

묵납자루 *Acheilognathus signifer* (Pisces: Acheilognathinae)의 꽃게두드럭조개와 작은말조개 내 산란 양상

김형수 · 양 현¹ · 고재근² · 박종영*

전북대학교 자연과학대학 생물학과, 부설 생물다양성 연구소, ¹(주)생물다양성연구소, ²국립생태원

Spawning Pattern in the Freshwater Mussel *Lamprotula leai* and *Unio douglasiae sinuolatus* of *Acheilognathus signifer* (Pisces: Acheilognathinae) by Hyeong Su Kim, Hyun Yang¹, Jae Geun Ko² and Jong Young Park* (Department of Biological Science and Institute for Biodiversity, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea; ¹Institute of Biodiversity Research, Jeonju 561-211, Korea; ²National Institute of Ecology, Seocheon 325-813, Korea)

ABSTRACT An endemic Korean bitterling, *Acheilognathus signifer*, known as using freshwater mussels for its spawning activity, much prefers *Lamprotula leai* in Dalcheon stream (Goesan population) and *Unio douglasiae sinuolatus* in Gadaecheon (Danyang population) stream, Korea. The spawning pattern between two mussels and one bitterling was carried out in two populations from April to June, 2011 and 2013. *L. leai* in the Goesan population was bigger shell length and have more eggs, larvae or both with *A. signifer* than those of *U. d. sinuolatus* in the Danyang population. Also, *A. signifer* in the Goesan population appeared to have a longer ovipositor and lay ripen eggs more than those of *A. signifer* in the Danyang population. Glochidium, a larval stage, of some *L. leai* in the Goesan population was incubated in all the demibranch, whereas for all of *U. d. sinuolatus* in the Danyang population was found in the outer demibranch only. For *L. leai* in the Goesan population, the eggs, larvae or both of *A. signifer* were much more in the non-breeding mussels (giving no glochidium) than the breeding mussels having the glochidium. For *U. d. sinuolatus* in the Danyang population, in contrast, the non-breeding mussels have fewer eggs, larvae or both less than the breeding one.

Key words : Bitterling, freshwater mussel, *Lamprotula leai*, *Unio douglasiae sinuolatus*, *Acheilognathus signifer*

서 론

잉어과(Cyprinidae) 납자루아과(Acheilognathinae) 어류는 전세계에 약 40여 종이 알려져 있고, 그 중 유럽산 납줄개 *Rhodeus sericeus*, *R. amarus*, *R. colchicus* 3종은 유럽-지중해 지역까지 분포하며 나머지 종들은 중국, 시베리아 남부, 북부베트남, 한국, 대만, 일본 등지에 주로 분포한다(Bogutskaya and Komelev, 2001; Damme *et al.*, 2007). 납자루아과 어류의 암컷은 산란시기에 길게 신장된 산란관을 이용하여 담수산 석패과(Bivalvia: Unionidae) 조개의 출수공에 산란한

다. 산란된 알은 조개의 아가미(gill chamber)에서 3~6주간 성장한 후 조개의 밖으로 나와 독립된 생활을 하는 생물학적 특징을 가지고 있다(Aldridge, 1999).

납자루아과 어류는 잉어과 어류인 잉어 *Cyprinus carpio* 가 40,000~200,000개의 알을 가지는 것에 비하면 매우 적은 포란수를 가진다(Aldridge, 1999). 이는 생존율이 낮은 알과 자어기를 조개 안에서 안전하게 보내고 유영능력을 획득한 후 조개 밖으로 나오는 숙주-기생(host-parasite)의 상호관계를 갖기 때문이라고 보고된 바 있다(Zale and Neves, 1982; 송과 권, 1994; Kitamura, 2008). 납자루아과 어류의 알은 산란숙주조개의 아가미 안에 잘 위치하기 위해서 형태적, 생리적, 행동학적 특징을 가진다(Kitamura, 2009). 특히, 납자루아과 어류의 산란관 길이는 조개의 아가미 내에 산란되는

*Corresponding author: Jong Young Park Tel: 82-63-270-3344
Fax: 82-63-270-3362, E-mail: park7877@jbnu.ac.kr

알의 위치를 결정하며(Kitamura, 2006a), 암컷은 알의 생존율을 높일 수 있도록 산란할 때 조개의 크기 및 산란 위치를 선택한다고 보고하였다(Oshiumi and Kitamura, 2009).

목납자루 *Acheilognathus signifer*는 한국고유종으로 환경부 야생동식물보호법(2012년 5월 31일 개정)에 근거하여 우리나라 멸종위기 야생생물 II급으로 지정되어 있으며 최근 발행된 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집(Red Data Book)에서는 준위협(NT)종으로 포함되었다(국립생물자원관, 2011). 목납자루는 한강수계를 포함하여 북한의 임진강, 대동강, 압록강 등에 서식하고 있다(Uchida, 1939; 김, 1997; 백, 2005). 목납자루에 대한 연구는 기초 생태학적 연구(백, 2005), 작은말조개 *Unio douglasiae sinuolatus* 내 산란과 적응전략(백과 송, 2005)과 목납자루의 산란숙주조개 선호도에 대한 연구가 진행된 바 있으나(김 등, 2013) 작은말조개 이외의 조개 종류에 따른 목납자루의 산란 양상에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 산란숙주로 꾀체두드럭조개를 가장 선호하는 피산집단 목납자루와 작은말조개만이 서식하는 단양집단 목납자루로 구분하여 산란숙주로 이용하는 조개 종류에 따라 알의 생존율을 높이기 위한 목납자루의 산란 양상을 조사하고 그 원인을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사장소

본 연구는 목납자루의 산란기인 2011년과 2013년 4~6월 까지 목납자루 *Acheilognathus signifer*, 납자루 *A. lanceolatus*, 줄납자루 *A. yamatsutae* 등 3종의 납자루아과 어류와 꾀체두드럭조개 *Lamprotula leai*, 작은말조개 *Unio douglasiae sinuolatus*, 작은대칭이 *Anodonta arcaeformis flavotincta*, 칼조개 *Lanceolaria grayana* 등 4종의 조개가 동소적으로 서식하는 충북 피산군 청천면 달천 일대(피산집단), 목납자루 1종과 작은말조개 1종만 서식하는 충북 단양군 어상천면 가대천 일대(단양집단)로 구분하여 조개 종류에 따른 산란 양상의 차이점을 조사하였다.

2. 목납자루 집단 간 체장, 산란관 길이 및 인공 채란 수

법적보호종인 목납자루의 포획은 원주지방환경청의 포획허가(제2011-39호)를 취득한 후 연구하였다. 목납자루의 채집은 죽대(망목, 5×5 mm)와 유인어망(7×7 mm)을 이용하였고 채집된 목납자루는 MS-222 마취제를 이용하여 마취시킨 후 복부압박법으로 채란 후 알을 계수하였다. 3개 이상의 완숙란 채란이 가능했던 암컷만을 대상으로 1/20 mm vernier caliper를 이용하여 0.1 mm까지 체장과 산란관 길이

를 측정하였고 마취에서 깨어나면 현장에 모두 재방류하였다.

3. 목납자루 집단 간 조개의 산란 선택성

꾀체두드럭조개와 작은말조개는 수중잠수를 통해 손으로 직접 채집하였으며, 채집된 모든 조개는 1/20 mm vernier caliper를 이용하여 0.1 mm까지 각장(shell length)을 측정 후, 조개의 폐각을 약간 열어 산란여부를 확인하였다. 산란이 이루어진 조개는 입수공과 출수공 부위를 끈으로 조여 조개가 산란된 알 및 자어를 토출하지 못하도록 하였고 10% formalin solution에 즉시 고정하였다. 고정된 조개는 실험실로 이동하여 앞쪽과 뒤쪽의 폐각근(adductor muscle)을 절단한 후 산란 양상을 해부현미경 하에서 관찰하였다.

4. 목납자루 집단 간 조개 내 산란 양상

목납자루가 알을 낳은 조개의 아가미(gill)는 4장이었기에 각각 왼쪽 외반새(left outer demibranch), 왼쪽 내반새(left inner demibranch), 오른쪽 내반새(right inner demibranch), 오른쪽 외반새(right outer demibranch)로 구분하여 조사하였다. 조개 내 알 및 자어 수, 산란위치 등을 조사하고 조개의 유생인 글로키디움(glochidium) 유무를 확인하여 보육낭이 있는 조개와 없는 조개로 구분하였다. 또한 피산집단은 목납자루, 납자루, 줄납자루가 동서하기 때문에 알 및 자어의 동정을 위하여 직접 페트리디쉬에서 인공 수정시킨 후 발생 과정을 기록하여 비교하였다.

5. 통계분석

모든 유의성 검증은 SPSS program(ver. 12.0)을 이용하였다. 모집단이 정규분포와 등분산 가정 여부를 확인하였고 모수 또는 비모수 통계 방법에 의해 분석하였다. 목납자루 집단 간의 체장, 산란관 길이, 인공 채란 수, 조개 내 전체 알 및 자어 수, 보육낭이 없는 조개 내 외반새와 내반새의 알 및 자어 수는 모수적 방법인 unpaired t-test로 검증하였다. 보육낭이 있는 꾀체두드럭조개와 작은말조개 내 외반새와 내반새의 알 및 자어 수는 비모수적 방법인 Mann-Whitney test로 검증하였다.

결 과

1. 목납자루 집단 간 체장, 산란관 길이 및 인공 채란 수

꾀체두드럭조개를 산란 숙주로 이용하는 목납자루 암컷의 체장(mean±SD)은 피산집단 51.5±7.8(33.7~64.0; N=62) mm, 작은말조개를 산란 숙주로 이용하는 단양집단 53.0±

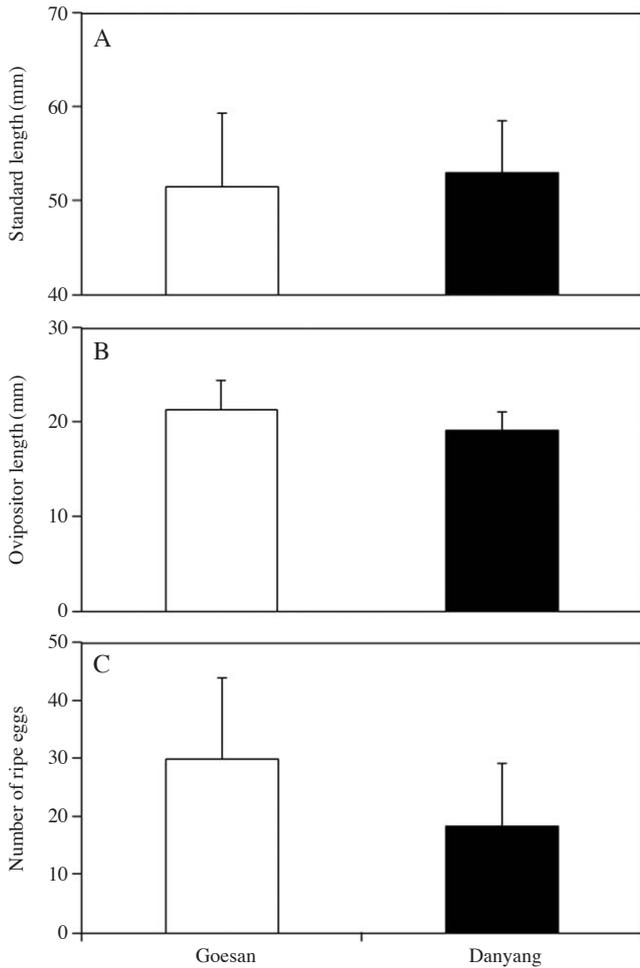


Fig. 1. Mean (±SD) standard length (A), ovipositor length (B), and number of eggs (C) of *Acheilognathus signifer* (females) with ripen eggs in the Goesan (□) and Danyang (■) population.

5.6 (37.7~68.5; N=59) mm로 두 집단 간 체장 범위는 차이가 없는 것으로 나타났다 (unpaired t-test, $t=1.218$, $P=0.226$; Fig. 1A).

인공 채란이 가능했던 목납자루 암컷의 산란관 길이는 괴산 집단 21.3 ± 3.2 (16.5~28.1) mm, 단양 집단 19.2 ± 1.9 (14.3~25.4) mm로 괴산 집단이 단양 집단에 비해 산란관 길이가 길었다 (unpaired t-test, $t=4.493$, $P<0.001$; Fig. 1B).

인공 채란한 목납자루 알 수는 괴산 집단 30.1 ± 14.0 (8~71)개, 단양 집단 18.4 ± 10.9 (1~49)개로 단양 집단에 비해 괴산 집단의 개체들에서 더 많은 알이 채란되었다 (unpaired t-test, $t=5.090$, $P<0.001$; Fig. 1C).

2. 목납자루 집단 간 조개의 산란 선택성

목납자루의 집단 간 조개에 따른 산란 선택성의 빈도를 조사하기 위하여 조개의 각장 분포와 산란된 목납자루의 알 및 자어 수를 분석하였다. 그 결과 괴산집단에서 목납자

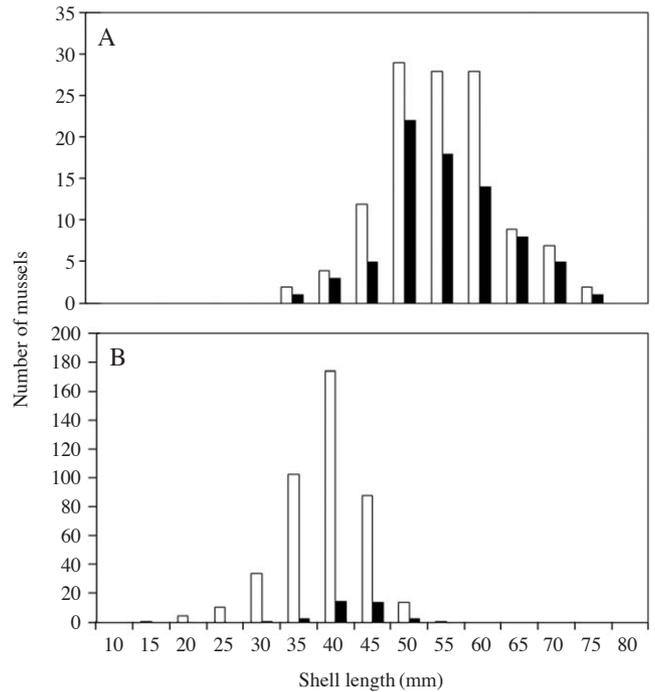


Fig. 2. Frequency distribution of shell length of *Lamprotula leai* in the Goesan population (A) and *Unio douglasiae sinuolatus* in the Danyang population (B) laid by *Acheilognathus signifer* (□=total number of mussels, ■=spawned number of mussels).

루의 알 및 자어가 있는 갯채두드럭조개의 각장 범위는 57.6 ± 7.4 (39.3~75.1) mm였고 (N=77), 채집된 갯채두드럭조개 중 66~70 mm에서 88.9% (9개체 중 8개체)로 가장 높은 산란빈도를 보였다 (Fig. 2A). 단양집단에서 목납자루의 알 및 자어가 있는 작은말조개의 각장 범위는 39.4 ± 3.9 (26.4~47.5) mm였고 (N=36), 작은말조개 중 51~55 mm가 21.4% (14개체 중 3개체)로 가장 높은 산란 빈도로 나타났다 (Fig. 2B).

괴산집단에서 갯채두드럭조개 1개체당 보유한 목납자루 알 및 자어 수는 12.0 ± 9.2 (1~41)개였고 알 및 자어를 6~10개 보유한 조개가 33.3% (N=17)로 가장 많았다 (Fig. 3A). 반면에 단양집단에서 작은말조개 1개체당 보유한 알 및 자어 수는 5.9 ± 6.5 (1~32)개로 알 및 자어를 1~3개 보유한 조개가 47.2% (N=17)로 가장 많이 나타나 (Fig. 3B) 괴산집단이 더 많은 알 및 자어를 보유하고 있었다 (unpaired t-test, $t=3.527$, $P=0.001$).

3. 목납자루 집단 간 조개 내 산란 양상

갯채두드럭조개 중 일부 개체에서는 4장의 반새 모두를 글로키디움의 보육낭으로 이용하였고 작은말조개는 2장의 외반새만을 보육낭으로 이용하였다. 보육낭이 있는 조개와 없는 조개 그리고 조개의 아가미를 외반새와 내반새로 구

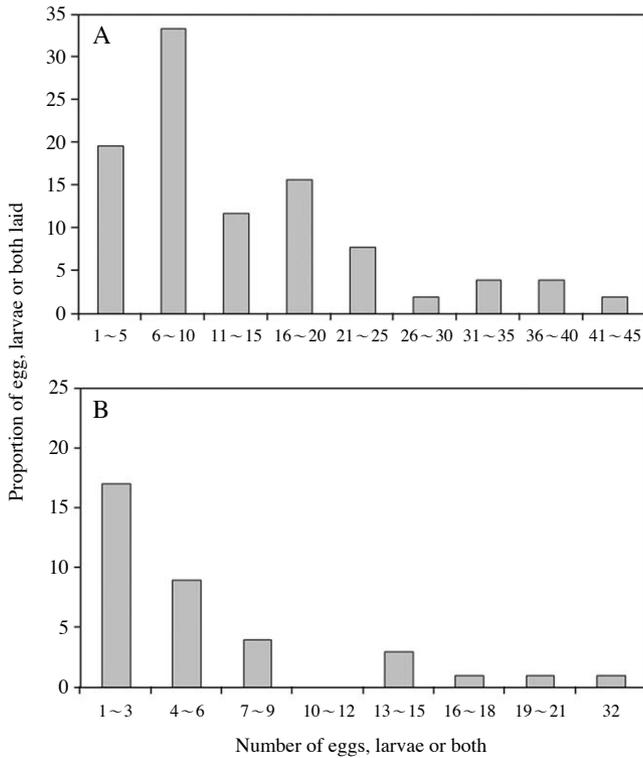


Fig. 3. Proportion of eggs, larvae or both of *Lamprotula leai* in the Goesan population (A) and *Unio douglasiae sinuolatus* in the Danyang population (B) laid by *Acheilognathus signifer*.

분하여 조개 내 산란 양상을 분석하였다.

1) 보육낭이 없는 조개 (non-breeding mussel)

괴산집단에서 보육낭이 없는 곳체두드럭조개 내 목납자루의 알 및 자어 수는 전체 13.0 ± 9.5 (1~41)개였다. 반세의 위치에 따른 알 및 자어 수는 왼쪽 외반새 5.7 ± 4.4 (1~16)개, 왼쪽 내반새 4.8 ± 5.9 (1~33)개, 오른쪽 내반새 5.7 ± 4.7 (1~18)개, 오른쪽 외반새 5.3 ± 4.1 (1~21)개로 (N=65; Fig. 4A) 외반새와 내반새는 알 및 자어 수에서 차이가 없었다 (unpaired t-test, $t=0.321$, $P=0.749$).

단양집단에서 보육낭이 없는 작은말조개 내 목납자루 알 및 자어 수는 전체 2.4 ± 1.8 (1~7)개였고, 반세의 위치에 따른 알 및 자어 수는 각각 3.2 ± 1.5 (2~5)개, 2.5 ± 1.9 (1~6)개, 4.0 ± 4.4 (1~12)개, 2.5 ± 0.9 (1~4)개로 나타났다 (N=22; Fig. 4B). 내반새가 외반새보다 알 및 자어를 더 많이 보유하고 있었다 (unpaired t-test, $t=2.257$, $P<0.001$).

2) 보육낭이 있는 조개 (breeding mussel)

괴산집단에서 보육낭이 있는 곳체두드럭조개 내 목납자루의 알 및 자어 수는 전체 6.5 ± 4.3 (1~16)개였다. 반세의 위치에 따른 알 및 자어 수는 왼쪽 외반새 3.2 ± 1.5 (2~5)개, 왼쪽 내반새 2.5 ± 1.9 (1~6)개, 오른쪽 내반새 4.0 ± 4.4 (1~12)개, 오른쪽 외반새 2.5 ± 0.9 (1~4)개로 나타났다 (N

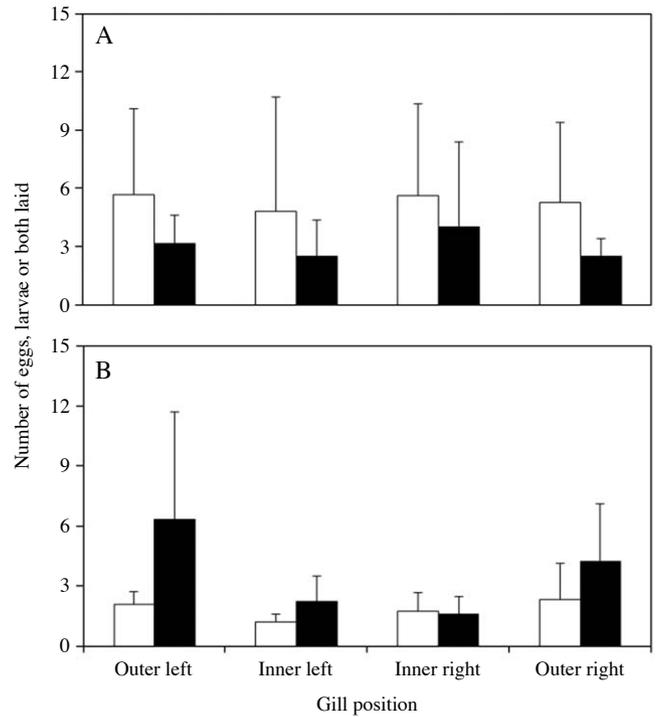


Fig. 4. Mean (\pm SD) number of eggs, larvae or both of *Lamprotula leai* in the Goesan population (A) and *Unio douglasiae sinuolatus* in the Danyang population (B) laid by *Acheilognathus signifer* (□=non-breeding mussels, ■=breeding mussels).

=12; Fig. 4A). 외반새와 내반새에서는 알 및 자어 수가 차이가 없었다 (Mann-Whitney test, $P=0.475$).

단양집단에서 보육낭이 있는 작은말조개 내 목납자루의 알 및 자어 수는 전체 4.3 ± 2.9 (1~8)개였다. 반세의 위치에 따른 알 및 자어 수는 각각 6.4 ± 5.4 (1~20)개, 2.3 ± 1.3 (1~4)개, 1.6 ± 0.9 (1~3)개, 4.3 ± 2.9 (1~8)개로 나타났다 (N=14; Fig. 4B). 내반새에 비해 외반새에서 목납자루 알 및 자어가 더 많이 위치하고 있었다 (Mann-Whitney test, $P<0.05$).

고찰

본 연구에서는 괴산집단(곳체두드럭조개를 가장 선호)과 단양집단(작은말조개만 서식)에서 목납자루의 산란 양상을 비교한 결과 숙주 조개 종류에 따라서 산란관 길이, 인공채란 수, 조개 내 산란된 알 및 자어 수가 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

괴산집단에서 출현한 납자루아과 어류는 목납자루, 납자루, 줄납자루 등 3종이었고 줄납자루의 산란관 길이가 가장 길었고 (36.9 ± 7.8 mm) 다음으로 목납자루 (21.3 ± 3.2 mm), 납자루 (18.4 ± 0.8 mm) 순으로 나타나 산란관 길이에서 차이를 보였다. 또한, 주로 산란에 이용하는 숙주조개에 있어서

도 목납자루는 갯체두드럭조개(산란율 63.6%)와 작은말조개(2.2%), 납자루는 작은말조개(4.3%), 줄납자루는 갯체두드럭조개(2.5%)를 이용하여 산란관 길이, 산란하는 알의 형태와 수, 산란 위치, 조개 종류 등을 다르게 하여 산란경쟁을 최소화시키기 위한 방향으로 적응한 것으로 판단된다(Nagata and Nakata, 1988; Fukuhara *et al.*, 1998; 김 등, 2013).

납자루아과 어류의 산란관 길이는 종마다 차이점을 보이는데 산란기 동안에 산란관 길이는 조개 내 알이 놓여지는 위치를 결정하게 된다. Kitamura (2006a)는 일본산 *Rhodeus ocellatus krumeus*의 산란관 길이는 계절적으로 변하고 신장되는데 이는 산란될 알이 조개의 아가미 속에 더 깊이 놓여질 수 있고 조개 내에서의 산소에 대한 종내 경쟁과 알의 사망률을 최소화할 수 있기 때문이라고 보고한 바 있다. 갯체두드럭조개를 산란숙주로 이용하는 피산집단 목납자루의 산란관길이는 21.3 ± 3.2 mm로 작은말조개를 산란숙주로 이용하는 단양집단의 19.2 ± 1.9 mm보다 더 길게 나타났고, 목납자루의 복부를 압박하여 획득한 인공 채란 수는 피산집단에서 30.1 ± 14.0 개로 단양집단 18.4 ± 10.9 개보다 많았다(Fig. 1). 이는 갯체두드럭조개의 각장 크기가 57.6 ± 7.4 mm로 작은말조개 39.4 ± 3.9 mm보다 크기 때문으로 알이 조개 안에 안전하게 도달할 수 있도록 산란관이 좀 더 신장되었던 결과라고 추정된다(Mills and Reynolds, 2002; Oshiumi and Kitamura, 2009).

백과 송(2005)은 목납자루 홍천강 집단을 대상으로 한 연구에서 작은말조개의 각장 30 mm 이상에서는 선택성의 차이가 없다고 하였지만 본 연구 결과 목납자루 두 집단 간의 조개 내 산란 빈도는 각장이 큰 갯체두드럭조개에서 더 많은 알 및 자어가 발견된 것으로 보아 산란숙주 선택은 작은 개체보다 큰 개체를 선호하는 것으로 생각된다. 이는 줄납자루의 경우 작은 개체보다 큰 개체에서 산란 빈도가 높게 나타난다는 송과 권(1994)의 결과와 유사하였다. 그러나 숙주조개의 크기가 너무 커지면 최대 신장되는 산란관 길이의 한계때문에 더 이상 깊숙하게 산란하지 못하게 되어 산란효율이 떨어질 가능성도 높다고 판단된다.

목납자루의 산란이 이루어진 피산집단의 갯체두드럭조개 1개체당 조사된 알 및 자어 수는 12.0 ± 9.2 개였고, 단양집단의 작은말조개 1개체당 조사된 알 및 자어 수는 5.9 ± 6.5 개로 나타났다(Fig. 3). 이는 인공 채란 수를 통한 두 집단 간의 비교에서 나타난 결과와 같이 피산집단 목납자루가 단양집단보다 산란 가능한 알을 많이 보유하고 있었고 또한 산란 숙주인 갯체두드럭조개가 작은말조개보다 더 크기 때문이라고 생각된다. 한편 백과 송(2005)은 작은말조개 내에서 확인된 목납자루의 알 및 자어 수가 평균 2.5(1~14)개로 본 연구 결과보다 적은 것은 산란 환경의 변화, 산란 숙주조개의 밀도, 서식환경 등의 차이로 인한 것이라고 추정된다.

대부분의 담수산 석패과 조개의 유생은 아가미 속에서 배 발생이 일어나기 때문에 아가미는 보육낭(marsupium)으로도 사용된다(박, 1992). 본 연구에서 갯체두드럭조개 중 일부 개체는 4장의 반새 모두를 보육낭으로 이용하였고 작은말조개는 외반새만을 보육낭으로 이용하였다. 납자루아과 어류는 석패과 조개의 아가미 안에 산란하기 때문에 조개와 납자루아과 어류의 산란시기가 유사한 경우에는 조개의 유생인 글로키디움과 공간과 산소를 두고 경쟁하게 된다(Smith *et al.*, 2001, 2004; Mills and Reynolds, 2003; Kitamura, 2006b).

피산집단 목납자루에서는 보육낭이 없는 갯체두드럭조개 내 알 및 자어 수는 13.0 ± 9.5 개로 보육낭이 있는 갯체두드럭조개의 6.5 ± 4.3 개보다 더 많았다(Fig. 4A). 그러나 단양집단에서는 보육낭이 없는 작은말조개 내 알 및 자어 수가 2.4 ± 1.8 개로 보육낭이 있는 작은말조개에서의 4.3 ± 2.9 개보다 더 적게 나타나(Fig. 4B) 두 집단 간 조개 내 산란 양상은 상이한 결과를 보였다.

4장의 보육낭을 사용하는 조개에 대한 납자루아과 어류의 산란 양상에 대한 보고가 없었기 때문에 직접적인 비교는 어렵지만 피산집단에서는 목납자루가 조개 유생인 글로키디움과의 조개 내 공간과 산소를 두고 경쟁을 피하기 위해서 선택적으로 알을 적게 산란하거나 또는 산란을 피한 것이라고 생각되며(송과 권, 1994; Kitamura, 2006b, c), 단양집단에서는 글로키디움이 있는 외반새가 글로키디움이 없는 외반새보다 3배 가량 두꺼워 더 많은 알이 놓여질 수 있고 밀도가 높아져 토출의 위험이 적으며 충분한 산소공급이 되기 때문으로 판단된다(백과 송, 2005). 그러나 목납자루의 산란된 알이 글로키디움으로 채워진 보육낭 안으로 들어갈 수 있는지에 대한 가능성과 과정에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다(Tankersley and Dimock, 1993).

납자루아과 어류가 보육낭이 있는 조개에 산란할 경우 알의 사망률을 낮추기 위하여 조개의 보육낭이 없는 내반새를 선호한다고 보고되어 있으나(Mill and Reynolds, 2003; Smith *et al.*, 2004; Kitamura, 2006b) 4장의 아가미를 모두 보육낭으로 이용하는 갯체두드럭조개에서는 내반새와 외반새에서 알 및 자어의 수가 유사하였고 외반새 2장만을 보육낭으로 이용하는 작은말조개에서는 외반새가 내반새보다 알 및 자어 수가 높게 나타났기 때문에 이에 대한 원인을 밝히기 위한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

요 약

멸종위기야생생물 II급이며 한국고유종인 목납자루 *Acheilognathus signifer*를 대상으로 2011년과 2013년 4~6월 동안 산란숙주로 갯체두드럭조개를 선호하는 충북 피산군 청

천면 달천 일대(괴산집단)와 작은말조개를 이용하는 충북 단양군 어상천면 가대천 일대(단양집단)에서 조개 내 산란 양상을 조사하였다. 괴산집단의 꽃체두드럭조개가 단양집단의 작은말조개보다 각장이 크고 묵납자루의 알 및 자어도 더 많이 보유하고 있었다. 또한, 괴산집단 묵납자루의 산란관 길이가 단양집단보다 길었고 인공 채란 수도 단양집단보다 많았다. 꽃체두드럭조개는 4장의 반새 모두를 보육낭으로 사용하였고 작은말조개는 2장의 외반새만을 보육낭으로 사용하였다. 괴산집단 묵납자루는 보육낭이 없는 꽃체두드럭조개가 보육낭이 있는 꽃체두드럭조개보다 알 및 자어 수가 많았으나 단양집단에서는 보육낭이 없는 작은말조개가 보육낭이 있는 작은말조개보다 알 및 자어 수가 적게 보유하는 상이한 결과를 보였다.

인 용 문 헌

- 국립생물자원관. 2011. 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집 (어류). 국립생물자원관, 219pp.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권 동물편 (담수어류). 교육부, 629pp.
- 김형수 · 양 현 · 박종영. 2013. 묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Pisces: Acheilognathinae)의 산란숙주조개 선호도. 한국어류학회지, 25: 208-215.
- 박갑만. 1992. 한국산 담수 석패과의 비교 연구. 강원대학교 박사학위논문, 122pp.
- 백현민. 2005. 묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae)의 생태학적 연구. 강원대학교 박사학위논문, 186pp.
- 백현민 · 송호복. 2005. 묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 패 내 산란과 적응전략. 한국어류학회지, 17: 105-111.
- 송호복 · 권오길. 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae)의 패류 체내 산란. 한국어류학회지, 6: 39-50.
- Aldridge, D.C. 1999. Development of European bitterling in the gills of freshwater mussels. J. Fish Biol., 54: 138-151.
- Bogutskaya, N.G. and A.M. Komel'v. 2001. Some new data to morphology of *Rhodeus sericeus* (Cyprinidae: Acheilognathinae) and a description of a new species, *Rhodeus colchicus*, from West Transcaucasia. Proc. Zool. Inst., 287: 81-97.
- Damme, V.D., N. Bogutskaya, R.C. Hoffmann and C. Smith. 2007. The introduction of the European bitterling (*Rhodeus amarus*) to west and central Europe. Fish and Fisheries, 8: 79-106.
- Fukuhara, S., W. Maekawa and Y. Nagata. 1998. Comprasion of utilization of freshwater mussels for deposition of the bitterlings in three creeks of northwest Kyushu. Memoirs of Osaka Kyoiku Univ. Ser. 3, 47: 27-37. (in Japanese)
- Kitamura, J. 2006a. Seasonal change in the spatial utilization of host mussels in relation to ovipositor length by female rosy bitterling, *Rhodeus ocellatus kurumeus*. J. Fish Biol., 68: 594-607.
- Kitamura, J. 2006b. Adaptive spatial utilization of host mussels by the Japanese rosy bitterling *Rhodeus ocellatus kurumeus*. J. Fish Biol., 69: 263-271.
- Kitamura, J. 2006c. Reproductive ecology of the striped bitterling *Acheilognathus cyanostigma* (Cyprinidae: Acheilognathinae). Ichthyol. Res., 53: 216-222.
- Kitamura, J. 2008. Bitterling fishes (Cyprinidae: Acheilognathinae): current threats and conservation. Jpn. J. Ichthyol., 55: 139-144. (in Japanese)
- Kitamura, J. 2009. The reproductive ecology of two subspecies of the bitterling *Rhodeus atremius* (Cyprinidae, Acheilognathinae). Ichthyol. Res., 56: 156-161.
- Mills, S.C. and J.D. Reynolds. 2002. Host species preferences by bitterling, *Rhodeus sericeus*, spawning in freshwater mussels and consequences for offspring survival. Anim. Behav., 63: 1029-1036.
- Mills, S.C. and J.D. Reynolds. 2003. The bitterling-mussel interaction as a test case for co-evolution. J. Fish Biol., 63: 84-104.
- Nagata, Y. and Y. Nakata. 1988. Distribution of six species of bitterling in a creek in Fukuoka Prefecture, Japan. Jpn. J. Ichthyol., 35: 320-331.
- Oshiumi, C. and J. Kitamura. 2009. The reproductive ecology of the southern red tabira bitterling *Acheilognathus tabira jordani* in Japan. J. Fish Biol., 75: 655-667.
- Smith, C., K. Rippon, A. Douglas and P. Jurajda. 2001. A proximate cue for oviposition site choice in the bitterling (*Rhodeus sericeus*). Freshw. Biol., 46: 903-911.
- Smith, C., M. Reichard, P. Jurajda and M. Przybylski. 2004. The reproductive ecology of the European bitterling (*Rhodeus sericeus*). J. Zool., Lond., 262: 107-124.
- Tankersley, R.A. and R.V. Dimock. 1993. Endoscopic visualization of the functional morphology of the ctenidia of the Unionid mussel *Pyganodon cataracta*. Can. J. Zool., 71: 811-819.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Työsen (Korea). Part 1. Nematognathi and Eventognathi. Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Gener. Työsen. 6, 458pp. (in Japanese)
- Zale, A.V. and R. Neves. 1982. Fish host of four species of lampsiline mussels (Mollusca: Unionidae) in Big Mocasim Creek, Virginia. Can. J. Zool., 60: 2535-2542.