

온도가 화랑곡나방 (나비목: 명나방과) 의 생활사에 미치는 영향

Effects of Temperature on the Life History of Indian Meal Moth
(Pyrallidae: Lepidoptera) on Brown Rice나자현 · 류문일¹Ja Hyun Na and Mun Il Ryou¹

Abstract – Development and life table statistics of indian meal moth (*Plodia interpunctella*, Hübner) on brown rice (*Sativa oryzae* L., var 'Ilpum') were tested under five different temperatures (17, 20, 25, 28 and 32±0.5°C). The developmental response of females to the temperature was not significantly different from that of males. In the tested temperature range, developmental period and life span of adult moth decreased as the temperature increased and ranged from 149.9±30.4 to 38.1±5.6 days and from 19.4±5.1 to 6.9±2.0 days at 17°C and 32°C, respectively. Emergence rate increased with the increase of temperature and ranged from 13.0±6.2% at 17°C to 49.2±25.9% at 32°C. However, hatching rate curve in relation to the temperature was dome shape with the peak of 73.8±5.3% at 25°C, suggesting that hatching is inhibited by high temperature above that temperature. As the temperature increased, females concentrated their oviposition on the second day after emergence. In the temperature range of 17 SIM 25°C, the number of eggs laid per female were not related to the temperature and ranged from 133.4±37.6 to 154.3±57.4. But the number of eggs laid per female decreased at 32°C which suggests close relationship with hatching ability. The net reproduction rate was highest at 28°C and followed by those at 25°C and 20°C. However intrinsic rate of natural increase of the moth population on brown rice was estimated to be highest at 32°C (0.065 per day), probably due to the short developmental period, high emergence rate and the concentrated oviposition of females on earlier days of the emergence.

Key Words – *Plodia interpunctella*, Development, Life history, Temperature, Brown rice

초 록 – 현미 (*Sativa oryzae* L., 품종 일품)에서의 화랑곡나방 (*Plodia interpunctella* H)의 발육과 생명표의 통계량을 다섯 상이한 온도 조건 (17, 20, 25, 28, 32±0.5°C)에서 조사하였다. 온도에 대한 발육반응은 성 간에 차이가 없었다. 조사 온도 범위에서 나방의 발육일수와 성충 수명은 온도가 높아짐에 따라 짧아져서 17°C에서 각각 149.9±30.4일과 38.1±5.6일이었고 32°C에서는 각각 19.4±5.1일과 6.9±2.0일이었었다. 우화율도 온도가 상승함에 따라 높아져서 17°C에서는 13.0±6.2%였고 32°C에서는 49.2±25.9%로 추정되었다. 그러나 부화율은 25°C에서 73.8±5.3%로 정점에 도달한 후 다시 감소하여 25°C를 경계로 이보다 높은 온도에서 부화가 저해되었다. 암컷 당 산란수는 17SIM 28°C의 범위에서는 유의한 차이가 없었으나 32°C에서는 유의하게 적어서 산란수와 부화율 간에 밀접한 관계가 있음을 암시하였다. 암컷의 산란은 온도가 높아짐에 따라 우화 2일후로 집중되었다. 순증가율은 28°C에서 가장 높았고 25°C와 20°C의 순으로 낮아졌으나 내적 자연증가율은 32°C에서 가장 높아 일당 0.065로 추정되었으며 이는 빠른 발육, 높은 우화율, 산란의 우화초기 집중에 의한 것으로 생각되었다.

검색어 – 화랑곡나방, 발육, 생활사, 온도, 현미

서 론

화랑곡나방 (*Plodia interpunctella* Hübner)은 범세계적으로 분포하면서 저장곡물, 건조야채와 과일 등 100여 종류의 저장식품을 가해하는 주요 해충이다(백, 1983). 이 나방은 유충이 저장식품을 먹음으로써 양적인 피해를 일으킬 뿐만 아니라(Tzanakaki, 1959; Williams, 1964), 실크를 분비하여 저장물을 철하고, 배설물을 통하여 식품을 오염시키는 등 식품의 질적 피해를 일으킨다. 그러므로 식품저장에서 화랑곡나방 방제는 주요과제가 되어왔고 이를 위한 생태, 생리 및 방제의 합리화에 대한 연구가 활발하게 이루어져 왔다 (for review, see Subramanyam and Hagstrum, 1995).

화랑곡나방은 다화성(多化性) 곤충으로 온대지방에서는 년 3~4회 발생하며 우화한 암컷은 18일간, 특히 우화후 2~3일 간에 걸쳐 150~200개의 알을 낳개로 낳는다(Lum and Flakerty, 1969; Mullen and Arbogast, 1977; Silkacek and Miller 1972; Tzanakakis, 1959). 부화한 유충은 먹이를 찾아 분산하며 실크를 분비하여 먹이를 철하고 먹으며, 다 자란 유충은 적당한 장소를 찾아 고치를 만들고 그 안에서 번데기가 된다. 암컷은 우화후 성 페로몬을 분비하여 수컷을 유인하여 짝짓기를 하며 수컷 역시 짝짓기를 원활하게 하기 위해서 페로몬을 분비하는 것으로 알려져 있다(Kuwahara *et al.*, 1971; McLaughlin, 1982). 저온, 단일장(短日長), 고밀도 조건에서 휴면이 유기되며(Bell, 1975; Cox and Bell, 1991; Williams 1964) 기회적 휴면을 하는 것으로 알려져 있다. 화랑곡나방 유충의 발육과 생존률, 성충의 수명과 산란수는 온도, 습도, 먹이에 따라 변이가 크다(Mbata and Osuji, 1983). 부화 최저온도는 15°C 부근으로(Bell, 1975; Na and Ryoo, unpublished), 유충의 발육 속도는 온도와 습도가 상승함에 따라 빨라지며, 유충의 생존률은 32°C, 80% RH에서 가장 높고 32°C를 전후로 점차 낮아지는 모습을 보인다(Abdel-Rahman *et al.*, 1968).

식품저장 창고에서의 화랑곡나방의 방제는 주로 하이드로젠 포스파이드 등 훈증에 의존하여 왔다. 그러나 약제에 대한 저항성의 발전(Bell, 1976c, 1977b; Reynolds, 1961)으로 인한 방제 효율의 저하, 식품의 안전성 문제에 대한 소비자의 관심증가와 살충제에 대한 규제 강화 등으로 인해, 물리적 방제를 중심으로 하는 종합관리 체계로 방향을 전환하려는 노력이 활발해지고 있다(e.g., Brower *et al.*, 1995; Fields and Muir, 1995; Johnson, 1987).

이러한 방향의 모색은 화랑곡나방의 생리, 생태적 특성과 아울러 개체군동태학적 측면에서 논의되어야 한다. 그러나 지금까지 화랑곡나방에 대한 연구는 개생태

학적 측면(個生態學: autecology)에 그치고 있으며 생명표를 중심으로 하는 개체군 동태에 대한 연구는 희소하다.

화랑곡나방의 범세계적 분포는 이 나방의 적응 환경 범위가 넓음을 의미하는 것이지만 한편으로 상이한 환경하에서 상이한 적응과정을 거쳐 다양한 생태적 계통들이 존재함을 암시하고 있다(e.g., Pevett, 1971). 그러나 우리나라의 경우 지금까지 화랑곡나방에 대한 생리, 생태적 연구가 거의 이루어지지않고 있으며, 이것이 우리나라 식품저장과정에서 화랑곡나방의 합리적인 방제 계획 수립에 제한 요인이 되고 있다.

본 연구는 국내에서 발생하는 화랑곡나방의 생태적 특성을 조사, 외국에서 보고된 바와 비교 검토하고, 생명표 통계량에 미치는 온도의 영향을 조사하여 식품저장창고에서의 발생시기 및 발생량 예측모형을 작성하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험 곤충

실험에 사용된 화랑곡나방은 1995년 7월 서울 소재 가정에서 보관하던 현미에서 채집된 것으로 고려대 개체군 생태학 실험실에서 현미(품종: 일품, 함수량 13.5~14.5%)를 사료로 실온에서 누대사육한 계통이었다.

온도가 발육에 미치는 영향

1,000 ml 비커(직경 12.4 cm, 높이 15cm)에 60g의 현미(함수량 13.5~14.5%)를 넣고 우화후 24시간 미만의 화랑곡나방 다섯 쌍을 접종하여 5가지 실험 온도(17, 20, 25, 28, 32±0.5°C), 상대습도 70~80%, 광조건(L:D 16:8)하에서 24시간 동안 산란을 유도하였다. 성충을 제거하고 산란수를 기록한 후 산란된 알을 비커째 산란과 동일한 조건에서 각각 보관하면서 우화할 때까지 24시간격으로 부화수, 발육일수, 암수별 우화수를 조사하였다. 각 비커 별 초기 알수는 차이가 있었으나 200개 내외였으며 실험은 4 반복으로 하였다.

온도가 생명표 통계량에 미치는 영향

우화 후 하루미만인 화랑곡나방 한 쌍을 현미 15g을 넣은 50 ml 들이 비커(직경 4 cm, 높이 5.7 cm)에 접종하고 발육환경과 같은 조건에 보관하였다. 매 24시간마다 산란수를 조사하였고 화랑곡나방은 동일하게 처리된 비커로 옮겨 주었다. 이 과정은 비커 내 암컷이 죽을 때까지 계속되었으며 비커 교체시에 수컷만 죽었을 경우에는 우화한지 24시간 미만인 수컷을 보충해 주었다. 산란된 비커는 성충이 우화할 때까지 동일 조건에서 보관하면서 매 24시간마다 비커 별 성충의 우화수 및 성비를 조사하였다. 실험대상 개체수는 온도별

로 차이가 있었으나 대체로 30에서 35쌍 범위였다.

자료 분석

내적자연증가율은 Lotka-Volterra의 다음 방정식 (Pielou, 1969)에서 최대우도 추정법 (maximum likelihood method)에 의거한 BASIC PROGRAM (Ryoo, 미발표)을 이용하여 추정하였다.

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-rx} m_x l_x \approx 1,$$

여기에서 r = 내적자연증가율, l_x = x 령에서의 생존률, m_x = x 령에서의 출산률, 그리고 x = 출생후 일령이다.

생명표 통계량, 즉 평균 세대기간 (Generation time, T), 계차증가율 (Finite rate of increase, λ) 및 순증가율 (Net reproduction rate, R_0)은 각각 다음 방정식을 이용하여 추정되었다.

$$T \approx \sum x l_x m_x / \sum l_x m_x, \lambda = \exp(r), R_0 = \sum l_x m_x$$

본 실험의 모든 자료들은 분산분석, χ^2 -분석 등의 통계적 방법으로 분석되었으며 (PROC GLM: SAS Institute, 1988), 자료들은 필요에 따라 분석 전에 $\log(x)$ 또는 $\arcsin \sqrt{x}$ 로 변환하여 분석되었다. 평균 간 비교는 LSD 검정에 따랐다.

결과 및 고찰

온도가 유충의 발육에 미치는 영향

각 온도에서의 화랑곡나방의 발육일수, 부화율과 우화율은 표 1과 같다. 각 온도에서 암컷과 수컷의 발육일수에는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($F=1.88$; $df=1, 4114$; $P=0.174$). 성충의 발육일수 (평균±표준 편차)는 17°C에서의 144.9±30.41일로부터 온도가 상승함에 따라 짧아져서 32°C에서는 38.1±5.55일이었으며 온도별 발육일수 간에 유의한 차이를 보여 화랑곡나방의 발육

이 온도조건에 민감함을 암시하였다 ($F=5190.62$; $df=4, 4114$; $P=0.0001$). Burges (1964)는 낮은 온도 조건에서는 화랑곡나방의 알 기간이 길어져서 이것이 발육일수가 차이가 나는 중요한 원인이 된다고 생각하였다. 그러나 부화 소요일수와 전체 발육일수에서 나타난 온도별 유의차 (有意差)를 고려할 경우 유충기 이후의 발육이 알 기간 보다 더 온도에 민감한 것으로 생각된다.

현미에서의 온도별 발육일수는 이미 보고된 동일한 온도에서 수행한 다른 먹이 조건에서의 화랑곡나방 발육일수에 비해 긴 것으로 나타나고 있다 (cf. Williams, 1964; LeCato, 1976; Johnson *et al.*, 1992). 그러나 이것은 계통의 차이에 의한 것으로 보기는 어렵다. 화랑곡나방은 먹이에 따라서 발육일수와 우화율에 차이가 큰 것으로 알려져 있으며 (Johnson *et al.*, 1992), 본 결과와 기존의 보고들 간 차이는 먹이의 차이에 따른 발육일수에서의 차이로 설명이 가능할 수 있는 범위에 있기 때문이다.

알의 부화는 13~35°C의 온도범위에서 가능하며 부화율은 온도가 상승함에 따라 높아진다는 사실 (Burges, 1956; Mathlein, 1961)은 본 시험에서 부분적으로 인정되었으나 표 1에서 보인 바처럼 28°C를 정점으로 부화율이 낮아지는 동형의 관계를 보인 것으로 보아 이 이상의 고온에서는 부화가 오히려 저해되는 것으로 보인다. 유충의 발육이 촉진되는 온도범위에서도 이러한 부화 저해를 보이는 현상에 대한 생태학적 구명이 앞으로 필요할 것으로 생각된다.

화랑곡나방의 우화율은 실험 온도 범위에서 온도 상승에 따라 높아져서 17°C에서 13.04±6.18%를, 32°C에서 49.19±25.90%를 보였다. 그러나 25°C 이하, 28°C 그리고 32°C 조건 간에 우화율 간 차이를 보인다는 사실은 ($F=12.72$; $df=4, 169$; $P<0.0001$) 저온에서의 화랑곡나방의 정상적인 발육이 어렵다는 것을 보여주고 있다. Curtis *et al.* (1992)은 온도가 높아짐에 따라 부화율에 비해 우화율의 증가가 상대적으로 크게 높아진다고 한 바 있는데 이는 저온에서의 유충의 사망률이 높

Table 1. Egg period, total developmental period, hatching rate and emergence rate of the *Plodia interpunctella* on brown rice (mean ± SD) at the different temperatures

Temp. (°C)	Egg period (days)	Developmental period (days)			Hatching rate (%)	Emergence (%)
		Female	Male	Overall		
17	6.94 ± 1.43 a	156.09 ± 30.74a	144.10 ± 29.28 a	149.94 ± 30.41 a	36.5 ± 17.4 a	13.04 ± 6.18a
20	5.85 ± 1.23 b	62.46 ± 7.96 b	62.54 ± 7.61 b	62.25 ± 8.40 b	48.7 ± 11.2 a	15.89 ± 5.40a
25	3.11 ± 1.71 c	54.70 ± 8.97 c	53.00 ± 8.35 c	53.18 ± 7.84 c	73.8 ± 9.4 b	21.15 ± 13.20a
28	3.22 ± 1.58 c	48.67 ± 6.11 d	45.50 ± 6.14 d	46.40 ± 6.20 d	73.0 ± 5.3 b	22.64 ± 11.85b
32	1.88 ± 0.97 d	37.23 ± 5.48 e	39.13 ± 5.57 e	38.09 ± 5.55 e	47.3 ± 3.6 a	49.19 ± 25.90c

The values followed by the same letter within a column are not significantly different at $P=0.05$ based on LSD. Data for hatching and emergence rate were transformed to arcsin root (x) prior to analysis, but original data were presented.

았던 데서 기인된 것으로 생각되는 바(Burges *et al.*, 1964) 위의 추론을 뒷받침하고 있다.

그림 1은 각 온도별 암컷 우화후 일령별 산란 경과를 보인 것이다. 20°C 이하의 저온에서의 산란은 우화 후 특정일령(日齡)에 집중됨이 없이 흩어진 모양을 보였으나 온도가 상승함에 따라 우화후 2일령으로 집중되었다. 즉, 25, 28, 32°C에서는 우화 2일령에서 각각 37.6 ± 24.56 , 61.8 ± 28.99 , 48.4 ± 27.57 개로 산란의 정점을 보였으나 17°C와 20°C에서는 정점이 뚜렷하지 않았고 산란최성일도 각각 6일째 (16.29 ± 9.34 개)와 7일째 (21.14 ± 11.9 개)로 지연되었다. 이 결과는 저온에서 노령층에서의 산란비율이 높아진다는 Mbata (1985)의 보고와 유사한 것이다. 이러한 산란 경과에서의 차이는 온도가 알의 성숙속도에 영향을 미침으로 일어난 결과로 생각되나 이에 대한 자세한 연구는 보고된 바 없다. 이 가정이 옳다면 온도와 알의 성숙 간의 관계 구명은 서식 환경하에서의 화랑곡나방 개체군 생명표의 표준화와 개체군 동태 연구를 위한 중요한 과제가 될 수 있을 것이다.

그림 2는 각 온도별 암컷성충 일령별 생존곡선을 보

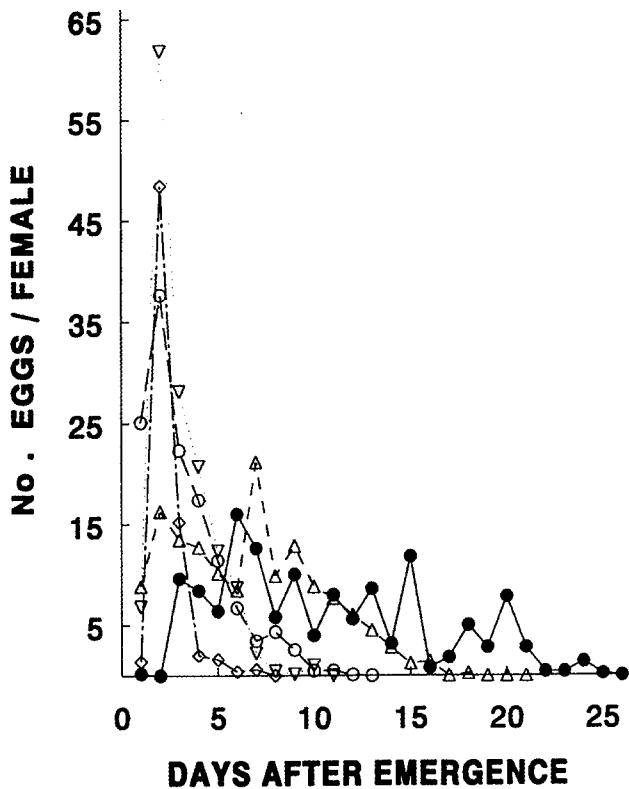


Fig. 1. Sequential change in the number of eggs laid per female *Plodia interpunctella* on brown rice at five constant temperatures (-▽-: 32°C, -◇-: 28°C, -○-: 25°C, -△-: 20°C, -●-: 17°C)

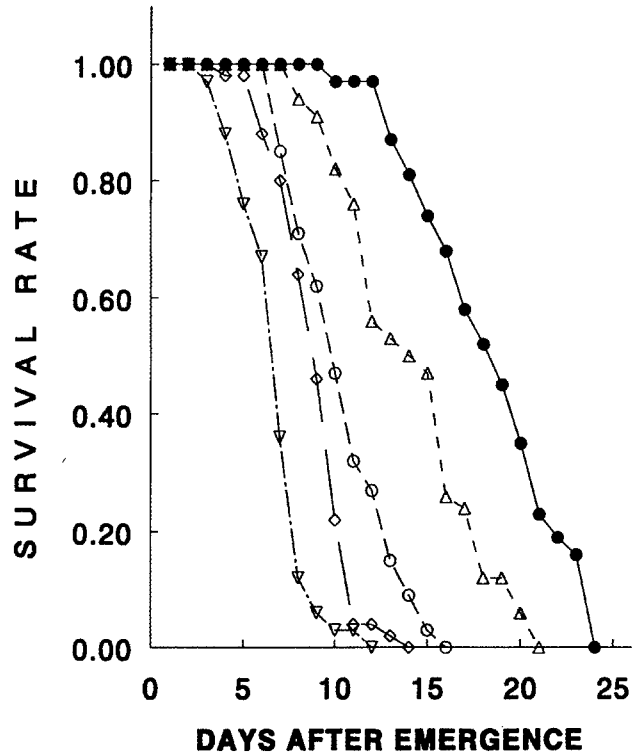


Fig. 2. Survival rate curves of the *Plodia interpunctella* on brown rice at five constant temperatures (-▽-: 32°C, -◇-: 28°C, -○-: 25°C, -△-: 20°C, -●-: 17°C)

인 것이다. 실험온도 조건에 관계없이 성충의 생존곡선은 제 1형(Cox and Oakes, 1984)이었으나 온도가 상승함에 따라 사망유기 일령이 빨라져서 17°C에서는 12일령인데 비해 32°C에서는 2일령이었다. 이러한 암컷의 생존곡선의 형태는 위에서 언급된 바 온도에 따른 성충의 산란 경과를 유도한 진화적 적응의 한 가지 원인이 될 수 있을 것이다. 그러나 암컷의 수명은 온도와 습도 등 물리적 환경 요인 외에도 짝짓기, 산란수, 물이나 꿀물 등 영양 조건과도 관계가 있으므로(Fraenkel and Blewette, 1946) 단정하기는 어렵다.

화랑곡나방의 온도별 암컷, 수컷의 수명과 총산란수는 표 2와 같다. 온도가 17°C에서 32°C로 상승함에 따라 암컷, 수컷의 평균수명(±표준 편차)은 감소하는 일반적인 경향을 보였으며 성 간에 유의한 차이를 보이지 않았다 ($F=1.91$; $df=1, 344$; $P > 0.168$).

암컷 당 총 산란수는 전반적으로 온도조건에 따라 40~400의 범위에서 산란한다는 보고(Tzanakakis, 1959; Lum and Flaherty, 1969)와 유사한 특성을 보였다. 총 산란수에서 17°C와 28°C의 범위에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 32°C에서는 산란수가 감소하여 ($F=10.46$; $df=4, 95$; $P < 0.0001$) 암컷의 산란능력이 감소되었음을 보여 주었다. 높은 온도에서 화랑곡나방의 난모

세포가 퇴화한다는 (Lum, 1983) 사실을 고려할 때 32°C는 퇴화를 유기하는 높은 온도임을 보여준 것으로 생각된다. 고온에서의 산란능력 저하는 근연종인 알락명나방 (*Ephestia kuhniella* Z)에서도 보고되어 있다 (Norris, 1933; Raichoudhury, 1936).

온도와 생명표 통계량에 미치는 영향

Lotka의 방정식 (see Pielou, 1969)으로 추정되는 생명표 통계량은 자원이 제한되어 있지 않은 환경하에서 안정 연령분포형 성장을 하는 개체군의 증가율을 측정하는 것이나 (Andrewartha & Birch, 1984), 주어진 물리적 환경하에서 개체군 특이적인 고유증식 능력을 보여준다는 점에서 그 의미가 있다. 화랑곡나방의 각 온도에서의 생명표통계량 추정치는 표 3과 같다. 화랑곡나방의 내적자연증가율 (r)은 온도가 상승함에 따라 높아져서 17°C에서의 0.017로부터 32°C에서의 0.065에 이르렀다. 곤충개체군의 경우 서식환경하에서 온도가 상승함에 따라 개체군증가율이 높아지는 것은 일반적인 현상이다 (e.g., Ryoo *et al.*, 1986). 그러나 화랑곡나방의 경우 32°C는 산란이 감소되는 조건임을 고려할 때, 이는 일반적인 경향과는 상이한 현상이다. 표 3에서 보인

바와 같이 순증가율은 오히려 28°C에서 가장 높게 추정되고 있다. 이것은 32°C에서 부화율이 떨어지고 산란이 억제됨에도 불구하고 이 온도에서의 빠른 발육속도, 암컷산란의 우화초기 집중화, 높은 유충의 생존률 (우화율)에 기인된 결과로 생각된다. 이러한 결과는 Cole (1954)의 이론을 뒷받침하는 것으로 그에 따르면 출산의 초기 집중과 개체의 성숙속도가 순출산수보다 개체군의 증가율에 중요한 요소가 된다.

이것은 산란수의 감소와 부화율의 저하에도 불구하고 화랑곡나방의 개체군 증가가 이들을 유기하지 않는 최적온도에서 보다 빠르다는 것을 의미하는 것으로 개생태학적 특성만으로 개체군의 최적환경을 설정하는 것이 불완전하다는 것을 보여주는 것이다.

추정된 개체군 생명표 통계량을 기준으로 할 때, 화랑곡나방의 빠른 증식과 대발생이 유기되는 최적 온도 범위는 28~32°C로 추정되는데 이는 Howe (1965)의 추정과 일치하는 것으로 생태적 특성에 관한 한 보고된 다른 지역에서의 개체군과 차이가 없는 것으로 생각되며 우리나라에서의 화랑곡나방 개체군 연구에 있어 다른 지역에서의 연구 결과들을 원용할 수 있을 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 '96년도 보건의료기술연구개발사업의 지원에 의해 이루어진 것 (수탁자: 류문일, 과제번호: HMP-96-F-4-1023)으로 감사를 표하며, 논문 초고를 검토, 비평해 주신 두 분의 의견은 큰 도움이 되었습니다. 감사를 표합니다.

인 용 문 헌

Abdel-Rahman, H.A., A.C. Hodson., and C.M. Christensen. 1968. Development of *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera, Phycitidae) on different varieties of corn at tow levels of moisture. *J. Stored Prod. Res.*, 4: 127~133.
Andrewartha, H.G. and L.C. Birch. 1984. Ecological web.

Table 2. Adult life span and total number of eggs laid per female of the *P. interpunctella* on brown rice (mean±SD) at different temperature conditions

Temp. (°C)	Life span in days		Number of eggs laid per female
	Female	Male	
17	19.42 ± 5.05a	20.33 ± 4.84a	133.40 ± 37.55a
20	13.68 ± 3.65b	13.94 ± 3.53b	151.86 ± 83.01a
25	9.50 ± 2.62c	10.03 ± 3.05c	154.30 ± 57.40a
28	9.10 ± 2.03c	9.50 ± 1.76c	140.70 ± 36.35a
32	6.93 ± 2.04d	7.48 ± 1.48d	69.80 ± 20.17b

The values followed by the same letter within a column are not significantly different at P=0.05 based on LSD. Data were transformed to log (x) prior to analysis, but original data were presented.

Table 3. Life table statistics of the *Plodia interpunctella* on brown rice at the different temperatures

Temp. (°C)	No. of individuals examined (n)	Intrinsic rate of increase (r)	Generation time (days) (GT)	Net production rate (generation) (Ro)	Population doubling time (days) (DT)	Sex ratio (female/total)
17	528	0.017	162.64	9.24	50.67	0.542
20	1168	0.039	68.49	14.53	17.81	0.502
25	707	0.045	58.20	13.63	15.58	0.484
28	1522	0.056	51.82	17.59	12.51	0.535
32	829	0.065	38.85	12.49	10.65	0.497

- 5th ed., Chicago Univ. Press, Chicago.
- Bell, C.H. 1975. Effects of temperature and humidity on development of four Pyralid moth pests of stored products. *J. Stored Prod. Res.* 11: 167~175.
- 1976c. Effect of cultural factors on the development of four stored-product moths. *J. Stored Prod. Res.* 12: 185~193.
- 1977b. Toxicity of phosphine to the diapausing stages of *Ephesia elutella*, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera). *J. Stored Prod. Res.* 13: 149~158.
- Brower, J.H., L. Smith, P.V. Vail and P.W. Flinn. 1995. Physical control. pp. 195~221 in *Integrated management of insects in stored products*, eds. by Subramanyam, B. and D.W. Hagstrum. Dekker Press, New York.
- Burges, H.D. 1956. Some effects of the British climate and constant temperature on the life-cycle of *Ephesia cautella* (Walker). *Bull. ent. Res.* 46: 813-835.
- Burges, H.D. and K.P.F. Haskins. 1964. Life-cycle of the tropical warehouse moth, *Cadra cautella* (Wlk.), at controlled temperatures and humidities. *Bull. ent. Res.* 55: 775~789.
- Cole, L.C. 1954. The population consequences of life history phenomena. *The Quarterly Review of Biology* 29: 103~137.
- Cox, P.D. and C.H. Bell. 1991. Biology and ecology of moth pests of stored foods. In *Ecology and Management of Food-Industry Pest* (ed. Gorham, J.R.). *FDA Tech. Bull.* 4. Association of Official Analytical Chemists, pp. 181-193.
- Cox, D.R. and D. Oakes. 1984. *Analysis of Survival Data*, Chapman & Hall, London.
- Curtis, C.E. and Landolt, P.J. 1992. Development and life history of *Pyralis farinalis* L. (Lepidoptera: Pyralidae) on an artificial diet. *J. Stored Prod. Res.* 28: 171~177.
- Field, P.G. and W.E. Muir. 1995. *Physical control*. pp. 125~165 in *Integrated management of insects in stored products*, eds. by Subramanyam, B. and D.W. Hagstrum. Dekker, New York.
- Fraenkel, G. and M. Blewette. 1946. The dietetics of the caterpillars of three *Ephesia* species, *E. kuehniella*, *E. elutella* and *E. cautella* and of a closely related species, *Plodia interpunctella*. *J. Exp. Biol.* 22: 162~171.
- Howe, R.W. 1965. A summary of estimates of optimal and minimal conditions for population increase of some stored products insects. *J. stored Prod. Res.* 1: 177~184.
- Johnson, J.A. and P.V. Vail. 1987. Adult emergence and sterility of Indian meal moth (Lep. Pyralidae) irradiated as pupae in dried fruits and nuts. *J. Econ. Entomol.* 80: 497~501.
- Johnson, J.A., P.L. Wofford and L.C. Whitehand. 1992. Effect of diet and temperature on development rates, survival, and reproduction of the Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.* 85: 561~566.
- Kuwahara, Y., C. Kitamura, S. Takahashi, H. Hara, S. Ishii and H. Fukami. 1971. Sex pheromone of the almond moth and the Indian meal moth: cis-9, trans-12-tetradecadienyl acetate. *Science* 171: 801~802.
- Lecato, G.L. 1976. Yield, development, and weight of *Cadra cautella* (Walker) and *Plodia interpunctella* (Hübner) on twenty-one diets derived from natural products. *J. stored Prod. Res.* 12: 43~47.
- Lum, P.T.M. 1983. Oocyte degeneration in *Plodia interpunctella* Hübner and *Cadra cautella* (Walker) (Lep. Phycitidae): Influence of temperature and humidity. *Environ. Entomol.* 12: 1539~1541.
- Lum, P.T.M. and B.R. Flaherty. 1969. Effect of mating with males reared in continuous light or in light-dark cycle on fecundity in *Plodia interpunctella*. *J. Stored. Prod. Res.* 5: 80~94.
- Mathlein, R. 1961. Studies on some major storage pests in Sweden, with special reference to their cold resistance. *Medd. Växtskyddsanst. Stockh.* 83: 1~49.
- Mbata, G.N. 1985. Some physical and biological factors affecting oviposition by *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: phycitidae). *Insect. Sci. Applic.* 6: 597~604.
- Mbata, G.N. and F.N.C. Osuji. 1983. Some aspects of the biology of *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae), a pest of stored groundnuts in Nigeria. *J. Stored. Prod. Res.* 19: 141~151.
- McLaughlin, J.R. 1982. Behavioral effect of a sex pheromone extracted from forewings of male *Plodia interpunctella*. *Environ. Entomol.* 11: 378~380.
- Mullen, M.A., and R.T. Arbogast. 1977. Influence of substrate on oviposition by two species of stored-product moth. *Environ. Entomol.* 6: 641~642.
- Norris, M.J. 1933. Contributions towards the study of insect fertility-II. Experiment on factors influencing fertility in *Ephesia kuhniella* Z. (Lepidoptera: Phycitidae). *Proc. zool. Soc. Lond.* 902~904.
- Paik, W.H. (eds). 1983. *Agricultural and Forest Entomology*. Hyang mun sa. co. Seoul (written in Korean).
- Pielou, E.C. 1969. *An introduction to mathematical ecology*. John Wiley & Sons. New York.
- Prevett, P.F. 1971. Some laboratory observations on the development of two African strains of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lep. Phycitidae), with particular reference to the incidence of diapause. *J. Stored Prod. Res.* 7: 253~260.
- Raichoudhury, D.P. 1936. Retardation of spermatogenesis and reduction of motility of sperm in *Ephesia kuhniella* Z. (Lepidoptera: Phycitidae) caused by high temperature. *Proc. zool. Soc. Lond.* 798~805.
- Reynolds, E.M. 1961. The susceptibility to methyl bromide of diapausing larvae of *Plodia interpunctella*. *Pest Infect. Res.* 1960, 44~45.
- Ryoo, M.I. and K.J. Cho. 1986. Life history and intrinsic rate of natural increase of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L.

- (Coleoptera: Curculionidae) in rice. Korean J. Entomol. 16: 1~5.
- SAS Institute. 1988. SAS/STAT guide for personal computer. Cary, SAS Institute.
- Silhacek, L.D., and G.L. Miller. 1972. Growth and development of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Phycitidae), under laboratory mass-rearing condition. Ann. Entomol. Soc. Am. 65: 1084~1087.
- Subramanyam, B. and D.W. Hagstrum. 1995. Integrated management of insects in stored products. Dekker. New York.
- Tzanakakis, M.E. 1959. An ecological study of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*, with emphasis on diapause. Hilgardia 29: 205~246.
- Williams, G.C. 1964. The life-history of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lep. Phycitidae) in a warehouse in Britain and on different foods. Ann. Appl. Bio. 53: 459~475.

(1998년 5월 7일 접수, 1998년 7월 8일 수리)