

제분 시설에서의 화랑곡나방(Lepidoptera: Pyralidae)의 고온 방제

나자현 · 류문일*

고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부

A Note on the Control of Indian Meal Moth (Lepidoptera: Pyralidae) in Flour Milling Facility by Superheating

Ja Hyun Na and Mun Il Ryoo*

Division of Environmental Science and Ecological Engineering, College of Life and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Republic of Korea

ABSTRACT : In a flour milling facility, control ability of superheating effect on Indian meal moth population was tested. Thirty adults, thirty larvae and 100 eggs were placed in a paper bag (10×20 cm) containing 100 g flour and were exposed to the temperature higher than 60°C for longer than 3 hours. Mortality of the Indian meal moth (\pm standard error) varied with the developmental stage; mortality (\pm standard error) of egg, larvae and adult were in the range of $91.40\pm0.93\sim98.80\pm0.20\%$, $96.00\pm0.67\sim100\%$ and 100%, respectively. The position of paper bag caused differences in temperature and its exposure time to the moth during the experiment, consequently. The mortality of moth was significantly different among the bag position. Exposure of the paper bag to the temperature of higher than 60°C for longer than 11 hours was not sufficient to kill all the eggs.

KEY WORDS : *Plodia interpunctella*, Superheating, Milling facility, Developmental stage, Heat tolerance

초 록 : 고온 처리를 통한 화랑곡나방의 방제효과를 검토하기 위하여 제분시설 공간을 60°C 이상으로 가온하여 3시간 이상을 유지한 후 충태별 사망률(\pm 표준오차)을 조사하였다. 가열 처리 후 시설 공간 내의 온도는 위치에 따라 차이를 보여 60°C 이상이 유지된 시간이 주변부에서는 3시간, 중앙부에서는 11시간이었다. 화랑곡나방의 고온에 대한 내성은 충태에 따라 유의한 차이가 있었다. 성충의 경우 가장 작아 처리 위치에 관계없이 100%의 사망률을 보였고, 알이 가장 커서 위치에 따라 $91.40\pm0.93\sim98.80\pm0.20\%$ 를 보였다. 유충의 사망률은 $96.00\pm0.67\sim100\%$ 의 범위에 있었다. 60°C 이상의 온도가 11시간 이상 유지된 위치에서도 알의 사망률은 100%에 이르지 않아 보다 장시간의 처리가 필요함을 보여주었다. 이를 토대로 소규모 제분시설에서의 가열방제에 대해 간략히 논의하였다.

검색어 : 화랑곡나방, 고온처리, 제분시설, 충태, 고온내성

저장물 생태계는 에너지가 고도로 집적된 공간적으로 축약된 시스템이며 그 만큼 생태계의 1차 소비자인 해충 개체군들의 발전이 빠르게 이루어지는 생태계이다. 따라서 소수의 개체에 의한 침입도 단시간에 저장물에 심각한

피해를 야기할 가능성이 높다. 저장물 생태계의 특성상 저장물의 피해는 보상을 기대할 수 없기 때문에 재배 중의 피해보다 경제적 손실이 크다. 따라서 저장물 해충의 경제적 피해수준은 재배 중에 발생하는 해충의 피해

*Corresponding author. E-mail: ryoomi@korea.ac.kr

수준 보다 낮다. 저장물생태계에서의 해충 피해의 이러한 특성 때문에 저장물 해충에 대한 방제 활동은 경제적 피해 수준을 기준으로 하는 관리보다는 박멸에 중점을 두게 된다. 포스파인 등 훈증제를 중심으로 하는 방제활동이 부작용에도 불구하고 광범위하게 사용되는 것은 이러한 이유에서이다. 그러나 환경에 대한 일반의 인식이 높아지고 식품의 안전성에 대한 소비자의 요구도가 커지면서 저장물 해충의 화학적 방제는 점차 기피되고 있으며 제도적으로 제한되고 있다(Arthur, 1996; Laliaberte, 1995).

저장물 생태계는 인위적으로 조성된 생태계이며 야생 생태계에 비해 안정된 물리적 환경을 가진다. 따라서 저장물 생태계를 구성하는 해충개체군의 온도 등 물리적 제한 인자에 대한 내인범위는 야생생태계를 구성하는 개체군들에 비해 좁아 개체군의 발전에 미치는 온도 등 물리적 인자의 영향이 상대적으로 크다(Howe, 1965; Fields, 1992; Mullen and Arbogast, 1979). 이와 아울러 저장물 생태계의 특성상 작은 공간에서의 물리적 인자의 인위적 조정이 가능하므로 가열 또는 냉동처리가 화학적 방제를 대체하는 방법이 될 수 있다. 열을 이용하는 이 방제수단은 화학적 방제와 같이 단시간에 해충을 방제할 수 있으며 동시에 잔류효과가 없다는 장점이 있다. 최근 창고 내 온도를 일정 기간 높임으로써 해충을 방제하는 방안에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 것은 열을 이용하는 방제수단의 장점을 통하여 화학적 방제의 대체 또는 보완할 수 있는 가능성이 크기 때문이다(Fields and Muir, 1996).

창고공간을 일정 온도 이상 열을 가함으로써 나타나는 저장물 해충의 사망률은 해충 종, 충태, 처리온도, 노출시간, 상대습도 등에 따라 영향을 받으며 대부분의 저장물 해충들이 42~50℃에서 사망하는 것으로 보고되어 있다(Gonen, 1977; Lapp *et al.*, 1986).

화랑곡나방(*Plodia interpunctella*(Hübner))은 범세계적으로 분포하면서 곡물, 건조채소와 건과류 등 100여 종류의 저장식품을 섭식하는 저장물의 주요 해충이다. 화랑곡나방의 유충은 저장식품을 먹음으로써 양적인 피해를 일으키면서 동시에 실크 분비로 저장물을 철하며 배설물로 식품을 오염시킨다. 실크로 철해지거나 오염된 식품은 식품으로서의 가치를 상실함으로 경제적 손실이 크다(Tzanakakis, 1959; Williams, 1964). 화랑곡나방은 다화성 곤충으로 국내 저장 창고 및 식품 가공시설에서는 연간 5-6세대를 지내는 것으로 알려져 있으며 저장식품 시설에서 침입 시 개체군은 빠른 속도로 증가하여 단기간에 큰 피해를 일으키는 해충이다(Na and Ryoo, 2000). 화랑곡나방의 내인 온도 범위는 대체로 15℃에서 35℃이

며 발육 최적 온도는 32℃로 알려져 있다. 고온에 노출된 화랑곡나방의 사망률에 대한 보고들에 따르면 알은 48℃에서 38분후에 99%가 사망하였고(Lewthwaite *et al.*, 1977), 유충의 경우 50℃ 이상의 온도에서 30분경과 시 모든 충태의 화랑곡나방이 사망하였다고 한다(Nakayama *et al.*, 1983). 화랑곡나방의 고온에 대한 내성은 알이 가장 크고 성충이 가장 작다고 알려져 있다(Oosthuizen, 1935).

원뿔 저장시설이나 제분공장 또는 가공시설에서의 화랑곡나방 방제를 위해서는 밀폐된 장소에서 60℃ 이상의 온도가 필요하며(Kirkpatrick and Cagle, 1978), 50~60℃에서 최소한 24시간을 유지하여야 한다고 보고되어 있다(Fields and Muir, 1996). 그러나 실제 저장시설이나 가공시설을 밀폐시키기는 어려우므로 고온에 노출된 화랑곡나방의 사망률이 낮아질 것이며 이를 감안한 고온 방제 체계가 수립되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 복잡한 기계설비와 작업자의 안전, 밀가루 완제품의 잔류 등의 문제 때문에 살충제 처리가 어려운 밀가루 가공시설 내부에서 화랑곡나방을 방제하기 위해서는 고온을 유도하고 유지하는 고온방제 수단이 적절하다고 판단되는 상황에서 방제의 효과를 검증하기 위해서 수행되었다. 가열 처리에 따른 시간별 가공시설 내부의 온도, 습도의 변화와 충태별, 처리 위치별 사망률을 조사하여 그 차이를 검증하여 방제에 필요한 온도와 노출기간을 추정하였다.

재료 및 방법

실험 곤충 및 실험 곤충의 사육

화랑곡나방은 1995년 여름 경북 달성군 소재 건조채소 창고에서 채집되어 고려대학교 개체군생태학 실험실에서 건과(*Allium fistulosum* L., 함수량 10~12%)를 사료로 온도 28±0.5℃, 상대습도 70~80%, 16:8(L:D)의 광 조건에서 누대 사육된 계통이었다. 실험에 사용된 화랑곡나방은 산란 후 24시간미만의 알, 3~4령 유충, 우화 후 24시간미만의 성충이었다.

실험장소

실험은 충청남도 아산시 소재 S제분회사의 원료 배합실(255 m³)에서 수행되었다.

실험방법

가열온도와 노출시간, 처리 위치에 따른 화랑곡나방의 사망률

화랑곡나방 성충, 유충 각 30마리와 알 100개를 밀가루 100g이 든 종이봉투(10×20 cm)에 넣었다. 실험장소를 수평적으로 3위치(중앙, 중앙과 벽 중간, 벽 주변), 수직적으로 3위치(바닥에서 3 m 높이의 상단, 높이의 중단과 바닥의 하단)의 9개위치(중상, 중중, 중하, 중간상, 중간중, 중간하, 벽상, 벽중, 벽하)로 구분하여 각 위치에 처리 봉투 5개씩을 놓았다. 화랑곡나방은 주로 밀가루 더미 표면에서 5 cm 이하의 깊이에 분포하므로(윤은영 등, 사적 정보) 종이봉투에 처리된 화랑곡나방은 실제 서식 깊이를 반영하며 제분시설에서 고온 처리를 할 경우 실제 조건에서 고온에 노출되는 상황에 근접할 것으로 생각하였기 때문이다.

원료배합실을 밀폐하고 2대의 열풍기(규격 450×610×1,040 mm, Thermonox GmbH, Germany)를 21시간 동안 가동하였다. 열풍기 가동 시간 경과에 따라 변화하는 온도와 상대습도의 변화를 지속적으로 측정(Hobo, Onset Computer Co., U.S.A)하였다. 21시간 후에 처리된 화랑곡나방의 유충과 성충의 사망률을 조사하였다. 알의 사망률은 각 종이봉투에서 성충과 유충을 제거한 후 온도 $30 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 상대습도 70~80%, 광주기 16:8(L:D)의 조건에서 보관하면서 24시간격으로 부화한 유충을 조사하여 부화율을 계산하였고 부화율로부터 알의 사망률을 추정하였다.

자료분석

실험결과는 $3^3 \times 5$ (총태×수평적 위치×수직적 위치×5 반복) 요인설계의 분산분석으로 분석되었으며 통계 패키지 SAS의 PROC GLM(SAS Institute, 1991)을 이용하였다.

결 과

실험공간의 처리 위치별 온도와 습도의 변화 경과와 기준 온도의 유지 시간

열풍기를 가동한 후 실험 공간의 각 수평적 위치에서의 온도와 상대습도의 변화는 Fig. 1과 같다. 온도의 상승은

중앙부와 벽부에서 유사한 모습을 보였다. 그러나 기준온도인 60°C 까지 상승하는 시간이 중앙부에서 빨랐다. 중앙부에서는 열풍기 가동 2시간 후에 55°C 에 도달하였고 8시간 후에 60°C 에 도달하였으며 61.4°C 를 최고 온도로 60°C 이상의 고온이 11시간 동안 지속되었다. 벽부에서는 55°C 까지 도달하는데 4시간이 소요 되었으며 60°C 까지 상승하는데 15시간이 소요되었고 60.3°C 를 최고 온도로 60°C 이상의 고온이 3시간 동안 지속되었다.

상대습도는 중앙부와 벽부의 위치에 관계없이 주간에는 21~23%에 이르렀고 야간에는 다시 높아져 26~27%를 보였다.

총태별 설치 위치에 따른 화랑곡나방의 사망률

처리된 종이봉투에서의 화랑곡나방의 총태별, 처리위치별 사망률은 Fig. 2와 같다. 화랑곡나방의 총태별 사망률은 유의한 차이를 보여 성충이 100%로 가장 높았고 유충은 $98.89 \pm 0.28\%$, 그리고 알이 $96.16 \pm 0.36\%$ 로 가장 낮았다($F=171.28$ $df=2,108$ $P=0.0001$).

유충의 사망률(\pm 표준오차)은 수직적 위치($F=39.69$ $df=2,108$ $P=0.0001$)와 수평적 위치 간에 유의한 차이가 있었고($F=30.30$ $df=2,108$ $P=0.0001$), 수평적 위치와 수직적 위치간의 상호작용도 유의한 영향을 끼쳤다($F=3.09$ $df=4,108$ $P=0.0210$). 중앙부에서는 수직적 위치에 관계없이 100%의 사망률을 보였으나 중간중 위치와 중간하 위치에서 각각 $98.00 \pm 0.82\%$, $96.00 \pm 0.67\%$ 를 보였고 벽중 위치와 벽하 위치에는 각각 $98.67 \pm 0.82\%$, $97.33 \pm 1.25\%$ 이었

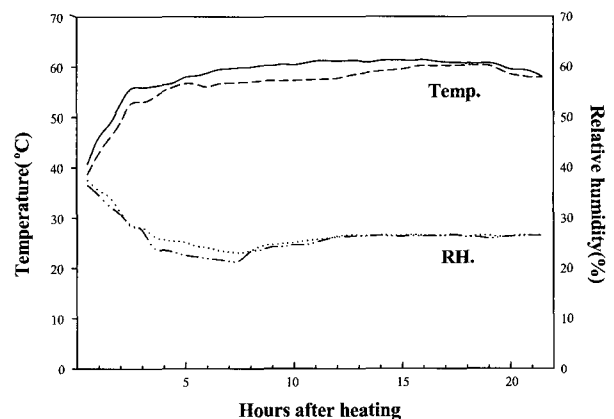


Fig. 1. Temperature and relative humidity profiles at center and edge of experimental space (255 m^3) during the heat treatment (Temperature, —, and RH, ·····, at the center, and Temperature, - - -, and RH, - · - ·, at the edge, respectively).

다. 수평적 위치별로는 중앙부분에서 100%, 중간부분에서 $98.00 \pm 0.54\%$, 벽부분에서 $98.67 \pm 0.34\%$ 이었고, 수직적 위치별로는 상단부에서 100%, 중단부에서 $98.89 \pm 0.42\%$, 하단부에서 $97.78 \pm 0.62\%$ 가 사망하였다.

고온에 노출된 화랑곡나방 알의 사망률(\pm 표준오차)도 처리 위치에 따라 유의한 차이를 보였다. 중앙상단부에서 가장 높아 $98.80 \pm 0.20\%$ 이었고 벽 하단부에서 가장 낮아 $91.40 \pm 0.93\%$ 를 보였다. 수평적 위치별로는 중앙에서 가장 높아 $97.74 \pm 0.34\%$ 를 보인 데 비해 벽부에서는 $94.13 \pm$

0.68% 이었다. 수직적 위치별로는 상단부에서 가장 높아 $97.73 \pm 0.30\%$ 였으며 하단부에서 가장 낮아 $94.27 \pm 0.66\%$ 였다.

고 찰

Field(1992)는 고온에 대한 저장해충의 저온으로의 이동역($35-42^\circ\text{C}$), 24시간 내 사망역($45-50^\circ\text{C}$), 1시간 내 사망역($50-62^\circ\text{C}$), 급속 사망역(62°C 이상)의 4영역으로 구분하면서 화랑곡나방 번데기의 경우 45°C 이상에서 2시간 이상 노출되면 100% 사망함을 보고하였다. Howe(1965)는 화랑곡나방을 고온에 대한 내성이 큰 해충으로 30°C 이상의 고온에서 개체군의 증가가 저해되는 고온 내성군으로 분류하였다. 화랑곡나방의 고온에 대한 내성은 충태에 따라 차이가 있어 알이 가장 크고 성충이 가장 낮다고 알려져 있다(Oosthuizen, 1935). 본 실험에서 보인 결과는 전체적으로 알려진 사실과 유사하여 제분시설 및 저장시설의 고온 처리를 통해 화랑곡나방의 방제가 가능함을 보여주고 있다. 그러나 보고된 바(Lewthwaite *et al.*, 1998; Nakayama *et al.*, 1983)와는 달리 60°C 이상의 고온에 3시간 이상 노출되는 경우에도 알과 유충의 사망률은 각각 96.16%와 98.89%로 99%(Lewthwaite *et al.*, 1998)에 미치지 못하였다. 이러한 차이는 화랑곡나방의 계통 간에 나타나는 생태적 차이일 가능성이 있으나 처리 온도가 60°C 이상의 고온임을 감안한다면 처리 온도, 가열 시작 후 처리온도의 상승 속도와 처리 방법의 차이에 기인된 것으로 생각된다. 급속한 고온 처리와 고온에 직접적으로 노출시키는 경우 화랑곡나방의 고온에 대한 내성이 감소할 것이기 때문이다. 본 실험의 공간이 상대적으로 커서 처리 공간에서의 온도가 위치에 따라 변이가 있었으며 (Fig. 1), 화랑곡나방이 열에 직접 노출되지 않는 밀가루가 든 종이봉투 내에 있었던 만큼 외부에서 관측된 고온에 해충이 노출되지 않았고, 실험공간의 상대습도가 26~27%로 일정하게 유지되어 고온에서 치사를 일으키는 주요 원인인 수분에 대한 스트레스(Field, 1992)가 비교적 작았던 것이 기존 보고된 것보다 낮은 이유일 것으로 생각된다.

실제 제분시설에서의 고온 처리를 통한 화랑곡나방 방제에 대한 연구는 깊이 있게 이루어져 있지 않다. Kirkpatrick and Cagle(1978)은 원맥 싸일로에서 적외선을 이용한 고온 처리를 통하여 내외부의 해충 모두를 모두 소멸시키는데 효과적인 온도는 60°C 라고 보고하였다.

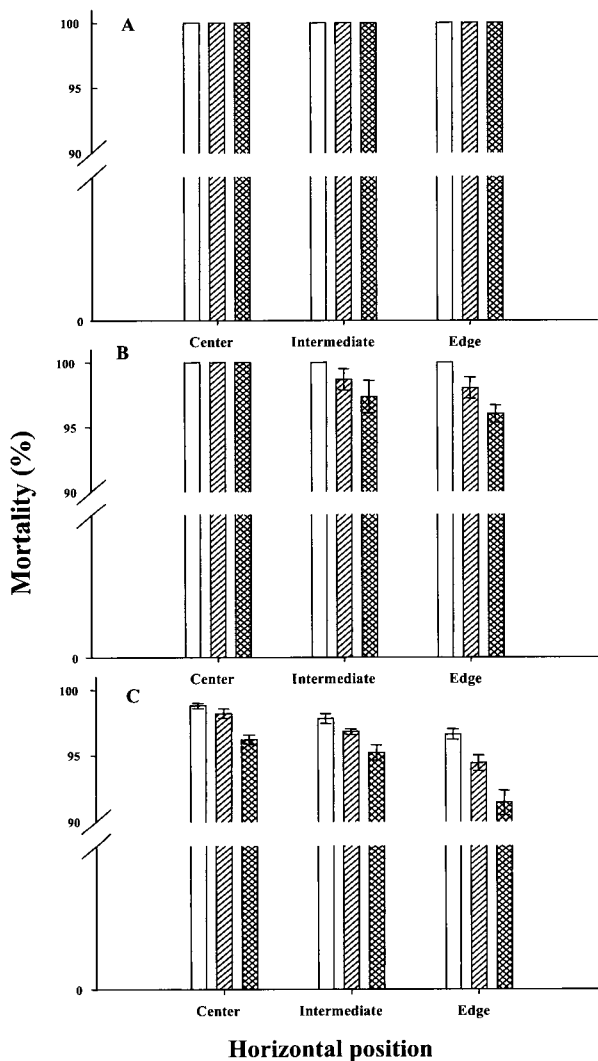


Fig. 2. Mortality of adults (A), larvae (B) and eggs (C) of Indian meal moth exposed to the temperature 60°C above for more than 3 hours at three different vertical and horizontal positions of the experimental space (255 m^3). Open, slashed and double slashed columns indicate the vertical positions of height (every 3 m from bottom), respectively. The vertical bars of the columns show standard error of the means.

Field and Muir(1996)는 제분공장이나 식품공장 등 대규모 설비에서 고온에 의한 해충방제를 성공적으로 하기 위해서는 밀폐된 공간에서 50-60℃의 고온을 24시간을 유지함이 필요하다고 하였다. 설비 내부에 존재하는 해충의 경우 고온에 직접적인 노출이 되지 않으므로 일반적으로 알려진 치사온도보다 높은 온도로 장시간 처리하는 것이 필요하다는 것이다. 설비 내부에 존재하는 해충을 방제하기 위해서 Sutherland *et al.*(1987)은 밀가루 이송라인에 길이 30 m 지름 50 mm의 철재 파이프를 삽입하여 64℃로 가열 시 이송라인 내부에 존재하는 해충이 모두 사망하였고 57℃로 가열 시 90% 사망하였음을 보고하였다. 이러한 보고들은 실제 시설에서 고온 방제를 하기 위해서는 해충의 사망 온도보다는 높은 온도에서 장시간 처리하여야 함을 말하는 것이다. 본 실험은 밀가루에서 화랑곡나방의 서식분포와 유사하게 고안된 종이봉투에서 이루어진 것으로 실제 분포와 유사한 상황에서 60℃ 이상의 온도에서 11시간이 경과(상부)한 후에도 화랑곡나방의 알의 사망률이 100%에 이르지 못하였다는 사실은 이를 뒷받침하는 것이다. 이 결과는 또한 처리 공간의 온도를 Field(1992)의 처방보다는 높은 60℃ 이상을 유지하면서 처리 시간 또한 길게 해야 함을 말하는 것이다. 처리 공간내의 온도분포가 공간의 위치에 따라 변이를 보인 것은 화랑곡나방의 방제를 계획하는 경우 가열 후 이루어지는 공간적 온도분포를 고려하여야 효율적인 방제가 이루어질 수 있음을 암시하는 것으로 생각된다.

대규모 제분공장이나 식품공장에서 화랑곡나방의 사망률에 기준을 두고 60℃ 이상의 고온을 처리하는데는 여러 가지 제약이 따른다. Imholte(1984), Sheppard(1984)와 Adler and Rassman(2000) 등은 고온처리가 공장 또는 시설 내 설비의 물리적 성상의 변화를 유도할 수 있는 가능성을 고찰하면서 이에 대한 관리가 필수적이라고 하였다. 이는 결국 온도에 민감한 설비들이 존재하는 공간에서는 고온 처리가 어렵다는 사실을 간접적으로 가리키는 것이다. 본 실험이 수행된 시설은 일반적으로 제분공정 중 가장 높은 온도가 관측되는 곳으로 해충의 침입과 증식이 용이하지만 동시에 고온 처리로 인해 파손될 시설이 없으며 열로 인한 제품의 변질을 초래하지 않는 장소이다. 60℃ 이상의 고온을 처리하더라도 이로 인한 문제가 발생할 가능성이 적은 이러한 공간에서는 부작용 없이 고온 방제를 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

Literature Cited

- Adler, C. and W. Rassman. 2000. Utilization of extreme temperatures in stored product protections. IOBC Bull. 23: 257~262.
- Arthur, F.H. 1996. Grain protectants: Current status and prospects for the future. J. Stored Prod. Res. 32: 293~302.
- Field, P.G. 1992. The control of stored product insects and mites with extreme temperatures. J. Stored. Prod. Res. 28: 89~118.
- Field, P.G. and W.E. Muir. 1995. Physical control. pp. 125~165. *In* Integrated management of insects in stored products, eds. B. Subramanyam and D.W. Hagstrum. 426 pp. Marcel Dekker, New York.
- Gonen, M. 1977. Susceptibility of *Sitophilus granarius* and *S. oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) to high temperature after exposure to supra-optimal temperature. Ent. Exp. Appl. 21: 243~248.
- 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.
- Imholte, T.J. 1984. A guide to the sanitary design of food plants and food plants equipment, Engin. Food Safety Sanit. Tech. Inst. Food Safety. pp. 31. Crystal.
- Kirkpatrick, R.N. and A. Cagle. 1978. Controlling insects in bulk wheat with infrared radiation. J. Kansas. Entomol. Soc. 51: 386~393.
- Laliaberte, R. 1995. How safe is your child's food? Parents 70: 30~32.
- Lapp, H.M., F.J. Madrid and L.B. Smith. 1986. A continuous thermal treatment to eradicate insects from stored wheat, Paper 86-3008, Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI, pp. 14.
- Lewthwaite, S.E., P.R. Dentener, S.M. Alexander, K.V. Bennett, D.J. Rogers, J.H. Maindonald and P.G. Connolly. 1988. High temperature and cold storage treatments to control Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (H). J. Stored Prod. Res. 34: 141~150.
- Mullen, M.A. and R.T. Arbogast. 1979. Time-temperature-mortality relationship for various stored-product insect eggs and chilling times for selected commodities. J. Econ. Entomol. 72: 476~478.
- Na, J.H. and M.I. Ryoo. 2000. The influence of temperature on development of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) on dried vegetable commodities. J. Stored Prod. Res. 36: 125~129.
- Nakayama, T.O.M., J.M. Allen, S. Cummins and Y.Y.D. Wanf. 1983. Disinfection of dried foods by focused solar energy. J. Food. Proc. and Pres. 1: 1~8.
- Oosthuizen, M.J. 1935. The effect of high temperature on the confused flour beetle. Minn. Tech. Bull. 107: 1~45.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT User's guide (version 6.04). SAS Institute. Cary.
- Sheppard, K.O. 1984. Heat sterilization (superheating) as a control for stored-grain pests in a food plants. pp. 193~200. *In* Insect Management for Food Storage and Processing, eds, by F.J. Baur. AACC, St. Paul.
- Subramanyam, B. and D.W. Hagstrum (eds.). 1995. Integrated management of insects in stored products. 426 pp. Marcel Dekker, New York.
- Sutherland, J.W., P.W. Fricke and R.J. Hill. 1989. The entomological and thermodynamic performance of pneumatic conveyor wheat

disinfestor using heated air. J. Agric. Eng. Res. 44: 113~124.
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. Biol. 53: 459~ 475.

(Received for publication 23 February 2005;
accepted 18 March 2005)