

# 열대거세미나방 성페로몬 성분에 대한 수컷의 촉각 반응

조점래\* · 김정환 · 서보윤 · 서미자 · 이관석

농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

## Electroantennogram Responses of *Spodoptera frugiperda* Males (Lepidoptera: Noctuidae) to Sex Pheromone Compounds

Jum Rae Cho\*, Jeong Hwan Kim, Bo Yoon Seo, Meeja Seo and Gwan Seok Lee

Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea

**ABSTRACT:** This study was conducted to investigate the EAG (electroantennogram) response of *Spodoptera frugiperda* male to sex pheromone compounds and whether or not *S. frugiperda* male adults would undergo double mating. The EAG response of *S. frugiperda* male adult to Z9-14:Ac increased in a dose-dependent as the dose increased. Among the 7 sex pheromone components investigated, male EAG recording was the highest to Z9-14:Ac. The EAG response of *S. frugiperda* male adult to the mixed sex pheromone component was greater than that to the single component. Male adults of *S. frugiperda* were capable of double mating under laboratory condition, and the secondary mating rate increased to 72.2% compared to the 58.3% of primary mating rate. The EAG response of mated *S. frugiperda* male adult was not different from that of unmated *S. frugiperda* male. In the net house test with sex pheromone lure, mated male adults were not captured during the test period. Also, strangely, unmated male adults were not captured even in a trap equipped with virgin female adults, although the antennae of mated male adult were responded to the sex pheromone component in the laboratory. Probably, it is thought that the mated male adults may not have been caught in the trap be due to flight ability which has been decreased after mating. The field attractiveness of *S. frugiperda* male adults to sex pheromones remains to be further elucidated.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*, Sex pheromone, Electroantennogram, Mating

**조 록:** 본 연구는 성페로몬에 대한 열대거세미나방 수컷 성충의 촉각 반응 및 중복 교미 여부를 확인하기 위해 수행하였다. 성페로몬 성분인 Z9-14:Ac에 대한 열대거세미나방 수컷 성충의 촉각 반응은 농도 의존적으로 농도가 증가할수록 크게 나타났다. 조사한 7성분 중 Z9-14:Ac 성분에 대한 촉각 반응이 가장 컸다. 성페로몬의 혼합 성분에 대한 촉각 반응이 단일 성분에 비해 컸다. 열대거세미나방 수컷 성충은 실험실 조건에서 중복교미가 가능하고, 첫 교미율이 58.3%인데 비해서 두 번째 교미율이 72.2%로 증가하였다. 교미한 수컷 성충의 촉각 반응과 교미하지 않은 수컷 성충의 촉각 반응의 차이가 없었다. 성페로몬 트랩에 교미하지 않은 수컷이 시험기간 중에 포획되지 않았다. 대조구인 교미하지 않은 암컷 성충을 장착한 트랩에서도 교미하지 않은 수컷 성충은 포획되지 않았다. 비록 실내에서 교미한 수컷 성충은 성페로몬 성분에 대해 교미하지 않은 수컷 성충처럼 촉각 반응을 보였다고 할지라도 실제 야외 망실 하우스에서 교미를 한번 한 수컷 성충은 비행 능력 등 활력의 문제로 트랩에 포획되지 않았을 가능성이 있다고 생각된다. 야외 노지에서 열대거세미나방 성페로몬에 대한 수컷 성충의 유인 정도는 추후 좀 더 많은 검토가 필요할 것으로 본다.

**검색어:** 열대거세미나방, 성페로몬, 촉각 반응, 교미

열대거세미나방[fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)]은 옥수수를 포함하여 여러 농작물에 심각한 피해를 주는 해충으로, 42과 186종의 식물을 가해할 정도로 기

주범위가 매우 넓은 해충으로 알려져 있다(Casmuz Augusto et al., 2010). 열대거세미나방은 아열대 및 열대성의 서반구 미주 대륙(Western Hemisphere, the Americas)이 원산지로 나비목(Lepidoptera) 밤나방과(Noctuidae) 흰무늬밤나방아과(Amphipyridae)에 속하는 해충으로 이동성(migratory)이 강하다(Sparks, 1979; Johnson, 1987).

\*Corresponding author: jrcho82@korea.kr

Received September 30 2021; Revised October 15 2021

Accepted October 22 2021

성충은 봄에서 가을까지 미국 텍사스와 플로리다에서 북쪽으로 캐나다 퀘벡과 온타리오까지 1,700 km를 이동하는 것으로 보고되었다(Mitchell et al., 1991; Westbrook et al., 2016). 2016년 서아프리카의 나이지리아에서 처음으로 열대거세미나방의 발생이 확인된 이후(Goergen et al., 2016), 사하라 이남지역 대부분의 아프리카 국가뿐만 아니라(Nagoshi et al., 2018) 2018년 5월에는 서아시아 지역인 인도에서 발생이 처음으로 확인되었고, 같은 해에 미얀마와 태국 등 동남아시아 국가에, 그리고 2019년에는 중국 등 동북아시아로 확산하였다(Li et al., 2019). 우리나라에는 2019년 제주에서 처음 발견되었고, 전북과 경남 등 여러 지역에서도 피해가 확인되었다(Lee et al., 2020).

일반적으로 나비목에 속하는 곤충들은 생식 활동을 위해 상대를 찾는데 후각이 중요한 감각 중의 하나이다. 열대거세미나방의 배우자를 찾는 행동은 성페로몬에 의해 조절된다. 열대거세미나방의 성페로몬은 (Z)-7-dodecenyl acetate (Z7-12:Ac), 11-dodecyl acetate (11-12:Ac), (Z)-9-tetradecenal (Z9-14:Al), (Z)-9-tetradecenyl acetate (Z9-14:Ac), (Z)-11-hexadecenal (Z11-16:Al), (Z)-11-hexadecenyl acetate (Z11-16:Ac), 및 dodecyl acetate (12:Ac)를 포함하고 있다고 보고하였다(Tumlinson et al., 1986). 그러나 야외에서는 Z7-12:Ac 및 Z9-14:Ac만이 수컷 성충을 유인하는데 필요하다고 보고하였다(Tumlinson et al., 1986). 그러면서 열대거세미나방에서 상대를 찾을 때 영향을 주는 수컷 성페로몬도 존재한다고 주장하였으나, 아직 밝혀지는 못하였다(McNeil and Gravel, 1998).

2019년부터 2020년까지 중국 운남 지역에서 이동하는 열대거세미나방을 포획하여 난소발육을 조사한 결과 50% 이상의 암컷 성충이 이미 교미를 하여 산란을 시작하였다고 보고하였다(Ge et al., 2021). 그러나 교미한 수컷 성충과 교미하지 않은 수컷 성충이 성페로몬에 대한 반응에 관한 연구는 거의 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 열대거세미나방 수컷이 중복으로 교미할 수 있을 것인지, 암컷이 분비한 성페로몬에 대해 교미한 수컷과 교미하지 않은 수컷의 촉각 반응에 차이가 있는지를 조사한 결과를 보고하였다.

## 재료 및 방법

### 시험곤충 및 성페로몬

시험곤충은 2019년 8월 완주군 소재의 국립농업과학원 육수수 시험포장에서 유충을 채집하여 사육실로 가져와 담배거세미나방 인공사료를 변형한 조성으로 누대 사육한 것으로 이용하였다. 사육실은 온도  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도 60% 및 광조건

16:8 (Light: Dark)으로 유지하였다.

열대거세미나방의 성페로몬 성분인 (Z)-7-dodecenyl acetate (Z7-12:Ac), (E)-7-dodecyl acetate (E7-12:Ac), (Z)-9-dodecenyl acetate (Z9-12:Ac), (Z)-9-tetradecenyl acetate (Z9-14:Ac), (Z)-11-tetradecenyl acetate (Z11-14:Ac), (Z)-11-hexadecenyl acetate (Z11-16:Ac) 및 tetradecyl acetate (14:Ac)는 순도 98% 이상으로 네덜란드 페로뱅크사에서 구매하였다.

### 촉각 반응 측정

촉각 반응은 probe/micromanipulator (MP-15), data acquisition interface box (serial IDAC-232) 및 stimulus air controller (CS-55) 등으로 구성된 Syntech EAG 2000 system (Hilversum, The Netherlands)으로 측정하였다. 촉각 반응은 열대거세미나방 수컷의 촉각을 포함한 머리 아래 목 부분을 잘라서 EAG probe (PRG-2) holder에 electrogel (Spectro 360, Parker Laboratory, New Jersey)을 이용하여 부착하고, stimulus air controller를 사용하여 연속적인 공기흐름(2 L/min)을 만들어 주면서 측정되었다. 각 페로몬 성분은 hexane으로 희석하여 만들었으며, 파스테르 피펫(길이 15 cm) 안에 있는 filter paper strip (0.5 × 2.5 cm, Whatman No. 1)에 묻혀서 Syntech EAG 2000 system에서 mV 단위로 측정하였다. 이러한 촉각 반응을 측정하는 일련의 과정은 Cho et al. (2013)이 보고한 것과 같은 방법을 사용하였다.

### 중복 교미 조사

번데기 상태에서 암수를 구별하여 각 다른 용기에 보관하고, 매일 우화한 암수 성충을 확인하여, 10% 설탕물을 넣어 둔 사육 용기(직경 10 cm, 높이 5 cm)에 암수 성충 각 한 마리를 넣었다. 매일 교미 여부를 확인하고 교미한 수컷은 분리하여 교미하지 않은 암컷과 함께 넣어 두어 이차 교미 여부를 조사하였다. 또한 산란 여부, 산란된 알의 부화도 조사하여 교미 여부를 재차 확인하였다. 날개의 색깔 및 무늬, 복부 모양 등으로 암수를 구별하였다. 시험 중 전체 50쌍 이상을 확보하여 일차 및 이차 교미율을 산출하였다.

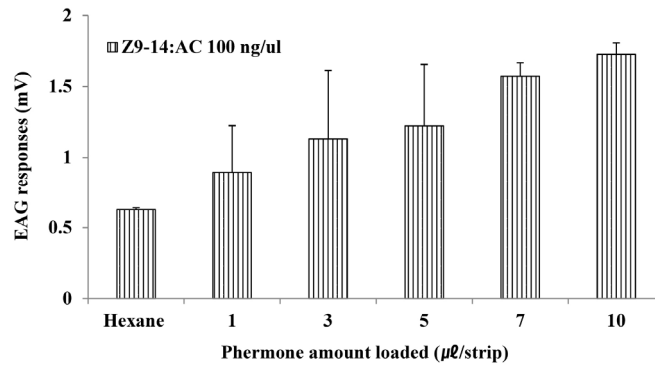
### 그물망 하우스 트랩 포획수 조사

열대거세미나방 성페로몬 트랩 효과 조사에 사용된 성페로몬 성분(비율)은 Z7-12:Ac (0.8): E7-12:Ac (1.2): Z9-14:Ac (82.8): Z11-16:Ac (12.9): 14Ac (1.5) 및 Z7-12:Ac (0.4): Z9-14:Ac (99.6)로 전체 1 mg이 되도록 하여 미끼를 만들었다. 대조구로 우화 1 ~

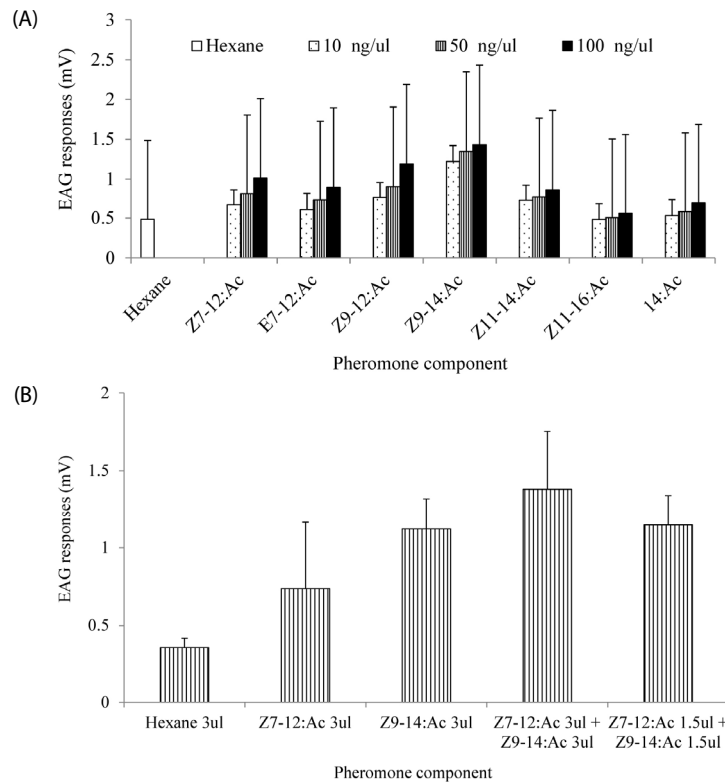
2일이 지난 교미하지 않은 암컷 성충을 자체 제작한 용기를 트랩에 장착하여 사용하였다. 그물망 하우스 3개를 준비하여 교미한 수컷 성충을 2020년 7월 23일에 11마리, 7월 28일에 10마리, 8월 4일에 12마리를 각 그물망 하우스에 방사하였다. 또한, 8월 7일에 교미하지 않은 수컷 5마리, 8월 18일에 4마리를 방사하였다. 무처리 트랩에는 교미하지 않은 암컷 성충을 7월 23일에 2마리, 7월 28일에 2마리, 7월 30일에 3마리를 넣어 두었다.

## 결과 및 고찰

성페로몬 성분인 Z9-14:Ac에 대한 열대거세미나방 수컷 성충의 촉각 반응은 농도 의존적으로 농도가 증가할수록 크게 나타났다(Fig. 1). 조사한 7성분(Z7-12:Ac, E7-12:Ac, Z9-12:Ac, Z9-14:Ac, Z11-14:Ac, Z11-16:Ac, 및 14:Ac) 중 Z9-14:Ac 성분에 대한 촉각 반응이 가장 컸다(Fig. 2A). 성페로몬의 혼합 성분



**Fig. 1.** Mean EAG amplitude responses of *Spodoptera frugiperda* male to different doses of sex pheromone compound, Z9-14:Ac. Data from each doses of sex pheromone component were combined (n = 5 EAG recordings at each dose). The experiment was replicated two times. The overlapped standard deviations are not statistically significant.



**Fig. 2.** Mean EAG amplitude responses of *Spodoptera frugiperda* male to different doses (A) and mixtures (B) of sex pheromone component. Data from each experiment were combined (n = 5 EAG recordings at each dose in (A) and n = 3 EAG recordings for each treatment in (B)). The each experiment was replicated three times. The overlapped standard deviations are not statistically significant.

(Z7-12:Ac 3  $\mu$ l + Z9-14:Ac 3  $\mu$ l)에 대한 촉각 반응이 단일 성분 (Z7-12:Ac, Z9-14:Ac)에 비해 촉각 반응이 컸으며, 동일 혼합 성분의 전체 함량을 높여도 촉각 반응은 커지지 않았다(Fig. 2B).

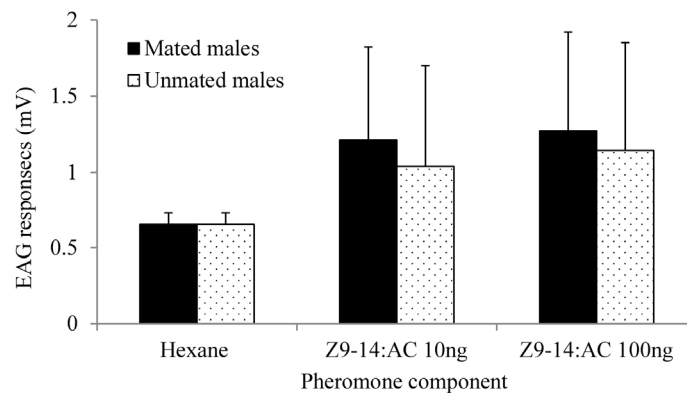
Sparks (1979)는 열대거세미나방의 섭식 및 교미행동은 야간에 일어나며, 암컷 성충은 하루 밤에 한번 교미하며, 수컷을 유인하기 위해 성페로몬을 이용해 일생 여러 차례 교미한다고 보고하였다. 그러나 수컷 성충이 중복으로 짝짓기를 하는지에 대한 보고는 없다. 본 연구에서는 열대거세미나방 수컷 성충은 실험실 조건에서 중복교미가 가능하고, 첫 교미율이 58.3%인데 비해서 두 번째 교미율이 72.2%로 증가하는 것을 조사하였다(Table 1). 교미한 수컷 성충의 촉각 반응과 교미하지 않은 수컷 성충의 촉각 반응을 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 열대거세미나방 수컷 성충의 촉각 반응은 교미 여부와 상관없이 거의 같은 크기의 반응을 보였다. 교미와 관련된 일련의 행동은 촉각이라는 화학적 감각기의 반응으로 보기 어렵다. 본 연구에서 촉각

반응은 열대거세미나방의 수컷 성충의 목 부분을 절단하여 probe에 electrogel (Spectro 360, Parker Laboratory, NJ, USA)로 부착하여 측정된 값이므로 뇌에서 판단한 행동의 결과로 본다면 열대거세미나방은 중복으로 교미할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 성페로몬 미끼 및 교미하지 않은 암컷 성충을 장착한 트랩으로 교미한 수컷의 유인 여부를 조사한 결과(Table 2), 교미한 수컷 성충이든 교미하지 않은 수컷 성충 모두 시험 기간 중에 포획되지 않았다. 또한, 특이하게도 교미하지 않은 암컷 성충을 장착한 트랩에서도 교미하지 않은 수컷 성충도 포획되지 않았다. 이러한 결과는 실내에서 성페로몬에 대해 교미한 수컷 성충의 촉각이든 교미하지 않은 성충의 촉각 모두 유사한 크기의 촉각 반응과 배치되는 결과로 보인다. 물론 실내에서 촉각 반응을 보였다고 해서 모두가 유인된다는 것은 아닐 수 있을 것이다. 비록 실내에서 성페로몬 성분에 대해 촉각 반응을 보였을

**Table 1.** Mating rate (%) of *Spodoptera frugiperda* male adult

No. pairs used	No. of mated pairs	1 <sup>st</sup> mating rate (%)	No. pairs used after 1 <sup>st</sup> mating	No. of 2 <sup>nd</sup> mated pairs	2 <sup>nd</sup> mating rate (%)
42	24	58.3 $\pm$ 14.4	21	15	72.2 $\pm$ 9.6



**Fig. 3.** Mean EAG amplitude responses of mated and unmated *Spodoptera frugiperda* males to sex pheromone compound. Data from each dose of sex pheromone component were combined (n = 5 EAG recordings for each mated or unmated male). Recordings were made from only one antenna with the head cutting off the neck carefully. The overlapped standard deviations are not statistically significant.

**Table 2.** Number of *Spodoptera frugiperda* males caught within a bucket trap baited with different compositions of synthetic sex pheromone in net house

Composition of sex pheromone component (ratio)	Total amount (mg)	No. of males caught	
		when releasing with unmated males	when releasing with mated males
Control (2 ~ 3 virgin live females)		0	0
Z7-12:Ac(0.8): E7-12:Ac(1.2): Z9-14:Ac(82.8): Z11-16:Ac(12.9): 14:Ac(1.5)	1	0	0
Z7-12:Ac(0.4): Z9-14:Ac(99.6)	1	0	0

지라도 교미를 한번 한 수컷 성충은 비행 능력 등 활력의 문제로 트랩에 포획되지 않았을 가능성도 있을 것으로 본다. 또한, 실내 사육 곤충이므로 야외에서 발생한 곤충보다 비행능력이 다소 떨어져 포획되는 곤충의 수가 많지 않을 수도 있을 것으로 생각된다. 더욱이 대조구인 교미하지 않은 암컷 성충 트랩에서도 포획된 개체가 없었다는 것은 과연 실내 곤충의 비행 능력의 문제인지 성페로몬에 대한 반응 정도가 약한 이유인지 추후 더 많은 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ015009) 예산으로 수행되었습니다.

## Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Applied Entomology online (<http://www.entomology2.or.kr>)

## 저자 직책 & 역할

- 조점래: 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구관; 자료 수집 및 분석, 논문 작성 및 수정  
 김정환: 농촌진흥청 국립농업과학원, 기술전문위원; 논문 검토 및 수정  
 서보윤: 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구사; 논문 검토 및 수정  
 서미자: 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구사; 논문 검토 및 수정  
 이관석: 농촌진흥청 국립농업과학원, 농업연구사; 논문 검토 및 수정

모든 저자는 원고를 수정·검토하고 투고에 동의하였음.

## Literature Cited

- Casmuz Augusto, J.M.L., Socías, M.G., Murúa, M.G., Prieto, S., Medina, S., 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Rev. Soc. Entomol. Argent. 69, 209-231.
- Cho, J.R., Choi, K.S., Park, H.H., Lee, S., Yum, K.H., Jung, J.K., Seo, B.Y., Lee, M.H., 2013. Electroantennogram and field responses of Korean population of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae), to sex attractant candidate. J. Asia-Pacific. Entomol. 16, 61-66.
- Ge, S., Sun, X., He, W., Wyckhuys, K.A.G., He, L., Zhao, S., Zhang, H., Wu, K., 2021. Potential trade-offs between reproduction and migratory flight in *Spodoptera frugiperda*. J. Insect Physiol. 132, 104248, doi: 10.1016/j.jinsphys.2021.104248.
- Goergen, G., Kumar, P.L., Sankung, S.B., Togola, A., Tamo, M., 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. PLoS ONE 11, e0165632. doi: 10.1371/journal.pone.0165632.
- Johnson, S.J., 1987. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the western hemisphere. Int. J. Tropical Insect Sci. 8, 543-549. doi: 10.1017/S1742758400022591.
- Lee, G.S., Seo, B.Y., Lee, J., Kim, H., Song, J.H., Lee, W., 2020. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae), a new migratory pest in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 59, 73-78.
- Li, X.J., Wu, M.F., Ma, J., Gao, B.Y., Wu, Q.L., Chen, A.D., Liu, J., Jiang, Y.Y., Zhai, B.P., Early, R., Chapman, J.W., Hu, G., 2019. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. Pest Manag. Sci. 76, 454-463.
- McNeil, J.N., Gravel, J.P., 1998. Evidence of a male pheromone in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, and its role in mate choice. 15th Annual Meeting of the International Society of Chemical Ecology, 24-28 June 1998, Ithaca, NY.
- Mitchell, E.R., McNeil, J.N., Westbrook, J.K., Silvain, J.F., Lalanne-Cassou, B., Chalfant, R.B., Pair, S.D., Waddill, V.H., Sotomayor-Rios, A., Proshold, F.I., 1991. Seasonal periodicity of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the Caribbean Basin and northward to Canada. J. Entomol. Sci. 26, 39-50.
- Nagoshi, R.N., Goergen, G., Tounou, K.A., Agboka, K., Koffi, D., Meagher, R.L., 2018. Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern Sub-Saharan Africa. Sci. Rep. 8, 3710
- Sparks, A.N., 1979. A review of the biology of the fall armyworm. Florida Entomol. 62, 82-86.
- Tumlinson, J.H., Mitchell, E.R., Teal, P.E.A., Heath, R.R., Mengelkoch, L.J., 1986. Sex pheromone of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: identification of components critical to attraction in the field. J. Chem. Ecol. 12, 1909-1926.
- Westbrook, J.K., Nagoshi, R.N., Meagher, R.L., Fleischer, S.J., Jairam, S., 2016. Modelling seasonal migration of fall armyworm moths. Int. J. Biometeorol. 60, 255-267.