

## 벼물바구미의 생식과 발육에 미치는 온도의 영향

이기열\* · 장영덕<sup>1</sup> · 안기수 · 강효중 · 박성규

충북농업기술원, <sup>1</sup>충남대학교 농생물학과

### Effect of Temperature on Reproduction and Development of Rice Water Weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae)

Ki-Yeol Lee\*, Young-Duck Chang<sup>1</sup>, Ki-Su Ahn, Hyu-Jung Kang and Seong-Kyu Park

Chungbuk Provincial ARES, Cheongwon 363-880, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Agricultural Biology, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Republic of Korea

**ABSTRACT :** This study was carried out to test the effects of temperatures between 20°C and 30°C on the reproduction and development of the rice water weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus*. Preoviposition periods were much longer (17.2 to 51.0 days) in the overwintering adult females collected in March than those collected in May, regardless of temperature. Oviposition periods, however, were longer (16.9 to 22.0 days) in the adult females collected in May than those collected in March at the same temperatures. The longer oviposition period observed in the females collected in May were directly associated with higher fecundity. Egg periods were shortened from as temperature increased, but the hatching rate was highest (100%) at 27°C. The developmental periods from egg to adult were shortened as temperature increased : from 77.9 days at 20°C to 38.3 days at 30°C. The developmental zero point temperature (T) and the total effect temperature (K) for egg were 16.3°C and 62.1 degree days, respectively. The T and K from egg to adult emergence were 13.9°C and 577.6 degree days, respectively. The adult females of the first generation did not oviposit at 20°C, but did at 25°C and 30°C. The intrinsic rate of natural increase ( $r_m$ ) increased as temperature augmented. Net reproductive rate ( $R_0$ ) per generation was highest (75.3) at 25°C.

**KEY WORDS :** *Lissorhoptrus oryzophilus*, Oviposition, Developmental zero point, Intrinsic rate of natural increase, Total effective temperature

**초 록 :** 벼물바구미의 생식과 발육에 미치는 온도의 영향을 20°C에서 30°C사이의 온도에서 수행하였다. 20, 25, 30°C에서 산란전기간은 5월에 채집한 월동성충보다 3월에 채집한 충에서 길었다. 그러나 같은 온도조건에서 산란기간은 3월에 채집한 월동성충보다 5월에 채집된 충이 길었다 (16.9일, 22.0일). 산란기간이 긴 5월 채집충이 산란수도 많은 결과를 가져왔다. 난기간은 15.1일 (20°C)에서 4.5일(30°C)로 온도가 높을수록 짧았고, 그리고 부화율은 27°C에서(100%) 가장 높았다. 난부터 성충까지의 발육기간은 온도가 높아질수록 짧았다; 20°C에서 77.9일, 30°C에서 38.3일이었다. 난 발육영점온도(T)와 유효적산온도(K)는 각각 16.3°C와 62.1일도이었다. 난에서 성충우화까지는 각각 13.9°C와 577.6일도이었다. 제1세대 성충은 20°C에서 산란하지 못하였고, 25°C와 30°C에서는 산란하였다. 내적자연증가율( $r_m$ )은 온도가 높을수록 증가되었다. 1세대당 순증식율( $R_0$ )은 25°C에서 가장 높았다(75.3).

**검색어 :** 벼물바구미, 산란, 발육영점, 내적자연증가율, 유효적산온도

\*Corresponding author. E-mail: lky1746@cbares.net

벼물바구미(*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel)는 딱정벌레목 바구미과에 속하는 벼의 해충으로서 1988년 7월 2일 경남 하동군 고전면 범아리에서 처음 발견(Uhm *et al.*, 1989)된 이래로 그 분포 범위가 확산되어 정착된 외래 해충이다. 성충은 잎의 엽육을 갉아먹는데 특히 어린묘에서 피해를 심하게 받게 되고, 유충은 뿌리를 갉아먹어 끊어지므로 본논 초기에는 분얼수가 적어지고 결국 이삭수도 감소되어 수량에 큰 지장을 주게 된다(Kim *et al.*, 1990). 본논에 침입한 성충은 약 2주간 섭식하며 난소가 발달하게 되고 기온도 27°C 이상 되면 산란을 시작하나 월동처에서 섭식기간이 짧으면 본논에서 산란개시일도 지연된다고 하였다(Tsuzuki and Asayama, 1984). 愛知縣에서의 발생소장은 기온 27°C 이상, 유효적산온도 850일도 등 모든 환경조건이 충족된다면 년 2회 이상 발생도 가능하나 어린 벼가 없으면 월동처로 이동하게 된다고 추정한다(Kobayashi *et al.*, 1988). 국내에서는 월동, 이동, 본논에서 발생경과 등에 대하여 연구 및 조사가 이루어졌으나(Uhm *et al.*, 1989; Gho *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 1990) 이 해충에 대한 산란과 발육 그리고 개체군 증식에 미치는 온도의 영향에 대한 연구보고는 미흡한 실정이다.

본 연구는 벼물바구미에 대한 월동성충과 제1세대 성충의 생태적 특성을 조사하기 위하여 채집시기별 산란과 발육에 미치는 온도의 영향, 발육영점과 유효적산온도, 그리고 개체군 증가율을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 시험곤충

1998년부터 1999년까지 충북 청원군 내 야산 주변 월동처에서 벼물바구미 월동성충을 채집하여 실내사육 하면서 시험에 이용하였다. 시험관(φ2.0×18 cm)내에 20일 된 유묘(추청벼) 3본과 물을 2 cm 정도 넣은 다음 채집한 월동성충을 접종하여 사육실조건에서(23-27°C, 광주기 16L:8D) 사육하였다.

### 월동성충에 대한 실험

#### 산란기간 및 산란수

산란에 미치는 온도의 영향을 구명하기 위하여 월동성충을 3월 11일과 5월 10일에 각각 충북 청원지역

에서 채집하여 20, 25, 30°C의 온도와 상대습도 60-70%, 16L:8D의 광조건 하에서 수행하였으며, 산란조사는 Lee *et al.* (1990)의 방법에 따라 시험관내 유묘를 꺼내어 산란부위인 줄기부분 3 cm를 칼로 잘라 해부현미경(10배)하에서 줄기조직을 핀셋으로 해부하면서 일일 산란수를 조사하였다. 이 실험은 10마리씩 3반복으로 수행하였다.

#### 난기간조사

이 실험은 15, 20, 23, 25, 27, 30, 35°C의 온도(멀티 BOD 항온기; Vision Co.)와 상대습도 60-70%, 16L:8D의 광조건 하에서 수행하였다. Petri dish (φ9.0×높이 3 cm) 속에 물(1 cm)을 넣고 유묘의 줄기(3 cm)를 절단하여 조직에 산란한 난수를 조사한 후 온도별로 접종하여 매일 부화유충을 육안조사하였다. 난 발육소요기간을 조사한 성적으로써 발육영점과 유효적산온도를 산출하였다. 이 실험에 공시된 난수는 각각 70, 83, 110, 93, 71, 55, 30개를 공시하여 수행하였다.

#### 난에서 성충우화까지 발육기간조사

이 실험은 15, 20, 23, 25, 27, 30, 35°C의 온도(생육상; Vision co.)와 상대습도 60-70%, 16L:8D의 광조건 하에서 수행하였다. 온도별 소형포트(φ15×높이 20 cm) 20개에 논흙 15 cm와 물을 혼합하여 3일간 침전시킨 후 유묘(25일묘) 5본을 이식한 다음 15일간 묘를 활착시켰다. 사육실조건(23-27°C, 광주기 16L:8D)에서 당일 산란된 유묘의 줄기조직을 해부하여 산란수를 조사한 후 그 줄기 4-5개를 이식한 묘의 수면아래 줄기사이에 접종하였다. 매일 물을 보충하면서 접종후 20일부터 우화하여 나오는 벼물바구미 성충 마리수를 매일 육안조사하였다. 난부터 우화까지 발육소요기간을 조사한 성적을 가지고 발육영점과 유효적산온도를 산출하였다.

자료분석은 SAS를 이용하여 LSD검정(P=0.05)으로 비교하였다(SAS Institute, 1991).

### 제1세대성충에 대한 실험

#### 산란기간 및 산란수

벼물바구미 1세대성충을 야외포장에서 포충망으로 8월 8일에 충북 청원지역에서 채집하여 사육하였다. 이 실험은 20, 25, 30°C 온도(멀티 BOD 항온기; Vision Co.)와 상대습도 60-70%, 16L:8D의 광조건 하에서 수행하였다. 온도별 10개의 시험관(φ2.0×높이 18

cm)에 15일된 유묘 3본과 채집한 제1세대성충을 1마리씩 접종하였다. 이때 산란여부는 접종후 5일부터 petri dish (φ9.0×높이 3 cm)에 섭식한 유묘의 산란부위(3 cm)를 절단하여 물(1cm)과 함께 넣고 부화된 유충수를 육안으로 매일 관찰하여 판단하였다.

**개체군 증가율 분석**

실내조건에서 사육한 계통을 사용하여 항온조건인 20, 25, 30°C에서 생존률, 일일 산란수 및 성충 수명을 구하였다. 즉 벼물바구미의 총수명(일수)을 x, 성충의 일수별 생존율 lx, 일수별 1마리당 산란수를 mx라고 했을 때 1세대당 순번식율(Ro)은  $\sum l_x m_x$ , 1세대당 요하는 평균기간(T)은  $\sum x l_x m_x / R_o$ , 내적 자연 증가율( $r_m$ )은  $(\log_e R_o) / T$ 로 계산하였다(Price, 1997).

**결과 및 고찰**

**월동성충의 산란에 미치는 온도의 영향**

산란에 미치는 온도의 영향을 구명하기 위하여 월

동성충을 3월 11일, 5월 10일에 채집하여 20, 25, 30°C 항온조건에서 산란전기간, 산란기간 그리고 산란수를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 산란전기간은 3월 채집충이 5월 채집충보다 현저히 길었으며, 저온에서 고온으로 갈수록 짧았다.

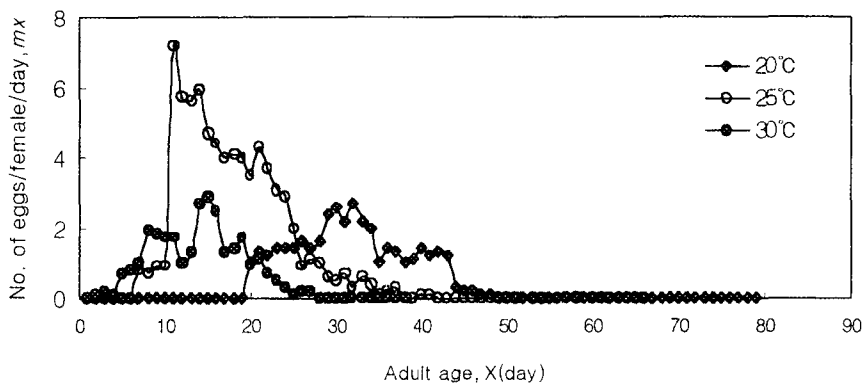
산란기간은 3월 채집충의 경우 25°C 조건에서 길었고, 또한 5월 10일 채집충이 3월 채집충보다 긴 경향을 보였다. 또한 산란수는 5월 10일 채집충이 많았고, 그 중 25°C에서 평균 75.0개로 가장 많았다. 산란율도 25°C조건에서 가장 높았다. 논으로 침입한 월동성충은 잡초나 벼를 섭식하면서 난소가 발육되어야만 산란을 하므로 산란전까지는 얼마간의 기간이 요구된다고 하였다(Nilakhe, 1977). 한편 Lee et al. (1990)의 결과도 같은 경향을 보였는데 즉, 월동성충을 4월 중순에 채집하여 실내조건에서 조사한 결과 3-35개 정도 산란하였으나, 5월 16일에 채집한 충은 25°C 항온조건에서 평균 100.3개, 최고 141개까지 산란하였다고 보고하였다. 따라서 벼물바구미는 월동처에서 기주식물을 충분히 섭식하여 난소발육이 양호한 상태에서 온도상승에 따라 이동하기 때문에 휴면타파 이후에

**Table 1.** Pre-oviposition and oviposition periods, and fecundity of overwintering *Lissorhoptrus oryzophilus* at different temperatures

Date collected	Temp. (°C)	Pre-oviposition period (days)	Oviposition period (days)	Fecundity (no. egg/female)	% female adults oviposited
		Mean ± SD <sup>a</sup>	Mean ± SD	Mean ± SD	
Mar. 11	20	51.0 ± 3.00 c <sup>b</sup>	8.6 ± 1.14 a	15.8 ± 2.39 a	45.3
	25	27.3 ± 4.96 b	17.6 ± 5.50 b	28.9 ± 6.20 b	70.7
	30	17.2 ± 3.19 a	9.2 ± 2.95 a	13.2 ± 3.27 a	50.7
May 10	20	22.4 ± 1.06 c	22.0 ± 2.07 a	45.6 ± 9.50 a	80.3
	25	11.2 ± 1.55 b	24.1 ± 3.57 a	75.0 ± 12.6 b	100.0
	30	7.4 ± 2.07 a	16.9 ± 4.95 a	41.1 ± 11.4 a	45.3

<sup>a</sup> Mean ± standard deviation of ten replications.

<sup>b</sup> Means followed by the same letters are not significantly different (P=0.05; Duncan's multiple range test (SAS Institute, 1991)).



**Fig. 1.** Daily oviposition of *L. oryzophilus* under different temperature conditions.

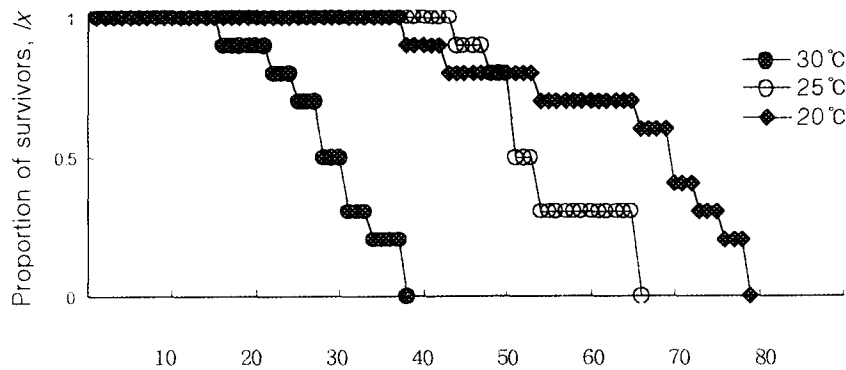


Fig. 2. Daily survivalship of *L. oryzoophilus* under different temperature conditions.

**Table 2.** Egg periods and days (Mean  $\pm$  SD) of egg to adult emergence and hatchability of *L. oryzoophilus* under various temperatures

Temp. (°C)	n	Egg period (days)	Hatchability (%)	Egg to adult emergence (days)
15	70	— <sup>a</sup>	—	—
20	83	15.1 $\pm$ 0.86 c <sup>b</sup>	74.2 b	77.9 $\pm$ 1.79 d
23	110	9.8 $\pm$ 1.14 b	76.7 b	61.8 $\pm$ 1.55 c
25	93	7.5 $\pm$ 0.85 ab	80.4 b	53.6 $\pm$ 1.51 b
27	71	5.8 $\pm$ 0.92 a	100.0 a	43.5 $\pm$ 1.08 ab
30	55	4.5 $\pm$ 0.71 a	97.4 a	38.3 $\pm$ 0.95 a
35	30	—	—	—

<sup>a</sup> Not hatched.

<sup>b</sup> Means followed by the same letters are not significantly different ( $P = 0.05$ ; Duncan's multiple range test (SAS Institute, 1991)).

채집된 층이 산란수가 많은 것으로 생각된다.

벼물바구미의 일령별 산란곡선은 Fig. 1과 같이 온도가 높아질수록 산란개시가 빨랐으며, 그 정점은 25°C, 30°C에서는 각각 11일과 15일에 최대를 나타냈으나 20°C에서는 약 30일째로 나타났다. 이러한 차이는 온도가 난의 성숙에 영향을 미침으로 일어나는 결과라고 생각된다.

온도가 생존에 미치는 영향은 Fig. 2와 같이 온도가 높아짐에 따라 사망시기 일령이 빨라져서 20, 25, 30°C에서 각각 42일령, 38일령, 15일령이었다. 또한 50% 생존율을 나타내는 일령은 20°C에서 65일, 25°C에서 53일, 30°C에서 30일이었다. 따라서 생존율은 저온에서는 서서히 떨어지는 곡선을 보였고, 고온에서는 급격히 떨어지는 곡선을 보여 온도의 영향을 크게 받는 것으로 보여진다.

### 발육에 미치는 온도 영향

온도별 벼물바구미 월동성충의 난기간은 Table 2와

같다. 그 평균값은 20°C에서 15.1  $\pm$  0.86일이고 30°C에서는 4.5  $\pm$  0.71일로 온도가 높을수록 난기간이 짧아짐을 알 수 있었는데, 30°C에서는 15°C보다 발육기간이 3.4배 정도 짧았다. 따라서 난 발육 온도범위는 넓은 것으로 생각된다. 15°C와 35°C에서는 부화되지 않았으며, 27°C에서 부화율은 100%로 가장 높았다. 난의 발육속도와 온도간에는 온도가 높아 갈수록 발육속도가 빨라지는 직선관계를 나타냈으며( $V = 0.0159t - 0.2586$ ,  $R^2 = 0.996$ ), 이 식으로 계산된 난의 발육영점온도와 유효적산온도는 각각 16.3°C와 62.1일도이었다.

Lee *et al.* (1990)은 20, 25, 30°C에서의 난기간이 각각 13.8일, 8.2일, 4.2일이라고 하여 본 실험결과와 유사하였으며, 愛知縣의 경우 난기간이 21.8°C에서 10.5일, 24.2°C에서 10.06일, 31°C에서 4.8일이라고 하였다. 부화율이 31°C에서 58.7%, 24.2°C에서 81.1%, 21.8°C에서 55.6%라고 보고하였는데(Tsuzuki and Asayama, 1984) 지역에 따라서 많은 차이를 보였다.

월동성충의 난부터 성충우화까지의 총발육기간(Table 2)은, 20, 25, 30°C조건에서 각각 77.9일, 53.6일, 38.3일로 고온에서 짧아지는 경향을 보여서 30°C에서는 20°C보다 2.0배 정도 발육기간이 짧아졌다. 난의 발육속도와 온도간에는 온도가 높아 갈수록 발육속도가 빨라지는 직선관계를 나타냈으며( $V = 0.0018t - 0.0251$ ,  $R^2 = 0.992$ ), 이 식으로 계산된 발육영점온도와 유효적산온도는 각각 13.9°C와 577.6일도이었다.

愛知縣에서는 벼물바구미가 난부터 우화까지의 총 소요일수는 21.8°C에서 72.1일, 24.2°C에서 58.1일, 29.3°C에서 40.1일이라고 하였고, 유충부터 우화성충까지의 평균 발육일수는 각각 61.6일, 48.0일, 34.3일이라고 하였고, 난 발육영점온도는 15.5°C, 유효적산온

**Table 3.** Pre-oviposition period, oviposition rate (%) and fecundity of the first generation adults of *L. oryophilus* collected at paddy fields in August

Temp. (°C)	Pre-oviposition period (days) Mean ± SD <sup>a</sup>	Oviposition rate (%)	Fecundity (no. of egg/female/day)
20	None <sup>b</sup>	None	None
25	38.7 ± 6.13 <sup>b</sup>	60.0	36.6 ± 15.77 <sup>b</sup>
30	25.6 ± 0.55 <sup>a</sup>	71.4	25.2 ± 9.49 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Mean ± standard deviation of seven replications.<sup>b</sup> No oviposition.<sup>c</sup> Means followed by the same letters are not significantly different (P = 0.05; Duncan's multiple range test (SAS Institute, 1991)).

도는 79일도라고 하였고, 난에서 우화까지의 발육영점은 12.7°C, 유효적산온도는 665일도라고 보고하였는데(Tsuzuki and Asayama, 1984), 본 실험의 결과와 약간의 차이를 나타냈다. 이는 지역 개체군에 따라 다소 차이가 있는 것으로 생각된다.

따라서 벼물바구미가 실제 야외포장에서 산란시기인 6월 상순의 경우 평균기온이 20°C 이상이 되기 때문에 유충발육이 충분히 진전되는 것으로 보이며, 또한 온도에 영향을 많이 받는 것으로 보여진다.

### 제1세대성충의 산란에 미치는 온도의 영향

벼물바구미 1세대성충을 채집하여 20, 25, 30°C의 온도와 16L : 8D의 광조건하에서 산란전기간, 산란율 그리고 산란수를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 제1세대성충은 25, 30°C에서 산란이 이루어졌으며, 산란율은 25°C 조건에서 낮았지만 산란수는 30°C보다 많았다. 그러나 20°C에서는 산란을 하지 못하였는데 이는 섭식을 충분히 하지 못하였기 때문으로 생각된다.

Asayama and Tsuzuki (1984)의 보고에 의하면 7월 26일에 채집한 제 1세대 성충을 27°C에서 14.5시간 이상의 광조건 하에서 사육하였을 때 모두 산란하였으며, 35°C에서는 13.5시간 이상의 광조건에서도 산란을 하였다고 보고하였다. 따라서 제1세대성충의 산란 조건은 20°C 이상의 온도조건에서 충분한 먹이를 섭취한 후 산란이 가능하기 때문에 온도영향이 큰 것으로 생각되며, 추후 월동처로 이동하는 시기에 자연조건과 일장조건에 따른 산란여부 등에 대한 검토가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

### 개체군 증식에 미치는 온도의 영향

온도에 따른 벼물바구미의 생명표 분석 결과는

**Table 4.** Comparison of life-table parameters of *L. oryophilus* under different temperatures in 1999

Temp. (°C)	Net reproductive rate per generation ( <i>R<sub>0</sub></i> )	Mean generation time in day ( <i>T</i> )	Intrinsic rate of natural increase ( <i>r<sub>m</sub></i> )
20	37.18	108.35	0.033 b <sup>a</sup>
25	75.30	70.67	0.061 a
30	27.46	51.65	0.064 a

<sup>a</sup> Means followed by the same letters are not significantly different (P = 0.05; Duncan's multiple range test (SAS Institute, 1991)).

Table 4와 같다. 1세대당 순증식율(*R<sub>0</sub>*)은 25°C에서 75.3으로 가장 컸고, 1세대당 요하는 평균시간(*T*)은 20°C에서 108.3으로 온도가 높아질수록 짧았다. 내적 자연증가율(*r<sub>m</sub>*)도 온도가 높아질수록 컸다.

이상의 결과에서 벼물바구미의 산란과 발육에 적합한 온도는 20°C에서 30°C로써 온도가 중요한 영향을 미치며 생명표분석을 통한 이 곤충의 증식에 적합한 온도범위는 25°C인 것으로 나타났다. 그러나 이 결과는 실내조건에서 수행한 결과이기 때문에 앞으로 야외조건에서도 벼물바구미의 증식율에 대한 검토가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

### Literature Cited

- Asayama, D. and S. Tsuzuki. 1984. Effect of day length, temperature and photoperiod on rice water weevil. Jap. Aich. Agric. Exp. 15: 50-58.
- Gho, H.K., Y.H. Kim, J.O. Lee, G.S. Lim and J.Y. Lee. 1990. Development of flight muscles and ovary of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryophilus* Kuschel (Coleoptera: Curculionidae) during the period of migration. Research Report in RDA 32: 14-18.
- Kim, Y.H., Y.M. Choi, G.S. Lim and Y.D. Chang. 1990. Occurrence of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryophilus*, by feeding scars on the leaves of weeds in the overwintering sites. Research Report RDA 32: 7-11.
- Kobayashi, S., D. Kimura and S. Matsui. 1988. Forecast of occurrence times of overwintering adults at overwintering site. Jap. J. Appl. Ent. Zool. 32: 13-19.
- Lee, K.Y., H.G. Goh, Y.H. Kim, Y.M. Choi and K.M. Choi. 1990. Feeding and oviposition of the overwintered and newly emerged adults of rice water weevil, *Lissorhoptrus oryophilus*, Res. Rept. RDA (C. P) 32: 25-31.
- Nilakhe, S.S. 1977. Reproductive status of overwintering rice water weevils. Ann. Entomol. Soc. Am. 70: 99-601.
- Price, P.W. 1997. Demography: Population growth and life tables. pp 305-340. In Insect ecology. 3rd ed., 874 pp. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT user's guide, version 6.04. SAS Institute, Cary, N C.
- Tsuzuki, S and D. Asayama. 1984. Oviposition and hatch of rice water weevil. Jap. Aich. Agric. Exp. 15: 42-46.
- Uhm, K.B., Y.I. Lee, Y.H. Kim, K.M. Choi and K.S. You. 1989. Studies on the future dispersion of the rice water weevil, *Liss-*

*orhoptrus oryzophilus*, in Korea. Research Report RDA. 31:  
23~28.

(Received for publication 2 January 2002;  
accepted 10 June 2002)