

고농도 탄산가스 충전에 의한 식품 해충 방제: 거짓쌀도둑거저리와 화랑곡나방의 살충효과에 미치는 노출시간과 식품포장 재질의 영향

나자현 · 남영우 · 류문일* · 천용식

고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부

Control of Food Pests by CO₂ Modified Atmosphere: Effects of Packing Materials and Exposure Time on the Mortality of *Tribolium castaneum* and *Plodia interpunctella*

Ja Hyun Na, Youngwoo Nam, Mun Il Ryoo* and Yong Shik Chun

Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Anam-Dong, Sungbuk-Gu, Seoul 136-701, Korea

ABSTRACT : Effects of three packing materials and exposure time on the mortality of *Plodia interpunctella* and *Tribolium castaneum* were studied using CO₂-modified atmosphere control. Materials used were triple layered craft paper (KKK), triple layered craft paper with one laminate coating layer (KLK), and triple layered craft paper with one HD film coating layer (KHK). In the test balls (ϕ 1.2 m) containing 85% CO₂-modified atmosphere, concentration of CO₂ in small packing envelopes (9.8×9.8 cm) made of the materials after one day was higher in KKK (26.67±0.58%) than KLK (23.33±0.58%) or KHK (20.67±0.58%). Both *P. interpunctella* and *T. castaneum* showed higher mortality in KKK than in either KLK or KHK. Similar results were obtained by larger space (9×4×3 m) and packing volume (20 kg) studies. The effect of the packing materials was clearer on *T. castaneum* more tolerant to CO₂ than *P. interpunctella*. Regression of the insect mortality on cumulative concentration time ($\int_0^t c \times tdc \approx \Sigma \text{concentration} \times \text{time}$) was highly significant. Control of *P. interpunctella* and *T. castaneum* by CO₂-modified atmosphere were discussed in relation to packing materials, cumulative concentration time of CO₂ and food products.

KEY WORDS : CO₂-modified atmosphere, *Plodia interpunctella*, *Tribolium castaneum*, Kraft papers, Cumulative concentration time

초 록 : 고농도 탄산가스 충전을 통한 식품 해충 방제에서 식품 포장재질과 노출시간이 화랑곡나방과 거짓쌀도둑거저리의 사망률에 미치는 영향을 조사하였다. 사용된 식품포장 재질은 3겹크라프트지(KKK), 2겹 크라프트-1겹 라미네이트 코팅지(KLK), 2겹크라프트-1겹 HD 코팅지였다(KHK). 탄산가스 농도가 85% 로 충전된 실험구(직경 1.2 m)에 투입 하루 후 각 재질의 봉투(9.8×9.8 cm) 내 탄산가스 농도는 KKK(26.67±0.58%)에서 다른 재질 봉투에 비해 유의하게 높았다. 화랑곡나방과 거짓쌀도둑거저리의 사망률은 KKK 재질의 봉투에서 다른 재질에 비해 유의하게 높았다. 실제 식품보관 창고(9×4×3 m)에서 대형 포대(20 kg)를 대상으로 한 실험에서도 유사한 결과를 얻었다. 포장재질의 영향은 화랑곡나방 보다 내성이 강한 거짓쌀도둑거저리에서 두드러졌다. 화랑곡나방과 거짓쌀도둑거저리의 사망률은 누적 농도시간($\int_0^t c \times tdc \approx \Sigma \text{농도} \times \text{시간}$)에 회귀하였다. 이 결과를 토대로 탄산가스 충전에 의한 방제

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

효과를 식품포장 재질, 식품의 종류, 누적농도시간과 연관하여 고찰하였다.

검색어 : CO₂-modified atmosphere, *Plodia interpunctella*, *Tribolium castaneum*, 크라프트지, 누적농도시간

서 론

저장중 곡물과 식품 해충은 주로 메틸브로마이드 또는 포스핀 훈증을 통해 방제해 왔다. 그러나 이들에 대한 해충의 저항성 발현으로 방제 효율이 떨어지고 있으며 아울러 오존층 파괴의 요인으로 작용한다는 사실이 알려진 이후(White and Leesch, 1995) 이들 사용이 제한되거나 금지되고 있다. 이에 대한 대안으로 저장공간을 고농도의 탄산가스로 충전함으로써 해충을 방제하고자 하는 방안이 활발하게 논의되어 오고 있다(Donahye *et al.*, 1996; Shunmugam *et al.*, 2005; Gunasekaran and Rajendran, 2005; Hulasare *et al.*, 2005). 해충이 고농도의 탄산가스에 노출되면 마비(AliNiazee, 1972)가 일어나고 교미빈도, 산란율과 우화율이 떨어진다(Press and Flaherty, 1973). 이와 함께 기문이 열려 수분증산 억제력이 무너지고(Jay and Guff, 1981) 중추신경 이온의 불균형이 유도되어(Edwards and Batten, 1973; Fruzeau, 1977) 사망하게 된다.

탄산가스 충전에 의한 해충방제는 밀폐된 저장시설을 고농도의 탄산가스로 충전하고 저장 식품을 일정 시간 노출시켜 해충의 사망을 유발하는 방법이다. 살충력에 미치는 요소는 탄산가스의 충전 농도와 처리 시간과 온도이며 과녁 해충 종과 충태에 따라 감수성이 다르므로 환경과 과녁해충 종에 처리를 달리하는 것이 일반적이다(Harein and Press 1968; AliNazee 1971; Navarro and Jay 1987; Reichmuth 1987).

지금까지 고농도 탄산가스 처리에 의한 방제 연구 또는 방제 모델 개발은 저장시설에 보관되는 곡물 또는 식품재료를 고농도 탄산가스에 직접 노출시키는 상황에서 이루어져 왔다. 그러나 우리나라의 경우 식품 재료 또는 가공품이 포장된 상태로 저장 시설에 보관되고 있으므로 직접 노출되는 상황에서 개발된 방제 모델로는 소기의 목적을 달성하기가 어렵다. 고농도의 탄산가스가 포장내로 확산되어 살충력을 발현하게 되는데, 포장종류와 포장재질에 따라 확산 속도와 확산상이 다르며 이로 인해 살충력의 변이를 유도할 수 있기 때문이다. 본 실험은 탄산가스 충전에 의한 살충효과가 식품재료포장에 사용되는 포장

재에 따라서 얼마나 변이를 보이는지를 알기 위하여 수행된 것이다. 대상 해충은 저장식품에서 빈번하게 발견되어 문제를 일으키는 화랑곡나방(*Plodia interpunctella* Hübner)과 거릿쌀도둑거저리(*Tribolium castaneum* (Herbst))였다. 화랑곡나방은 전 세계적으로 100여종의 식품을 가해하여 경제적 피해를 일으키는 저장식품의 관건해충이며 최근에는 생산과정과 유통과정에서 식품에 침입한 유충들이 자주 발견되어 정서 해충으로서의 중요성이 커지고 있다. 거릿쌀도둑거저리는 제분회사의 저장시설에서 자주 발견되어 문제를 일으키는 관건해충이다.

재료 및 방법

공시충

화랑곡나방은 1995년 여름 경북 달성군 소재 건조채소창고에서 채집된 것으로 고려대학교 개체군생태학 실험실에서 함수량이 10-12%인 건파(*Alium fistulosum* L.)를 사료로 하여 28±0.5°C, 16:8(L:D)의 광조건에서 누대 사육된 계통이었다. 실험에 사용된 화랑곡나방 충태는 산란 후 24시간 미만의 알, 3-4령 유충과 우화후 24시간 미만인 성충이었다.

거릿쌀도둑거저리는 2003년 봄에 충북 아산 소재 제분공장에서 채집하였으며 밀가루를 사료로 30±0.5°C, 상대습도 70-80%, 16:8(L:D)의 광조건에서 누대 사육한 계통이었다. 실험에 사용된 충태는 4령 이상의 유충과 우화 후 일주일 미만의 성충이었다.

실험 장소

실험은 충북 아산 소재 제분회사의 밀폐원료 창고(9×4×3 m)에서 수행되었다. 창고 내에는 식품재료(가루) 20 kg 들이 포장이 50개씩 적재된 16개의 팔렛트(pallet)가 2단으로 배치되어 있었다(Plate 1).

실험 방법

고농도 탄산가스 노출시간이 총태별 사망률에 미치는 영향

비닐로 만든 실험구(지름 1.2 m)를 제작하였다. 소맥분 300 g을 넣은 일반크라프트지 3겹지(평당 80 g/m², KKK) 봉투(9.8×9.8 cm), 크라프트지 2겹 중간에 라미네이트 코팅 크라프트지를 삽입한 3겹지(평당 80 g/m², KLK) 봉투, 일반크라프트지 2겹 중간에 HD 코팅크라프트지를 삽입한 3겹지(평당 80 g/m², KHK) 봉투에 거짓쌀도둑거저리 4령 이상의 노숙 유충 및 성충 각 100마리와, 화랑곡나방 성충, 3-4령 이상의 노숙 유충, 알 각 50마리, 50마리와 100마리를 넣은 후 처리된 봉투를 실험구에 넣은 다음 실험구 내의 탄산가스 농도가 85%에 이르도록 탄산가스를 주입하고 밀폐하였다. 매 24시간격으로 실험구를 회수하여 봉투 내 탄산가스 농도를 측정하고 화랑곡나방과 거짓쌀도둑거저리의 총태별 사망률을 조사하였다. 회수된 봉투를 30±0.5°C, 70-80% RH, 16:8(L:D)의 조건에 계속 보관하면서 24시간격으로 부화된 화랑곡나방 유충수를 기록하였다. 매 조사 시 실험구가 파괴되어 복원할 수 없었으므로 조사는 실험구들 중에서 임의로 선택된 실험구를 대상으로 하였다. 실험은 각 처리별(봉투 재질의 종류) 3반복으로 수행되었다.

저장시설에서의 저장 위치와 포장재 특성이 살충력에 미치는 영향

위에서 사용된 포장재로 만들어진 3가지 종류의 포대를 사용하였다. 대상 포대는 20 kg 들이 일반크라프트지 3겹지 포대(평당 80 g/m²: KKK), 일반크라프트지 2겹 중간에 라미네이트코팅크라프트지를 삽입한 3겹지 포대(80 g/m²: KKL), 일반크라프트지 2겹 중간에 HD 코팅크라프트지를 삽입한 3겹지 포대(80 g/m²: KHK)였다. 각각의 포대의 용도에 따라 20 kg의 소맥분, 또는 가공한 가루제품을 넣었다. 화랑곡나방 성충 50마리, 3-4령 이상의 노숙유충 50마리와 알 100개를 넣은 봉투와 거짓쌀도둑거저리 성충과 4령 이상의 노숙 유충 50마리를 넣은 봉투를 각 포대 중앙에 넣었다. 9개의 포대를 저장실내에 3열, 3층(바닥으로부터 0.2 m, 1.4 m, 2.8 m)으로 배치하였다. 포대가 살충력에 미치는 영향을 추정하기 위하여 9개의 동일하게 처리된 봉투들을 각 포대와 동일한 위치에 노출되도록 배치하였다.

저장시설을 밀폐한 후 탄산가스 160 kg(내부투입: 외부주입 = 80 kg : 80 kg) 또는 200 kg(내부투입: 외부주입 = 80 kg : 120 kg; 120 kg : 80 kg; 40 kg : 120 kg)을 충전

하였다. 충전방법에 따라 96시간 경과 후 실내 잔류 농도는 처리 순서대로 각각 20%, 24%, 22%, 26% 이었다. 따라서 네 가지 농도 조건에서 수행되었고 농도의 영향을 추정할 수 있었다.

공간 내 탄산가스 농도와 화랑곡나방 및 거짓쌀도둑거저리 각 총태별 사망률을 조사하였다.

통계분석

실험에서 얻어진 자료는 수집된 자료는 각 실험에 대응하는 분산분석(GLM Proc, SAS Institute, 2002)을 통해 분석되었다. 탄산가스 충전에 의한 살충률은 Abbott 수정식에 따라 수정 처리되었다(Abbott 1925).

결 과

포장재별 탄산가스의 포장내부 확산

Table 1은 실험구에 투입한 각 포장재별 봉투에서의 탄산가스 농도를 보인 것이다. 실험구내의 초기 탄산가스 농도를 85%로 조정하였을 때 봉투로 확산된 탄산가스 농도(평균±표준편차)는 2일 후에 최고치를 보였고 이후 시간이 흐름에 따라 감소하였는데 포장재와, 포장재와 시간의 상호작용이 유의한 영향을 미쳤다(포장재, 시간, 상호작용 각각 F=565.35; df=2,36; P<0.001, F=121.29; df=5,36; P<0.0001, F=7.05; df=10,36, P<0.0001). KHK로의 확산이 가장 늦어 2일 후에 23.67±0.58%였으며 KKK에서는 29.67±0.58%, 그리고 KKL에서는 25.67±0.58%가 되었다. 봉투내 탄산가스 농도는 3일 이후부터 낮아져서 6일 후에는 KKK, KKL, KHK에서 각각 23.67±0.58, 21.67±0.58, 16.00±0.58%를 보였다.

포대재질과 노출시간이 거짓쌀도둑거저리와 화랑곡나방의 사망률에 미치는 영향

화랑곡나방의 사망률은 포장재에 따라 총태에 따라 차이를 보였다 (Table 2). 성충의 감수성이 가장 높아 1일 후에 모두 사망하였으며, 유충이 그 다음으로 포장재에 관계없이 3일 후에 모두 사망하였다. 알의 감수성이 가장 낮아 3일 후에도 96-99%의 사망률을 보였고 4일 후에 서야 100% 사망하였다(F=23.67; df=1,97; P<0.001). 포장재에 따라서도 차이를 보여 KKK에서 가장 사망률이 높았고 KKL과 KHK에서는 차이를 보이지 않았다(F=11.11;

Table 1. Concentration of CO₂ (±s.d.) in the balls made of three package materials in relation to the days after treatment where the initial CO₂ concentration were modified to 85%

Days after release	KKK	KLK*	KHK*
1	26.67±0.58	23.33±0.58 a	20.67±0.58 a
2	29.67±0.58	25.67±0.58 a	23.67±0.58 a
3	28.33±0.58	25.67±0.58 a	21.67±0.58 a
4	25.67±0.58	24.33±0.58 b	20.33±0.58 b
5	25.33±1.15	22.33±0.58 a	16.33±0.58 a
6	23.67±0.58	21.67±0.58 b	16.00±0.58 b

KKK : Materials used were triple layered craft paper, KLK : triple layered craft paper with one laminate coating layer, KHK : triple layered craft paper with one HD film coating layer.

1) Means in the column followed by the same letter are not significantly different (P>0.05) based on Tukey's test.

Table 2. Mortality (±s.d.) of egg, larva and adult of *Plodia interpunctella* exposed to high CO₂ atmosphere in the three different packing materials

Package (a)	Days after treatment			
	1	2	3	4
	egg*			
KKK	92.67±1.15 a	95.67±1.53 a	99.33±0.53 a	100.00±0.00 a
KLK	90.33±2.08 b	93.67±0.58 b	97.67±0.58 b	100.00±0.00 a
KHK	88.33±1.53 b	91.33±1.53 b	96.33±0.58 b	100.00±0.00 a
	larva*			
KKK	94.67±1.15 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
KLK	90.67±1.53 b	98.33±0.58 b	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
KHK	89.00±1.73 b	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
	adult			
KKK	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
KLK	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
KHK	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

(a For explanation, see Table 1.)

Means in the row followed by the same letter are not significantly different (P>0.05) based on Tukey's test.

df=2,97; P<0.001)(Table 2).

실험 봉투내의 탄산가스 농도와 시간을 가중한 가중노출농도와 알의 사망률 간에는 정의 상관(r=0.91; df=33; P<0.001)을 보였으며 알의 사망률은 가중노출농도에 회귀하여(Figure 1), 포장재 간 차이는 포장재를 통한 탄산가스의 봉투 내부로의 확산속도 및 량과 관계가 있음을 보여주었다.

저짓쌀도독거저리는 화랑곡나방에 비해 고농도 탄산가스 처리에 대한 감수성이 낮아 6일 후에 100% 사망률을 보였다(Table 3). 유충의 사망은 KKK에서 가장 높아 1일 후에 70.67±2.08에 달하였다. KHK에서는 1일 후에 54.67±2.52%로 가장 낮았고 4일 후에도 다른 포장과는 달리 사망률이 88.33%에 그쳤다. KLK는 그 중간이었다(F=880.33; df=2,36; P<0.001). 사망률은 노출 시간에 따라 유의하게 높아졌고(F=155.35; df=5,36; P<0.001) 이

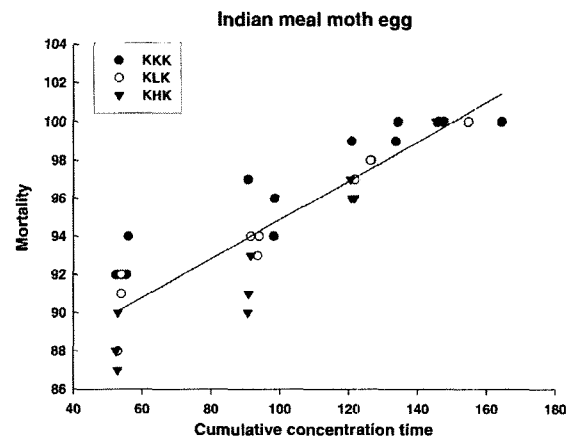


Fig. 1. The relation between cumulative concentration time and mortality in Indian meal moth eggs.

KKK : Materials used were triple layered craft paper, KLK : triple layered craft paper with one laminate coating layer, KHK : triple layered craft paper with one HD film coating layer.

Table 3. Mortality (\pm sd) of larva and adult of *T. castaneum* exposed to high CO₂ atmosphere in the three different packing materials

Package (^a)	Days of the treatment					
	1	2	3	4	5	6
larva*						
KKK	70.67 \pm 2.08 a	82.67 \pm 1.53 a	93.67 \pm 0.58 a	97.67 \pm 0.58 a	98.67 \pm 0.58 a	100.00 \pm 0.0 a
KLK	56.33 \pm 2.52 b	74.67 \pm 1.53 b	88.67 \pm 1.15 b	92.33 \pm 1.15 b	96.33 \pm 2.08 b	100.00 \pm 0.0 a
KHK	54.67 \pm 2.52 b	67.67 \pm 2.31 c	78.33 \pm 2.52 c	88.33 \pm 3.06 b	95.33 \pm 0.58 b	100.00 \pm 0.0 a
adult*						
KKK	73.33 \pm 2.08 a	83.67 \pm 2.08 a	92.67 \pm 1.15 a	97.33 \pm 0.58 a	99.33 \pm 0.58 a	100.00 \pm 0.0 a
KLK	61.67 \pm 1.15 b	74.33 \pm 0.58 b	88.67 \pm 1.53 b	94.33 \pm 1.53 b	96.67 \pm 1.53 b	100.00 \pm 0.0 a
KHK	60.33 \pm 4.16 b	73.67 \pm 1.15 b	83.67 \pm 2.52 c	92.67 \pm 1.53 b	96.33 \pm 1.15 b	100.00 \pm 0.0 a

(^a For explanation, see Table 1.)

Means in the row followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$) based on Tukey's test.

영향은 포장재에 따라 차이를 보였다($F=15.45$; $df=10,36$; $P<0.0001$). 성충의 사망도 유충과 유사한 경향을 보였다. KKK에서 1일 후에 73.33 \pm 2.08%로 가장 높은 사망률을 보였고 KHK와 KLK에서는 각각 61.67 \pm 1.15와 60.33 \pm 4.16%로 유의하게 낮았다($F=81.09$; $df=2,36$; $P<0.001$). 노출시간이 길어지면 사망률도 비례하여 높아졌고($F=617.59$; $df=5,36$; $P<0.001$) 포장재에 따라 변이를 보였다($F=8.77$; $df=10,36$; $P<0.001$).

실험 봉투내의 탄산가스 농도와 시간을 가중한 누적농도 시간과 사망률 간의 관계는 화랑곡나방의 경우와 같이 유충과 성충에서 정의 상관($r=0.92$ and 0.94 ; $df=52$; $P<0.001$)을 보였고 사망률은 누적농도시간에 회귀하였다(Figure 2).

저장시설에서의 탄산가스 충전에 의한 방제 효율

창고 내 보관 포대의 수직적 저장위치에 따른 거짓쌀도둑거저리와 화랑곡나방의 사망률은 차이를 보여 동일한 재질의 포대에서도 창고 하부에 보관한 포대에서 사망률이 유의하게 높았다($F=8.04-13.58$; $df=2,39$; $P<0.001$).

Table 4는 저장시설에서의 탄산가스 충전에 따른 화랑곡나방의 사망률을 충태별, 포대재질별로 보인 것이다. 유충과 성충은 20% 이상의 농도에 4일간 노출될 경우 100%의 사망률을 보였으며 포대내외 또는 포대재질에 따른 차이는 인정되지 않았다. 그러나 알은 유충과 성충에 비해 탄산가스 농도에 대해 저항력이 컸다. 직접 노출되었을 경우 20% 이상의 농도에서 100%의 사망률을 보였으나 KLK와 KHK 포대 내에서는 유의하게 낮아 22%에서도 각각 0.93 \pm 0.05와 0.92 \pm 0.06를 보였다($F=6.26$; $df=3,39$; $P<0.01$).

Table 5는 거짓쌀도둑거저리의 사망률을 충태별, 포대

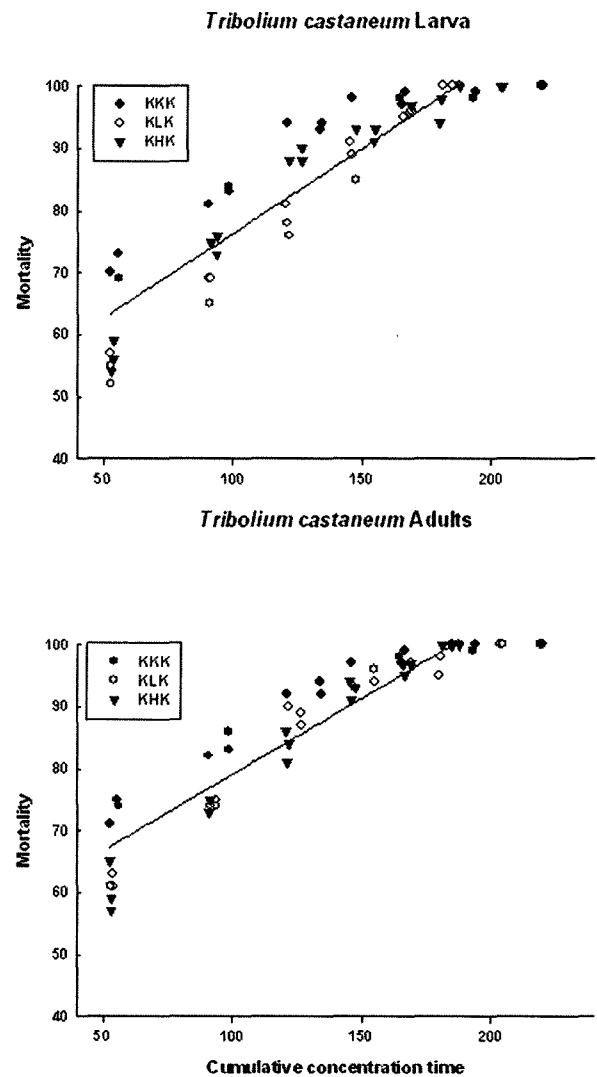


Fig. 2. The relation between cumulative concentration time and mortality in *Tribolium castaneum* larva and adults.

Table 4. Mortality of *Plodia interpunctella* to a CO₂-modified atmosphere for four days in relation to packing materials and residual CO₂ concentration

Package (^a)	20%	22%	24%	26%
		egg*		
KKK	0.94±0.05 a	0.96±0.03 a	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a
KLK	0.91±0.06 b	0.93±0.05 b	0.99±0.02 b	1.00±0.00 a
KHK	0.92±0.04 b	0.92±0.06 b	0.98±0.02 b	1.00±0.00 a
outside	0.99±0.02 c	0.99±0.02 c	1.00±0.00 a	1.00±0.00 a
		larva		
KKK	1.00±0.00	0.99±0.02	1.00±0.00	1.00±0.00
KLK	0.99±0.01	0.99±0.01	1.00±0.01	1.00±0.00
KHK	0.99±0.01	0.99±0.02	1.00±0.00	1.00±0.00
outside	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
		adult		
KKK	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
KLK	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
KHK	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
outside	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00

(^a For explanation, see Table 1.)

Table 5. Mortality of *T. castaneum* exposed to a CO₂-modified atmosphere for four days in relation to packing materials and residual CO₂ concentration (%)

Package (^a)	20%	22%	24%	26%
		adult*		
KKK _a	0.89±0.04 a	0.88±0.02 a	0.98±0.03 a	0.97±0.05 a
KLK _b	0.74±0.04 b	0.69±0.06 b	0.90±0.07 b	0.94±0.05 a
KHK _b	0.69±0.02 b	0.74±0.06 b	0.89±0.06 b	0.95±0.06 a
outside _c	0.98±0.04 c	0.97±0.03 c	0.99±0.01 a	0.99±0.01 a
		larva*		
KKK _a	0.88±0.04 a	0.86±0.02 a	0.98±0.03 a	0.96±0.05 a
KLK _b	0.72±0.04 b	0.70±0.06 b	0.89±0.07 b	0.93±0.06 a
KHK _b	0.66±0.02 b	0.75±0.06 b	0.87±0.06 b	0.99±0.01 a
outside _a	0.94±0.04 a	0.93±0.03 c	0.99±0.01 a	0.98±0.03 a

(^a For explanation, see Table 1.)

Means in the row followed by the same letter are not significantly different ($P>0.05$) based on Tukey's test.

재질별로 보인 것이다. 거짓쌀도둑거저리는 노출된 탄산가스 농도가 높아짐에 따라 사망률이 증가하여(유충 : $F=29.50$; $df=3,39$; $P<0.001$, 성충 : $F=32.41$; $df=3,39$; $P<0.001$) 4일간 잔류농도 24% 이상의 수준에 직접 노출되었을 때 성충과 유충 등 총태에 관계없이 $0.99±0.01$ 의 사망률을 보였다. 포대내에서의 사망률은 포대재질에 영향을 받았고 KKK에서는 포대외부에서의 사망률과 차이가 없었으나 KLK와 KHK에서는 유의하게 낮았다(성충 : $F=34.00$; $df=3,39$; $P<0.001$, 유충 : $F=29.50$; $df=3,39$; $P<0.001$), 20% 농도에서 KLK와 KHK에서는 각각 $0.74±0.04$ 와 $0.69±0.02$ 로 사망률이 낮았고 26%에서도 각각 $0.94±0.05$ 와 $0.95±0.06$ 으로 100% 사망을 유도하지 못하였다.

고 찰

시험구내의 탄산가스 농도를 85% 되도록 충전한 경우 실험봉투 내의 탄산가스 농도는 포대 재질에 따라 차이를 보였고 이것이 포대재질의 영향이 탄산가스에 대한 내성이 강한 거짓쌀도둑거저리에서 현저하게 나타난 이유라고 생각된다. 크라프트지의 속지 라미네이트 코팅이나 HD 코팅은 외부공기의 포대내로의 확산을 저해함으로써 결과적으로 포대내의 탄산가스 농도가 충분히 높아지지 않았으며 이것이 KLK와 KHK에서 살충력이 낮았던 이유일 것이다. 화랑곡나방과 거짓쌀도둑거저리의 사망률이 포대재질에 관계없이 탄산가스의 농도와 노출시간의

가중치에 회귀되는 사실이 이 가설을 지지한다.

어떤 포장재를 사용할 것인가는 저장하고자 하는 식품의 종류에 따라 결정된다. 신선도와 품질을 유지하기 위해서 보관 중 수분함량을 8-10% 정도로 낮게 유지해야 하는 식품의 경우 포대 외부로부터의 수분확산을 막기 위해서 KKK 보다는 KKK 또는 KHK를 사용하게 된다(관련회사와의 사적 의견 교환). 이러한 포장재들은 동시에 포대 내외로의 탄산가스의 확산을 감소시키므로 고농도 탄산가스 충전을 통한 방제 효율을 저하시키게 된다.

본 실험에서 보인 누적농도시간(Σ (탄산가스의 농도 \times 노출시간))과 해충의 살충력 간의 관계는 화랑곡나방에서 보고된 바와 유사한 결과로(Hulasare et al., 2005) 과녁해충과 포장재질에 따라서 농도와 노출시간을 조절함으로써 효과적인 방제가 가능하다는 사실을 암시하는 것이다. 높은 농도로 단시간 노출시키든지 아니면 낮은 농도로 장시간 노출시키는 양 극단에서 농도와 시간을 계획할 수 있다는 것이다. 저장식품의 종류에 따라 해충의 생태적 특성에 변이를 보이며(Cline and Highland 1985; Hagstrum and Smittle 1978; Mullen and Arbogast 1977; Na and Ryoo 2000), 해충의 피해도와 관련 해충 종도 다르게 된다. 그러므로 저장식품에 따라 관건해충을 판별하고 관건해충의 탄산가스에 대한 내성을 파악하는 일은 이 방제 방법을 시행하기 위한 기본 자료가 된다고 생각된다. 포대 재질에 따라서 내부로의 확산에 차이를 보이므로 저장식품의 포대 재질은 여기에 더하여 검토되어야 할 것이다.

Literature cited

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- AliNazee, M.T. 1971. The effect of carbon dioxide gas alone or in combinations on the mortality of *Tribolium castaneum* (Herbst) and *T. confusum* duval (Col. Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.* 7: 243-251.
- AliNiazee, M.T. 1972. Susceptibility of the confused and red flour beetles to anoxia produced by helium and nitrogen at various temperatures. *J. Econ. Entomol.* 65: 60-67. *J. Econ. Entomol.* 65: 60-67.
- Cline, L.D. and H.A. Highland. 1985. Survival, reproduction, and development of seven species of stored-product insects on the various food components of lightweight, high-density, prototype military rations. *J. Econ. Entomol.* 779-782.
- Donahaye, E.J., S. Navaro, M. Rinceder and A. Azrieli. 1996. The combined influence of temperature and modified atmospheres on *Tribolium castaneum* (Coleoptera; Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.* 32: 225-232.
- Edwards, L.J. and R.W. Batten. 1973. Oxygen consumption in carbon dioxide anesthetized houseflies. *Muscadomestica* Linn. (Diptera: Muscidae). *Comp. Biochem. Physiol. A.* 44, 1163.
- Fruzeau, B.S. 1977. Aspect neurophysiologique de la différenciation phasaire chez le Criquet migrateur *Locusta migratoria*: amines biogènes et perméabilité membranaire. In 4th Coll. *Physiol. de l'Insecte Metabolisme*, Univ. Bordeaux, Ed. 71.
- Gunasekaran, N. and S. Rajendran. 2005. Toxicity of carbon dioxide to drugstore beetle *Stegobium paniceum* and cigarette beetle *Lasioderma serricorne*. *Journal of Stored Products Research* 41: 283-294
- Hagstrum, D.W. and B.J. Smittle. 1978. Host utilization by *Bracon habetor*. *Environ Entomol.* 7: 596-600.
- Harein, P.K. and A.F. Press. 1968. Mortality of stored peanut insects exposed to mixtures of atmospheric gases at various temperatures. *J. Stored Prod. Res.* 4: 77-82.
- Hulasare, R.B., N.D.G. White, D.S. Jayas. 2005. Effect of suboptimal temperatures and sublethal CO₂ levels on multiplication of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), alone or competing with *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptera: Cucujidae). *Journal of Stored Products Research* 41: 187-197
- Jay, E.G. and W. Guff. 1981. Weight loss and mortality of three life stages of *Tribolium castaneum* (Herbst) when exposed to four modified atmospheres. *J. Stored Prod. Res.* 17: 117-126.
- 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.
- 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.
- Navarro, S. and E.G. Jay. 1987. Application of modified atmospheres for controlling stored grain insects. BCPC MONO. NO. 37, *Stored Products Pest Control*, pp. 229-236.
- Press, J.W. and B.R. Flaherty. 1973. Reduction of fecundity and egg hatch in three stored product Phycitid moths after repetitive sublethal carbon dioxide. *Environ. Entomol.* 2: 147-158.
- Reichmuth, C. 1987. Low oxygen content to control stored product insects. In Donahaye, E. and S. Navarro. [Eds.] *Proceedings 4th International Working Conference Stored Product Protection*, pp. 194-207. Tel Aviv, Israel, 1986.
- SAS Institute. 2002. SAS user's guide. SAS Institute. CARY, NC.
- Shunmugam, G., D.S. Jayas, N.D.G. White, W.E. Muir. 2005. Diffusion of carbon dioxide through grain vulks. *J. Stored Prod. Res.* 41: 131-144.
- White, N.D.G. and J.G. Leesch. 1995. Chemical control. pp. 287-330, In Subramanyam, B. and D.W. Hagstrum. 1995. *Integrated management of insects in stored products*. Marcel Dekker, New York.

(Received for publication 28 June 2006;
accepted 20 November 2006)