

묵납자루, *Acheilognathus signifer* (Pisces: Acheilognathinae)의 산란숙주조개 선호도

김형수 · 양 현* · 박종영¹

(주)생물다양성연구소, ¹전북대학교 자연과학대학 생물학과

Host Species Preference of *Acheilognathus signifer* (Pisces: Acheilognathinae) for Spawning in Freshwater Mussels by Hyeong-Su Kim, Hyun Yang* and Jong-Young Park¹ (Institute of Biodiversity Research, Jeonju 561-211, Korea; ¹Department of Biological Science, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

ABSTRACT Host species preference of *Acheilognathus signifer* for spawning in freshwater mussels was investigated at the part of the Dalcheon Stream (site 1) and the Gaedaecheon Stream (site 2) in Chungcheongbuk-do, Korea from April to June (spawning period) 2011. The spawned mussel rate of *A. signifer* at the study site 1 (wild condition) was 63.6% in *Lamprotula leai* and 2.1% in *Unio douglasiae sinuolatus*. It was not found in *Anodonta arcuiformis flavotincta* and *Lanceolaria grayana*. The number of eggs, larvae, or both of *A. signifer* at the study site 1 (wild condition) was 1 ~ 41 (12.0 ± 9.21) in *L. leai* and 6 in *U. d. sinuolatus*. As a result of experiment 1, *A. signifer* was only spawned in *L. leai* with 60% of spawned mussel rate and the number of eggs, larvae, or both was 1 ~ 19 (6.8 ± 5.44). According to experiment 2, *A. signifer* was spawned in all mussels. Spawned mussel rate of *A. signifer* was 75.0% in *L. leai*, 42.9% in *U. d. sinuolatus* and 21.4% in *A. a. flavotincta* and the number of eggs, larvae, or both was 1 ~ 35 (13.0 ± 8.80) in *L. leai*, 1 ~ 26 (5.2 ± 6.92) in *U. d. sinuolatus* and 2 ~ 19 (8.6 ± 5.64) in *A. a. flavotincta*. Experiment 3 showed *A. signifer* was solely spawned in *L. leai* and the number of egg was from 2 to 10 (6.7 ± 4.16). This study confirmed *A. signifer* is not so much generalist as specialist. We found the most preference species for spawning in the mussels by *A. signifer* was *L. leai*.

Key words : bitterling, host species preference, freshwater mussels, *Acheilognathus signifer*

서 론

잉어과 (Cyprinidae) 납자루아과 (Acheilognathinae) 어류는 전세계에 약 40여종이 알려져 있고 그 중 납줄개 *Rhodeus sericeus*, *R. amarus*, *R. colchicus* 3종은 유럽-지중해 지역까지 분포하며 나머지 종들은 중국대륙, 시베리아 남부, 북부 베트남, 한국, 대만, 일본 등지에 주로 분포한다 (Bogutskaya and Komelev, 2001; Damme *et al.*, 2007). 납자루아과 어류의 암컷은 산란시기에 길게 신장된 산란관을 이용하여 담

수산 석패과 (Bivalvia: Unionidae) 조개의 아가미에 산란하고 그 자치어는 3~6주 후 조개 밖으로 나와 독립된 생활을 한다 (Uchida, 1939; Aldridge, 1999).

어버이양육을 하는 난생어류 (oviparous fishes)에서 어버이는 자치어의 발생율과 생존율을 증대시키기 위해서 산란장소를 선택하고 준비하는 다양한 생식 전략을 이용하고, 강한 방어나 알과 자어에 산소를 공급하는 행동을 취하기도 한다 (Smith and Wootton, 1995). 그러나 어버이양육을 하지 않는 종에서는 알과 자어 단계에서 무생물적 요인 (낮은 산소 이용, 극심한 온도)과 생물적 요인 (포식자, 기생자, 경쟁자)에 대해서 취약하며 (Wootton, 1998; Kitamura, 2005), 어버이양육을 하는 종에서는 산란하는 방식의 결정이 자치어의

*Corresponding author: Hyun Yang Tel: 82-63-246-8600
Fax: 82-63-246-8610, E-mail: bitterling@hanmail.net

생존에 직접적인 영향을 줄 수 있다고 보고되었다(Kamler, 1992; Smith *et al.*, 2000, 2001; Mills and Reynolds, 2002; Kitamura, 2005).

본 아과 어류는 어버이양육(parental care)을 하지 않는 종이지만 매우 적은 포란수를 가지는데, 이는 산란숙주(host)를 이용하면서 생기는 조개 내 산란의 어려움이나 조개에 의한 알과 자어의 토출 등을 감안하더라도 사망률이 매우 높은 알과 자어를 조개 안에서 안전하게 보내고 유영능력을 획득한 후 조개 밖으로 나오는 숙주-기생(host-parasite)의 상호관계를 갖기 때문이라고 보고된 바 있다(Duyvené de Wit, 1955; Zale and Neves, 1982; 송과 권, 1994; 백과 송, 2005; Kitamura, 2008).

본 연구 대상종인 목납자루(*Acheilognathus signifer*)는 납자루아과에 속하는 한국고유종으로 환경부 야생동식물보호법(2005년 2월 10일 발효, 2012년 5월 31일 개정)에 근거하여 우리나라 멸종위기야생생물 II급으로 지정·보호받고 있고, 최근에 발행된 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집(Red Data Book)에서 준위협(NT)종으로 포함되었다(국립생물자원관, 2011). 본 종은 한강수계를 포함하여 이북지역인 임진강, 대동강, 압록강, 성천 등에 분포하며(Uchida, 1939; 김, 1997), 숙주조개 내 산란에 관해서는 작은말조개(*Unio douglasiae sinuolatus*) 내 산란과 적응전략(백과 송, 2005)에 대한 연구만이 시행되었을 뿐 다른 조개 내 산란숙주조개 선호도나 상호관계에 관한 연구는 매우 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 어버이양육을 하지 않고 숙주-기생 관계를 형성하며 진화한 목납자루와 산란숙주로 이용 가능한 조개종에 따른 산란비율, 산란수의 관계를 분석하여 목납자루의 산란숙주조개 내 이용에 대한 생태적 적응양상에 대해서 논의하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사시기 및 조사지점

산란숙주조개 선호도는 목납자루의 산란시기인 2011년 4월부터 6월까지 시행하였다. 연구장소는 목납자루가 비교적 많이 서식하고 동소적으로 다양한 조개가 분포하는 충북 괴산군 청천면 달천 일대를 조사지점 1로 선정하였고, 목납자루와 한 종의 조개만 서식하여 인위적인 산란숙주조개 선호도 실험이 가능한 충북 단양군 어상천면 가대천 일대를 조사지점 2로 선정하였다(가대천에서는 2010~2012년까지 3년간 13번의 조사 중 다른 납자루아과 어류는 납지리 3개체만 출현한 바 있다). 조사지점의 수문학적 환경을 조사하기 위하여 수심과 하상구조는 줄자를 이용하여 조사하였고 하천형태(river type)는 Kani (1944), 하상구조는 Cummins

(1962)의 하상입자 기준에 따랐다.

2. 조개에 산란하는 어류 조사

충북 괴산군 청천면 달천 일대에서 목납자루 이외의 조개에 산란하는 어류를 확인하기 위하여 연구기간 동안 조사지점 1의 상하 200 m 지점까지 족대(망폭, 5×5 mm)와 유인어망(3×3 mm)을 이용하여 채집하였고, 어류의 동정 및 분류는 김과 박(2002), 김 등(2005)을 따랐다.

3. 조사지점 1의 자연상태에서 산란숙주조개 선호도

2011년 4월 19일, 28일, 5월 9일, 23일 4차례 목납자루가 산란숙주조개로 이용 가능한 조개를 확인하기 위하여 어류 조사와 동일한 지점까지 수중잠수를 통해 조개는 손으로 직접 채집하였고 조개의 동정 및 분류는 민(2004)에 따랐다. 조사지점 1에서 채집된 모든 조개는 1/20 mm vernier caliper를 이용하여 0.1 mm까지 각각(shell length)을 측정하고 조개의 폐각을 살짝 열어 산란여부를 확인하였다. 산란이 이루어진 조개는 케이블 타이로 입수공과 출수공 부위를 조여 조개가 산란된 알과 자어를 토출하지 못하도록 하였고, 10% formalin에 현장에서 즉시 고정하였다. 고정된 조개는 실험실로 이동한 후 앞쪽과 뒤쪽의 폐각근(adductor muscle)을 절단한 후 산란된 알 및 자어의 수를 해부현미경 하에서 개수하고 관찰하였다.

4. 실험 1: 조사지점 1에서 방형틀을 이용한 산란숙주조개 선호도

목납자루와 다양한 산란숙주조개가 서식하는 조사지점 1에서 동일한 밀도 조건에서의 산란숙주조개 선호도를 확인하기 위해서 납자루아과 어류의 알이 산란되지 않은 작은말조개, 꽃체두드럭조개(*Lamprotula leai*), 작은대칭이(*Anodonta arcaiformis flavotincta*)를 대상으로 방형틀에 넣어 실험을 시행하였다. 사용된 방형틀은 50(가로)×45(세로)×10(높이) cm의 플라스틱 바구니를 이용하였고 각각의 종들을 10개체씩 3개의 다른 방형틀에 놓았으며 바닥에는 모래를 깔아주어 조개가 파고들어갈 수 있도록 만들어 주었다. 방형틀은 목납자루가 주로 서식하는 지점의 수변부로부터 1~2 m 떨어진 곳에 설치하였고 방형틀간의 간격은 1 m로 하였다. 실험일 및 설치기간은 Table 1과 같으며 4차례 실시하였다. 실험에 사용된 작은말조개, 꽃체두드럭조개, 작은대칭이의 각장은 각각 39.5~53.0(45.0±3.15) mm, 52.7~71.3(61.1±5.76) mm, 40.5~71.0(55.8±6.72) mm 범위였다.

5. 실험 2: 조사지점 2에서 방형틀을 이용한 산란숙주조개 선호도

목납자루 1종만이 서식하고 산란숙주조개로는 작은말조

Table 1. Experiment data and number of placed mussel (placed period-days) in the experiment 1 and 2 from May to June 2011

Experiment data	Experiment 1				Experiment 2		
	Jun. 17	May 23	May 26	Jun. 6	Jun. 19	Jun. 14	Jun. 8
Number of placed mussel (placed period-days)	10 (1)	10 (4)	10 (7)	10 (9)	10 (1)	8 (5)	10 (7)

Table 2. The environmental conditions at the Dalcheon Stream (site 1) and the Gadaecheon Stream (site 2), Chungcheongbuk-do, Korea

Site	Stream width (m)	Water width (m)	Water depth (cm)	River type*	Bottom structure (%) [†]					
					B	C	P	G	S	SC
1	80~120	50~70	30~150	Bb	20	25	25	15	10	5
2	40~60	30~50	30~200	Aa-Bb	15	10	15	20	30	10

*Kani (1944), [†]Cummins (1962): B (bolder, 1024~256 mm), C (cobble, 256~64 mm), P (pebble, 64~16 mm), G (gravel, 16~2 mm), S (sand, 2~0.06 mm), SC (sand clay, <0.06 mm)

개 1종만이 서식하는 조사지점 2에서는 실험 1과 동일하게 산란숙주조개 선호도 실험을 시행하였다. 사용된 방형틀의 크기와 방법, 조개의 개수는 실험 1과 동일하였으나 2번째 실험에서는 10개체의 조개를 확보하지 못하여 8개체로만 실험하였다. 설치일과 설치기간은 Table 1과 같으며 3차례 실시하였다. 실험에 사용된 작은말조개, 꾀체두드럭조개, 작은대칭이의 각장은 각각 35.8~52.7 (42.3±4.52) mm, 54.1~74.0 (62.4±5.46) mm, 45.9~73.4 (60.1±7.29) mm 범위였다.

6. 실험 3: 실내 수조 내 산란숙주조개 선호도

작은말조개, 꾀체두드럭조개, 작은대칭이를 대상으로 실내 수조내에서 산란숙주조개 선호도 실험을 시행하였다. 실험어는 산란기인 4월에 충북 괴산군 청천면 달천 일대의 실험장소에서 유인어망을 이용하여 채집하였고 산란관이 충분히 신장된 암컷 3개체, 추성이 발달하고 혼인색이 현저한 수컷 3개체를 선별하여 한 개의 수조에 3종의 조개 1개체씩을 함께 합사하여 주었다. 실험은 45(가로)×30(세로)×35(높이)cm의 유리 수조에서 매번 산란하지 않은 새로운 묵납자루를 사용하여 3차례 반복하였다. 실험에 사용된 작은말조개, 꾀체두드럭조개, 작은대칭이의 각장은 각각 43.4~45.8 (44.8±1.29) mm, 57.0~60.0 (58.7±1.57) mm, 57.2~61.4 (58.8±2.26) mm 범위였다.

결 과

1. 조사지점의 수환경조건

조사지점 1의 하천형은 Bb형으로 달천 종류에 해당하며 조사지점 상방에는 높이 1m의 보가 설치되어 있고 하방으로는 여울부가 형성되다 잔잔히 소로 변화되었다. 하천변은

자연형으로 제방이 설치되지 않았고 하폭은 80~120 m, 유폭은 50~70 m, 수심은 30~150 cm였다. 묵납자루가 서식하기에 좋은 바위 (B), 큰돌 (C), 자갈 (P)이 하상에 충분히 포개져 있었고 수변부에는 식생이 잘 발달되어 있었다. 조사지점 2의 하천형은 Aa-Bb형으로 가대천 종류에 해당하였으며 인근 농경지에 용수공급을 위한 높이 0.5~0.7 m의 보가 조사지점의 상방과 하방에 설치되어 있어서 잔잔한 소가 연속되었다. 하천변은 제방으로 이루어져 있었고 하폭은 40~60 m, 유폭은 30~50 m, 수심은 30~200 cm였다. 하상은 큰돌 (C), 자갈 (P), 모래 (S)로 구성되어 있었고 수변부에는 부들류의 군락이 잘 형성되고 약간의 모래펄 (SC)이 쌓여있었다 (Table 2).

2. 조사지점 1의 자연상태에서 산란숙주조개 선호도

조사지점 1에서 조개를 산란숙주로 이용하는 어류는 묵납자루 (n=112), 줄납자루 (*A. yamatsutae*) (n=87), 납자루 (*A. lanceolatus*) (n=18), 중고기속 (Genus *Sarcocheilichthys*) 어류인 참중고기 (*S. variegatus wakiyae*) (n=13)의 4종이 출현하였다. 산란숙주로 이용 가능한 조개는 작은말조개, 칼조개 (*Lanceolaria grayana*), 꾀체두드럭조개, 작은대칭이가 확인되었다. 연구기간 동안의 기온은 12~25°C, 수온은 11~18°C 범위로 나타났다.

조사된 종들의 산란숙주조개 내 산란율을 조사한 결과 묵납자루는 꾀체두드럭조개에 63.6%로 가장 높았고 다음으로 작은말조개 2.1%였으며 작은대칭이와 칼조개에는 전혀 산란하지 않았다. 줄납자루는 꾀체두드럭조개에만 산란하였으며 산란율은 2.5%였고, 납자루는 작은말조개에만 산란하였으며 산란율은 4.3%였다. 참중고기는 가장 다양한 조개에 산란하였고 산란율은 작은대칭이에 53.3%로 가장 높았고 다음으로 작은말조개 8.7%, 꾀체두드럭조개 8.3% 순으로 나타났다 (Table 3).

Table 3. Percent frequency of collected spawned eggs, larvae, or both from each of mussels at the study site 1 (wild condition) from April to May 2011

Species of mussel	Number of collected mussels	Species of fish							
		<i>A. signifer</i>		<i>A. yamatsutae</i>		<i>A. lanceolatus</i>		<i>S. v. wakiyae</i>	
		F*	R [†]	F*	R [†]	F*	R [†]	F*	R [†]
<i>Unio douglasiae sinuolatus</i>	46	1	2.2	0	0	2	4.3	4	8.7
<i>Lanceolaria grayana</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lamprotula leai</i>	121	77	63.6	3	2.5	0	0	10	8.3
<i>Anodonta arcaeformis flavotincta</i>	15	0	0	0	0	0	0	8	53.3

*F: Frequency of numbers, †R: Oviposition rate (%)

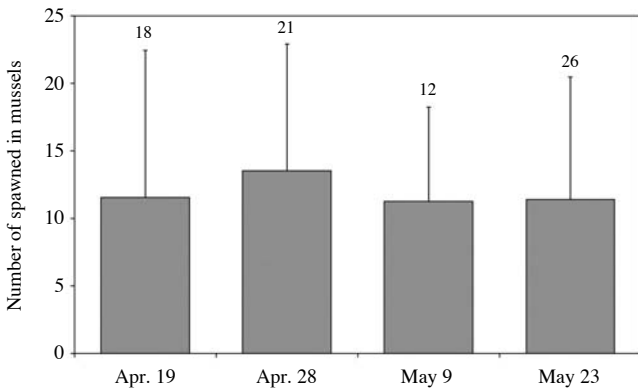


Fig. 1. The mean (+SD) number of spawned eggs, larvae, or both of *Acheilognathus signifer* from *Lamprotula leai* at the study site 1 (wild condition) from April to May 2011. Numbers above bars refer to numbers of collected mussels.

곶체두드럭조개 내 묵납자루가 산란한 알 및 자어의 수는 4월 19일에는 1~40 (11.5±10.90)개, 4월 28일 1~33 (13.5±9.41)개, 5월 9일 2~23 (11.2±7.00)개, 5월 23일 1~41 (11.4±9.06)개였고, 작은말조개 내 산란한 알 및 자어의 수는 4월 28일에서만 6개였다(Fig. 1). 묵납자루의 산란이 이루어진 곶체두드럭조개의 각장은 각각 44.1~70.9 (57.3±7.49) mm, 45.3~73.8 (58.7±8.01) mm, 51.2~75.0 (60.4±6.76) mm, 39.2~67.9 (55.7±7.03) mm 범위였고, 작은말조개의 각장은 40.1 mm였다.

3. 실험 1: 조사지점 1에서 방형틀을 이용한 산란숙주조개 선호도

4차례의 실험 결과 묵납자루의 알 및 자어는 작은말조개와 작은대칭이에서는 전혀 확인되지 않았으며 곶체두드럭조개에서만 확인되었다. 곶체두드럭조개에서의 산란율은 6월 17일 실험에서는 60%, 5월 23일 20%, 5월 26일 70%, 6월 6일 90%로 나타났다. 곶체두드럭조개 내 묵납자루가 산란한 알 및 자어의 수는 각각 1~14 (4.8±4.62)개, 1~2 (1.5±0.70)개, 3~19 (10.7±6.07)개, 2~16 (6.2±4.36)개로 나타났다(Fig. 2).

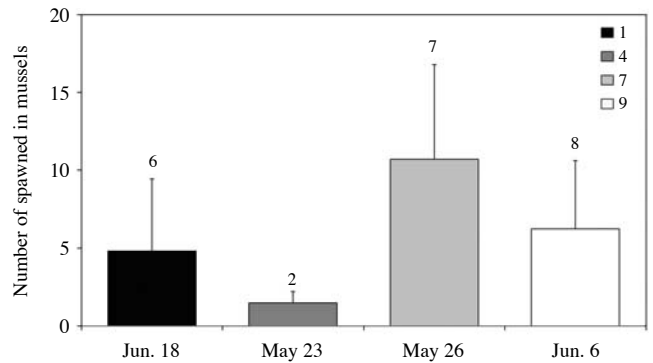


Fig. 2. The mean (+SD) number of spawned eggs, larvae, or both of *Acheilognathus signifer* from *Lamprotula leai* at the study site 1 (experiment 1) from May to June 2011. Numbers above bars refer to numbers of spawned mussels and box numbers indicate placed period-days of mussels.

4. 실험 2: 조사지점 2에서 방형틀을 이용한 산란숙주조개 선호도

3차례의 실험 결과 묵납자루의 알 및 자어는 작은말조개, 곶체두드럭조개, 작은대칭이 모두에서 확인되어 조사지점 2와는 다른 결과가 나타났다. 작은말조개에서의 산란율은 6월 18일 설치 실험에서는 40%, 6월 14일 0%, 6월 8일 80%였으며, 곶체두드럭조개에서는 각각 60, 75, 100%였고, 작은대칭이에서는 10, 12.5, 40%로 나타났다(Fig. 3).

묵납자루가 산란한 알 및 자어의 수는 작은말조개에서는 각각 1~4 (2.5±1.29)개, 0개, 1~26 (6.6±8.26)개로 나타났고, 곶체두드럭조개에서는 각각 1~17 (9.3±6.88)개, 2~14 (9.6±5.42)개, 2~35 (17.8±10.03)개로 나타났으며, 작은대칭이에서는 각각 6개, 19개, 2~9 (6.7±3.20)개로 나타났다(Fig. 4).

5. 실험 3: 3종의 조개만을 합사한 실내 수조 내 산란숙주조개 선호도

수조에 암컷과 수컷 묵납자루를 합사하자 곧 수컷은 설치된 조개에 관심을 보였다. 백 (2005)의 연구에서 보고한 바와 같이 수컷은 조개를 중심으로 세력권을 형성하였고,

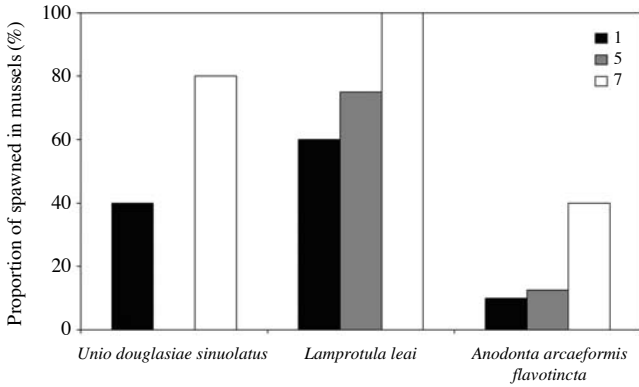


Fig. 3. Proportion of spawned eggs, larvae, or both of *Acheilognathus signifer* from each of mussels at the study site 2 (experiment 2) in June 2011. Box numbers indicate placed period-days of mussels.

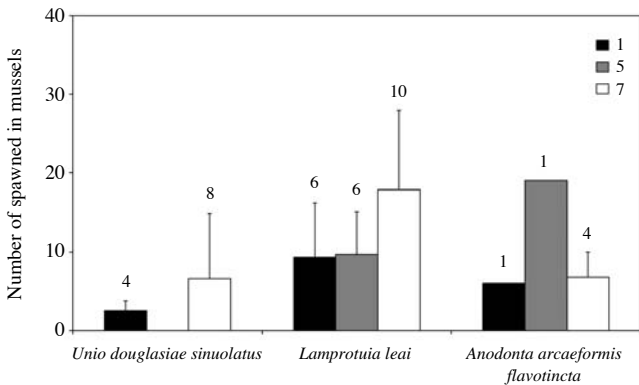


Fig. 4. The mean (+SD) number of spawned eggs, larvae, or both of *Acheilognathus signifer* from each of mussels at the study site 2 (experiment 2) in June 2011. Numbers above bars refer to numbers of spawned mussels and box numbers indicate placed period of mussels.

암컷을 조개로 유인하여 산란을 하였다. 3차례의 실험을 시행한 결과 모두 콧체두드럭조개에만 산란하였고 산란한 알의 수는 각각 10, 8, 2개로 평균 6.6개였다.

고찰

본 연구는 목납자루와 숙주-기생관계를 형성하는 다양한 산란숙주조개를 대상으로 자연상태 조사, 실험 1, 2, 3을 통해서 목납자루의 산란숙주조개 선호도를 연구하였다. 목납자루는 산란숙주의 특이성이 있어서 한 종에만 산란하는 특수종(specialist)보다는 다양한 종에 산란하는 일반종(generalist)의 가능성이 높음을 확인하였고 산란숙주조개의 종과 크기에 따라 산란선호도와 산란하는 알의 수에서 차이점이 있음을 확인하였다.

산란숙주조개 선호도를 실시한 조사지점 1과 2는 하상구

조에서 차이점이 있었는데 조사지점 1은 바위(B), 큰돌(C), 자갈(P)의 비율이 높았고 목납자루는 주로 돌 틈 사이에서 서식하였다. 반면에 조사지점 2는 큰돌(C), 자갈(P), 잔자갈(G)의 비율이 높았으며 목납자루는 수변부 부들 군락 아래에서 주로 서식하여 두 지점의 목납자루 서식 조건에서는 차이점이 나타났다. 백(2005)은 목납자루의 서식지를 분석하면서 하상이 모래와 큰돌의 구성비가 높고(30:10:10:10:40, B:C:P:G:S) 작은말조개의 비율이 높으며 큰돌이 곳곳에 분포하는 곳이 목납자루가 서식하기에 유리하다고 보고하였는데 본 연구의 조사지점 2의 서식환경과 유사하였고, 산란숙주조개로 이용가능한 조개로 작은말조개만 서식하는 점도 동일하였다. 조사지점 1과 2는 모두 목납자루가 서식하는 곳이지만 하상구조, 유속, 수심, 수변환경 등 많은 물리적 환경요인에서 차이점이 있었고, 이로 인하여 조사지점 1과 2에서 목납자루와 조개종 다양성 및 서식밀도 차이가 나타난 것으로 추정된다.

조사지점 1에서는 목납자루가 산란숙주조개로 이용 가능한 조개 중 작은말조개에는 2.2%로 매우 미비한 산란비율을 보였고 콧체두드럭조개에는 63%가 넘는 산란 비율을 보여 콧체두드럭조개를 매우 선호하는 것으로 나타났다. Reichard *et al.* (2007)은 산란을 위해서 숙주로 이용하는 숙주-기생관계에서는 특이화된 숙주선호도가 기생자의 알 및 자어의 생존율을 더 높이는 생리적 적합성(host suitability)의 차이로 인한 것인지 숙주에 대한 접근성에 대한 생태적 요인인 조우율(encounter rate)로 인한 것인지에 대한 의견을 제시한 바 있다. 조사지점 1에서 포획된 목납자루의 산란관길이는 조사지점 2에서 포획된 목납자루의 산란관보다 평균적으로 더 길게 나타났는데(unpublished data), 이는 크기가 더 큰 콧체두드럭조개에 더 깊숙이 산란하기 위한 생태적 적응형질(adaptive character)이 반영된 것이라고 판단된다. 하지만 목납자루가 주로 서식하는 바위(B), 큰돌(C), 자갈(P)의 비율이 높은 곳에서는 콧체두드럭조개 역시 다른 서식지에 비해 높은 비율로 채집되어 두 종이 조우할 확률 또한 높아질 수 있다고 생각된다. 이에 산란숙주조개의 해부학적 구조, 생리적 기작 및 목납자루와 콧체두드럭조개의 서식분포 양상에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

조사지점 1에서는 조개를 산란숙주로 이용하는 종으로 줄납자루, 납자루, 참중고기가 서식하였는데 산란숙주로 이용하는 조개에 있어서 줄납자루는 콧체두드럭조개, 납자루는 작은말조개, 참중고기는 작은대칭이를 선호하는 것으로 나타나서 산란숙주조개의 이용에서 차이점이 확인되었다. 이는 본 아과 어류가 대부분이 동소적으로 서식하고 있어서 산란숙주조개를 두고 산란기간, 산란관길이, 산란하는 알의 모양과 개수, 산란숙주조개 내 산란위치 등을 다르게 하여 산란경쟁을 최소화시키기 위한 방향으로 적응한 것이라

고 생각된다(Hirai, 1964; Kondo *et al.*, 1984; Nagata and Nakata, 1988; Fukuhara *et al.*, 1998; Kitamura, 2007).

조사지점 1의 자연상태에서 목납자루가 궂체두드럭조개 내에 산란한 알 및 자어의 수는 1~41 (12.0±9.21)개로 확인되었는데, 백과 송(2005)이 보고한 작은말조개 내 산란한 목납자루의 알 및 자어의 수인 1~14 (2.5)개보다는 매우 많았다. 이는 궂체두드럭조개의 각장 범위가 작은말조개보다 크고 산란장소로 이용하는 조개 내 아가미의 폭과 너비가 넓기 때문에 알 및 자어를 더 많이 낳아도 아가미 깊은 곳까지 위치할 수 있어서 조개로부터 조기 토출되어 사망하는 목납자루의 알 및 자어가 감소하기 때문으로 생각된다.

동일한 밀도 조건인 실험 1에서는 목납자루의 알 및 자어는 오직 궂체두드럭조개에서만 확인되었다. 이 결과가 목납자루가 작은말조개와 작은대칭이에 산란한 후 조개의 토출에 의한 결과인지 산란 시도가 전혀 이루어지지 않아서 나타난 결과인지 본 연구결과만으로는 분명하게 확인할 수 없기 때문에 수조내 실험을 통해 각 조개로부터 토출되는 알 및 자어의 수, 산란 시도 여부에 대한 추가적인 실험이 진행되어야 할 것으로 생각된다.

작은말조개만이 서식하는 조사지점 2에서 진행한 실험 2의 결과는 실험 1과 매우 다른 양상을 보였다. 실험 2에서 각각의 조개에 따른 목납자루의 평균산란율은 궂체두드럭조개 75.0%, 작은말조개 42.9%, 작은대칭이 21.4%로 나타나 작은말조개와 작은대칭이에도 높은 산란율을 보였다. 궂체두드럭조개의 경우에는 조사지점 1의 자연상태조사의 63.6%, 실험 1의 60%보다 산란율이 높게 나타나 주목되었고, 산란한 알 및 자어의 수는 1~35 (13.0±8.80)개로 유사한 값을 보였다. 조사지점 2에서의 자연상태에 서식하는 작은말조개 내 산란율을 조사한 결과 8.35% (431개체 중 36개체 산란)로 매우 낮은 산란율을 보였고, 산란된 알 및 자어의 수는 1~32 (5.9±6.54)개 (n=36)로 나타났는데 (unpublished data), 이는 실험 2의 알 및 자어의 수인 1~26 (5.2±6.92)개와는 유사한 평균값을 보였다. 그러나 조사지점 2의 자연상태 내 작은말조개와 실험 2의 작은말조개 내 산란율은 큰 차이를 보였는데 자연상태 내 작은말조개의 각장은 13.1~50.0 (36.0±5.51) mm (n=431) 범위였고, 실험 2의 작은말조개는 35.8~52.7 (42.3±4.52) mm (n=28) 범위여서 실험 2에 사용된 조개의 크기가 자연상태의 조개보다 커서 높은 산란율이 나타난 것으로 생각된다. 또한 10개체의 조개를 한 곳에 합사해 실험함으로써 자연상태보다 조개의 밀도가 높아져 더 선호되었기 때문으로 판단된다(Kitamura *et al.*, 2009). 백과 송(2005)이 보고한 홍천강에서 조사한 작은말조개는 22.4~49.5 mm 범위였고 목납자루의 알 및 자어의 수 1~14 (2.5)개로 나타나 조사지점 2의 자연상태 결과보다 알 및 자어의 수가 적게 나타났는데 이는 산란숙주조개의 토출율, 암컷의 성숙난수, 산란관의 길이 차이로 인한

요인 때문으로 추정된다.

본 연구결과와 산란숙주로 이용되는 조개는 종 및 크기에 따라서 목납자루의 알 및 자어를 수용할 수 있는 수용 범위와 산란숙주조개 선택에 있어서 관련이 있을 것으로 생각된다. 이에 산란숙주조개로 이용되는 조개와 아가미 안에서 발생이 진행되는 알 및 자어와의 관계에 대해서는 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

수조내에서 시행한 실험 3에서 목납자루는 궂체두드럭조개에 가장 먼저 산란하였는데 이는 작은말조개와 작은대칭이보다 산란숙주조개 선호도가 더 높기 때문인 것으로 판단된다. Reichard *et al.* (2007)은 흰줄납줄개 (*R. ocellatus*)를 통한 실험에서 가장 낮은 호흡율을 가진 *A. globosula*는 흰줄납줄개가 가장 선호하는 종이었고 *L. caveat*는 가장 선호하지 않는 종으로 나타나서 본 연구 결과와는 조개의 속 (Genus) 수준의 단계에서 반대의 결과가 나타났다. 이는 납자루아과 내 *Rhodeus*속과 *Acheilognathus*속 어류사이에서 산란관의 길이, 알의 모양과 수, 발생단계에 따른 이상돌기 (wing-like yolk projeciton) 유무 등의 요인과 깊은 관련이 있을 것으로 생각되어 다양한 종들을 대상으로 비교연구가 필요하다.

납자루아과 어류 종 사이에서는 숙주특이성의 정도는 다양하며 이는 일반종 (generalist)에서 조차 확실한 숙주선호도가 발견될 수 있다 (Reichard *et al.*, 2007). 목납자루는 남한강, 북한강, 임진강 수계에 걸쳐서 매우 넓은 분포 범위를 보이고 있는데 이는 본 종이 1종의 조개에만 산란하는 특이종 (specialist)보다 하천의 중상류에 주로 서식하는 작은말조개와 하천의 중류의 큰돌 밑에 주로 서식하는 궂체두드럭조개를 모두 이용할 수 있는 일반종 (generalist)의 가능성이 높기 때문으로 생각된다 (환경부, 1997~2005, 2006~2011).

양(2004)은 칼납자루 (*A. koreensis*)와 임실납자루 (*A. somjinensis*)의 생태와 종분화에 대한 연구에서 두 종의 분포와 이들의 산란숙주 조개종의 분포가 일치하고 특히 임실납자루는 산란숙주조개 특이성이 있는 특이종에 해당한다고 보고한 바 있다. 납자루아과 어류와 민물조개는 매우 밀접한 상호관계를 가지고 있어서 두 분류군의 분포와 생태적 양상은 학술적으로 매우 중요하다. 하지만 아직까지 이에 대한 기초생물학적 연구조차 진행되지 못한 실정이기 때문에 점차 감소되는 추세에 놓인 납자루아과 어류와 민물조개에 대한 지속적인 연구와 관심이 필요하다고 판단된다.

요 약

2011년 4~6월까지 충청북도 괴산군 청천면 달천(조사지점 1)과 단양군 가대면 어상천 일대(조사지점 2)에서 목

납자루의 산란숙주조개 선호도를 실시하였다. 조사지점 1의 자연상태에서 목납자루의 산란숙주조개 내 산란율은 꾀체두드럭조개에 63.6%, 작은말조개 2.1%로 나타났고 작은대칭이와 칼조개에서 산란된 개체는 없었다. 목납자루가 산란한 알 및 자어의 수는 꾀체두드럭조개 1~41 (12 ± 9.21)개, 작은말조개 6개였다. 실험 1의 결과 목납자루는 꾀체두드럭조개에만 산란하였고 산란율은 60%였으며, 산란한 알 및 자어의 수는 1~19 (6.8 ± 5.44)개였다. 실험 2에서 목납자루는 꾀체두드럭조개, 작은말조개, 작은대칭이 모두에 산란하였고 산란율은 각각 75.0, 42.9, 21.4%였으며, 산란한 알 및 자어의 수는 각각 1~35 (13.0 ± 8.80)개, 1~26 (5.2 ± 6.92)개, 2~19 (8.6 ± 5.64)개였다. 실험 3에서 목납자루는 꾀체두드럭조개에만 산란하였고 산란한 알은 2~10 (6.7 ± 4.16)개였다. 목납자루는 1종의 조개에만 산란하는 특이종 (specialist)이라기보다는 일반종 (generalist)이라고 생각되며, 꾀체두드럭조개를 가장 선호하는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국립생물자원관 “2011년도 멸종위기 담수어류 (통사리 등 4종) 증식·복원 연구” 연구비에 의해 수행되었습니다. 연구의 진행 방향에 대해 많은 조언을 해주신 손영목 교수님, 홍영표 박사님, 이완욱 박사님, 변명섭 박사님, 자료 해석에 대해 첨언해 주신 김병직 박사님, 최승호 박사님, 권선만 박사님 그리고 공동으로 연구를 도와주신 방인철 교수님, 현장 채집과 데이터 정리를 도와준 장준호, 홍양기, 이강식 연구원에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

국립생물자원관. 2011. 한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집 (어류). 국립생물자원관.
 김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권 동물편 (담수어류). 교육부.
 김익수 · 박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사.
 김익수 · 최 윤 · 이충렬, 이용주, 김병직, 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사.
 민덕기. 2004. 한국패류도감, 민패류연구소.
 백현민. 2005. 목납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae)의 생태학적 연구. 강원대학교 박사학위논문.
 백현민 · 송호복. 2005. 목납자루, *Acheilognathus signifer* (Cyprinidae; Acheilognathinae)의 꾀 내 산란과 적응전략. 한국어류학회지, 17: 105-111.
 송호복 · 권오길. 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae)의 패류 체내 산란. 한국어류학회지, 6: 39-50.
 양 현. 2004. 칼납자루 *Acheilognathus koreensis*와 임실납자루 *A. somjinensis*의 생태와 종분화. 전북대학교 박사학위논문.

환경부. 1997~2005. 제2차 전국자연환경조사 보고서, 환경부 국립환경과학원.
 환경부. 2006~2011. 제3차 전국자연환경조사 보고서, 환경부 국립환경과학원.
 Aldridge, D.C. 1999. Development of European bitterling in the gills of freshwater mussels. *Journal of Fish Biology*, 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.
 Cummins, K.W. 1962. An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special on lotic waters. *Amer. Midl. Nat.*, 67: 477-504.
 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.
 Duyvené De Wit, J.J. 1955. Some observations on the European bitterling (*Rhodeus amarus*). *S. Afr. J. Wetenskap*, 51: 249-251.
 Fukuhara, S., W. Maekawa and Y. Nagata. 1998. Comparison 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 with English abstract)
 Hirai, K. 1964. Comparative studies on ecology of four species of bitterlings in the Lake Biwa. *Physiol. Ecol. Japan*, 12: 72-81. (in Japanese with English abstract)
 Kamler, E. 1992. Early life history of fish. Chapman and Hall, London.
 Kani, T. 1944. Ecology of torrent-inhabiting insects. In: Furukawa, J. (ed.), *Insect I. Kenkyu-sha*, Tokyo, pp. 171-317. (in Japanese)
 Kitamura, J. 2005. Factors affecting seasonal mortality of rosy bitterling (*Rhodeus ocellatus kurumeus*) embryos on the gills of their host mussel. *Popul. Ecol.*, 47: 41-51.
 Kitamura, J. 2007. Reproductive ecology and host utilization of four sympatric bitterling (Acheilognathinae, Cyprinidae) in a lowland reach of the Harai River in Mie, Japan. *Environ. Biol. Fish.*, 78: 37-55.
 Kitamura, J. 2008. Bitterling fishes (Cyprinidae: Acheilognathinae): current threats and conservation. *Jpn. J. Ichthyol.*, 55: 139-144. (in Japanese)
 Kitamura, J., J.N. Negishi, M. Nishio, S. Sagawa, J. Akino and S. Aoki. 2009. Host mussel utilization of the Itasenpara bitterling (*Acheilognathus longipinnis*) in the Moo River in Himi, Japan. *Ichthyol. Res.*, 56: 296-300.
 Kondo, T., J. Yamashita and M. Kano. 1984. Breeding ecology of five species of bitterling (pisces: Cyprinidae) in a small creek. *Physiol. Ecol. Japan*, 21: 53-62.
 Mills, S.C. and J.D. Reynolds. 2002. Host species preferences by bitterling, *Rhodeus sericeus*, spawning in freshwater mussels and consequences for offspring survival. *Animal Behaviour*,

- 63: 1029-1036.
- Nagata, Y. and Y. Nakata. 1988. Distribution of six species of bitterlings in a creek in Fukuoka Prefecture. *Jpn. J. Ichthyol.*, 35: 32-331.
- Reichard, M., H. Liu and C. Smith. 2007. The co-evolutionary relationship between bitterling fishes and freshwater mussels: insights from interspecific comparisons. *Evol. Ecol. Res.*, 9: 239-259.
- Smith, C. and R.J. Wootton. 1995. The costs of parental care in teleost fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 5: 7-22.
- Smith, C., J.D. Reynolds, W.J. Sutherland and P. Jurajda. 2000. Adaptive host choice and avoidance of superparasitism in the spawning decisions of bitterling (*Rhodeus sericeus*). *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 48: 29-35.
- 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.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Tyōsen (Korea). Part 1. Nematognathi and Eventognathi. *Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Gener. Tyōsen*. 6. (in Japanese)
- Wootton, R.J. 1998. *Ecology of teleost fishes*. 2nd edn. Kluwer, Dordrecht.
- Zale, A.V. and R. Neves. 1982. Fish host of four species of lampshell mussels (Mollusca: Unionidae) in Big Mocasine Creek, Virginia. *Can. J. Zool.*, 60: 2535-2542.