

한국의 멸종위기종인 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur: 잠자리과, 잠자리목) 알의 발육과 온도의 관계

김동건¹ · 황정미¹ · 윤태중² · 배연재^{1,*}

¹고려대학교 생명과학대학, ²고려대학교 한국곤충연구소

Relationship between Temperature and Egg Development of *Nannophya pygmaea* Rambur (Odonata: Libellulidae), an Endangered Dragonfly in Korea

Dong Gun Kim¹, Jeong Mi Hwang¹, Tae Joong Yoon² and Yeon Jae Bae^{1,*}

¹College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

²Korean Entomological Institute, Korea University, Seoul 136-701, Korea

Abstract - This study was conducted to estimate relationship between temperature and egg development of *Nannophya pygmaea*, an endangered dragonfly species in Korea, using eight different temperature conditions (17, 20, 22, 25, 28, 30, 33, and 36°C). Eggs of *N. pygmaea* were collected from female adults inhabited a small wetland in Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do, Korea, in June 2007. As a result, hatching rates were 2.86, 17.09, 24.32, 39.67, 34.43, 40.57, 44.79, and 1.75% at 17, 20, 22, 25, 28, 30, 33, and 36°C, respectively. The nonlinear model of the temperature related to egg development was well fit to the modified Sharpe and DeMichele model. The derived lower developmental threshold temperature for egg hatching was 14.02°C ($y=0.005988x-0.084$, $r^2=0.99$), and the derived optimal development temperature was 30~35°C.

Key words : *Nannophya pygmaea*, Libellulidae, Odonata, egg hatching rate, developmental threshold

서 론

꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur)는 잠자리과 (Libellulidae)에 속하는 초소형의 잠자리로서 열대 및 아열대성 기후인 인도네시아, 말레이시아, 베트남 등 동남아시아와 중국 중남부 및 일본의 남부에 분포하며 (Ishida *et al.* 1988), 한국에 서식하는 꼬마잠자리는 이 종의 북방 한계에 속하는 개체군인 것으로 알려져 있다

(배 등 1999).

한국의 꼬마잠자리는 고산 습지나 목초 같은 매우 제한된 서식처에서만 발견되는 희귀종이며, 환경부에 의하여 멸종위기동식물 II급으로 지정되어 있다(배 등 1999). 꼬마잠자리는 습지보전을 위한 깃대종으로서 활용방안이 모색되고 있으나 이 종의 분포와 개체군 크기가 매우 제한적이므로 생활사 및 일반적 생태자료가 적은 실정이다.

꼬마잠자리에 대한 연구는 주로 행동학적 연구와 서식처의 형태 및 분포에 대한 연구가 이루어져 왔다(Kazuyuki *et al.* 1978; Tsubaki 1985; Tsubaki and Ono 1987;

* Corresponding author: Yeon Jae Bae, Tel. 02-3290-3408, Fax. 02-3290-3623, E-mail. yjbae@korea.ac.kr

김 1997a, b; 배 등 1999). 최근에 꼬마잠자리 알의 부화에 미치는 온도 영향에 대한 연구가 이루어졌으나(김 등 2006), 유충의 실내 사육이 용이하지 않기 때문에 온도와 발육의 관계에 대한 추가 검토가 필요하다.

본 연구는 꼬마잠자리 알의 임계발육온도 및 최적의 부화 온도조건을 파악하여 멸종위기종인 꼬마잠자리의 인공증식 및 서식처 내 보존에 있어서 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

꼬마잠자리 알의 온도와 부화간의 관계를 밝히기 위하여 김 등(2006)의 연구 방법과 동일하게 온도별 부화 실험을 수행하였다. 김 등(2006)에 의한 실험 온도 조건은 발육 임계온도의 추정은 가능하였으나 알의 최적발육온도 조건과 고온에서의 발육기간 등에 대한 결과가 부족하였다.

1. 알 부화 실험

실험에 사용된 꼬마잠자리의 성충은 환경부의 허가를 얻어서 2007년 6월에 경상북도 문경시의 한 산지 습지에서 채집하였다. 알의 채취는 꼬미를 바로 마친 암컷을 포획하여 현장에서 꼬마잠자리의 배 끝을 25 mL 플라스틱 병에 담긴 증류수에 접촉시켜 산란을 유도하였으며, 산란 직후 발생이 진행되는 것을 방지하기 위해 얼음을 채운 아이스박스에 보관하여 신속히 실험실로 운반하였다. 실험에 사용한 암컷은 모두 7개체이며, 각각 52, 150, 132, 117, 131, 185, 그리고 192개의 알(총 959개, 평균 137 ± 46.9)을 산란하였다.

실험은 17, 20, 22, 25, 28, 30, 33, 그리고 36°C의 항온 조건에서 2007년 6월 19일부터 2007년 8월 13일까지 55일간 진행하였다. Petridish(지름 150 mm × 높이 20 mm)에 각각 17.13 ± 9.22 (평균 ± 표준편차)개의 알을 넣은 후에 24시간 간격으로 배양액(증류수)의 상태(수위 15 mm 유지)와 알의 부화여부를 관찰하였다. 광주기는 16L:8D, 광도는 약 1,500 Lux로 유지하였으며, 조사 시 부화된 유충은 스포이드로 골라내었다. 각 온도에서의 부화율 차이는 Kruskal-Wallis 방법으로 검증하였다(Proc Nparlway: SAS institute 1996).

2. 발육모델

알의 저온발육임계온도는 온도별 발육기간을 역수로 전환하여 발육속도를 구한 후 온도와의 직선회귀를 통하

여 산출하였으며, 비선형 발육속도 모형으로는 Sharpe와 DeMichele(1977)이 제안하고, Schoolfield *et al.* (1981)이 수정한 아래의 식을 이용하였다.

$$r(T) = \frac{RHO25 \frac{T}{298.15} \exp\left[\frac{HA}{R} \left(\frac{1}{298.15} - \frac{1}{T}\right)\right]}{1 + \exp\left[\frac{HL}{R} \left(\frac{1}{TL} - \frac{1}{T}\right)\right] + \exp\left[\frac{HH}{R} \left(\frac{1}{TH} - \frac{1}{T}\right)\right]}$$

여기에서 $r(T)$ 는 절대온도(K)에서의 발육율(1/발육기간)이고, R 은 기체상수($1.987 \text{ cal degree}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)이며, $RHO25$ 는 상온(25°C)에서의 평균발육속도이다. HA 는 모델에서 가정한 속도조절효소(rate-controlling enzyme)가 저온에 의해 50% 활성을 나타내는 온도(K)이고, HL 은 속도조절효소가 저온에 의해 50% 활성화되는 것과 관련된 엔탈피의 변화이다. TH 는 속도조절효소가 고온에 의해 50% 정도로 활성이 저해되는 온도(K)이며, HH 는 발육상온에서 이와 관련된 엔탈피의 변화를 의미한다. 매개변수의 추정은 Wagner *et al.* (1984)이 제시한 SAS프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 알 부화 실험

모든 실험 온도에서 알의 부화가 진행되었으나, 부화율은 33°C에서 가장 높았고(44.79%), 17°C(2.86%)와 36°C(1.75%)가 다른 온도조건에 비하여 상대적으로 낮았으며($p < 0.001$), 그 외의 온도조건에서는 17.09~40.57%의 부화율을 나타냈다(Fig. 1). 김 등(2006)은 20~30°C

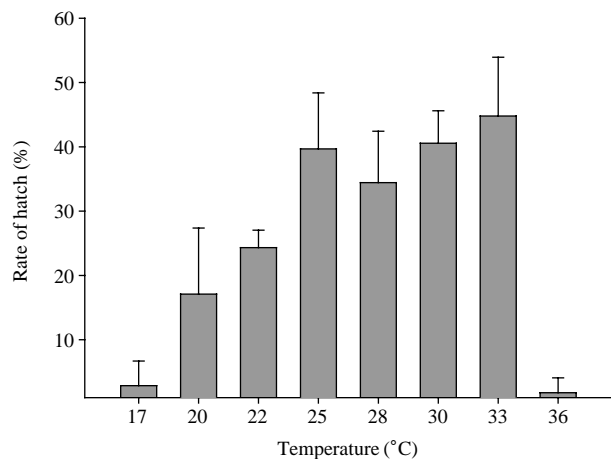


Fig. 1. Hatching rate of *Nannophya pygmaea* eggs under experimental temperature conditions. The vertical lines indicate standard deviation of the observed mean.

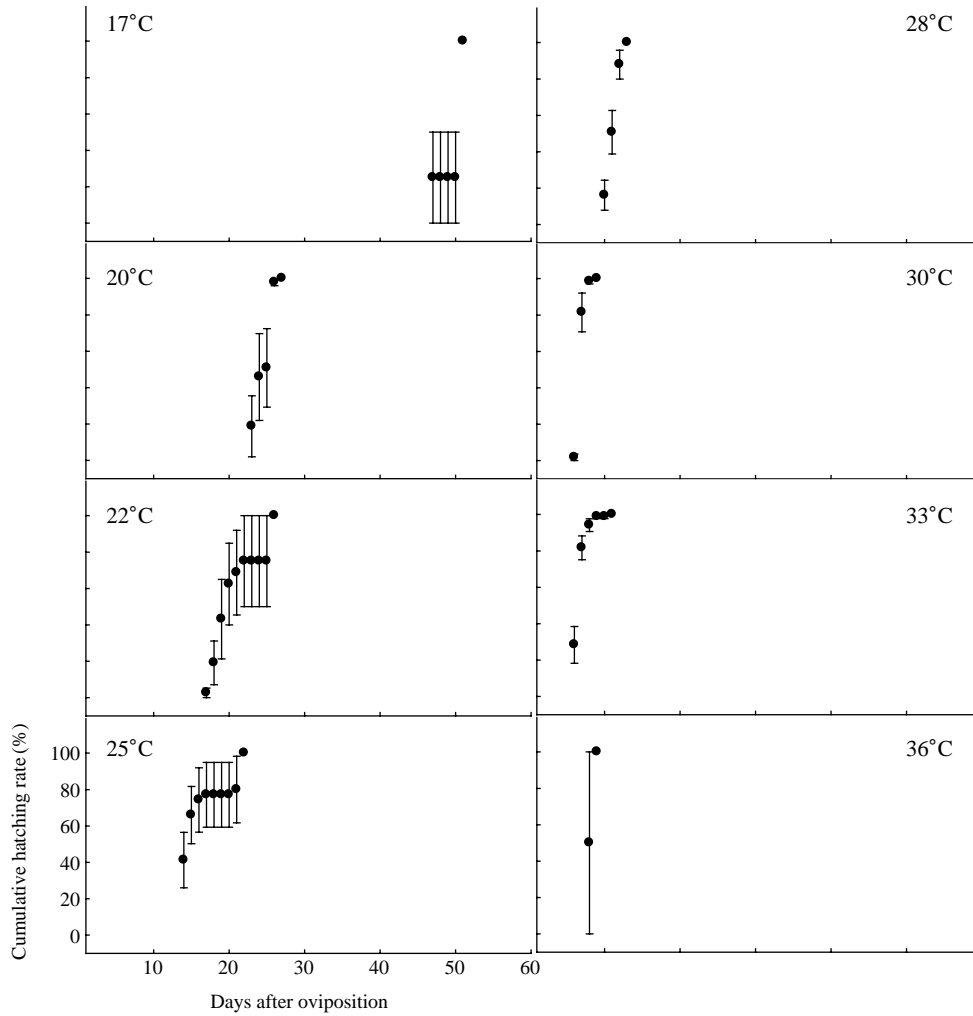


Fig. 2. Cumulative hatching rate of *Nannophya pygmaea* eggs under experimental temperature conditions. The vertical lines indicate standard deviation of the observed mean.

의 실험 조건에서 산란수 137 ± 46.9 와 80~90%의 부화율을 보고하여 본 연구 결과와 차이를 보였다. 본 실험에 사용한 알의 채란 시기(6월)가 김 등(2006)의 채란 시기(7월)와 차이가 있을 뿐더러, Tsubaki and Ono(1987)는 꼬마잠자리의 교미 성공률이 날씨와 관련이 있다고 언급한 점으로 보아 본 실험의 채란이 기상 조건이 흐리며 온도가 올라가는 오후 2~3시경에 이루어졌으므로 이러한 조건에서 채란된 알을 사용한 본 실험에서 산란율과 부화율이 상대적으로 낮았을 것으로 추정된다.

부화기간은 평균적으로 5.63 ± 2.69 일(평균±표준편차)이 소요되었으며, 온도조건에 따라 2일(36°C)에서 최대 10일(22°C)이 소요되었다. 부화 시작 시점은 17°C에서 47일이었고, 온도가 증가함에 따라 점차 빨라지다가 30°C와 33°C에서 6일로 가장 빨랐으며, 36°C(8일)로 온도가 증가함에 따라 다시 늦어지는 경향을 나타냈

다(Fig. 2).

알의 저온발육임계온도는 14.02°C ($y=0.005988x-0.084$, $r^2=0.99$)로 추정되어 김 등(2006)의 연구(14.3°C)와 유사하였다.

평균발육속도를 Schoolfield *et al.*(1981)과 Wagner *et al.*(1984)이 제시한 온도발육모델에 적용하여 비선형회귀분석을 한 결과는 Fig. 3과 같았다. 꼬마잠자리 알의 온도별 발육속도는 고온에서 발육이 지연되는 4 파라미터 모형에 적합하였으며, 따라서 *TL*과 *HL*은 Wagner *et al.*(1984)이 제안한 100과 $-10,000,000$ 을 사용하였다. 추정된 모형의 r^2 값이 0.99 이상이 되어 꼬마잠자리 알의 온도에 따른 발육양상을 잘 설명할 수 있었다. 속도조절효소의 활성이 50%로 억제되는 온도인 *TH*는 308.30°K 였으며, *RHO25*는 0.07, *HA*가 22962.12 그리고 *HH*가 86961.99로 나타났다.

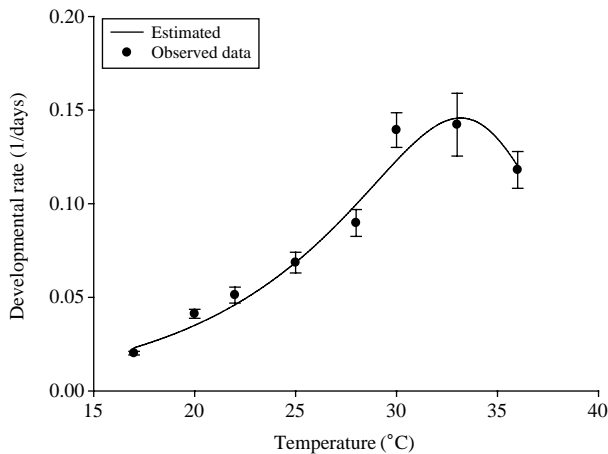


Fig. 3. Developmental rate of *Nannophya pygmaea* eggs under experimental temperature conditions. The vertical lines indicate standard deviation of the observed mean.

일반적으로 잠자리과의 종들은 저온발육임계온도가 약 10°C이고, 고온발육임계온도가 약 35°C이며, 발육최적온도가 약 25°C인 것으로 알려져 있다 (Desforges and Pilon 1986). 그러나 꼬마잠자리의 경우 알의 저온발육임계온도가 14.02°C이며, 발육최적온도는 30~35°C로 나타나 다른 일반적인 잠자리과의 종들보다 높은 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과는 꼬마잠자리가 열대지역에 널리 분포하는 종으로서 높은 온도조건에 적응된 생활사 양식을 보여주는 것으로 추정된다. 따라서 꼬마잠자리의 실내 사육을 통한 인공증식을 위해서는 이에 적합한 고온의 사육조건이 필요한 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 한국의 멸종위기곤충인 꼬마잠자리 알의 발육과 온도의 관계를 추정하고자 8가지 서로 다른 온도 조건 (17, 20, 22, 25, 28, 30, 33 및 36°C)에서 실시하였다. 꼬마잠자리의 알은 2007년 6월 경상북도 문경시 일대의 산간 습지에 서식하는 암컷 성충으로부터 채취하였다. 실험의 결과, 부화율은 17, 20, 22, 25, 28, 30, 33, 그리고 36°C에서 각각 2.86, 17.09, 24.32, 39.67, 34.43, 40.57, 44.79 및 1.75%였다. 각 온도에서의 알의 발달율 (평균발육속도)은 변형된 Sharpe와 DeMichele의 비선형 모형에 부합하였다. 알의 저온발육임계온도는 14.02°C ($y=0.005988x-0.084$, $r^2=0.99$)로 추정되었고, 발육최적온도는 30~35°C로 추정되었다.

사 사

본 연구는 환경부 차세대 연구과제 “습지보전 깃대종으로서 멸종위기동물인 물장군과 꼬마잠자리의 보존, 복원 및 증식기술 개발(2006~2008)”의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 김동진, 염진화, 윤태중, 배연재. 2006. 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur: Libellulidae, Odonata) 알의 부화에 미치는 온도의 영향. 한국응용곤충학회지. 45:381-383.
- 김태홍. 1997a. 지리산 왕등재습지의 곤충상. 왕등재습지 관속식물상 및 곤충상 예비 조사 보고서. 전북대학교 생물다양성 연구소, 국립공원관리공단 지리산동부관리소. pp. 14-24.
- 김태홍. 1997b. 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea*: Odonata)의 서식처 발견과 보존조치에 관한 제안. 한국응용곤충학회지. 36:284-285.
- 배연재, 염진화, 차진열, 윤일병. 1999. 꼬마잠자리 (*Nannophya pygmaea* Rambur: Libellulidae, Odonata)의 형태, 서식처 및 분포 기록. 한국곤충학회지. 29:287-290.
- Desforges I and JC Pilon. 1986. Action de la temperature sur le developement embryonnaire de Uhler (Anisoptera: Libellulidae). Odonatologica. 15:29-36.
- Ishida S, K Ishida, K Kozima and M Sukimura. 1988. Illustrated Guide for Identification of the Japanese Odonata. Tokai University Press, Tokyo.
- Kazuyuki F, H Koji, K Michiharu, O Naota, O Makoto, Y Eizi and Y Makoto. 1978. Ecological studies on a dragonfly, *Nannophya pygmaea* Rambur (Odonata: Libellulidae). I. Seasonal changes of adult population and its distribution in a habitat. Res. Pop. Ecol. 19:209-221.
- Schoolfield RM, PJH Sharpe and CE Magnuson. 1981. Non-linear regression of biological temperature-dependent rate models based on absolute reaction-rate theory. J. Theor. Biol. 88:719-731
- Sharpe PJH and DW DeMichele. 1977. Reaction kinetics of poikilotherm development. J. Theor. Biol. 64:649-670.
- Tsubaki Y. 1985. The adaptive significance of non-contact mate guarding by males of the dragonfly, *Nannophya pygmaea* Rambur (Odonata: Libellulidae). J. Ethol. 3:135-141.
- Tsubaki Y and T Ono. 1987. Effects of age and body size on the male territorial system of the dragonfly, *Nannophya pygmaea* Rambur (Odonata: Libellulidae). Anim. Behav. 35:518-525.

Wagner RL, HI Wu, PJH Sharpe, RM Shcoolfield and RN Coulson. 1984. Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. Ann. Entomol. Soc. Am. 77:208-225.

Manuscript Received: June 21, 2009
Revision Accepted: September 9, 2009
Responsible Editor: Jong Sun Kim