

한국산 가재 *Cambaroides similis* 자연 개체군의 성장률, 암수비율, 연령구조 및 교미시기

정재호, 김민섭, 안동하, 민기식*
인하대학교 생명과학과

Growth Rate, Sex Ratio, Age Structure and Mating Period of Korean Crayfish *Cambaroides similis* Natural Population

Jae-Ho Jung, Min Seop Kim, Dong-Ha Ahn and Gi-Sik Min*
Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Life history of Korean crayfishes *Cambaroides similis* (Koelbel) was studied 8 month from March to October, 2006 from the Gwanak mountain, Seoul, South Korea. By capture and recapture method, 551 crayfishes were collected analyzed during the experimental period. Based on the distribution pattern of body lengths, the local population putatively divided into four age groups. The sex ratio of male and female was almost equal. However, their growth rates varied by water temperature. Early juveniles seen during June became adult during August. The study findings suggest that late autumn is mating season.

Key words : Crayfish, *Cambaroides similis*, Life history, Sex ratio, Mating period, Korea

서 론

한반도에는 현재 가재속(genus *Cambaroides*)에 속하는 가재 *Cambaroides similis* (Koelbel)와 만주가재 *C. dauricus* (Pallas)의 2종이 서식하고 있는데, 만주가재는 함경남북도도 평안남북도 및 만주지역에 주로 분포하고 있고 남한 지역에서는 가재 1종만이 서식하는 것으로 알려져 있다(Kim, 1977).

근래에 들어오면서 서식지 파괴와 각종 환경오염 등으로 가재 개체군의 분포역 및 개체수가 현저하게 감소되고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 다행히 아직까지는 전국에 걸쳐 다수의 가재 서식지가 존재하고 있는 것으로 확인되고 있다. 그렇지만 남아있는 대부분의 서식지가 계곡의 최상류부나 그 일부 지류로 한정되면서 서식지 고립화에 따른 심각한 유전적 다양성 감소로 인해 급격한 개체군 감소가 추가적으로 야기될 수 있는 상황이다. 또한 최근에 미국가재, 호주산 가재 등 환경적응력이 뛰어난 외래 가재류가 애완용으로 널리 사육되고 있어 무단방사에 의한 고유종의 피해가 초래될 가능성이 있다. 더욱이 외래 가재류의 일부 종들은 담수가재개체군에 있어서 치명적인 폐사의 원인이 되는 가재 프라그(Plague)균의 매개체로 알려져 있어 국내 가재집단의 감염 및 폐사로 이어질 수 있다.

이러한 가재 개체군의 감소문제는 국내뿐 아니라 유럽, 북미, 그리고 일본 등 세계적으로도 급속히 진행되고 있는 것으로 알려져 있으며, 지구온난화와 더불어 그 진행속도는 더욱 가속화될 것으로 예측되고 있다(Nakata et al., 2002; Meyer et al., 2007).

이러한 다양한 위기에 노출된 국내 가재 개체군에 대한 보존 대책을 세우기 위해서는 한국산 가재의 생물학적 특성에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 하지만 국내 가재에 대한 생활사 및 감소원인의 분석에 대한 연구는 거의 없다. Yeun et al. (1991, 1992)은 자연 개체군에 가재의 절대성장률과 상대성장률 분석을, Ko and Kawai (2001)는 사육을 통한 유생의 연령별 발생과정을, 김과 배(2001)는 사육을 통한 가재의 탈피와 성장과정에 대한 연구를 발표하였다. 그리고 학술논문은 아니지만 고(1999)는 동물학회지 학회보에서 한국산 가재와 외래 유입 가재 종에 대한 비교 설명과 더불어 가재의 생활사 연구의 필요성에 대하여 언급을 하였다. 한편, 김(2002)은 가재집단의 급격한 감소가 산성눈(비)의 영향일 가능성이 있다는 것을 언급한 바 있다.

본 연구는 한국산 가재의 생활사를 이해하기 위하여 자연 개체군의 성장률, 성비, 연령구조, 교미시기 등을 조사하였다.

*Corresponding author: mingisik@inha.ac.kr

재료 및 방법

2006년 3월부터 10월까지 8개월에 걸쳐 서울 소재 관악산 지역에 조사지점(Fig. 1)을 정하여 매월 2회 이상 총 24회에 걸쳐 가재 자연 개체군에 대해 조사하였다. 그러나 해당 조사지점의 세부적인 위치(GPS 좌표 등)는 이 지역 가재 개체군 및 서식지의 보전을 위하여 생략한다.

가재는 직접 손으로 잡거나 소형 뜰채를 사용하여 채집하였다. 대부분의 개체는 길이 측정 후 즉시 재방사 하였고, 일부는

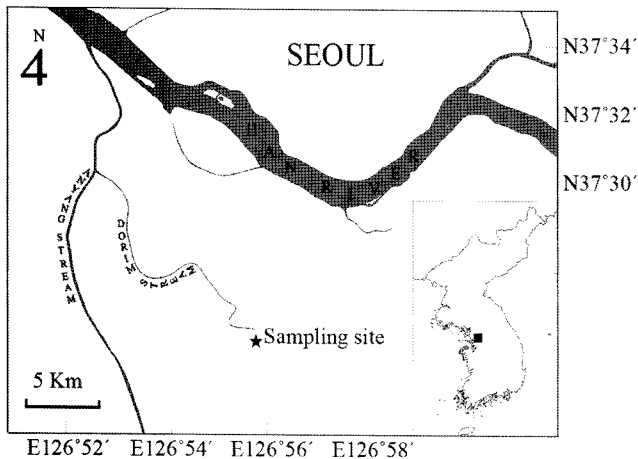


Fig. 1. Sampling site, Gwanak mountain in Seoul Korea.

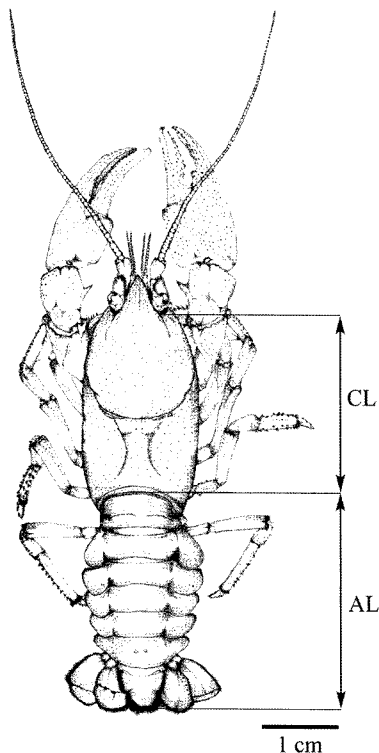


Fig. 2. Measurements of carapace length (CL) and abdominal length (AL) for *Cambaroides similis*.

생체로 실험실로 옮겨 사육하거나 95% 알코올에 액침 처리하여 보관하였다. 수온과 pH 등의 수질환경 요인은 이동용 계측기(Oakton Co.)를 사용하였다.

가재의 성장에 대한 측정치는 두흉갑과 복절의 길이를 측정하여 그 일정비율을 대표적인 기준으로 사용되었다(Yeun et al., 1991). 두흉갑의 길이(carapace length, CL)는 눈 뒷부분을 시작으로 하여 두흉갑이 끝나는 부분을 기준으로 측정하였으며, 복절길이(abdominal length, AL)는 두흉갑과 복절이 만나는 위치부터 복절의 미절이 끝나는 곳을 기준으로 하였다(Fig. 2). 각 길이는 버니어캘리퍼(Vernier caliper)로 측정하였다.

또한, 측정된 자료로부터 두흉갑 길이에 대한 개체 빈도수 분포를 월별로 분석하여 성장률과 연령구조 분석에 이용하였다. 단 3월 26일에 채집된 11개체의 두흉갑 길이자료는 4월에 포함시켜 분석하였다. 상대성장률의 분석은 공분산분석(ANCOVA)을 수행하여 성별에 따른 두흉갑의 길이 상관관계 유의성을 검증하였고 회귀분석(REG)을 통해 각 성별의 상대성장률을 유추하였다. 통계분석은 SAS 9.0을 이용하였다.

가재 유생은 미절의 분화 정도에 따라 1~3령기(stage)으로 구분되는데(Ko and Kawai, 2001), 이를 통해 1년생 개체의 성장분포를 간략히 확인하였다. 1령기에서 3령기까지는 두흉갑이 겹어져 있어 정확한 길이를 측정할 수 없어 실측하지 않았다.

결 과

조사지점의 서식환경 특성

조사지점은 산림의 작은 계곡부로 전형적인 가재 서식지의 특성을 가진 지역이다. 저토는 사니질에 화강암이 부서진 굵은 모래가 섞여 있고 곳곳에 지름 10~20 cm 크기의 돌덩이가 놓여 있어 가재가 굴을 파거나 은신하기에 양호하였다. 유폍은 2~3 m로 우기를 제외하고는 평상시 수량은 적은 편이다. 조사지점은 식생자연도가 다소 낮은 산림의 가장자리 지역으로 인근에 아파트 단지와 공원이 인접하여 주민이나 등산객들에 의해 지속적으로 교란 및 간섭을 받는 지역이었다.

수질환경 요인

3월부터 10월까지 실시한 조사지점의 수온 및 pH의 측정 결과(Fig. 3), 평균 수온은 14.8°C이고, 월별 평균 수온은 3월이 6.3°C도로 가장 낮았으며 8월이 21.4°C로 가장 높았다. 평균 pH는 6.4로서 전체적으로 약산성을 띠며, 시기별로 큰 차이는 없었지만 5~7월에 6.3으로 다른 기간에 비해 상대적으로 낮은 양상을 나타내었다. 한편, 강우량은 2006년 기상청 자료를 참고로 작성하였으며, 장마기와 여름철에 강수가 집중되는 전형적인 국내 강우 패턴의 영향을 받고 있어 우기에는 수량이 많고 유속이 상당히 빠르고, 갈수기에는 유속이 거의 없는 특성을 보였다.

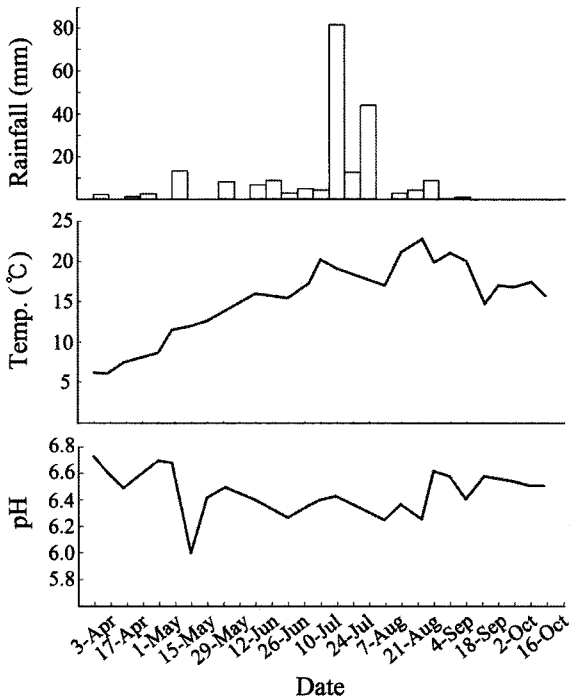


Fig. 3. Water temperature, pH and amount of precipitation during the study period.

두흉갑의 길이에 따른 월별 개체 빈도수 분포

2006년 3월부터 10월까지 24회의 조사를 통해 총 551개체가 채집되었는데, 암컷 282, 수컷 269개체로 암수 성비는 100:95를 보였다. 모든 개체의 두흉갑 길이의 범위는 6~35 mm의 분포를 보였다(Table 1). 가장 작은 개체는 당해 연도에 부화하여 8월에 3령기 이후에 접어든 개체였으며 가장 큰 개체는 9월에 채집된 1개체였다. 5월과 10월을 제외한 매월 채집된 개체 중 가장 큰 개체의 두흉갑 길이는 34~35 mm였다. 복절길이까지 합산한 몸 전체 길이는 70.0~76.1 mm로 이 크기의 개체가 개체군 내 가장 큰 개체로 추정된다. 당해 연도 개체를 제외한 2년생 이상의 개체 중 최소 두흉갑 길이는 3월에 채집된 1개체로 9 mm였으며, 당해 연도 개체를 제외한 개체의 최소 두흉갑 길이는 8월, 13 mm, 10월, 15 mm로 측정되었다. 이 길이 차이를 3월의 최소 크기 개체가 10월까지 성장한 값이라 추정할 경우 4개월간 4 mm, 또는 6개월간 6 mm 길이의 성장률을 보여 최소 크기 개체의 경우 월별 평균 1 mm의 두흉갑 길이 성장이 있었음을 추정할 수 있다. 10월 최소 크기 개체(당해 연도 개체)의 두흉갑장은 7 mm였는데, 이 개체가 3월 최소 크기 개체(9 mm)로 성장하였다고 가정하면 5개월간 2 mm, 월별 0.4 mm의 성장하였다고 추정된다.

채집된 모든 개체의 두흉갑 길이를 토대로 월별 개체빈도수를 그래프로 나타내었다(Fig. 4). 연령별 두흉갑 길이 분포가 뚜렷하게 구분되지 않는 연속적인 분포 특성을 보여주고 있어 본 데이터만으로는 연령구조를 확인하는 데 다소 한계가 있다. 더

Table 1. Carapace length distribution of 551 individuals of *Cambaroides similis*.

Carapace length (mm)	Number of individual						
	Mar./Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.
6	-	-	-	-	2	1	-
7	-	-	-	-	13	6	2
8	-	-	-	-	7	18	3
9	1	-	-	-	6	8	11
10	3	-	1	-	2	8	3
11	7	-	2	-	1	1	1
12	3	-	2	1	-	1	-
13	-	3	6	4	5	3	-
14	-	1	3	3	4	2	-
15	3	-	1	1	4	5	2
16	-	1	1	2	5	6	-
17	1	-	1	2	10	4	5
18	2	5	1	2	17	3	5
19	5	1	-	2	10	3	8
20	7	1	3	2	1	6	11
21	6	1	6	4	6	6	6
22	3	6	4	4	2	2	2
23	3	6	6	4	7	1	8
24	5	4	1	-	4	6	7
25	2	7	4	2	3	7	6
26	4	2	5	2	1	6	1
27	4	1	5	1	6	9	3
28	-	-	1	3	3	1	-
29	1	-	-	-	2	5	-
30	3	-	1	2	2	5	-
31	-	-	-	-	-	1	-
32	-	1	-	-	2	6	2
33	-	-	-	-	1	3	-
34	1	-	1	3	1	1	-
35	-	-	-	-	-	1	-
Total	64	40	55	44	127	135	86

군다나 연령이 확실한 8월의 당해 연도 개체의 두흉갑 길이가 6~11 mm의 분포를 보여, 최소-최대 개체 사이에 거의 2배의 성장률 차이가 있음을 알 수 있어 개체의 개체별 성장률 차이가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 문제점이 있음에도 불구하고 3~4월 개체를 기준으로 9~12 mm (2년생), 15~22 mm (3년생), 23~34 mm (4년생 이상)으로 임의로 구분해 볼 수 있다. 당해 연도 개체가 포함되지 않으면서 채집 개체수가 많은 6월 그룹에서도 어느 정도 유사한 구분이 가능함을 보여주었다. 이러한 구분을 근거로 한국산 가재는 자연 생태계 내에서 최소 4년 이상 생존할 것이라고 추정해 볼 수 있다.

두흉갑과 복절의 크기분석에 따른 암수 상대성장률

성별에 따른 두흉갑과 복절의 상대길이성장에 대한 공분산 분석(ANCOVA)을 수행한 결과 회귀계수의 차이가 유의함을 확

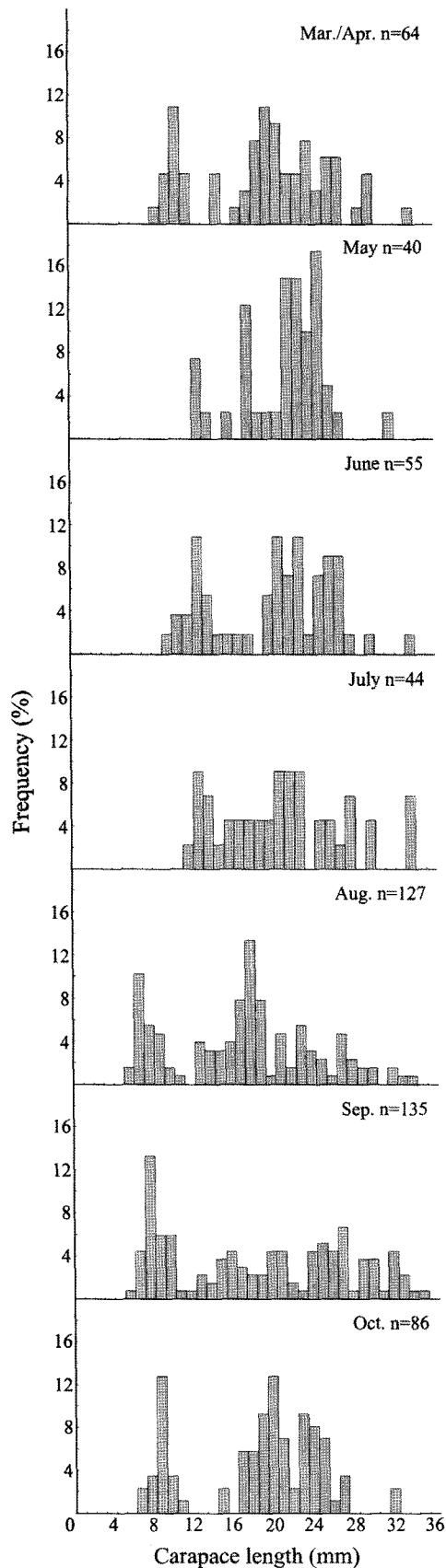


Fig. 4. Size (carapace length) frequency distribution of *Cambaroides similis*.

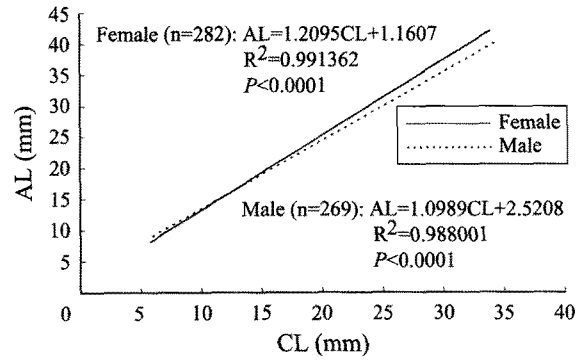


Fig. 5. Relationship between carapace length (CL) and abdominal length (AL) of males and females of *Cambaroides similis*.

인하였다(ANCOVA: $F=122.02$, $P>0.0001$). 각각의 추정식을 구하기 위해 회귀분석(REG)을 수행한 결과 성별에 따른 결정 계수(R^2) 값은 암컷이 0.991, 수컷이 0.988로 높은 값을 나타내었다. 회귀계수 중 기울기 값은 암컷(1.2095)이 수컷(1.0989)보다 높음을 확인하였는데, 이러한 결과는 암컷이 알을 포란해야 하는 특성 때문에 복질의 상대성장률이 수컷에 비해 큰 것으로 보여진다.

1년생 개체의 성장 분포와 교미시기

2006년 3월 26일에 최초 포란한 개체가 확인되었고, 6월 18일에 어미의 복질 하단부에 부착 생활을 하는 1령기 개체가 처음으로 확인되어 가재의 포란 기간은 약 70일(10주) 정도로 추정되었다. 2령기 유생들은 6월말부터 출현하였다. 7월 2일에 3령기 유생이 처음 확인되었으며 모든 유생이 어미와 떨어져 단독생활을 시작하였다. 3령기까지는 외부 형태에 따른 성적 발달이 미흡하여 외관상으로 수컷의 생식기를 확인하기 어렵지만 어린성체기부터는 수컷의 외부 생식기의 발달과 개체의 크기를 통해 그 영기를 확인할 수 있는데 어린성체기는 7월 30일에 처음 관찰되었다(Fig. 6과 7).

10월에 암컷 2마리의 배면에서 하얀색의 정포(spermatophore)가 붙어있는 교미 흔적을 발견하였다(Fig. 8).

논 의

과학적 조사가 이루어진 바는 없지만, 1970년대 이후 국내의 가재 서식지는 급격히 감소되었고, 집단 규모 또한 크게 줄어들었다는 것은 현장 탐문 등을 통해 쉽게 확인할 수 있다. 이러한 국내 가재 집단의 감소에 대한 원인이 정확히 밝혀진 바는 없지만 현장 탐문에서 가재 서식지 주변에 전기가 들어오면 서야행성인 가재가 사라졌다는 것이다(김, 2002). 하지만 본 조사지점은 아파트 단지와 불과 20 m 이내의 거리에 인접해 있고 산책로까지 설치된 지역임을 감안하면 전기 도입이 가재 집단을 사라지게 한 직접적 원인은 아닐 것으로 추정된다. 정확

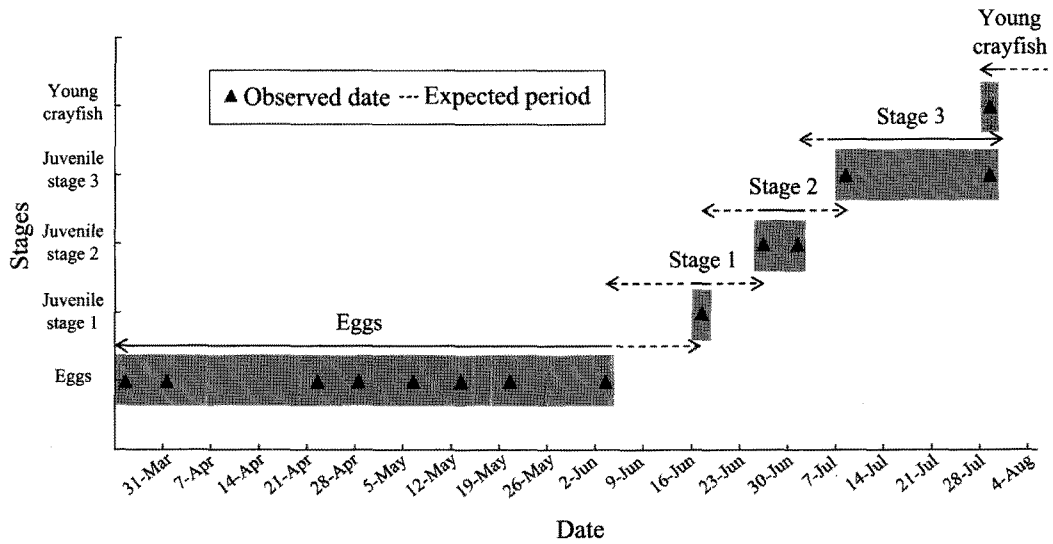


Fig. 6. Observed date and expected period of crayfish juvenile stage of *Cambaroides similis*.

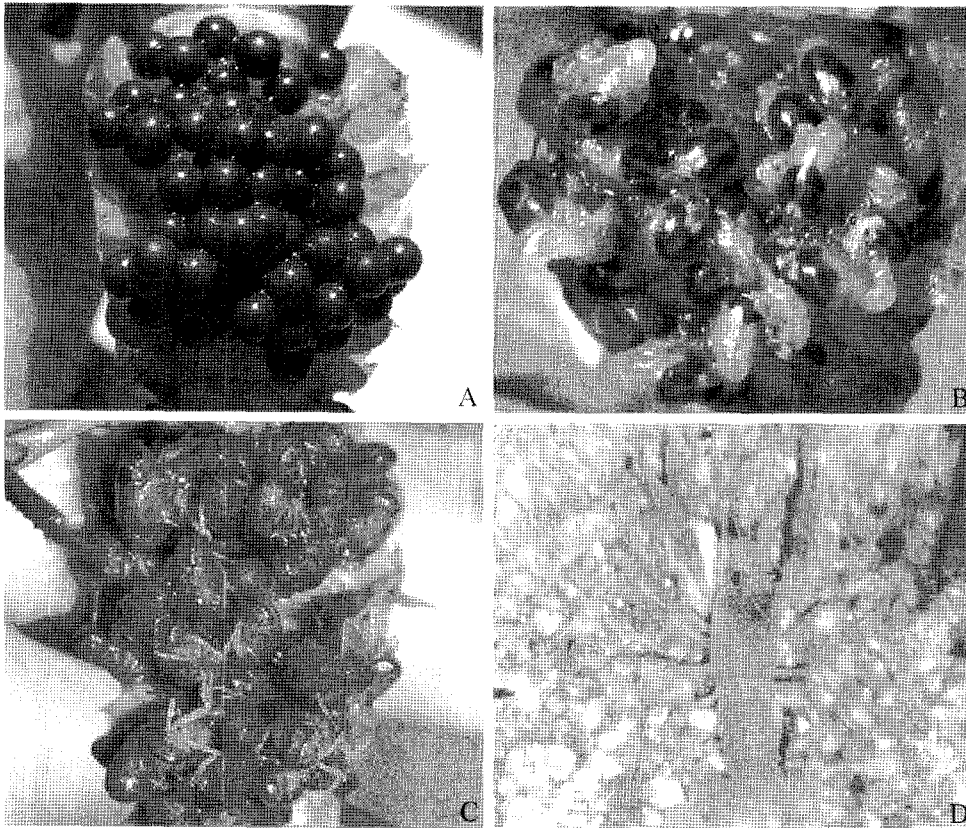


Fig. 7. Eggs and juveniles of *Cambaroides similis*. A, eggs; B, juvenile stage 1; C, juvenile stage 2; D, juvenile stage 3.

한 원인을 파악하기 위해서는 산성수에 의한 토양 내 칼슘의 고갈(김, 2002), 과도한 지하수 개발과 기후 변화에 의한 서식지의 수량 감소 문제 등 다양한 원인에 대한 연구가 앞으로 수행되어야 할 것이다.

한국산 가재는 냉수성 종으로 일반적으로 서식지의 최고 수

온이 15°C를 넘지 않는 것으로 알려져 왔었지만 조사기간 내 조사지점의 최고 수온이 21.4°C로 20°C 이상을 보였으나 개체군은 안정된 상태를 보였다. 한편 이러한 높은 수온으로 인해서 15°C에서 사육된 개체군보다 자연 개체군의 성장 속도가 더 빨랐다. Ko and Kawai (2001)의 사육 실험에서는 1, 2령기별



Fig. 8. Deposited spermatophores on ventral surface of female crayfish *Cambaroides similis*.

지속 기간이 각각 2주, 4주로 1령에서 3령으로 넘어가기까지 최고 6주가 소요되었지만 본 조사에서는 1, 2령기인 6, 7월의 평균 수온이 각각 16.4, 18.9°C였으며, 1령에서 3령으로 넘어가기까지 최고 5주 이내로 확인되어 사육 개체군보다 한 주 빨리 3령에 이르렀다. 수온은 갑각류의 탈피 주기와 성장에 많은 영향을 준다고 알려져 있는데 가재의 유생기에서도 이와 같은 양상을 나타내었다(Choi et al., 2001; Kim and Hong, 2004). 한편 이러한 수온의 영향은 성체의 성장 속도에도 영향을 미친다는 것을 최소 크기 2년생 개체의 성장률 분석으로 확인할 수 있었다. 최소 크기 개체의 성장률로 계산해 보면 수온이 높은 시기(3월 말에서 10월 말 사이)가 수온이 낮은 시기(10월 말에서 3월 말 사이)보다 거의 2.5배의 성장률을 보여주었다. 따라서 변온동물인 가재의 성장률에 수온의 영향이 큼을 알 수 있다.

모든 개체에 대한 두흉갑의 길이 분포가 뚜렷하게 구분되지 않는 연속적인 분포 특성을 보여주고 있어 본 데이터만으로는 연령구조를 확인하는 데에 한계는 있었지만(Fig. 4), 1년차 개체가 포함되지 않고 비교적 채집 개체수가 많았던 3~4월 및 6월을 기준으로 구분할 경우 최소 3개 그룹(2년에서 4년 이상) 이상 구분될 수 있는 것으로 추정되었다. Bae (2002)는 사육을 통한 연구에서 체장 조성 분석을 통해 가재의 수명을 2~3년으로 보고한 바 있는데 이번 연구를 통해 가재의 수명은 그보다 더 긴 최소 4년 이상일 것으로 추정되어 기존 연구와의 차이를 보였다. 일본가재(*C. japonicus*)의 경우 수명이 수컷은 11년, 암컷은 10년으로 추정되어 있어(Kawai et al., 1997) 일본가재와 한국가재가 같은 속(genus)에 포함된다는 점을 감안하면, 좀 더 정밀한 조사가 수행된다면 한국산 가재의 실제 생존 수명도 현재 추정되는 것보다는 훨씬 길어질 것으로 예상된다.

한편 Bae (2002)는 체장 조성분과 생식소의 월별중량지수 분석을 통해 한국가재의 산란기를 3월 말에서 4월 중순으로, 교미 시기는 11~12월로 추정하였다. 일반적으로 담수가재에서 교미 시기는 수온과 광주기가 중요한 요인으로 영향을 미치는데(Reynolds, 2002), 본 연구 과정에서 10월에 암컷 2마리의 배면

에서 교미 흔적을 발견하였다(Fig. 8). 한편 10월초에 채집된 암컷 개체를 수컷과 격리시켜 사육한 결과 이듬해 봄에 성공적으로 포란이 이루어짐을 사육을 통해 확인하였다(미발표 본 연구자 실험 결과). 따라서 한국산 가재의 경우 서식환경 및 지역적 특성에 따라 차이가 있겠지만 수온이 낮아지기 시작하고 일장이 짧아지는 시기인 9~10월부터 교미행동이 시작되는 것으로 추정된다. 일본가재의 경우에도 수온과 광주기와 관련 지어 일반적인 교미시기가 9~10월임을 확인되었다(Kawai et al., 1994; Kawai and Saito, 2001).

포란 시기에 채집된 암컷 개체 중 44마리가 포란 중이었으며, 두흉갑의 길이가 17.8 mm인 1개체를 제외한 나머지 개체들의 두흉갑 길이는 최소 19 mm 이상이었다. 이번에 채집된 총 282마리의 암컷 개체 중 포란 시기에 두흉갑의 길이가 19 mm 이상인 개체 43마리는 100% 포란을 하고 있던 것으로 보아 두흉갑의 길이가 19 mm 이상 되는 개체부터 번식에 참여하는 것으로 추정된다. 일본가재의 경우에도 대부분의 번식 암컷 개체의 최소 크기가 18 mm인 것으로 확인하였으나(Kawai et al., 1994), 각 집단 사이에서 그보다 더 작은 크기의 성숙개체들도 발견됨에 따라 그 최소크기는 서식지에 따라서 다를 수 있음을 확인하였다(Nakata and Goshima, 2004). 본 연구에서 이러한 두흉갑의 길이는 추정된 연령구조에 근거하면 암컷 가재는 2년생 개체부터 가을에 교미를 통해 다음해 봄에 포란을 함으로써 집단의 번식에 참여하는 것으로 생각된다. 그러나 일본가재의 경우 앞에서 부화한 후 성적으로 성숙하는 기간이 5~6년으로 측정되어(Kawai et al., 1997) 본 연구 결과와는 큰 차이를 보였다.

기존의 연구(Kim, 1977; Ko and Kawai, 2001)에서 가재 자연 개체군의 산란시기(포란기)는 5월로 추정되었으나 본 조사에서는 3월 말에 포란 개체가 채집되어 실제 포란이 기존에 알려진 것보다는 훨씬 이른 시기에 일어남을 알 수 있다. 이러한 결과는 사육 가재의 생식소 월별중량지수를 통해 Bae (2002)가 추정된 결과와 일치한다.

본 연구를 통해 사육 개체와 실제 자연 개체군 사이에는 성장률, 교미시기, 수명 등에서 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 한편, 가재 서식지의 환경조건, 가재 개체군의 감소 원인 등도 기존에 알려져 있었던 속설과는 많은 차이가 있음을 알 수 있어 자연 개체군에 대한 연구의 중요성을 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구가 특정 1개 지역을 대상으로 하였고 연구기간도 8개월에 지나지 않아 한국산 가재의 생활사를 충분히 밝히기에는 많은 한계가 있었다. 또한, 이번 연구에서는 두흉갑의 길이 측정을 통해서 빈도수를 나타내는 방식을 통해 수명을 추정하였는데 가재의 성장률이 개체별로 큰 차이가 있음이 확인되어 이 방법만으로는 가재 집단의 연령 구조와 수명을 확인하는 데는 한계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 앞으로의 연구에서는 다년간에 걸쳐 가재 각 개체에 표지를 붙여 확인하는 방법(tagging)을 사용하여야 좀 더 정확한 연령구조와 수명을 확인할 수 있을 것이다.

요 약

한국산 가재 *Cambaroides similis* 자연 개체군의 생활사를 밝히기 위해 2006년 3월부터 10월까지 약 8개월간 서울 소재 관악산에 서식하는 가재를 조사하였다. 조사기간 중 포획 및 재포획 방법을 사용하여 총 551개체에 대한 조사가 이루어 졌다. 연구결과 관악산의 가재 개체군은 체장 빈도 분포를 통해 4개의 연령 구조를 가지는 것으로 추정되며, 암수 성비는 거의 동일하였다. 성장률은 수온에 크게 영향을 받음을 알 수 있었다. 6월에 확인된 어린 유생들은 8월에 성체로 성장하였다. 논란이 있었던 한국산 가재의 교미시기는 늦은 가을부터 시작됨을 확인하였다.

사 사

이 논문은 인하대학교로부터 지원을 받아 수행되었다.

참고문헌

- Bae, J. S., 2002. Molt and growth of freshwater crayfish, *Cambaroides similis* (Koelbel). MS thesis, Department of Fisheries Science, Kunsan University, Korea. (in Korean)
- Choi, J. H., S. Y. Hong and J. H. Lee, 2001. The effect of salinity, temperature and diet on larval growth and survival of *Metapneustes dalei* (Rathbun). J. Kor. Fish. Soc., 34, 378–383. (in Korean)
- France, R., J. Holmes and A. Lynch, 1991. Use of size-frequency data to estimate the age composition of crayfish populations. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 2324–2332.
- Kawai, T., T. Hamano and S. Matsuura, 1994. Molting season and reproductive cycle of the Japanese crayfish, *Cambaroides japonicus* in a stream and a small lake in Hokkaido. Suisanzoshoku, 42, 465–470.
- Kawai, T., T. Hamano and S. Matsuura, 1995. Molting and growth of the Japanese crayfish *Cambaroides japonicus* reared in the laboratory. J. Crust. Biol., 24, 65–68.
- Kawai, T., T. Hamano and S. Matsuura, 1997. Survival and growth of the Japanese crayfish *Cambaroides japonicus* in a small stream in Hokkaido. Bull. Mar. Sci., 61, 147–157.
- Kawai, T. and K. Saito, 2001. Observation on the mating behavior and season, with no form alternation, of the Japanese crayfish, *Cambaroides japonicus* (Decapoda, Cambaridae), in Lake Komadome, Japan. J. Crust. Biol., 21, 885–890.
- Kawai, T. and G. Scholtz, 2002. Behavior of juveniles of the Japanese endemic species *Cambaroides japonicus* (Decapoda: Astacidea: Cambaridae), with observations on the position of the spermatophore attachment on adult females. J. Crust. Biol., 22, 532–537.
- Kawai, T. and G. S. Min, 2005. Re-examination of type material of *Cambaroides similis* (Koelbel, 1892) (Decapoda: Cambaridae) with a lectotype designation, re-description, and evaluation of geographical variation. Proc. Biol. Soc. Wash., 118, 777–793.
- Kim, H. S., 1977. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea, macrura. Ministry of education & Samhwa Pub. Co., Seoul, pp. 350–356. (in Korean)
- Kim, K. B. and S. Y. Hong, 2004. Effects of temperature on larval growth and survival in the wrinkled swimming crab (*Liocarcinus corrugatus*) (Brachyura: Portunidae) reared in the laboratory. J. Kor. Fish. Soc., 37, 186–191. (in Korean)
- Ko, H. S., 2003. Embryonized zoeal development of the Korean crayfish, *Cambaroides similis* (Decapoda, Cambaridae). J. Nat. Sci. Silla Univ., 12, 37–40. (in Korean)
- Ko, H. S. and T. Kawai, 2001. Postembryonic development of the Korean crayfish, *Cambaroides similis* (Decapoda, Cambaridae) reared in the laboratory. Kor. J. Syst. Zool., 17, 35–47.
- Meyer, K. M., K. Gimpel and R. Brandl, 2007. Viability analysis of endangered crayfish populations. J. Zool., 237, 364–371.
- Nakata, K., T. Hamano, K. Hayashi and T. Kawai, 2002. Lethal limits of high temperature for two crayfishes, the native species *Cambaroides japonicus* and the alien species *Pacifastacus leniusculus* in Japan. Fish. Sci., 68, 763–767.
- Nakata, K., and S. Goshima, 2004. Fecundity of the Japanese crayfish, *Cambaroides japonicus*: ovary formation, egg number and egg size. Aquaculture, 242, 335–343.
- Reynolds, J. D., 2002. Growth and reproduction, (in) D. M. Holdich (ed.), Biology of Freshwater Crayfish. Blackwell Science, Oxford, pp. 151–191.
- Scholtz, G., and T. Kawai, 2002. Aspects of embryonic and postembryonic development of the Japanese freshwater crayfish *Cambaroides japonicus* (Crustacea, Decapoda) including a hypothesis on the evolution of maternal care in the Astacida. Acta Zoolog., 83, 203–212.
- Yeun, K. S., Y. T. Noh and B. K. Jung, 1991. The growth analysis of the crayfish (*Cambaroides similis* Koelbel) (Crustacea) 1. Absolute growth. Kor. J. Zool., 34, 338–351.
- Yeun, K. S., Y. T. Noh and B. K. Jung, 1992. The growth analysis of the crayfish (*Cambaroides similis* Koelbel) (Crustacea) 2. Relative growth. Kor. J. Zool., 35, 231–239.
- 고현숙, 1999. 한국동물학회보, 16, 5–8.
- 김용호, 배주승, 2001. 민물가재 *Cambaroides similis* (Koelbel)의 생태학적 연구 I. 탈피와 성장. 한국양식학회지, 14, 235–237.
- 김일희, 2002. 한국동물분류학회보 37, 13–15.

원고접수 : 2008년 9월 12일

심사완료 : 2009년 1월 15일

수정본 수리 : 2009년 1월 21일