

## 서로 다른 온도 조건에서 연못하루살이 (*Cloeon dipterum*: 꼬마하루살이과, 하루살이목) 유충의 성장

황 정 미 · 이 성 진 · 배 연 재\*

서울여자대학교 생물학과

### Larval Growth of *Cloeon dipterum* (Ephemeroptera: Baetidae) in Different Temperature Conditions

Jeong Mi Hwang, Sung Jin Lee and Yeon Jae Bae\*

Department of Biology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

**Abstract** - Larval survivorships, growth rates, developmental rates, and emergence rates of *Cloeon dipterum* were studied under four constant temperatures (10°C, 15°C, 20°C, and 25°C) in the laboratory. Larval mortalities were relatively higher during the initial one-week period, but those tend to be stabilized as the experiments proceed. Judging from the growth and developmental rates, estimated optimal temperature for larval growth and development lies between 20°C and 25°C. Estimated larval period for emergence is less than 100 days.

**Key words** : *Cloeon dipterum*, mayfly, rearing, temperature, larval growth rate

#### 서 론

수서곤충은 담수생태계에서 가장 종류가 다양하고 개체수가 풍부한 생물로서 생태학적으로 중요할 뿐만 아니라, 많은 종류가 담수 환경 변화의 모니터링에 이용되고, 독성 실험재료로 사용되는 등 환경생물학적 중요성이 날로 커지고 있다 (Rosenberg and Resh 1993). 그러나 이들을 각종 응용분야에 활용하기 위해서는 이용 가능한 종들에 대한 생태학적 연구와 성장 발달에 미치는 환경 요인을 규명하여 실험실 내에서의 사육이 가능한 실험종을 탐색하여야 하며, 적절한 사육법이 개발되어야 한다.

본 연구의 대상인 연못하루살이 (*Cloeon dipterum*

Linnaeus)는 하루살이목 (Ephemeroptera), 꼬마하루살이과 (Baetidae)에 속하며, 우리나라의 담수역에 매우 풍부하게 서식하는 수서곤충이다. 다 자란 유충은 체장이 8~9 mm 정도이고, 체색은 담갈색으로 불규칙한 암갈색 무늬가 있다 (Fig. 1A). 유충의 제1~6배마디에는 2쌍, 제7배마디에는 1쌍의 기관아가미가 있으며, 제10배마디의 뒤쪽 가장자리는 둥글고 같은 크기의 가시가 나 있으므로 다른 꼬마하루살이류와 구별된다 (Bae and Park 1997). 아성충 (Fig. 1B)과 성충의 체색은 전체적으로 담갈색이고, 겹눈은 터번모양이며, 뒷날개가 없기 때문에 두날개하루살이로도 불린다 (Bae and Park 1997). 연못하루살이는 분포가 매우 넓어서 유럽에서 동아시아까지의 유라시아대륙과 북미대륙에 걸쳐서 북반구의 온대지역에 널리 분포하는 것으로 알려져 있다 (Sowa 1975, Edmunds *et al.* 1976; Bae and Park 1997). 유충은 수초가 풍부한 연못, 습지, 웅덩이, 하천 중하류나 강의 유속이

\* Corresponding author: Yeon Jae Bae, Tel. 02-970-5667,  
Fax. 02-970-5974, E-mail. yjbae@swu.ac.kr

완만한 가장자리 등 주로 담수의 정수역에 매우 풍부하게 나타나며, 잠자리 유충과 같은 포식성 수서곤충뿐만 아니라 작은 물고기의 먹이가 된다. 성충은 비행능력이 뛰어나서 우화지점으로부터 수 km 떨어진 불빛에 날아들기도 한다. 연못하루살이의 이러한 광범위한 분포와 높은 적응성으로 인하여 지구온난화의 영향 연구 등 환경생태학적 연구에 이용되고 있다 (McKee and Atkinson 2000).

본 연구는 한국의 대표적인 정수성 수서곤충인 연못하루살이의 실내 사육법을 개발하기 위하여 수행하였고, 우선적으로 유충 성장에 필요한 기본적 사육 조건과 최적 온도 조건을 알아보고자 배양기 내에서 사육실험을 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 유충 채집

본 연구의 재료는 경기도 남양주시 내촌면 음현리 주금산 (814 m) 기슭에 위치한 폭 20 m, 길이 30 m의 연못 (Fig. 1C)에서 연못하루살이 유충을 채집하여 사육에 이용하였다. 채집은 2002년 9월부터 2003년 9월까지 매월 조사지점에서 정기적인 채집을 실시하여 일반적인 생태 조사를 하였고, 2002년 11월 21일에 채집된 작은 유충이 풍부한 개체군을 본 사육실험에 이용하였다. 연못하루살이 유충의 채집은 수초가 있는 연못 가장자리 (Fig. 1D)에서 둥근 뜰채 (망목 1.0 mm)를 사용하여 채집하였다. 채집 당시의 수온은 15°C였다. 채집된 연못하루살이를 10 L 플라스틱 용기에 넣어 휴대용 공기펌프로 산소를 공급한 채 빠른 시간 (약 40분) 내에 실험실로 옮겼다. 실험실에서 연못하루살이 유충만을 골라낸 후 채집 당시 현지에서 채수한 물을 이용하여 조사지점과 동일한 온도 (15°C)의 배양기내 사육수조 (33 cm × 19 cm × 20 cm)에 두고 실험에 이용하였다.

### 2. 사육

연못하루살이의 사육을 위하여 4대의 배양기 (JISICO Low Temp Incubator; 광주기 16L:8D, 광기 약 1500 Lux)를 사용하였고, 배양기의 온도는 각각 10°C, 15°C, 20°C, 25°C로 고정하였다. 각 배양기에는 1개의 소형 사육수조 (13 cm × 20 cm × 10 cm)를 설치하였고, 각 수조에 망 (망목 0.3 mm)을 댄 원통형 사육통 (지름 6 cm × 높이 13 cm)을 6개 넣었다 (Fig. 1E, F). 야외에서 채집한 연못하루살이 유충 중에서 약 4~5 mm 정도 크기의 작은 개체

를 골라내어 사육 실험에 이용하였으며, 한 사육통에 연못하루살이 유충 5개체를 임의로 선택하여 넣어서 한 수조 당 총 30개체를 사육하였다. 실험용 배양기로 유충을 옮길 때 약 2일 동안 채집 당시의 온도 (15°C)로부터 각 실험에 이용되는 온도로 점진적으로 전환함으로써 급격한 온도 변화에 대한 스트레스를 줄였다. 산소공급은 공기펌프 (Master DK-8000, AC 220 V, 60 Hz, 3 W)를 이용하였으며, 각 수조 당 1개의 공기 공급관으로 약하게 산소를 공급하였다. 정수성 꼬마하루살이류는 주로 조류 (algae)를 섭식하는 것으로 알려져 있으므로 (Salas and Dudgeon 2001) 사육에 사용한 물은 조류가 풍부한 현지의 물을 0.1 mm 망으로 걸러서 사용하였다. 물은 주 1회 갈아주었으며, 수온차에 의한 스트레스를 줄이기 위해 물을 갈아주기 하루 전에 각 배양기에 따로 사육용 물을 넣어 두었다가 갈아주었다. 예비실험에서는 사육통에 작은 돌을 넣어 연못하루살이가 붙을 수 있도록 하였으나, 옆면이 망으로 되어 있는 사육통을 제작하여 사용하였으므로 지지용 돌을 넣어주지 않아도 무방하였다.

### 3. 측정

사육실험이 진행되는 동안 유충의 생존, 성장, 우화 등을 주 1회 확인하였다. 본 실험기간 동안 유충을 물로부터 반복적으로 꺼내어 현미경 하에서 체장을 측정할 경우 유충은 강한 빛과 육상환경에 노출되어 많은 스트레스를 받을 수 있으므로 본 실험에서는 유충의 체장 측정을 위한 새로운 방법을 고안하였다. 즉, 각 사육통에 있는 유충을 스포를 이용하여 (작은 개체인 경우는 스포이드를 이용) 물을 충분히 적신 흰색 천을 간 페트리디쉬에 옮기고, 이를 빠른 시간 내에 해부현미경 (Leica MZ8)에 부착한 디지털카메라로 유충의 등면을 촬영한 후, 그 페트리디쉬에 사육수조와 동일한 온도의 물로 채웠다. 물과 함께 유충을 사육수조로 되돌려 주는 방법을 사용하였다. 유충을 꺼내어 촬영한 후 되돌려 줄 때까지 가급적 시간을 줄여서 (10초 이내) 유충이 받는 스트레스를 최대한 줄였다. 촬영된 유충의 체장은 영상분석 프로그램을 이용하여 실제길이를 얻었다.

## 결과

### 1. 생존율

연못하루살이 유충을 약 100일간 사육한 결과, 사육온도에 따라 연못하루살이 유충의 성장기간과 생존율이 달라짐을 알 수 있었다 (Fig. 2). 사육과정에서 성숙하게

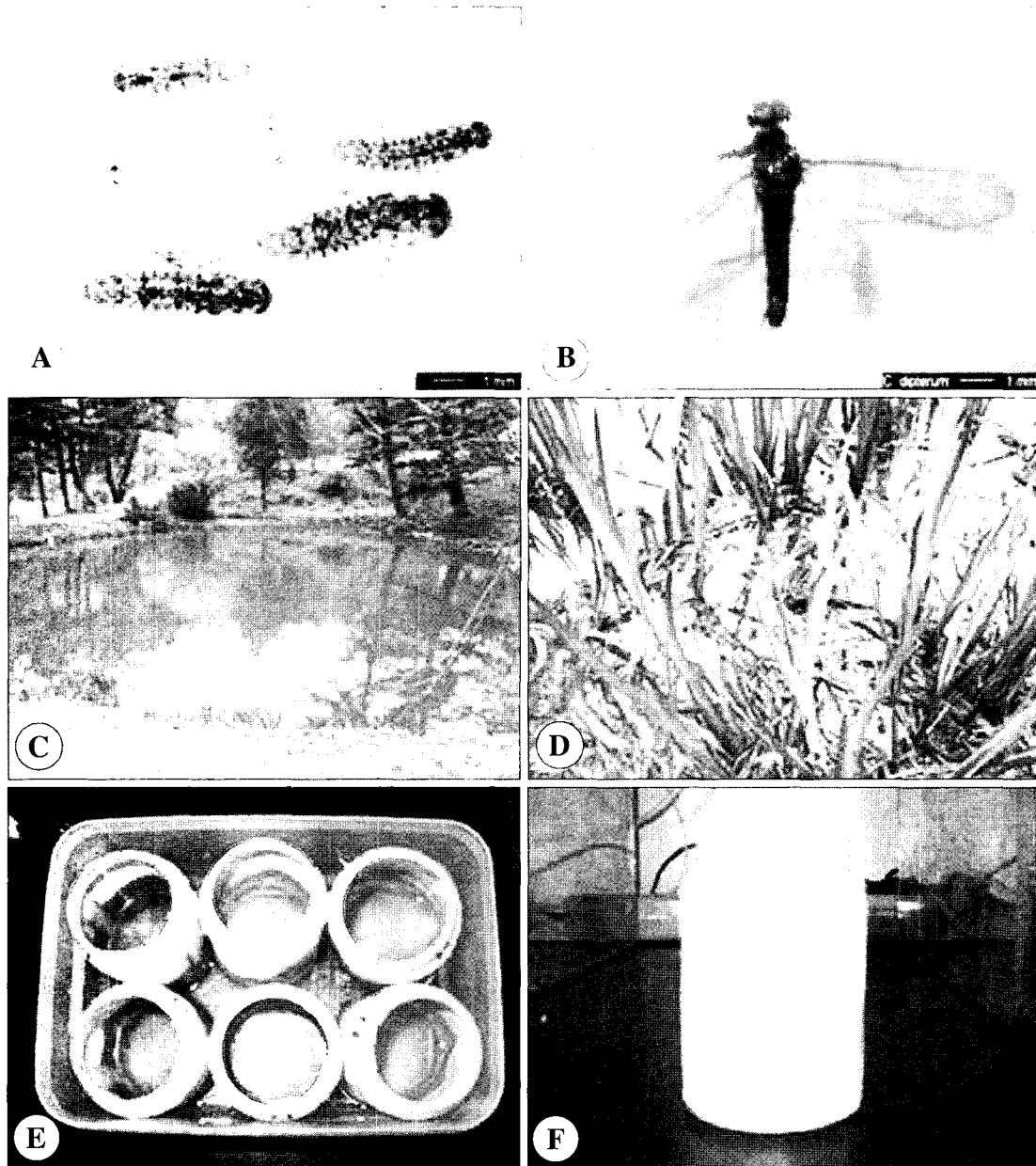


Fig. 1. *Cloeon dipterum* (A) larvae, (B) male subimago, (C) habitat, (D) microhabitat, (E) rearing aquarium with rearing cages, (F) rearing cage.

나 우화하지 못하고 사망한 경우가 많았다. 각 온도 별로 생존곡선과 사망개체수의 시간별 추이를 살펴보면, 실험 시작 후 일주일 사이에 10°C에서 10개체, 15°C에서 12개체, 20°C에서 10개체, 그리고 25°C에서 7개체가 사망하였다. 사육실험이 진행되는 동안 우화하지 못하고 사망한 총 개체수는 10°C에서 20개체, 15°C에서 20개체, 20°C에서 25개체, 그리고 25°C에서 24개체였다.

15°C에서는 사육 후 99일째에 모든 생존개체가 우화 직전의 종령 유충이 되거나 우화하여 실험을 종료하였

으며, 마찬가지로 20°C에서는 78일째에, 25°C에서는 가장 빠른 64일째에 실험을 종료하였다. 10°C에서는 99일째에 6개체가 미성숙 유충으로 남아 있었으나 15°C의 실험과 함께 실험을 종료하였다.

## 2. 성장률

사육온도에 따라 성숙유충의 체장도 달라짐을 알 수 있었다 (Fig. 3). 모든 온도에 있어서 시간의 경과에 따라

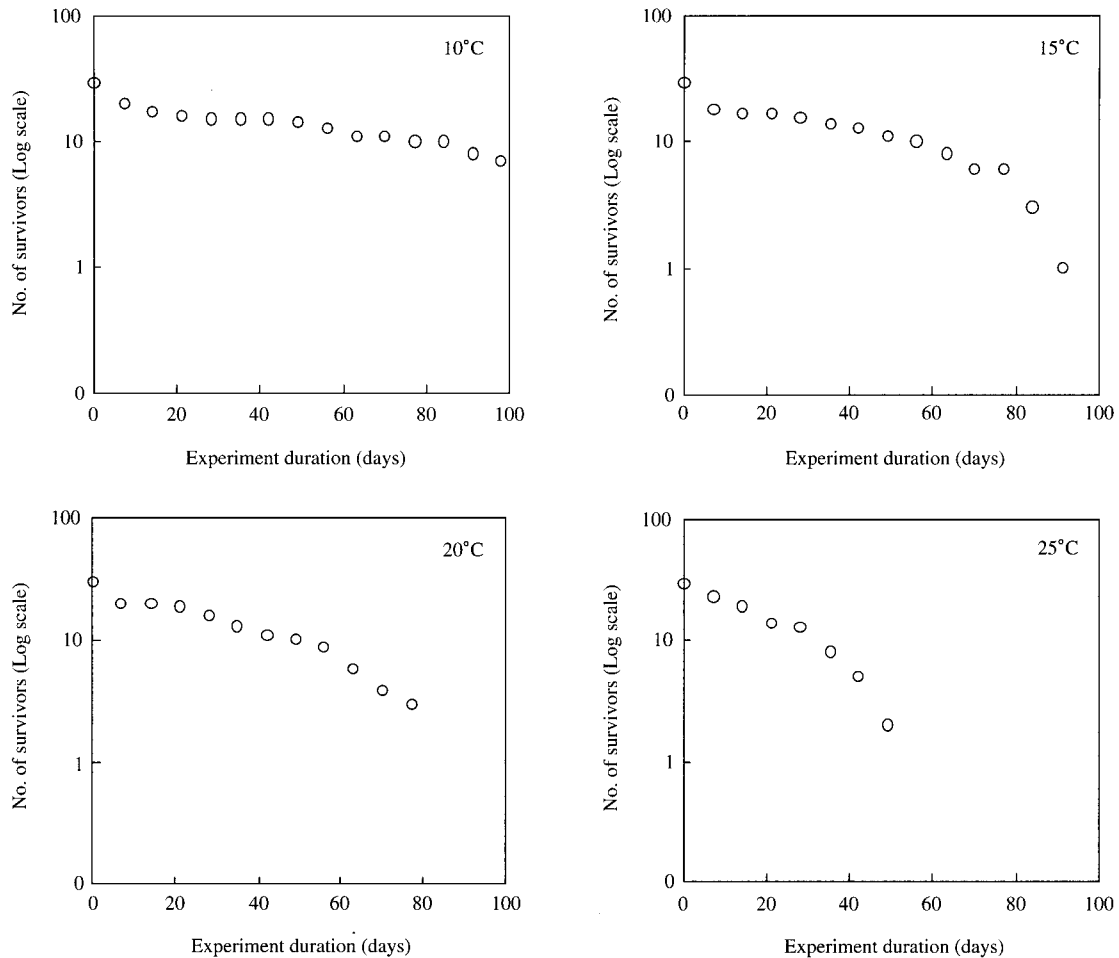


Fig. 2. Larval survivors of *Cloeon dipterum* in different temperature conditions.

유충의 체장이 점진적으로 증가하였지만 15°C에서는 평균체장이 78일째에 6.46 mm로 71일째에 측정된 7.48 mm보다 감소하는 현상을 보였다. 이는 다른 개체들보다 월등히 빠른 성장을 보이던 몇몇 개체가 71일부터 78일까지 사이에 우화하였기 때문인 것으로 사료된다. 실험 초기의 각 고정온도 별 평균체장에 대한 표준편차는 1.00~1.22의 범위를 보였으며, 15°C에서 가장 컸다.

각 고정온도에 대한 실험 반복횟수가 없어서 통계적 유의성에 대한 판단은 유보하여야 하겠지만, 실험 초기의 유충 체장의 변동계수와 각 고정온도에서 출현한 마지막 유충 및 성숙유충들의 체장의 변동계수를 비교한 결과, 각각 0.03과 0.09를 보여 실험말기에 나타나는 체장의 변동계수가 더 크다는 것을 알 수 있었다.

### 3. 발달률

유충의 발달률은 성숙하기까지 소요된 시간 및 우화하기까지 소요된 시간을 고려함으로써 판단할 수 있다. 10°C

에서 첫 성숙유충의 발생까지는 50일이 소요되었고 성충까지는 85일이 소요되었다. 15°C에서는 36일과 50일이, 20°C에서는 33일과 43일이, 그리고 25°C에서는 26일과 45일이 각각 소요되었다. 성숙유충의 출현은 25°C에서 가장 빠르게 나타났으나, 성충으로의 우화는 20°C에서 가장 빠르게 나타났다.

첫 성충 우화일을 근거로 온도에 따른 유충의 발달률을 추정해 보았다 (Fig. 4). 20°C에서 가장 높은 발달률을 보였으며, 10°C에서 가장 낮은 발달률을 보였다. 발달률이 다시 감소하기 전인 20°C 이하에서 온도와 발달률과의 관계를 알아보았다. 그 결과, 1°C 상승함에 따라 0.001씩 발달률이 상승하는 것으로 나타났다.

### 4. 우화율

성공적으로 우화한 연못하루살이의 수는 15°C에서 10개체로 가장 많았고, 25°C에서 6개체, 20°C에서 5개체였으며, 10°C에서 가장 적은 4개체였다. 이를 근거로 우화

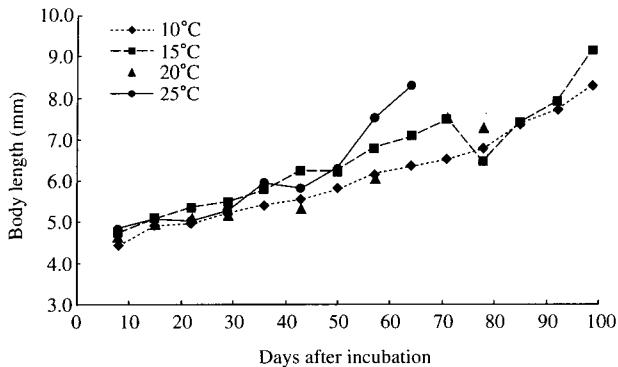


Fig. 3. Larval body length of *Cloeon dipterum* in different temperature conditions.

성공률을 살펴보면, 15°C에서 33.3%, 25°C에서 20.0%, 20°C에서 16.7%, 그리고 10°C에서 13.3%를 각각 나타내어 평균 20.8%였다. 10°C의 경우, 실험 종료시까지도 6개체가 유충상태로 생존하였으나, 우화 성공률의 산정에는 포함하지 않았다. 우화한 성충들을 살펴보면, 수컷과 암컷의 성비가 1:2.6으로 암컷이 월등히 많았다.

## 고 찰

온대지방에서는 하루살이의 생활사가 주로 일년에 일세대 (univoltine) 또는 이세대 (bivoltine)인 반면, 열대지방의 꼬마하루살이류는 자연상태에서 성장이 빠르고, 한 세대를 지나는데 약 45일 정도가 소요되며, 일년에 8~10 세대를 가질 수 있는 것으로 알려졌다 (Salas and Dudgeon 2001). 연못하루살이와 유사한 열대산 갈고리하루살이류 (*Proclotron* sp.)의 경우 실험실내에서 한 세대를 거치는데 22±2°C에서 33~34일이 소요되고, 일년에 11세대를 가질 수 있다고 알려졌다 (Salas and Dudgeon 2001).

본 연구에서 온도에 따른 연못하루살이의 사육실험 결과, 온도에 따라 생존율, 성장률, 발달률 및 우화율이 달라짐을 알 수 있었고, 20°C와 25°C사이에서 연못하루살이 유충의 성장 및 발달에 대한 적정온도가 있을 것으로 추정된다. 적정온도에서 어린 유충으로부터 성충으로 우화하는 데에 소요되는 기간은 본 실험에 사용한 유충 이전의 성장 기간을 고려하더라도 100일 이내일 것으로 추정되므로 이론적으로는 연 3회까지 성충이 출현할 가능성이 있다. 그러나 야외의 환경 상황은 실험실과는 차이가 있으며, 본 연구자들이 채집지의 연못에서 관찰한 미발표 자료에서는 성충이 연 2회 출현하는 것으로 나타났다.

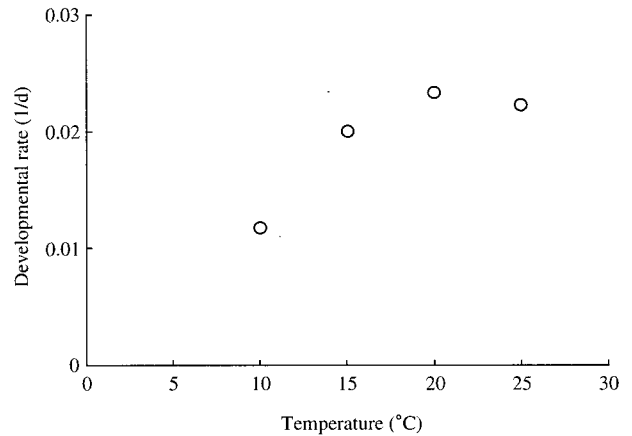


Fig. 4. Larval developmental rate of *Cloeon dipterum*.

어린 유충은 크기가 매우 작아서 발달 초기(1령)부터 종령 유충까지의 전 유충기간에 대한 사육은 어려움이 있다. 그리고 연못하루살이는 실험실 내에서 성충의 번식에 필요한 공간적 제약으로 말미암아 재생산이 어렵다. 또한 사육 초기에 유충의 사망률이 높은 결과에서 보여주듯이 연못 하루살이의 사육에는 보다 정확한 사육 조건과 사육 밀도가 필요하다. 그러나 이러한 제약에도 불구하고 연못하루살이는 우리나라의 담수에 매우 풍부하게 서식하고, 수서곤충 중에서 비교적 실험실 내의 환경에 잘 적응하여 자라므로 실험종으로 일정 부분 이용할 수 있으리라 판단된다. 연못하루살이는 난태생 (ovoviviparous)을 하며, 일부 개체군은 단위생식을 하는 것으로 알려져 있으므로 (Sowa 1975, Newkirk 1981, McKee and Atkinson 2000) 연못하루살이를 보다 안정적으로 사육하기 위해서는 알의 발생 실험, 단위생식 실험 등이 필요하며, 반복 사육실험을 통하여 표준 사육법과 먹이의 개발 등이 따라야 할 것이다.

## 적 요

실험실 내의 4개의 항온조건 (10°C, 15°C, 20°C, 25°C)에서 연못하루살이 (*Cloeon dipterum*) 유충의 생존율, 성장률, 발달률, 성충 우화율을 연구하였다. 사육 시작 1주 동안 유충의 사망률이 상대적으로 높았으나, 그 이후 안정되는 경향을 보였다. 온도에 따른 성장률 및 발달률로부터 판단하여 볼 때, 유충 성장과 발달의 적정온도는 20°C와 25°C사이일 것으로 추정되었다. 우화하기까지 소요되는 유충의 기간은 100일 이내 일 것으로 추정되었다.

## 사 사

본 연구는 환경부 차세대 연구과제 “환경오염에 대한 생태영향 평가 적합 생물지표 개발 - 수서 절지동물 (2002~2005)”의 지원으로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- Bae YJ and SY Park. 1997. Taxonomy of *Cloeon* and *Procloeon* (Ephemeroptera: Baetidae) in Korea. Korean J. Syst. Zool. 13:303-314.
- Edmunds GF, Jr, SL Jensen and L Berner. 1976. The mayflies of North and Central America. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- McKee D and D Atkinson. 2000. The influence of climate change scenarios on populations of the mayfly *Cloeon dipterum*. Hydrobiol. 441:55-62.
- Newkirk MR. 1981. The biology of *Cloeon cognatum* (Ephemeroptera: Baetidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 74:204-208.
- Rosenberg DM and VH Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.
- Salas M and D Dudgeon. 2001. Laboratory and field studies of mayfly growth in tropical Asia. Arch. Hydrobiol. 153:75-90.
- Sowa R. 1975. What is *Cloeon dipterum* (Linnaeus, 1761)? Ent. Scand. 6:215-223.

Manuscript Received: December 29, 2004

Revision Accepted: April 30, 2005

Responsible Editorial Member: Inn-Sil Kwak  
(Hanyang Univ.)