

玄米에서의 거짓쌀도둑, *Tribolium castaneum* (딱정벌레目:거저리科)의 발육A Note on the Development of *Tribolium castaneum*
(Coleoptera: Tenebrionidae) on Brown Rice, *Oryzae sativa* L.全 煥 九 · 洪 永 錫 · 柳 文 一¹Whan Ku Chon, Young Seok Hong, and Mun Il Ryoo¹

ABSTRACT The developmental period(mean \pm SE) of the red flour beetle, *Tribolium castaneum* was studied on brown rice at four constant temperature(25, 28, 34, 36°C \pm 0.5°C, RH 70%) conditions. Based on the results, the lower and the upper developmental threshold temperature for the beetle were also estimated. The duration of the egg stage was estimated to be 7.6 \pm 0.25, 4.8 \pm 0.10, 3.0 \pm 0.03 and 2.5 \pm 0.09 days at 25, 28, 34, 36°C, respectively. That of the larval stage was estimated to be 53.3 \pm 1.49, 33.4 \pm 0.57, 30.6 \pm 0.70, 31.0 \pm 1.18; that of the pupal stage to be 12.1 \pm 0.17, 7.8 \pm 0.09, 5.7 \pm 0.09, 5.0 \pm 0.07; that of the overall period which spans from eggs to the adult emergence to be 72.3 \pm 1.67, 46.0 \pm 0.55, 39.4 \pm 0.64, 38.7 \pm 1.15 days at 25, 28, 34, 36°C, respectively. The duration of the egg and the pupal stage were similar to those of the results reared on other diets such as wheat and maize. Fed on brown rice, however, the duration of the larval stage was significantly retarded than on wheat. The mortality of the beetle during development was higher on brown rice than on wheat reported, indicating that brown rice is a poor diet compared with wheat. The lower developmental threshold temperature was estimated to be 20.0°C for all stages of the beetle. The upper one was estimated to be 40.2°C for the overall stage. The modal value of the moulting times during the larval stage was 7. However, as temperature increased, the frequency of the beetle that moulted more than 7 times became higher. The sex ratio of the beetle was not affected by temperature.

KEY WORDS *Tribolium castaneum* Herbst, development, temperature

초 록 현미를 사료로하여 네가지 定溫度條件(25, 28, 34, 36°C \pm 0.5°C, RH 70%)에서 거짓쌀도둑 (*Tribolium castaneum* Herbst)의 각 층태별 평균발육기간(\pm SE)을 산출하였으며, 이를 기초로하여 발육임계온도를 추정하였다. 난의 평균발육기간은 각 온도에서 7.6 \pm 0.25, 4.8 \pm 0.10, 3.0 \pm 0.03, 2.5 \pm 0.09일, 유충에서 각각 53.3 \pm 1.49, 33.4 \pm 0.57, 30.6 \pm 0.70, 31.0 \pm 1.18일,蛹에서 각각 12.1 \pm 0.17, 7.8 \pm 0.09, 5.7 \pm 0.09, 5.0 \pm 0.07일로 산출되었으며, 난에서 성충우화시기까지의 전발육기간은 각각 72.3 \pm 1.67, 46.0 \pm 0.55, 39.4 \pm 0.64, 38.7 \pm 1.15일로 산출되었다. 난과 용의 발육기간은 밀과 옥수수같은 다른 식이조건에서와 유사하였으나, 섭식을 하는 유충기의 발육은 밀보다 현미에서 상대적으로 지체되는 현상을 보였다. 한편 현미를 섭취했을 경우, 밀을 섭취했을 때 보다 발육중 치사율이 높아 밀에 비해 현미가 低級의 食物임을 보여주었다. 거짓쌀도둑 난, 유충 용 및 전발육기간의 저온발육임계온도는 각 층태 공히 20.0°C로 산출되었으며, 유충과 전발육기간의 고온발육임계온도는 각각

¹ 高麗大學校 農科大學 農生物學科(Dept. of Agricultural Biology, College of Agriculture, Korea University, Seoul 136-701 Korea)

40.2°C와 41.9°C로 추정되었다. 영기수는 온도에 상관없이 최빈치 7회를 나타냈지만, 온도의 상승에 따라 7회 이상 탈피하는 비율이 높아지는 경향을 보였다. 성비는 온도와 무관한 것으로 나타났다.

검 색 어 *Tribolium castaneum* Herbst, 발육, 온도

거짓쌀도둑(*Tribolium castaneum* Herbst)은 전세계적으로 분포하면서 저장중 밀가루를 가해하여 피해를 주는 주요해충으로 알려져있다 (Birch 1945, Daniels 1956). 최근에 이르러 피해곡물은 밀가루 및 밀에 국한되어 있지 않고 옥수수(Le Cato 1973), 기장(Rooder 1983), 사탕수수(Shazali & Smith 1986), 쌀(김과 류 1982)로 확대되고 있음이 보고되고 있다. 이에 비추어 거짓쌀도둑의 저장곡물에 대한 피해는 알려져 있는 상황보다 클것으로 생각되며 또한 다른 곡물로의 확대가 예상되므로 효과적인 방제를 위한 제반연구 특히 생활사에 대한 연구가 여러가지 측면에서 이루어져야 되리라 생각된다.

거짓쌀도둑의 생활사는 밀가루 및 밀을 식이 자원으로 하는 환경에서 주로 보고되어 왔다. 이에 따르면 성충의 수명은 40~50주(30°C, 상대습도 70%)(Spratt 1980), 또는 평균 250일(25°C, 상대습도 70%)(White 1987)로 알려져 있다. 저장중 자성충의 산란수는 400~500개이며 발육과정중 유충은 5~12회 탈피를 한다 (Wilber & Mills 1978). 다른 곤충의 경우와 같이 거짓쌀도둑의 생활사는 온도와 습도 영향을 크게 받으며 최적온도범위는 상대습도 70%에서 35~38°C(Rooda 1983, Sokoloff 1966, Shazali 1986, White 1987, Abdelsamad et al. 1988)이고, 최저온도는 22°C로 보고되고 있다 (Mullen & Arbogast 1984).

거짓쌀도둑과 같은 저장해충은 식이자원에 따라 발육율과 개체군의 증가율이 상이한 것으로 나타나고 있으며 (Sinha 1971, Ungsunantwiwat & Mills 1979), 동일곡종이라 하더라도 품종에 따라 차이가 있음이 알려져 있어(Mehta 1981)개체군 연구 및 방제계획 수립을 위해서는 數種에 따른 발육율과 증가율에 대한 조사가 먼저 이루어져야 한다. 저장중 미

곡의 거짓쌀도둑에 의한 피해는 김과 류 (1982)에 의해서 그 가능성이 시사되었으나 아직까지 이에 대한 체계적인 연구가 수행되지 않고 있다.

이 실험의 목적은 현미를 식이로 하였을때 거짓쌀도둑의 발육과정을 상이한 정온조건에서 조사하여 앞으로의 생태연구에 기초가 될 수 있는 자료를 얻고자 수행된 것이다.

재료 및 방법

공시충 및 공시충의 사육

거짓쌀도둑(*Tribolium castaneum* Herbst)은 한국식물검역소에서 소맥겉질(wheat bran)을 사료로 하여 누대사육된 계통이었다. 공시충은 분양받은 후, 고대 해충학실험실에서 현미를 사료로 상대습도 70%, 28°C 조건하에서 1세대를 사육하여 현미에 적응시킨 제 2세대의 성충이었다.

사용된 현미의 수분함량은 $14 \pm 0.5\%$ 로 조절된 것이었으며, NaCl포화용액을 넣은 데시케이터 내에 보관함으로써 실험기간중 $14 \pm 0.5\%$ 로 유지 할 수 있었다(김과 류 1982).

발육일수 및 탈피

10g의 현미를 소형 유리병(직경 6cm, 높이 7cm)에 넣은 후 각각의 유리병에 거짓쌀도둑 성충 10마리(성비 1:1)를 접종하였다. 접종된 유리병은 25, 28, 34, 36°C($\pm 0.5^\circ\text{C}$)로 조절된 항온기에 24시간 보관후 성충을 모두 제거하였고, 기간중 산란된 거짓쌀도둑의 난이 들어 있는 유리병을 산란기간중의 온도와 동일한 조건에서 계속 보관했으며 각 실험온도조건에서 10회 반복하였다.

24시간격으로 유리병을 관찰하여 부화여부

Table 1. Developmental period in days(mean±SE), mortality and sex ratio of *Tribolium castaneum* on brown rice at four constant temperatures

Temperature (°C)	N ^a	Stage				Mortality (%)	Sex Ratio (♀/Total)
		Egg	Larva	Pupa	Total		
25	20	7.6 ± 0.25	53.3 ± 1.49	12.1 ± 0.17	72.3 ± 1.67	13.0	0.45
28	46	4.8 ± 0.10	33.4 ± 0.57	7.8 ± 0.09	46.0 ± 0.55	14.8	0.46
34	30	3.0 ± 0.03	30.6 ± 0.70	5.7 ± 0.09	39.4 ± 0.64	18.9	0.37
36	30	2.5 ± 0.09	31.0 ± 1.18	5.0 ± 0.07	38.7 ± 1.15	14.7	0.37

^a The number of *Tribolium castaneum* emerged.

Table 2. Lower threshold(LT) and upper threshold temperature(UT) for the development of stages of *T. castaneum* estimated by the equation(1)

Stage	Temp. threshold(°C)		R ²
	LT	UT	
Egg	20.00	-- ^a	0.9928
Larva	20.00	40.16	0.9994
Pupa	20.00	--	0.9851
Total	20.01	41.92	0.9995

^a Not to be estimated.

를 조사하였다. 동시에 부화후 1일 이내의 유충 1마리씩을 각각 5g의 현미가 들어있는 소형 유리병(직경 2cm, 높이 4.5cm)에 접종하여 난의 발육환경과 동일한 온도조건에서 계속 보관하면서 24시간격으로 탈피 여부를 조사하였다. 접종 후 용이 발견되는 때까지의 기간을 유충기로 하였으며 탈피한 유충은 두쪽을 측정하여 유충 영기의 진전에 따라 나타나는 두쪽의 변화를 관찰하였다(Ryoo 1983).

前蛹期(preupal period)와 蛹期(pupal period)는 유충기에서와 같은 방법으로 산출하였으나 전용기가 짧아 조사의 정확성을 기할 수 없었으므로 전용기는 최종 유충기에 포함하여 분석되었다. 발육개체의 성은 용의 복부형태를 기준으로 판별하였다(一瀬 등 1981). 곤충의 발육과 온도와의 관계를 조사함에 있어 4 온도 조건을 설정함은 부족한 면이 있다. 그러나 거릿쌀도둑의 최저발육온도와 최적발육온도가 보고되어 있으므로 이들과의 비교를 위해서는 저온 및 최적발육온도범위를 포괄하는 4 온도조건

만으로도 가능하다고 판단되었기 때문에 더 이상의 온도조건을 부여하지 않았다.

온도와 발육과의 관계 및 발육중 치사율의 추정

거릿쌀도둑의 발육율(1/발육일수)과 온도와 관계는 Ryoo & Cho(1988)가 쌀바구미의 발육율 곡선추정을 위해 사용했던 다음 식에 의해 산출하였다.

$$Ru(T) = \alpha \left(\frac{1}{1+K \exp(-\rho T)} \right) - \left(\frac{1}{1+K \exp(-\rho T_m)} \right) \exp(-\tau) - \left(\frac{1}{1+K \exp(-\rho T)} \right) \exp(-\tau'), \quad (1)$$

여기에서 $Ru(T)$ 는 T도에서 발육율 (1/발육일수), T는 발육임계온도를 감한 온도($t-TL$), α 와 K는 상수, ρ 는 발육속도 증가율, τ 는 $(T_m - T)/\Delta T$, T_m 은 고온 발육임계온도, ΔT 는 고온 경계역, τ' 는 T/ϵ , ϵ 는 저온경계역을 의미한다. 각 매개변수는 SAS NLIN PROCEDURE (SAS Institute 1982)를 이용하여 산출하였다(부록 참조).

발육과정중 치사율은 (2)식에 의해 산출되었다.

$$Mo = (1 - E/N) \times 100, \quad (2)$$

Mo는 치사율, E는 우화개체수 그리고 N은 총 관찰 개체수를 나타낸다.

결과 및 고찰

발육기간에 미치는 온도의 영향

각 온도조건(25, 28, 34, 36°C)에서의 발육단계별 거릿쌀도둑의 발육기간은 표 1에 제시되었다.

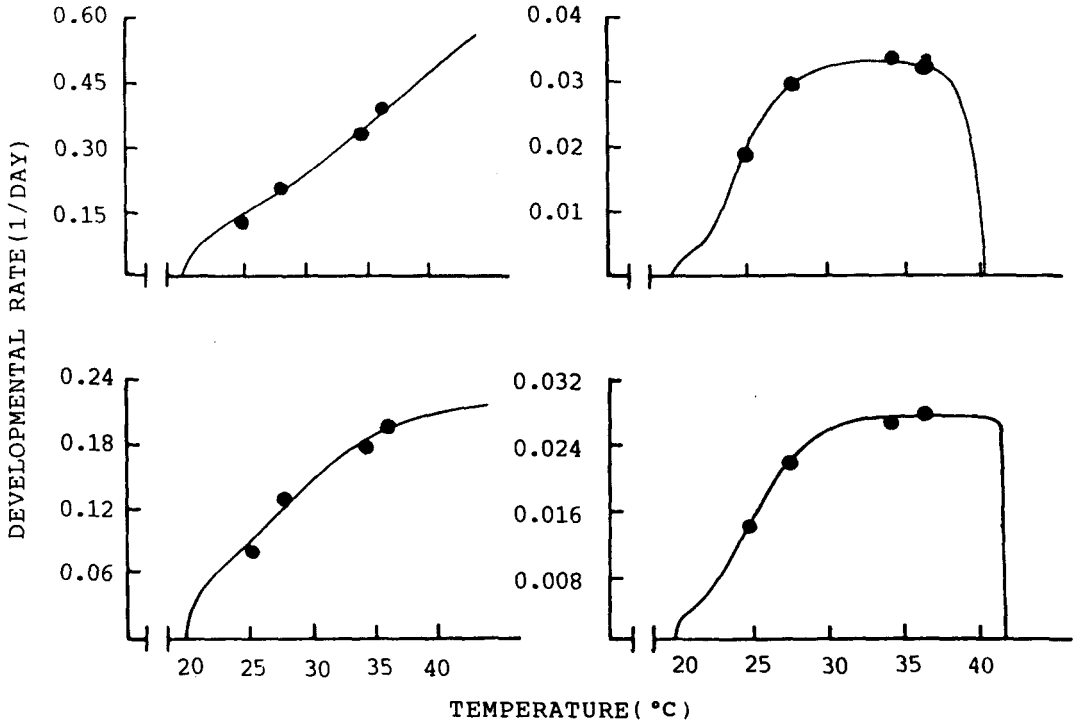


Fig. 1. The relationship between temperature and developmental rate of *Tribolium castaneum* on brown rice. The circles indicate observed values.

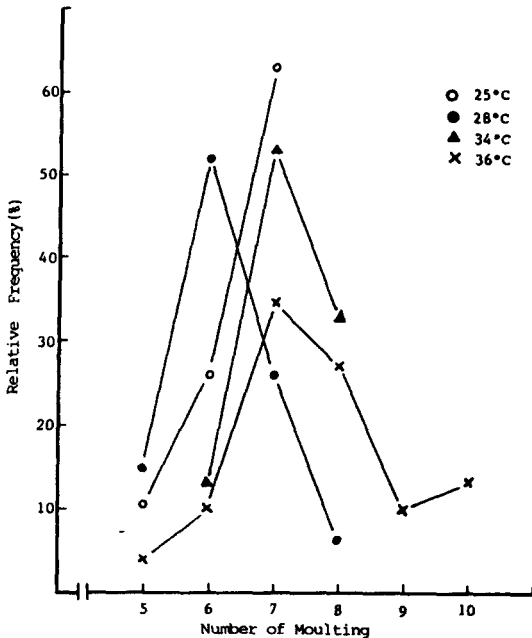


Fig. 2. Frequency distribution of the number of moulting of *T. castaneum* larvae at four constant temperatures.

평균 난기간(± SE)은 온도의 상승에 따라 짧아져서 36°C에서 2.5일을 나타냈으며, 밀과 옥수수를 사료로 하였을 때 나타난 결과와 유사한 것이었다(White 1987, Le Cato 1973).

유충기 역시 동일한 양상을 보여 조사된 범위에서는 34°C에서 가장 짧았으며, 36°C에서는 34°C와 유사하였다. 그러므로 34~36°C부근이 유충의 발육최적온도범위로 판단되었다. 밀을 사료로 했을 경우 25, 30, 35, 37.5°C(R.H. 65%)에서 유충의 평균발육일수는 각각 29.9, 18.4, 15.5, 17.6일로 보고되었으며(White 1987), 옥수수를 사료로 하였을 때는 27°C(RH 65%) 조건에서 33.4일로 보고(Le Cato 1977)되고 있는데, 이 결과와 비교해 볼때 거저쌀도둑의 유충발육은 현미를 섭취할 경우, 밀을 섭취할 때 보다 늦어지나, 옥수수와는 차이가 없는 것으로 생각된다. 밀에 비해 현미에서의 발육지체 현상은 거저쌀도둑의 계통의 차이에 의한 것일 수도 있겠으나, 옥수수와 비교해서는 차

Table 3. Head width(mm) distribution of *T. castaneum* larvae in relation to the number of moulting

Instar moulting	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	3	0.15	0.18	0.25	0.36	0.50	0.65					
		0.018	0.015	0.017	0.049	0.028	0.061					
6	12	0.16	0.19	0.24	0.30	0.41	0.51	0.62				
		0.012	0.013	0.014	0.032	0.041	0.030	0.028				
7	38	0.16	0.19	0.23	0.28	0.35	0.43	0.53	0.63			
		0.015	0.014	0.016	0.024	0.039	0.040	0.051	0.047			
8	18	0.16	0.19	0.23	0.26	0.31	0.38	0.47	0.55	0.65		
		0.015	0.016	0.013	0.018	0.022	0.033	0.057	0.048	0.046		
9	3	0.16	0.19	0.22	0.25	0.33	0.36	0.42	0.46	0.59	0.65	
		0.009	0.012	0.017	0.01	0.032	0.068	0.094	0.060	0.105	0.057	
10	4	0.16	0.19	0.23	0.24	0.28	0.31	0.38	0.45	0.54	0.64	0.69
		0.014	0.016	0.008	0.016	0.016	0.036	0.061	0.050	0.036	0.015	0.015

Upper and lower values indicate mean and standard deviation, respectively.

N indicates the number of larvae observed.

이를 보이지 않으므로 그 가능성은 크지 않을 것으로 생각된다.

용의 발육기간은 실험온도 범위에서 온도의 상승에 따라 계속적으로 짧아졌다. 이 결과는 밀(White 1987) 및 옥수수(Le Cato 1973)에서의 발육과 유사하여 유충기의 食物의 차이가 용의 발육에 영향을 주지 않음을 보여주었다.

난에서부터 성충우화에 이르는 全發育日數(평균 ± SE)는 25, 28, 34, 36°C에서 각각 72.3 ± 1.67, 46.0 ± 0.55, 39.4 ± 0.64, 38.7 ± 1.15 일로 나타나서 34°C에서 36°C의 범위가 발육 최적임을 보여주었다.

밀을 사료로 했을 때 전발육기간은 21, 22.5, 25, 27, 30°C(R.H. 65%)에서 각각 82.4, 71.0, 46.5, 38.7, 30.6일로 보고되어 있고(Lopez 1985, White 1987, Le Cato 1973), 옥수수를 사료로 하였을 때 27°C에서 48.7일로 보고(Le Cato 1973)되어있다.

현미에서의 발육상황은 밀에서 보다 현저하

게 지연되는 경향을 보이며, 특히 낮은 온도조건에서 그 차이는 뚜렷하였다. 반면, 옥수수에서의 발육상황과는 유사하였다. 이것은 섭식을 하지않는 난기 및 용기에서는 차이를 보이지 않으면서 섭식을 하는 유충기에서 크게 차이를 보임으로 나타난 것이다. 따라서 식이자원이 거저쌀도둑의 발육에 크게 관여하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 밀에 비해 현미나 옥수수가 좋은 식이자원이 못됨을 시사하는 것으로 현미의 거저쌀도둑에 의한 피해가능성이 밀보다는 상대적으로 적다는 것을 암시하는 것이다.

발육임계온도(developmental threshold temperature)의 추정

위의 결과를 토대로 거저쌀도둑의 발육단계별 발육율(1/발육일수)과 온도와의 관계를 식(1)을 사용하여 추정하였다. 그림 1에서 보인 바와 같이 난, 유충, 용 및 전발육에 필요한 저온 발육임계온도는 각각 20.0, 20.0, 20.0°C로

산출되었으며(표 2), 난, 유충, 용 및 전발육에서 온도와 발육과의 관계 추정식은 각각 $0.6992((1 + 8.4731\exp(-0.1498T))^{-1} - 0.3948\exp(-T/0.097))$, $0.0325((1 + 26.5480\exp(-0.7182))^{-1} - 0.9999\exp(-(20.16 - T)/0.8179) - 0.3630\exp(-T/0.097))$, $0.2174((1 + 4.9740\exp(-0.2343T))^{-1} - 0.1674\exp(-T/0.097))$, 그리고 $0.0258((1 + 11.0733\exp(-0.5106T))^{-1} - 0.9998\exp(-(21.92 - T)/0.0963) - 0.0828\exp(-T/0.097))$ 이었다. 저온 경계역을 고려할 때 정상발육을 위한 최저온도는 20.1°C로 추정되었다. 이러한 결과는 21, 22.5°C에서부터 발육을 한다는 보고(White 1987) 및 Mullen과 Arbogast(1984)가 보고한 22°C와 유사한 결과로 식이조건이 발육임계 온도의 변화는 초래하지 않음을 보여주는 것이다. Abdelsamad 등(1988)은 사탕수수에서 거저살도독의 발육최저온도를 총태에 따라 18~19.5°C로 추정하였으나, 이 추정이 선형모형을 통하여 이루어졌고 3 온도조건에서의 발육을 기초로 하였으므로 나타난 결과로 생각된다.

발육기간중 유충탈피회수

25°C에서 유충은 5~7회 탈피하여, 최빈치는 7회, 28°C에서는 5~8회 탈피하여, 최빈치는 6회, 34°C에서는 6~8회 탈피하여 최빈치 7회, 36°C에서는 5~10회 탈피하여, 최빈치는 7회로 나타났다.(그림 2).

탈피회수는 온도에 관계없이 최빈치 7회를 나타냈지만 온도의 상승에 따라 7회 이상 탈피하는 비율이 높아지는 경향을 보였다. 이는 온도가 거저살도독의 탈피생리에 관여하고 있음을 암시하는 것이다. 한편 Willbur와 Mills(1978)는 거저살도독 유충의 탈피회수는 5~12회 범위, Abdelsamad 등(1988)은 6~8회, Khalifa와 Badawy(1955)는 밀가루에서 6회, 밀싸라기에서는 8회였다고 보고하였는데 본 결과와 비교할때 齡期數는 식이조건과도 상관이 있는 듯이 보인다. 또한 각 유충령기에 있어서의 두폭의 분포(표 3)를 볼 때 1, 2령기 및 최종령기에서는 차이를 보이지 않고있다. 그러나 3령 이후 최종령기 사이에서는 총탈피회수에

따라 각 령기에서의 두폭분포가 세분되는 현상을 보여 탈피에 관여하는 hormone의 활동이 온도조건에 따라 부분적으로 달라질 수 있음을 보였다. 그럼에도 불구하고 용화는 유충의 성숙도가 一定域值에 이르러 일어남을 보여주고 있다. 두폭을 기준으로 한다면 이 역치는 대체로 0.65mm 부근으로 생각된다.

발육중 치사율(Mortality), 성비(Sex Ratio)

실험온도 범위에서 거저살도독의 치사율은 13%~19% 사이에 있었다(표 1). 밀에서는 21°C, 30°C 조건에서 치사율이 52.45%, 8~12%로 보고되고 있다(Lopez 1985, White 1984). 밀의 경우 21°C에서 치사율이 52.45%로 나타났던 것은 이 온도가 거저살도독의 발육임계온도 부근임을 감안해야 할 것이라 생각된다. 30°C에서 거저살도독은 현미를 섭취할 경우 밀을 섭취할 때보다 치사율이 높게 나타나고 있다(표 1). 산란시 온도가 성비에 미치는 영향을 조사한 결과(표 1), 온도와 성비는 서로 무관하였다($\chi^2=1.00$; d.f=3; $p>0.05$).

거저살도독의 정상발육온도범위는 20.1~41.8°C의 영역에 존재하며 34~36°C에서 최적발육상황을 보인 사실은 거저살도독이 쌀바구미 등 다른 주요 미곡해충에 비해 고온성임을 보여주는 것이다. 류 등(1990)은 실험실조건에서 저장미곡의 일평균온도가 30°C 이상인 경우가 년중 2~3주 정도이며 특히 최적온도인 34°C에 도달하는 경우는 극히 드물다고 보고하였다. 이를 미루어 거저살도독에 의한 미곡의 피해는 우리나라의 조건에서는 크지 않으리라 생각된다. 이것이 또한 저곡생태계에서 쌀바구미에 비해 우점도가 낮은(류 등 1990) 이유중의 하나가 될 것이다.

인 용 문 헌

- Abdelsamad, R. M., E. A. Elhang & Y. M. Eltayeb. 1988. Studies on the phenology of *Tribolium castaneum*(Herbst)(Coleoptera: Tenbrionidae) in the Sudan Gezira. J. Stored Prod. Res. 24 : 101~105.
- Birch, L. C. 1945. The influence of temperature on

- the development of the different stages of *Calandra oryzae* and *Rhizopertha dominica*. Aust. J. Exp. Med. Sci. 23 : 29~35.
- Daniels, N. E. 1956. Damage and reproduction by the flour beetles, *Tribolium confusum* and *T. castaneum* in wheat at three moistures. J. Econ. Entomol. 49 : 244~247.
- 一? ! 太良(編輯). 1980. 昆蟲實驗法. 學會出版 センター, 東京.
- Khalifa, A. & A. Badawy. 1955. The effect of nutrition on the biology of *Tribolium castaneum* Herbst. Ann. appl. Biol. 44 : 356 ~ 368(Cited from Abdelsamad et al., 1988).
- 金永培, 柳文一. 1982. 쌀 貯藏中の 곰팡이와 貯穀害蟲 第1報. *Tribolium castaneum* Herbst 와 *Aspergillus* species의 貯藏米에서의 生育. 韓農化誌 25 : 252~256.
- Lopez, A. A. 1985. Biological aspect of the red flour beetle *Tribolium castaneum*. Rev. Colomb. Entomol. 1 : 28~31(abstract).
- Le Cato, G. L. & B. R. Flaherty. 1973. *Tribolium castaneum* progeny production and development on diet supplemented with egg of adult of *Plodia interpunctella*. J. Stored. Prod. Res. 9 : 119~203.
- Mullen, M. A. & R. T. Abogast. 1984. Insect management for food storage and processing. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
- Mehta, P. K. & V. K. Taneja. 1981. Variation in developmental rate in *Tribolium castaneum*. Indian J. Anim. Sci. 51 : 308~311(abstract).
- Roorda, F. A. & G. G. M. Andri-Essen. 1983. Laboratory observations on the development of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on millet at different temperature and relative humidities. Z. Angew. Entomol. 93 : 446~452.
- Ryoo, M. I. 1983. Characterizing distribution of the head width in a holometabolous insect larvae. Kor. J. Plant Prot. 22 : 45~47.
- Ryoo, M. I. & K. J. Cho. 1988. A model for the temperature-dependent developmental rate of *S. oryzae*. L.(Coleoptera: Curculionidae) on rice. J. Stored Prod. Res. 24 : 79~82.
- 柳文一, 趙惠媛, 金永培. 1990. 貯藏中 벼, 玄米 및 白米에서의 마디발動物群集의 遷移. 韓農昆誌. 29 : 31~42.
- SAS Institute. 1982. SAS User's guide : statistics. SAS Institute, Cary, N. C.
- Shazali, M. E. H. & R. H. Smith. 1986. Life history studies of externally feeding pest of stored sorghum: *Corcyra cephalonica* and *Tribolium castaneum*. J. Stored Prod. Res. 22 : 55~62.
- Sinha, R. N. 1971. Multiplication of some stored-product insect on varieties of wheat, oats and barley. J. Econ. Entomol. 64 : 98~102.
- Sokoloff, A. 1966. The genetics of *Tribolium* and related species. Academic Press. New York and London, 1~4.
- Spratt, E. C. 1980. Male homosexual behavior and other factors influencing adult longevity in *Tribolium castaneum*(Herbst)and *T. confusum* Duval. J. Stored Prod. Res. 16 : 109~114.
- Ungsunantwiwat, A. & R. B. Mills. 1979. Influence of medium and physical disturbances during rearing on development and number of *Sitophilus* progeny. J. Stored Prod. Res. 15 : 37~42.
- White, G. G. 1984. Variation between field and laboratory population of *Tribolium castaneum*(Coleoptera: Tenebrionidae). Aust. J. Ecol. 9 : 153~155.
- White, G. G. 1987. Effect of temperature and humidity on the rustred flour beetle, *Tribolium castaneum*(Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae) in wheat grains. Aust. J. Zool. 35 : 43~59.
- Wilbur, D. A. & R. B. Mills. 1978. Stored grain insect. In Fundamentals of applied Entomology(3rd ed), McMillan Publishing Co. New York, 570~572.

(1991년 3월 8일 접수)

부록. 발육곡선의 매개변수의 추정은 곡선식의 유도과정에 따라서 다음의 3단계로 할 수 있다.

1) 대수적 증가율 상황에서의 α , κ , ρ 의 추정

```
DATA EXPO;
INPUT T RD @@;
CARDS;(※ 대수적 증가기의 자료입력)

PROC NLIN PLOT METHOD=MARQUARDT DATA=EXPO;
PARAMETERS  $\alpha=A$   $\kappa=B$   $\rho=C$ ; (※ 초기치 입력)
MODEL RD= $\alpha/(1+\kappa*\exp(-\rho*T))$ ;
DER.  $\alpha=(1+\kappa*\exp(-\rho*T))^{-1}$ ;
DER.  $\kappa=-(\alpha*\exp(-\rho*T))/(1+\kappa*\exp(-\rho*T))^2$ ;
DER.  $\rho=(\alpha*\kappa*T*\exp(-\rho*T))/(1+\kappa*\exp(-\rho*T))^2$ ;
```

2) 저온영역에서의 TL과 ϵ 의 추정

```
DATA LOWTEM;
INPUT T RD @@;
CARDS;(※ 저온역+대수적 증가기 자료입력)

PROC NLIN PLOT METHOD=MARQUARDT DATA=LOWTEM;
PARAMETERS TL= $A'$   $\epsilon=B'$ ; (※ 초기치 입력)
 $\alpha=$  ;  $\kappa=$  ;  $\rho=$  ; (※  $\alpha, \kappa, \rho$ 는 1단계에서 확정된 추정치 입력)
MODEL RD= $\alpha((1+\kappa*\exp(-\rho*(T-TL)))^{-1}-\exp(T-TL)/\epsilon)/(1+\kappa)$ ;
DER. TL= $\rho(-\kappa*\exp(-\rho*(T-TL))*\rho/(1+\kappa*\exp(-\rho*(T-TL))^2)-\exp((T-TL)/\epsilon)/(1+\kappa)*\epsilon)$ ;
DER.  $\epsilon=-\alpha(\exp((TL-T)/\epsilon)*((TL-T)/\epsilon^2)/(1+\kappa))$ ;
```

3) 고온영역에서의 T_m 과 ΔT 의 추정

```
DATA TOTAL;
INPUT T RD @@;
CARDS;(※ 모든 발육자료 입력)

PROC NLIN PLOT METHOD=MARQUARDT DATA=TOTAL;
PARAMETERS  $T_m=A''$   $\Delta T=B''$ ; (※ 초기치 입력)
 $\alpha=$  ;  $\kappa=$  ;  $\rho=$  ; (※ 확정추정치 입력)
 $Y=(1+\kappa*\exp(-\rho*T_m))^{-1}$ ;  $Z=\exp((T-T_m)/\Delta T)$ ;
MODEL RD= $\alpha((1+\kappa*\exp(-\rho*T))^{-1}-\exp((T-T_m)/\Delta T)/(1+\kappa*\exp(-\rho*(T_m))-\exp(T/\epsilon)/(1+\kappa))$ ;
DER.  $T_m=-\alpha(\kappa*\rho*\exp(-\rho*T_m)*Z/Y^2)-(Y*Z/\Delta T)$ ;
DER.  $\Delta T=\alpha((Y*Z*(T-T_m))/\Delta T^2)$ ;
```

단, 추정하는 매개변수의 초기치는 실험자료를 고려하여 임의로 추정한다.