

일장과 온도 처리가 톱다리개미허리노린재 수컷 성충의 휴면종료에 미치는 영향

허 완¹ · 박정규*

경남 진주시 가좌동 경상대학교 농업생명과학연구원 (BK21 Program)

¹경상북도 경주시 구황동 226번지 (주)경농 중앙연구소

Effect of Day Length and Temperature on the Diapause Termination of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) Male Adults

Wan Huh¹ and Chung Gyo Park*

College of Agriculture/Institute of Agriculture and Life Sciences (BK21 Program),
Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea.

¹Central Research Institute Kyung Nong Corporation, 226, Guhwang-dong, Gyeongju-si,
Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

ABSTRACT: The bean bug, *Riptortus pedestris* (=clavatus) Fabricius (Hemiptera: Alydidae) is a serious pest of soybean in many countries. It enters a reproductive diapause in the winter by short day length (<13.5 h.) in Korea and Japan. The combined effects of temperatures (25°C and 8°C) and day lengths (10L:14D and 14L:10D) upon the termination of the male's diapause were studied. The combinations are ① HTLD = 25°C, 14L:10D treatment for 1, 2, 3 weeks and 30 days; ② HTSD = 25°C, 10L:14D treatment for 1, 2, and 3 weeks; ③ LTLD→HTLD = 8°C, 14L:10D treatment for 1, 2, and 3 weeks followed by HTLD treatment; ④ LTSD→HTLD = 8°C, 10L:14D treatment for 1, 2, and 3 weeks followed by HTLD. The amount of aggregation pheromone components secreted was adopted as the criteria for diapause termination in males. Males did not secrete aggregation pheromone under HTSD conditions. However, the males treated with HTLD for more than 21 days secreted significantly higher amounts of aggregation components, (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate and (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate, compared to the control or HTSD treatments. The three components of the aggregation pheromone were secreted by the 14%, 29%, and 100% males treated with HTLD for 7 days, respectively. However more than 83% of the HTLD-treated males secreted all three components by the 30th day under the treatment. In comparison, the pheromone amounts secreted by the males treated with LTLD→HTLD or LTSD→HTLD were equal or less than those secreted by males with continuous HTLD treatment.

Key words: Soybean, Sweet persimmon, Reproductive diapause, Aggregation pheromone, E2HZ3H, E2HE2H, TI

초 록: 톱다리개미허리노린재, *Riptortus pedestris* (=clavatus) Fabricius (Hemiptera: Alydidae)는 성충으로 월동휴면을 한다. 전형적인 장일형 곤충으로 일장 시간이 약 13.5시간 이하의 단일조건에서 휴면이 유지된다. 2006년 10월과 11월에 월동중인 수컷 성충을 채집하여 휴면종료에 미치는 온도와 일장 조합의 효과를 조사하였다. 즉, ① HTLD = 25°C, 14L:10D에 1, 2, 3주 및 30일 처리, ② HTSD = 25°C, 10L:14D에 1, 2, 3주 처리, ③ LTLD→HTLD = 8°C, 14L:10D에 1, 2, 3주 처리 후 HTLD 처리, ④ LTSD→HTLD = 8°C, 10L:14D에 1, 2, 3주 처리 후 HTLD 처리의 네 가지 조합으로 처리하였다. 수컷의 집합페로몬 분비 여부로 휴면종료 여부를 판단하였다. HTSD 조건에서는 페로몬을 분비하지 않았다. 그러나 HTLD 조건에 21일 이상 처리된 수컷은 무처리나 HTSD 처리 수컷에 비해 많은 양의 페로몬을 분비하였다. 고온장일 처리 7일부터 집합페로몬 성분인 E2HZ3H, E2HE2H 및 TI를 분비한 개체의 비율이 각각 14%, 29%, 100%에서 30일째에는 83%의 개체가 세 성분 모두를 분비하였다. 저온처리 없이 단순히 고온장일 조건에서 사육한 것들이 저온처리(LTLD→HTLD 또는 LTSD→HTLD)를 받은 것보다 페로몬을 분비하는 개체의 비율이 높았다.

검색어: 콩, 단감, 생식휴면, 집합페로몬, E2HZ3H, E2HE2H, TI

*Corresponding author: parkcg@gnu.ac.kr

Received July 8 2010; revised July 19 2010;

accepted September 7 2010

우리나라에서 톱다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris* (Fabricius) (Hemiptera: Alydidae)는 콩과 단감에 피해를 주는 중요한 해충이다(Chung *et al.*, 1995; Son *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2002; Kang *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2009). 이 노린재는 동남 아시아의 온대 및 아열대 기후 지역에 광범위하게 분포하며(Tomokuni *et al.*, 1993; Kikuhara, 2005; Do, 2007), 우리나라와 일본에서는 겨울에 성충으로 휴면한다(Kono, 1989; Huh *et al.*, 2005).

곤충이 휴면하는 것은 온도, 일장 등의 주변 환경에 영향을 받고, 휴면에 들어간 개체는 형태적, 생리적 변화를 가지게 되는 것이 일반적이다. 톱다리개미허리노린재는 상온(25°C)에서 약 13.5시간 이하의 단일조건에서 휴면에 들어가며, 장일 조건에 의해 휴면이 종료된다(Kobayashi & Numata, 1995; Musolin *et al.*, 2001). 그러나 아직까지 톱다리개미허리노린재 성충의 휴면 종료에 미치는 일장과 온도 조합의 영향은 연구된 바가 없다. 다만 필자 등에 의해서 일장과 저온처리 조합의 처리기간이 암컷 성충의 휴면 종료에 미치는 영향을 난소발육 정도에 따라 연구한 바 있다(Huh *et al.*, 2010). 본 연구는 이러한 연구와 같은 시기에 이루어진 일련의 연구로서 온도와 일장 처리가 수컷의 휴면 종료에 미치는 영향을 연구한 결과이다.

곤충의 페로몬 분비활동은 주변 환경과 개체의 생리 상태에 영향을 받는다(Delisle and Vincent, 2002; El-Sayed and Trimble, 2002). 톱다리개미허리노린재 수컷 성충은 집합페로몬을 분비하여 동종의 암수성충과 약충을 유인하는데(Leal *et al.*, 1995; Mizutani *et al.*, 1997; Huh *et al.*, 2005; 2008), 월동에 들어가는 수컷 성충은 집합페로몬 분비활동을 멈추는 것으로 알려져 있다(Huh *et al.*, 2009). 따라서 본 연구에서는 야외에서 월동중인 톱다리개미허리노린재 수컷의 휴면종료에 미치는 저온과 일장 및 그 처리기간의 영향을 집합페로몬의 분비량 변이를 통해서 조사하였다.

재료 및 방법

실험충 채집 방법

실험충은 경남 진주시의 단감 과원에서 2006년 10월 9일부터 11월 20일 사이에 집합페로몬 트랩으로 채집하였는데, 채집방법은 Huh *et al.* (2010)과 같다. 본 실험에서 사용한 집합페로몬은 경상대학교 유기천연물화학 연구실에서 합성한 것으로서, 세 성분의 합성방법과 분광학적, 물리·화학적 자료는 Huh *et al.* (2005)에 기술되어 있다.

트랩에 잡힌 수컷 성충을 수거한지 24시간 이내에 집합페로몬의 분비량을 조사하여 세 성분 모두 검출되지 않는 개체를 휴면중인 것으로 판단하였다. 그 결과, 10월 28일 이후에 채집된 수컷 성충 모두가 휴면에 들어갔다는 것을 알 수 있었다. 야외에서 채집된 수컷은 24시간 이내에 실험에 사용하였다.

온도와 일장처리 및 조사방법

본 연구는 암컷에 대한 실험과 동시에 이루어졌기 때문에 온도 및 일장 처리 방법은 Huh *et al.*(2010)과 동일하였다.

휴면종료 여부의 판단

수컷의 휴면종료 여부는 집합페로몬의 분비 여부로 판단하였다. 집합페로몬을 추출하기 위해 수컷을 CO₂ 로 마취시킨 후, 부피 4 ml 유리병에 *n*-hexane (99%, Fisher) 1 ml을 넣고 수컷 성충 한 마리를 머리가 아래로 향하도록 바이오텔에 넣어 3분 동안 추출 하였다. 추출 용액을 gas chromatography(GC-17A, Shimadzu, Japan)로 정량분석하여 집합페로몬의 분비량을 계산하였다. GC의 칼럼은 DB-Wax (30 m×0.25 mm, Agilent Technologies, USA)를 사용하였고, 온도조건은 80(1)-220(20)/10°C로 하였다. 운반기체는 He, 주입구와 검출기 온도는 각각 250°C로 하였고, 검출기는 FID (Flame Ionization Detector)를 사용하였다.

통계분석

각 처리별 페로몬분비량을 $\sqrt{(x+0.5)}$ 로 변환하여 GLM (General Linear Model)로 분산분석 하였고, Duncan's multiple range test (SAS Institute, 2002)를 이용하여 5% 유의수준에서 평균간 차이를 검정하였다.

결 과

고온장일과 고온단일 처리의 효과

고온장일과 고온단일 계속 처리에 의한 수컷의 집합페로몬 분비량은 Table 1과 같다. 어떠한 일장처리도 하지 않은 실험 시작 전의 톱다리개미허리노린재 수컷과 고온단일에 연속 처리한 수컷은 페로몬을 전혀 분비하지 않았으나 고온장일 21일 이상 처리한 수컷은 무처리나 고온단일에 처리한 수컷에 비하여 페로몬 (특히 E2HZ3H와 E2HE2H) 분비량이 많았다. 고온장일에 처리한 기간이 길수록 E2HZ3H와 E2HE2H의 분비량이 증가하는 경향이였다. 한편 Π 의 량도

Table 1. Effect of high temperature and day length on the amount (mean±SD) of aggregation pheromone secretion of *Riptortus pedestris* male (µg/male)

Treatments ¹⁾	No. of insects used	E2HZ3H	E2HE2H	TI
Control	10	0.0 b ²⁾	0.0 b ²⁾	0.0 b ²⁾
HTLD 7	7	0.2±0.6 b	0.4±1.1 b	0.4±0.2 ab
HTLD 14	7	1.8±2.8 b	2.6±5.4 b	2.0±3.5 a
HTLD 21	6	5.7±4.7 a	7.1±7.2 a	1.2±2.5 ab
HTLD 30	6	4.3±2.9 a	9.0±5.8 a	0.6±0.5 ab
HTSD 7	7	0.0 b	0.0 b	0.0 b
HTSD 14	7	0.0 b	0.0 b	0.0 b
HTSD 21	6	0.0 b	0.0 b	0.0 b
Statistics (df=7,48)		F=9.98 P=0.0001	F=9.49 P=0.0001	F=2.62 P=0.0224

¹⁾ HTLD 21; high temperature (25°C) and long day length (14L:10D) treatment for 21 days, HTSD 21; high temperature and short day length (10L:14D) treatment for 21 days, LTLD7, 14, or 21→HTLD 21; low temperature (8°C) and long day length treatment. for 7, 14, or 21 days followed by the treatment of high temperature and long day length for 21 days, LTSD7, 14, or 21→HTLD 21; low temperature (8°C) and short day length treatment. for 7, 14, or 21 days followed by the treatment of high temperature and long day length for 21 days.

²⁾ Means followed by different letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test (P=0.05).

Table 2. Effect of day length on the ratio (%)¹⁾ of *Riptortus pedestris* males secreting aggregation pheromone

Treatments ²⁾	No. of insects used	E2HZ3H	E2HE2H	TI
Control	10	0.0	0.0	0.0
HTLD 7	7	14.3	28.6	100.0
HTLD 14	7	42.9	42.9	100.0
HTLD 21	6	100.0	100.0	33.3
HTLD 30	6	83.3	83.3	83.3
HTSD 7	7	0.0	0.0	0.0
HTSD 14	7	0.0	0.0	0.0
HTSD 21	6	0.0	0.0	0.0

¹⁾ The ratio was calculated by the equation of (the number of males which secreted pheromone)/ (total number of males tested) * 100;

²⁾ See Table 1 for explanations of the treatments.

고온단일 처리보다 고온장일 처리에서 분비량이 많아진 경향이였다.

페로몬을 분비한 개체의 비율도 분비량과 동일한 경향을 보였다(Table 2). 고온단일에 처리한 개체는 페로몬을 분비하는 개체가 전혀 없었다. 또한 고온장일에 처리한 기간이 14일 이내로 짧았을 때보다는 21일 이상으로 길었을 때 E2HZ3H와 E2HE2H 성분을 분비한 개체의 비율이 증가하였다. 한편 TI를 분비하는 개체의 비율은 처리기간에 따라 일정한 경향을 찾을 수 없었다. Table 1과 2에서 고온장일 처리기간에 따라 TI의 분비량과 분비 개체의 비율에 일정한 경향이 없는 것은, gas chromatography 상에 TI의 peak가 아주 작게 나타내기 때문에 reading이 어려웠기 때문

으로 생각된다. 본 실험에 사용한 실험충수가 적기는 하지만 Table 1과 연관지어 고려해볼 때, 장일 처리가 수컷의 페로몬 분비를 촉진한다는 것은 분명해 보인다.

저온 전처리의 효과

저온 및 일장처리에 의한 수컷의 페로몬 분비량과 분비개체의 비율은 Table 3과 같다. 고온장일 21일 처리는 대조구로 사용되었다. 휴면 중인 수컷을 어떤 처리도 하지 않았을 경우에는 페로몬이 전혀 분비되지 않았지만, 고온장일에 21일간 처리 하거나 저온장일 또는 저온단일에 전 처리한 후에 고온장일에 처리하면 페로몬이 분비된다는 것을 알 수 있었다. 그러나 저온처리 기간이나 저온 처리 중의 일장

Table 3. Effect of low temperature treatment and day length on the amount (mean±SD) of aggregation pheromone secretion of *Riptortus pedestris* males ($\mu\text{g}/\text{male}$)

Treatments ¹⁾	No. of insects used	E2HZ3H	E2HE2H	TI
Control	10	0.0 c ²⁾	0.0 d ²⁾	0.0 b ²⁾
HTLD 21	6	5.7±4.7 a	7.1±7.2 a	1.2±2.5 ab
LTLD 7→HTLD 21	7	4.2±2.9 ab	2.9±3.0 bc	0.0 b
LTLD 14→HTLD 21	7	5.4±3.9 a	3.1±2.1 ab	0.5±1.1 ab
LTLD 21→HTLD 21	7	1.9±1.8 bc	2.5±2.7 bc	1.8±3.1 a
LTSD 7→HTLD 21	6	2.0±2.4 bc	0.4±0.5 cd	0.0 b
LTSD 14→HTLD 21	7	1.3±1.7 bc	0.1±0.3 d	0.3±0.8 ab
LTSD 21→HTLD 21	6	1.3±1.9 bc	0.4±0.9 d	0.6±0.9 ab
Statistics (df=7, 48)		F=5.01 P=0.0003	F=6.27 P=0.0001	F=1.53 P=0.1786

¹⁾ See Table 1 for explanations of the treatments.

²⁾ Means followed by different letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P=0.05$).

Table 4. Effect of low temperature treatment and day length on the percentage of males secreting aggregation pheromone

Treatments ¹⁾	No. of insects used	E2HZ3H	E2HE2H	TI
Control	10	0.0	0.0	0.0
HTLD 21	6	100.0	100.0	33.3
LTLD 7→HTLD 21	7	85.7	71.4	14.3
LTLD 14→HTLD 21	7	85.7	85.7	57.1
LTLD 21→HTLD 21	7	85.7	85.7	57.1
LTSD 7→HTLD 21	6	66.7	33.3	50.0
LTSD 14→HTLD 21	7	71.4	28.6	42.9
LTSD 21→HTLD 21	6	50.0	50.0	66.7

¹⁾ See Table 1 for explanations of the treatments.

²⁾ Means followed by different letters in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P=0.05$).

에 따른 페로몬 분비량은, 일부 처리에서 높게 나타나기는 하였지만 일정한 경향을 찾을 수 없었다. 저온단일 처리 후 고온장일 처리를 받은 개체들의 페로몬 분비량은 고온장일 처리(HTLD 21)만 받은 개체의 분비량보다 E2HZ3H와 E2HE2H 성분이 오히려 적었다. 또한 집합페로몬을 분비하는 수컷의 비율도 페로몬 분비량과 같은 경향을 나타내었다 (Table 4).

고 찰

곤충의 생활주기는 곤충이 계절의 변동에 잘 적응한 결과이며, 온도, 습도, 먹이 등의 조건이 나빠지면 이들은 휴면(diapause)이라는 기작을 통해 역경을 이겨 낸다 (Boo., 1996).

겨울동안 휴면을 하는 많은 곤충들의 경우 휴면발육에는

온도가 많이 관여하고(Danks, 1987; Irwin *et al.*, 2001), 저온처리는 그 기간 동안의 휴면발육을 가속화시키는 역할을 하기 때문에(Beck, 1980), 휴면발육과 저온처리와의 관계에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다(Numata and Hidaka, 1984; Kotaki, 1998). 툽다리개미허리노린재의 성충 휴면은 장일 조건에 의해 종료된다고 하였는데(Kobayashi & Numata, 1995; Musolin *et al.*, 2001) 아직까지 저온처리의 영향에 대한 연구는 암컷을 대상으로 한 Huh *et al.* (2010)의 결과를 제외하고는 찾아볼 수가 없다.

본 연구에서 툽다리개미허리노린재 수컷의 페로몬 분비 활동은 고온단일 조건에서 중지하였고, 고온장일 조건에서 시간이 지남에 따라 분비활동이 증가하는 경향을 보였다. 하지만 Huh *et al.* (2010)이 보고한 툽다리개미허리노린재의 암컷과 차이점이 있었는데, 페로몬 분비활동이 고온장일 조건에서 7일 만에 시작되어 암컷보다 일주일 정도 빠른

휴면 종료반응을 보였다(Table 1, 2). 한편, 저온처리에 의해 수컷 페로몬의 분비량이 적어졌는데, 저온단일 처리 후 고온장일 처리를 받은 개체들의 페로몬 분비량은 고온장일 처리(HTLD 21)만 받은 개체의 분비량보다 E2HZ3H와 E2HE2H 성분이 오히려 적었다. (Table 3).

톱다리개미허리노린재 암컷은 고온단일조건에서는 무처리와 비교하여 3주 동안 아무런 변화가 없었으나 고온장일 조건에서는 시간 경과에 따라 산란활동을 개시한다고 하였다(Huh *et al.*, 2010). 본 연구 결과 수컷의 경우에도 고온단일 조건에서는 페로몬을 분비하지 않다가 고온장일 조건에서는 시간 경과에 따라 페로몬을 분비하는 개체가 늘어났다. 하지만, 그러한 반응에 대한 저온처리의 효과는 암·수가 다른 반응을 보였는데, 암컷에서는 저온처리가 휴면을 종료시키는데 많은 영향을 주었지만(Huh *et al.*, 2010), 수컷의 휴면타파에서 저온처리의 효과는 없었다. 이것은 페로몬 생산과 난소발육이 가지는 기본적인 특징의 차이를 생각해 볼 수 있다. 즉, 수컷 페로몬 샘의 온도반응과 암컷 난소의 온도반응은 서로 차이가 있을 것으로 판단된다. 하지만 그러한 기작에 대해서는 아직까지 알려진 바가 없다.

본 실험에서 휴면 중인 수컷 성충을 고온장일에 7일 처리하면 페로몬 분비활동 시작하였고, 21일 이상 처리하면 E2HZ3H와 E2HE2H 성분을 분비한 개체의 비율이 증가하였다. 그러나 Huh *et al.*(2010)은 암컷의 경우에는 고온장일에 14일 이상 처리하면 난소발육이 촉진된다고 하였다. 이러한 암·수 성충의 휴면종료에 대한 반응 차이는 일반적으로 수컷 성충이 암컷에 비해 휴면에 관계되는 정도가 약한 특성 때문인 것으로 추정된다(Beck, 1980).

E2HZ3H, E2HE2H, TI 세 성분의 분비양상에 있어 저온처리를 받은 개체들과 받지 않은 개체들이 차이를 보이는 것은 세 성분이 가지는 특성이 온도와 관련된 복잡한 관계가 있을 것으로 생각되며, 수컷 성충휴면의 유기와 종료에 있어 온도와 집합페로몬 세 성분의 분비 특성 관계를 연구하는 것은 또 다른 흥미있는 연구 분야가 될 것으로 생각된다.

한편, 톱다리개미허리노린재 외에 갈색날개노린재도 단일조건에 의해 휴면이 유기되고 장일조건에 의해 종료되는 데(Tanaka, 1979; Yanagi & Hagihara, 1980; Kotaki & Yagi, 1987; Numata & Kobayashi, 1994), 적당한 저온처리가 휴면종료를 가속화 시킨다고 하였다(Kotaki, 1998). 남쪽폴색노린재도 휴면의 유기와 종료가 일장에 의해 영향을 받는데, 일장이 길어짐에 따라 휴면기간이 짧아지고, 동시에 체색을 황갈색에서 녹색으로 바꾼다(Musolin *et al.*, 2007).

알락수염노린재 (*Dolycoris baccarum* Linne)는 서식환경에 따라 휴면에 관여하는 일장과 온도가 다르다(Keiji and Numata, 2006).

현재까지 톱다리개미허리노린재를 포함하여 다른 종 노린재들의 휴면여부를 규명하는 데 있어 암컷의 난소발육과 암·수 성충의 체색변화를 중심으로 연구되었다. 하지만 본 연구를 통해 저온처리에 의한 페로몬의 분비활동과 휴면과의 관계를 밝힘으로서 노린재류를 비롯하여 페로몬을 분비하는 많은 다른 종들의 휴면과 페로몬 분비와의 관계에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

Literature Cited

- Beck, S.D. 1980. Insect photoperiodism. 2nd ed. Academic Press, New York 387 pp.
- Boo, K.S. 1996. Insect physiology. Ziphyunsa Publishing Co. Seoul, Korea. 618 pp.
- Chung, B.K., S.W. Kang and J.H. Kwon. 1995. Damages, occurrences and control of hemipterous insects in non-astringent persimmon orchards. RDA J. Agric. Sci. 37: 376-382.
- Danks, H.V. 1987. Insect dormancy: an ecological perspective. Biological Survey of Canada, Ottawa 439 pp.
- Delisle, J. and C. Vincent. 2002. Modified pheromone communication associated with insecticidal resistance in the oblique-banded leafroller, *Choristonneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). Chemoecology 22: 47-51.
- Do, N.X. 2007. Biological characteristics and seasonal parasitism of parasitoids of *Riptortus clavatus* Thunberg (Heteroptera: Alydidae). MS thesis of Gyeongsang National University. 47 pp.
- E1-Sayed, A.M. and R.M. Trimble. 2002. Pheromone content of azinphosmethyl-susceptible and -resistant obliquebanded leafroller, *Choristonneura rosaceana*, (Lepidoptera: Tortricidae) as a function of time of day and female age. Can. Entomol. 134: 331-341.
- Huh, H.S., W. Huh, S.D. Bae and C.G. Park. 2005. Seasonal occurrence and ovarian development of bean bug, *Riptortus clavatus*. Kor. J. Appl. Entomol. 44: 199-205.
- Huh, H.S., W. Takashi, N. Mizutani and C.G. Park. 2008. Comparison of the aggregation pheromone components of Korean bean bug and attractiveness of different blends. Kor. J. Appl. Entomol. 47: 141-147.
- Huh, H.S., S.A. Jang and C.G. Park. 2009. Variation in aggregation pheromone secretion of bean bug, *Riptortus clavatus*. Kor. J. Appl. Entomol. 48: 73-79.
- Huh, W., D.Y. Son and C.G. Park. 2010. Effect of day length and temperature on the diapause termination of *Riptortus pedestris* (Hemiptera: Alydidae) female adults. Kor. J. Appl. Entomol. 49: 115-121.
- Irwin J.T., V.A. Bennett and R.E. Lee Jr. 2001. Diapause development in frozen larvae of the goldenrod gall fly,

- Eurosta solidaginis* Fitch (Diptera: Tephritidae). J. Comp. Physiol. B 171: 181-188.
- Kang, C.H., H.S. Huh and C.G. Park. 2003. Review on true bugs infesting tree fruits, upland crops, and weeds in Korea. Kor. J. Appl. Entomol. 42: 269-277.
- Keiji N. and H. Numata. 2006. Effects of photoperiod and temperature on the induction of adult diapause in *Dolycoris baccarum* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae) from Osaka and Hokkaido, Japan. Appl. Entomol. Zool. 41: 105-109.
- Kikuhara, Y. 2005. The Japanese species of the genus *Riptortus* (Heteroptera, Alydidae) with description of a new species. Jpn. J. Syst. Entomol. 11: 299-311.
- Kobayashi S. and H. Numata. 1995. Effects of temperature and photoperiod on the induction of diapause and the determination of body coloration in the bean bug, *Riptortus clavatus*. Zool. Sci. 12: 343-348.
- Kono, S. 1989. Number of annual generations of the bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Heteroptera: Alydidae) estimated by physiological characteristic. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 33: 198-203.
- Kotaki, T. and S. Yagi. 1987. Relationship between diapause and coloration change in the brown-winged green bug, *Plautia stali* Scott (Heteroptera: Pentatomidae). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 31: 285-290.
- Kotaki, T. 1998. Effect of low temperature on diapause termination and body colour change in adults of a stink bug, *Plautia stali*. Physiol. Entomol. 23: 53-61.
- Leal, W.S., H. Higuchi, N. Mizutani, H. Nakamori, T. Kadosawa and M. Ono. 1995. Multifunctional communication in *Riptortus clavatus* (Heteroptera: Alydidae): Conspecific nymphs and egg parasitoid *Ooencyrtus nezarae* use the same adult attractant pheromone as chemical cue. J. Chem. Ecol. 21: 973-985.
- Lee, K.C., C.H. Kang, D.W. Lee, S.M. Lee, C.G. Park and H.Y. Choo. 2002. Seasonal occurrence trends of hemipteran bug pests monitored by mercury light and aggregation pheromone traps in sweet persimmon orchards. Kor. J. Appl. Entomol. 41: 233-238.
- Lee, H.S., B.K. Chung, T.S. Kim, J.H. Kwon, W.D. Song and C.W. Rho. 2009. Damage of sweet persimmon fruit by the introduction date and number of stink bugs, *Riptortus clavatus*, *Halyomorpha halys* and *Plautia stali*. Kor. J. Appl. Entomol. 48: 485-491.
- Mizutani, N., T. Wada, H. Higuchi, M. Ono and W.S. Leal. 1997. A component of synthetic aggregation pheromone of *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae), that attracts an egg parasitoid, *Ooencyrtus nezarae* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae). Appl. Entomol. Zool. 32: 504-507.
- Musolin, D.L., H. Numata and A.H. Saulich. 2001. Timing of diapause induction outside the natural distribution range of a species: an outdoor experiment with the bean bug *Riptortus clavatus*. Physiol. Entomol. 32: 64-72.
- Musolin, D.L., K. Fujisaki and H. Numata. 2007. Photoperiodic control of diapause termination, colour change and postdiapause reproduction in the southern green bug, *Nezara viridula*. Entomol. Exp. Appl. 100: 211-219.
- Numata H. and T. Hidaka. 1984. Photoperiodic control of adult diapause in the bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Heteroptera: Coreidae) III. Diapause development and temperature. Appl. Entomol. Zool. 19: 356-360.
- Numata, H. and S. Kobayashi. 1994. Threshold and quantitative photoperiodic responses exist in an insect. Experientia 50: 969-971.
- SAS Institute, 2002. User's guide, version 9.1. SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Son, C.K., S.G. Park, Y.H. Hwang and B.S. Choi. 2000. Field occurrence of stink bug and its damage in soybean. Kor. J. Crop. Sci. 45: 405-410.
- Tanaka, K. 1979. Life history of *Plautia stali* Scott in the middle part of Mie Prefecture. Proceedings of Kansai Plant Protection Society. 21: 3-7.
- Tomokuni, M., T. Yasunaga, M. Takai, I. Yamashita, M. Kawamura and T. Kawasawa. 1993. A field guide to Japanese bugs: Terrestrial heteropterans. Zenkoku Noson Kyoiku Kyokai, Tokyo. 380 pp.
- Yanagi, T. and Y. Hagihara. 1980. Estimation of the number of annual generation of brown-winged green bug, *Plautia stali* Scott, based on the developmental velocity and diapause-critical day length. Proc. Kanto-Tosan Pl. Protec. Soc. 27: 143-146.