

바이오에너지작물 거대억새 가해 해충 이화명나방 유충 월동양상

안기홍 · 양정우 · 장윤희 · 엄경란 · 김 석 · 차영록 · 윤영미 · 문윤호 · 안종웅 · 유경단[†]

농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터

Overwintering pattern of larvae of *Chilo suppressalis* Walker in the bioenergy crop *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1

Gi Hong An, Jungwoo Yang, Yun-Hui Jang, Kyoung Ran Um, Seok Kim, Young-Lok Cha, Young-Mi Yoon, Youn-Ho Moon, Joung Woong Ahn, and Gyeong-Dan Yu[†]

Bioenergy Crop Research Center, National Institute of Crop Science, RDA, 199 Muan-ro, Cheonggye, Muan, 534-833, Korea

ABSTRACT The rice stem borer (*Chilo suppressalis* Walker) was one of the most destructive pest of rice for the 1960s and 1970s in Korea. Recently, it is newly recognized as a potential risk factor to the biomass yield of bioenergy crops. The current research was firstly conducted to investigate overwintering larvae population density and pattern of rice stem borer attacking *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1 which is referred to as an ideal lignocellulosic bioenergy crop in Korea. Population density of larvae per 1 m² in stems and rhizomes at the *Miscanthus* experimental plots and rates of damage (wormhole, abscission) of *M. sacchariflorus* cv. Geodae 1 were investigated from October 2012 to March 2013. The population of larvae per 1 m² in stems of *Miscanthus* were 23, 4, 1, and 1 in October, November, December 2012, and January 2013, respectively. Over the same period, the population of larvae in basal stem rots and rhizomes were increased, whereas decreased in stems. Interestingly, the positions of larvae for overwintering in *Miscanthus* were confirmed to 5~10 cm below the soil surface such as basal stem rot and rhizome, whereas the most common overwintering position known in rice is a part of stem on the ground such as rice straw and rice stubble. It would suggest that the larvae gradually moved to bottom of stems and rhizomes in soil in line with decline in temperature. Moreover, the damage rates of stems per 1 m² were up to more than 50% in some places. In conclusion, this might be the first report that rice stem borer could affect the productivity of biomass of *Miscanthus* in case of mass cultivation. Moreover, it should be necessary to make a decision in insect control management for this bioenergy feedstock and other related crops.

Keywords : Bioenergy crop, *Chilo suppressalis*, *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1, Overwintering larval density

이화명나방(*Chilo suppressalis* Walker, Rice stem borer)은 유충이 벼를 중심으로 피, 갈대, 줄풀 등 벼과 식물을 가해하는 해충으로서 우리나라뿐만 아니라 동남아시아, 중국, 일본, 및 인도까지 광범위하게 분포하는 대표적인 해충 중의 하나이다. 이화명나방은 일반적으로 추운 북부지방을 제외한 우리나라 대부분의 지방에서는 연 2회 발생하며, 5월경에 1세대 성충이 우화하고, 2세대는 7월경에 우화한다. 그 이후 유충은 벼짚이나 벼 그루터기에서 월동한다고 알려져 있다(Atapour & Moharramipour, 2009; Lee & Park, 1991). 특히 우리나라에서는 1960년대 후반까지 전국적으로 논에서 매년 대발생하여 그 피해가 심각하였다. 그러나 1970년대 중반 이후 벼의 조기 이앙, 조기 수확, 다비·밀식, 집중약 제방제 및 기계수확 등의 요인으로 인하여 이화명나방 유충의 발육부진 등의 결과로 이어졌고 유충의 월동율이 낮아지거나 사망률이 높아져 발생량이 격감하였고, 그 이후 국내 방제 대상해충에서 제외되었다(Lee & Park, 1991; Lee 1999). 억새(*Miscanthus*)는 화본과에 속하는 C₄ 식물로서 한국, 중국, 일본 및 동남아시아에 분포하는 대표적인 섬유질계 바이오에너지작물 중의 하나이다(An *et al.*, 2013; Atkinson, 2009; Greef *et al.*, 1997; Jezowski, 2008; Koonin, 2006; Lewandowski *et al.*, 2000). 억새는 영년생 식물로서 생산

[†]Corresponding author: (Phone) +82-61-450-0138 (E-mail) gyeongdan@korea.kr
<Received 30 May, 2014; Revised 6 August, 2014; Accepted 18 August, 2014>

에 투입되는 에너지 대비 산출되는 에너지가 많으며 질소 이용효율이 높아 무비재배가 가능하며 저온, 건조 등의 열악환경 및 병해충에 대한 내성이 높다는 장점을 가지고 있다(Beale & Long, 1995; Lewandowski & Schmidit, 2006; Moon *et al.*, 2010). 최근 농촌진흥청에서 개발한 한국형 바이오에너지작물 ‘거대 1호’(*Miscanthus saccharilforus* cv. Geodae 1)는 물억새의 일종으로 생산량이 ha 당 최대 30톤이나 되어 유럽, 미국 등에서 바이오에탄올 생산용으로 재배하고 있는 3배체 억새(*M. × giganteus*)와 비교하여 뒤지지 않고 습지에서 생육이 양호하여, 바이오에너지 생산 산업 원료로 국내 토종 억새 유전자원을 이용할 수 있다는 기대감이 커지고 있다(Moon *et al.*, 2010).

최근 거대 1호(*M. saccharilforus* cv. Geodae 1)를 집단 재배하는 시험포장의 일부에서 억새 줄기를 가해하는 이화명나방 유충이 발견되었다. 국내외적으로 억새의 병충해에 대한 보고는 거의 없었으나 최근에 Kang *et al.* (2014)이 거대억새 대규모 재배 단지 내에 서식하는 곤충상을 조사한 결과, 노린재목 중 멸구류 등이 관찰되었다고 보고하고 있다. 또한 Jeffrey *et al.* (2010)에 의하면 바이오에너지작물인 3배체 억새(*M. × giganteus*)에서 매미목 진딧물과의 *Sipha flava* (Forbes)와 *Rhopalosiphum maidis* (Fitch)을 발견하였다고 보고하고 있으며 경제적 바이오에너지 작물의 생산성을 위하여 해충 관리에 대한 논의의 필요성을 시사하였다.

국내에서도 바이오에너지 원료생산을 위해 억새를 대규모로 재배할 가능성이 높아짐에 따라 억새의 생육 및 수량 감소에 영향을 미치는 잠재적 병충해 발생을 사전에 예방하며 효과적으로 억제할 수 있는 방법 개발이 절실하다. 본 연구는 억새 집단 재배지 내의 이화명나방 유충의 월동양상 및 밀도를 조사하여 억새 가해해충 이화명나방의 방제법에 대한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 억새에 기주하는 이화명나방의 발생형태 및 밀도를 분석하여 이화명나방의 방제 및 관리법 개발의 기초로 활용하기 위해 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터의 거대억새 생산력 검정을 위한 시험 포장에서 수행되었다. 시험포장에는 거대 1호, 억새 2호, 우람억새, 도입종(3배체)억새 및 일반 물억새의 5종류의 억새를 4년간 재배 중이며, 각 억새종별 시험포장의 면적은 10 × 10 m로 난괴법 3반복으로 구성되어 있다. 이 중에서 거대 1호를 대상으로 이화명나방 유충의 발생형태를 조사하였다.

본 연구를 위한 이화명나방 유충의 조사기간은 이화명나

방의 2화기 후 2012년 10월경부터 이듬해 2013년 3월경까지이며 월 1회 조사를 수행하였다. 조사방법으로는 매월 거대 1호 시험포장에서 1 × 1 m 내의 식물체 지상부(줄기)를 지상에서 최대한 근접하게 절단하여 수확하였고, 수확된 식물체 개체에 해당하는 지하부(뿌리)를 채취하였다. 수확된 지상부는 초장 및 줄기수 조사 등의 생육조사를 행하였으며 생육조사가 완료된 줄기는 종으로 쪼개어 이화명나방 유충의 발생여부(유/무)를 조사하였다. 또한 기온에 따른 이화명나방 유충의 이동형태를 알아보기 위하여 월별로 절단된 줄기 최하단 부분으로부터 유충이 출현된 위치까지의 높이를 측정하였다. 이와 동시에 각 조사지점에서 채취한 지하부도 종으로 쪼개어 이화명나방 유충의 밀도를 조사하였다.

거대억새를 가해하는 이화명나방에 의한 피해정도를 분석하기 위하여 억새의 생육시기인 2012년 11월경에 각 시험구내의 단위면적당(1 × 1 m) 거대억새 전체 마디수(경수)를 조사하였으며 이화명나방에 의해 줄기에 구멍이 뚫어져 있거나 부러진 마디를 피해를 입은 식물체로 판단하여 그 경수를 조사하였다.

결과 및 고찰

억새에 기주하는 이화명나방의 2화기 이후 유충의 월동양상을 분석하기 위하여 억새 식물체 지상부 및 지하부 내의 밀도를 조사한 2012년 10월부터 2013년 3월까지의 전남 무안군의 각 월별 평균기온을 살펴보면 2012년 10월은 14.6°C, 11월은 7.6°C, 12월은 0.4°C이었으며, 이듬해 2013년 1월의 월평균기온은 -0.5°C, 2월에는 1.2°C, 3월에는 5.4°C이었던 것으로 나타났다(Fig. 1).

2012년 6월부터 2013년 3월까지 기주식물인 거대 1호의 초장을 조사한 결과, 억새 생육초기인 6월에는 평균 223 cm

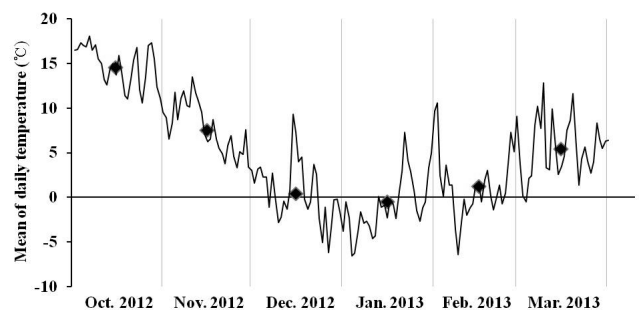


Fig. 1. Mean of Daily temperature from October 2012 to March 2013 in Bioenergy Crop Research Center, RDA located in Muan, Jellanamdo in Korea. Diamond marks indicate the mean of monthly temperature.

이었으며 7월에는 294.3 cm로 초장의 증가폭이 가장 컸다 (Fig. 2). 8월 이후부터 이듬해 3월까지의 초장의 증가폭은 크지 않은 것으로 나타났으며 평균 초장 300 cm 이상이었다.

거대역새에 기주하는 이화명나방 유충의 밀도를 조사한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 2012년 10월에 거대역새 지상부에서 출현한 이화명나방 유충의 수는 평균 23마리였으며 11월에는 4마리였고 12월과 이듬해 2013년 1월에는 각각 1마리씩 출현하였다. 하지만 그 이후 2월과 3월에는 거대역새 지상부에서 이화명나방 유충이 발견되지 않았다 (Fig. 3a). 유충이 발견된 줄기의 발생위치별 유충수를 월별

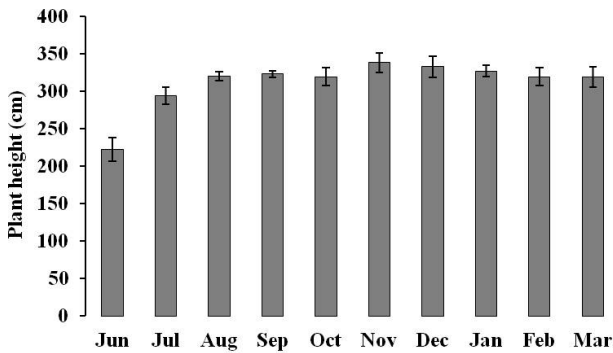


Fig. 2. Change of plant height of *Miscanthus sacchariflorus* Geodae 1 from June 2012 to March 2013.

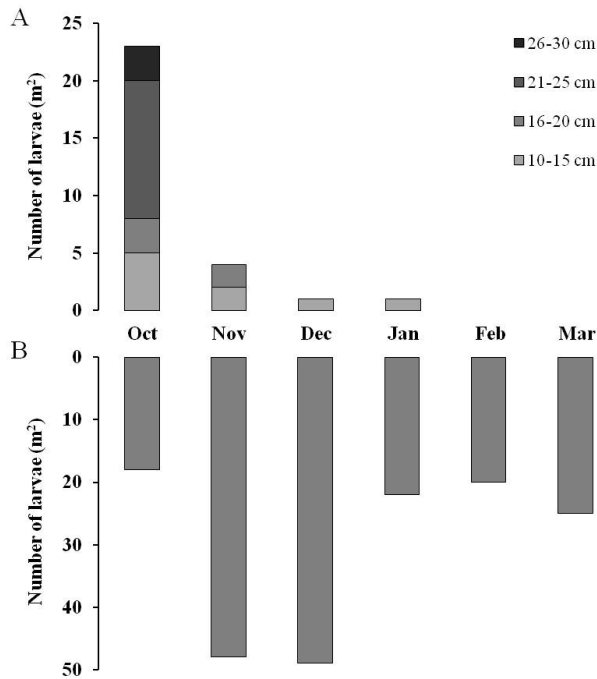


Fig. 3. Numbers of larvae of *Chilo suppressalis* observed on stems (A) and rhizomes (B) of *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1.

로 분석한 결과, 가장 많은 유충이 발견된 10월의 경우에는 수확한 거대역새 지상부의 최하단으로부터 21~25 cm부근에서 12마리가 발견되어 가장 높은 밀도를 나타내었으며 그 다음으로는 10~15 cm 부근에서 5마리, 16~20 cm와 26~30 cm 부근에서는 각각 3마리씩이 발견되었다. 11월경에는 10~15 cm부근과 16~20 cm 부근의 거대역새 줄기 하단부위에서 각각 2마리씩 발견되었다. 또한 12월경과 이듬해 2013년 1월경에 1마리씩 발견된 유충의 서식위치는 10~15 cm 부근인 것으로 나타났다.

더 나아가 10월부터 이듬해 3월까지 거대역새 지하부(뿌리)에 기주하는 이화명나방 유충의 출현밀도를 조사한 결과, 10월경에는 평균 약 18마리가 관찰되었으나 그 이후 11월과 12월에는 각각 48마리, 49마리가 관찰되며 가장 높은 밀도를 나타내고 있음을 알 수 있었다(Fig. 3b). 그리고 1월, 2월, 3월에는 약 20~25마리의 밀도를 유지하고 있었다. 이처럼 기온이 하강함에 따라 지상부의 이화명나방 유충의 밀도는 감소하고 그와 동시에 지하부(뿌리) 내의 유충수가 증가하는 결과로부터 이화명나방의 유충은 기온이 10°C 이하로 내려가는 11월 전후로 뿌리 가까운 줄기로 이동하거나 줄기 기부 및 지하부(뿌리)로 이동하여 월동을 하는 것으로 확인되었다.

거대역새 지하부의 유충조사를 행한 결과, 흥미롭게도 줄기 기부 뿐만 아니라 역새 뿌리(지하경) 내에도 유충이 다수 출현하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 4a의 경우는 줄기 기부 약 5 cm 아래에서 월동 중인 유충을 나타내고 있으며, Fig. 4b에서 보여지듯이 뿌리 내부에서도 월동 중인 유충을 발견할 수 있었다. 일반적으로 이화명나방 유충은 벼의 수확이 이루어진 후 그 대부분이 벼의 그루터기, 줄기 및 논 가장자리의 잡초로 이동하여 월동을 한다고 알려져 있다 (Atapour & Moharramipour, 2009; John *et al.*, 2014; Yu, 1980). 하지만 본 연구결과, 역새에 기주하는 이화명나방 유충의 월동장소는 줄기 기부 또는 지하경과 같이 지하부위라는 점이 현재까지 알려진 벼에서 기주하는 이화명나방의 유충과는 다른 월동형태를 보이는 것으로 최초 확인되었다.

역새류 중에서 거대역새 지하경의 가장 큰 특징 중의 하나는 다른 참역새 및 일반 물역새와 비교하여 지하경의 굵기가 2배 이상 굵으며 역새 전체 지하경의 약 90% 이상이 지하 30 cm 이내 범위에 분포한다고 알려져 있으며(An *et al.*, 2012; Mann *et al.*, 2013), 또한 지하경과 줄기의 단면을 보면 딱 차있지 않고 가운데에 공간이 존재한다(Fig. 5). Choi *et al.* (1979)에 의하면 이화명나방의 산란선호성은 기주식물 줄기 굵기 등의 형태적 특성과 유의한 상관관계가 있다고 보고한 바 있다. 이처럼 거대역새의 굵은 줄기 및 지

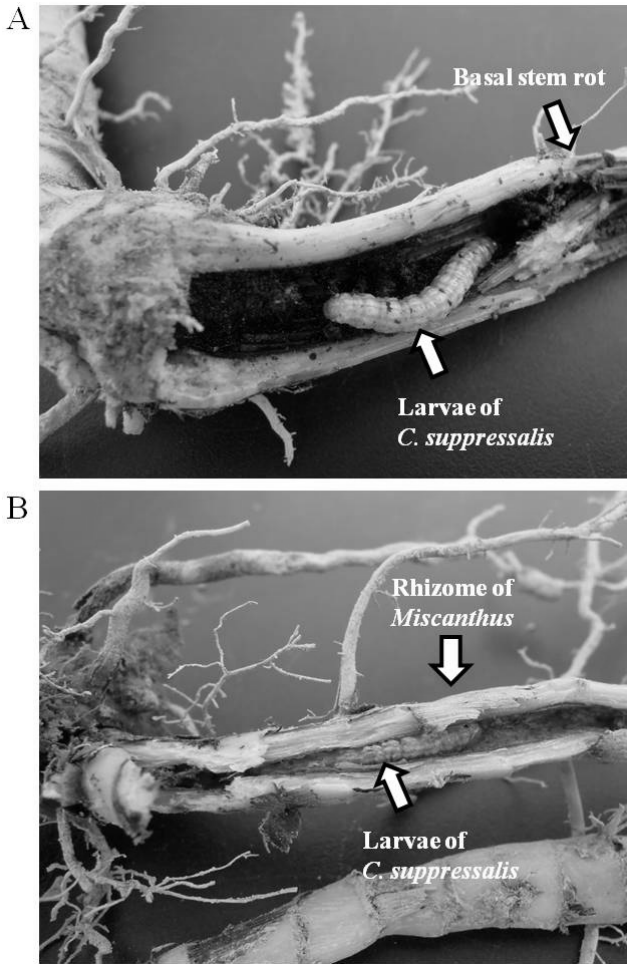


Fig. 4. Overwintering locations of *Chilo suppressalis* larvae on basal stem rot (A) and into the rhizome of *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1 (B).

하경의 특성은 이화명나방의 유충이 외부로부터 인위적인 방제의 행위를 피하는 동시에 월동하기에 최적의 장소이었음을 시사한다.

이화명나방 유충의 가해로 인한 거대역새의 피해정도를 조사하기 위하여 포장내 3개의 지점을 대상으로(A, B, C 지점) 1 x 1 m 내의 전체 경수를 조사하였으며 그 중 피해를 입은 줄기는 이화명나방에 의하여 구멍이 뚫린 줄기(wormhole)와 부러져 있는 줄기(abscission)로 나누어 조사하였다. 그 결과, A지점, B지점 및 C지점에서의 거대역새 전체 평균 줄기수는 각각 80.5, 83.5, 70.5개 이었다(Fig. 5). A지점에서의 전체 줄기 중 구멍이 뚫린 줄기 비율은 전체의 28.6%이었으며, 부러진 줄기수는 전체의 12.4%이었다. 이화명나방에 의한 피해율은 A, B지점에서 50% 이하로 피해가 경미한 상태였으나, C지점에서는 구멍이 뚫린 줄기비율이 전체의 46.8%로 높은 편이었으며, 부러진 줄기비율도 36.9%

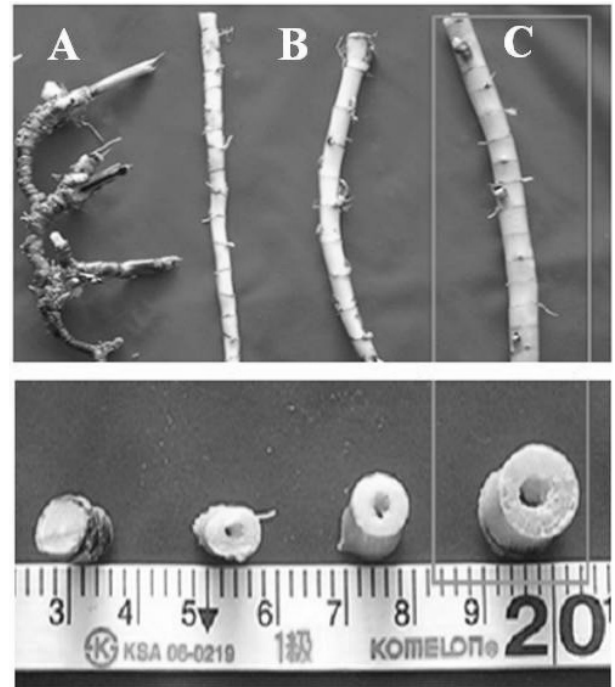


Fig. 5. Rhizomes of *Miscanthus* spp. (A, *Miscanthus sinensis*; B, common *Miscanthus sacchariflorus*; C, *M. sacchariflorus* cv. Geodae 1).

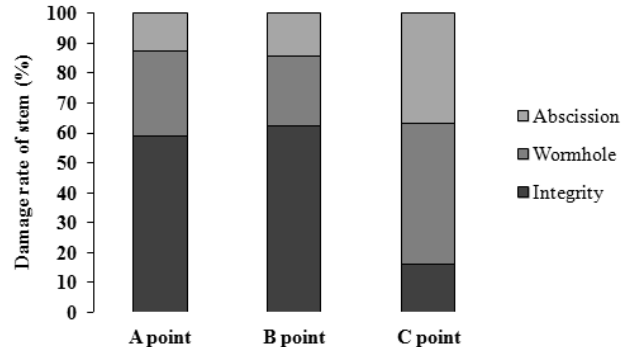


Fig. 6. Damage rates to stems of *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1 grown at three points by *Chilo suppressalis*.

로 나타나 이화명나방에 의한 피해줄기 비율이 83.7%인 것으로 조사되었다.

본 연구 결과, 1970년대 국내 대표적인 벼 가해 해충으로 잘 알려진 이화명나방이 섬유질계 바이오에너지작물인 역새를 대규모 식재 및 재배하였을 시 바이오매스 생산성에 악영향을 미칠 수 있는 잠재적 해충임을 알 수 있었다. 보다 심각하게 생각되는 부분은 바이오매스용 역새의 지상부 수확시기가 2~3월경인데 그 시기에 이화명나방 유충 대부분은 역새의 밀둥 줄기 및 지하경 내에서 월동하고 있다는 점을 볼 때 수확에 의한 유충 밀도감소 등의 재배적 방제방법

효과가 거의 없을 것으로 판단된다. 특히 벼에서 2화기 이후 벼짚 또는 벼그루티기에 기주하며 월동하는 양상과 전혀 다르게 역새밭에서의 월동위치가 지하 5~10 cm 이하인 역새 줄기기부와 지하경 내에까지 분포한다는 것을 감안할 때 지금까지 알려진 방제방법(불태우기, 화학적 방제)의 효과도 거의 없으리라 추측된다. 이러한 연구결과를 바탕으로 금후에는 역새밭에서의 새로운 방제방법(화학적, 재배적, 생물학적)에 대한 연구개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

적 요

본 연구는 바이오에너지 원료생산을 위해 대규모로 역새를 재배할 시에 역새의 생육 및 수량감소에 영향을 미치는 잠재적 유해요인을 사전에 대비하며 효과적으로 억제할 수 있는 방법 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다. 전남 무안의 역새 재배지에서 2012년 10월부터 이듬해 3월 까지 이화명나방 유충의 월동양상 및 밀도를 조사하기 위해 월별로 유충의 출현 위치, 가해 피해양상을 조사하였으며 주요 결과를 요약하면 다음과 같다. 섬유질계 바이오에너지 작물인 거대역새에 기주하는 이화명나방 유충밀도를 2화기 이후인 2012년 10월에서 2013년 3월까지 조사한 결과, 월 평균 기온이 내려갈수록 유충의 출현위치가 점차 지상부의 아래부위 또는 줄기기부로 이동하는 양상을 확인하였으며 월평균 기온이 10℃이하로 내려가는 11월 및 12월경에는 지하경(뿌리) 부위에서 가장 많은 이화명나방 유충 밀도를 나타내는 것으로 조사되었다. 역새밭에서 이화명나방 피해는 줄기 침입구멍 존재여부와 부러진 줄기로 판단하였는데 전체 줄기 중 구멍이 뚫린 줄기 비율이 28.6%이었으며, 부러진 줄기수는 전체의 12.4%이었으나 심한 곳은 구멍뚫린 줄기비율이 46.8%, 부러진 줄기비율도 36.9%로 나타났다. 역새밭에 기생하는 이화명나방 유충의 경우, 지하 5cm 이하의 줄기기부 심지어는 뿌리내부에서 월동을 한다는 것을 확인하였으며 이로 인해 일반적인 방제방법으로는 이화명나방 유충의 밀도를 감소시킬 수 없을 것으로 판단되어 지속적으로 역새밭 이화명나방 방제방법의 개발이 개발되어야 한다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다과제(과제번호: PJ0092422013)의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부임.

인용문헌(REFERENCES)

An, G. H., J. K. Kim, Y. H. Moon, Y. L. Cha, Y. M. Yoon, B. C. Koo, and K. G. Park. 2013. A new genotype of *Miscanthus sacchariflorus* Geodae-Uksae 1, identified by growth characteristics and a specific SCAR marker. *Bioprocess Biosyst. Eng.* 36 : 695-703.

An, G. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, Y. H. Moon, Y. L. Cha, S. T. Bark, J. K. Kim, Y. M. Yoon, K. G. Park, and J. T. Kim. 2012. The effects of solidified sewage sludge as a soil cover material for cultivation of bioenergy crops in reclaimed land. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 238-247.

Atapour, M. and S. Moharramipour. 2009. Changes of cold hardiness, supercooling capacity, and major cryoprotectants in overwintering larvae of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Entomol. Soc. Am.* 38(1) : 260-265.

Atkinson, C. J. 2009. Establishing perennial grass energy crops in the UK: A review of current propagation options for *Miscanthus* Biomass Bioenergy 33 : 752-759.

Beale, C. V. and S. P. Long. 1995. Can perennial C4 grasses attain high efficiencies of radiant energy conversion in cool climates? *Plant Cell Environ.* 18 : 641-650.

Choi, S. Y., H. R. Lee, J. O. Lee, and J. S. Park. 1976. Varietal differences in ovipositional preference of the striped rice borer moths (*Chilo suppressalis* W.). *Korean J. Pl. Prot.* 15(1) : 23-27.

Greef, J. M., M. Deuter, C. Jung, and J. Schondelmaier. 1997. Genetic diversity of European *Miscanthus* species revealed by AFLP fingerprinting. *Genet. Resour. Crop Ev.* 44 : 185-197.

Jeffrey, D. B., R. P. Jarrad, L. S. Kevin, and E. G. Michael. 2010. First report of field populations of two potential aphid pests of the bioenergy crop *Miscanthus × giganteus*. Agricultural Research Division of IANR, DigitalCommons @University of Nebraska-Lincoln. pp. 135-137.

Jezowski, J. 2008. Yield traits of six clones of *Miscanthus* in the first 3 years following planting in Poland. *Ind. Crop Prod.* 27 : 65-68.

John, S., B. Sebe, D. Vince, G. Stuart, G. Donald, H. Dustin, H. Clayton, L. Steve, O. Jim, S. Michael, W. Eric, and W. Larry. 2014. Rice varieties & management tips. www.lsuagcenter.com/en/crops_livestock/crops/rice/Publications/ pp. 13-14.

Kang K., S. G. Hong, K. J. Ji, J. Y. Choi, H. H. HyeMi, H. J. Kim, and S. J. Park. 2014. Monitoring biota in giant *Miscanthus* fields. *J. Korean Society Agri. Eng.* 56(1) : 89-99.

Koonin, S. E. 2006. Getting serious about biofuels? *Science* 311:435.

Lee C. S. and H. J. Park. 1991. Changes in the occurrence pattern of the striped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, in Korea. *Korean j. Appl. Entomol.* 30(4) : 249-257.

- Lee J. H. 1999. Development of insect population dynamics and forecast models: A case of *Chilo suppressalis* (Walker) occurrence in Suwon. Korean J. Appl. Entomol. 38(3) : 231-240.
- Lewandowski, I., J. C. Clifton-Brown, J. M. O. Scurlock, and W. Huisman. 2000. Miscanthus: European experience with a novel energy crop. Biomass Bioenerg. 19 : 209-227.
- Lewandowski, I. and U. Schmidt. 2006. Nitrogen, energy and land efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. Agri. Eco. Environ. 112 : 335-346.
- Mann, J. J., J. N. Barney, G. B. Kyser, and J. M. DiTomaso. 2013. Root system dynamics of *Miscanthus* × *giganteus* and *Panicum virgatum* in response to rainfed and irrigated conditions in California. Bioenerg. Res. 6 : 678-687.
- Moon, Y. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, S. H. Ahn, S. T. Bark, Y. L. Cha, G. H. An, J. K. Kim, and S. J. Suh. 2010. Development of "Miscanthus" the promising bioenergy crop. Kor. J. Weed Sci. 30(4) : 330-339.
- Yu. L. 1980. Rice improvement in China and other Asian countries: Studies on the control of the yellow rice stem borer. International Rice Research Institute and Chinese Academy of Agricultural Science. pp. 157-171.