

줄날도래 (날도래목: 줄날도래과)의 우화 양상

허준미 · 진영현 · 박선진 · 원두희¹ · 배연재*

(서울여자대학교 생물학과, ¹서울여자대학교 자연과학연구소)

Emergence patterns of *Hydropsyche kozhantschikovi* (Trichoptera: Hydropsychidae). Hur, Jun Mi, Young Hun Jin, Sun Jin Park, Doo Hee Won¹, and Yeon Jae Bae* (Department of Biology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea; ¹Institute of Natural Science, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea)

Temperature-associated emergence patterns for a hydropsychid caddisfly, *Hydropsyche kozhantschikovi*, were studied from the Wangsuk creek in Kyonggi-do from April to June in 1999. Emerging adults were quantitatively collected by pyramid-shaped emergence traps. Water temperature was hourly monitored in 1999. The emergence began at April 15 when the daily mean water temperature rose to ca. 10 °C; it rapidly increased and peaked in ca. 10 days, and continued to May 25, lasting 40 days since the starting date. The average number of emerged adults was 35.8 inds./m² and their sex ratio was male (M) : female (F) = 1 : 2.04. The emergence of males was ca. 2 days earlier than that of females. Daily, the emergence was a bigeminans pattern representing the major peak (66.7%) just after dark (19:00~21:00) and the minor peak (11.1%) just before dawn (05:00~07:00). According to our degree day accumulation (DD) model, it respectively required 453.89DD (M: 440.48DD and F: 473.97 DD), 615.71DD (M: 610.18DD and F: 622.09DD), and 820.24DD (M: 828.25DD and F: 804.71DD) to begin, to reach the peak, and to finish the emergence.

Key words : *Hydropsyche kozhantschikovi*, Emergence, Temperature, Degree day, Emergence trap, Korea

서 론

수서곤충에 있어서 우화(emergence)는 미성숙 단계로부터 날개를 가진 성충으로의 전환을 의미할 뿐만 아니라 수중생태계로부터 육상생태계로의 이동을 수반하므로 그들의 번식과 분산에 중요한 의미를 갖는다. 또한 우화 연구를 통하여 수서곤충 개체군의 생활사 뿐만 아니라 군집 수준의 종구성, 생산력 등 많은 것을 밝힐 수 있다(Davies, 1984). 따라서 수서곤충의 연구에 있어서 정확한 우화 시기와 양상을 파악하는 것은 매우 중요하다.

일반적으로 우화 시기는 온도와 밀접한 관계를 가지므로 종에 따라 서로 다른 온도체계(thermal regime)를

가진다. 비록 광주기가 온도와 관련되어 우화 양상에 영향을 미치게 되나, 일정한 온도체계를 나타내는 곳에서만 그 영향이 직접적이라는 것이 일반적인 견해이다(Ward, 1992). 즉, 수서곤충 개체군에 있어서 우화의 동시성(synchrony)과 기간(duration)은 주로 온도체계에 따라 결정된다고 할 수 있다(Takemon, 1990; Newbold et al., 1994).

우화트랩(emergence trap)은 수서곤충의 정량적인 연구를 위하여 필수적인 도구로서 우화 시기 및 위치를 직접적으로 파악할 수 있고, 우화하는 성충을 직접 포함함으로써 보다 정확한 종의 동정을 할 수 있는 등 많은 장점이 있다(Davies, 1984; Tanida and Takemon, 1992). 20세기초에 우화트랩이 처음으로 도입된 이후, 1970년

* Corresponding author: Tel: 02) 970-5667, Fax: 02) 970-5669, E-mail: yjbae@swu.ac.kr

대에 들어서 구미와 일본에서는 이의 사용이 일반화되었고, 종의 구성 및 다양성 연구 (Anderson and Wold, 1972; Flannagan and Lawler, 1972; Waringer, 1986; Tanida and Takemon, 1992; Masteller, 1993; Grant *et al.*, 1997; Leeper and Tayler, 1998; Stagliano *et al.*, 1998), 수서곤충 개체군의 우화 기간 및 동시성 연구 (Watanabe, 1989; Watanabe *et al.*, 1989, 1998; Newbold *et al.*, 1994), 온도와 관련된 우화 모델의 연구 (Takemon, 1990) 등에 이용되어 왔다. 그러나 우리 나라에서는 아직까지 수서곤충의 우화 양상에 대한 연구는 없었으며, 특히 우화트랩을 이용한 정량적인 우화 연구는 시도되지 않았다. 이는 수서곤충의 우화트랩은 하천에 설치하여야 하므로 제작과 관리에 다소 어려움이 있기 때문으로도 볼 수 있다.

줄날도래과 (Hydropsychidae)는 우리 나라의 하천에 매우 풍부하게 분포하고 있는 수서곤충으로서 그 유충은 자신이 분비한 점착성 견사로 작은 돌과 나뭇가지를 엮어서 집을 지으며, 그 집의 입구에 거름그물 (catch net)을 쳐서 물 속의 미세한 입자성 유기물질 (Fine Particulate Organic Matter)을 걸러먹기 때문에 하천생태계의 물질순환에 기여한다 (Wallace *et al.*, 1977). 줄날도래과 (*Hydropsyche kozhantschikovi* Martynov)는 줄날도래과 (Hydropsychidae)의 대표적인 종류로서 생물지리학적으로 널리 분포할 뿐만 아니라, 수질오염에 대한 내성의 범위가 넓기 때문에 우리 나라에서 도시나 마을 주변의 유기물 오염이 다소 진행된 하천에서 매우 풍부하게 나타나는 종류이다 (Hur *et al.*, 2000a).

우리 나라에서는 줄날도래과의 성충에 대한 분류학적 연구 (Hwang and Yoon, 1996), 줄날도래속의 유충과 성충의 관계를 밝힌 연구 (Hur *et al.*, 2000a, b) 및 이화학적 수질변화에 따른 개체군 변동에 대한 연구 (노와 윤, 1991)가 이루어졌다.

본 연구에서는 우리 나라의 전형적인 도시하천인 경기도 왕숙천에 가장 풍부하게 서식하고 있는 줄날도래의 우화 시기 및 양상을 우화트랩을 이용한 정량 조사를 통하여 파악하고자 하였으며, 특히 온도와 연관된 우화 시기 및 그 변화 양상을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역

한강 본류의 지류인 왕숙천은 근래의 인접 도로 확장 공사, 대규모 아파트 단지의 조성, 위락시설의 급증 등으

Table 1. Environmental factors at the study site of Wang-suk creek in 1999.

	mean	SD
Stream width (m)	60	
Water width (m)	18	
Water depth (cm)	17.20	6.96
Water velocity (m/sec)	0.55	0.23
pH	7.9	0.51
DO (mg/l)	11.1	2.47
BOD (mg/l)	3.3	1.05
COD (mg/l)	4.7	1.22
SS (mg/l)	4.6	3.74
T-N (mg/l)	6.200	2.466
T-P (mg/l)	0.203	0.350

로 하천 주변 환경이 크게 바뀌었고, 하천 바닥의 준설, 채널화 공사 등으로 말미암아 생물 서식 환경이 급격히 악화된 하천이다 (윤 등, 1993; 배 등, 1996). 왕숙천의 중류에 위치한 조사지점인 임송교 일대는 1980년대 이래 장기간 수서곤충 군집이 조사된 지점이기도 하다 (윤 등, 1993; 배 등, 1996). 조사 당시 본 조사지점에서 측정된 서식처 자료와 환경부가 본 조사지점에서 가장 인접한 왕숙천 중류의 상설 수질측정지점에서 모니터링하여 공개한 1999년도 연평균 수질자료는 Table 1에 제시하였다.

2. 채집 및 분석

1999년 4월부터 6월까지 경기도 남양주시에 위치한 왕숙천 임송교 일대에서 줄날도래의 우화 시기 및 양상을 파악하기 위하여 우화트랩을 이용한 정량적인 조사를 실시하였다. 1998년 3월부터 실시한 예비조사를 통하여 줄날도래가 주로 4월 중순에서 5월 초순 사이에 우화한다는 것을 미리 파악하였다. 또한 우화트랩을 설치하기 직전에 우화실험에 영향을 미치지 않는 지점에서 계류용 정량채집망 (Surber net: 50×50 cm, 4회)으로 유충의 정량 채집을 병행하였다.

줄날도래 성충에 대한 정량 조사는 1999년 4월 10일 [Julian day (JD): 100]에 왕숙천 임송교 상류 약 300 m에 위치한 정수-유수연속구역 (pool-riffle sequence)의 여울 (riffle)에 4개의 우화트랩을 설치하여 2일째 오후 4시에 (48시간 간격으로) 채집하는 것을 원칙으로 하였다. 또한 줄날도래의 시간대별 우화 양상을 조사하기 위하여 1999년 4월 26일에서 27일까지 24시간 동안 2시간 간격으로 조사하였다.

우화트랩은 외부를 망 (망목: 1.0 mm)으로 둘러싼 피라미드 모양 (1.0×1.0×1.7 m)으로 제작하였고, 상단부에 80% ethyl alcohol을 채운 통을 설치하여 우화된 날도래

성충이 모일 수 있도록 하였다. 우화트랩 속의 망에 붙어있는 성충은 망에 작은 창을 만들어 이를 통하여 추가로 채집하였다. 채집된 날도래 성충은 실험실에서 줄날도래류만을 골라낸 후 Hwang and Yoon (1996)을 이용하여 동정하였고, 동정된 표본은 80% ethyl alcohol에 보관하였다.

수온은 조사지점에 설치된 자동온도기록장치 (Onset Computer Corporation Model: Optic StowAway)를 통하여 1시간 간격으로 측정하였다. 또한 측정된 수온 자료를 적산온도 (degree day)로 변환하기 위하여 rectangle method [$\text{rectangle DD} = (\text{Tmax} + \text{Tmin})/2 - \text{Tb}$]를 사용하였으며 (Pedigo and Zeiss, 1992), 이 연구에서 Tb 는 0°C 를 사용하였다. 이는 아직 줄날도래의 생태에 대한 연구가 자세히 이루어지지 않았고, 일반적으로 대부분의 수서곤충은 0°C 이하에서는 거의 성장이 이루어지지 않기 때문이다 (Ward, 1992). 누적적산온도 (degree day accumulation)는 1999년 1월 1일을 기준으로 하였다.

자료의 분석은 조사시기와 우화트랩 별로 암수를 구분하여 정리하였다. 조사일수 및 온도변화에 따른 성충의 출현빈도를 구하였고, 이에 대한 통계적 처리 및 회귀분석을 실시하였다. 또한 출현 개체수의 누적비율을 구하여 이에 대한 통계적 처리 및 회귀분석을 실시하였으며 (Zar, 1984), 모든 통계적 처리와 회귀분석에는 SAS를 이용하였다 (SAS Institute Inc., 1989). 회귀분석 모형을 이용하여 우화 양상을 Phase I: 우화 준비기, Phase II: 우화 증가기, Phase III: 우화 감소기 및 Phase IV: 우화 종료기로 구분하였으며, 각 Phase의 경계 시점 (P)을 정할 때 P1과 P3은 조사일수의 증가율에 대해 출현개체수의 증가율이 동일한 시점을 구하여 결정하였고 (Brewer and McCann, 1982), P2는 변화율이 증가에서 감소로 전환되는 시점을 구하여 결정하였다.

결과 및 고찰

1. 온 도

조사지점에서의 기온 및 수온의 변화는 Fig. 1a에 나타냈다. 조사지점이 하천의 상류역처럼 수목에 의하여 덮이지 않은 하천의 중류역에 위치하므로 수온은 전형적인 온대지역의 연변화 및 일변화 양상을 나타냈다. 조사지점에서의 일일 기온은 연평균 13.26°C (± 10.27)로 $-9.3 \sim 29.9^{\circ}\text{C}$ 의 범위였고, 일일 수온은 연평균 14.04°C (± 9.09)로, $-0.47 \sim 29.29^{\circ}\text{C}$ 의 범위였다. 일일 기온과 수온의 연평균은 수온이 기온보다 0.78°C 높았고, 표준편

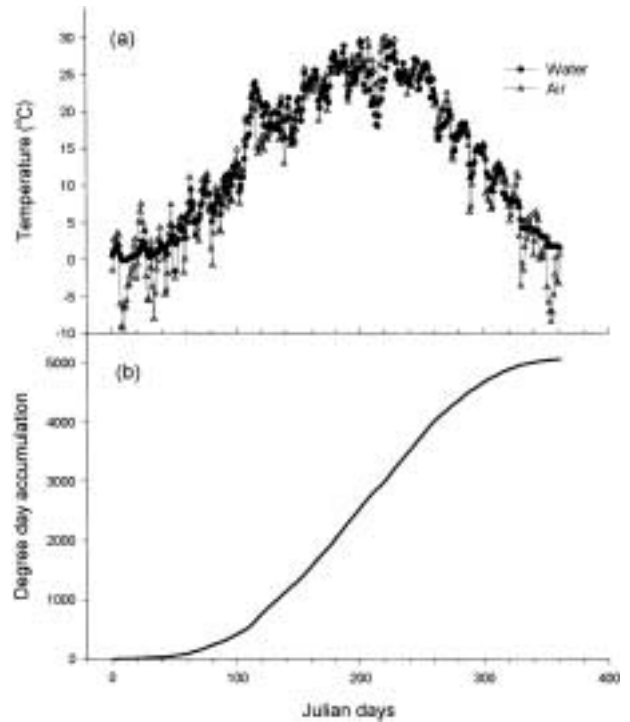


Fig. 1. Thermal regimes at the study site in the Wangsuk creek in 1999. (a) air and water temperature, (b) degree day accumulation: model $y = 6238.95/[1 + (x/220.93)^{-3.3527}]$ ($r^2 = 0.999$; $P < 0.0001$).

차도 조금 작게 나타나 이 조사지점이 온대지역 하천의 중류역의 특징을 나타냈다 (Allan, 1995). 또한 왕숙천의 중류역에 위치한 본 조사지점의 연간 누적적산온도가 5,066 DD로 나타나 (Fig. 1b) 동시기에 측정된 경기도 가평군에 위치한 가평천 중류역의 선바위교 지점의 4,335 DD (unpublished data)에 비하여 731 DD가 높게 나타난 것은 왕숙천의 일일 평균 수온이 약 2°C 높다는 것을 의미하며, 수온은 하천의 위치 뿐만 아니라 도시화 정도 같은 인위적인 주변 환경에 따라 큰 차이가 있음을 짐작할 수 있다.

2. 우화 양상

조사기간동안 우화트랩으로 채집된 줄날도래는 평균 35.8 inds./m^2 (± 22.94)로 나타났는데, 이것은 계류용 정량채집망 (Surber net)으로 정량채집을 통하여 확인된 우화시기 직전의 성숙 유충의 (번데기 포함) 출현개체수가 평균 38.5 inds./m^2 (± 4.95)라는 정량 조사의 결과를 잘 반영하였다.

한편 본 조사 기간동안 출현한 수컷과 암컷의 개체수는 각각 11.8 inds./m^2 (± 7.27)와 24.0 inds./m^2 (± 16.17)

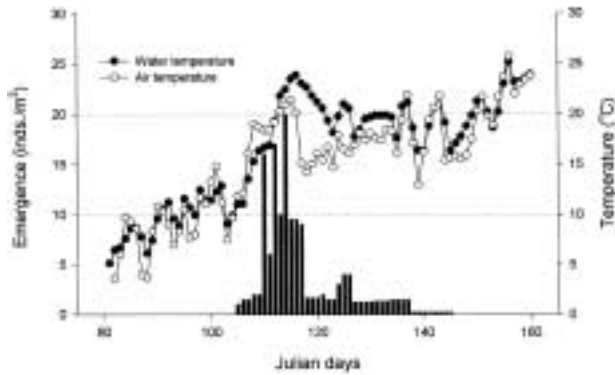


Fig. 2. Individual number of emerged adults of *H. kozhantschikovi* and temperature changes.

로 나타나 수컷보다 암컷의 출현개체수가 2배 정도(수컷:암컷 = 1:2.04) 많았다. 부표형의 우화 트랩을 이용한 동양줄날도래 (*Hydropsyche orientalis*)의 경우 수컷에 대한 암컷의 성비가 1:7.66으로 훨씬 더 불균형적인 성비를 나타냈고, 줄날도래속 (*Hydropsyche*)의 다른 종류와 꼬마줄날도래속 (*Cheumatopsyche*), 그리고 다른 과의 날도래류에서도 불균형적인 성비가 나타나는 것을 미루어 볼 때 (Flannagan and Lawler, 1972; Tanida and Takemon, 1992), 불균형적인 성비는 날도래류에서 흔한 현상으로 보인다.

일일 평균 수온이 약 10°C에 도달하여 몇 일간 지속되면서 4월 15일 (JD 105)에 우화가 시작되었고, 수온이 20°C 이상까지 급상승한 10일 동안 우화 개체수도 급격히 증가하였다 (Fig. 2). 그러나 그 이후 우화 개체수는 감소 추세를 나타냈고, 5월 25일까지 40일간 우화가 지속되었다. 일반적으로 수서곤충은 짧은 기간동안 우화가 집중되는 우화의 동시성 (synchrony)을 보이며, 특히 봄에 우화하는 종류나 높은 고도에 서식하는 종류에서 이러한 현상은 더욱 두드러지게 나타난다 (Sweeney and Vannote, 1982; Takemon, 1990). 또한 *Dolania americana* (Ephemeroptera: Behnigiidae)의 경우처럼 봄에 온도가 상승하는 것이 이들에게 우화의 시작 신호로 작용하여 종령 유충이 우화 직전인 24~48시간 전의 수온 변화에 직접적으로 영향을 받는다는 연구 결과를 미루어 볼 때 (Peters *et al.*, 1987), 줄날도래의 경우도 일일 평균 수온이 약 10°C에 도달하였을 때 이것이 우화의 시작 신호로 작용하였다고 추정할 수 있다.

3. 우화의 회귀모형

조사 기간동안 우화된 줄날도래의 개체수 변화를 보

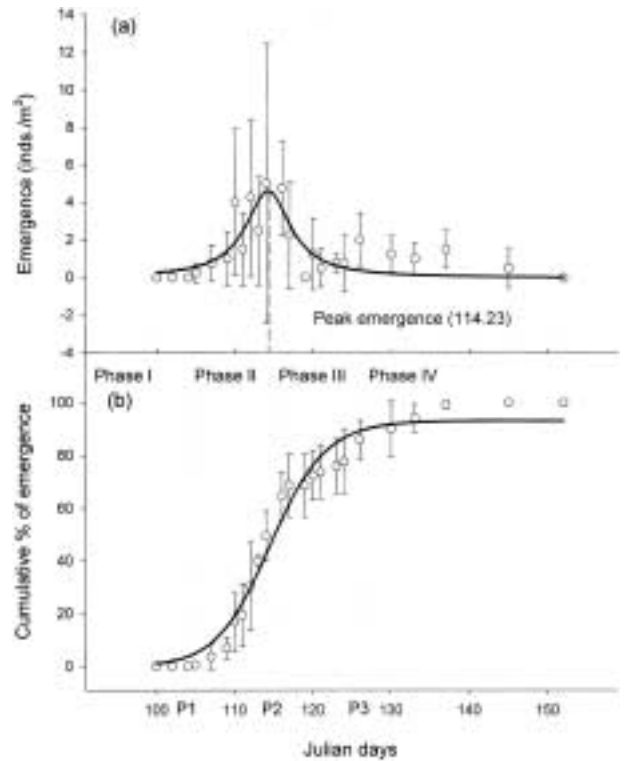


Fig. 3. Emergence pattern of *H. kozhantschikovi*. (a) number of emerged adults ($y = 4.59 / \{1 + [(x - 114.23) / 3.47]^2\}$, $r^2 = 0.625$, $P < 0.0001$), (b) cumulative percentage of emergence ($y = 93.26 / [1 + (x/114.26)^{-32.87}]$, $r^2 = 0.978$, $P < 0.0001$; P1: JD 103.64, P2: JD 114.43, P3: JD 125.99).

면 peak curve를 나타냈고, JD 114.23일 (4월 25일)에 우화 개체수가 정점에 도달하였다 (Fig. 3a). 이 시점은 우화 개체수의 누적백분율로 볼 때 줄날도래 우화의 변화 구간 중 Phase II에서 Phase III으로 전환되는 시점 (P2)인 JD 114.43일 (4월 25일)과 거의 동일하다 (Fig. 3b). 즉, 줄날도래는 우화가 시작된 후 약 10일 동안 누적 백분율 우화 개체수가 50%가 될 때까지 우화가 증가하다가 그 이후 감소하여 JD 128일 (5월 8일)경부터는 거의 출현하지 않았다.

줄날도래의 누적 백분율 출현개체수를 비선형 회귀 분석한 모형 (Fig. 3b)을 이용하여 변화율에 따른 우화 양상을 분석한 결과, 조사 시작 후 JD 103.64일 (4월 14일)에 우화가 시작되어 변화율이 급격히 증가하다가 (Phase II) JD 114.43일 (4월 25일)에 변화율이 최고치에 도달하였고, 그 이후 감소하여 (Phase III) JD 125.99일 (5월 5일)부터 종료기 (Phase IV)에 접어들었다.

줄날도래 암수의 우화 양상을 비교 분석하기 위하여

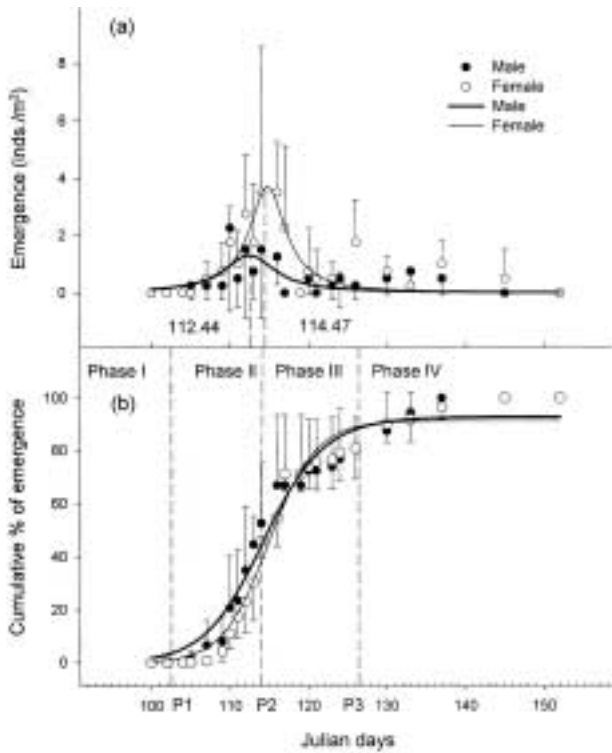


Fig. 4. Emergence patterns in the male and female adults of *H. kozhantschikovi*. (a) number of emerged adults (male: $y = 1.29 / \{1 + [(x - 112.44) / 4.08]^2\}$, $r^2 = 0.398$, $P = 0.0048$; female: $y = 3.69 / \{1 + [(x - 114.77) / 2.82]^2\}$, $r^2 = 0.710$, $P < 0.0001$), (b) cumulative percentage of emergence (male: $y = 92.82 / [1 + (x / 114.34)^{-29.78}]$, $r^2 = 0.970$, $P < 0.0001$; female: $y = 91.48 / [1 + (x / 114.97)^{-38.33}]$, $r^2 = 0.980$, $P < 0.0001$; male (dash) & female's (dot) P1: JD 102.65 & 105.09, P2: JD 114.09 & 114.82, P3: JD 126.41 & 125.17).

암수에 따른 날짜별 우화 개체수의 분포 (Fig. 4a)와 누적 백분율 출현 개체수의 비선형 회귀분석 (Fig. 4b)을 하였다. 먼저 날짜별 우화 개체수를 비교하여 볼 때 수컷이 암컷에 비하여 날짜별 우화의 변화폭이 상대적으로 작았고, 우화의 정점에 도달하는 시기도 2.03일 빨랐다 (Fig. 4a). 누적 백분율 우화 개체수를 비교할 때 우화가 시작된 시점 (P1)은 수컷과 암컷이 각각 JD 102.65일과 JD 105.09일로 나타나 2.44일의 차이가 났으며, 우화 증가기에서 감소기로 접어드는 시점 (P2)과 감소기에서 종료기로 접어드는 시점 (P3)은 수컷과 암컷이 각각 JD 114.09일과 JD 114.82일, 그리고 JD 126.41일과 JD 125.17일로 나타났다. 또한 누적 백분율 출현개체수가 50%에 도달하는 시점은 수컷과 암컷이 각각 JD 114.94일과 115.54일이었고, JD 117.91에 66.28%로 동일한 누

적 백분율 출현개체수를 나타냈다 (Fig. 4b). 이것은 줄날도래의 수컷이 2일 정도 먼저 우화를 시작하고, 시간이 경과하면서 우화 시기가 서로 가까워진다는 것을 의미한다. 수컷이 암컷에 비하여 성적으로 먼저 성숙하는 응성선숙 (雄性先熟, protandry) 현상은 여러 곤충에서 나타난다 (Thornhill and Alcock, 1983). 줄날도래의 경우에도 교미의 효율 (mating efficiency)을 높이기 위하여 수컷이 상대적으로 일찍 우화하는 것으로 생각된다.

4. 시간대별 변화

줄날도래의 시간대별 우화 양상을 조사한 결과 단위 면적 (1 m²)당 19:00 ~ 21:00 사이에 6개체 (66.7%)가, 21:00 ~ 23:00 사이에 2개체 (22.2%)가 출현하였고, 다음 날 05:00 ~ 07:00 사이에 1개체 (11.1%)가 출현하여 일몰 직후에 큰 peak가 나타나고, 일출 직전에 작은 peak가 나타나는 쌍생형 (bigeminans pattern) 우화 양상을 나타냈다. 우화시간대에 하천으로부터 우화하는 성충을 직접 관찰하거나 우화트랩 바깥이나 주변의 돌 등에 붙어있는 성충을 정성채집하여 비교한 결과도 이와 유사한 시간대별 우화 양상을 나타냈다. 수서곤충의 표류 행동 (drift behavior)에서 야간 표류일 경우 쌍생형 양상이 흔히 나타나는 것으로 알려져 있지만 (Allan, 1995), 수서곤충의 일일 시간대별 우화 양상은 잘 알려져 있지 않다.

5. 적산온도에 따른 우화 양상

적산온도에 따른 줄날도래의 우화 양상을 분석하기 위하여 Julian day에 따른 연간 누적적산온도의 비선형 회귀 분석을 실시하였을 때 sigmoid curve를 나타내고 있어서 (Fig. 1b) Julian day와 누적적산온도의 상관관계를 잘 설명하고 있다. 이 비선형 회귀분석 모형을 이용하여 각 Phase 변화시점에 대한 적산온도의 이론치를 구하였다 (Table 2). 전체 줄날도래 우화의 변화구간을 보면 Phase II에서는 162 DD 정도, Phase III에서는 205 DD 정도의 누적적산온도가 요구되었다. 암수를 구분하여 보면 수컷은 Phase II에서는 170 DD 정도, Phase III에서는 218 DD 정도의 누적적산온도가 필요하였고, 암컷은 Phase II에서는 160 정도, Phase III에서는 225 DD 정도의 누적적산온도가 필요하였다. 또한 실측치와 회귀 모형에 의한 이론치가 약 1~2일 정도에 해당하는 누적온도의 차이가 있었으나, 조사 기간 중의 일일온도가 평균 20°C 정도임을 감안할 때 이 수치는 여기에 적용된 회귀모형이 상대적으로 적합한 것임을 나타낸다.

이상과 같이 우화에 직접적인 영향을 미치는 온도체

Table 2. Assumed Julian day (JD) and degree day accumulation (DD) at the time of beginning (P1), peak (P2), and finish (P3) in the emergence of *H. kozhantschikovi*.

	Overall		Male		Female	
	JD	DD	JD	DD	JD	DD
P1	103.64	453.89	102.65	440.48	105.09	473.97
P2	114.43	615.71	114.09	610.18	114.82	622.09
P3	125.99	820.24	126.41	828.25	125.17	804.71

계의 회귀모형을 통하여, 특히 적산온도 모형을 통하여 줄날도래의 우화 시점, 기간 및 최대 개체수가 출현하는 시점 등을 예측할 수 있었다. 그러나 이 연구의 적산온도 모형을 1회의 조사만을 가지고 분석된 결과이므로 이 모형의 적합성 검증은 위해서는 시공간적으로 서로 다른 유사 연구의 수행이 추가로 요구되며, 또한 광주기 등 온도 이외에 우화에 영향을 주는 요인을 복합적으로 고려하여야 할 것이다.

적 요

온도와 연관된 줄날도래 (*Hydropsyche kozhantschikovi*)의 우화 양상을 연구하기 위하여 경기도 왕숙천에서 1999년 4월~6월 동안 조사를 실시하였다. 우화하는 성충의 정량채집은 피라미드형 우화트랩을 이용하였다. 수온은 1999년에 1시간 간격으로 모니터링하였다. 우화는 일일 평균 수온이 약 10°C에 도달한 4월 15일에 시작되었고, 그 이후 빠르게 증가하여 약 10일만에 우화의 정점에 도달하였으며, 5월 25일까지 40일간 지속되었다. 우화된 성충의 평균개체수는 35.8 inds./m²였고, 암수의 성비는 수컷:암컷 = 1:2.04였다. 수컷이 암컷보다 2일 정도 우화가 빨랐다. 일일 우화 양상은 일몰 직후(19:00~21:00)에 제 1정점(66.7%)이 나타나고, 일출 직전(05:00~07:00)에 제 2정점(11.1%)이 나타나는 쌍생형 양상이었다. 본 연구의 적산온도 회귀모형에 따르면 우화의 시점, 정점, 그리고 완료에 도달하기 위한 누적적산온도는 각각 453.89 DD(수컷 440.48 DD, 암컷 473.97 DD), 615.71 DD(수컷 610.18 DD, 암컷 622.09 DD), 그리고 820.24 DD(수컷 828.25 DD, 암컷 804.71 DD)였다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 핵심전문 연구비 (GRANT No. 981-0512-061-2) 지원으로 수행되었

음. 허준미와 진영현은 1999~2000년도 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었음.

인 용 문 헌

- 노태호, 윤일병. 1991. 줄날도래류 2종의 개체군 변동과 수중 이화학적 요인의 상관성. *환생지* **9**: 18-28.
- 배연재, 박선영, 윤일병, 박재홍, 배경석. 1996. 왕숙천 준설구간의 저서성 대형무척추동물 군집변동. *육수지* **29**: 251-261.
- 윤일병, 배연재, 이현철, 이상조. 1993. 서울 근교 왕숙천의 유역 환경변화에 따른 수서곤충 군집의 장기변동. *환생지* **11**: 97-109.
- Allan, J.D. 1995. *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Chapman and Hall, London.
- Anderson, N.H. and J.L. Wold. 1972. Emergence trap collections of Trichoptera from Oregon stream. *Can. Ent.* **104**: 189-201.
- Brewer, R. and M.T. McCann. 1982. *Laboratory and Field Manual of Ecology*. Saunders College Publ., New York.
- Davies, I.J. 1984. Sampling aquatic insect emergence. p. 161-227. In: *A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters*. (J.A. Downing and F.H. Rigler eds.). IBP Handbook 17, Blackwell Sci. Publ., Oxford, UK.
- Flannagan, J.F. and G.H. Lawler. 1972. Emergence of caddisflies (Trichoptera) and mayflies (Ephemeroptera) from Heming Lake, Manitoba. *Can. Ent.* **104**: 173-183.
- Grant, P., S.K. Burian and E.C. Masteller. 1997. Emergence of mayflies (Ephemeroptera) from stream of Erie Co., PA. *J. Pennsylvania Acad. Sci.* **70**: 105-112.
- Hur, J.M., J.H. Hwang, T.H. Ro and Y.J. Bae. 2000a. Association of immature and adult stages of *Hydropsyche kozhantschikovi* Martynov (Trichoptera: Hydropsychidae). *Korean J. Entomol.* **30**: 57-61.
- Hur, J.M., D.H. Won, T.H. Ro and Y.J. Bae. 2000b. Descriptions of immature and adult stages of *Hydropsyche orientalis* Martynov (Trichoptera: Hydropsychidae) with ecological notes. *Korean J. Appl. Entomol.* **39**: 25-29.
- Hwang, J.H. and I.B. Yoon. 1996. Taxonomic study of subfamily Hydropsychidae from Korea (Trichoptera: Hydropsychidae). *Entomol. Res. Bull. (KEI), Seoul.* **22**: 7-15.
- Leeper, D.A. and B.E. Taylor. 1998. Insect emergence from a South Carolina (USA) temporary wetland pond, with emphasis on the Chironomidae (Diptera). *J. N. Am. Benthol. Soc.* **17**: 54-72.

- Masteller, E.C. 1993. Comparison of tropical and temperate emergence phenology of aquatic insects from Puerto Rico and Pennsylvania. *J. Kansas Entomol. Soc.* **66**: 192-199.
- Newbold, J.D., B.W. Sweeney and R.L. Vannote. 1994. A model for seasonal synchrony in stream mayflies. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **13**: 3-18.
- Pedigo, L.P. and M.R. Zeiss. 1992. Analyses in Insect Ecology and Management. Iowa State Univ. Press, Ames, Ames, Iowa.
- Peters, J.G., W.L. Peters and T.J. Fink. 1987. Seasonal synchronization of emergence in *Dolania americana* (Ephemeroptera: Behnigiidae). *Can. J. Zool.* **65**: 3177-3185.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th ed., Vol. 1, Cary.
- Staglioni, D.M., A.C. Benke and D.H. Anderson. 1998. Emergence of aquatic insects from 2 habitats in a small wetland of the southeastern USA: temporal patterns of number and biomass. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **17**: 37-53.
- Sweeney, B.W. and R.L. Vannote. 1982. Population synchrony in mayflies: a predator satiation hypothesis. *Evolution* **36**: 810-821.
- Takemon, Y. 1990. Timing and synchronicity of the emergence of *Ephemera strigata*. p. 61-70. *In: Mayflies and Stoneflies* (I.C. Campbell ed.). Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- Tanida, K. and Y. Takemon. 1992. Trichoptera emergence from streams in Kyoto, central Japan. p. 239-249. *In: Proc. 7th Int. Symp. Trichoptera.*
- Thornhill, R. and J. Alcock. 1983. The Evolution of Insect Mating Systems. Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts.
- Wallace, J.B., J.R. Webster and W.R. Woodall. 1977. The role of filter feeders in flowing waters. *Arch. Hydrobiol.* **79**: 506-532.
- Ward, J.V. 1992. Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and Habitat. John Wiley & Sons, New York.
- Waringer, J.A. 1986. The abundance and distribution of caddisflies (Insecta, Trichoptera) caught by emergence traps in the 'R-trodat' research area of the Lunzer Seebach (Lower Austria) from 1980 to 1982. *Freshwater Biol.* **16**: 49-59.
- Watanabe, N.C. 1989. Seasonal and diurnal changes in emergence of *Potamanthodes kamonis* in a stream of central Japan (Ephemeroptera: Potamanthidae). *Japanese J. Limnol.* **50**: 157-161.
- Watanabe, N.C., I. Yoshitaka and I. Mori. 1989. Timing of emergence of males and females of *Ephoron shigae* (Ephemeroptera: Polymitarciidae). *Freshwater Biol.* **21**: 473-476.
- Watanabe, N.C., K. Hatta and K. Hisaeda. 1998. Seasonal and diurnal timing of emergence of *Ephoron shigae* (Ephemeroptera: Polymitarciidae) from four Japanese rivers. *Japanese J. Limnol.* **59**: 199-206.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical Analysis. 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey.