韓應昆誌 47(1): 23~29 (2008)
Korean J. Appl. Entomol.

Trehalose 인자 도입 수도 계통 현미가 화랑곡나방(나비목: 명나방과)과 어리쌀바구미(딱정벌레목: 바구미과)의 생활사에 미치는 영향

천용식 · 류기현[1] · 김성욱[2] · 고예강 · 최가람 · 남영우 · 류문일*
고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부, [1]서울여자대학교 자연과학대학 환경생명과학부, [2]한국생명공학연구원

Effects of Introducing Trehalose Gene into Rice on the Life History of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)

Yong Shik Chun, Ki Hyun Ryu[1], Sung Uk Kim, Ye-Kang Ko, Karam Choi, Youngwoo Nam and Mun Il Ryoo*
Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Anam-dong, Sungbuk-Gu, Seoul 136-701
[1]Division of Environmental Life Sciences, Seoul Women's University, Gongreung-dong, Nowon-Gu, Seoul 139-774
[2]Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Daejeon 305-333, Korea

ABSTRACT : The biology of indian meal moth and maize weevil on the trehalose gene introduced rice (var 'Nakdong') (T-Nakdong) was compared to that on the rice without gene introduction (Nakdong) at 28±1.0℃. Development of the both two insects was significantly delayed; on T-Nakdong, the developmental periods of female moth (±SE) and weevil were 38.46±0.42 and 36.38±0.28 days, respectively. Whereas those on Nakdong were 36.38±0.28 and 34.33±0.18, respectively. Net reproduction rate of Indian meal moth on T-Nakdong (3.0±0.14) was significantly lower than that on Nakdong (9.25±0.13), due to the lower emergence rate (21.08±0.04% vs 48.30±0.06%). The life table statistics of maize weevil on T-Nakdong was estimated to be similar to those on Nakdong. The delayed development of T-Nakdong suggested that the factor for development of the insects could be changed by the introduction of trehalose gene into the rice variety.

Key Words : Indian meal moth, Maize weevil, Life table statistic, Trehalose

초 록 : Trehalose 유전자를 삽입하여 내건성을 강화한 벼(품종 '낙동': T-낙동)에서 수확된 쌀이 주요 저장 해충인 화랑곡나방(*Plodia interpunctella* Hübner)과 어리쌀바구미(*Sitophilus zeamais* Motschulsky)의 개체군 성장에 미치는 영향을 조사하였다. 28±1℃에서 T-낙동에서의 화랑곡나방 암컷의 발육(±SE) 일수는 38.46±0.42로 낙동에서의 발육일수 36.38±028일에 비해 유의하게 지연되었다. T-낙동에서의 화랑곡나방의 암컷 당 산란수는 152.07±10.79개로 낙동에서의 산란수(141.6±14.56)와 유사하였으나 우화율은 21.08±0.04%로 낙동에서의 48.30±0.06%에 비해 유의하게 낮았고 순증가율은 3.0±0.14로 낙동에서의 9.25±0.13에 비해 유의하게 낮았다. 어리쌀바구미의 발육일수는 T-낙동과 낙동에서 각각 36.38±0.28일과 34.33±0.18일로 유의한 차이를 보였으나 생명표 통계량에 영향을 미치지는 못하였다. 화랑곡나방과 어리쌀바구미 모두에서 발육이 지연된 현상은 형질전환으로 인해 발육에 관계된 인자에서의 변화가 있었음을 암시하는 것이다.

검색어 : 화랑곡나방, 어리쌀바구미, 생명표통계량, Trehalose

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

1990년 초반 유전자변형 토마토로부터 시작된 유전자 변형 작물의 보급은 병해충에 대한 저항성, 영양 조정, 물리적 환경 인자에 대한 저항성/내성 등을 부여함으로써 작물의 재배 관리를 용이하게 하고 생산성의 증가와 시장성을 높이는데 기여하고 있다(Alexander and Creech, 1977; ISAAA, 2003). 그러나 작물의 유전자변형은 그 작물의 물리적, 화학적 특성의 변화를 유도하며 이로 인해 주위 환경의 생물적 인자들의 변화를 유발하고 전체적으로 생태계의 변화를 초래할 위험성이 있으며(Dale *et al.*, 1992; Kuvshinov *et al.*, 2001; Snow *et al.*, 2005) 동시에 작물을 이용하는 사람과 가축들에 대한 위해위험을 배제할 수 없다(Astwood and Fuch, 1996). 최근의 작물의 특성 변화에 민감한 곤충에게 미치는 영향에 대한 보고와 논의들은 이에 대한 관심을 반영하고 있다(Zangerl *et al.*, 2001). 곤충은 작물의 크고 작은 또는 미세한 특성에서 차이를 보이는 품종에 따라서도 성장과 생활사에 차이를 보인다(Cŏnsoli and Filho, 1995; Gudrups *et al.*, 2001; Throne *et al.*, 1995). 인공사료의 화학적 조성을 달리하는 경우 목적 곤충의 성장과 개체군의 발전에 영향을 준다는 사실에서(LeCato, 1976) 유전자 변형으로 인해 식물체 또는 열매에 화학적 변형을 초래하는 경우 곤충의 생활사에 미치는 영향이 클 수 있다는 것을 유추할 수 있다.

특정 종의 곤충이 자신이 자원으로 하는 식물 또는 열매의 미세한 화학적 변화에도 반응한다면 이 종과 관련된 생태계 구성요소들의 변화는 필연적이다. 그래서 차상위의 포식자/기생자가 영향을 받게 되면 그 종 개체군 동태의 변화를 유도하게 된다. 따라서 유전형질의 변이가 미세하고 이를 기주로 하는 곤충에게 단기적인 충격을 주지 않는다 하더라도 미세한 충격이 지속적으로 이루어 질 경우 개체군의 동태는 변화될 수밖에 없다. 형질전환 작물의 생태계 유입이 미치는 영향을 장기적으로 검토해야 하는 것은 이러한 이유에서이다. 그러나 이런 측면, 특히 병해충 방제 또는 관리를 목적으로 한 것이 아닌 형질전환 작물의 경우 이에 대한 연구는 이루어지지 못하고 있다.

본 연구는 해충의 방제나 관리가 아닌 수도의 건조 등 물리화학적 스트레스로부터 내성을 강화하기 위하여 trehalose 인자를 삽입, 형질을 전환한 쌀(Jang *et al.* 2002)이 이를 자원으로 하는 곤충의 생활사에 영향을 미칠 수 있는지를 검토한 것이다. 트레할로스(α-D-glucopyranosyl-[1-1]-α-D-glucopyranose)는 곤충, 세균, 곰팡이, 효모 그리고 일부 식물체 등에서 발견되는 비환원성 이당류(Elbein, 1974)로 환원성 탄수화물의 저장형태이기도 하지만 주로 영양분의 고갈, 고온, 건조, 산소 결핍, 삼투압 등 다양한 스트레스로부터 세포를 보호하는 기능을 가진 것으로 알려져 있다(Eleutherio *et al.*, 1993). 대상 곤충인 화랑곡나방(*Plodia inperpunctella* Hübner)과 어리쌀바구미(*Sitophilus zeamais* Motschulskz)는 범세계적으로 분포하는 주요 저장물 해충이다. 그런 만큼 다양한 곡물들을 가해하는 해충이며 적응력이 큰 해충으로 알려져 있다. trehalose 인자가 삽입된 형질전환 쌀이 적응력이 큰 이들의 생활사에 영향을 준다면 이는 간접적으로 형질전환의 부효과를 암시하는 한 예가 될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

공시충

화랑곡나방은 1995년 여름 서울 소재 가정에서 보관하던 현미에서 채집된 것으로 고려대학교 개체군 생태학 실험실에서 인공사료(쌀겨 800 g, yeast extract 200 g, glycerol 500 ml, methyl p-hydroxybonzoate 2 g, sorbic acid 2 g)로 28±0.5℃, 상대습도 65~75%, 16:8(L:D)의 광조건에서 누대사육된 계통이었다. 실험에 사용된 화랑곡나방 충태는 우화 후 24시간 미만의 성충이었다. 어리쌀바구미는 동일 장소에서 온도 28±0.5℃, 상대습도 60~70%로 조정된 조건에서 현미(품종:일품)를 사료로 누대사육된 계통이었다.

실험대상 곡물

실험에 사용된 형질전환벼(이하 T-낙동)는 2003년 한국생명공학연구원에서 내건성 벼 품종으로 육성한 것으로 기존 품종인 낙동에 trehalose-6-phosphate synthase와 tehalose-6-phosphate phosphatase 인자를 삽입한 것이다. 2004년 수확된 쌀을 고려대학교 개체군 생태학 실험실에서 분양 받아 사용하였으며, 대조구로는 동시에 수확된 낙동 쌀(이하 낙동)을 사용하였다.

형질전환현미가 발육에 미치는 영향

화랑곡나방

50 ml-비커(직경 4 cm, 높이 5.7 cm)에 각각 15 g의 형질전환현미(이하 T-낙동)와 일반현미(이하 낙동)(함수량 12~14%)를 넣었다. 우화 후 24시간미만인 화랑곡나방 한 쌍을 각 비커에 접종하여 온도 28±0.5℃, 상대습도

65~75%, 광조건(L:D 16:8)하에서 24시간 동안 산란을 유도하였다. 성충을 제거한 후 동일 조건에서 처리된 비커를 각각 보관하면서 우화할 때까지 매 24시간 간격으로 조사하였다. 유충 발육 조사는 각 품종 별 800개체 이상이었다. 암컷 한 마리 당 산란 수는 각 처리구에서 우화한지 1 일미만 성충 한 쌍씩을 페트리접시(직경 9 cm)에 넣고 암컷이 죽을 때까지 산란된 수를 조사하였다. 각 실험은 분양받은 T-쌀의 양에 의해 제한되어 품종 별 암수 각 15개체이었다.

어리쌀바구미

50 ml-유리용기(직경 2 cm, 높이 4.5 cm)에 낙동 또는 T-낙동을 5 g씩 넣고 우화 후 일주일 미만의 어리쌀바구미 성충 한 쌍을 접종하여 온도 28±0.5℃, 상대습도 65~75% 조건에서 24시간 산란을 유도하였다. 성충을 제거하고 처리된 유리용기를 동일한 조건에서 보관하면서 매 24시간 간격으로 성충 우화시까지 발육일수를 조사하였다. 유충 발육 조사는 각 품종 별 500개체 이상이었다.

형질전환 현미가 생명표 통계량에 미치는 영향

화랑곡나방

우화 후 24시간 미만인 화랑곡나방 한 쌍을 형질전환현미 또는 일반현미가 15 g씩이 들어있는 50 ml-비커(직경 4 cm, 높이 5.7 cm)에 접종하고 발육환경과 같은 조건으로 보관하면서 산란을 유도하였으며, 매 24시간 간격으로 동일하게 처리된 비커로 옮겨주었다. 이 과정은 암컷이 죽을 때까지 계속되었으며 수컷이 죽었을 경우에는 우화 후 24시간 미만의 수컷으로 보충하였다. 산란된 비커들는 화랑곡나방이 우화할 때까지 동일조건에서 보관하면서 매 24시간 간격으로 비커별 성충 우화수 및 성비를 조사하였다. 실험은 중도 실패된 경우를 제외하고 22반복되었다.

어리쌀바구미

형질전환현미 또는 일반현미를 50 ml-유리용기에 5 g씩 넣고 우화 후 일주일 미만의 어리쌀바구미 성충 한 쌍을 각 유리용기에 접종하였다. 처리된 유리용기는 발육환경과 동일한 조건에서 일주일 동안 산란을 유도하였고 매 일주일 간격으로 동일하게 처리된 유리용기로 옮겨주었다. 이 과정은 암컷이 죽을 때까지 계속 되었고, 수컷이 죽었을 경우 일주일 미만의 수컷으로 보충하였다. 산란된 유리용기는 동일조건에서 보관하면서 비커별 우화수와 성비를 조사하였다. 실험은 30회 반복되었다.

자료 분석

생명표 통계량은 Lotka-Voltera의 방정식(Pielou, 1969)에서 최대우도 추정법(maximum likelihood method)에 의거하여 추정하였으며, 생명표 통계량의 표준오차는 잭나이프 방법(Thorburn, 1976)을 통하여 계산되었다. 결과 자료들은 필요에 따라 t-검정, F-검정(GLM Proc. SAS Institute, 2002)에 따라 분석되었다.

결과 및 고찰

화랑곡나방의 발육 및 생명표 통계량

화랑곡나방은 100여종 이상의 식품을 가해하는 광식성 해충이나 식품 종류에 따라 개체군 특성에서 큰 변이를 보이는 해충이다(Lecato, 1976; Mbata, 1983, Johnson *et al.*, 1992, Mohandass *et al.*, 2007). 식품의 종류에 따라 발육에서도 큰 차이를 보여 건조식품의 경우 종류에 따라 28℃에서 36.2±4.4일에서 44.5±4.6일이 소요되었다(Na and Ryoo, 2000) 현미의 경우 품종에 따라서도 차이가 있어 28℃ 동일 조건에서 현미 품종 '일품'을 사료로 한 경우 46.4±6.2일이며 32℃에서 본 결과와 유사한 38.09±5.55일로 보고된 바 있다(Na and Ryoo, 1998). 또한 화랑곡나방의 발육은 부드럽고 연한 성상의 먹이를 먹을 때 빠르다는 사실이 알려져 있으며(Na and Ryoo, 2000; Perez-Mendoza and Aguilera-Peña, 2004), Mbata (1983)은 지방산 함량이 높은 품종이 화랑곡나방의 피해를 크게 입는다고 보고한 바 있다. Table 1은 낙동과 T-낙동 쌀에서의 화랑곡나방 발육일수, 산란수, 우화율을 보인 것이다. 화랑곡나방의 발육은 암컷보다 수컷이 유의하게 빨랐으나 ($F=8.19$; df=1,1327; $P<0.01$) 품종과 성(性)간 상호작용이 역시 유의하였던 것에 비추어($F=4.96$; df=1,1327; $P<0.05$) T-낙동쌀에서 암컷의 발육이 유의하게 길어진 것($F=11.24$; df=1,1327; $P<0.001$)에 따른 결과로 해석된다. 실제로 현미에서 암수간 차이는 없는 것으로 보고되어 있으므로(Na and Ryoo, 1998) T-낙동 암컷의 발육지연 현상은 주목할 만한 사실이다. 수컷의 발육은 영향을 받지 않았던 것을 고려하면 trehalose 인자 삽입이 암컷 발육에 부가적으로 필요한 특정 영양 조성의 변화에 의한 것으로 추정된다. T-낙동의 경도는 낙동과 유사하였으며(Ko, Y-K, unpublished data) 지방산 함량도 차이를 보이지는 않으므로(Ryu, KH, personal observation) 이들 차이로 인한 발육의 지연으로

Table 1. Total developmental period, number of eggs laid per female, emergence rate, life span and life table statistics of the *Plodia interpunctella* on brown rice of Nakdong and T-Nakdong (mean±SE)

	Developmental period (days)	No. of eggs produced/female	Emergence rate (%)	Female life span (days)	Intrinsic rate of increase (r)
Nakdong	36.38±0.28a	141.6 ±14.95a	48.3±0.06a	7.71±0.43a	0.058±0.0004a
T-Nakdong	38.46±0.42b	152.07±9.41a	28.0±0.04b	7.00±0.34a	0.029±0.0004b

	Generation time (days)	Net reproduction rate (R0)	Finite rate of increase (λ)	Sex ratio (female/total)
Nakdong	38.38±0.025a	9.252±0.126a	1.06±0.0004a	0.535±0.025a
T-Nakdong	38.44±0.018a	3.003±0.141b	1.03±0.0004b	0.483±0.065a

* The values followed by the same letter within a column are not significantly different at α=5% level based on t-test.

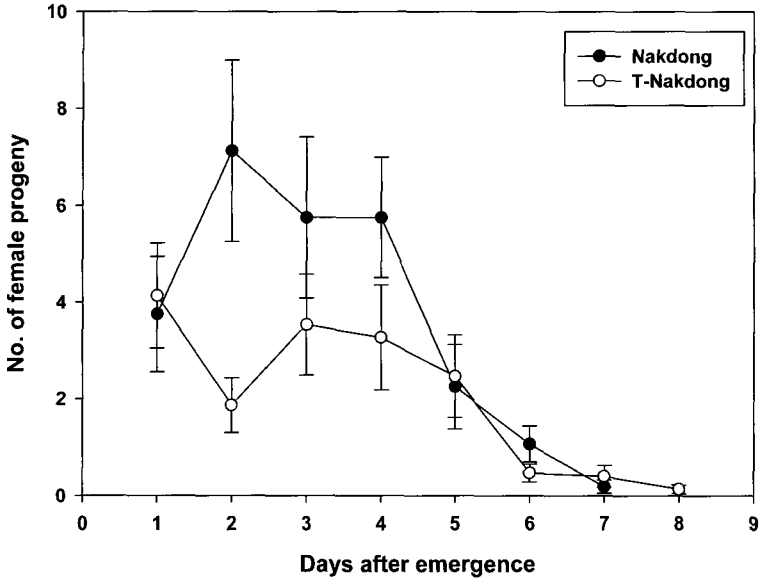

Fig. 1. Number of female progeny produced per female (±SE) of the *Plodia interpunctella* on brown rice of Nakdong and T-Nakdong.

보기는 어렵다.

T-낙동에서의 화랑곡나방의 우화율은 28.0±4.1%로 낙동에서의 48.3±0.06%에 비해 유의하게 낮아(t=3.03; df=28; P<0.01) T-낙동이 나방의 우화에도 상대적으로 불리하다는 사실을 보여 주었다. 일반적으로 화랑곡나방은 식품의 적합도에 따라 유충 발육과정, 특히 유령 유충에서 사망률에 편차가 커서 28℃에서 39.2%에서 96.2%로 보고되고 있다(Johnson *et al.*, 1992; Na and Ryoo, 2000). T-낙동에서의 우화율이 비정상적인 것이라고는 할 수 없으나 낙동에서의 우화율에 비해 낮은 것은 형질변환과정에서 유충의 발육에 불리한 인자가 부가된 것이라고 추정할 수 있다.

암컷의 수명은 낙동과 T-낙동에서 각각 7.71±0.43일과 7.00±0.34일로 낙동에서 길었으나 유의한 차이는 아니었다(t=0.10; df=39; P>0.05)

Fig. 1은 화랑곡나방 암컷당 우화한 암컷 자손수의 일별 경과를 보인 것이다. 나방 암컷의 출산은 우화후 처음 5일간에 집중되어 낙동과 T-낙동 쌀에서 각각 95.4%와 93.9%를 보였다. 산란수에서 차이를 보이지 않았음에도 (Table 1) T-낙동에서 우화 암컷수의 일별 분포가 낙동에서의 우화수에 비해 평활하며 특히 2일째에 우화 자손수가 낙동에 비해 유의하게 낮은 것(F=6.82; df=1,29; P<0.05)이 T-낙동에서의 나방 우화율이 낮은 것이 원인이었던 것으로 생각된다. 결과적으로 화랑곡나방은 T-낙동에서 발육지연와 낮은 우화율로 인해 개체군 증가율이 낙동에 비해 유의하게 낮아지는 현상을 보였다(내적자연증가율: df=30; t=51.26; P<0.0001) (Table 1).

어리쌀바구미의 발육 및 생명표 통계량

Table 2는 어리쌀바구미의 발육일수, 암컷당 우화자손수와 성비 및 생명표 통계량을 보인 것이다. 어리쌀바구미

Table 2. Total developmental period, emergence rate, life span and life table statistics of the *Sitophius zeamais* on brown rice of Nakdong and T-Nakdong (mean±SE)

	Development period (days)	Emergence rate (%)	Female life span (weeks)	Intrinsic rate of increase (r)
Nakdong	34.59±0.13a	65.4±8.98a	8.9±0.54a	0.111±0.0012a
T-Nakdong	36.03±1.13b	62.3±7.16a	8.3±0.51a	0.101±0.0023a

	Generation time (days)	Net reproduction rate (R0)	Finite rate of increase (λ)	Sex ratio (female/total)
Nakdong	38.18±1.253a	33.43±3.88a	1.12±0.0004a	0.48±0.18a
T-Nakdong	40.06±0.946a	33.46±3.32a	1.11±0.0004a	0.49±0.07a

* The values followed by the same letter within a column are not significantly different at α=5% level based on t-test.

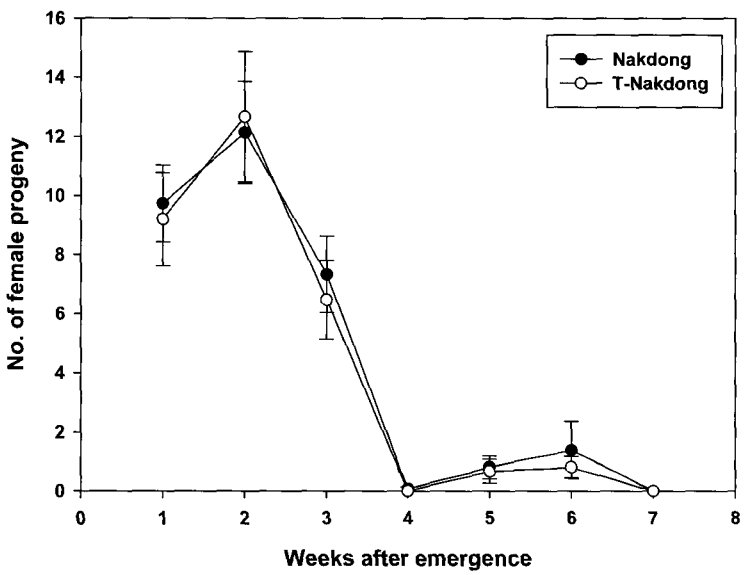

Fig. 2. Number of female progeny produced per female (±SE) of the Sitophilus zeamais on brown rice of Nakdong and T-Nakdong.

의 발육은 곡류와 계통에 따라 차이를 보이지만(Birch, 1953), 28~30℃ 영역에서 가장 빠르며 우화시까지 29.4에서 34.0일 정도 소요되는 것으로 보고되어 있다(Throne, 1994; Throne *et al.*, 1995). 낙동과 T-낙동에서의 어리쌀바구미 발육은 각각 34.59±0.13일, 36.03±1.13일로 기존 보고들과 유사하였다. 그러나 낙동에 비해 T-낙동에서 발육이 유의하게 지연된 것(t=8.52; df=1937; P<0.0001)은 어리쌀바구미 발육에 필요한 영양 등 조건이 낙동에 비해 적합하지 않았음을 암시하는 것이다. Throne *et al.* (1995)은 어리쌀바구미의 발육을 옥수수립의 물리화학적 특성과 연관하여 분석한 바 있는 데 그 결과에 따르면 어리쌀바구미의 발육은 지방함량이 증가함에 따라 지연되었다. 이러한 문제에 대한 것은 앞으로 추구되어야 할 과제라고 생각한다.

Fig. 2는 낙동과 T-낙동에서 어리쌀바구미 암컷당 암컷 자손수의 주별 경과를 보인 것이다. 양자에서 모두 우화 후 3주까지 출산이 집중되어 낙동과 T-낙동에서 각각 92.7%, 94.9%에 이르렀다. Table 2는 이 자료를 토대로 어리쌀바구미의 생명표통계량을 추정한 것이다. T-낙동에서 개체군증가율(내적 자연증가율, 계차 증가율)은 낙동에 비해 낮게 추정되었고 세대기간은 길어지는 것으로 추정되었으나 유의한 차이는 아니어서 T-낙동에서의 어리쌀바구미 개체군 성장이 유의하게 억제되지는 않은 것 같다. 순증가율이 각각 T-낙동에서의 발육지연이 생명표 통계량에 영향을 미칠 정도로 크지 않았기 때문일 것이다.

결 론

낙동과 T-낙동쌀에서의 발육이 화랑곡나방과 어리쌀바구미에서 공통적으로 지연된 것은 trehalose-6-phosphate synthase와 tehalose-6-phosphate phosphatase 인자를 삽입하여 식물체내 trehalose의 농도를 증가시키는 과정에서 이들 해충의 발육에 필요한 인자들에 영향을 미친 것으

로 생각된다. 어리쌀바구미의 경우 이러한 발육지연은 개체군의 발전에 유의한 영향을 주지 못하였으나 화랑곡나방에서는 개체군증가율을 낮추기까지 이르러서 화랑곡나방이 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 어리쌀바구미는 유충이 쌀 속에서 섭식을 하며 화랑곡나방 유충은 쌀 표면에서 섭식을 한다는 차이가 있는 데 이것이 두 종의 반응에서 차이를 보이는 이유일 수도 있다. Cho (2007)는 낙동과 T-낙동의 미강(米糠)에서 화랑곡나방을 사육하였을 때 T-낙동의 미강에서 우화율이 낮고 발육기간이 길어짐을 발견하였는데 발육지연이 미강에 존재하는 특정인자에 의한 것일 수 있다는 사실을 보여주는 것이다.

곤충의 발육지연은 다른 개체군 특성이 동일한 경우 세대기간을 길어지게 함으로 개체군의 성장을 낮추는 원인이 될 수 있으며 동시에 유충 천적에 노출되는 기간을 길게 함으로 천적에 의한 개체군 억제효과가 제고될 수 있다는 데 의미가 있다.

벼의 내건성을 증가시키기 위한 trehalose인자의 삽입을 목적으로 한 벼의 생리적 특성의 차이만이 아니라 수확 후 쌀을 가해하는 두 종 관건 해충의 생태적 특성에 영향을 미친다는 사실은 작물의 형질전환이 이에 연결된 다른 생물 종의 생태를 변환시킴으로 생태계의 변화를 유도할 가능성이 있음을 보여준 것이다. 그것이 본 연구에서처럼 해충을 억제할 수 있는 효과를 가진다면 긍정적일 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업특정연구개발사업(project number: 20070201033025)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Alexander, D.E. and R.G. Creech. 1977. Breeding special industrial and nutritional types. In Sprague, G.F. (Ed.), pp. 363-389. American Society of Agronomy, Madison, USA.

Astwood, J.D. and R.L. Fuch. 1996. Allergenicity Assessment of Food Derived from Genetically Modified Plants. Food Technol. 7: 219-235.

Birch, L.C. 1953. Experimental background to the study of the distribution and abundance of insects. I. The influence of temperature, moisture and food on the innate capacity for increase of three grain beetles. Ecology 34: 698-711.

Cho, H.L. 2007. Effects of drought-tolerant GM rice on life history of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). MS thesis, Graduate School of Life and Environmental Sciences of Korea University.

Cŏnsoli, F.L., Amaral Filho B.F. 1995. Biology of *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) Reared on Five Corn (Maize) Genotypes. J. Stored Prod. Res. 31: 139-143.

Dale, P.J., McPartlan, H.C., Parkinson, R., MacKay, G.R. and J.A. Scheffler. 1992. Gene dispersal from transgeniccrops by pollen. In: Proceedings of the second international symposium on the biosafety results of field tests of genetically modified plants and micro organism. Goslar, Germay, pp. 73-77.

Elbein, A. 1974 . The metabolism of α, α-trehalose *Adr. Carbohydr. Chem. Biochem.* 30. 227-256.

Eleutherio, E.C.A., P.S. Araujo and A.D. Panek. 1993. Protective role of trehalose during next stress in *Saccharomyces cereviciae*. Cryobiology 30: 591-596.

Gudrups, I., S. Floyd, J.G. Kling, N.A. Bosque-Perez and J.E. Orchard. 2001. A comparison of the methods of assessment of maize varietal resistance to the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, and the influence of kernel hardness and size on stability. J. Stored Prod. Res. 37: 287-302.

ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application). 2003.

Summary report on the global status of GM crop. http:// www. isaaa. org/ Bin/ gstats/index.htm.

Jang, I.-C., S.-J. Oh, J.-S. Seo, W.-B. Choi, S.I. Song, C. H. Kim, Y.S. Kim, H.-S. Seo, B.H. Nahm and J.-K. Kim. 2002. Expression of a bifunctional fusion of the *Escherichia coli* genes for trehalose-6-phosphate synthase and trehalose-6-phosphate phosphatase in transgenic rice plants increases trehalose accumulation and abiotic stress tolerance without stunting growth. Plant Physiol. 131: 516-524.

Johnson, J.A, P.L. Woffod and L.C. Whitehand. 1992. Effect of diet and temperature on development rates, survival and reproduction of the Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralide). J. Econ. Entomol. 85: 561-566.

Kuvshinov, V.V., K. Koivu, A. Kanerva and E. Pehy. 2001. Molecular control of transgenic escape from genetically modified plants. Plant Sci. 160: 517-522.

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.

Mbata, G.N. & 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.

Mohandass, S., F.H. Arthur, K.Y. Zhu and J.E. Throne. 2007. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products. J. Stored Prod. Res. 43: 302-311.

Na, J.H. and M.I. Ryoo. 1998. Effect of Temperature on the Life History of Indian Meal Moth (Pyralidae: Lepidoptera) on brown rice. Korea. J. Appl. Entomol. 37: 143-149.

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.

Perez-Mendoza, J, Aguilera-Peña, M. 2004. Development, reproduction, and control of Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), in stored seed garlic in Mexico. J. Stored. Prod. Res. 40: 409-421.

Pielou, E.C. 1969. An introduction to mathematical ecology. John Wiley & Sons. New York.

SAS Institute. 2002. SAS user's guide. SAS Institute. Cary. NC.

Snow, A.A., D.A. Andow, P. Gepts, E.M. Hallerman, A. Power, J.M. Tiedje, L.L. Wolfenbarger. 2005. Genetically engineered organism and the environment: Current status and recommendations. Ecol. Appl. 15: 377-404.

Thorburn, D. 1976. Some asmptotic properties of Jacknife statistics. Biometrika 63: 305-313.

Throne, J.E. 1994. Life history of immature maize weevils (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. Environ. Entomol. 23: 1459-1471.

Throne, J.E., J.E. Baker and G.E. Scott. 1995. Development of maize weevils (Coleoptera: Curculionidae) on corn lines resistant to an aflatoxin-producing fungus. Environ. Entomol. 24: 944-949.

Zangerl, A.R., D. McKenna, C.L. Wraight, M. Carroll, P. Ficarello, R. Warner and M.R. Berenbaum. 2001. Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and swallowtail caterpillars under field conditions. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 98: 11908-11912.

(Received for publication November 6 2007;
accepted February 21 2008)