

벼에서 흑다리긴노린재 [*Paromius exiguus* (Distant)] (Hemiptera: Lygaeidae) 산란모델 및 생명표

박창규* · 박흥현¹ · 서보윤국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과, ¹농촌진흥청 연구운영과

Temperature-dependent Oviposition Model and Life Table Parameters of *Paromius exiguus* (Distant) (Hemiptera: Lygaeidae) Growing on Rice

Chang-Gyu Park*, Hong-Hyeon Park¹ and Bo Yoon SeoCrop protection Division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea
¹R&D Coordination Division, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: Temperature-dependent oviposition model and life table parameters of *Paromius exiguus* (Distant), the causal agent of 'pecky' rice grain were examined at eight constant temperatures (17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, and 35±°C) and a photoperiod of 14:10 (L:D) h. Unit functions of the oviposition model were developed and life table parameters were estimated. The longevity of *P. exiguus* adults decreased with increasing temperature (123.8 days at 17.5°C and 23.6 days at 32.5°C). Total fecundity was highest at 30°C (585.2 eggs/female) and lowest at 17.5°C (21.5 eggs/female). In order to develop a temperature-dependent oviposition model, adult aging-rate, temperature-dependent fecundity, age-specific survival rate, and age-specific cumulative oviposition rate equations were estimated. All unit equations ($r^2 = 0.92\sim 0.98$) except for the temperature-dependent fecundity equation ($r^2 = 0.83\sim 0.85$), described oviposition characteristics of *P. exiguus* adequately. Life table parameters of *P. exiguus* were estimated at various constant temperatures. Net reproduction rate (R_0) was highest at 30°C (118.21). Mean generation time (T) was shortest at 32.5°C (32.99 days) and doubling time (Dt) was shortest at 30°C (5.69 days). The highest values of intrinsic rate of increase (r_m) and finite rate of increase (λ) were 0.122 and 1.129 at 30°C, respectively.

Key words: *Paromius exiguus*, Temperature, Oviposition model, Life table, Rice

초 록: 벼에 반점미를 유발하는 흑다리긴노린재 [*Paromius exiguus* (Distant)]의 온도에 따른 산란 특성을 17.5~35°C 8개 항온조건 광주기 14L:10D에서 조사하고 산란모델 구축을 위한 단위 함수 개발 및 생명표 분석을 수행하였다. 성충 수명은 17.5°C에서 123.8일로 가장 길었고, 32.5°C에서 23.6일로 가장 짧았으며 온도가 올라감에 따라 수명도 짧아졌다. 암컷 한 마리당 총산란수는 30°C에서 585.2개로 가장 많았으며, 17.5°C에서 21.5개로 가장 적었다. 온도에 기반한 산란 모델 개발을 위해 성충노화율, 총산란수, 성충생존율 및 누적산란율 단위모델을 추정하였다. 총 산란수($r^2 = 0.83\sim 0.85$)를 제외한 3개의 단위모델 모두에서 높은 수준의 모델 적합성을 보였다($r^2 = 0.92\sim 0.98$). 온도에 따른 흑다리긴노린재 생명표 매개변수들을 추정하였다. 순증가율(R_0)은 30°C에서 118.21로 가장 높았다. 평균 세대기간(T)은 32.5°C에서 32.99일로 가장 짧았으며, 개체군 배수기간(Dt)은 30°C에서 5.69일로 가장 짧았다. 내적자연증가율(r_m)과 기간증가율(λ)은 30°C에서 가장 커 각각 0.122, 1.129였다.

검색어: 흑다리긴노린재, 온도, 산란 모델, 생명표, 벼

흑다리긴노린재는 [*Paromius exiguus* (Distant)] 한국, 일본에서 피해가 보고된 해충이며, 화본과 식물의 종실을 주 먹이로 사용한다. 2001년 경기도 김포시 대곶면 일대의 논에서, 2006

년에는 경기도 화성시 시화호 간척지 인근지역 논에서 대발생하여 심각한 반점미 피해를 발생시켰다. 우리나라에서는 성충으로 월동한 후 5월 중순경에 떠 [*Imperata cylindrica* (L.)]에서 1세대, 6월 하순경에 산조풀 [*Calamagrostis epigeios* (L.)]에서 2세대를 증식한 후 벼(*Oryza sativa* L.)가 출수하면, 논으로 침입하여 산란 및 증식하는 것으로 알려져 있으며(Park et al.,

*Corresponding author: changgpark@korea.kr

Received September 11 2017; Revised November 6 2017

Accepted November 8 2017

2009), 일본의 경우에도 연 2~3회 발생하는 것으로 보고되어 있다(Takimoto et al., 1989).

흑다리긴노린재와 같이 한 해 동안 여러 기주를 이동하며 여러 세대를 경과하는 해충들은 온도와 기주식물의 상태에 따라 발생량 및 발생 시기에 많은 영향을 받게 된다. 특히 온도는 곤충의 발육 및 산란, 개체군 밀도 변동, 발생상, 분포 등 개체군 기초 생태에 영향을 미치는 가장 중요한 물리적 요인으로 알려져 있다(Zahiri et al., 2010; Han et al., 2013; Wang et al., 2013). 온도에 따른 발육 및 산란 정보는 해충의 종합적 방제 전략 수립과 계절적 밀도 변동을 예측하기 위해서는 필수적인 정보이며, 특히 산란과 관련된 단위 모델 개발을 통한 산란 예측 모델의 구축은 한 세대에서 다음 세대로 개체군이 전이될 때 정량적, 정성적 변화를 추정하기 위한 유용한 도구가 될 수 있다. 아울러 개체군 생명표 연구는 절지동물 개체군의 잠재 증가율과 관련된 매개변수들을 추정하기 위한 중간 과정으로써 가장 적절한 수단이며(Maia et al., 2000), 국내외의 많은 연구자들이 개체군에 미치는 온도, 살충제 및 기주 등의 영향을 평가할 목적으로 수행한 연구 결과들을 보고하였다(Jeon et al., 2012; Kim et al., 2014; Liu et al., 2016; Park et al., 2017; Rostami, et al., 2017).

우리나라에서는 서해안 지역을 중심으로 많은 수의 간척지가 개발되어 있다. 간척지에 대규모의 나대지가 존재하는 경우, 이들의 배후에 조성되어 있는 수도 포장의 경우에는 언제든지 흑다리긴노린재의 돌발적 대량 유입에 따른 반점미 피해가 대규모로 발생될 여지가 있다. 따라서 벼의 출수 후 침입해 들어오는 흑다리긴노린재의 유입 시기와 벼 포장에서 밀도 증식에 관련한 정보를 예측하기 위해서는 산란 모델을 포함한 개체군 밀도 변동 모델 개발이 필요할 것으로 판단된다. 항온조건에서 흑다리긴노린재의 알부터 성충까지 발육기간 및 이 자료들에 기반한 다양한 온도 발육 모델 및 발육완료 모델들이 보고되었으나(Park et al., 2010), 아직까지 산란 모델과 관련된 연구 결과는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 온도에 기초한 흑다리긴노린재 산란 모델을 구축하기 위한 단위 함수들을 추정하고, 개체군 밀도 증가에 대한 온도의 영향을 직관적으로 판단할 수 있는 생명표 분석 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험 곤충의 사육 및 온도별 산란 실험

실험 곤충의 사육

실험 곤충은 경기도 김포시 대곶면 일대에서 2002년에 채집

하여 국립농업과학원 작물보호과 항온실($28 \pm 3^\circ\text{C}$, 40~60% RH, L:D = 24:0)에서 누대 사육한 개체들을 사용하였다. 개체군 사육을 위하여 추청벼(호숙~황숙기) 이삭을 플라스틱 비닐 백에 넣어 냉동보관 하며 먹이로 사용하였다. 이삭 4~5개를 겹쳐 기부를 탈지면으로 둥글게 말고 물 1 cm 정도가 들어있는 시험관(직경 5 cm, 높이 15 cm) 바닥까지 밀어 넣어 먹이로 제공하였다. 누대 사육을 위해 위와 같은 방법으로 완성된 먹이가 들어 있는 시험관에 성충 20~25마리를 넣고 망사천으로 막아서 성충의 탈출을 방지하며 3~4일 동안 산란을 받았다. 산란된 시험관은 약충이 부화할 때 까지 항온실에 보관하였으며, 약충들이 부화하기 시작하면 같은 날 부화한 약충들을 새로운 먹이가 들어 있는 시험관 용기에 60~80마리를 넣고 망사천으로 덮은 후 고무줄로 고정하여 약충들의 탈출을 막았다. 4명 이상으로 발육하게 되면 사육용기 당 40마리를 넘지 않도록 하여 과밀을 방지하였다.

온도별 산란 실험

항온실에서 누대 사육하던 5령 개체군에서 우화한지 24시간이 경과하지 않은 성충을 산란관의 유무로 암컷과 수컷으로 구분하였다. 벼 이삭 1개를 솜으로 말아 플라스틱 용기(직경 4 cm, 높이 6.5 cm)에 넣고 암, 수 1쌍을 집중 후 가는 망사천과 고무줄을 이용하여 탈출을 막았다. 성충 1쌍이 처리된 산란 용기는 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5 및 35°C 8개 온도가 설정된 다단실항온기(NK-system TG-100-ADCT, $\pm 1.0^\circ\text{C}$, RH 20~30%, L:D = 14:10)에 온도별로 20쌍 처리하였다. 각 온도별 처리 후 24시간 간격으로 먹이(용기)를 교체하였으며, 교체한 먹이(용기)는 항온실($28 \pm 3^\circ\text{C}$, 40~60% RH)에 보관하였다. 성충의 수명은 먹이 교체시 사망 여부를 판단하여 기록하였으며, 산란수는 보관 7일 후 부화한 약충의 수와 부화하지 못한 난의 수를 합하여 기록하였다. 처리된 수컷이 7일 이전에 사망한 경우에는 새로 우화한 수컷을 보충하였으며, 조사는 각 온도에서 모든 암컷이 사망할 때까지 수행하였다.

산란 자료의 분석

온도별 성충의 수명, 총산란수 및 산란기간 등의 분산분석은 SAS의 PROC GLM (SAS Institute, 2002) 과정을 사용하여 분석하였고, 통계적 차이가 인정된 경우 Tukey's Studentized Randg Test (HSD)를 이용하여 평균간 비교($P = 0.05$)를 실시하였다.

산란 모델의 개발

성충 산란 모델은 온도에 따른 성충 노화율 함수, 총 산란수 함수, 성충의 생리적 연령에 따른 누적 생존율 함수 및 누적 산란율 함수로 구성된다. 성충의 생리적 연령은 온도에 따른 일별 성충 노화율의 누적 값을 사용하였다.

온도에 따른 성충 노화율 함수

온도 (T)와 성충 노화율(1/성충수명)과의 관계는 Logan 6 (Logan et al., 1976) (수식 1)와 Lactin 2 (Lactin et al., 1995) 함수(수식 2)를 사용하였다.

$$r(T_c) = \psi(e^{(\rho T_c)} - e^{(\rho T_L - (T_L - T_c)/\Delta T)}) \quad (\text{수식 1})$$

수식 1에서 $r(T_c)$ 은 온도에 따른 발육율, ψ 는 최대발육율, T_c 는 온도(°C), ρ 는 최적온도에서 발육율 상수, T_L 는 치사 상한온도, ΔT 는 고온부분 경계지역의 온도 범위로서 생리적인 장애가 최우선 영향이 되는 온도 범위를 의미한다.

$$r(T_c) = e^{(\rho T_c)} - e^{(\rho T_L - (T_L - T_c)/\Delta T)} + \lambda \quad (\text{수식 2})$$

수식 2에서 $r(T_c)$ 은 온도에 따른 발육율, T_c 는 온도(°C), ρ 는 최적온도에서 발육율 상수, T_L 는 치사 상한온도, ΔT 는 고온부분 경계지역의 온도 범위로서 생리적인 장애가 최우선 영향이 되는 온도 범위를 의미하며, λ 는 이 식에서 음의 y절편 값을 가지게 만듦으로써 발육영점온도를 추정할 수 있도록 해주는 값이다.

온도별 총산란수 함수

온도 (T)에 따른 총산란수 함수는 Kim et al. (2009)이 발표한 논문의 함수(수식 3)와 Kim (1999)이 사용한 함수(수식 4)를 사용하였다.

$$f(T) = m \times e^{[1 + (\frac{n-T}{k}) - e^{(\frac{n-T}{k})}]} \quad (\text{수식 3})$$

수식 3에서 $f(T)$ 는 동일한 연령집단이 최초 경험한 온도에서 낳을 수 있는 총 산란수, T 는 최초 경험한 온도, m 는 최대 생식 능력, n 는 최대 생식력이 있는 온도를 의미하고 k 는 이 식을 정의하게 하는 매개변수이다.

$$f(T) = a \times e^{(-e^{\frac{T-b}{c}} - \frac{T-b}{c} + 1)} \quad (\text{수식 4})$$

수식 4에서 $f(T)$ 는 동일한 연령집단이 최초 경험한 온도에서 낳을 수 있는 총 산란수, T 는 최초 경험한 온도, a 는 최대 생식 능력, b 는 최대 생식력이 있는 온도를 의미하고 c 는 이 식을 정의하게 하는 매개변수이다.

생리적 연령별 누적 산란율 함수

성충의 생리적 연령 변화에 따른 누적 산란율 변화는 2-parameter Weibull 모델(Wagner et al., 1984)(수식 5), Sigmoid 모델(Neter and Wasserman, 1974)(수식 6)을 사용하였다.

$$C(px) = 1 - \exp[-(x/\eta)^\beta] \quad (\text{수식 5})$$

수식 5에서 $C(px)$ 는 동일한 연령집단이 낳을 수 있는 총 산란수에 대하여 생리적 연령 [표준화된 시간 px (발육기간/평균 발육기간)]까지의 누적 산란수의 비율을 의미하며, η , β 는 비선형 회귀식의 매개변수이다.

$$C(px) = e^{(\beta_0 + \beta_1 x)} / (1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}) \quad (\text{수식 6})$$

수식 6에서 $C(px)$ 는 동일한 연령집단의 낳을 수 있는 총 산란수에 대하여 생리적 연령 [표준화된 시간 px (발육기간/평균 발육기간)]까지의 누적 산란수의 비율을 의미하며, β_0 , β_1 는 비선형 회귀식의 매개변수이다.

생리적 연령별 생존율 함수

성충의 생리적 연령에 따른 생존율 함수는 3-parameter Weibull 모델(Wagner et al., 1984)(수식 7)과 Sigmoid 모델(Neter and Wasserman, 1974)(수식 8)을 사용하였다.

$$S(px) = 1 - \exp[-((x - \gamma)/\eta)^\beta] \quad (\text{수식 7})$$

수식 7에서 $S(px)$ 는 최초 동일 연령집단의 개체수에 대한 생리적 연령 [표준화된 시간 px (발육기간/평균발육기간)]에서 생존한 개체수의 비율을 의미하며, γ , η , β 는 비선형 회귀식의 매개변수이다.

$$S(px) = e^{(\beta_0 + \beta_1 x)} / (1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}) \quad (\text{수식 8})$$

수식 8에서 $S(px)$ 는 최초 동일 연령집단의 개체수에 대한 생리적 연령 [표준화된 시간 px (발육기간/평균발육기간)]에서 생존한 개체수의 비율을 의미하며, β_0, β_1 은 비선형 회귀식의 매개변수이다.

산란모델 개발과 관련한 4가지 함수들의 매개변수는 Table-Curve 2D ver.5.01(SYSTAT software inc., 2002)의 사용자 정의 비선형 모델 분석 모듈을 이용하여 추정하였다.

생명표 분석

흑다리긴노린재 성충의 생명표 분석을 위한 약충의 발육기간 및 사망률은 Park et al. (2010)이 보고한 논문의 자료를 사용하였으며, 성충의 성비는 0.5로 설정하였다. 생명표 작성 및 개체군 순증가율(R_0), 내적자연증가율(r_m), 평균세대기간(T), 개체군의 크기가 두 배가 되는 시간(Dt) 및 기간증가율(λ), 매개변수들은 Maia et al. (2000)이 제시한 방법으로 추정하였으며, 각 온도별 매개변수들의 통계적 차이 비교를 위한 분산, 표준오차를 Meyer et al. (1986)이 제안한 Jackknife방법으로 SAS (SAS Institute, 2002) 프로그램을 이용하여 계산하였다. 온도에 따른 매개변수들의 통계적 차이를 검정하기 위하여 Student's t-test를 사용하였다.

결과 및 고찰

온도별 산란 특성 및 산란 모델

흑다리긴노린재 성충은 조사된 모든 항온 온도조건에서 산란이 가능하였다. Fig. 1은 온도에 따른 우화 후 성충 산란 곡선 및 사망률의 일별 변화를 보여주고 있다. 일별 성충 산란 패턴을 보면 17.5°C를 제외한 모든 온도 조건에서 성충 우화후 급격히 산란수가 증가하다가 이후 서서히 감소하는 경향을 보여주고 있다(Fig. 1). 성충의 수명은 17.5°C에서 123.8일로 가장 길었고, 32.5°C에서 23.6일로 가장 짧았으며 온도가 올라감에 따라 수명도 짧았다($F_{7,124} = 24.17, P < 0.0001$). 온도에 따른 암컷 한 마리의 총산란수는 30°C에서 585.2개로 가장 많았으며, 17.5°C에서 21.5개로 가장 적었다($F_{7,124} = 19.87, P < 0.0001$). 온도별 산란 전기간은 17.5도에서 78.7일로 가장 길었고, 35°C에서 3.0일로 가장 짧았고($F_{7,124} = 69.33, P < 0.0001$), 산란 후 기간은 17.5°C에서 9.0일로 가장 길었고, 온도가 올라감에 따라 짧아져 35°C에서 0.7일로 가장 짧았다($F_{7,124} = 8.91, P < 0.0001$). 산란기간은 20°C에서 61.4일로 가장 길었고, 32.5°C에서 19.3일로 가장 짧았다($F_{7,124} = 9.11, P < 0.0001$). 우리나라 중부지방

의 8, 9월 평균기온은 21°C에서 28°C 사이인 것으로 보아 2세대 성충이 8월초에 벼에 침입한다고 가정할 경우 성충은 약 40일에서 60일가량 생존하고, 30일에서 50일 가량으로 산란하며, 산란수는 300개에서 400개 정도 될 것으로 추정된다(Table 1).

1년에 2세대 이상 경과하는 해충의 연간 개체군 밀도 변동 모델 구축을 위해서는 산란 모델 구축이 필수적이며, 이를 위해서 성충 노화율, 총 산란수, 연령 특이적 생존율 및 연령 특이적 누적 산란을 함수들의 개발이 요구된다. 온도에 따른 동일 연령 집단 성충 개체군의 산란 특성을 설명하기 위해서는 성충집단의 연령 특이적 생존율과 누적 산란을 함수의 추정이 필요하다. 이를 위해서는 우선적으로 성충의 생리적 연령 계산이 필요한데, 이때 사용할 수 있는 함수가 노출 온도에 따른 성충의 노화율 함수이다. 본 연구에서 사용된 두 개의 성충 노화율 함수 모두 비교적 높은 모형 적합성을 보였으나, 통계적으로 Logan 6 함수($F_{3,4} = 18.82, P = 0.00802, r^2 = 0.93$)가 Lactin 2 함수($F_{3,4} = 14.46, P = 0.01266, r^2 = 0.92$)보다는 조금 더 나은 적합력을 보였다. 다만 Logan 6 함수를 개체군 모델링에 사용할 경우 35.2도 이상 온도에서는 성충의 발육율이 0이 되어 성충 집단의 연령이 증가하지 않는다. 따라서 이 이상의 온도가 지속될 경우 사망률과 누적산란율에 미세한 영향을 줄 수 있으므로 사용에 주의를 요한다. 온도에 따른 흑다리긴노린재 성충의 총 산란수 함수를 보면 수식 3의 경우 최고 산란수를 가지는 온도는 26.83°C이며 암컷 성충 1마리 당 총 497개의 생식능력을 가지는 것으로 계산되었으며, 수식 4의 경우에는 28.99°C에서 약 524개의 총 생식능력을 가지는 것으로 추정되었다. 두 함수의 모형 적합성을 볼 때, 수식 3 ($F_{2,5} = 13.77, P = 0.00926, r^2 = 0.85$)이 수식 4 ($F_{2,5} = 12.11, P = 0.01212, r^2 = 0.83$) 보다 높은 적합력을 보였으나, 고온에서 해충 생식능력 감소가 급격하게 발생하는 일반적인 경향을 따르고자 하는 경우에는 35°C 이상에서 빠르게 총 생식능력이 감소하는 수식 4의 사용이 보다 적절해 보인다. 성충 연령에 따른 성충 집단의 생존을 변화는 3-parameter Weibull 함수($F_{2,683} = 6050.09, P < 0.00001, r^2 = 0.95$)나 Sigmoid 함수($F_{1,684} = 11905.2, P < 0.00001, r^2 = 0.95$) 모두 높은 적합력을 보였으며, 두 함수 모두 성충의 생리적 연령이 중간 정도(Normalized time = 1.0)되었을 때 개체군 중 50% 정도가 사망하는 것으로 계산되었다. 흑다리긴노린재 성충의 연령 특이적 누적 산란을 변화 또한 2-parameter Weibull 함수($F_{1,518} = 33504.6, P < 0.00001, r^2 = 0.98$)나 Sigmoid 함수($F_{1,518} = 23748.2, P < 0.00001, r^2 = 0.98$) 모두 높은 적합력을 보였다. 성충 개체군의 누적 산란을 패턴을 보면 성충 연령 초기에 급격하게 산란이 이루어져 성충의 생리적 연령이 1/4 정도 되었을 때(Normalized time = 0.5)에 50%정도, 중간 정도 되었을 때(Normalized time = 1.0)에 90%

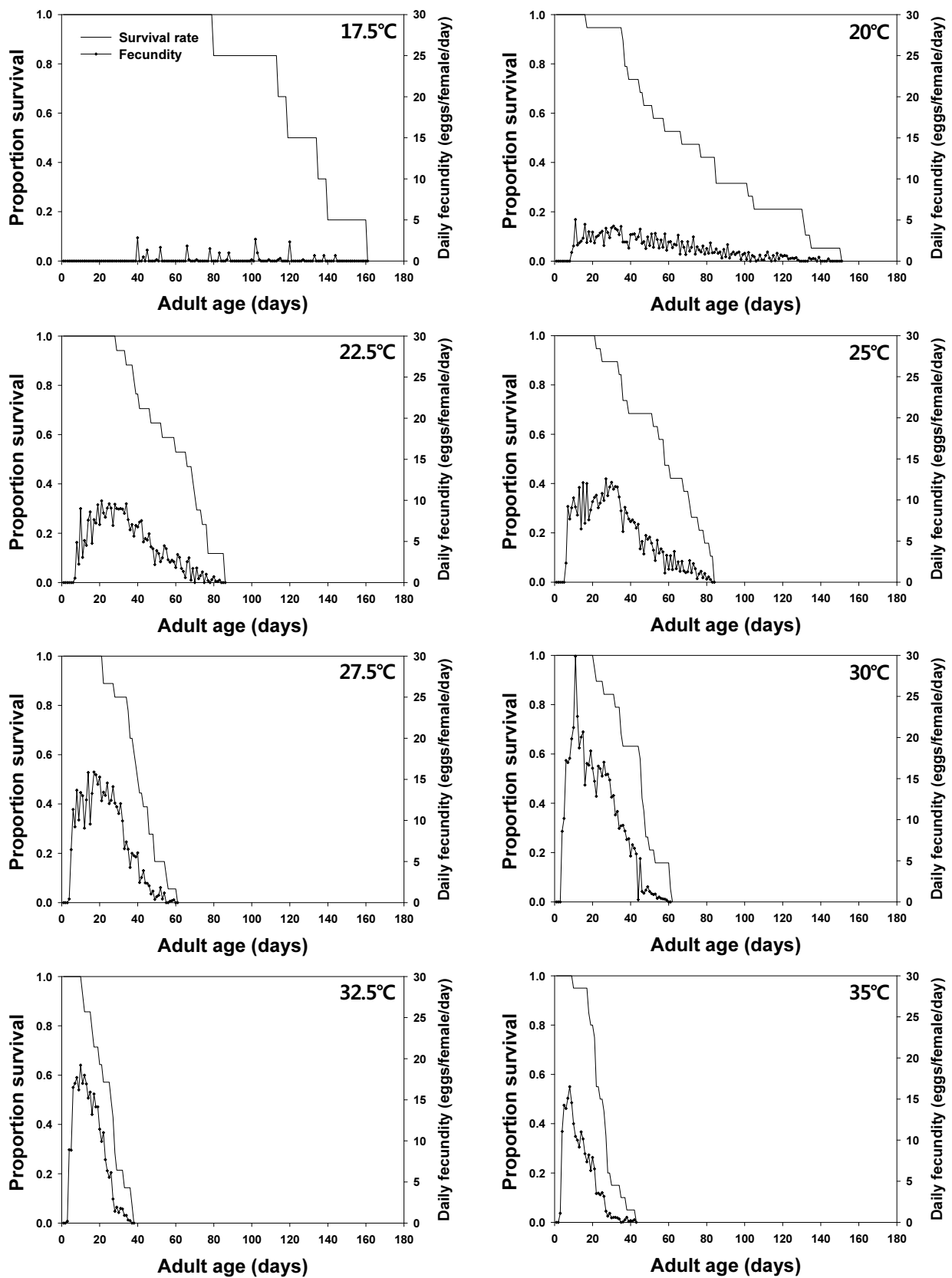


Fig. 1. Age-specific proportional survivorship and age-specific daily fecundity of *Paromius exiguus* at constant temperatures.

Table 1. Adult fecundity (mean \pm SE) and longevity (mean \pm SE) of *Paromius exiguus* at constant temperatures

Temp. (°C)	n	Pre-oviposition period (days)	Oviposition period (days)	Post-oviposition period (days)	Longevity (days)	Fecundity (no. eggs/female)
17.5	6	78.7 \pm 16.08a ¹⁾	36.2 \pm 13.23bc	9.0 \pm 3.92a	123.8 \pm 11.26a	21.5 \pm 5.04d
20.0	19	10.5 \pm 0.52b	61.4 \pm 8.53a	2.7 \pm 0.61b	74.7 \pm 9.24b	215.6 \pm 27.99c
22.5	17	8.2 \pm 0.67b	48.5 \pm 4.50ab	2.2 \pm 0.43b	58.8 \pm 4.54bc	352.2 \pm 34.88bc
25.0	19	6.1 \pm 0.19b	49.0 \pm 4.63ab	1.4 \pm 0.17b	56.5 \pm 4.68bc	455.1 \pm 43.53ab
27.5	19	4.6 \pm 0.22b	34.3 \pm 2.65bc	1.3 \pm 0.24b	40.2 \pm 2.55cd	420.4 \pm 37.60b
30.0	19	3.5 \pm 0.23b	37.4 \pm 2.71bc	1.3 \pm 0.27b	42.2 \pm 2.84cd	585.2 \pm 31.04a
32.5	14	3.5 \pm 0.27b	19.3 \pm 2.51c	0.8 \pm 0.19b	23.6 \pm 2.29d	316.6 \pm 40.23bc
35.0	20	3.0 \pm 0.11b	20.8 \pm 1.59c	0.7 \pm 0.40b	24.4 \pm 1.67d	218.5 \pm 16.58c

¹⁾Means followed by the same letter within a column are not significantly different ($P > 0.05$, Tukey's test).

Table 2. Parameter estimates for developmental rate and oviposition component equations of *Paromius exiguus* adults

Equations	Parameters	Estimated values	SE	r^2	
Adult aging rate	Logan 6 equation	ψ	0.00163	0.001126	0.93
		ρ	0.09722	0.025372	
		T_L	35.2	1.1189e+07	
		ΔT	0.12	6.1250e+06	
Adult aging rate	Lactin 2 equation	ρ	0.14163	0.287283	0.92
		T_L	48.0	55.76	
		ΔT	7.06	14.310	
		λ	0.00125	0.030356	
Temperature dependent total fecundity	Fecundity 1 equation	m	497.22	50.140	0.85
		n	26.83	0.798	
		k	5.91	0.950	
	Fecundity 2 equation	a	524.50	56.917	0.83
b	28.99	0.638			
c	-5.03	0.739			
Age specific survival rate	3-parameter Weibull equation	γ	3.5450	0.73742	0.95
		η	-2.6646	0.74006	
		β	7.7850	2.24715	
Age specific survival rate	Sigmoid equation	β_0	4.7651	0.09252	0.95
		β_1	-4.6837	0.09062	
Age specific cumulative oviposition rate	2-parameter Weibull equation	η	0.6372	0.00288	0.98
		β	1.8874	0.02324	
	Sigmoid equation	β_0	-2.9684	0.04757	
β_1	5.4604	0.08145			

이상의 누적산란율에 도달 하는 것으로 추정되었다(Table 2). 이상의 결과들에 비추어 볼 때, 출수 후 눈에 침입하는 성충을 대상으로 약제 방제를 시도할 경우 빠르면 빠를수록 산란되는 양을 줄여 다음세대 밀도를 효율적으로 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

생명표 분석

흑다리긴노린재의 온도에 따른 생명표 분석결과는 Table 3에서와 같다. 17.5°C와 35°C에서는 약충이 정상적으로 성충으로 발육이 불가능 하였기 때문(Park et al., 2010)에 생명표 분석에서는 제외하였다. 온도별 다음세대에 암컷 한 마리당 남길 수 있는 암컷 자손수를 의미하는 순증가율(R_0)은 30°C에서 118.21

Table 3. Life table parameters of *Paromius exiguus* at constant temperatures

Temperature (°C)	Parameters (mean ± SEM)				
	R_0	T	r_m	Dt	λ
20.0	19.73 ± 2.561d ¹⁾	105.23 ± 3.342a	0.028 ± 0.0011f	24.36 ± 0.910a	1.029 ± 0.0011f
22.5	76.96 ± 7.622b	75.61 ± 1.246b	0.058 ± 0.0010e	12.05 ± 0.201b	1.059 ± 0.0010e
25.0	84.19 ± 8.052b	64.33 ± 1.381c	0.069 ± 0.0015d	10.05 ± 0.217c	1.071 ± 0.0016d
27.5	112.03 ± 10.020a	48.46 ± 0.864d	0.097 ± 0.0017c	7.11 ± 0.125d	1.102 ± 0.0019c
30.0	118.21 ± 6.271a	39.19 ± 0.879e	0.122 ± 0.0028a	5.69 ± 0.128f	1.129 ± 0.0031a
32.5	33.247 ± 4.228c	32.99 ± 0.585f	0.106 ± 0.0031b	6.51 ± 0.187e	1.112 ± 0.0034b

¹⁾ values followed by the same letter within a column are not significantly different (P > 0.05, Student's t-test for pairwise group comparison). R_0 : net reproductive, T : Mean generation time, r_m : Intrinsic rate of increase, Dt : Doubling time, λ : Finite rate of increase.

마리로 가장 많았으며, 온도가 낮아짐에 따라 적어져 20°C에서는 19.73마리였다. 이번 세대의 출생부터 다음 세대의 출생까지 걸리는 시간을 의미하는 평균 세대기간(T)은 32.5°C에서 가장 짧은 32.99일 이었으며, 20°C에서 가장 길어 105.23일 이었다. 이전 개체군 밀도의 두 배가 되는데 걸리는 시간(Dt)은 30°C에서 가장 짧게 5.69일 이었으며, 20°C에서 가장 길어 24.36일 소요되었다. 내적자연증가율과 기간증가율은 30°C ($r_m = 0.122$, $\lambda = 1.129$)에서 가장 컸고, 이보다 온도가 낮아지거나 높아짐에 따라 작아져 20°C ($r_m = 0.028$, $\lambda = 1.029$)에서 가장 작았다. 특이한 것은 흑다리긴노린재의 경우 27.5°C보다 32.5°C에서 내적자연증가율과 기간증가율이 커 적온으로부터 높은 다소 높은 온도까지의 범위가 개체군 밀도 증식에 더욱 유리할 것으로 보인다.

본 연구 결과들은 간척지 배후지에서 돌발적으로 대발생하여 벼에 심각한 피해를 야기할 수 있는 잠재 돌발 해충인 흑다리긴노린재 개체군 밀도 변동 모델 구축에 필수적인 7개 단위 함수들의 매개변수와 벼에서의 생명표 매개변수들 정보들을 제공하고 있다. 이상의 정보들은 흑다리긴노린재 개체군 밀도 변동 모델 구축을 가능하게 하여 흑다리긴노린재가 벼로 침입하는 시기 및 최적방제시기 추정 등 개체군 밀도 관리 전략 마련을 위한 기초 자료로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 아울러 온난화 등 미래 기후 변화에 따른 수도 해충 개체군 밀도 변동 연구 및 피해 예측 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업 “미질향상을 위한 벼 병해충 방제 체계 연구” 과제를 통하여 기초 자료가 생산되었으며, “Tri-trophic 활성물질을 이용한 사과, 감 해충의 방제 기

술 개발” 과제(과제번호: PJ011756호)의 지원에 의하여 자료가 정리, 분석되어 발표하게 되었습니다. 실험 곤충의 사육 및 산란 조사에 도움을 주신 김정란, 김필련 여사님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

Literature Cited

- Han, E.-J., Choi, B.-R., Lee, J.-H., 2013. Temperature-dependent development models of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Q biotype on three host plants. *J. Asia-Pac. Entomol.* 16, 5-10.
- Jeon, S.-W., Kang, T.-J., Cho, M.-R., Kim, K.-H., Lee, S.G., Kim, J.S., Park, H.W., 2012. Adult longevity and life table analysis of striped fruit fly, *Bactrocera scutellata* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 485-488.
- Kim, D.S., 1999. Population phenology model of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). 33 p. Ph. D. dissertation. Seoul National University, Suwon, Korea.
- Kim, H., Baek, S., Kim, S., Lee, S.Y., Lee, J.H., 2009. Temperature-dependent development and oviposition models of *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Hemiptera: Alydidae). *Appl. Entomol. Zool.* 44, 513-523.
- Kim, S.H., Kim, K.-H., Hwang, C.-Y., Lim, J.-R., Kim, K.-H., Jeon, S.-W., 2014. Life table analysis of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) (Homoptera: Aphididae), on tah tsai chinese cabbages. *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 449-456.
- Lactin, D.J., Holliday, N.J., Johnson, D.I., Craigen, R., 1995. Improved rate model of temperature-dependent development by arthropods. *Environ. Entomol.* 24, 68-75.
- Liu, L.L., Dai, R.H., Yang, H., Jin, D.C., 2016. Sublethal effects of triazophos on the life table parameters of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae). *Fla. Entomol.* 99, 292-296.
- Logan, J.A., Wolkind, D.J., Hoyt, S.C., Tanigoshi, L.K., 1976. An analytical model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.* 5, 1133-1140.

- Maia, A.H.N., Luiz, A.J.B., Campanhola, C., 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. *J. Econ. Entomol.* 93, 511-518.
- Meyer, J.S., Ingersoll, C.G., McDonald, L.L., Boyce, M.S., 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: Jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology* 67, 1156-1166.
- Neter, J., Wasserman, W., 1974. *Applied linear statistical models. regression, analysis of variance, and experimental designs.* Ed. R. D. Irwin, Illinois.
- Park, C.-G., Choi, B.-R., Cho, J.R. Kim, J.-H., Ahn, J.J., 2017. Thermal effects on the development, fecundity and life table parameters of *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) (Hemiptera: Aphididae) on barley. *J. Asia Pac. Entomol.* 20, 767-775.
- Park, C.-G., Park, H.-H., Uhm, K.-B., Lee, J.-H., 2009. Seasonal occurrence and age structure of *Paromius exiguus* (Distant) (Heteroptera: Lygaeidae) on major host plants. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 21-27.
- Park, C.-G., Park, H.-H., Uhm, K.-B., Lee, J.-H., 2010. Temperature-dependent development model of *Paromius exiguus* (Distant) (Heteroptera: Lygaeidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 49, 305-312.
- Rostami, E., Madidi, H., Abbasipour, H., Allahyari, H., Cuthbertson, A.G.S., 2017. Life table parameters of the tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) on different tomato cultivars. *J. Appl. Entomol.* 141, 88-96.
- SAS Institute. 2002. *SAS User's Guide; Statistics Version 9.1ed.* SAS Institute. Cary NC.
- SYSTAT Software Inc. 2002. *TableCurve 2D Automated curve fitting analysis: version 5.01.* Systat software. inc. San Jose, CA.
- Takimoto, M., Asayama, T., Isogawa, Y., Nakagome, T., Katou S., Uebayasi. Y., 1989. Ecology and chemical control of *Paromius exiguus* Distant (Heteroptera: Lygaeidae). *Res. Bull. Aichi Agric. Res. Ctr.* 21, 69-77.
- Wagner, T.L., Wu, H., Sharpe, P.J.H., Coulson, R.N., 1984. Modeling distribution of insect development time: a literature review and application of the Weibull function. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, 475-487.
- Wang, L., Shi, P., Chen, C., Xue, F., 2013. Effect of temperature on the development of *Laodelphax striatellus* (Homoptera: Delphacidae). *J. Econ. Entomol.* 106, 107-114.
- Zahiri, B., Fathipour, Y., Khanjani, M., Moharramipour, S., Zalucki, M.P., 2010. Preimaginal development response to constant temperatures in *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae): picking the best model. *Environ. Entomol.* 39, 177-189.