

주홍날개들명나방의 생식과 발육에 미치는 온도의 영향

이기열* · 안기수 · 강효중 · 박성규 · 김태수

충북농업기술원

Effects of Temperature on Reproduction and Development of *Udea ferrugalis* (Lepidoptera: Pyralidae)

Ki-Yeol Lee*, Ki-Su Ahn, Hyu-Jung Kang, Sung-Kyu Park and Tae-Su Kim

Chungbuk Provincial ARES, Cheongwon 363-880, Republic of Korea

ABSTRACT : Effects of temperature on the development and reproduction of the *Udea ferrugalis* Hübner were investigated at various temperatures (10, 15, 18, 20, 23, 25, 27, 30°C). The development times of eggs, larvae, prepupae and pupae were shorter in higher temperatures than in lower ones. Egg and pupa did not develop at 10°C. The lower developmental threshold temperatures for eggs, larvae, pupae were 9.5, 9.6 and 11.9°C, respectively, and thier thermal requirments for development completion were 87.9, 200.9 and 119.7 degree-days at the same temperature, respectively. Adult longevity was 25.2 days at 15°C, 7.3 at 23°C and 5.3 at 30°C. Mean fecundity per female was higher at 20-23°C compared to other temperatures. Mean generation time in days (T) was shorter in higher temperature region. Net reproductive rate per generation (R_0) was lowest at 15°C (138.2) and it was highest at 20°C (265.4). The intrinsic rate of natural increase (r_m) was highest at 25°C as 0.247. As a result, it was considered that optimum range of temperature for *U. ferrugalis* growth was 20.0 to 23°C.

KEY WORDS : *Udea ferrugalis*, Development, Reproduction, Developmental threshold temperature, Degree-day, Intrinsic rate of natural increase

초 록 : 주홍날개들명나방(*Udea ferrugalis*)의 온도별(10, 15, 18, 20, 23, 25, 27, 30°C) 발육과 생식에 미치는 온도영향에 대하여 조사하였다. 난, 유충, 용기간은 고온에서 짧은 경향이었고, 10°C에서는 난과 용 발육은 완료되지 않았다. 각 태별 발육영점온도는 난이 9.5°C, 유충 9.6°C 그리고 용은 11.9°C이었고, 유효적산온도는 각각 87.9, 200.9, 119.7일도이었다. 산란전기간과 성충수명은 15°C에서 10.9일, 25.2일이었으나, 23°C에서는 2.5일, 7.3일, 30°C에서는 1.7일, 5.3일로써 온도가 높아질수록 그 기간이 짧았다. 평균산란수는 20°C와 23°C에서 가장 많았다. 세대당 순증식율은 (R_0) 20°C에서 265.4로써 가장 높았고, 내적자연증가율은(r_m) 25°C에서 0.247로 가장 높았다. 이 결과로써 주홍날개들명나방의 발육과 생식에 적합한 온도는 20°C에서 23°C이었다.

검색어 : 주홍날개들명나방, 발육, 생식, 발육영점, 유효적산온도, 내적자연증가율

주홍날개들명나방(*Udea ferrugalis*)은 나비목 명나방과에 속하는 곤충으로 주로 무, 배추, 딸기, 콩, 국화, 신선초, 천궁 등의 잎을 가해하는 해충이다. 성충은 황갈

색이며 날개편길이는 암컷이 18.5 mm, 수컷은 16.6 mm로 암컷이 큰 편이다. 난은 원형으로 회백색이며, 부화 유충은 유백색으로 두부는 흑색이며, 3령이후 유충은

*Corresponding author. E-mail: lky1746@cbares.net

두부와 체색이 황녹색으로 노숙유충은 13.8 mm 정도이다. 용은 진한 황갈색으로 암컷은 9.6 mm, 수컷은 8.6 mm이라고 하였다(Lee *et al.*, 1999).

분포지역은 한국, 일본, 인도, 서아시아, 서남아프리카 등이며, 국내에서는 콩, 국화 잎을 가해한다고 기록하고 있고(Park 1979; Cho, 1986), 일본에서는 콩, 무, 샐러리, 국화 잎을 가해하는 해충으로 기록되어 있다(Teiso *et al.*, 1991). 성충은 3월 중순 이후 무가온 하우스내에서 발생되기 시작하여, 1세대 경과 소요일이 20-40일 정도이기 때문에 년 6-7회 발생이 가능하다고 하였으며, 산란수는 실험실 조건에서 130-247개정도라고 보고하였다(Lee *et al.*, 1999).

그러나 국내에서 주홍날개들명나방의 생식과 발육에 미치는 온도의 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 해충의 효과적인 예찰과 방제를 위하여 1995년부터 1997년에 걸쳐 충북 진천지역 신선초 재배지에서 성충을 채집하여 산란과 발육에 미치는 온도의 영향을 구명하였고, 발육영점, 유효적산온도 그리고 개체군 증가율을 분석하여 생태적 특성을 검토하였다.

재료 및 방법

실험곤충

본 실험에서 사용된 주홍날개들명나방은 1995년 4월 이후 충북 진천군 신선초 재배지에서 채집하여 신선초 잎으로 누대 사육하면서 실험곤충으로 이용하였다. 실내 사육조건은 온도 23-25°C, 광주기 16L : 8D, 상대습도 60-70%로 하였다.

Table 2. Developmental days (Mean ± SD) of *U. ferrugalis* larvae at constant temperatures

Temp. (°C)	n	Instar				
		1st	2nd	3rd	4th	5th
15	30	11.0±2.06a*	7.0±3.34a	10.0±1.41a	11.4±3.06a	8.0±4.24a
18	30	6.4±0.49b	4.6±0.49b	3.6±1.10b	4.5±1.17b	5.2±0.97bc
20	30	4.2±0.49bc	3.2±0.63c	3.1±0.56b	4.5±0.59b	3.8±0.61c
23	30	2.0±0.80c	2.3±0.48d	2.5±0.84bc	3.5±1.22bc	2.7±0.63d
25	30	2.0±0.20c	2.2±0.39d	2.4±0.83bc	2.9±0.56bc	1.3±0.50d
27	30	1.7±0.47c	2.1±0.26d	1.4±0.50d	2.1±0.60c	3.3±0.59c
30	30	2.4±0.49c	2.1±0.40d	1.4±0.50d	2.4±0.55c	2.5±0.57cd

* Means followed by the same letters in the same column are not significantly different (P=0.05; Duncan's multiple range test [SAS Institute, 1991]).

온도별 발육기간(난, 유충, 용) 조사

온도별 발육기간을 조사하기 위하여 항온인 10, 15, 18, 20, 23, 25, 27, 30°C의 온도와 상대습도 60-70%, 16L : 8D의 광조건에서 수행하였다. 항온인 23-25°C에서 사육중인 성충에서 산란된 난을 받아서 페트리디쉬속에 신선초잎을 넣고 부화충을 매일 육안조사하였다. 이 때 각 처리 온도별 각각 80, 60, 94, 238, 291, 91, 80, 164개의 난을 공시하여 수행하였다.

온도별 부화된 유충을 페트리디쉬(Ø9.0 cm × 3.0 cm)에 증류수를 적신 여과지를 깔고 그 위에 먹이인 신선초 잎을 넣은 후 1마리씩 접종하여 개체사육하면서 매일 탈피각을 확인하여 령기별 발육기간과 용기간을 조사하였다. 이 때 각 처리 온도별 10개체를 1반복으로 3반복으로 조사하였고, 또한 각 발육기간마다 생존율을 조사하였다.

성충수명 및 산란수조사

온도별 성충수명 및 산란수 조사는 온도 15, 18, 20, 23, 25, 27, 30°C와 상대습도 70-80%, 16L : 8D의 광조

Table 1. Developmental days (Mean ± SD) of *U. ferrugalis* at constant temperatures

Temp. (°C)	n	Developmental stage				
		Egg	n	Larva	n	Pupa
10	80	— ^a	—	—	—	—
15	60	16.2±0.41a ^b (39.4) ^c	13	45.3±2.32a (43.3) ^c	10	93.1±10.80a (76.9) ^c
18	94	11.2±1.26b (47.2)	21	23.7±0.94b (70.0)	21	15.6±0.51b (100)
20	238	9.1±1.10ab (89.8)	24	19.0±0.75c (80.0)	24	11.2±1.40b (100)
23	291	5.9±1.11c (92.3)	28	13.2±1.12de (93.3)	24	7.1±1.06c (85.7)
25	91	5.0±0.35c (89.2)	27	12.1±1.17e (90.0)	26	6.0±0.86c (96.2)
27	80	4.7±0.71c (70.1)	25	10.4±0.74e (83.3)	24	6.5±0.58c (96.0)
30	164	4.8±0.85c (65.9)	19	10.8±0.96e (63.3)	15	6.2±0.76c (78.9)

^a not developed

^b Means followed by the same letters in the same column are not significantly different (P=0.05; Duncan's multiple range test [SAS Institute, 1991]).

^c % of hatchability, pupation and emergence

Table 3. Adult longevity in days (Mean ± SD) and fecundity of *U. ferrugalis* at constant temperatures

Temp. (°C)	n	Preoviposition period (days)	Oviposition period (days)	Fecundity (total eggs / ♀)	♀ longevity (days)
15	14	10.9 ± 5.68a*	5.9 ± 2.92a	148.1d	25.2 ± 9.52a
18	10	2.4 ± 0.97b	6.3 ± 2.00a	199.8c	10.8 ± 2.82b
20	20	2.4 ± 0.96b	6.2 ± 1.26a	265.1b	10.7 ± 2.91b
23	4	2.5 ± 0.58b	3.5 ± 1.00b	315.3a	7.3 ± 1.26c
25	20	2.1 ± 1.12bc	4.4 ± 0.94ab	250.2b	7.3 ± 1.69c
27	6	2.7 ± 0.52b	3.6 ± 0.53b	247.6b	5.3 ± 0.50d
30	20	1.7 ± 0.49c	3.4 ± 0.78b	248.8b	5.3 ± 0.72d

* Means followed by the same letters in the same column are not significantly different (P=0.05; Duncan's multiple range test [SAS Institute, 1991]).

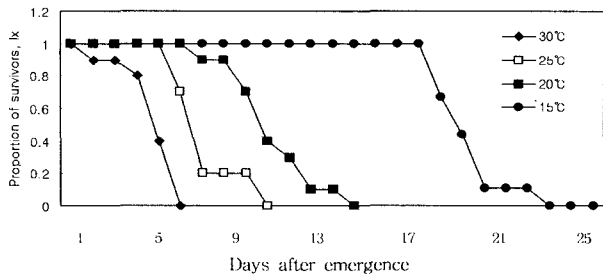


Fig. 1. Cumulative survival rates of *U. ferrugalis* adults at different temperatures.

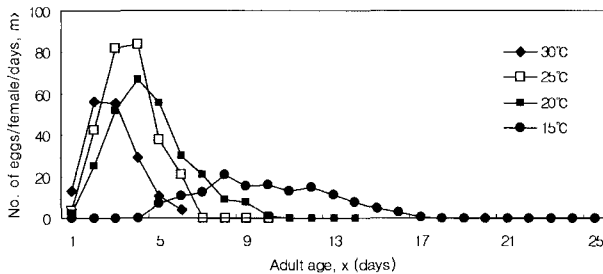


Fig. 2. Change of daily egg production of *U. ferrugalis* at different temperatures.

전에서 개체사육하면서 실시하였다. 페트리디쉬(Ø9.0 cm × 3.0 cm)에 증류수를 적신 여과지를 깔고 그 위에 먹이인 신선초 잎을 넣은 후 우화하여 나온 성충(♂ + ♀, 1쌍)을 온도별로 각각 14, 10, 20, 4, 20, 6, 20 반복으로 접종하여 수행하였다. 매일 신선초를 넣은 페트리디쉬를 교체하였는데 이는 페트리디쉬내 벽과 신선초 잎에 산란을 하기 때문에 매일 교체하면서 산란수와 성충수명을 육안 조사하였다.

Table 4. Estimated lower threshold temperature (T) and thermal constant (K) of *U. ferrugalis*

Developmental stage	Regression equation (r ²)	T (°C)	K (degree day)
Egg	y = 0.0115x - 0.1095 (r ² = 0.9269)	9.5	87.9
Larvae	y = 0.0052x - 0.0498 (r ² = 0.9394)	9.6	200.9
Pupae	y = 0.0106x - 0.1262 (r ² = 0.8662)	11.9	119.7
Egg to emergence	y = 0.0028x - 0.0237 (r ² = 0.9156)	8.5	363.3

r²: Coefficient of determination

T: Developmental zero point K: Total effective temperature

Table 5. Comparison of life table parameters of *U. ferrugalis* at different temperatures

Temp. (°C)	R ₀ ^a	T ^b	r _m ^c
15	138.2	101.9	0.048c*
20	265.4	37.5	0.149b
25	264.3	22.6	0.247a
30	141.4	20.7	0.239a

^aR₀: Net reproductive rate per generation.

^bT: Mean generation time in days.

^cr_m: Intrinsic rate of natural increase.

* Means followed by the same letters in the same column are not significantly different (P=0.05; Duncan's multiple range test [SAS Institute, 1991]).

발육영점온도 및 유효적산온도

온도와 발육기간과 선형관계에 있는 15, 18, 20, 23, 25, 27°C의 자료를 이용 발육영점온도를 추정하였다. 각 태별 발육기간과 부화유충부터 용기기간까지의 총 발육기간을 조사한 성적을 발육속도(1/발육기간)로 변환시킨 후 온도와 그 발육속도와 관계식과 발육영점온도를 구하였고, 발육 완료에 필요한 유효적산온도(발육기간 × (처리온도 - 발육영점온도))를 추정하였다 (Pruess, 1983).

생명표 통계량 추정

생명표 분석은 주홍날개등명나방의 총 수명을 x, 암컷성충의 일수별 생존율 1x, 암컷성충의 일수별 1마리 당 산란수를 Mx라고 했을 때 1세대 당 순증식율(R₀)은 ∑1x · mx, 1세대에 요하는 평균기간(T)은 ∑lx · mx/R₀, 내적자연증가율(r_m)은 (log_e R₀)/T로 계산하였고(Price, 1997), 암 · 수 한쌍을 10개로 하여 3 반복으로 일수별 수명과 생존율, 산란수를 조사하였다. 각 온도별 나타난 성비(0.5)를 이용하였다. 자료분석은 SAS를 이용하여 Duncan점정(P=0.05)으로 비교하였다(SAS Institute, 1991).

결 과

온도별 발육기간

처리온도별 주홍날개들명나방의 발육기간은 Table 1과 같다. 난 발육기간은 27°C까지는 온도가 높아질수록 감소하였으며 그 이상에서는 약간 증가하였다. 27°C에서는 15°C보다 발육기간이 3.3배 정도 짧았으며, 30°C보다는 0.1일 길었다. 10°C에서는 부화를 하지 못하였다.

유충기간은 저온에서 길었으며, 온도가 높을수록 짧아졌다. 30°C에서는 27°C보다 0.4일 길었으며, 10°C에서는 27°C보다 12.3배가 길었다. 또한 유충 령기별 발육기간(Table 2)은 모든 령기가 저온 조건인 15°C에서 가장 긴 발육기간을 보였으며, 령기간 차이는 1령기간이 가장 길었다. 그러나 23°C 이상에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

용기간은 15°C에서 93.1일, 23°C에서 7.1일로 온도가 높을수록 짧아졌으나, 27°C 이상에서 25°C보다 길게 나타나는 고온저해 현상을 보였다. 25°C에서는 15°C보다 발육기간이 15.8배 짧았다.

부화율은 23°C, 용화율은 23°C, 우화율은 18°C와 20°C에서 가장 높은 비율을 보였으며, 부화율과 용화율은 15°C와 18°C에서는 50% 이하로 적음이 아님을 알 수 있었고, 10°C에서는 부화, 용화 그리고 우화가 되지 않았다.

성충 수명 및 산란수

온도별 성충 수명은 Table 3과 같다. 성충수명은 온도에 영향을 받았으며 고온으로 갈수록 짧은 경향을 나타냈다. 27°C에서는 15°C보다 발육기간이 4.8배 정도 짧았으며, 30°C에서는 같았다. 온도별 성충의 생존 곡선은 Fig. 1과 같이 성충의 100% 생존율은 15°C에서 우화후 17일, 20°C에서 6일, 25°C에서 5일, 30°C에서 1일이었고, 50% 생존율은 각각 19일, 9일, 6일, 4일로 고온에서 생존율이 낮고 저온에서 높았다. 그 후 생존율은 급격히 떨어지는 경향을 보였다. 온도별 산란전기간은 15°C에서 10.9일로 길었으며, 18°C에서 30°C까지는 유의차가 없이 1.7-2.5일이 소요되었다. 산란기간은 15-20°C에서 5.9-6.3일로 23-30°C 산란기간보다 길었다. 산란수는 15°C에서 148.1개, 23°C에서 315.3개, 30°C에서 248.8개로 23°C에서 가장 많았다.

온도별 산란수는 25°C 이상에서 유의차가 없었다. 온도별 산란곡선은 Fig. 2와 같이 우화 후 일령별 산란 곡선은 온도가 높을수록 그 정점이 빨라져 20°C, 25°C, 30°C에서 4, 4, 2일째로 뚜렷하게 나타났으며 20°C와 25°C에서는 같은날 정점을 나타냈고, 15°C에서는 그 정점이 뚜렷하지 않았지만 산란기간이 17일로 가장 길게 나타났다.

발육영점과 유효적산온도 분석

평균 발육기간의 역수에서 구한 발육속도와 각 발육단계의 회귀직선에서 산출한 발육영점온도와 유효적산온도는 Table 4와 같다. 난의 발육속도와 온도간에서 고도의 정의관계를 나타내었으며($y = 0.0115x - 0.1095$, $r^2 = 0.9269$), 난 발육영점온도는 9.52°C이었고, 유효적산온일도는 87.9일도였다. 유충의 발육속도와 온도간에서도 고도의 정의관계가 성립되었으며($y = 0.0052x - 0.0498$, $r^2 = 0.9394$), 온도가 높아질수록 발육속도는 빠른 경향을 나타냈다. 유충 발육영점온도는 9.58°C이었고, 유효적산온일도는 200.9일도이었다. 용 발육속도와 온도와의 관계는 정의관계를 나타냈으며 직선회귀식은 $y = 0.0106x - 0.1262$ ($r^2 = 0.8662$)이었다. 용 발육영점온도는 11.91°C이었고, 유효적산온일도는 119.7일도이었다. 그리고 유충에서 용까지의 발육영점온도는 8.46°C였다. 또한 유효적산온도는 363.3일도이었다.

생명표 통계량

온도에 따른 주홍날개들명나방의 생명표 통계량은 Table 5와 같다. 1세대에 요하는 평균기간(T)은 15°C에서 101.9일이고, 30°C에서 20.7일로 온도가 높아질수록 짧았으며, 1세대당 순증식률(R_0)은 15°C에서 138.2이었고, 30°C에서 141.4로 가장 낮은 온도와 높은 온도에서 적게 나타났으며, 20°C에서 265.4로 가장 높았다. 그리고 내적자연증가율(r_m)은 25°C에서 0.247로 가장 컸다.

고 찰

신선초를 무가온시설재배로 하는 충북 진천지역에서 발생되어 피해를 주던 해충은 주홍날개들명나방(*Udea ferrugalis*)으로 밝혀졌으며, 생활사와 기주식물

에 대하여 Lee et al. (1999)에 의해서 보고되었다. 그 후 생식과 발육에 미치는 온도의 영향에 대한 실험을 10-30°C (16L : 8D)에서 수행하였다. 각 태별 발육에 미치는 온도 영향은 Table 1, 2와 같이 10°C에서는 발육이 불가능 하였다. 또한 발육기간은 저온에서 길고 고온에서 짧은 일반적인 경향을 나타냈고, 27°C 이상에서 발육이 지연되는 고온저해 현상을 보였다. 유충 발육은 15°C에서 저온저해현상을 보였고, 용 발육기간은 15°C보다 18°C에서 6.0배나 짧아 18°C 이하에서 휴면을 하는 것으로 생각된다. 따라서 본 종은 발육에 미치는 온도의 영향이 매우 큼을 알 수 있었고, 그 온도범위는 15-30°C로써 저온과 고온 조건에서도 발육이 가능한 해충임을 알 수 있었다. 따라서 15°C에서 용기간이 가장 길어 용상태로 월동하는 것으로 보여지는데 추후 휴면과 내한성에 관한 실험이 필요한 부분으로 사료된다.

생식에 미치는 온도영향에서(Table 2) 산란전 기간이 15°C에서 10.9일, 18°C 이상에서 1-3일로 차이를 보이지 않았다. 이 결과에서 저온인 15°C에서 산란이 지연됨을 알 수 있었는데 이것은 온도가 난의 성숙속도에 영향을 미침으로 일어난 결과라 사료되며, 10°C에서 우화하지 못하였으나 비교적 저온인 15°C에서도 산란을 하였으며 23°C에서 가장 많은 산란수를 기록하였으나, 기타 온도에서는 산란수 차이가 크지 않았다. 따라서 본 해충은 저온에서 고온까지 폭 넓은 온도범위에서 산란이 가능한 것으로 판단된다.

곤충의 발육영점온도는 보통 15°C 이하인 것으로 많이 알려져 있으며(Arai, 1996; Braman and Penly, 1992; Kwon et al., 1998; Park, 1996) 본 종도 예외는 아니었다.

이상의 결과에서 주홍날개들명나방의 생식과 발육에 온도가 중요한 영향을 미치며, 생명표 분석에서 볼 때 본종은 저온인 15°C 이상에서 발육이 가능한 종으로 밝혀져 저온성 나방인 것으로 보여지며, 증식에 적

합한 온도범위는 20-25°C인 것으로 나타났다.

그러나 이 결과는 실내에서 누대 사육되어진 주홍날개들명나방을 균일한 조건으로 실험한 것이기 때문에 앞으로 환경변화가 다양한 야외조건에서 주홍날개들명나방의 증식율에 대한 검토 및 휴면에 관련한 실험이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

Literature Cited

- Arai, T. 1996. Temperature-dependent development rate of three mealybug species, *Pseudococcus citriculus* Green, *Planococcus citri* (Risso), and *Planococcus Kraunhiae* (Kumana) (Homoptera: Pseudococcidae) on citrus. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 40: 25-34.
- Braman, S.K. and A.F. Pendly. 1992. Thermal requirements for development, population trends and parasitism of azalea lace bug. J. Econ. Entomol. 85: 870-877.
- Cho, Y.B. 1986. A list of plant diseases, insect pests and weeds in Korea. 2nd ed., pp. 215, 266, 421. The Korean Society of Plant Protection.
- Kwon, G.M., Y.I. Lee and K.H. Choi. 1998. Development and prey consumption of phytoseiid mites, *Amblyseius womwlesleyi*, *A. fallacis* and *Typhlodromus occidentalis* under controlled environments. Korean J. Appl. Entomol. 37: 53-58.
- Lee, K.Y., K.B. Min, K.S. Ahn, K.S. Choi, Y.D. Chang and Y.N. Youn. 1999. Morphological characteristics and life cycle of *Udea ferrugalis* (Lepidoptera: Pyralidae) attacking *Angelica utilis*. Korean J. Appl. Entomol. 38: 109-115.
- Park, J.D. 1996. Host range and temperature effects on the development of *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae). Korean J. Appl. Entomol. 35: 302-308.
- Park, K.T. 1979. Catalogue of the *Pyralidae* of Korea (Lepidoptera: Evergestiinae and Pyraustinae). Korean J. Pl. Prot. 18: 89-100.
- Price, P.W. 1997. Demography: Population growth and life tables. pp. 305-340. In Insect ecology. 3rd. ed., 874 pp. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Pruess, K.P. 1983. Day-degree methods for pest management. Environ. Entomol. 12: 613-619.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT user's guide, Statistics, Version 6.04. SAS Institute, Cary, N. C., USA.
- Teiso, E., I. Syuti, M. Akira, I. Hiroshi, O. Masami, O. Hiromu and K. Hiroshi. 1991. *Icomes heterocerorum japonicum* in *coloribus naturalibus*. Hoikusha Pub. CO. LTD. 123.

(Received for publication 12 August 2002;
accepted 2 September 2002)