균전장 34.1 ± 0.2 cm, 평균체중 406.5 ± 6.4 g으로 충남 태안군 당암리의 해상가두리에서 사육하던 개체를 실내 사육실험실로 수송하여 수온별 사육실험을 실시하였다. 수온조절은 자연수온구를 제외한 3개 실험구는 2Kw 히터를 이용하여 수온을 유지하였다. 먹이는 황복의 경우 시판용 황복 배합사료, 가숭어는 시판용 숭어 배합사료(SCF 社)를 매일 2회 공급하였다.

다. 성장률 조사

실험개시부터 1개월 간격으로 전장, 체장, 체중을 실험종료시 개체당 일간성장률(SGRW), 개체당 일간성장률(SGRL), 비만도(CF), 일간개체당 사료섭식량(DFI) 사료계수(FCR)를 조사하였다.

라. 생존율 조사

수온별(자연수온 3.4, 10, 15, 20°C) 황복의 생존율을 알아보기 위해 매일 폐사량을 조사 후 누적하여 계산하였으며, 폐사 개체는 전장과 체중을 측정하였다.

마. 수질환경 조사

사육수의 수질환경 조사는 매일 오전 10시를 기준으로 수온, 용존산소, pH, 염분을 휴대용 수질측정기(YSI 85, U.S.A)와 pH Meter를 이용하여 측정하였다. 영양염류는 10일 간격으로 1 L의 사육수를 채수하여 NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, SiO₂ 항목을 분석하였다.

바. 통계처리

실험결과의 통계처리는 SPSS program을 이용하여 one-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간의 유의성을 검정하였다($P < 0.05$).

2. 결과 및 고찰

가. 성장률

황복의 경우, 실험 종료시 일간성장률(SGRW)은 10°C 6.97%, 15°C 2.16%, 20°C 13.24%로 유의차가 없는 반면(Fig. 110), 개체당 일간성장률(SGRL)은 10°C 0.005%, 20°C 0.035%로 유의한 차이를 나타냈다(Fig. 111). 비만도(CF)는 저수온인 10°C구에서 32.5로 15°C, 20°C구의 28.8~28.9보다 1.13배 높았고(Fig. 114), 일간개체당 사료섭식량(DFI)은 10°C 0.315 g/마리, 15°C 0.575 g/마리, 20°C 0.720 g/마리로 수온이 높을수록 유의한 차이를 보이며 증가하였다(Fig. 116). 사료계수(FCR)는 10°C구와 20°C구는 0.83~1.66으로 차이가 없었으나, 15°C구는 2.29로 가장 높게 나타났다(Fig. 118). 가송어의 실험 종료시 SGRW은 자연수온구 -10.16, 10°C -16.98, 15°C -26.34, 20°C -29.00로 수온이 높을수록 체중의 감소가 크게 나타나 모든 실험구에서 (-) 성장을 보였다(Fig. 112). SGRL은 자연수온구, 10°C구에서 각각 -0.015%, -0.010%로 감소하였으며, 15°C구, 20°C구에서는 0.010~0.025%로 증가양상을 보였다(Fig. 113). CF는 12.1~14.5의 값을 나타내 수온이 높을수록 낮은 값을 보였으며, 자연수온구가 14.5로 가장 높은 값을 보였다(Fig. 115). DFI의 경우 자연수온구와 10°C구는 0.15~0.23 g/fish으로 차이가 없었으며, 15°C구와 20°C구에서는 0.45~0.63 g/마리으로 유의하게 증가하였다(Fig. 117). FCR는 모든 실험구가 -0.075~-1.01의 값을 보여 수온이 높아 질수록 음(-)의 값으로 증가하였다(Fig. 119).

나. 생존율

실험종료시 수온(자연수온 3.4℃, 10, 15, 20℃)에 따른 황복의 최종 생존율은 자연수온구(3.4℃)가 1개월 내에 전량 폐사하였으며, 10℃구는 98.4%, 15℃구는 90.0%의 생존율을 보였으며, 20℃구는 폐사 개체가 발생하지 않아 생존율 100%로 10~20℃ 실험구간의 생존율에는 큰 차이가 나타나지 않았다.

실험종료시 수온(자연수온 3.4℃, 10, 15, 20℃)에 따른 가숭어의 최종생존율은 자연수온구에서 11.8%, 10℃구는 91.7%, 15℃구는 98.4%의 생존율을 보였다. 20℃구에서는 93.4% 생존율을 나타냈으며, 자연수온구와 다른 실험구간(10~20℃)에는 유의한 차이를 보였다.

결과적으로 자연수온(1.8~10℃)에서는 육상수조에서도 황복은 생존율을 기대할 수 없으며, 가숭어의 경우도 월동장을 옮겨 사육할 경우 11.0% 전후였다. 동절기에 수온을 높여 사육했을 때 황복은 체중증가는 있었으나 가숭어의 경우 체중이 감소하여 동절기에 생존율과 연료비 등 경제성을 고려할 때 황복과 가숭어는 10℃가 가장 효율적인 월동수온으로 생각된다.

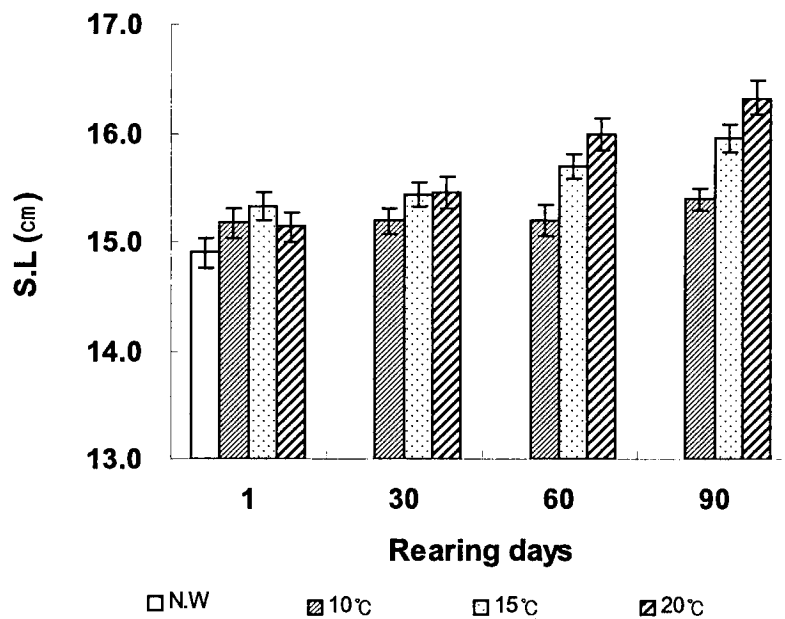


Fig. 106. Standard length changes of river puffer reared in different water temperatures.

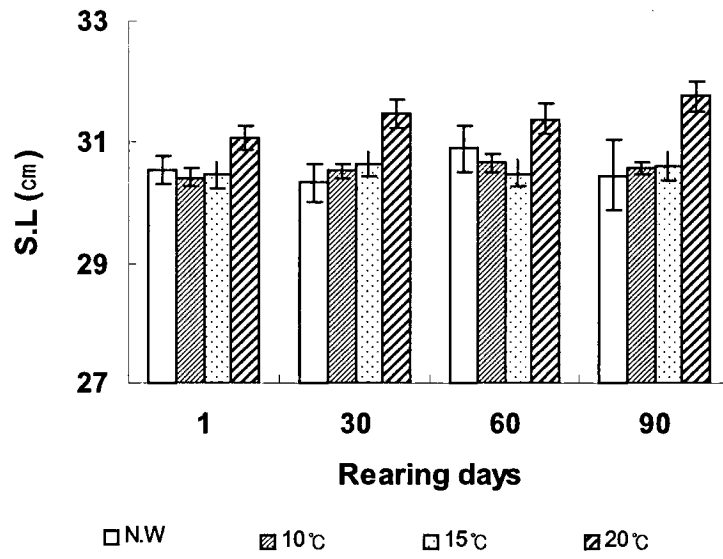


Fig. 107. Standard length changes of redlip mullet reared in different water temperatures.

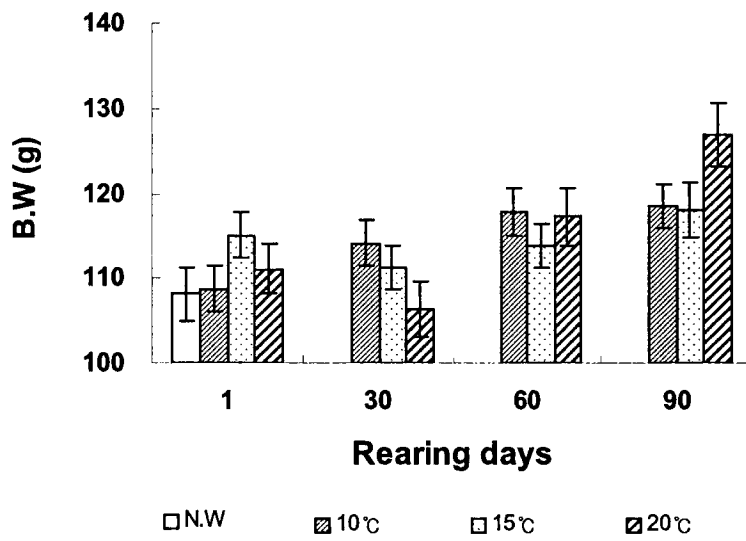


Fig. 108. Body weight changes of river puffer reared in different water temperatures.

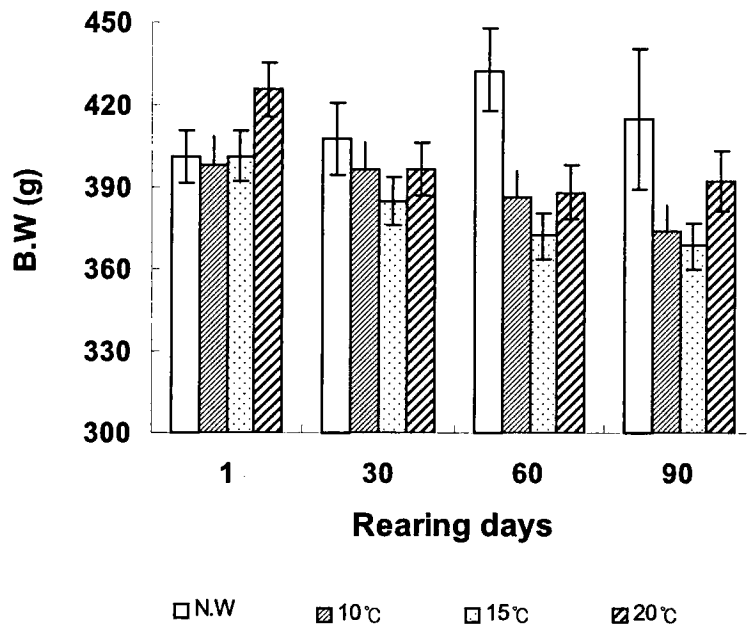


Fig. 109. Body weight changes of redlip mullet reared in different water temperatures.

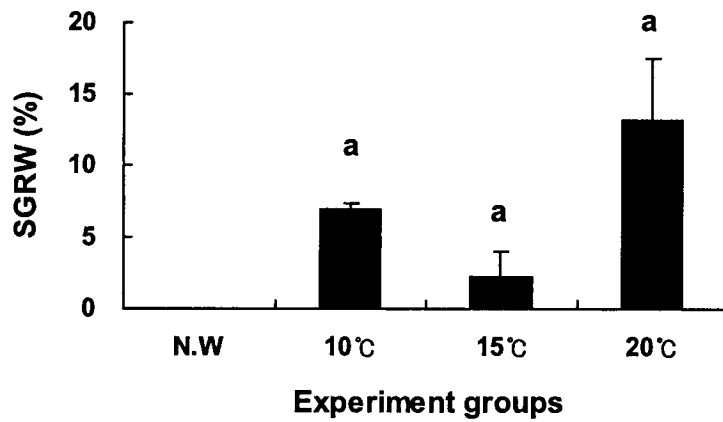


Fig. 110. SGRW (%) of river puffer reared in different water temperatures.

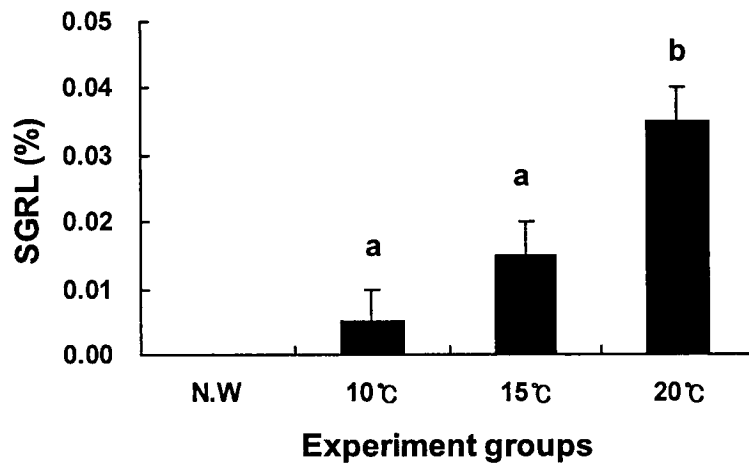


Fig. 111. SGRL (%) of river puffer reared in different water temperatures

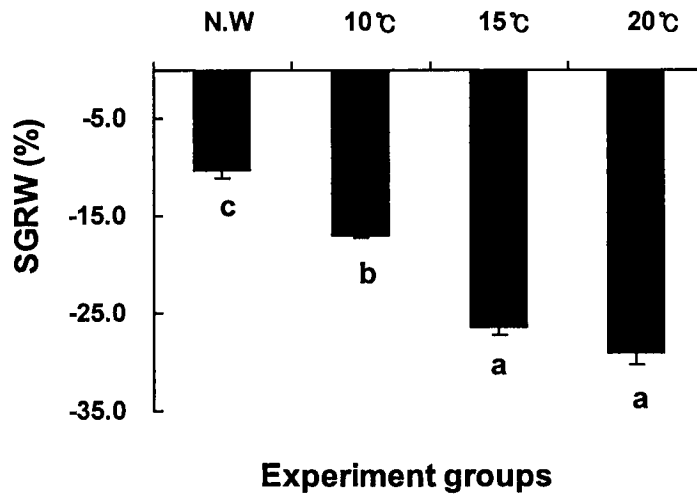


Fig. 112. SGRW (%) of redlip reared in different water temperatures.

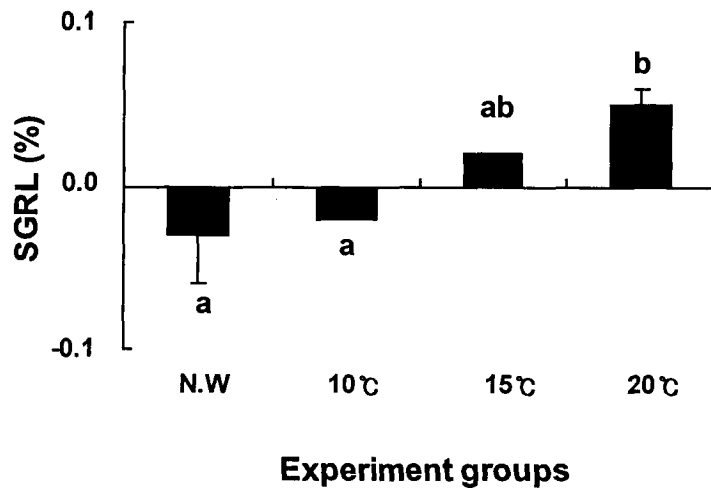


Fig. 113. SGRL (%) of redlip mullet reared in different water temperatures.

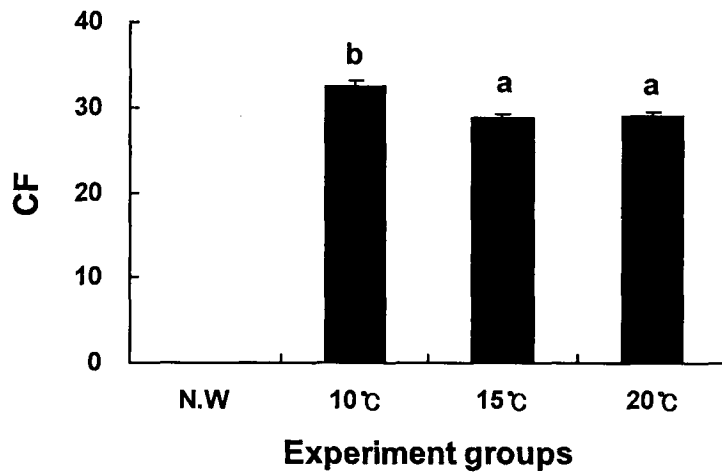


Fig. 114. Condition Factor of river puffer reared in different water temperatures

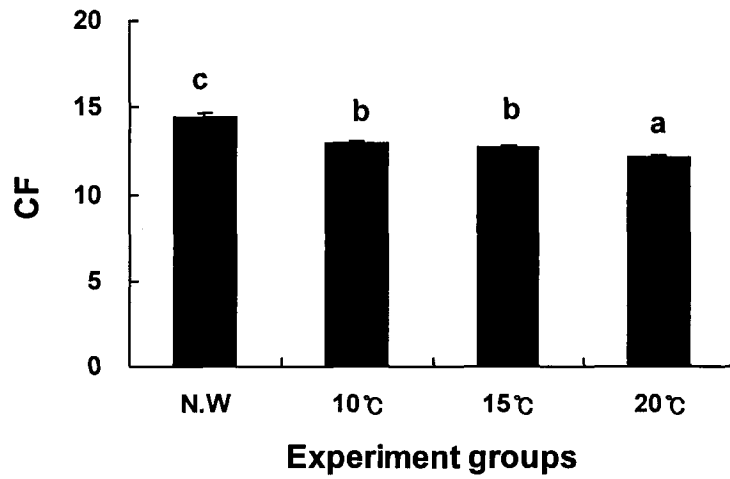


Fig. 115. Condition Factor of redlip mullet reared in different water temperatures

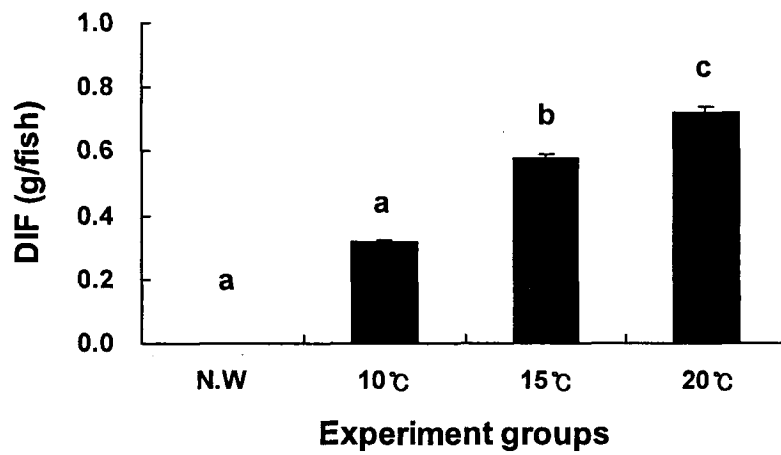


Fig. 116. DFI (g/fish) of river puffer reared in different water temperatures.

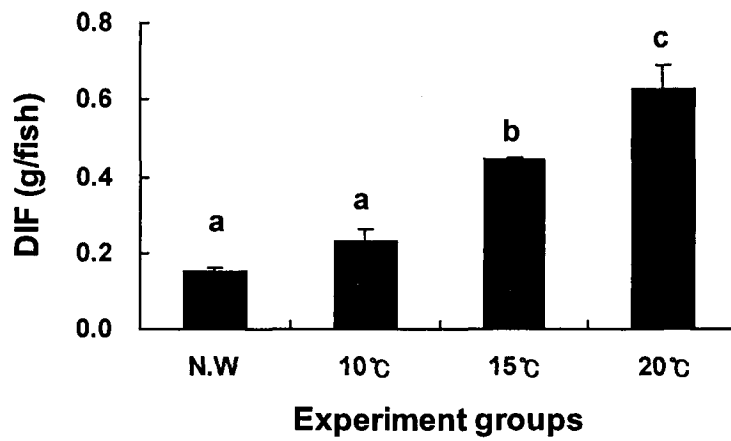


Fig. 117. DFI (g/fish) of redlip mullet reared in different water temperatures

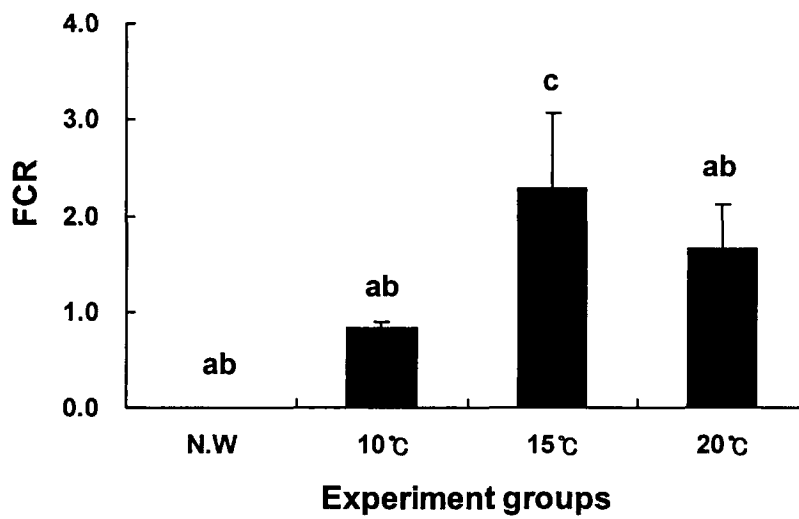


Fig. 118. FCR of river puffer reared in different water temperatures.

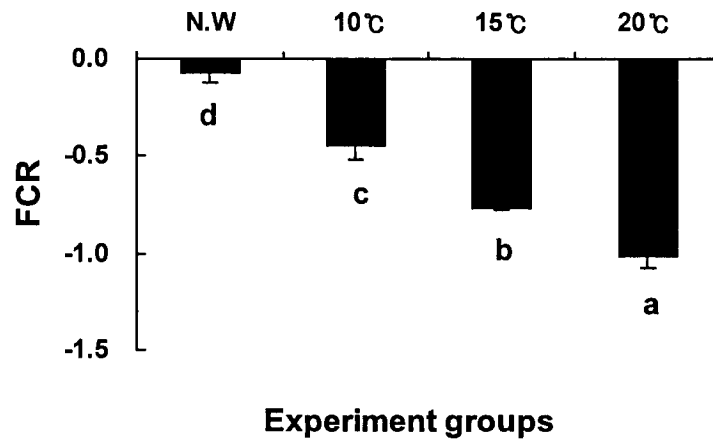


Fig. 119. FCR of redlip mullet reared in different water temperatures.

다. 수질환경

1) 일반 수질환경

황복의 수온별 실험기간 동안 10°C, 15°C, 20°C구의 평균 수온변화는 자동 온도조절기를 이용하여 10°C는 $9.8 \pm 0.0^\circ\text{C}$, 15°C는 $14.9 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 20°C는 $19.2 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 로 큰 변동 없이 유지되었다. 자연수온구는 2006년 12월 28일에 실험을 개시하여 2.3°C 로 하강하였다. 실험기간 동안 pH 변화는 6.38~7.80, 용존산소는 4.39~8.90 mg/L, 염분농도는 27.1~32.9로 모든 실험구가 전체적으로 안정된 수치를 보였다(Table 40).

가송어의 실험기간동안 자연수온구는 실험 개시일인 2006년 12월 28일에 1구간 3.4°C , 2구간 2.3°C 를 기록하여 2007년 1월 9일에 각각 1.8°C , 1.7°C 로 최저 수온을 기록하였다. 그 이후 소폭상승 및 하강을 반복적으로 보이다가 실험 종료일인 2007년 3월 27일에 1구간 7.8°C , 2구간 8.0°C 로 실험을 종료하였다. 실험기간동안 자연수온구의 평균수온은 $4.0 \pm 0.0^\circ\text{C}$ 이었다. 그 외 10°C, 15°C, 20°C구의 평균 수온변화는 자동 온도 조절기를 이용하여 10°C는 $9.8 \pm 0.0^\circ\text{C}$, 15°C는 $15.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 20°C는 $20.6 \pm 0.8^\circ\text{C}$ 로 큰 변동 폭 없이 유지되었다. 실험기간 동안 pH 변화는 5.98~9.96, 용존산소는 4.22~11.23 mg/L, 염분농도는 26.8~32.5로 모든 실험구가 전체적으로 안정된 수치를 보였다(Table 41).

2) 영양염류

황복의 수온별 실험기간 중 영양염류의 변화는 암모니아(ammonium)의 농도는 10°C에서 0.139~0.719 mg/L, 15°C에서 0.205~1.16 mg/L, 20°C에서 0.179~0.83 mg/L의 분포를 나타내었으며 전 실험구의 암모니아 농도는 2월 초순까지는 상승하다가 그 이후부터 유지

및 하강의 경향을 나타냈다(Fig. 121). 10℃ 실험구에서 아질산염(nitrite)이 0.006~0.073 mg/L, 15℃ 0.001~0.238 mg/L, 20℃ 0.042~0.973 mg/L으로 10℃와 15℃구에서는 실험기간 동안 비교적 안정적인 분포를 나타내었으나 20℃구에서는 2월 초순 다소 높은 수치를 나타냈다(Fig. 123). 질산염(nitrate)의 농도 역시 실험기간동안 10℃와 15℃구에서는 0.236~2.412 mg/L로 안정적인 분포를 나타내었으나, 고수온 실험구인 20℃구에서는 1.939~10.353 mg/L로 변동의 폭이 크게 나타났다(Fig. 125). 인산염(phosphate)은 10℃에서 0.03~0.14 mg/L, 15℃에서 0.05~0.29 mg/L, 20℃에서 0.06~0.35 mg/L로 고수온 실험구(20℃)가 저수온 실험구(10℃와 15℃) 보다 높은 분포를 나타냈다(Fig. 127). SiO₂ 는 10℃에서 0.152~0.378 mg/L, 15℃에서 0.2~0.388 mg/L, 20℃에서 0.087~0.385 mg/L의 분포를 나타내며 반복적인 증가와 감소 경향을 보였다(Fig. 129).

가송어의 실험기간 중 영양염류의 변화는 암모니아의 농도는 자연수온구(N·W)가 0.0029~0.182 mg/L, 10℃ 0.039~0.504 mg/L, 15℃ 0.0042~0.596 mg/L, 20℃ 0.0077~0.694 mg/L로 자연수온구는 안정적인 분포를 보였으나 10℃, 15℃, 20℃에서는 대체적으로 2월 초순까지는 증가하다가 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 122). 자연수온구에서 아질산염이 0~0.013 mg/L, 10℃ 0.001~0.011 mg/L, 15℃ 0.001~0.024 mg/L, 20℃ 0.001~0.635 mg/L으로 20℃를 제외하고 자연수온구, 10℃, 15℃에서는 실험기간 내내 비교적 안정적인 분포를 나타내었다(Fig. 124). 질산염의 농도는 자연수온구가 0.091~0.368 mg/L, 10℃ 0.062~0.307 mg/L, 15℃ 0.091~0.272 mg/L, 20℃ 0~0.268 mg/L의 분포를 나타내었다(Fig. 126). 인산염은 자연수온구가 0.01~0.04 mg/L, 10℃ 0.02~0.05 mg/L, 15℃ 0.01~0.07 mg/L, 20℃ 0.02~0.08 mg/L의 분포를 보이며 실험기간 동안 소폭의 상승과 하락을 반복적으로 보였다(Fig. 128). SiO₂ 는 자연수온구가 0~0.905 mg/L, 10℃에서 0.001~0.378 mg/L, 15℃에서 0.018~0.483 mg/L, 20℃에서 0.148~0.384 mg/L로 1월 초순 소폭 증가하여 일정하게 유지되다가 자연수온구 구간에서만 2월 말 상승을 보인 후 전체적으로 감소하는 경향을 보였다(Fig. 130).

Table 40. Culture condition for river puffer reared in different water temperatures

수질환경	실험구					
	10℃ a	10℃ b	15℃ a	15℃ b	20℃ a	20℃ b
pH	6.53~7.80	6.49~7.31	6.40~7.28	6.38~7.28	6.47~7.27	6.59~7.27
DO(mg/L)	5.16~8.90	5.66~8.88	5.69~7.69	5.35~7.94	5.16~7.80	4.39~7.26
Salinity	27.3~32.4	27.1~31.5	27.2~32.0	27.5~32.6	27.5~32.7	27.3~32.9

Table 41. Culture condition for redlip mullet reared in different water temperatures

수질환경	실험구							
	N·W a	N·W b	10℃ a	10℃ b	15℃ a	15℃ b	20℃ a	20℃ b
pH	6.34	6.40	6.35	6.20	6.09	5.98	6.02	6.44
	~9.96	~7.90	~7.28	~7.30	~7.27	~7.26	~7.70	~7.25
DO	6.40	6.12	4.70	5.32	5.10	4.81	4.22	4.18
(mg/L)	~11.15	~11.23	~7.68	~8.36	~6.95	~7.17	~9.03	~8.91
Salinity	27.0	26.8	27.2	27.1	27.0	27.2	27.4	27.4
	~31.9	~32.4	~32.0	~31.9	~32.1	~32.1	~32.3	~32.5

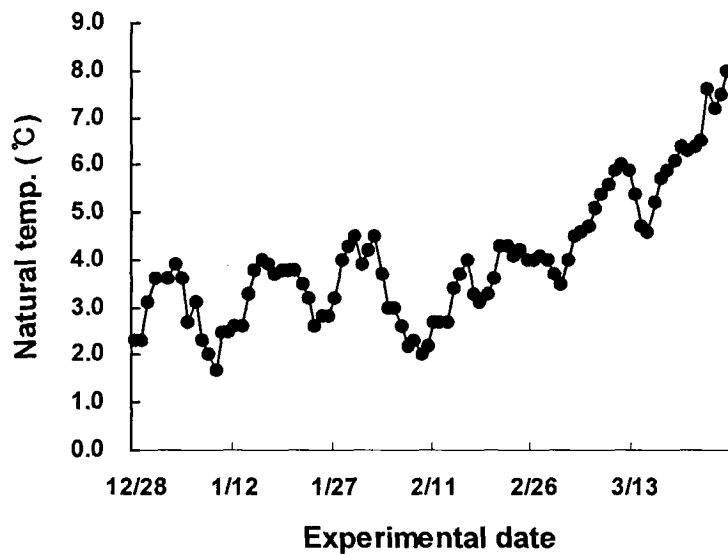


Fig. 120. Changes of natural water temperature in culture for redlip mullet.

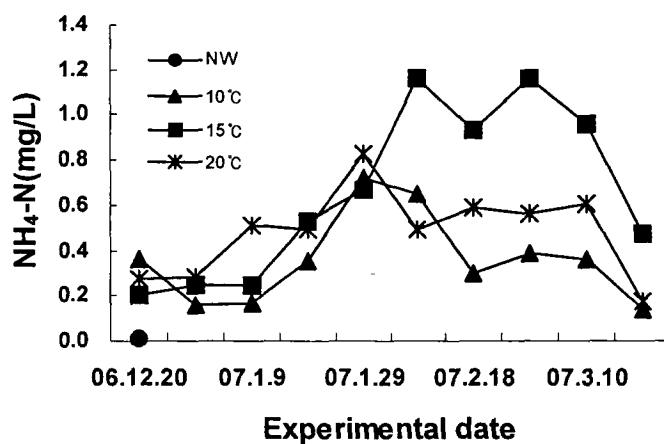


Fig. 121. Changes of TAN concentration in river puffer reared in different water temperature.

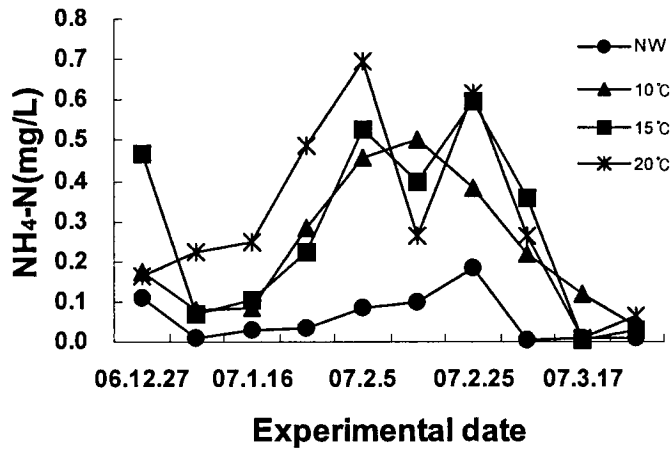


Fig. 122. Changes of TAN concentration in redlip mullet reared in different water temperature.

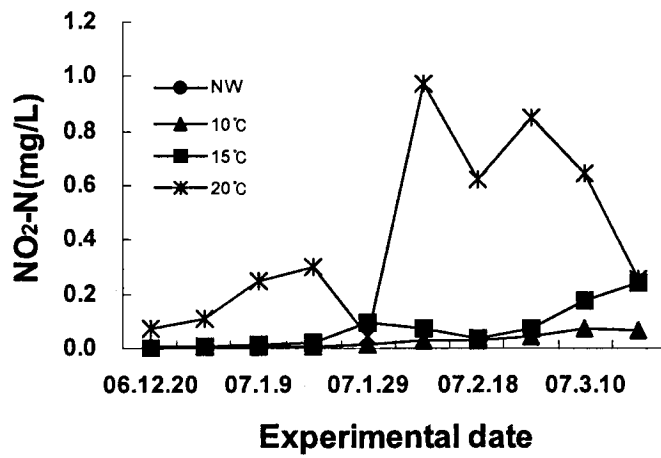


Fig. 123. Changes of nitrite concentration in river puffer reared in different water temperature.

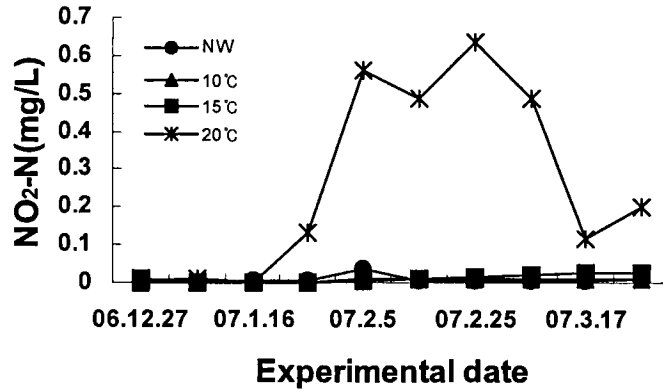


Fig. 124. Changes of nitrite concentration in redlip mullet reared in different water temperature.

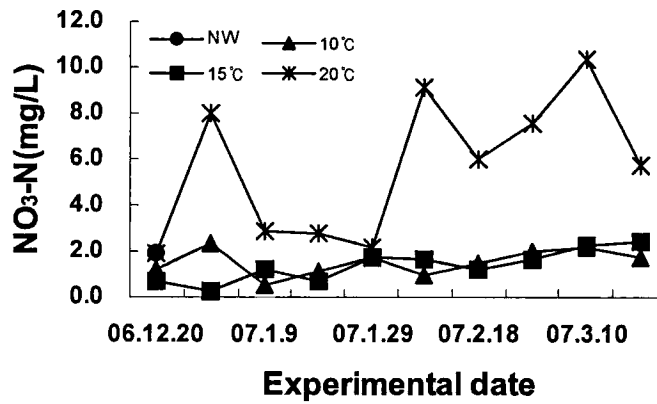


Fig. 125. Changes of nitrate concentration in river puffer reared in different water temperature.

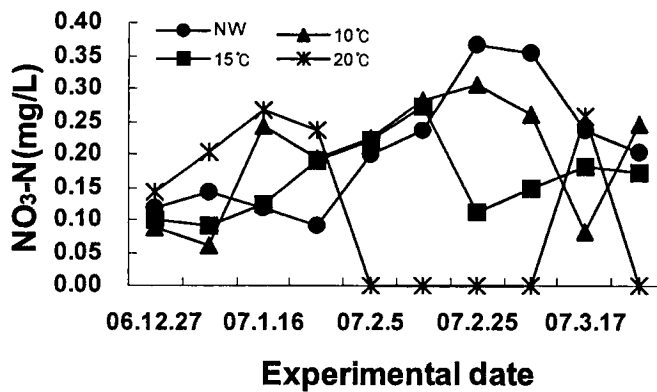


Fig. 126. Changes of nitrate concentration in redlip mullet reared in different water temperature.

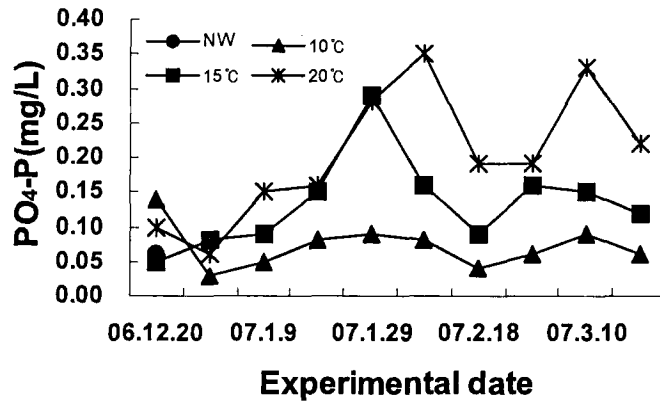


Fig. 127. Changes of phosphate concentration in river puffer reared in different water temperature.

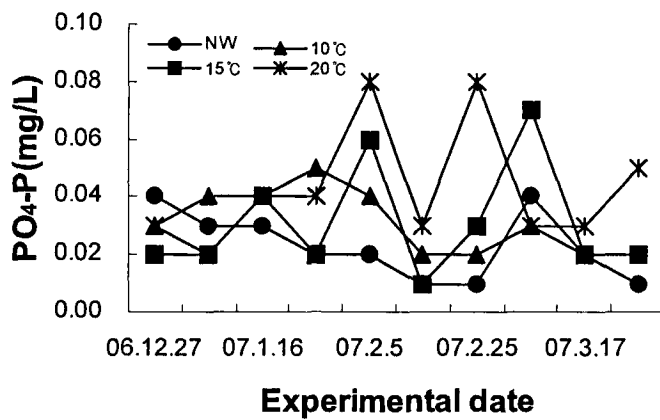


Fig. 128. Changes of phosphate concentration in redlip mullet reared in different water temperature.

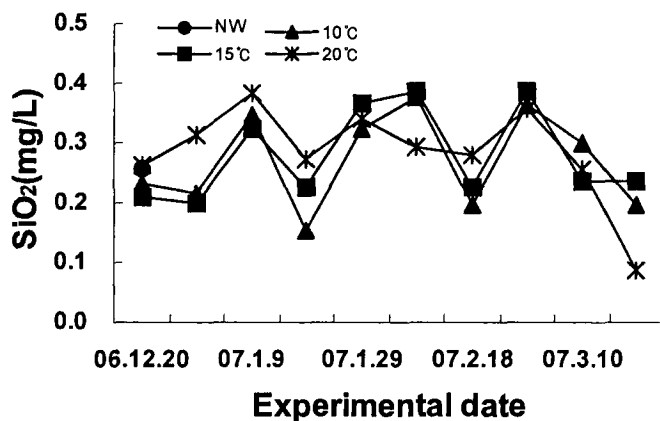


Fig. 129. Changes of silicate concentration in river puffer reared in different water temperature.

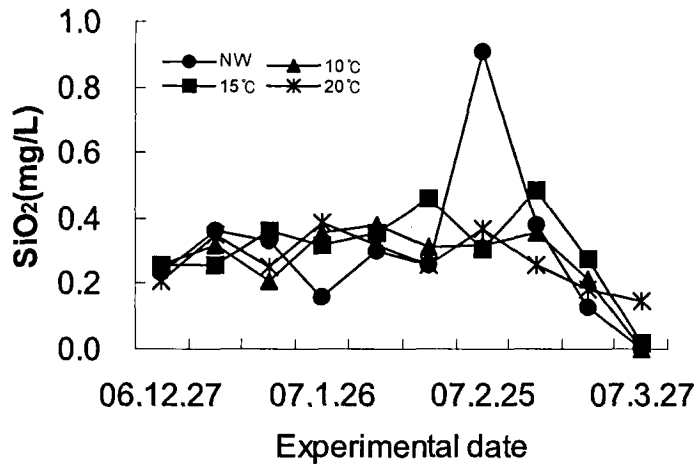


Fig. 130. Changes of silicate concentration in redlip mullet reared in different water temperature.

3. 요약

가. 서해안의 주 양식대상종인 황복과 가숭어의 겨울철 성장과 생존에 미치는 수온의 영향을 알아보기 위하여 3개월간 사육하였다.

나. 실험종료시 최종생존율은 황복의 경우, 자연수온구(NW)가 0%였으며, 10, 15, 20°C 구는 90.0~100%로 차이로 없었으며, 가숭어의 경우, 자연수온구(NW)는 11.7%로 다른 실험구의 91.7~98.4%와는 유의한 차이가 나타났다.

다. SGRW은 황복의 경우, 모든 실험구가 유의차가 없는 반면, 가숭어의 경우 수온이 상승할수록 체중의 감소가 나타나 전 실험구별 -10.16 (NW)~-29.0% (20°C)의 성장을 보였다. SGRL은 황복의 경우, 10°C구 (0.005%) 20°C구 (0.035%)간에는 길이성장의 차이가 나타났다. 가숭어의 경우, NW구, 10°C구에서 각각 -0.015%, -0.010%로 감소하였으며, 15°C구, 20°C구에서는 0.010~0.025%로 증가양상을 보였다.

라. CF는 황복의 10°C구에서 32.5로 15°C, 20°C구의 28.8~28.9보다 높았으며, 가숭어의 경우 12.1~14.5의 값을 나타내 수온이 높을수록 낮아졌다.

마. DFI는 황복의 경우, 수온이 높을수록 증가하여 전 실험구에서 0.32~0.72 g/fish로 유

의한 차이가 나타났으며, 가숭어의 경우, 자연수온구(NW)와 10℃구는 0.15~0.23 g/fish으로 차이가 없었으며, 15℃구와 20℃구에서는 0.45~0.63g/fish으로 유의하게 증가하였다.

바. FCR은 황복의 경우 10℃와 20℃구는 0.83~1.66으로 차이가 없었으며, 15℃구는 2.29로 가장 높게 나타났고, 가숭어는 전 실험구가 -0.075~-1.01의 값을 보여 수온이 높아질수록 음(-)의 값이 증가하였다.

사. 사육수의 수질(수온, 용존산소, 염분, pH, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, SiO₂)은 황복과 가숭어의 적정 성장범위를 유지하였다.

아. 자연수온(1.8~10℃) 조건에서 육상수조에서도 황복은 생존율을 기대할 수 없으며, 가숭어의 경우도 월동장을 옮겨 사육할 경우 11.0% 전후였다.

자. 동절기에 수온을 높여 사육했을 때 황복은 낮은 수준으로 체중이 증가하였으나 가숭어의 경우 체중이 감소하여 동절기에 생존율과 연료비 등 경제성을 고려할 때 황복과 가숭어는 10℃가 가장 효율적인 월동수온으로 생각된다.

제 9 절 월동기 저수온 충격에 의한 양식산 황복의 생리 생화학적 반응

서해안의 어류양식 대상종은 가숭어, 조피볼락 및 넙치 등 광온성 어종 일부와 황복 등과 같은 일부 온대성이며 회유성인 특산 어류 등으로 제한되어 있다. 특히 황복의 경우에는 종묘로부터 식용어로 만들기 위해서는 약 2년 정도 양식기간이 소요되므로 종묘를 매입하여 황복을 양식할 경우 반드시 한해는 겨울철을 넘겨야 한다. 그러나 서해 중부연안에서 황복을 월동 양식하는 것은 제주도와 남해안과 같이 쉬운 문제는 아닌 것으로 여겨져 왔다. 왜냐하면 서해 중부연안은 환경적으로는 남해안과 달리 계절적인 영향으로 동절기 수온이 남해안보다 대략 7~3℃정도 더 낮기 때문이다. 사실 북위가 태안반도보다 높은 서해 중부 연안에서는 현재 많은 양식어류의 실외 월동은 거의 불가능하다. 특히 서해안의 주요 어류양식 방법인 축제식 양식장에서 동절기 동안 실외 월동을 한다는 것은 많은 위험을 앓고 있다.

황복은 자연산으로 한강 하구에서 주로 포획되는 어종으로 서해 중부 연안 하구에 봄철에 자주 출현하는 데, 월동기는 다른 어종과 같이 수온 조건이 좋은 수역으로 회유하는 습성을 지닌 것으로 보고되고 있다. 현재 서해 중부 연안을 중심으로 축제식 양식장과 육상콘크리트 수조 양식장에서 황복의 양식이 이루어지고 있는데, 특히 축제식 양식장의 경우, 월동기의 낮은 겨울철 수온으로 어체의 면역기능과 건강도 약화로 인한 영양성 질병이 종종 나타나며 또한 1월과 2월 사이 나타나는 기습 한파로 실외 양식장 내에서 사육 중인 황복의 집단 폐사가 빈번히 발생함으로써, 양식어가에 막대한 경제적 손실을 입고 있는 실정이다. 특히 수심이 얇고 물의 유동이 작은 축제식 양식장의 경우 그 피해는 더욱 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 한파에 의한 서식수온의 급격한 변화는 사육어류에게는 엄청난 스트레스로 작용하여 순간적인 체대사 및 항상성 붕괴로 이르게 성장과 생존에 막대한 악영향을 주는 것으로 추정된다. 하지만 월동 영향에 의한 양식 어류의 생체대사 반응 과정에 대한 이해가 부족하며, 관련 연구자료는 찾아보기 힘들다. 국내의 경우에는 일부 연구자들에 의해 여름철 동해안 냉수대 발현에 따른 수온 급강하 영향에 관한 생리학적 연구보고(Park et al., 1999; Chang et al., 1999)가 일부 알려져 있지만, 동절기 한파와 관련된 어류 생리학적, 내분비학적 연구 보고는 찾아보기 힘들다.

그러므로 본 연구는 양식산 황복을 대상으로 단기간 사육수의 급격한 수온하강에 의한 저수온 충격이 황복의 혈중 생화학 및 내분비적 생리현상에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고, 그로 인한 사육군집의 생존력은 단기간에 어느 정도 충격을 받는지 알아보고자 한다.

1. 재료 및 방법

가. 실험어 및 사육시설

실험어는 국립수산과학원 서해수산연구소에 실내 수조에서 사육중인 황복(전장 17.0 ± 0.2 cm, 체중 32.0 ± 0.5 g, $n=30$)로서, 1주간 수온 10°C 에서 예비 사육하여 안정시킨 다음, 실험에 이용하였다. 실험기간은 2005년 12월 18일부터 12월 27일까지 약 214시간이었으며, 동 기간동안 실험어에게 먹이는 공급되지 않았다. 실험수조는 1톤의 FRP 수조를 이용하였으며, 생존율을 파악하기 위해 3반복으로 실험을 실시하였다. 실험개시 이전에는 사육수 환수없이 지수식 상태에서 히터를 이용해 10°C 로 유지하여 주었으며, 실험 개시와 더불어 일정량의 자연해수(약 2°C)를 주입하여 실험수온으로 낮추었으며, 최종적으로 2.2°C 까지 수온을 낮추어 실험을 실시하였다. 이때 pH는 7.4 ± 0.3 이었으며, 용존산소량은 5 mg/L 이상이 되도록 조절하였다. 또한 실험어의 안정과 도피방지를 위하여 차광막을 설치하였다.

나. 실험방법

실험 수온은 Fig. 131과 같이 실험개시 시 10°C 에서 시작하여 72시간 5.5°C , 74시간 4.4°C , 77시간 3.7°C , 94시간 2.7°C , 214시간 2.2°C 로 완만하게 수온을 하강시켰다. 실험어는 채혈을 위해 실험개시 24시간 전부터 절식시켰으며, Fig. 131에 제시한 수온 변동점에서 헤파린 처리 주사기를 이용해 마취제를 사용하지 않은 상태에서 1분 이내에 황복의 미부동맥으로부터 혈액을 채취하였다. 각 실험에서 채취한 혈액은 원심분리($12,000$ rpm, 5분)하여 혈장을 추출한 다음, ALT, AST, GLU (glucose), TP (total protein), 전해질(Na^+ , K^+ , Cl^-), 갑상선호르몬 (thyroid hormones: THs) 및 코티졸(cortisol) 분석 시까지 -70°C 에서 보관하였다.

혈장 ALT (GPT/ALP-PⅢ), AST, GLU, TP 및 전해질은 FUJI DRI-CHEM 3500 *i* 전용 분석용 kit 슬라이드를 사용하여 FUJI DRI-CHEM 3500 *i* (Co. Fujifilm, Japan)에서 가송어와 동일한 방법으로 분석하였다. 한편 실험용 황복의 혈중 Total 3,5,3'-triiodo-L-Thyronine (TT_3), Free L-Thyroxine (FT_4), Free 3,5,3'-triiodo-L-Thyronine (FT_3) 및 cortisol 분석은 가송어와 동일한 방법으로 실시하였다.

다. 통계처리

각 실험에서 얻어진 자료에 대한 값의 유의차 유무는 SPSS-통계패키지를 이용해 ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의해 판정하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 생존율

동절기 한파모델에 의해 평균수온 10℃에서 실험을 시작하여, 214시간 2.22℃로 수온을 하강시켰을 경우 생존율을 살펴보면 다음과 같다. 실험 시작 후 74시간에 4.4℃로 수온을 하강시킬 때까지 폐사개체는 관찰되지 않았다. 그러나 이후 한파모델에 따라 77~94시간에 수온을 4.4℃에서 2.7℃로 급격하게 감소시켰을 경우, 생존율은 77시간에 83.4±3.6%, 94시간에 33.7±2.6%로 급격히 감소하였으며, 이후 214시간까지 2.2℃로 완만하게 수온이 감소되면서 전량 폐사하였다(Fig. 132).

나. 생화학적 변화

혈장 AST의 경우 실험 개시 10℃에서 6.8±1.8 u/L으로 나타났지만, 72시간 뒤 5.2℃에서는 18.8±4.2 u/L으로 유의하게 증가한 것을 알 수 있으며, 74시간 4.4℃에 다시 29.8±3.8 u/L의 농도를 나타내어 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이후 77시간 3.7℃부터 94시간 2.7℃까지 AST 농도는 26.0±3.8 u/L에서 19.0±0.9u/L로 감소하였다. 이후 실험 종료시 214시간 2.2℃에 이르러 다시 측정한 결과 38.0±3.0 u/L으로 실험기간 중 최대 농도를 보였다(Fig. 133). 혈장 ALT의 경우 역시 농도의 차는 있지만, AST와 같은 비슷한 경향을 보였다. 실험 개시 10℃에서 1.2±0.1u/L으로 나타났지만, 72시간 뒤 5.2℃에서는 6.3±1.8 u/L으로 유의하게 증가한 것을 알 수 있으며, 74시간 4.4℃에 다시 11.2±1.8 u/L의 농도를 나타내며 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이후 77시간 3.7℃까지 7.9±0.4u/L로 다소 감하는 경향을 보이다가, 94시간 2.7℃부터 12.0±1.0 u/L로 재상승하는 경향을 보였다. 이후 실험 종료시 214시간 2.2℃에 이르러 다시 측정한 결과 25.0±3.8 u/L으로 실험기간 중 최대농도를 보였다(Fig. 133). 혈장 TP의 경우 AST와 ALT와 달리 수온이 하강할수록 감소하는 농도 변화를 보였다. 즉 실험 개시 10℃에서 3.4±0.1 g/dl로 나타났지만, 72시간 뒤 5.2℃에서는 2.9±0.2 g/dl로 유의하게 감소하는 것을 알 수 있으며, 74시간 4.4℃에 다시 2.7±0.3 g/dl의 농도를 나타내어 감소하는 것으로 나타났다. 이후 77시간 3.7℃까지 2.2±0.1 g/dl로 다소 감소하는 경향을 보이다가, 94시간 2.7℃부터 2.6±0.1 g/dl로 다소 상승하는 경향을 보였으나, 실험 종료시 214시간 2.2℃에 이르러 2.4±0.1 g/dl로 다시 감소하는 농도를 보였다(Fig. 133). 혈장 GLU의 경우는 실험 개시 10℃에서 60.3±4.0 mg/dL으로 나타났지만, 72시간 뒤 5.2℃에서는 41.8±5.3 mg/dl로 유의하게 감소하였으며, 이후 74시간 4.4℃부터 77시간 3.7℃까지 41.8~47.0 mg/dl로 정체상을 나타내었다. 이후 94시간 2.7℃에 이르러서는 98.0±4.4 mg/dl로 급격히 재상승하

였으며, 이후 실험 종료시 214시간 2.2℃에 이르러 290.0±41.0 mg/dl로 실험기간 중 최대농도를 보였다(Fig. 133). 한편 전해질의 경우에는 Na과 Cl은 수온 충격에 따른 별다른 경향을 보이지 않았지만, K의 경우에는 수온이 하강함에 따라 혈중 농도가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 134).

다. 코티졸 및 갑상선호르몬 변화

혈장 코티졸의 경우 실험 개시 10℃에서 53.5±12.5 ng/mL로 나타났지만, 72시간 뒤 5.2℃에서는 92.5±18.9 ng/mL로 유의하게 증가한 것을 알 수 있으며, 74시간 4.4℃에 다시 117.6±14.0 ng/mL로 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이후 77시간 3.7℃까지 113.5±14.2 ng/mL로 정체상을 나타내었다. 이후 94시간 2.7℃에 이르러 코티졸은 242.4±42.2 ng/mL로 다시 급격히 증가하였으며, 이후 실험 종료시 214시간 2.2℃에 이르러 147.4±34.3 ng/mL로 다시 감소하는 경향을 보였다(Fig. 135). 혈장 갑상선호르몬은 TT₃, FT₄, FT₃와 같이 3가지로 나누어 구분해 보았다. 우선 TT₃의 경우 실험 개시 10℃에서 10℃에서 740.1±35.7 ng/dl로 나타났으며, 이 농도는 74시간 4.4℃와 94시간 2.7℃에 다소 감소하는 경향을 제외하고는 유의차 없이 739~782ng/dl 범위를 유지하였다(Fig. 136). FT₄의 경우 실험 개시 10℃에 3.58±0.59 ng/dl인 농도는 72시간 5.2℃에서는 1.21±0.22 ng/dl로 유의하게 감소하여, 이후 실험 종료시까지 0.96~0.67 ng/dl의 농도를 나타내었다. FT₃의 경우는, 실험 개시 10℃에 2.88±0.16 ng/dl이었으나, 실험 개시 후 모든 시간 대에 1.79~2.47 ng/dl 범위의 낮은 농도 경향을 보였다(Fig. 136).

3. 요약

가. 양식산 황복을 대상으로 월동기 사육수온을 10℃에서 2.2℃까지 완만하게 하강(214시간)시켜 저수온 충격을 가했을 때 어체의 혈중 생화학 및 내분비적 반응과 생존력 조사를 통한 임계 저수온을 구명하였다.

나. 생존율의 경우 수온이 2.7℃로 하강되었을 때 약 83.4%가 폐사하였으며, 2.2℃에 이르자 전량 폐사하였다.

다. 혈장 AST와 ALT는 수온이 10℃에서 4.4℃로 감소할 경우 증가하는 경향을 보였고, 이후 수온이 3.3℃에 이르자 유의하게 감소하였으며, 실험 종료시점인 2.2℃에 이르러서는

최대값을 보였다. GLU는 10℃에서 3.7까지 별 차이가 없었지만, 2.7℃에 이르러서 유의하게 증가하였다.

라. 혈장 코티졸의 경우 실험개시부터 증가하기 시작하여 2.7℃에 가장 높은 값을 나타내었고, 이후 실험종료시점인 2.2℃에 이르러서는 유의하게 낮아졌다.

마. 혈장 갑상선호르몬인 T₄의 경우 실험 개시시인 10℃에서는 가장 높은 값을 보이다가 5.2~2.2℃까지 급격히 낮아지는 경향을 보였다.

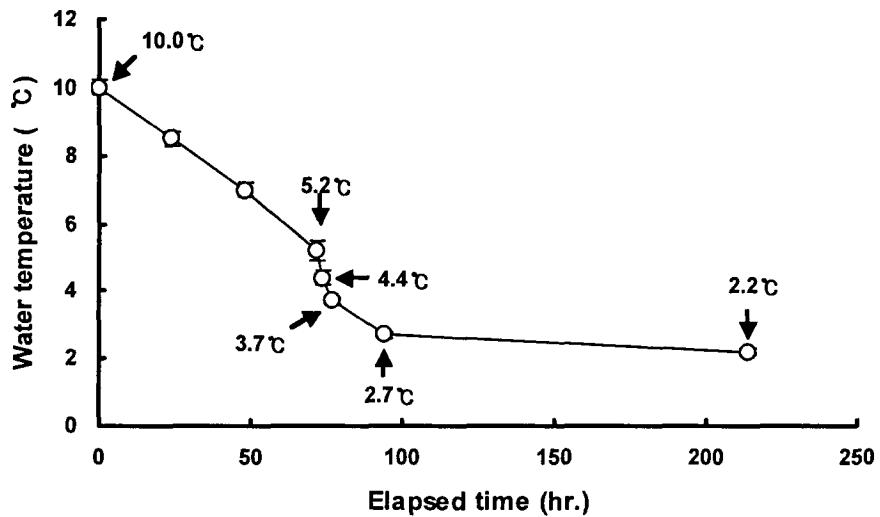


Fig. 131. The pattern of temperature change in the experiment. Arrows indicate the blood sampling time.

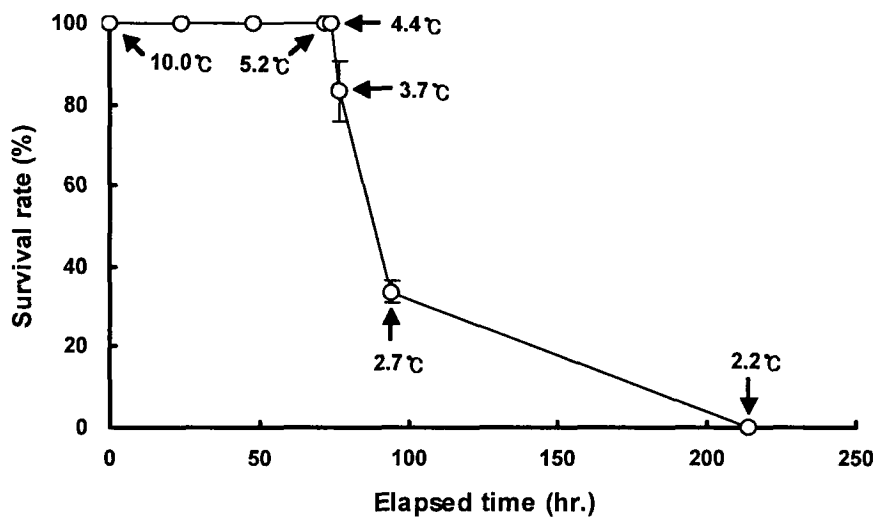


Fig. 132. Change of survival rate following an down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

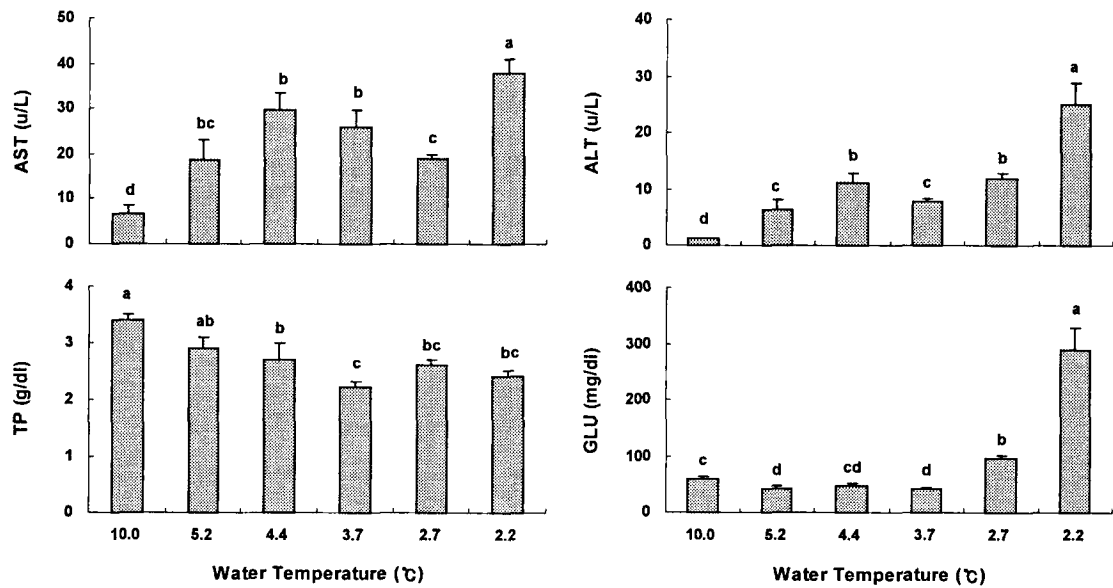


Fig. 133. Variations of AST, ALT, TP and GLU in plasma of river puffer, following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

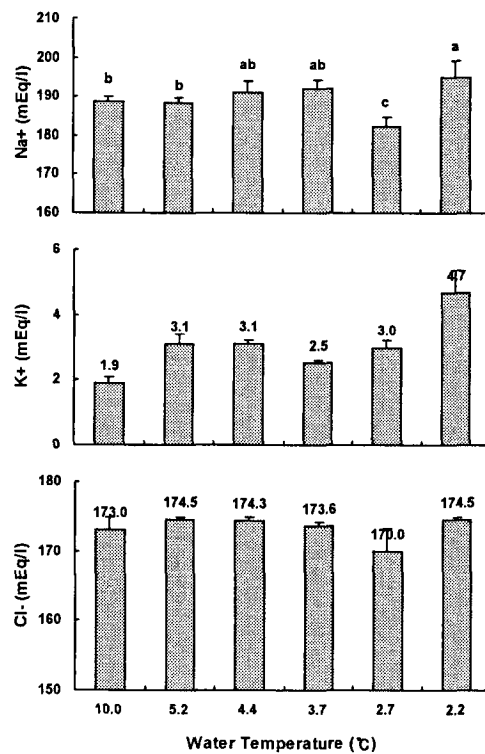


Fig. 134. Variations of Na⁺, K⁺, Cl⁻ in plasma of river puffer, following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

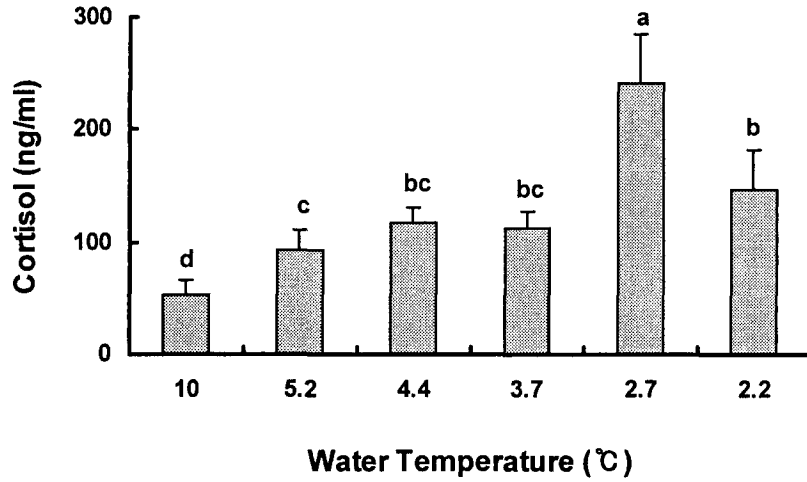


Fig. 135. Variations of cortisol in plasma of river puffer, following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

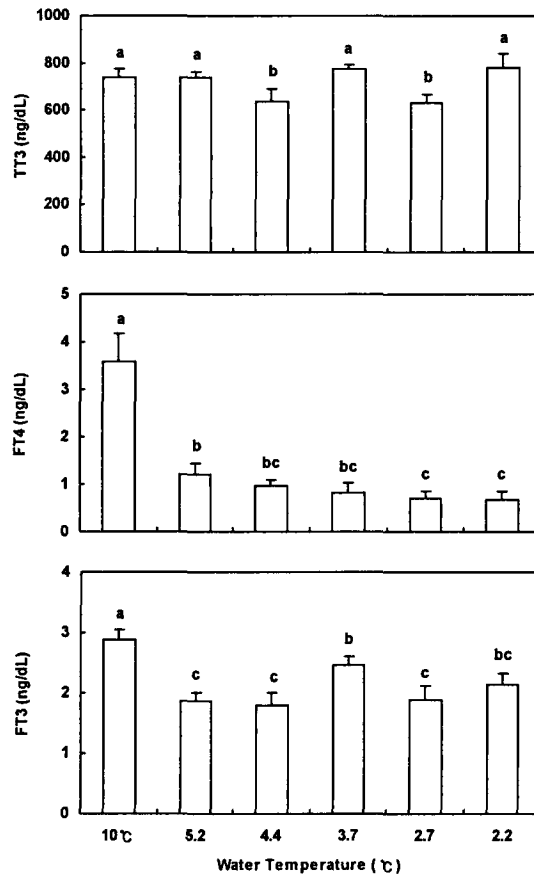


Fig. 136. Variations of thyroid hormones in plasma of river puffer, following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

제 10 절 월동기 저수온 충격에 의한 양식산 가숭어의 생리생화학적 반응

숭어류(가숭어, *Mugil haematocheilus*와 숭어, *Mugil cephalus*)는 한국의 산업적 중요 어종으로 생산량 측면에서 넙치, 조피볼락, 참돔에 이어 네 번째로 많이 생산되는 품종으로 2005년도를 기준으로 천해어류양식 총 생산량 81,437 MT 중 5,500 MT를 차지한다(해양수산통계연보, 2006). 이렇게 산업적으로 중요한 어종인 가숭어는 한국의 전 연안에 분포하며, 서남해안을 중심으로 양식이 시행되고 있으며, 특히 서해안의 경우 축제식 양식장을 활용한 가숭어 양식이 이루어지고 있다. 이와 같은 축제식 가숭어 양식의 경우 월동기의 낮은 겨울철 수온으로 어체의 면역기능과 건강도 약화로 인한 영양성 질병이 종종 나타나며, 또한 1월과 2월 사이 나타나는 기습 한파로 축제식 양식장 내에서 사육 중인 가숭어의 집단 폐사가 빈번히 발생함으로써 양식어가에 막대한 경제적 손실을 입히고 있는 실정이다. 특히 수심이 얕고 물의 유동이 작은 축제식 양식장의 경우 그 피해는 더욱 큰 것으로 알려져 있다. 이러한 한파에 의한 서식 수온의 급격한 변화는 사육 어류에게는 엄청난 스트레스로 작용하여 순간적인 체대사 및 항상성 붕괴로 이어져 성장과 생존에 악영향을 주는 것으로 추정된다.

하지만 한파의 영향에 의한 양식어류의 생체대사 반응과정에 대한 이해가 부족하며, 관련 연구자료는 찾아보기 힘들다. 국내의 경우에는 일부 연구자들에 의해 봄과 여름철 동해안 냉수대 발현에 따른 수온 급강하 영향에 관한 생리학적 연구보고(Park et al., 1999; Chang et al., 1999)가 일부 알려져 있지만, 동절기 한파와 관련된 어류 생리학적, 내분비학적 연구 보고는 찾아보기 힘들다. 그러므로 본 연구는 양식산 가숭어를 대상으로, 월동기 한파상황과 유사하게, 단기간 사육수의 급격한 수온 하강(저수온 충격)이 어체의 혈중 생화학 및 내분비적 생리현상에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고, 그로 인한 사육군집의 생존력은 단기간에 어느 정도 충격을 받는지 알아보려고 한다.

1. 재료 및 방법

가. 실험어 및 사육시설

실험어는 국립수산물과학원 서해수산연구소에 실내 수조에서 사육 중인 가숭어(전장 33.9 ± 0.4 cm, 체중 429.1 ± 15.8 g, $n=30$)로서, 1주간 수온 10°C 에서 예비 사육하여 안정시킨 다음, 실험에 이용하였다. 실험기간은 2006년 1월 9일부터 1월 11일까지 약 50시간이었으며, 동 기간동안 실험어에게 먹이는 공급되지 않았다. 실험수조는 1톤의 FRP 수조를

이용하였으며, 생존율을 파악하기 위해 3반복으로 실험을 실시하였다. 실험개시 이전에는 사육수 환수없이 지수식 상태에서 히터를 이용해 10℃로 유지하여 주었으며, 실험 개시와 더불어 일정량의 자연해수(약 1℃)와 더불어 냉각해수(-1.2℃)를 주입하여, 실험 수온으로 낮추었으며, 최종적으로 -1.2℃까지 수온을 낮추어 실험을 실시하였다. 이때 pH는 7.4±0.3였으며, 용존산소량은 5 mg/L 이상이 되도록 조절하였다. 또한 실험어의 안정과 도피방지를 위하여 차광막을 설치하였다.

나. 실험방법

실험 수온은 Fig. 137과 같이, 실험 개시 시 월동기 가온수온인 10℃에서 시작하여 12시간 7.6℃, 24시간 5.5℃, 48시간에는 가온을 하지 않은 자연해수 수온인 2.5℃로 완만하게 수온을 하강시켰으며, 이후 48시간 37분부터 50시간 9분까지는 2.0℃→1.8℃→1.5℃→1.0℃→0.5℃→-0.1℃→-0.5℃→-0.6℃→-1.0℃→-1.2℃로 급격하게 수온을 낮춰 주었다. 실험어는 채혈을 위해 실험개시 24시간 전부터 절식시켰으며, Fig. 137에 제시한 수온 변동점에서 헤파린 처리 주사기를 이용해 마취제를 사용하지 않은 상태에서 1분 이내에 가송어의 미부동맥으로부터 혈액을 채취하였다. 각 실험에서 채취한 혈액은 원심분리(12,000 rpm, 5분)하여 혈장을 추출한 다음, ALT, AST, GLU (glucose), TP (total protein), 전해질(Na^+ , K^+ , Cl^-), 갑상선호르몬(thyroid hormones: THs) 및 코티졸(cortisol) 분석 시까지 -70℃에서 보관하였다.

혈장 ALT (GPT/ALP-PⅢ), AST, GLU, TP 및 전해질은 FUJI DRI-CHEM 3500 i 전용 분석용 kit 슬라이드를 사용하여 FUJI DRI-CHEM 3500 i (Co. Fujifilm, Japan)에서 분석하였다. 이때 사용된 ALT의 kit 슬라이드는 측정범위 10~1000 u/L의 GPT/ALP-PⅢ를 사용하였으며, AST의 경우 측정범위 10~1000 u/L의 GOT/AST-PⅢ, TP는 측정범위 2.0~11.0 g/dL의 TP-PⅢ, GLU는 측정범위 10~600 mg/dL의 GLU-PⅢ를, 그리고 전해질은 Na^+ 측정범위 75~250 mEq/L, K^+ 측정범위 1.0~14.0 mEq/L, Cl^- 측정범위 50~175 mEq/L인 전용 슬라이드 Na^+ - K^+ - Cl^- (Co. Fujifilm, Japan)를 사용하였다. 한편 실험용 황복의 혈중 Total L-Thyroxine (TT_4), Total 3,5,3'-triiodo-L-Thyronine (TT_3), Free L-Thyroxine (FT_4), Free 3,5,3'-triiodo-L-Thyronine (FT_3) 및 cortisol 분석은 각각 Wallac DELFIA 전용 kit을 이용해 fluorometer인 Victor 2D (PerkinElmer, USA)에서 chemiluminescent immunoassay에 의해 실시하였다. 이때 TT_4 , TT_3 , FT_4 및 FT_3 및 cortisol의 일간변동 C.V. (interassay coefficient of variation)은 $\text{TT}_4=2.98$, $\text{TT}_3=1.15$, $\text{FT}_4=2.71$, $\text{FT}_3=2.63$ 였으며, 일내변동 C.V. (intraassay coefficient of variation)은 $\text{TT}_4=2.04$, $\text{TT}_3=2.22$, $\text{FT}_4=3.07$, $\text{FT}_3=2.57$ 이었다.

다. 통계처리

각 실험에서 얻어진 자료에 대한 값의 유의차 유무는 SPSS-통계패키지를 이용해 ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의해 판정하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 생존율

한파 모델에 의해 동절기 평균수온 10℃에서 실험을 시작하여, 50시간 -1.2℃로 급강하 시켰을 경우 생존율을 살펴보면 다음과 같다. 실험시작 후 48시간에 2.5℃로 수온을 하강시켰을 경우 이 기간 동안 수온하강에 따른 폐사개체는 관찰되지 않았으며, 그에 따른 생존율 변화는 없었다. 이후 1시간 44분 만에 수온을 2.5℃(48시간)에서 -0.6℃(49시간 44분)까지 감소시켰을 때, 사육개체들의 활동성이 감소되었지만 역시 폐사 개체들은 나타나지 않았다. 그로부터 17분 이후 수온을 -0.4℃ 더 낮추어 -1.0℃로 하강시키자 실험 개체들 중 약 28%가 폐사하는 것으로 확인되었으며, 8분 뒤 -0.2℃ 더 낮추어 -1.2℃에 이르자 전량 폐사하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 138).

우리나라 연안수온의 계절 변화는 해산 양식어류의 생리적 대사 및 건강도에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 특히 서해 중부해역의 동계 저수온기는 천해 양식어류들에게는 생존을 위협하는 도전의 시기로 받아들일 수 있다. 하지만 아직까지 국내 양식 어류에 있어 성장대사가 정지하는 극한 수온에서 생존을 이어나가야 하는 경우 이들 생체 내에서는 어떤 생리적 반응이 나타나는지에 관한 연구결과는 찾아보기 힘들다. 특히 생리활성호르몬의 내분비적 기전 및 어체 건강도 측면에서 동계 한파 수온 조건이 어떤 작용을 나타낼지에 의문이다. 또한 우리나라 중서부 연안의 양식 어류 월동을 위해 이 시기에 한파가 불어 닥쳤을 경우 양식 어류의 생체활성과 건강도에 미치는 영향에 대한 연구 자료가 요구된 적이 없다.

현재 국내 가숭어 양식은 우리나라 서남해안을 중심으로 가두리 또는 육상 축제식 등에서 이루어지고 있다. 특히 가두리나 축제식으로 이루어지는 실외 양식의 경우 자연산 활어처럼 계절 변화에 의한 서식수온 변화에 따른 성장과 생존이 영향을 받는 계절적 활성변이 시기에 직면할 가능성이 높다. 하지만 아직까지 가숭어 경우 어느 정도 수온이 성장과 생존의 임계치인지에 관한 연구 자료가 없어, 겨울철 한파에 대비하기 위한 생물학적 정보가 전혀 제공되지 못하고 있는 실정이다. 단지 가숭어가 저온에 강하다는 점 때문에 다른 어종과 달리 급격한 저온수 충격에 상대적으로 강한 내성과 생리활성을 나타낼 것으로 추정하고 있다. 따라서 월동기 및 한파시기에 가숭어의 생리활성은 어떻게 변하며, 어체 건강도 및 체대 대사활성 호르몬에는 어떤 변화를 유발할 지에 관한 의문이

남는다. 그러므로 본 연구에서는 양식산 가숭어를 이용해 동계 한파모델 적용을 위해 겨울철 수온을 급격히 하강시켰으며, 이때 가숭어의 스트레스 반응을 관찰하기 위해 생리학적 활성 및 생체활성 호르몬(코티졸 및 갑상선호르몬) 대사과정을 조사하였다. 이를 기초로 월동기 한파에 따른 임계 저수온과 생물학적 반응 등에 관한 정보를 제공하고자 하였다.

이에 본 연구 결과, 겨울철 저수온 충격에 따른 가숭어 생존율을 조사해 본 결과, 실험 개시 수온인 10°C에서부터 -0.6°C(실험 시작 후 49시간 44분)까지 폐사 개체들은 나타나지 않아 생존율의 변화는 찾아 볼 수 없었다. 그러나 17분 이후 수온을 -0.4°C 더 낮추어 -1.0°C로 하강시키자 실험 개체들 중 약 28%가 폐사하는 것으로 확인되었으며, -0.2°C 더 낮추어 -1.2°C에 이르자 전량 폐사하는 것으로 보아, 가숭어의 생존율 면에서 저온 임계치는 -0.6°C인 것으로 확인되었다.

나. 생화학적 변화

혈장 AST의 경우 실험 개시 10°C에서 35 ± 6.7 u/L으로 나타났지만, 48시간 뒤 2.5°C에서는 662.4 ± 186.9 u/L으로 유의하게 증가한 것을 알 수 있으며, 이후 -0.5°C까지 400~600 u/L의 농도를 나타내어 여전히 높은 농도를 나타내었다. 단지 실험 종료시점인 -1.2°C에 이르러서는 AST농도가 182.2 ± 84.0 u/L으로 다소 낮아져 실험 개시단계보다는 여전히 높은 것을 알 수 있었다. ALT의 경우 실험 개시 10°C에서 5.3 ± 0.9 u/L으로 나타났지만, 48시간 뒤 2.5°C에서는 약 4배 증가한 22.4 ± 9.7 u/L으로 유의하게 증가한 것을 알 수 있으며, 이후 1.5°C에는 27.0 ± 4.2 u/L으로 다시 증가하는 경향을 보였다. 하지만 수온이 0.5°C에 이르자 실험 개시 수준인 7.6 ± 2.0 u/L으로 유의하게 감소하여, 실험 종료시점인 -1.2°C에 이르러서는 3.4 ± 0.4 u/L로 안정을 찾아가는 것으로 나타났다. 한편 TP의 경우 실험개시 후 별 차이를 찾아 볼수 없었으며, GLU는 10°C 실험개시 62.7 ± 6.2 mg/dL로서 -0.5°C 66.0 ± 19.5 mg/dL까지 별 차이가 없었지만, 실험 종료시점인 -1.2°C에 이르러서만 111.8 ± 25.6 mg/dL로 유의하게 증가하는 것을 알 수 있었다(Fig. 139). 한편 전해질($\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Cl}^-$)의 경우 실험 기간 동안 어떠한 변화도 관찰되지 않았다(Fig. 140).

혈액 생리학적 측면에서는 AST, ALT, TP, GLU 및 전해질(Na^+ , K^+ , Cl^-)를 살펴보았다. 우선 AST와 ALT는 사람과 동물에 있어 대부분 간세포 내에 존재하여 간 기능 검사지표로서 활용되고 있는 것으로, 많지는 않지만 신장, 심장, 근육세포에서도 존재하는 것으로 알려져 있다. 이들 효소들은 단기간에 간에 손상 또는 무리가 가해지거나, 장기간에 걸쳐 서서히 간 세포가 파괴될 경우 혈액 속에 해당 효소들이 유출되어 수치가 올라가게 되어 혈중에서 지속적으로 높은 수치로 나타난다. 또한 단기간 과격한 운동에 의한 근 활동 또는 스트레스성 쇼크에 의한 근 활동으로 인해 근육세포에 무리가 갈 경우 세포내 효소가

혈액으로 유출되어 수치가 올라 갈 수 있으나 이것은 혈중에서 일시적으로 높은 수치로 나타났다가 안정을 되찾으며 정상 수준으로 회복되는 것으로 알려져 있다. 본 연구 결과 AST는 수온이 10℃ 이하로 낮아지자 급격히 증가하다가 -0.5℃ 이후부터 다시 정상 수준으로 감소하는 경향을 보였으며, ALT의 경우 역시 10℃ 이하로 낮아지자 급격히 증가하다가, 0.5℃ 이하에서 다시 정상 수준을 회복하는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 현상은 저수온 충격이 직접적으로 간 기능을 떨어뜨려 나타난 현상이기 보다, 단기간 저수온 충격에 의한 스트레스성 근 활동이 동반된 현상으로 AST와 ALT가 동반 상승했다가 정상 수준으로 회복하는 것으로 추정해 볼 수 있다. 특히 급상승된 AST와 ALT 농도가 임계 저수온에 가까워질수록 정상 수준으로 감소되어 가는 현상은 저수온 마취효과로 짐작된다. 즉 마취성 저수온에 의한 어체의 근 활동의 감소 또는 정지가 일정수준 이하의 수온에서 나타날 것이며 이로 인해 수온충격에 의해 급상승된 AST와 ALT 수치가 정상 수준으로 회복되는 것으로 사료된다. 하지만 여기에 대한 구체적 증거를 제시하지 못한 아쉬움이 남아, 차후에 이 부분에 대한 좀 더 세밀한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다. 한편 본 연구에서 조사한 TP, GLU 및 전해질들의 경우 다른 연구들과 달리 본 연구에서는 일정한 경향이 없이 정체상을 나타내고 있었다. 즉 스트레스를 극복하기 위해 요구되는 과도한 생체 대사 에너지 소모를 위한 근 단백질 분해에 따른 혈중 단백질 농도 상승, 글리코겐 분해대사(glycogenolysis)와 글루코스 신생합성(gluconeogenesis)의 효소활성이 높아짐(Barton and Iwama, 1991; Davis et al., 1985; Pickering 1989)에 따른 고혈당 증상(Robertson et al., 1987; Barton and Schreck, 1987) 및 대사유지 에너지 부족에 의한 삼투조절 균형의 파괴 및 전해질 교란에 의한 체내 항상성 붕괴는 전혀 관찰할 수 없었다. 단지 GLU가 실험종료시 대부분 개체들의 폐사상태에서 실험개시 시점보다 높은 수치를 나타낸 것이 특이한 점이다. 이러한 점들은 현재까지 보고된 일반 급성 스트레스 반응과 다른 결과로 여겨진다.

다. 코티졸 및 갑상선호르몬 변화

혈장 코티졸의 경우 실험개시 10℃에서 48.5±4.8 ng/mL으로 나타났지만, 48시간 뒤 2.5℃에서는 173.7±20.1 u/L으로 급격하게 증가하였으며, 1.5℃ 122.9±15.2 ng/mL로 다소 감소하였다가, 0.5℃와 -0.5℃에 218.0±40.6 ng/mL와 204.9±54.5 ng/mL로 실험 기간 중 가장 높은 값을 나타내었다. 이후 실험종료 시점인 -1.2℃에 이르러서는 98.7±8.9 ng/mL 유의하게 낮아져 있었지만, 실험 개시단계보다는 여전히 높은 수준을 나타내었다(Fig. 141).

혈장 갑상선호르몬은 TT₄, TT₃, FT₄, FT₃와 같이 4가지로 나누어 구분해 보았다. 우선

TT₄의 경우 실험 개시 10°C에서 60.9±11.6 ng/dl로 나타났지만, 48시간 뒤 2.5°C에서는 246.6±85.9 ng/dl로 급격하게 증가하였으며, 1.5°C 157.7±44.5 ng/dl로 다소 감소하였다가, 0.5°C에 441.0±161.7 ng/dl로 실험기간 중 가장 높은 값을 나타내었다. 이후 -0.5°C에 324.1±98.5 ng/dl로 감소하기 시작하여 실험종료 시점인 -1.2°C에 이르러서는 110.7±10.0 ng/dl로 실험개시 수준 근방까지 떨어지는 경향을 나타내었다. TT₃의 경우 실험 개시 10°C에서 161.6±22.5 ng/dl로 나타났지만, 48시간 뒤 2.5°C에서는 37.1±12.7 ng/dl로 유의하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 이후 1.5°C에서 -1.2°C까지 40.3~44.5 ng/dl 정도의 낮은 혈장 수준을 지속적으로 유지하였다(Fig. 142). FT₄의 경우, TT₄와 유사한 경향을 나타내었다. 실험개시 10°C에서 1.23±0.15 ng/dl로 나타났지만 48시간 뒤 2.5°C에서는 1.80±0.34 ng/dl, 1.5°C 1.61±0.26 ng/dl로 다소 감소하였다가 0.5°C에 2.65±0.76 ng/dl로 실험 기간 중 가장 높은 값을 나타내었다. 이후 -0.5°C에 1.82±0.39 ng/dl로 감소하기 시작하여, 실험종료 시점인 -1.2°C에 이르러서는 1.45±0.22 ng/dl로 실험개시 수준으로 떨어지는 경향을 나타내었다. FT₃의 경우 역시, TT₃와 유사한 경향으로 실험 개시 10°C에서 2.75±0.31 ng/dl로 나타났지만 48시간 뒤 2.5°C에서는 0.31±0.05 ng/dl로 유의하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 이후 1.5°C에서 -1.2°C까지 0.24~0.32 ng/dl 정도의 낮은 혈장 수준을 지속적으로 유지하였다(Fig. 142).

스트레스 대표 지표 호르몬인 코티졸 반응은 저수온 충격에 따른 스트레스 반응에 충실하게 반응하는 것으로 알 수 있었다. 실험개시 수온인 10°C와 달리 2.5°C 수온에서 코티졸 농도의 급격한 상승이 나타났으며, 이 농도는 0.5°C ~ -0.5°C에서 최대치로 나타났다. 이후 실험 종료 시점인 -1.2°C에 이르러서는 다소 감소하는 경향을 보이기 했지만 여전히 실험 개시단계보다는 여전히 높은 수준으로 나타나 저수온 충격이 지속적으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 여기서 우리가 한 가지 점에 주목할 필요가 있다. 일반적으로 생체 스트레스 지표인 코티졸과 글루코스의 농도는 서로 상관관계를 나타내면서 혈중에서 변화되어가는 것으로 알려져 있다. 하지만 앞서 설명한 것처럼 GLU는 저수온 충격에 따른 스트레스성 반응으로 해석할 만한 혈중 수치 변화는 찾아 볼 수 없었다. 스트레스성 대사 지표로 이용된 혈중 글루코스 농도는 본 연구에서 주로 정체현상을 나타내었으며, 실험 종료 시점인 -1.2°C에 이르러서만 유의하게 높은 값을 나타내었다. 그러나 코티졸의 경우에는 저수온 충격에 따른 스트레스에 즉각적이면서도 지속적인 반응을 나타내어 상반된 모습을 보인 것이다. 따라서 스트레스에 의해 코티졸 농도 상승에 의한 글루코스 농도의 증가현상이 동반되지 않는 것에 대해서는 많은 의문점이 제기된다. 이러한 현상의 원인으로서는 추정해 볼 수 있는 대사과정으로는 첫째 에너지 소비량의 증가에 따른 혈중 글루코스를 에너지원으로 이용한 결과로 추정해 볼 수 있다. 둘째로는 일반적으로 급성 스트레스에서는 분비된 카테콜아민과 코티졸의 단백질 이화작용으로 인하여 각각 glycogenolysis와 gluconeogenesis 활성 증가로(Barton and Iwama, 1991; Davis et al.,

1985; Pickering, 1989) hyperglycemia이 나타난다(Robertson et al., 1987; Barton and Schreck, 1987; Ishioka, 1980). 그러나 본 연구에서 나타난 글루코스 농도의 감소 또는 정체 현상은 수온 하강시 Q_{10} 의 법칙에 따른 생체대사 저하에 의한 글루코스 생성 및 소비 속도가 낮아지는 반면 스트레스에 의한 글루코스 생성 및 소비속도가 높아지므로 서로 상쇄효과에 의해 나타난 결과로도 생각해 볼 수 있다. 이러한 결과는 이미 Ishioka (1980), Park et al. (1999) 및 Chang et al. (1999)에 의해서도 보고된 것으로 보아, 수온에 따른 스트레스 반응에 있어 GLU를 대사지표로 활용하는 것에는 어려움이 있을 것으로 여겨진다.

한편 갑상선호르몬은 체대사 활성 지표 호르몬으로 알려져 있다. 그러나 어류에 있어 이 호르몬의 생리학적 역할에 대해서는 여전히 구멍이 미흡하며, 어떤 외부 또는 내부 인자들에 의해 갑상선호르몬의 활성이 영향을 받는지에 정확하게 구명되어 있지는 않다. 단지 온도변화(Parker and Specker, 1990), 먹이공급(Gaylord et al., 2001), 주야리듬(Pavlidis et al., 1999), 계절변화(Choubey and Pandey, 1993) 등에 따라 혈중 농도가 변화한다는 것이 보고된 바 있으며, 아직 어떤 상호 연관성에 의해 기작이 이루어지는지 확인되지는 않는다. 특히 계절적 변이와 관련되어 갑상선호르몬의 활성변동이 일어난다는 사실이 일부 연구자들에 의해 보고된 바가 있지만(Choubey and Pandey, 1993), 이것은 생체 내 성호르몬의 연주기 변화에 의한 것으로 생식현상과 관련지어 보는 시각이 지배적이다(Kang et al., 1998; Kwon et al. 1999). 그러나 타 연구 결과들을 볼 때 이러한 논리는 계절적 수온 변화를 간과하였기에 가능한 논리인 것으로 사료된다. 즉 갑상선호르몬의 계절 변화는 성호르몬의 연주기 변화와 관련되어 있기보다는 서식지 수온의 계절적 변화에 의해 보다 직접적으로 영향을 받을 가능성이 높으며(Parker and Specker, 1990), 그렇지 않으면 서식수온 변화와 연동한 체대사량 변동에 따른 2차적 영향에 의한 것을 배제할 수 없다. 이러한 현상은 성호르몬의 영향 아래에서 이루어지는 것이 아니라 계절적 수온변화가 어류의 대사량 변화를 유도하고 그로인해 갑상선의 분비 활성에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 하지만 여전히 갑상선 활성이 계절적 수온변화에 따른 직접적인 영향인지 아니면 수온에 의해 감소된 대사량 저하에 의한 2차적인 영향인지에 관해서는 여전히 의문이 남는다. 이에 본 연구에서는 동절기에 먹이를 공급하지 않는 상태에서 수온을 극한까지 하강시켰을 경우 갑상선호르몬 활성이 어떻게 변하는지를 조사하여 수온이 직접적으로 갑상선 활성에 영향을 미치는지에 관한 궁금증을 해결하고자 하였다.

우선 TT_4 와 FT_4 는 수온 10°C 에서 0.5°C 까지 수온이 하강함에 따라 상승하는 경향을 나타내었으며, 이후 -0.5°C 부터 실험종료 시점인 -1.2°C 까지는 실험개시 수준으로 감소하는 경향을 나타내었다. TT_3 와 FT_3 의 경우는 혈장 T_4 계열과 반대로 실험개시 48시간 뒤 2.5°C 에서부터 유의하게 감소하여, 실험종료 시까지 지속적으로 유의하게 낮은 값을 나타내

었다. 이와 같이 먹이를 공급하지 않은 상태에서 가숭어에게 저수온 충격을 제공하였을 경우, 동일 계열 내에서는 활성 변이를 찾아볼 수 없었다. 즉 혈장 T_4 계열과 T_3 계열 모두 total 형태이거나 free 형태이든 갑상선호르몬의 원료로서 적어도 저수온 충격에 따른 변동성은 동일하다는 것은 흥미로운 사실이다. 그러나 계열 간의 경우에는 변동성 경향에는 뚜렷한 차이가 있는 것을 알 수 있었다. 즉 갑상선호르몬의 원료적인 혈장 T_4 계열은 코티졸과 같은 경향으로 $2.5^{\circ}\text{C} \sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 수준의 저수온 충격에서는 일시적으로 상승하다가 0°C 이하로 수온이 낮아질 경우 다시 제자리로 돌아오는 경향을 보였다. 그에 반해 대사에 직접적으로 관여하는 혈장 T_3 계열은 독립적인 형태로 활성이 나타나는 것을 알 수 있었다.

그럼 이런 현상은 왜 일어나는 것일까? 이를 위해서는 우선 갑상선 호르몬 생성에 있어 대사 경로에 대한 이해가 우선되어야 할 것으로 본다. 일반적으로 알려져 있는 갑상선호르몬은 T_2 , T_3 , rT_3 , T_4 와 같이 크게 4종류로 나뉘볼 수 있다(Eales and Brown, 1993). 이 중에서 경골어류에서 생리활성을 지닌 것은 T_3 와 T_4 인 것으로 알려져 있으며, 최근에 와서는 rT_3 가 특정 부위에서 생리활성을 나타내는 것이 보고되고 있다. 그러나 여전히 학계에서는 T_3 와 T_4 만을 생리활성 호르몬으로 인정하고 있으며, 그 중에서도 T_4 를 원료로 하여 간과 신장에서 deiodinase를 통해 생성되는 T_3 가 실질적인 생리 활성형 호르몬인 것으로 일부 연구자들에 의해 추정되고 있다(Eales and Brown, 1993). 이러한 대사합성 경로를 본 연구결과와 연결시켜본다면, 10°C 에서 0.5°C 까지의 급격한 수온 하강은 가숭어에게 급성스트레스를 제공함과 동시에 저수온에 의한 대사량 감소를 유도하였을 가능성이 높다. 따라서 체대사를 조절하는 갑상선 호르몬 중 실질적인 생리활성호르몬인 T_3 필요성은 낮아질 것으로 추정되며, 그로인해 T_3 합성을 위한 5'-deioninase에 의한 deiodination 대사과정은 약화될 수 밖에 없을 것으로 본다. 따라서 본 연구 결과와 같이 2.5°C 이하에서는 유의하게 낮은 혈중 T_3 농도가 관찰되었으며, 체내 T_3 요구량 감소는 자연적으로 체내 T_4 소비 감소로 이어져 혈중 T_4 농도가 높게 나타날 수 있을 것으로 본다. 따라서 본 연구의 갑상선 호르몬의 농도변화가 직접적인 스트레스의 영향보다는 저수온에 의한 대사량 감소에 의한 영향이 더 크지 않을까 추론해 본다. 물론 스트레스, 코티졸 및 혈중 갑상선호르몬 농도 변화 간에 직접적인 관계를 배제할 수는 없지만, 아직 스트레스 상태에서 코티졸과 갑상선호르몬의 직접적인 연결고리를 아직 학계에서 찾아보기 힘들기 때문에 여기서는 논외로 배제하고자 한다.

이상으로 본 연구에서는 양식산 가숭어를 대상으로 동계 한파모델에 의한 단기간 저수온 충격이 생체에 어떤 영향을 미치는지를 확인해 보았다. 그 결과 실시간의 수온 하강에 따른 스트레스 관련 생체지수의 변화와 코티졸 및 갑상선과 같은 내분비적 변동이 일어나는 것을 확인할 수 있었으며, 한파에 따른 대량 폐사 가능성은 생존 임계수온 -0.6°C 이하에서 일어날 수 있기 때문에 0°C 이하의 수온조건이 일어날 경우 월동기 축제식 양식 현장에서는 이에 대한 적극적인 대처가 이루어져야 할 것으로 본다.

3. 요약

가. 양식산 가숭어를 대상으로 축제식 월동기 한파가 일어났을 때 미치는 생리적 영향과 폐사 임계수온을 파악하고자 실시하였다.

나. 단기간(50시간)에 사육수 수온을 10℃에서 -1.2℃까지 급격히 하강시켜 가숭어에게 저수온 충격을 가했으며, 이 때 어체의 혈중 생화학 및 내분비적 반응과 생존력 조사를 통한 임계 저수온을 구명하였다.

다. 생존율의 경우 수온이 -1.0℃로 하강되었을 때 약 28%가 폐사하였으며, -1.2℃에 이르자 전량 폐사하였다.

라. 혈장 AST와 ALT는 수온이 10℃에서 2.5℃로 감소할 경우 증가하는 경향을 보였고, 이후 수온이 0.5℃에 이르자 유의하게 감소하여, 실험 종료시점인 -1.2℃에 이르러서는 실험개시 수준까지 안정화되었다. GLU는 10℃에서 -0.5℃까지 별 차이가 없었지만, 실험 종료시점인 -1.2℃에 이르러서만 유의하게 증가하는 것을 알 수 있었다.

마. 혈장 코티졸의 경우 실험 개시 48시간 뒤 2.5℃에서는 급격하게 증가하였으며, 0.5℃와 -0.5℃에 실험 기간 중 가장 높은 값을 나타내었다. 이후 실험 종료시점인 -1.2℃에 이르러서는 유의하게 낮아졌지만, 실험 개시단계보다는 여전히 높은 수준을 나타내었다.

바. 혈장 갑상선호르몬인 T₄의 경우 실험개시 48시간 뒤 2.5℃에서는 급격하게 증가하였으며, 0.5℃에서 실험 기간 중 가장 높은 값을 나타내었고, -0.5℃ 이하에서는 그 농도가 떨어지는 경향을 나타내었다. T₃의 경우 실험 개시 48시간 뒤 2.5℃에서는 유의하게 감소하였으며, 이후 1.5℃에서 -1.2℃까지 지속적으로 낮은 혈장 수준을 유지하였다.

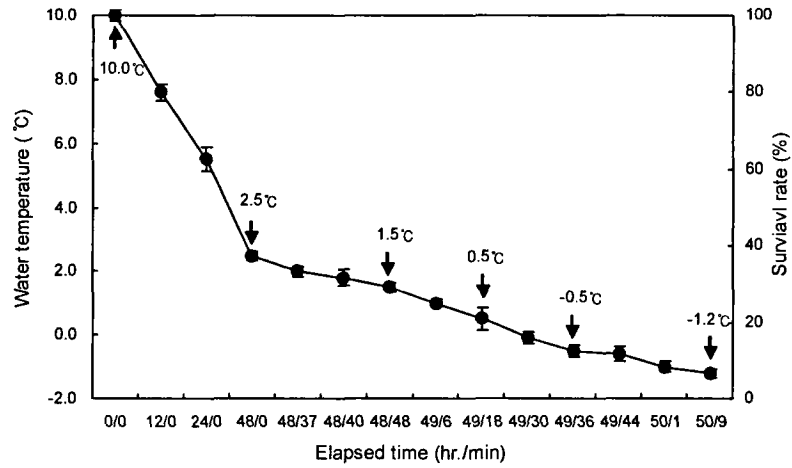


Fig. 137. The pattern of acute temperature change in the experiment. Arrows indicate the blood sampling time.

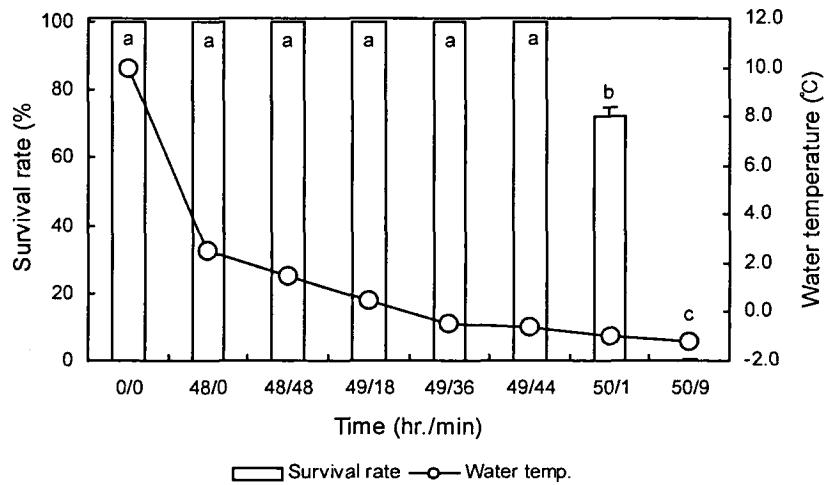


Fig. 138. Change of survival rate following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

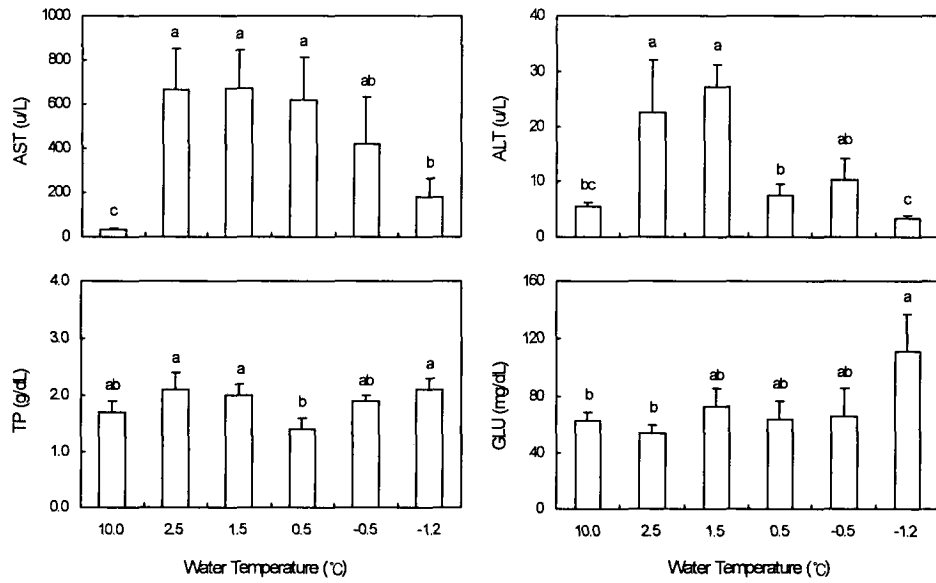


Fig. 139. Variations of AST, ALT, TP and GLU in plasma of redlip mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

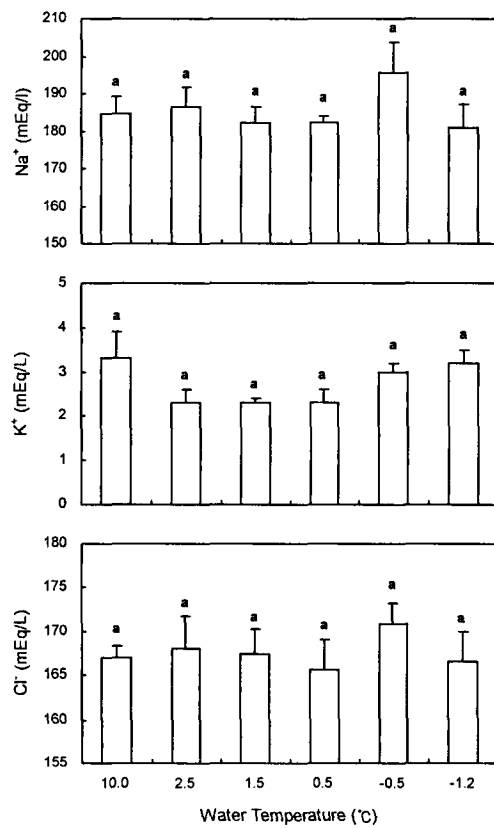


Fig. 140. Variations of Na⁺, K⁺, Cl⁻ in plasma of redlip mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

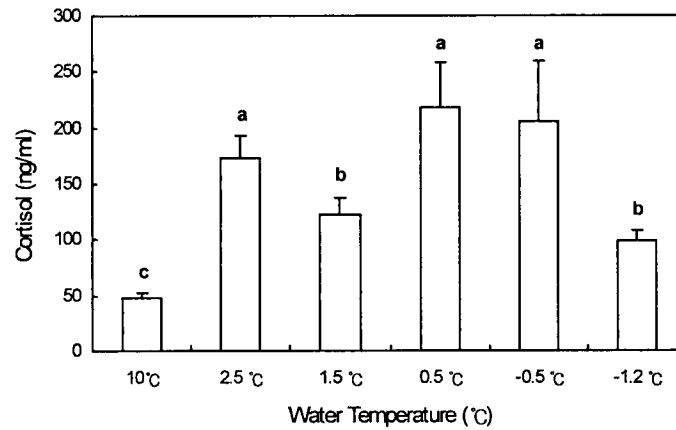


Fig. 141. Variations of cortisol in plasma of redlip mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

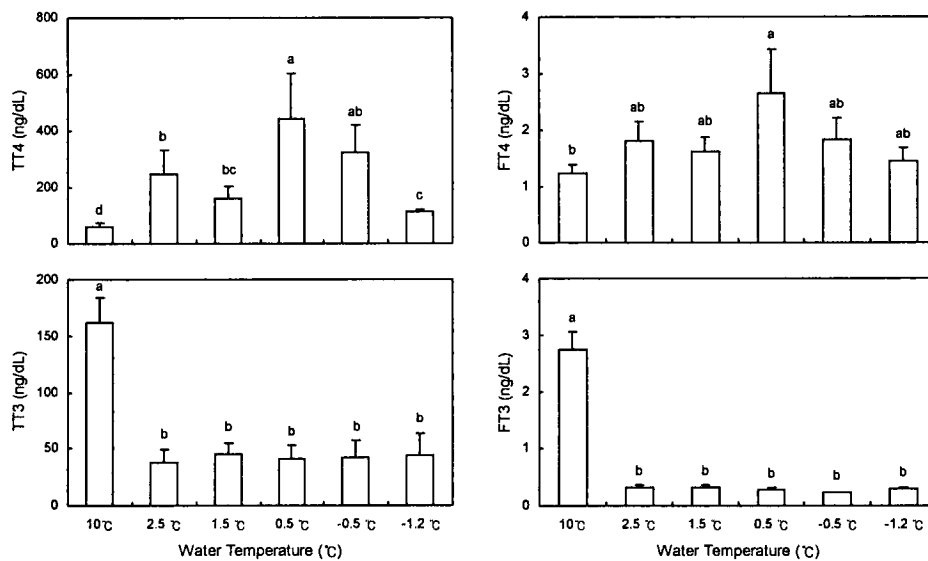


Fig. 142. Variations of thyroid hormones in plasma of red mullet following an acute down regulation of water temperature. Different letter on the bar means significant difference at the levels of 5%.

제 11 절 경제성 평가

복합양식은 양식장의 성장공간과 환경을 보다 효율적으로 이용하기 위하여 둘 이상의 어종을 함께 양식하는 것으로서, 양식공간과 환경의 효율적 이용 및 먹이용 유기체의 선택적 이용으로 단위양식 면적당 생산량 증대, 인건비 감소 및 단위면적당 이익증대 효과를 거두어 높은 경제성을 달성하는데 초점을 두고 있다.

그런데 본 연구에서는 이와 동시에 분석대상 품종인 새우의 질병예방 및 바이러스 피해 감소를 통해 새우생산량 증대를 도모하는 데에도 상당한 비중을 두고 복합양식을 시도하고 있다. 따라서 본 경제성분석에서는 복합양식의 경제성과 함께 새우의 생산성에 대해서도 검토해 보고자 한다.

우선, 분석에 있어서 서해안 축제식 복합양식 품종에 대해 단독양식과의 비교분석을 통해 복합양식의 경제성을 규명하고, 아울러 매년 월동 중 한파내습으로 인한 동사 피해가 매년 100억이 넘고 있는 문제점을 해결하기 위한 방안으로 연구한 동해 방지기술개발에 따른 월동의 경제성을 평가해 보았다.

1. 복합양식 품종에 대한 생산성 비교분석

가. 새우와 패류의 복합양식 생산성 효과

새우양식장에서의 질병억제와 생산성 제고의 일환으로 시도된 실내 pilot실험을 통해 새우(흰다리새우)와 패류와의 복합양식의 효과를 조사하였다. 본 실험에서는 새우와 바지락, 새우와 가무락을 대상으로 하였으나 바지락은 실험과정 중에 폐사하여 복합양식 환경에서 생존에 적합하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 동일 실험조건하에서도 가장 양호한 생산효과를 보이고 있는 새우와 가무락과의 복합양식의 실험결과를 바탕으로 구체적인 비용조사 없이 간단히 생산성을 평가해 보았다.

본 연구에서 나타난 실험결과는 아래 Table 42와 같이 요약할 수 있다.

Table 42. Survival and growth of polyculture of *L. vannamei* with *C. chinensis*

구 분	단 독 양 식		복 합 양 식	
	흰다리새우	가무락	흰다리새우	가무락
생존율(%)	95	90	98	70
성장률(kg/m ²)	104.8	94.2	99.7	106.3

본 실험은 24일간이라는 단기간에 실내환경에서 새우의 생산성 증대를 도모하기 위한

목적에 한정하여 설계한 복합양식 실험이었는데, 새우의 양식형태를 단독양식과 복합양식으로 나누어 비교해 볼 때, 새우(흰다리새우)의 생존율은 복합양식에서 3.16% 증가하였고, 성장률은 4.87% 감소하였는데, 이를 양식 전과정의 장기간으로 확장해 본다면 변동폭은 확대될 수도 있을 것이다. 실험에 한정하여 경제적 가치변동을 생각해 보면, 새우가 성장하여 평균중량이 증가할수록 새우 자체의 성장률의 감소는 정제되고 실험당시(2006년 8월) 서해안 충남지역의 흰다리새우의 kg당 월별 판매가격이 약 20,000원 정도의 고가이므로 생존율의 증가는 판매수익에 직접적인 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

나. 새우와 어류의 복합양식 생산성 효과

황복의 감염새우에 대한 선택적 포식효과에 착안한 새우바이러스 발병 억제 및 생산성 제고의 일환으로 새우(흰다리새우)와 황복의 복합양식의 효과를 조사하기 위하여 충남 태안군 소재 축제식 양식장을 이용한 현장사육실험 결과를 통하여 조사한 결과를 살펴보면 Table 43과 같다.

Table 43. Survival and productivity of polyculture of *L. vannamei* with river puffer

구 분	단 독 양 식	복 합 양 식	
품 종	흰다리새우	흰다리새우	황복
생존율(%)	18.2	32.4	92.0
단위생산량(kg/m ²)	0.13	0.22	0.026

본 실험은 흰다리새우에 대하여 흰다리새우 단독양식과, 황복과의 복합양식에 있어서 최종 생존율과 단위당 생산량을 조사하도록 설계되어 있다. 본 Table 43에서 알 수 있는 바와 같이 흰다리새우와 황복과의 복합양식은 흰다리새우 단독양식에 비해 생존율은 78%, 생산량은 69.2% 높은 것으로 밝혀져 흰다리새우의 수익성을 제고시켜 주는 양식방법임을 입증해 주고 있다. 그러나, 이러한 결과는 통제된 실험환경과 양성기간이 52일에서 95일 정도의 아주 짧은 사육과정에서 나타난 결과이기 때문에 적용에 신중을 기할 필요가 있다.

2. 축제식 복합양식 경제성분석

수산시험연구사업의 경제성평가로서는 협의의 경제성분석(투자분석)과 재무분석(경영분석)으로 대별하여 생각해 볼 수 있다.

경제성분석은 수산시험연구사업에 대한 투자가 기술적·경제적 타당성을 가지고 있는지

를 국민경제적 관점에서 분석하여 합리적인 의사결정을 내리는 방법이며, 경영분석은 개별 프로젝트의 측면에서 어업소득 또는 순이익을 극대화하는 목적을 토대로 경영성과를 측정·평가하는 방법이다.

경제성분석은 경제적 타당성분석(Economic Feasibility Analysis)이라고도 하며, 시험연구과제 수행과 관련된 모든 직·간접비용과 편익을 비교하여 국민경제적 관점에서 사회후생의 증감여부와 그 정도를 판정하고 있다.

반면에 경영분석은 재무적 수익성분석(Profitability Analysis) 또는 재무적 타당성분석(Financial Feasibility Analysis)이라고도 하며, 어업경영체 입장에서 사업수행의 결과로 기대되는 순이익을 추정하는 분석방법이다.

이상의 두 분석방법은 투입산출물의 적용가치, 노임의 평가, 감가상각비, 용지매수 보상비, 생산비 노임 등에 있어서 차이가 있지만, 크게 보면 다음과 같은 차이점을 나타내고 있다.

Table 44. Comparison between Economic Feasibility Analysis with Profitability analysis

분석종류	경 제 분 석 (Economic Feasibility)	경 영 분 석 (Financial Feasibility)
평가관점	국민경제적 관점	어업경영체 입장
비 용	사회적 비용(Social Cost) (사적비용+외부비용)	사적비용(Private cost)
편 익	사회적 편익(Social Benefit) (사적수입+외부편익)	사적수입(Revenue)

경제성평가에 있어서 요체는 특정 시험연구과제의 성격에 적합한 모델을 선정하여 분석하느냐에 달려 있다. 이를 위해서는 연구과제의 설계단계에서부터 본 연구과제의 경제성분석에 이용할 분석모델을 염두에 두어야 하며, 연구수행시 이에 대한 자료가 수집가능해야 한다.

본 연구에서는 시험양식에 있어서 예산의 규모에 영향을 받고, 인적 물적 비용 통제와 시설의 활용도가 인위적으로 이루어지는 측면이 있기 때문에 연구개발 투자의 경제성을 평가하는데 자료수집 측면에서 어려움이 많고, 또한 시험양식의 목적이 기술개발에 초점을 두다보니, 양성기간이 시험목적에 따라 단기간인 경우가 많아 상품단계로의 양성이 이루어지지 못하고 있어서 기간에 따른 수익성분석을 중심으로 하되, 경우에 따라서는 경제분석기법으로 많이 이용되는 순현재가법(NPV method)과 내부수익률법(IRR method)을 부분적으로 활용하였다.

순현재가법(net present value method : NPV)은 화폐의 시간적 가치를 고려하여 투자안들을 평가하는 방법을 현금흐름할인법(discounted cash flow method : DCF)의 일종으로서

순현재가치(Net Present Value)는 투자의 결과 발생하는 현금유입(cash inflow)의 현재가치에서 현금유출(cash outflow)의 현재가치를 차감한 것을 의미한다. 즉, 순현재가치(net cash flow)의 현재가치의 합계액이 순현재가치이다.

투자안의 순현재가치를 정의하면 다음과 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CI_t}{(1+k)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{CO_t}{(1+k)^t}$$

선택기준 : 순현재가치가 0보다 크면 투자안을 선택한다.

위 식에서 적정할인율(appropriate discount rate) k 는 해당 투자안이 가지는 투자위험에 상응하는 할인율을 뜻하며, 그 투자안이 벌어들여야 하는 최소한의 수익률로서 소요자본의 요구수익률(required rate of return)을 의미한다. 또한, 이것은 투자자본의 기회비용으로서 자본비용(cost of capital)이라고도 한다. 순현재가치법의 의사결정 기준으로는 순현재가치가 0보다 큰 투자안을 채택하고, 순현재가치가 0보다 작은 투자안을 기각한다. 순현재가치법은 투자에 대해 순현재가치를 초과하는 방법으로, 미래에 발생할 현금흐름에 대해 할인율의 개념을 적용하여 초기투자액을 차감함으로써 순현재가치의 현재가치를 산정하게 된다.

현재가치법에서의 할인율 개념은 기회비용(opportunity cost)을 반영한 것이다. 현재가치법은 미래의 현금흐름에 대해 현재가치를 판단하는 자료를 제공한다는 점에서 장점을 가지고 있으나 현금흐름에 대한 시장가치(이자율)를 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다.

또한, 내부수익률법(internal rate of return : IRR)을 보면, 내부수익율이란 투자에 소요되는 현금유출액(cash outflow : CO)의 현재가치합계액과 투자로 인해 예상되는 현금유입액(cash inflow : CI)의 현재가치합계액을 일치시켜 주는 할인율로서 투자안의 평균투자수익률을 의미하는데, 내부수익률은 다음의 식에 의해서 구할 수 있다.

$$\sum_{t=0}^n \frac{CO_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{CI_t}{(1+r)^t} \text{ 에서 } r \text{ 이 내부수익률이다.}$$

선택기준: 내부수익율(r)이 최저기대수익율(k)보다 크면 투자안 선택한다.

NPV법에서는 할인율 r 이 시장에서 결정된 자본비용으로서 미리 결정되어 있는데 반하여, IRR법에서는 NPV를 0으로 만드는 특정 할인율 IRR의 값을 구한다. 내부수익률법의 의사결정 기준으로는 내부수익률 IRR이 자본비용 r 보다 높을 경우 투자안을 채택하고, IRR이 자본비용 r 보다 낮을 경우 투자안을 기각한다.

즉, 내부수익률법은 미래의 현금흐름에 대해 현금의 시장가치를 고려하는 방법으로, 현재가치법의 공식에서 초기투자액을 빼어 0이 되게 할인율을 구하게 된다. 내부수익률법은 현금의 시장가치를 고려하기 때문에 상호 배타적인 투자대안을 비교시에 유용한 방법으로 인정받고 있다. 하지만 할인율에 기회비용(opportunity cost) 개념이 반영되지 않는다는 것이 단점으로 지적되고 있다.

한편, 수익성분석을 중심으로 본 분석을 살펴보면, 서해안 축제식 양식품종에 대한 단독양식과 복합양식의 시험결과에 기초하여 각 양식형태별 수익성을 측정해 봄으로써 경제적 실현가능성에 대한 정보를 양식업자에게 제공해 주는데 목적이 있다. 본 수익성분석은 품종별 양식형태에 대해서 본 자연과학적 시험연구결과를 토대로 평가를 하였으므로 실험횟수, 복합양식 기술수준 정도, 시험양식의 작황정도에 따라 상이한 결과가 나타날 수도 있다. 따라서 본 경제성평가는 본 연구를 위한 시범적 시험양식 결과에 한정되어 있음을 전제로 하고 있다. 그리고 양식규모에 따른 품종별 수익과 비용자료의 왜곡을 피하기 위해서 품종별 공통손익계산서를 작성하여 백분율로 표시하였다.

한편, 본 분석에 있어서 양식경영체의 수익성분석 목적에 대해서 검토할 필요가 있다. 양식경영의 목적은 경영의 성격과 규모, 환경조건, 시대의 변천 등에 따라 변화한다. 양식경영규모가 비교적 작고, 자급자족 측면이 강한 경영단위에 있어서는 양식물의 최대생산(양적생산)이 양식경영의 목적이었다. 따라서 과거의 우리나라 양식정책도 양식물의 증산정책에 주안점을 두고 집행되어져 왔다.

이와 같이 양식물의 최대 양적 생산을 통한 양식소득의 최대화가 과거의 양식경영의 목적이라고 한다면, 현재는 양식어업 순이익의 최대화가 양식경영의 목적으로 그 자리를 대신하고 있다. 그런데 사실 양식경영의 목적을 양식소득 증대와 양식순이익 증대로 구분할 수 있는 차이점은 자가인건비를 수입으로 보느냐, 비용으로 보느냐에 달려있다. 자가인건비를 수입 처리하게 되면 양식소득이 되며, 반대로 이를 양식생산에 사용된 비용으로 간주하게 되면 양식순이익 관점에서 다루어지게 되는 것이다.

현재까지는 양식어가가 영세하고, 가계와 경영이 분리되지 않은 소규모 가족경영 단계에서는 양식소득의 최대화가 양식경영의 목표가 된다. 그러나 기업적 양식경영단계에서는 가족노동력에 의한 자가인건비도 비용으로 간주하여 이를 감안한 양식순이익 증대가 궁극적인 양식경영의 목표가 될 것이다. 양식경영 형태별 목표의 차이를 간단하게 서로 비교해 보면 Table 45와 같다.

Table 45. Purpose of aquaculture management

구분	경영규모	양식경영 목표	비고
과거	소규모 양식경영	양식소득의 최대화	자가인건비의 수입처리
현재	소규모 양식경영	양식소득의 최대화	
	상업적 양식경영	양식순이익의 최대화	자가인건비의 비용처리

즉, 양식소득과 양식순이익과의 관계는 다음과 같다.

$$\text{양식소득} = \text{양식수익} - \text{양식경영비}$$

$$\text{양식이익} = \text{양식소득} - \text{자가인건비}$$

그런데 본 분석에 있어서 전업수준이 높은 기업적 양식단계에 따른 분석이 바람직하지만, 본 양식의 규모와 수준을 감안하여 가족중심 양식경영단계로 간주하여 양식경영의 목적을 양식소득 증대에 두어 양식소득을 중심으로 수익성분석을 하였음을 미리 밝혀 둔다.

가. 흰다리새우와 가무락

흰다리새우 양식에 있어서 가무락과 복합양식을 하였을 경우의 수익성변화에 대한 분석을 위하여, 이 두 품종의 단독양식과 복합양식의 시험양식 결과를 토대로 경제성을 평가하였다. 시험양식에 있어서 흰다리새우는 각각 500,000마리를 입식하였고 생존율은 123일간의 시험기간 중 단독양식에서 15.3%, 복합양식에서 40.8%를 나타내었다. 가무락은 시험양식에서 20,950마리를 입식하였고 복합양식에서 생존율이 4.9%로 저조하게 나타났으나, 이 기간 중 흰다리새우와 바지락과의 복합양식에서는 바지락이 전량 폐사한 것으로 나타나 동일 실험조건하에서도 가무락은 바지락에 비해 비교적 양호한 결과를 보이고 있다고 할 수 있다.

흰다리새우와 가무락과의 복합양식에 있어서 흰다리새우의 단독양식과 복합양식의 수익률을 비교해보면 Table 46과 같다.

Table 46. Profitability comparison according to polyculture and monoculture of *L. vannamei* with *C. chinensis*

(단위 : %)

구 분	복 합 양 식	단 독 양 식
품 종	흰다리새우	흰다리새우
수 익	100.00	100.00
비 용	42.33	100.33
시설비 및 수선료	4.44	13.33
종 묘 비	7.78	23.33
사 료 비	13.00	13.00
약 품 비	0.67	2.00
전기요금	6.67	20.00
감가상각비	6.67	20.00
인 건 비	2.67	8.00
기타비용	0.44	0.67
양식소득	57.67	-0.33

본 분석에 있어서 가무락과의 흰다리새우의 복합양식의 수익성은 평균적인 생존율 평균 50%보다 저조한 40.8%를 보이고 있으나 양식소득률은 57.67%로 비교적 높게 나타났다. 그러나, 단독양식의 경우 동일 실험조건하에서 생존율이 15.3%로 극히 저조하게 나타

나 적자상태를 면치 못하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 동일시기에 흰다리새우 단독양식의 평균 시장수익율이 약 45% 정도 수준인 것을 감안하여도 가무락과의 복합양식 수익률은 비교적 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

나. 흰다리새우와 황복

흰다리새우 양식에 있어서 황복과의 복합양식을 하였을 경우의 단독양식과 복합양식의 경제성을 평가하였다. 본 시험양식은 충남 태안군 소재 (주)SCF부설 시험연구소의 축제식 양식장에서 2005. 6부터 9월까지 실험한 것으로서 흰다리새우는 단독양식에서 70,000마리, 복합양식에서 85,000마리를 입식하여 각각 95일간 양성하였는데 생존율은 단독양식에서 18.2%, 복합양식 32.4%를 나타내었다. 황복은 복합양식을 위하여 400마리를 입식하였고, 53일간의 복합양식 기간동안에 92%의 생존율을 나타내었다.

흰다리새우와 황복과의 복합양식에 있어서 흰다리새우의 단독양식과 복합양식의 수익률을 비교해보면 Table 47과 같다.

Table 47. Profitability comparison according to polyculture and monoculture of *L. vannamei* with river puffer

(단위 : %)

구 분	복 합 양 식	단 독 양 식
품 종	흰다리새우	흰다리새우
수 익	100.00	100.00
비 용	99.29	175.56
시설비 및 수선료	33.21	63.49
종 묘 비	8.30	13.33
사 료 비	12.95	13.02
약 품 비	1.66	3.17
전기요금	16.60	31.75
감가상각비	4.98	9.52
인 건 비	19.96	38.09
기타비용	1.66	3.17
양식소득	0.71	-75.56

본 분석에 있어서 흰다리새우와 황복과의 복합양식의 수익성은 흰다리새우에 있어서 평균적인 생존율 보다 저조한 32.4%를 보이고 있고, 양식소득률 또한 0.71%로 매우 낮게 나타났다. 단독양식 또한, 동일 실험조건하에서 생존율이 극히 저조하고, 수익률도 매우 큰 적자로 나타났다.

황복과의 복합양식에서 흰다리새우양식은 동일 실험조건하에서 복합양식이 단독양식보

다 수익률이 높게 나타나고 있지만, 복합양식과 단독양식 모두 정상적인 수익률보다 극히 저조하였다. 이는 복합양식 시험기간이 상품사이즈로 성장하기엔 불충분한 95일간의 양성 기간이었다는 점과 일반적인 축제식 양식장의 정상수확시 예상 생존율 50%에 크게 미달한 데 기인한 것으로 판단된다.

참고로 본 시험양식 외에 설문조사와 면담을 통한 현행 흰다리새우 축제식양식장의 평균시장수익을 조사결과를 나타내면 Table 48과 같다.

Table 48. Average Profitability in *L. vannamei* pond

(단위 : %)

수	익	100.00
비	용	54.57
시설비 및 수선료		9.80
종 묘 비		6.86
유 류 비		0.39
사 료 비		10.20
약 품 비		3.92
전기 요금		1.96
주 부식비		1.96
조세공과금		0.59
감가상각비		4.18
인 건 비		14.71
양 식 소 득		45.43

Table 49에서 보는 바와 같이 실제로 이루어지고 있는 흰다리새우 축제식양식의 경제성을 살펴보면, 내부수익율이 42% 수준으로 높게 나타났고, 순현재가치는 자본비용(할인율) 8% 수준에서 71,541천원으로 분석되어 바이러스 감염이 없을시 높은 소득을 올릴 수 있음을 알 수 있다.

Table 49. Economic analysis in *L. vannamei* pond

내부수익율(IRR)	순현재가치(NPV)		
	할인율 8%	할인율 10%	할인율 12%
42%	81,701,452원	71,541,083원	62,595,824원

3. 동해방지 기술개발 시스템의 경제성분석

우리나라 서해안 축제식 양식장에서 주로 양식대상으로 하고 있는 새우에 있어서 바이러스성 질병발생으로 인한 경영안정성 저하로 양식어업인들이 어류양식으로 전환하고 있으나 한파로 인한 월동의 어려움으로 매년 100억원 정도의 경제적 손실을 입고 있다. 따라서 본 실험에서는 충남 태안군의 시험양식장에서 축제식 비닐하우스 월동장을 마련하여 월동으로 인한 생존을 보존과 동시에 월동의 경제성을 추구하고자 하였다.

우선, 황복양식과 가숭어양식의 경제성 분석에 있어서 황복양식은 축제식양식과 육상수조식양식의 경제성을 비교하고, 가숭어의 경우 축제식양식과 해상가두리양식의 경제성을 비교분석하여 황복과 가숭어의 축제식양식의 경제성을 판단하고자 하였다. 이어서 월동 시스템 도입의 경우 황복과 가숭어의 월동경제성을 분석하여 월동방지 기술개발의 경제성을 평가하고자 하였다.

가. 황복양식의 경제성분석

먼저, 황복양식에 있어서 축제식양식과 육상수조식양식과의 수익성을 비교하였다.

Table 50. Profitability analysis of pond culture and land based culture with river puffer

(단위 : %)

구 분	축제식 양식	육상수조식 양식
수 익	100.00	100.00
비 용	34.29	55.74
시 설 비	2.88	-
수 선 비	0.82	0.83
종 묘 비	14.81	8.33
유 류 비	0.41	1.00
사 료 비	5.35	12.50
약 품 비	0.82	0.38
전기 요금	0.82	5.50
주 부식비	0.82	4.58
조세공과금	0.25	1.00
기타 지출	-	0.42
감가상각비	1.14	7.40
인 건 비	6.17	13.80
양 식 소 득	65.71	44.26

황복의 경우 축제식양식장이 인천에 극소수 존재하고 있고, 육상수조식양식이 제주, 전남을 중심으로 대부분을 이루지만, 그 수는 매우 적다. 이는 황복 축제식양식장이 극소수인 것은 월동이 어렵기 때문으로 판단되고 있다.

황복의 축제식양식과 육상수조식양식의 수익성을 분석해 보면 Table 50과 같이 나타낼 수 있다.

황복 축제식양식은 65.71%의 양식소득률을 보이고 있고, 육상수조식양식은 44.26%로 축제식양식장의 양식소득보다 낮게 나타났는데, 이는 주로 육상수조식 양식장의 초기시설투자비가 높은 데 따른 감가상각비 증대, 시설 및 사육관리를 위한 인건비, 전기요금 부담차이와 집약적 양식경영관리에 따른 사료비 등의 차이에 기인한다.

황복양식의 양식소득이 44.26%(육상수조식)에서 65.71%(축제식) 정도의 수준임을 감안할 때, 황복양식은 매우 고부가가치 양식품종임을 알 수 있으며, 수요확대와 월동대책이 수반되면 상당한 소득원이 될 수 있다고 판단된다.

또한, 황복양식방법에 따른 경제성을 내부수익율과 순현재가치로 비교하면 Table 51과 같은 결과를 볼 수 있는데, 축제식 양식은 초기시설비가 육상수조식양식에 비해 상대적으로 매우 적어서 내부수익율이 매우 높게 나타나고 있었다.

Table 51. Economic analysis of pond culture and land based culture with river puffer

구 분	내부수익율(IRR)	순현재가치(NPV)		
		할인율 8%	할인율 10%	할인율 12%
축제식 양식	109%	428,212,882원	387,282,874원	351,413,113원
육상수조식양식	30%	269,603,719원	233,021,058원	199,734,770원

한편, 황복 축제식양식과 육상수조식양식의 시설비 및 감가상각비 조사내역은 Table 52~53과 같다.

본 Table에서도 알 수 있듯이 육상수조식 양식장의 초기투자비는 136,900천원으로 나타나서 축제식 양식장에 비해 매우 자본집약적 양식형태임을 입증하고 있다.

Table. 52. Construction costs of river puffer pond culture

(단위 : 천원)

항 목	규 격	단 위	수 량	단 가	금 액	내 용 년 수	감 가 상 각 비	비 고
시설비								
- 토목공사	양식장조성	평	350	1	3,500	20	175	
- 주배수시설	배관	개	2	30	60	10	6	
부대시설								
- 관리사	5.5평	동	1	2,000	2,000	10	200	
전기공사								
- 동력인입공사	20kW	식	1	2,000	2,000	20	100	
- 배전반설치		식	1	700	700	5	140	
- 방수전선	ø3.5cm'	m	1,000	1	1,000	10	100	
부대설비								
- 수차	2마력	대	2	500	1,000	5	200	
- 양수기	1HP	대	1	200	200	5	40	
- 관리선	목재제작	척	1	200	200	5	40	
- 선외기		대						
기타자재								
- 현미경								
- 산소측정기		대	1	1,500	1,500	5	300	
- 삼각망	소형	식	3	150	450	5	90	
총 시설비					12,610		1,391	

Table 53. Construction costs of river puffer land based culture

(단위 : 천원)

항 목	규 격	단위	수량	단 가	금 액 (천원)	내용 년수	감 가 상각비	비고
수조(원형)	50톤	조	6	4,000	24,000	20	1,200	
수조(원형)	5톤	조	6	1,000	6,000	20	300	
침전,여과조	30톤	조	4	2,500	10,000	20	500	
철골조		본	6	5,000	30,000	20	1,500	
양수모터	1마력	대	6	300	1,800	5	360	
수중모터	1마력	대	5	200	1,000	5	200	
보일러	7만Kcal	대	3	3,300	9,900	10	990	
보일러기름통		대	1	2,000	2,000	15	133	
브로워	10kw	대	2	2,000	4,000	5	800	
브로워	5kw	대	2	1,000	2,000	5	400	
자외선 살균등		대	3	1,000	3,000	10	300	
발전기	50kw	대	1	8,000	8,000	20	400	
전기시설	50kw	동	1	10,000	10,000	20	500	
관리사	10평	동	1	1,000	10,000	10	1,000	조립식
파이프 및 밸브		본	10	1,000	10,000	10	1,000	
고압호스	100mm	환	2	100	200	5	40	
인건비	남	명	100	50	5,000	10	50	
총 시설비					136,900		9,673	

나. 가숭어양식의 경제성분석

먼저, 가숭어양식에 있어서 축제식양식과 해상가두리양식과의 수익성을 비교하였다. 최근 숭어양식은 급속도로 증가하고 추세이며 2006년말 현재 축제식 양식장 45개소, 해상가두리 양식장 127개소로 나타나고 있다.

가숭어의 축제식양식과 해상가두리양식의 수익성을 분석해 보면 Table 54와 같이 나타낼 수 있다.

Table 54. Profitability analysis of pond culture and net cage culture with redlip mullet
(단위 : %)

구 분	축제식 양식	해상가두리 양식
수 익	100.00	100.00
비 용	57.19	86.55
시 설 비	1.62	2.33
수 선 비	0.48	0.93
종 묘 비	12.99	4.90
유 류 비	0.65	2.91
사 료 비	26.00	44.13
약 품 비	0.30	1.86
전기 요금	1.95	-
열 음 대	-	0.47
주 부식비	2.27	2.24
조세공과금	0.23	0.47
기타 지출	0.97	-
감가상각비	3.17	9.53
인 건 비	6.33	16.78
양 식 소 득	42.80	13.45

가숭어양식에 있어서 축제식 양식장의 양식소득이 42.80%로서 높은 수익성을 나타내고 있는 반면에, 해상가두리 양식장은 13.45%의 양식소득률로 비교적 저조한데, 이는 해상가두리특성상 인건비 증대와, 축양장과 비교해 볼 때 투하량이 많은 가두리양식의 사료비 차이에 기인하는 것으로 보인다.

또한, 가숭어양식에 있어서 양식방법에 따른 경제성을 내부수익율과 순현재가치로 비교하면 Table 55와 같은 결과를 볼 수 있는데, 수익성분석에서 나타난 결과 해상가두리양식에 비해 투자수익율이 높은 것으로 나타났는데, 이는 양식장 규모의 차이와 양성기간의 차이, 특히 양식소득의 차이에 기인하는 바가 매우 크다.

Table 55. Economic analysis of pond culture and net cage culture with redlip mullet

구 분	내부수익율(IRR)	순현재가치(NPV)		
		할인율 8%	할인율 10%	할인율 12%
축제식 양식	43%	525,951,834원	460,248,021원	402,6213,758원
해상가두리양식	12%	39,042,850원	16,675,063원	적자 전환

이상에서 볼 때 가숭어의 축제식양식 또한 고부가가치품종으로 손색이 없으며, 서해안의 한파에 대한 동사 피해방지기술개발로 월동이 정상적으로 이루어진다면, 양식 활성화에 크게 도움이 될 것으로 보인다.

한편, 가숭어 축제식양식과 해상가두리양식의 시설비 및 감가상각비 조사내역은 Table 56~57에 나타내었다.

Table 56. Construction costs of redlip mullet pond culture

(단위 : 천원)

항 목	규 격	단위	수량	단가	금액	내용 년수	감 가 상각비	비 고
시설비								
- 토목공사	양식장조성	평	12,000	0.85	10,200	20	510	임대료 포함
- 주배수시설	PVC Ø 300	개	30		2,000	5	400	소켓 및 밸브
- 종묘구입	kg당 60미	마리	200,000	0.2	40,000	-	-	
부대시설								
- 관리사	25평	동	1	10,000	10,000	10	1,000	컨테이너
전기공사								
- 동력인입공사	73kW	식	1	3,650	3,650	20	182	
	43kW	식	1	2,150	2,150	20	107	
- 배전반설치		식	3	1,200	3,600	5	720	
- 방수전선	Ø3.5cm'	m	2,000	0.5	1,000	5	640	
	Ø24cm'	m	400	5.5	2,200	5		
부대설비								
- 수차	2마력	대	25	500	12,500	5	2,500	
- 관리선	목재,FRP	척	3	400	1,200	5	240	
- 선외기	5마력	대	3	2,000	6,000	5	1,200	
- 수중모터	5HP	대	5	600	3,000	5	600	
기타자재								
- 산소측정기		대	1	2,000	2,000	5	400	
- 그물	후리그물 가두리	식	6	1,200 350	3,300	5	660	
- 냉동창고		동	1	6,000	6,000	10	600	
총 시설비					108,800		9,759	

Table 57. Construction costs of redlip mullet net cage culture

(단위 : 천원)

항 목	규모 및 규격	단위	수 량	단 가 (천원)	금 액 (천원)	내용 연수	감 가 상각비	비고
목 재	4치×4치×9 m	개	64	100	6,400	10	640	
부 자	400 ℓ	개	96	32	3,072	8	384	
볼 트	7부	개	160	0.7	112	8	14	
묶음줄	Ø 9mm	환	10	18	180	8	22.5	
사육망	랏셀 12합 24절 (8×8×5m)	조	8	480	3,840	5	768	
사육망	22합 18절 (8×8×5m)	조	8	480	3,840	5	768	
사육망	35합 14절 (8×8×5m)	조	8	490	3,920	5	784	
사육망	51합 8절 (8×8×5m)	조	20	460	9,200	5	1,840	
사육망	22합 18절 (8×8×5m)	조	7	700	4,900	5	980	
닻(대)	60관	개	16	270	4,320	10	432	
닻줄	Ø 24mm	환	4	180	720	8	90	
작업대	9×9m	대	2	10,000	20,000	10	2000	
관리사	3×8×2	동	2	1,500	3,000	10	300	
작업선	2T/S	척	1	24,000	24,000	20	1,200	FRP
총 시설비					87,504		10,222	

다. 동해방지시스템 구축에 따른 비용분석

Table 58. Construction costs in wintering system of vinyl house (430 m²)

품명	규격	수량	단가(원)	금액(원)	비고
백관	D40×6	234	28,700	6,715,800	서까래 1층, 직관
파이프	32×1.5×8.5	64	13,500	864,000	서까래 보조
백관	D40×2.5	17	51,500	875,500	기둥
백관	D40×3.6	10	51,500	515,000	보
파이프	25m×1.5t×10M	30	12,400	372,000	브레싱 측면
연결핀	32mm	32	450	14,400	
연결핀	25mm	20	160	3,200	
연결핀	48mm	5	850	4,250	
외꽃이	48×32	64	1,200	76,800	
조리개	48m/32M	360	180	64,800	42×32
U크랩프	50	190	1,200	228,000	45×45
새들고정구	25	200	100	20,000	
패드	6M	50	3,500	175,000	
패드스프링		20	150	3,000	
패드연결핀		40	70	2,800	
피스	8×13(봉)	1	7,000	7,000	
문짝	1×2M	2	27,000	54,000	1×1.75
C형 행가로라		4	2,500	10,000	
C형강	2M	2	4,200	8,400	
패드비닐	학표	2	10,000	20,000	
보호비닐	0.1×25×200	2	33,000	66,000	
학표, 장수	0.1×800×50	1	265,000	265,000	
학표, 장수	0.1×120×100	1	81,000	81,000	
레미콘		5	400,000	2,000,000	20m
포크레인		1	350,000	350,000	
인건비 외		90	130,000	11,700,000	
파이프	48mm×10M	5	31,300	156,500	
잡비		1	700,000	700,000	폼대여료 160개 외
벤딩비		1	1,000,000	1,000,000	
크레인		1	400,000	400,000	
자재 loss		1	700,000	700,000	
이윤		1	2,000,000	2,000,000	
총 시설비				29,452,450	

축제식 비닐하우스 월동장 시설은 충남 태안군 소재 SCF 수산양식연구소에 있는 430 m²에 설치된 것으로서 29,452천원 정도 소요되었다.

또한 월동장을 운영하기 위해서는 월동장시설(29,452천원)이외에도 추가시설비와 월동 운영비가 소요되게 되는데 황복 월동장 운영비용은 추가시설비 10,200천원과 11,080천원의 월동비가 소요되는 것으로 나타났다.

Table 59. Costs of additional construction and operation in wintering ground of river puffer

구 분	금액(천원)	산출내역(원)
합 계	21,280	
수차	1,000	2HP 수차 500,000원×2대=1,000,000원
양수기(심정용)	200	200,000원×1대=200,000원
보일러	9,000	100,000Kcal×2대=9,000,000원
장비사용료	300	포크레인 300,000원×1일=300,000원
활어차임차	600	250,000원×2회=600,000원
전기료	1,000	2000000원×5월=1,000,000원
인건비	5,000	1인×1,000,000원×5월=5,000,000원
소모품비	1,000	20종×50,000원=1,000,000원
연료비	2,400	경유 2,000리터×1,200원=2,400,000원
수질정화제	280	2종×140,000원=280,000원
소독제(염소제)	500	월동장 소독 1회×500,000원=500,000원

또한 가숭어 월동장 운영비용은 추가시설비 1,000천원과 8,180천원의 월동비가 소요되는 것으로 나타나서 황복에 비해 비교적 적게 필요한 것으로 분석되고 있다.

Table 60. Costs of additional construction and operation in wintering ground of redlip mullet

구 분	금액(천원)	산출내역(원)
소 계	9,180	
수차	1,000	2HP 수차 500,000원×2대=1,000,000원
장비사용료	300	포크레인 300,000원×1일=300,000원
활어차임차	600	250,000원×2회=600,000원
전기료	1,000	2,000,000원×5월=1,000,000원
인건비	5,000	1인×1,000,000원×5월=5,000,000원
소모품비	500	10종×50,000원=500,000원
수질정화제	280	2종×140,000원=280,000원
소독제(염소제)	500	월동장 소독 1회×500,000원=500,000원

라. 황복 축제식양식 월동시험의 경제성분석

동해방지기술키스템 개발로 인한 월동의 경제성을 평가하고자하는데 목적이 있다.

Table 61. Profitability analysis of pond wintering in river puffer

(단위 : %)

구 분	비월동 양식장	월동양식장 (수용력의 33.6% 수준)	월동양식장 (수용력의 100% 수준)
수 익	100.00	100.00	100.00
비 용	34.29	51.10	29.90
시 설 비	2.88	2.88	0.97
수 선 비	0.82	0.82	0.55
종 묘 비	14.81	14.81	14.67
유 류 비	0.41	0.41	0.14
사 료 비	5.35	5.35	4.32
약 품 비	0.82	0.82	0.83
전기 요금	0.82	0.82	0.28
주 부식비	0.82	0.82	0.28
조세공과금	0.25	0.25	0.14
감가상각비	1.14	7.70	2.58
인 건 비	6.17	6.17	2.08
월동운영비	-	9.10	3.07
양 식 소 득	65.71	48.90	70.10

따라서 우선 월동에 따른 경제성분석을 위하여 앞에서 실시한 축제식양식의 수익성 분석 자료를 토대로 하여, 비월동 양식장에서 월동을 할 경우 추가되는 비닐하우스 월동장과 추가시설에 대한 감가상각비, 그리고 월동장 운영을 위해 투입되는 비용을 합산하여 비월동 양식장의 동일한 수익에 대응한 결과를 분석한다. 시험연구결과 황복의 경우 사육수 860 m³ (수심 2m)에는 1톤당 14 kg까지 월동이 가능하여 총 12,040 kg까지의 월동 수용력을 가지고 있는 것으로 분석되었고, 가숭어의 경우 동일 사육수에서 1톤당 100 kg까지 월동이 가능하여 총 86,000 kg까지 월동 수용력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 비월동 양식장의 생산량에 대응하여 현행 수용력을 측정하여 현행 수용력에서의 월동의 양식경제성과, 100% 최대 수용력에서의 월동의 양식경제성을 분석하여 상호 비교가 가능하도록 하였다.

황복의 경우, 비월동 양식장에서의 양식소득은 앞에서 분석한 바와 같이 65.71%로 높게 나타나고 있다. 이를 기초로 월동시 추가되는 비용을 합산한 비용과 월동이전의 양식수익을 비교한 결과 48.90%의 양식소득이 발생하는 것으로 나타났다. 현행 수준은 월동 양식시설의 월동 수용력의 33.6% 수준으로서 이는 66.4%의 유휴시설이 있음을 시사하고 있다. 월동 수용력이 100% 수준으로 월동장을 최대이용시 나타나는 월동의 양식소득은 70.10%로 매우 높게 나타나고 있다.

추가적으로, 황복축제식 양식에 있어서 월동장 양식시설 수용력의 이용도에 따른 경제성을 내부수익율과 순현재가치로 비교하면 Table 62와 같은 결과가 도출되는데, 월동장 수용력의 33.6% 수준의 활용도를 보이는 양식장이 가장 경제성이 낮고, 다음으로 현행대로 비월동 양식장을 경영하는 경우이며, 월동장 수용력의 100%를 활용하는 경우는 가장 경제성이 높은 것으로 수익성분석 결과와 동일하게 나타났다.

Table 62. Economic analysis of pond wintering in river puffer according to capacity

구 분	내부수익율(IRR)	순현재가치(NPV)		
		할인율 8%	할인율 10%	할인율 12%
비월동양식장	109%	428,212,882원	387,282,874원	351,413,113원
월동수용력의 33.6% 수준	40%	196,631,491원	171,897,174원	150,067,230원
월동수용력의 100% 수준	141%	1,440,366,573원	1,306,826,175원	1,189,883,442원

마. 가숭어 축제식양식 월동시험의 경제성분석

가숭어의 경우도, 비월동 양식장에서의 축제식 양식소득은 앞에서 분석한 바와 같이

42.80%로 나타나고 있다. 이를 기초로 월동시 추가되는 비용을 합산한 비용과 월동이전의 양식수익을 비교한 결과 37.64%의 양식소득이 발생하는 것으로 나타났다. 현행 수준은 월동 양식시설의 월동 수용력의 71.6% 수준으로서 이는 유휴시설이 28.4%의 유휴시설이 있음을 시사하고 있다. 월동 수용력이 100% 수준으로 월동장을 최대이용시 나타나는 월동의 양식소득은 48.00%로 높게 나타나고 있다.

Table 63. Profitability analysis of pond wintering in redlip mullet

(단위 : %)

구 분	비월동 양식장	월동양식장 (수용력의 71.6%수준)	월동양식장 (수용력의 100%수준)
수 익	100.00	100.00	100.00
비 용	57.19	62.36	52.00
시 설 비	1.62	1.62	1.16
수 선 비	0.48	0.48	0.35
종 묘 비	12.99	12.99	11.63
유 류 비	0.65	0.65	0.47
사 료 비	26.00	26.00	23.26
약 품 비	0.30	0.30	0.47
전기 요금	1.95	1.95	1.40
주 부식비	2.27	2.27	1.63
조세공과금	0.23	0.23	0.32
기타 지출	0.97	0.97	0.70
감가상각비	3.17	5.68	4.07
인 건 비	6.33	6.33	4.54
월동운영비	-	2.66	1.90
양 식 소 득	42.80	37.64	48.00

현편, 가숭어 축제식 양식에 있어서 월동장 양식시설 수용력의 이용도에 따른 경제성을 내부수익율과 순현재가치로 비교하면 Table 64와 같다.

월동장 수용력의 71.6% 수준의 활용도를 보이는 양식장이 가장 경제성이 낮고, 다음으로 현행대로 비월동 양식장을 경영하는 경우이며, 월동장 수용력의 100%를 활용하는 경우는 가장 경제성이 높은 것으로 나타났다.

Table 64. Economic analysis of pond wintering in redlip mullet according to capacity

구 분	내부수익율(IRR)	순현재가치(NPV)		
		할인율 8%	할인율 10%	할인율 12%
비월동양식장	43%	525,951,834원	460,248,021원	402,621,758원
월동수용력의 71.6% 수준	27%	287,335,386원	240,894,033원	199,884,215원
월동수용력의 100% 수준	53%	862,373,005원	764,805,766원	679,104,278원

그런데 여기서 중요한 것은 서해안 한파로 인한 축제식 양식의 동사피해방지시스템에 의해 추가로 투입되는 비용의 추가에도 불구하고 양식소득의 저하는 크게 일어나지 않고 있고, 오히려 월동장을 최대한 이용할 경우 양식소득은 증가하는 것으로 나타나서 월동의 경제성은 크다고 볼 수 있다.

보다 더 중요한 것은 서해안 축제식양식의 경우 월동 이전에 판매가 이루어지지 못하고, 양식장에 남아 있는 경우가 많아 겨울철 저온으로 인해 일부 또는 전량 동사하여 축제식 양식경영의 안정성을 저해하여 온 것이 사실이다.

따라서 본 시험양식을 통한 동해방지기술시스템 개발은 분석결과, 월동의 경제성이 비교적 높게 나타나고 동시에 양식경영의 안정성을 제고시킬 수 있는 것으로 사료된다.

그러나, 본 실험은 실험조건 및 환경의 변화, 실험횟수, 양식기술 수준 등에 크게 영향을 받으므로 일회성 실험결과만으로는 일반화하는 데에는 무리가 따른다. 따라서 향후 보다 정확하고, 유용한 연구성과를 도출하기 위해서는 좀 더 다양한 실험환경과 세밀한 실험설계를 통해 얻어진 자연과학적 연구결과와 동시에 투입비용과 수익과의 경제적 변수의 관찰도 병행되어야 할 것이다.

4. 요약

가. 본 분석에서는 첫째, 서해안 축제식 양식품종에 대한 복합양식의 경제성을 평가하고 둘째, 서해안 한파에 의한 동해방지기술시스템 개발로 축제식 양식어류의 월동의 경제성을 조사하였다.

나. 새우(흰다리새우)와 패류(가무락)의 복합양식의 생산성은 새우의 생존율을 증가시키는 긍정적인 결과를 가져다 주는 것으로 나타났다.

다. 새우(흰다리새우)와 어류(황복)과의 복합양식은 새우 생존율과 생산량을 각각 78%, 69.2% 증가시킨 것으로 나타났다.

라. 축제식 복합양식의 경제성분석에 있어서 흰다리새우와 가무락과의 복합양식의 경우 흰다리새우의 복합양식이 단독양식에 비해 경제성이 높은 것으로 나타났다.

마. 흰다리새우와 황복과의 복합양식의 경우 흰다리새우의 복합양식이 단독양식보다는 양식소득이 큰 것으로 나타났지만, 실험결과를 보면 단독 및 복합양식 둘다 평균적 시장 수익률에 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다.

바. 황복 축제식양식과 육상수조식양식의 양식소득률은 각기 65.71%, 44.26%로서 축제식 양식의 양식소득이 육상수조식보다 높은 것으로 나타났다.

사. 가숭어 축제식양식과 해상가두리양식의 양식소득률 또한 42.80%, 13.45%로 나타나서 축제식양식의 양식소득이 더 큰 것으로 나타났다.

아. 동해방지기술개발시스템의 경제성분석에 있어서 황복의 월동 경제성은 월동양식장 수용력의 33.6%수준에서 48.90%, 최대이용시 70.10%의 양식소득을 올릴 수 있는 것으로 분석되었다.

자. 가숭어의 월동경제성은 월동양식장 수용력의 71.6% 수준에서 37.64%, 수용력 100% 수준에서 48.00%의 양식소득을 나타내었다.

차. 월동양식의 경제성에 있어서 가장 중요한 것은 겨울철 한파로 인해 일부 또는 전량 동사하여 축제식 양식경영의 안정성을 저해해 온 동해피해 요인을 제거하여 판매 불안과 생존율 저하 리스크를 줄이는 등 양식경영의 안정성을 제고하고, 아울러 월동의 경제성을 높이는데 있다.

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 축제식 복합양식 기반 기술연구 및 현장 적용시험

가. 실내 pilot 실험을 통한 새우+패류(가무락, 바지락) 복합양식 효과조사

새우와 패류의 복합양식 효과를 조사하기 위하여 실내수조에서 새우와 패류(바지락, 가무락)를 단독 혹은 복합으로 24일간 사육한 후 각 생물의 생존율과 성장률, 수질환경 변화를 비교하였다. 새우의 생존율은 바지락 및 가무락과의 복합사육구와 새우 단독구는 서생존율에 큰 차이가 없었다. 가무락은 새우와 복합사육시 바지락에 비해 생존률이 크게 높게 나타나 새우와의 복합양식은 바지락보다는 가무락이 양호한 것으로 조사되었다.

나. 실내 pilot 실험을 통한 새우+어류(황복) 복합양식 효과조사

새우와 황복의 복합양식 효과를 조사하기 위하여 실내수조에서 건강새우, 바이러스감염 새우를 황복과 복합 혹은 단독사육 시험을 실시하였다. 감염새우는 건강새우에 비하여 황복에 의하여 선택적으로 포식될 확률이 매우 높은 것으로 조사되었다. 별도의 수조에서 황복의 포식행동을 관찰한 결과, 황복은 활력이 약한 새우를 측면 혹은 후방에서 포식하는 것으로 나타났다.

축제식 양식장에서의 새우 입식초기 조건과 유사한 입식밀도 및 체중의 새우와 황복을 실내수조에서 감염새우, 건강새우를 황복과 함께 사육하고 복합양식 효과를 조사하였다. 황복의 생존율은 100%였으며, 황복은 정상새우와 감염새우가 함께 사육될 경우, 건강새우에 비해 감염새우의 선택적 포식율이 훨씬 높은 것으로 조사되었다. 또한 동기간 동안 황복과 건강새우 혹은 건강새우, 감염새우구를 혼합하여 사육할 경우 황복 개체당 새우포식율은 18.8~20.2마리로서 건강새우나 감염새우에 관계없이 일정한 양의 새우를 포식하는 것으로 나타났다.

다. 실내 pilot 실험을 통한 새우+어류(황복), 어류(넙치)+어류(황복) 복합양식 효과조사

새우와 복어, 복어와 어류 복합양식 효과를 조사하기 위하여 실내수조에서 대하와 황복, 황복과 넙치를 단독 혹은 복합으로 2개월간 사육하면서 새우의 생존율과 황복의 특성을 조사하였다. 황복과 대하 성어의 복합사육시 투명도가 높을 경우 대하는 3일만에 황복에 거의 포식되었으며, 황복과 넙치의 복합사육에서도 소형의 황복이 대형의 넙치를 공격함으로써 황복은 공격성이 활발한 어류로 확인되었다.

라. 축제식 복합양식 현장 적용실험 및 생산성 분석

황복에 의한 새우 바이러스질병 억제효과를 조사하고자 2005년 6월부터 9월까지 4개의 축제식 양식장(1,600~1,800 m²)을 이용하여 새우(흰다리새우, 대하)와 황복의 복합양식 및 단독양식을 비교하는 사육시험을 실시하였다. 복합양식장과 단독양식장의 일반 수질환경 및 영양염 농도는 새우와 황복의 성장에 적합한 범위를 유지하는 것으로 조사되었다. 대하 단독양식장은 흰반점바이러스 발병으로 인하여 52일째 전량 폐사하였으며, 대하+황복 복합양식장은 58일째 대량폐사가 발생하여 조기수확한 결과 생존율이 4%로 조사되어 대하 단독양식에 비해 황복을 복합양식할 경우 바이러스발병이 약간 지연 혹은 억제되는 것으로 나타났다.

마. 축제식 복합양식 상업적 현장 적용실험

2006년 6~11월에 걸쳐 축제식 양식장을 이용하여 새우(흰다리새우)와 패류(가무락), 황복의 복합양식 및 단독양식을 비교하는 상업적 규모(13,000~16,500 m²)의 현장 복합양식시험을 실시하였다. 사육수의 수질환경은 새우와 황복의 성장에는 적합한 범위였으나 흰다리새우-가무락 복합양식장의 가무락은 염분을 20 이상 유지해야 하는 것으로 나타났다. 축제식 양식의 새우 생산량은 새우(흰다리새우)+패류(가무락) 복합양식 실험구에서 3,000 kg을 생산하였고, 생존율은 40.5%였다. 황복과 새우의 복합양식시 황복의 장 내용물 분석 결과, 전 어체의 10% 이상이 새우류를 섭식하였고, 모두 흰반점바이러스에 감염되어 있었다.

2. 동해방지 기술개발

가. 서해안 지역별 동절기 평년기상 분석 및 한파피해 현황 조사

서해안의 지역별 동절기 평년기상 자료를 분석하여 동절기의 평년 최저기온과 한파시기의 최저기온 등을 비교분석하였다. 또한 축제식 비닐하우스 월동장과 축제식 양식장의 수층별 기온 및 수온자료를 비교하여 월동장의 보온효과를 제시하였다.

서해안 지역(태안, 부안, 신안)의 어류동사 피해 유형을 조사 분석하여 향후 동사피해에 대한 예방대책에 기여할 것으로 생각된다.

나. 축제식 비닐하우스 월동실험

축제식 비닐하우스(430 m²)에서의 월동가능성을 조사하고자 동절기 4개월(2004년 12월~2005년 4월) 동안 가숭어(2 group)와 황복(2 group)을 사육하면서 성장률, 생존율 및 수질환경 변화 등을 조사하였다.

축제식 비닐하우스 월동장의 수질환경은 월동에 적합하였으며, 보온시설이 되지 않은 축제식 양식장은 어류의 동사피해를 입은 반면 축제식 비닐하우스 내부의 수온은 12℃ 전후

가 유지되어 안정적인 월동이 가능하였다. 축제식 월동장에서 월동시 대형개체에서 체중감소가 크게 나타났다. 축제식 비닐하우스 월동장에서 최대 월동밀도는 황복의 경우, 사육수면적 m^2 당 14 kg, 가숭어는 m^2 당 100 kg까지 가능하였다. 월동밀도별 생존율은 황복의 경우, 사육수 m^2 당 11~14 kg에서 97.2~98.2%였고, 가숭어의 경우, m^2 당 70~100 kg에서 97.8~99.9%였다.

다. 월동기 황복과 가숭어의 수온별 사육에 따른 성장 및 생존

서해안의 주 양식대상종인 황복과 가숭어의 겨울철 성장과 생존에 미치는 수온의 영향 조사 분석하였다. 자연수온(1.8~10℃) 조건에서 육상수조에서도 황복은 생존율을 기대할 수 없으며, 가숭어의 경우도 월동장을 옮겨 사육할 경우 11.0% 전후였다. 동절기에 수온을 높여 사육했을 때 황복은 체중증가는 있었으나 가숭어의 경우 체중이 감소하여 동절기에 생존율과 연료비 등 경제성을 고려할 때 황복과 가숭어는 10℃가 가장 효율적인 월동수온으로 조사되었다.

라. 월동기 저수온 충격에 따른 양식산 황복, 가숭어의 생리생화학적 반응

양식산 황복, 가숭어를 대상으로 축제식 월동기 한파가 발생하였을 때 생리적으로 어떤 영향을 받는지를, 생존을 측면에서 임계수온을 구명하였다. 단기간(50시간)에 사육수 수온을 10℃에서 -1.2℃까지 급격히 하강시켜 가숭어에게 저수온 충격을 제공하였을 때 생존율은 -1.0℃로 하강되었을 때 약 28%가 폐사하였으며, -1.2℃에 이르자 전량 폐사하였다. 또한 저수온 충격에 따른 황복, 가숭어의 생리적 변화(AST, ALT 등)와 호르몬(코티졸, T_4 , T_3) 변화를 구명하였다.

3. 경제성 분석

본 분석에서는 첫째, 서해안 축제식 양식품종의 복합양식의 경제성을 평가하고 둘째, 서해안 한파로 인한 동해방지기술키스템 개발로 축제식 양식어류의 월동의 경제성을 확보하였다. 축제식 복합양식의 경제성분석에 있어서 흰다리새우와 가무락과의 복합양식의 경우 흰다리새우의 복합양식이 단독양식에 비해 매우 높은 양식소득을 올렸다. 황복 축제식양식과 육상수조식양식의 양식소득률은 각기 65.71%, 44.26%로서 축제식 양식의 양식소득이 육상수조식보다 높았으며, 가숭어 축제식양식과 해상가두리양식의 양식소득률 또한 42.80%, 13.45%로 나타나서 축제식양식의 양식소득이 더욱 큰 것으로 나타났다. 동해방지기술키스템개발키스템의 경제성분석에 있어서 황복의 월동 경제성은 월동양식장 수용력의 33.6%수준에서 48.90%, 최대이용시 70.10%의 양식소득을 올릴 수 있는 것으로 분석되었다. 가숭어의 월동경제성은 월동양식장 수용력의 71.6% 수준에서 37.64%, 수용력 100% 수준에서 48.00%의 양식소득을 나타내었다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

축제식 복합양식은 어류, 패류, 새우 등의 생태친화적인 양식기술로 양식장을 입체적으로 이용할 수 있는 양식방법이다. 우리나라의 축제식 복합양식은 본 연구를 토대로 기초단계의 발전은 이루었으나 이웃 중국과 같은 산업적 대규모 복합양식기술의 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

중국은 최근 축제식 복합양식 품종을 복어류, 패류(2~3종), 갑각류(대하, 보리새우, 꽃게)의 5~6종을 양식하고 있어 국내에도 좁은 양식장 면적에서 품종별 입식시기 등 다수확(연간 새우 2~3회)의 입체적 양식방법이 필요하며, 각 품종별 조기종묘생산 기술개발도 필요하다.

축제식 비닐하우스 월동기술 개발로 가송어, 황복 등 적정 사육조건이 개발되어 앞으로 서해안의 조기류, 민어류 등 신품종의 월동에 응용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 최근 대량양식되고 있는 전어의 수온에 하강에 따른 생리적 변화 구명 및 축제식 양식장에 비닐하우스를 이용한 월동에 적용이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구결과를 토대로 다음과 같은 기타 항목의 자료로 활용할 계획이다.

가. 생태친화적인 축제식 복합양식 기술개발로 기존 새우양식장 및 유힬 폐염전이나 새우양식장을 활용하여 수산물 자급화 및 경제성 향상 도모

나. 축제식 비닐하우스 월동장 설계 및 시설기준 제시

다. 동절기 한파에 대비한 예보 가능

라. 어종별 월동관리 요령 전수 및 월동기 한파피해 예방대책 수립을 위한 근거자료 제시

마. 수산관련 학술지 논문 발표 및 게재

바. 양식어업인에 대한 축제식 복합양식 및 월동기술 컨설팅

사. 연구결과의 신속한 어업인 기술 이전으로 소득증대 자료로 활용

제 5 장 참고문헌

- Apud, F.D.; Benagua, S.H. 1981. Survival, growth and production of *Penaeus monodon* and *P. indicus* at different density combinations with milkfish. Q. Res. Rep. Aquacult. Dep. Southeast Asian Fish. Dev. Cent. 5(1): 5~9.
- Barton, B.A and C.B. Schreck. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture, 62, 299~310.
- Barton, B.A and G.K. Iwama. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Annual Rev. Fish. Dis., 3~26.
- Chang, Y.J., M.R. Park, D.-Y. Kang and B.K. Lee. 1999. Physiological responses of cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) on series of lowering seawater temperature sharply and continuously. J. Korean Fish. Soc., 32(5), 601~606. (In Korean).
- Choubey, B.G. and P.K. Pandey. 1993. Seasonal changes in oxygen consumption in relation to environmental factors and ECH of thyroid gland in the fish *Clarias batrachus* (L.) female. Environ. Ecol., 11(1), 243~245.
- Christian. B and S. Gunther. 2004. Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the ponds of a central European aquaculture facility-measurement of activity by radio telemetry. Aquaculture, 241 : 301~317.
- Dan. N. C. and D. C. Little. 2000 Overwintering performance of nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) broodfish and seed at ambient temperatures in northern vietnam. Aquaculture Research. 485~493.
- Davis, K.B., P. Torrance., N.C. Parker and M.A. Suttle. 1985. Growth, body composition, and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisol fed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. J. Fish Biol., 27, 177~184.
- Eales, J.G., and S.B. Brown. 1993. Measurement and regulation of thyroidal status in teleost fish. Rev. Fish Biol. Fish., 3, 299~347.
- Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. J. Geol., 62: 334~359.

- Gaylord, T.G., D.S. MacKenzie and D.M. III Gatlin. 2001. Growth performance, body composition and plasma thyroid hormone status of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) in response to short-term feed deprivation and refeeding. *Fish Physiol. Biochem.*, 24, 73~79.
- Hoiner, A. S. and O. A. Bergstad. 2001. Density of wintering sand eel in the sand recorded by grab catches. *Fisheries Research*. 49 : 295~301.
- Hong, W. and Q. Zhang. 2003. Review of captive bred species and fry production of marine fish in China. *Aquaculture*. 227 : 305~318.
- Hopkins, J.S.; Hamilton, R.D. II; Sandifer, P.A.; Browdy, C.L. 1993. The production of bivalve mollusks in intensive shrimp ponds and their effect on shrimp production and water quality. *World Aquaculture*. 24(2): 74~77.
- Ingram, F.L., 1971. Sieve Analysis in Procedures in Sedimentary Petrology. Ed by Carver, R. E. Wiley-Interscience, 69~94.
- Ishioka, H. 1980. Stress reactions in the marine fish. I. Stress reactions induced by temperature change. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 46, 523~532.
- Kang, D.Y., Y.J. Chang, Y.C. Sohn and K. Aida. 1998. Changes in plasma levels of thyroid and sex steroid hormones in rockfish (*Sebastes schlegeli*) during maturation and parturition periods. *J. Korean Fish. Soc.*, 31(4), 574~580. (In Korean)
- Kwon, J.Y., Y.J. Chang, Y.C. Sohn and K. Aida. 1999. Plasma and ovarian thyroxine levels in relation to sexual maturation and gestation in female *Sebastes inermis*. *J. Fish Biol.*, 54, 370~379.
- Li, D and S. Dong. 2000. A summary of studies on closed-polyculture of penaeid shrimp with fishes and molluscs. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 18(1) : 61~66.
- Li, De-shang and Dong, Shuang-lin. 2000. Summary of studies on closed-polyculture of penaeid shrimp with fishes and moluscs. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 18(1): 61~66.
- Liu, Sijian; Jie, Zhenying; Zeng, Shufang. 1997. The commercial cultivation of *Gracilaria* and its polyculture with prawn in China. *J. Zhanjiang Ocean Univ./Zhanjiang Haiyang Daxue Xuebao*. 17(2): 27~30.
- Liu, Sijian; Zen, Shufang; Jie, Zhenying. 1991. An important method for increasing the yield of prawn, polyculture sea moss in prawn pond. *J. Zhanjiang Fish. Coll./Zhangjiang Shuichan Xueyuan Xuebao*. 11(2): 31~34.

- Liu, Yongxing; Qin, Youyi; Wang, Shien. 1992. Experiment on polyculture of *Argopecten irradians* with prawns in prawn ponds. Shandong fisheries/Qilu Yuye. Yantai. 4: 15~17.
- Martinez-Cordova, L.R.; Martinez-Porchas, M. 2006. Polyculture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas* and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, Mexico. Aquaculture. 258(1-4): 321~326.
- Parker, S.J. and J.L. Specker, 1990. Salinity and temperature effects on whole-animal thyroid hormone levels in larval and juvenile striped bass, *Morone saxatilis*. Fish Physiol. Biochem. 8(6), 507~514.
- Park, M.R., Y.J. Chang and D.-Y. Kang. 1999. Physiological response of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the sharp changes of water temperature. J. Aquaculture, 12(3), 221~228. (In Korean).
- Pavlidis, M., M. Paspatis, M. Koistinen, T. Paavola, P. Divanach and M. Kentouri. 1999. Diel rhythms of serum metabolites and thyroid hormones in red porgy held in different photoperiod regimes. Aquacult. Int.. 7(1), 29~44.
- Pickering, A.D. 1989. Factors affecting the susceptibility of salmonid fish to disease. Rev. Freshwater Biol. Assoc., 57, 61~80.
- Pudadera, B.J. Jr; Lim, C. 1982. Evaluation of milkfish (*Chanos chanos* Forskal) and prawn (*Penaeus monodon* Fabricus) in polyculture system. Fish. Res. J. Philipp. 7(1): 51~59.
- Ranoemihardjo, B. S.; Kahar, A.; Lopez, J. V. 1979. Results of polyculture of milkfish and shrimp at the Karanganyar provincial demonstration ponds. Bull. Brackishwat. Aquacult. Dev. Cent., Jepara, 5(1-2): 334~350.
- Robertson, L., P. Thomas and C.R. Arnold. 1988. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops cellatus*) to several transportation procedure. Aquaculture, 68, 115~130.
- Robertson, L., P. Thomas., C.R Arnold and J.M. Trant. 1987. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and disease outbreak. Prog. Fish-Cult., 49, 1~12.
- Teraoka. T and H. Numata. 2004. Winter survival and oviposition before and after overwintering of a parasitoid wasp, *Ooencyrtus nezarae* Ishii. Entomological Science. 7 : 105~111.

- Tian, X, D. Li, S. Dong, X. Yan, Z. Qi, G. Liu and J. Lu. 2001. An experimental study on close-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus. *Aquaculture*. 202 : 57~71.
- Tian, X; Li, D; Dong, S; Yan, X; Qi, Z; Liu, G; Lu, J. 2001. An experimental study on closed-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus. *Aquaculture*. 202(1-2): 57~71.
- Wang J, D Lie, S. Dong, K. Wang and X. Tian. 1998. Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds I . Intensive polyculture of chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids. *Aquaculture*. 163 : 11~27.
- Wang J. 1997. Foundational studies on polyculture in closed seawater ponds. Doctoral dissertation. Ocean University of Qingdao, P.R. China.
- Wang, Jiqiao; Li, Deshang; Dong, Shuanglin; Wang, Kexing; Tian, Xiangli. 1999. Comparative studies on cultural efficiency and profits of different polycultural system in Penaeid shrimp ponds. *J. Fish. China/Shuichan Xuebao*. 23(1): 45~52.
- Wang, Jiqiao; Li, Deshang; Dong, Shuanglin; Wang, Kexing; Tian, Xiangli. 1999. Experimental studies on intensive polyculture of Chinese shrimp with bay scallop. *J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue*. 6(1): 97~102.
- Wang, Jiqiao; Li, Deshang; Dong, Shuanglin; Wang, Kexing; Tian, Xiangli. 2000. Intensive polyculture of sea perch with Chinese shrimp and red Taiwanese tilapia hybrids. *J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue*. 7(4): 37~41.
- Wang, JQ; Li, D; Dong, S; Wang, K; Tian, X. 1998. Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds. I. Intensive polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids. *Aquaculture*. 163(no. 1-2): 11~27.
- Wang, Lichao; Liu, Zenghua; Lin, Huqian; Chang, Zhongyue; Gao, Yonggang. 1997. On polyculture of perch and prawn. *Shandong Fish./Qilu Yuye*. 14(2): 30~31.
- Woo, N.Y.S. 1990. Metabolic and osmoregulatory change during temperature acclimation in the red sea bream, *Chrysophrys major* : Implications for its culture in the subtropics. *Aquaculture*, 87, 197~208.
- Wu, X; Zhao, Z; Li, D; Chang, K; Tong, Z; Si, L; Xu, K; Ge, B. 2005. Closed recirculating system for shrimp-mollusk polyculture. *Chin. J. Oceanol. Limnol*. 23(4): 461~468.
- Yamasaki, Shigehisa; Ali, F; Hirata, Hachiro. 1997. Low water pollution rearing by means of polyculture of larvae of kuruma prawn *Penaeus japonicus* with a sea lettuce *Ulva pertusa*. *Fish. Sci*. 63(6): 1046~1047.

- Yang, Hongsheng; Li, Deshang; Dong, Shuanglin; Wang, Kexing. 1998. Basic studies on polyculture of Chinese shrimp and Taiwan red tilapia in fertilized seawater ponds. J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue. 5(2): 35~39.
- Yue, Zhongfeng; Liu, Sizhong. 1992. A study on the technique for polyculture of prawns and Philippine clams in prawn pond. Shandong fisheries/Qilu Yuye. 6: 7~9.
- Zhang, Hongyan; Li, Deshang; Wang, Yan. 1998. The impact of constricted tagelus polycultured in shrimp ponds on the structure of plankton communities. Journal of Ocean University of Qingdao/Qingdao Haiyang Daxue Xuebao. 28(2): 211~216.
- Zheng, Guanxiong; Chen, Jixin; Guo, Zexiong 2003. Experiments on polyculture of fish with shrimp in high level ponds with mulch film. Marine fisheries/Haiyang Yuye [Mar. Fish./Haiyang Yuye]. Vol. 25, no. 4, pp. 184~186.
- 陽清發 (2002) : 河豚養殖与利用. 金盾出版社. 200pp.
- 李圭金 等(1998) : 紅鰭東方魷与中國對蝦混養技術要點. 河北魚業. (3) : 11~13.
- 張印 等(1997) : 北方地區紅鰭東方魷大棚越冬技術. 河北魚業. (6) : 14~16
- 경기도 염업협동조합. 2003. 폐염전 현황.
- 박승렬 · 문태석 · 최혜승 · 김풍호. 1995. 능성어류 양식기술개발에 관한 연구 (1)우리나라 남해안에서의 월동가능성. 수진연구보고 49. 59~70.
- 서해수산연구소. 1999. 송어의 산업적 양식 연구. 서해수산연구소 사업보고서. 165~178.
- 수산청. 1994. 복합양식개발에 관한 연구. 570pp.
- 해양수산부. 2002. 서해안 축제식 양식장을 이용한 어류 종묘생산 기술개발, 수산특정연구 최종보고서. 31~51.
- 해양수산부. 2002. 해양환경공정시험방법
- 해양수산부. 2006. 해양수산통계연보
- 황진욱 등. 1994. 복합양식의 경제적 실현가능성에 관한 연구, 수산경영론집 25권 2호, 한국 수산경영학회, 115~145.