

톱다리개미허리노린재 집합페로몬의 분비변이에 관한 연구

허혜순¹ · 장신애² · 박정규*

경상대학교 생명과학연구원, ¹국립산림과학원 남부산림연구소, ²경상대학교 대학원 응용생명과학부(BK21 Program)

Variation in Aggregation Pheromone Secretion of Bean Bug, *Riptortus clavatus*

Hye-Soon Huh¹, Sin Ae Jang² and Chung Gyoo Park*

Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea

¹Southern Forest Research Center, KFRI, Jinju 660-300, Republic of Korea

²Division of Applied Life Science (BK21 Program), Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea

ABSTRACT : Male adults of bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Heteroptera: Alydidae), release aggregation pheromone (AP) which consists of (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate (E2HZ3H), (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate (E2HE2H), and tetradecyl isobutyrate (TI). Variation in the pheromonal secretion were checked by the factors of age, mating status, seasons, body weight and time in a day. There were no significant differences in the amounts of AP secretion by mating, body weight, and time in a day. Higher amount of AP was detected from older males than younger ones. The amount of AP detected was higher in the males collected from April to September than in those collected during October. No AP was detected in the males of November and December. These phenomena in the AP secretion were discussed in relation to food exploitation and reproductive diapause of the bean bug.

KEY WORDS : Stink bug, Alydidae, Soybean, Heteroptera, Pheromone trap

초 록 : 톱다리개미허리노린재(*Riptortus clavatus* Thunberg) (Heteroptera: Alydidae)의 집합페로몬은 (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate (E2HZ3H), (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate (E2HE2H) 및 tetradecyl isobutyrate (TI)의 세 성분으로 구성되어 있다. 성충의 나이, 교미여부, 채집시기, 체중, 하루 중 시간대에 따른 이들 성분의 분비변이를 조사하였다. 이 집합페로몬의 분비량은 교미여부와 체중 및 하루 중 시간에 따른 차이가 없었다. 그러나 우화 후 일수가 경과할수록 수컷의 집합페로몬 분비량이 많아졌으며, 4월부터 9월까지 채집된 수컷의 집합페로몬 검출량은 10월에 채집된 수컷의 검출량보다 높았으며, 11월과 12월에 채집된 수컷에서는 집합페로몬이 검출되지 않았다. 이러한 집합페로몬의 분비변이 양상을 톱다리개미허리노린재의 먹이이용 전략 및 휴면현상과 관련지어 고찰하였다.

검색어 : 노린재, 호리허리노린재과, 콩, 반시목, 노린재목, 페로몬트랩

*Corresponding author. E-mail: parkcg@gnu.ac.kr

톱다리개미허리노린재는 년 간 3세대를 경과하는 것으로 추정되며 겨울 동안 성충으로 생식휴면에 들어가는데 (Huh *et al.*, 2005), 특정 작물에서의 발생소장은 기주식물의 유무(Mizutani *et al.*, 2002)나 파종시기에 따라 달라진다(Lee *et al.*, 2004).

톱다리개미허리노린재 수컷 성충은 동종의 암수 성충과 약충을 유인하는 집합페로몬을 분비하는데, 이 페로몬에는 난기생봉인 *Ooencyrtus nezarae* (Hymenoptera: Encyrtidae)도 유인된다(Leal *et al.*, 1995; Mizutani *et al.*, 1997; Masuta *et al.*, 2001; Huh and Park, 2005). 이 페로몬의 성분은 (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate (E2HZ3H), (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate (E2HE2H) 및 tetradecyl isobutyrate (TI)로 구성되어 있는데, 일본의 Tsukuba 계통은 세 성분이 1:5:1로 구성되어 있고(Leal *et al.*, 1995), 우리나라의 계통은 약 1:1:0.2의 비율로 구성되어 있다(Huh *et al.*, 2008).

페로몬의 분비는 온도 등의 주변 환경과 곤충의 생리상태(Delisle and Royer, 1994; Delisle and Vincent, 2002; El-Sayed and Trimble, 2002)에 영향을 받는다. 휴면 중인 톱다리개미허리노린재의 수컷과 성적으로 미 성숙된 수컷은 E2HZ3H와 E2HE2H를 분비하지 않으며, 영양 상태에 따라서도 페로몬 분비량에 차이가 있다고 하였다(Mizutani *et al.*, 2008). 그러나 아직까지 이 종의 집합페로몬의 분비량의 계절적 변이와 충의 생리 상태에 따른 변이에 관한 연구 결과는 찾아볼 수가 없다.

따라서 본 연구에서는 수컷 성충의 교미여부, 연령, 체중에 따른 집합페로몬 분비량의 변이와 하루 중 시간대별 및 계절별 분비량의 차이를 조사하였다. 그 결과 집합페로몬의 분비량은 교미여부와 관계가 없었으며, 계절적으로는 10월 이후에는 페로몬 분비가 급격히 감소하다가 11월과 12월에 채집된 성충에서는 페로몬이 전혀 검출되지 않았다. 이러한 결과는 톱다리개미허리노린재 집합페로몬 시스템의 기능을 이해하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

재료 및 방법

실험곤충의 사육

본 실험 중에서 「계절별 집합페로몬 분비변이에 관한 연구」에 사용된 충 외에는 야외에서 채집하여 실내에서 누대 사육하고 있던 충을 실험에 사용하였다. 실험곤충의 채집시기 및 사육 방법은 Huh *et al.* (2008)에 기술되어

있는 바와 같이 2001년 4월 이후에 야외에서 채집한 톱다리개미허리노린재를 실험실(25±2°C, 16L:8D, R.H. 40-80%)에서 대두와 땅콩을 먹이로 하여 사육하였으며, 사육충의 활력저하를 막기 위하여 매년 포충망이나 페로몬 트랩으로 채집한 야외성충을 실내계통에 보충해 주었다.

집합페로몬 각 성분의 합성과 정량곡선의 작성

본 연구에서 사용한 집합페로몬 세 성분의 standard는 경상대학교 유기·천연물화학 연구실에서 합성한 것을 사용하였다. 세 성분의 합성방법과 분광학적, 물리·화학적 자료는 Huh *et al.* (2005)에 기술되어 있다. 세 가지 화합물을 hexan 용액에 여러 단계의 농도로 희석하고, 각 농도별 희석액을 비극성인 Rtx-225 컬럼과 극성인 DB-WAX 컬럼을 사용하여 gas chromatography (GC-17A, Shimadzu, Japan)로 정량 분석하였다. 분석 조건과 작성된 정량곡선은 Huh *et al.* (2008)에 기술되어 있다. 컬럼의 종류나 페로몬 성분에 관계없이 모든 정량곡선의 결정계수(R²)가 0.99 이상이었다. 이 정량곡선을 이용하여 이후의 모든 GC분석 결과의 면적을 페로몬 량으로 환산하였다.

집합페로몬의 추출과 GC 분석

집합페로몬 추출은 특별한 언급이 없는 한 수컷 성충 1마리를 체중을 측정 후 1 ml의 hexan(97%, Merck, Germany)에 3분간 침지하여 추출하였다. 사용한 GC기기와 분석조건은 정량곡선 작성 시와 동일하였다.

집합페로몬 분비변이 연구

교미여부별 집합페로몬 분비변이

우화 직후 암수를 함께 두어 자유롭게 교미시킨 그룹과 우화 당일 암수를 분리 사육하여 교미시키지 않은 그룹으로 나눈 뒤 우화 후 10~12일 사이에 페로몬을 추출하여 GC 분석하였다. 미교미 및 교미 수컷 각각 3마리를 실험에 사용하였다.

우화 후 경과 일수별 집합페로몬 분비변이

우화 당일 암수를 분리 사육하여 우화 당일부터 우화한 지 10, 20, 30, 40, 50, 60일이 경과한 미교미 수컷 성충의 페로몬 추출물을 GC 분석 하였다. 각 연령별로 3마리의 수컷으로부터 페로몬을 추출하였다.

계절별 집합페로몬 분비변이

2003년 6월, 8월, 9월, 10월, 11월, 12월과 2004년 4월, 5월, 7월에 경상대학교 캠퍼스 내에 설치한 집합페로몬 트랩에 유인된 수컷을 사용하여 집합페로몬의 분비량을 조사하였다. 페로몬 추출은 매월 1일~10일 사이에 실시하였다. 각 시기별로 3마리를 분석하였다.

하루 중 시간대별 집합페로몬 분비변이

우화 후 12일이 경과한 미교미 수컷을 사용하여 24시간 동안 4시간 간격으로 페로몬을 추출하여 GC 분석하였다. 이때 실험실의 조건은 25±1℃, 16L:8D이었으며 암기는 21:00시부터 05:00시까지였다. 각 시간대별로 3마리의 수컷으로부터 페로몬을 분리하였다.

체중별 집합페로몬 분비변이

교미여부, 우화 후 경과 일수, 계절, 하루 중 시간대별 페로몬 분비량 조사에 사용된 수컷의 페로몬 추출 전의 체중과 페로몬 분비량과의 상관관계를 조사하였다. 이 분석에 사용된 수컷의 수는 55마리이었다.

통계분석

교미여부에 따른 집합페로몬 분비량은 *t*-test를 이용하여 분석하였고, 우화 후 경과일수별, 계절별, 하루 중 시간대별 페로몬 분비변이는 Tukey's studentized range test (HSD) ($\alpha=0.05$) (SAS Institute Inc. 1998)를 이용하여 각 평균 간 유의성을 검정하였다.

결 과

집합페로몬의 분비변이

교미 여부별 집합페로몬 분비변이

툽다리개미허리노린재 수컷 성충의 집합페로몬 분비량은 E2HZ3H, E2HE2H, TI의 세 성분 모두 교미 여부에 따른 차이는 없었다(Table 1).

우화 후 경과 일수별 집합페로몬 분비변이

Fig. 1은 툽다리개미허리노린재의 우화 후 경과 일수별 집합페로몬 분비량을 나타낸 것이다. E2HZ3H와 TI는

Table 1. Amount of pheromone components ($\mu\text{g}/\text{bug}\pm\text{SE}$) extracted from mated and un-mated males of *R. clavatus*

Mating	E2HZ3H**	E2HE2H	TI
Mated	5.664±1.984 a*	5.361±2.022 a	3.072±0.476 a
Un-mated	6.979±1.833 a	7.258±2.814 a	2.822±0.324 a

* Means indicated with the same letter in the same column do not significantly different (*t*-test, $\alpha=0.05$).

** E2HZ3H: (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate; E2HE2H: (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate; TI: tetradecyl isobutyrate.

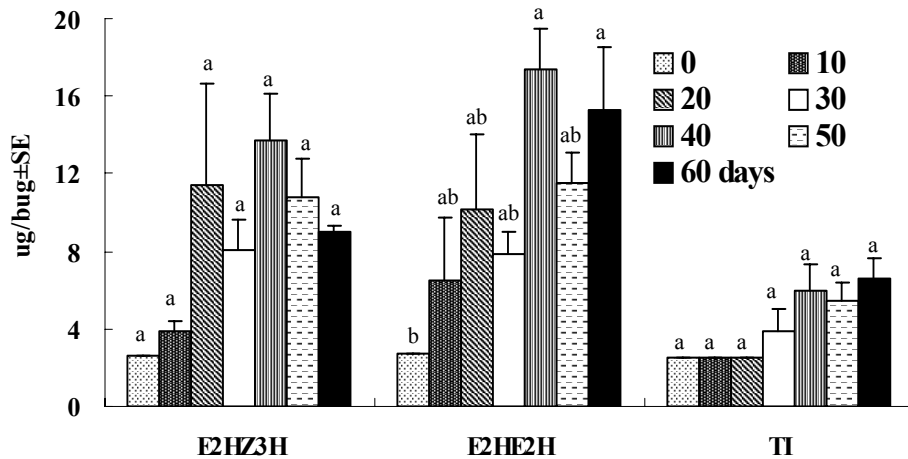


Fig. 1. Difference in the secretion amount of aggregation pheromone components of *R. clavatus* by adult age (days after adult emergence). Means indicated with the same letter in the same component do not significantly different (Tukey's HSD test, $\alpha=0.05$).

우화 후 일수에 따른 분비량 간에 통계적 차이는 없었으며, E2HE2H는 우화당일보다 우화일수가 경과할수록 분비량이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 우화당일 수컷의 E2HZ3H와 E2HE2H 및 TI의 검출량이 각각 2.6 μg , 2.7 μg , 2.5 μg 이었으나 우화 60일 경과 후 E2HZ3H와 E2HE2H 및 TI의 검출량이 각각 9.0 μg , 15.3 μg , 6.6 μg 으로 대체적으로 성충의 우화일수가 경과할수록 분비량이 증가하는 경향이였다.

계절별 집합페로몬 분비양상

4월에 채집한 톱다리개미허리노린재에서 추출한 E2HZ3H, E2HE2H 및 TI의 양은 각각 3.4 μg , 9.5 μg , 1.8 μg 이었으며 9월에 채집하였을 경우에는 각각 13.9 μg , 20.4 μg , 5.7 μg 으로 증가하였다. 10월에는 E2HZ3H와 E2HE2H

의 검출량이 각각 1.0 μg , 1.7 μg 으로 급격히 감소하였으며, 특히 TI는 4.2 μg 으로 여전히 많은 양이 검출되었지만 11월 이후에는 세 성분 모두 검출되지 않았다(Fig. 2).

하루 중 시간대별 집합페로몬 분비양상

하루 동안 시간대별 톱다리개미허리노린재 집합페로몬의 분비량은 Fig. 3과 같다. 이 실험에서 암기간은 21:00시부터 05:00시까지이었다. 전체적으로 보아 명기와 암기간에 페로몬 분비량의 차이는 없었다. 시간대별로 보았을 때, E2HZ3H는 시간에 따른 분비량의 차이는 없었으며, E2HE2H와 TI도 검출량이 가장 낮은 시간대와 가장 많은 시간대를 제외하면 대체적으로 추출 시간에 따른 분비량 간에 통계적 차이는 없었다.

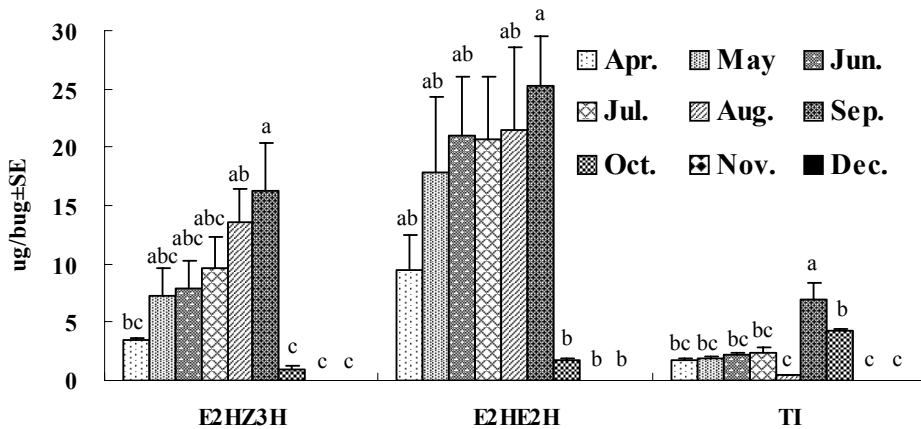


Fig. 2. Seasonal variation in the secretion amount of aggregation pheromone components of *R. clavatus*. Means indicated with the same letter in the same component do not significantly different (Tukey's HSD test, $\alpha=0.05$).

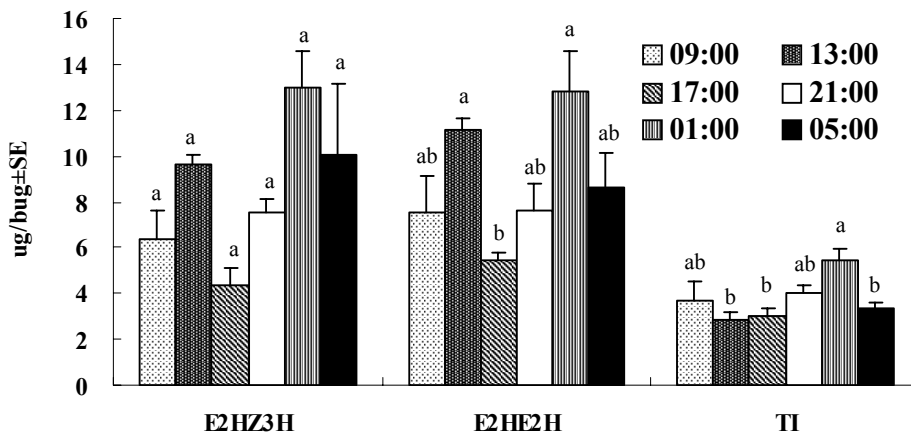


Fig. 3. Differences in the secretion amount of aggregation pheromone components of *R. clavatus* by the time in a day in laboratory (Scotophase: 21:00-05:00). Means indicated with the same letter in the same component do not significantly different (Tukey's HSD test, $\alpha=0.05$).

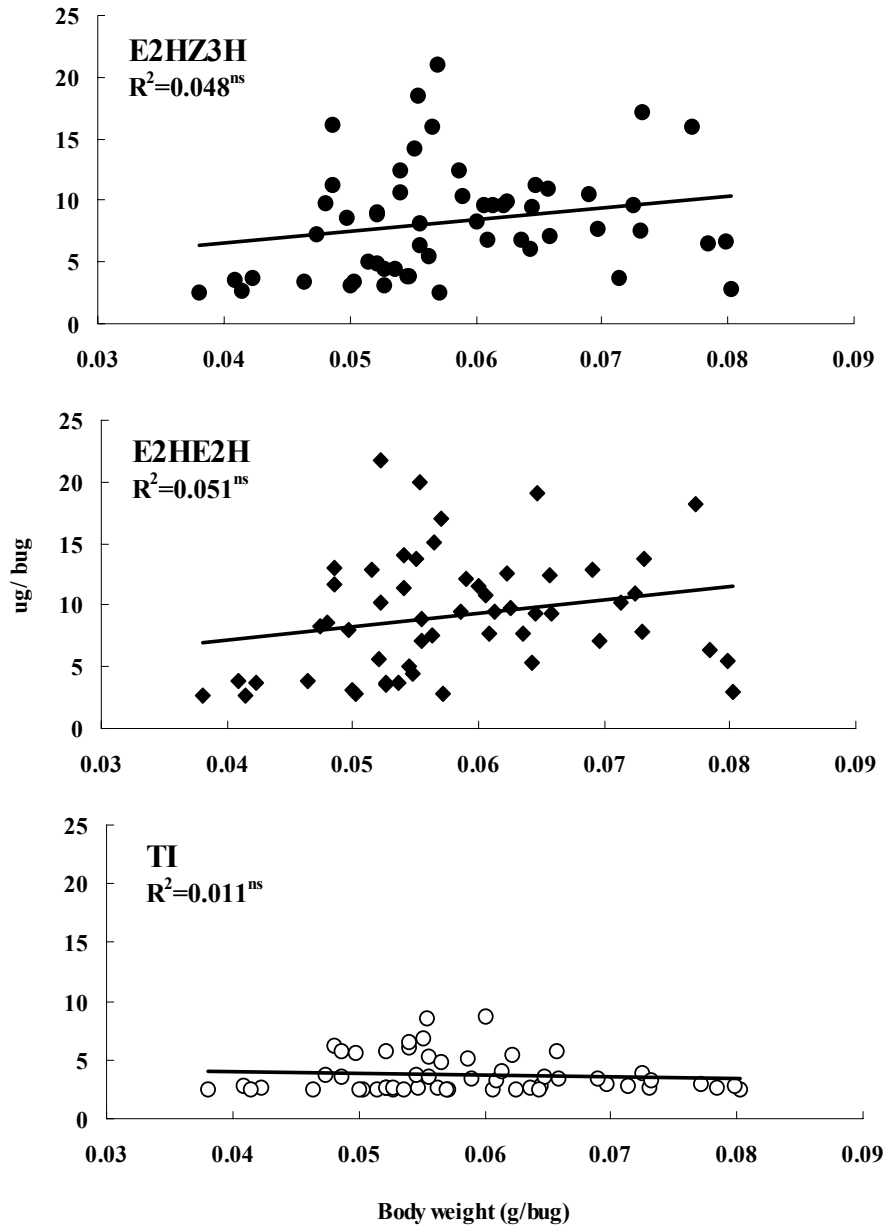


Fig. 4. The relationships between secretion amount of aggregation pheromone of *R. clavatus* and body weight (n=55).

체중과 집합페로몬 분비량과의 상관관계

상기의 모든 실험에서 집합페로몬 분비량 분석에 사용한 수컷의 체중과 페로몬 분비량과의 관계를 보면(Fig. 4), 세 성분의 결정계수(R^2)가 각각 0.048^{ns} , 0.051^{ns} , 0.011^{ns} 로서 체중과 집합페로몬 분비량과의 간에는 상관관계가 없었다.

고 찰

톱다리개미허리노린재의 수컷 성충은 집합페로몬을 분비하여 동종의 암수 성충과 약충을 유인한다(Mizutani *et al.*, 1997; Masuta *et al.*, 2001; Huh and Park, 2006). 이 페로몬은 (*E*)-2-hexenyl (*Z*)-3-hexenoate (E2HZ3H), (*E*)-2-hexenyl (*E*)-2-hexenoate (E2HE2H) 및 tetradecyl isobutyrate (TI)의 세 성분으로 구성되어 있는데(Leal *et al.*, 1995), 최근에 octadecyl isobutyrate가 새로운 구성성

분으로 보고되었고(Yasuda *et al.*, 2007a), 경보페로몬으로 알려져 있는 (E)-2-hexenyl hexanoate도 집합페로몬 유인력의 주성분인 TI의 유인력을 상승시키는 효과가 있다고 하였다(Yasuda *et al.*, 2007b)

톱다리개미허리노린재와 같은 호리허리노린재과(Alydidae) 중에서는 호리허리노린재(*Leptocoris chinensis* (Dallas))의 암수 성충과(Leal *et al.*, 1996) *Alydus eurinus* (Say)의 암컷 성충(Aldrich *et al.*, 2000)에서 유인 페로몬이 동정되어 있고, 그 외에 노린재과(Pentatomidae)의 갈색날개노린재(*Plautia stali* Scott) (Sugie *et al.*, 1996), 남쪽폴색노린재(*Nezara viridula* (Linné)) (Harris and Todd, 1980) 및 *Biprorulus bibax* (James *et al.*, 1996) 등에서 집합페로몬이, 가로줄노린재(*Piezodorus hybneri* (Gmelin)) (Leal *et al.*, 1998) 수컷에서 성페로몬이 알려져 있다.

페로몬의 분비는 곤충의 생리적 상태(Delisle and Royer, 1994; Delisle and Vincent, 2002; El-Sayed and Trimble, 2002)나 계절적 차이(Birch, 1974; Karg and Sauer, 1997)에 따라 분비량과 그 구성성분의 비율에 차이가 있을 수 있다. 본 실험의 결과 톱다리개미허리노린재 수컷의 집합페로몬 분비는 교미여부, 하루 중 시간 및 체중에 따른 변이는 없었다. 그러나 수컷의 우화 후 경과 일수가 지날수록 집합페로몬 분비량이 증가하는 경향을 보였다. 페로몬 분비량이 교미여부와 관계없다는 것은 Yasuda *et al.* (2007b)의 견해와 같이 이 페로몬이 性的 통신(sexual communication)보다는 먹이용 전략으로 이용되고 있다는 것을 의미한다고 생각된다. 한편 같은 체중에서도 페로몬 분비량에 차이가 큰 경우가 있는데 이러한 원인은 각 개체의 생리 상태나 먹이 섭취여부 또는 페로몬 추출 시간과 분비 시간의 차이 등을 들 수 있을 것으로 생각된다. 톱다리개미허리노린재 수컷은 먹이가 있을 때만 집합페로몬을 분비하고(Leal *et al.* 1995), 그 페로몬은 동종의 암수 성충과 약충의 먹이탐색행동과 관계가 있다(Yasuda *et al.*, 2007b). 또한 톱다리개미허리노린재의 유인용 수컷(live bait males)에 유인된 대부분의 수컷은 휴면충이건 비휴면충이건 위 내에 음식물이 거의 없었으며 TI가 검출되지 않았다(Mizutani *et al.*, 2008). 본 실험에서는 페로몬을 추출한 수컷 성충에게 충분한 먹이를 제공하였기 때문에 우화 후 경과일 수가 많을수록 페로몬 양이 많아지는 것이 먹이의 과부족 때문이 아니라고 생각된다. 톱다리개미허리노린재 수컷은 28°C에서 60.3±31.8일을 생존하는데(Bae *et al.*, 2005), 어떤 이유로 연령이 높은 수컷이 페로몬을 더 많이 분비하는지에 대해서는 연구가 더 이루어져야 할 것으로 생각된다.

노린재류는 아니지만 북아메리카 지역에서 사과 잎말이나방의 일종인 *Choristoneura rosaceana* Harris의 성페로몬 성분은 (Z)-11-tetradecenyl acetate로서 페로몬의 양과 체중은 관계가 없다고 하였으며(Delisle and Vincent, 2002), *Argyotaenia velutinana* (Walker) (나비목: 잎말이나방과)의 성페로몬 구성과 체중 간에도 관계가 없다고 하였다(Miller and Roelofs, 1980). 그러나 *C. rosaceana*의 성페로몬 분비량은 하루 중 시간과 성충의 나이에 따라 다르고, 개체군 내에서의 페로몬 구성과 하루 중 시간 또는 나이와의 관계에 따라 지역간 페로몬 구성의 변이가 나타난다고 하였다(Delisle and Royer, 1994; El-Sayed and Trimble, 2002). 나비목 곤충의 성페로몬은 노린재류의 집합페로몬과는 달리 性的 통신 및 생식활동과 관계가 있으므로 하루 중 교미시간대나 성충의 나이에 따른 생식능력의 차이에 따라 페로몬 분비량이 다를 것으로 판단된다.

톱다리개미허리노린재 수컷의 페로몬 성분 중에서 E2HZ3H와 E2HE2H는 4월과 10월에는 검출량이 급격히 감소하였고, 11월과 12월에는 E2HZ3H, E2HE2H 및 TI 성분 모두 전혀 검출되지 않았다. 톱다리개미허리노린재는 단일조건에서는 교미행동을 나타내지 않고 생식휴면을 하는데(Nakamura and Numata, 2000) 우리나라의 남부지방에서 10월 이후에 발생하는 제 3세대 성충은 난소 내에 난이 없는 상태로 휴면에 들어간다(Huh *et al.*, 2005). E2HE2H와 E2HZ3H는 대부분의 비휴면 수컷에서 검출되었으나, 휴면 중의 수컷에서는 대부분 검출되지 않았다(Mizutani *et al.*, 2008). 또한 Wada *et al.* (1997)은 톱다리개미허리노린재의 페로몬 분비는 일장과 관련이 없고 온도의 영향과 관련이 있을 것으로 추정하였다. 본 실험에서 10월 이후에 발생하는 수컷 성충에서 페로몬이 분비되지 않는 것은, 저온 단일조건에 의해서 성충이 휴면에 들어가게 되고, 휴면하는 성충은 먹이를 섭취할 필요가 없기 때문에 페로몬을 분비하지 않는 것으로 추정된다. 앞으로 이 노린재의 휴면과 먹이 섭취, 온도와 페로몬 분비와의 관계를 더 연구해야 할 것으로 생각된다.

Literature Cited

- Aldrich, J.R., A. Zhang and J.E. Oliver. 2000. Attractant pheromone and allomone from the metathoracic scent gland of a broad-headed bug (Hemiptera: Alydidae). *Can. Entomol.* 132: 915-923.
- Bae, S.D., H.J. Kim, C.G. Park, G.H. Lee, and S.T. Park. 2005. The developmental and oviposition of bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Hemiptera: Alydidae) at temperature conditions. *Kor.*

- J. Appl. Entomol. 44: 325-330.
- Birch, M.C. 1974. Seasonal variation in pheromone-associated behavior and physiology of *Ips pini*. Ann. Entomol. Soc. Am. 67: 58-60.
- Delisle, J. and L. Royer. 1994. Changes in pheromone titer of obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana*, virgin females as a function of time of day, age, and temperature. J. Chem. Ecol. 20: 45-69.
- Delisle, J. and C. Vincent. 2002. Modified pheromone communication associated with insecticidal resistance in the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). Chemoecol. 22: 47-51.
- El-Sayed, A.M. and R.M. Trimble. 2002. Pheromone content of azinphosmethyl-susceptible and -resistant obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) as a function of time of day and female age. Can. Entomol. 134: 331-341.
- Harris, V.E. and J.W. Todd. 1980. Male-mediated aggregation of male, female and 5th-instar southern green stink bugs and concomitant attraction of a tachinid parasite, *Trichopoda pennipes*. Entomol. Exp. Appl. 27: 117-126.
- Huh, H.S., W. Huh, S.D. Bae and C.G. Park. 2005. Seasonal occurrence and ovarian development of bean bug, *Riptortus clavatus*. Korean J. Appl. Entomol. 44: 199-205.
- Huh H.S., J.E., Yun, T. Wada, N. Mizutani and C.G. Park. 2008. Composition of the aggregation pheromone components of Korean bean bug and attractiveness of different blends. Kor. J. Appl. Entomol. 47: 141-147.
- Huh, W. and C.G. Park. 2005. Seasonal occurrence and attraction of egg parasitoid of bugs, *Ooencyrtus nezarae*, to aggregation pheromone of bean bug, *Riptortus clavatus*. Kor. J. Appl. Entomol. 44: 131-137.
- Huh, W. and C.G. Park. 2006. Increased attractiveness of the aggregation pheromone trap of bean bug, *Riptortus clavatus*. Kor. J. Appl. Entomol. 4: 87-90.
- James, D.G., R. Heffer and M. Amaike. 1996. Field attraction of *Biprorulus bibax* Breddin (Hemiptera: Pentatomidae) to synthetic aggregation pheromone and (*E*)-2-hexenal, a pentatomid defense chemical. J. Chem. Ecol. 22: 1697-1708.
- Karg, G. and A.E. Sauer. 1997. Seasonal variation of pheromone concentration in mating disruption trials against European grape vine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) measured by EAG. J. Chem. Ecol. 23: 487-501.
- 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.
- Leal, W.S., Y. Ueda and M. Ono. 1996. Attractant pheromone for male rice bug, *Leptocorisa chinensis*: semiochemicals produced by both male and female. J. Chem. Ecol. 22: 1429-1437.
- Leal, W.S., S. Kuwahara, X. Shi, H. Higuchi, C.E.B. Marino, M. Ono and J. Meinwald. 1998. Male-released sex pheromone of the sink bug *Piezodorus hybneri*. J. Chem. Ecol. 24: 1817-1829.
- Lee, G.H., C.H. Paik, M.Y. Choi, Y.J. Oh, D.H. Kim and S.Y. Na. 2004. Seasonal occurrence, soybean damages and control efficacy of bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Hemiptera: Alydidae) at soybean field in Honam province. Kor. J. Appl. Entomol. 43: 249-255.
- Masuta, S., N. Mizutani and T. Wada. 2001. Difference in response of *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae) and its egg parasitoid *Ooencyrtus nezarae* Ishii (Hymenoptera: Encyrtidae) to the synthetic aggregation pheromone of *R. clavatus*. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 45: 215-218.
- Miller, J.R. and W.L. Roelofs. 1980. Individual variation in sex pheromone component ratios in two populations of the redbanded leafroller moth, *Argyrotaenia velutinana*. Environ. Entomol. 9: 359-363.
- 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.
- Mizutani, N., S. Mori and K. Honda. 2002. Difference between seasonal abundance of the bean bug, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae) in a soybean field and seasonal prevalence of the number of bean bugs caught by synthetic pheromone traps. Ann. Rep. Kanto-Tosan Pl. Proc. Soc. 49: 105-107.
- Mizutani, N., T. Yasuda, T. Yamaguchi and S. Moryia. 2008. Pheromone contents and physiological conditions of adult bean bugs, *Riptortus pedestris* (Heteroptera: Alydidae), attracted to conspecific males during non-diapause and diapause periods in fields. Appl. Entomol. Zool. 43: 331-339.
- Nakamura, K. and H. Numata. 2000. Photoperiodic control of the intensity of and diapause development in the bean bug, *Riptortus clavatus* (Heteroptera: Alydidae). European J. Entomol. 97: 19-23.
- SAS Institute Inc. 1998. SAS/STAT. version 6.12. SAS Institute, Cary. NC. 999 USA.
- Sugie, H., M. Yoshida, K. Kawaski, H. Noguchi, S. Moriya, K. Takagi, H. Fukuda, A. Fujile, M. Yamanaka, Y. Ohira, T. Tsutsumi, K. Tsuda, K. Fukumoto, M. Yamashita and H. Suzuki. 1996. Identification of the aggregation pheromone of the brown-winged green bug, *Plautia stali* Scott (Heteroptera: Pentatomidae). Appl. Entomol. Zool. 31: 427-431.
- Wada, T., N. Mizutani and H. Higuchi. 1997. Aggregation pheromone of the bean bug, *Riptortus clavatus* Thunberg (Heteroptera: Coreidae): Mating behavior and pheromone release in male adults. Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu 43: 82-85.
- Yasuda, T., N. Mizutani, N. Endo, T. Fukuda, T. Matsuyama, K. Ito, S. Moryia and R. Sasaki. 2007a. A new component of attractive aggregation pheromone in the bean bug, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae). Appl. Entomol. Zool. 42: 1-7.
- Yasuda, T., N. Mizutani, Y. Honda, N. Endo, T. Yanaguchi, S. Moryia, T. Fukuda and R. Sasaki. 2007b. A supplemental component of aggregation attractant pheromone in the bean bug *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae), related to food exploitation. Appl. Entomol. Zool. 42: 161-166.

(Received for publication November 3 2008;
revised December 16 2008; accepted December 19 2008)