

LM벼에 영향을 받는 비표적 생물체(곤충)에 대한 환경위해성 평가(ERA) 방법^{1a}

이훈복^{2,3*} · 김현정² · 나수미³

The Methodology for Environmental Risk Assessments of Non-target Organisms (Insects) on LM Rice^{1a}

Hoonbok Yi^{2,3*}, Hyun-jung Kim², Sumi Na³

요 약

본 논문은 생명공학기술을 통해 생산된 LM벼에 대한 비표적 생물체 중 곤충을 중심으로 한 환경위해성 평가방법을 제시하고자 작성하였다. 자료조사를 위해 농업 해충관련 도감 및 서적을 활용하였고 참고문헌과 환경위해성 평가 관련 홈페이지를 참조하였으며, 논문이나 벼와 관련된 서적들을 통해 국내 현황을 참조하였다. 조사결과, 벼에 서식하는 곤충은 약 140여종으로 조사되었고, 초식성 곤충 분류군은 각각 수액섭식자, 곡물섭식자, 잎섭식자, 화분섭식자로 세분화하였다. LM벼에 피해가능성이 큰 비표적 곤충은 12종, 중간인 비표적 곤충은 28종, 경미한 비표적 곤충은 101종으로 조사되었으며, 바이러스를 매개하는 종은 11종, 잠재적 해충으로 분류되는 종은 9종으로 나타났다. 위해가설 가설정립단계 모식도를 작성하기 위하여 LM벼에 악영향을 받기 쉬운 곤충의 지리적 분포, 서식지의 특수화, 확산정도, 종풍부도 등을 이용하여 순위를 매겼으며, 10종(벼충채벌레, 애멸구, 벼멸구, 멸강나방, 흑명나방, 우리가시허리노린재, 먹노린재, 벼멸구붙이, 벼메뚜기, 벼잎굴파리)을 추려내었다. 이후 위해가설 가설정립단계 모식도를 작성하였으며 LM벼의 비표적 생물에 대한 영향을 추론하였다. 본 논문은 국내 자연생태계의 지속가능한 이용 및 보존에 기여하고, LMO의 환경위해성 평가, 심사를 통해 사전위해성을 차단할 수 있는 방법을 제시하고자 작성되었으며, 결과적으로 국민의 건강 및 생물다양성유지, 자연 생태계 보전을 위한 사후 안전관리 체계구축에 활용될 연구 자료를 제공하고자 한다.

주요어: 섭식기능군, 생명 공학, 위해가설

ABSTRACT

This paper is to suggest the methods about the environmental risk assessment (ERA) based on non-target insect species for LM rice crop produced by biotechnology. We used some data by the picture dictionary of agricultural pests in Korea, some books for ERA or rice pest ecology, articles about rice ecology, and internet sites and many specialists gave us good advice for this ERA system. We found about 140 insect species using rice crop as their habitat and we discriminated herbivores into Sap feeder, Grain feeder, Defoliator, and Pollen feeder according to their food functional group. We also clarified the potential damage possibility of insect

1 접수 2016년 7월 16일, 수정 (1차: 2016년 8월 17일, 2차: 2016년 8월 24일), 게재확정 2016년 8월 25일

Received 16 July 2016; Revised (1st: 17 August 2016, 2nd: 24 August 2016); Accepted 25 August 2016

2 서울여자대학교 생물학과 Dept. of Biology, Seoul Women's Univ., 621 Hwarangro, Nowon-gu, Seoul 01797, Korea

3 서울여자대학교 화학·생명환경과학부 Dept. of Division of Chemistry· Life & Environmental Science, Seoul Women's Univ., 621 Hwarangro, Nowon-gu, Seoul 01797, Korea

a 이 논문은 서울여자대학교 교내학술연구비 지원 과제에 의하여 연구되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-2-970-5668, Fax: +82-2-970-5668, E-mail: yih@swu.ac.kr

species from LM rice crop. Then, we ranked 10 non-target insect species (*Baliothrips biformis*, *Laodelphax striatellus*, *Nilaparvata lugens*, *Mythimna separata*, *Cnaphalocrocis medinalis*, *Cletus schmidtii* Kiritshenko, *Scotinophara lurida*, *Nilaparvata bakeri*, *Oxya chinensis*, *Agromyza oryzae*) with giving some scores using Geographic distribution, Habitat specialization, Prevalence on crop, Abundance. We showed some environmental risk hypotheses about herbivore, predator, and parasitoid, and inferred the impacts of non-target species on LM rice crop. Conclusively, we want to serve this methodology to build the biosafety system from biotechnology crops, and the methodology is to keep public health, sustain the biodiversity, and conserve the natural ecosystems.

KEY WORDS: BIOTECHNOLOGY, FUNCTIONAL GROUP, RISK HYPOTHESES

서론

생명공학기술의 발전으로 한 가지 종의 유용한 유전자를 다른 종에 삽입하여 새로운 품종의 유전자 변형체를 제조하는 유전자변형생물체, 즉 GMO(Genetically modified organism)들이 만들어지고 있다(Yoon, 2010). GMO는 LMO(Living Modified Organisms)와 같은 의미로 혼용되어 사용되기도 한다(Lee *et al.*, 2010).

생명공학기술의 잠재적인 고부가가치 창출 가능성으로 인해 국내·외에서 새로운 유전자변형생물체의 개발이 가속화되고 있으나, LMO의 잠재적 환경 위해 가능성에 대한 끊임없는 논란이 지속되고 있다(Rural Development Administration, 2011). 생명공학의 발전은 식량생산의 증진에 기여할 수 있겠지만 인체 및 생태계에 미치는 안전성이나 식품에 대한 안전성은 잠재적인 부정적 영향을 항상 무시할 수 없다(Choi, 2008; Yoon, 2010).

이러한 문제점을 사전에 방지하기 위하여 2000년 1월 국제적인 합의문인 바이오안전성의정서(CPB, Cartagena Protocol on Biosafety; 카르타헤나 의정서)가 생물다양성협약(CBD, Convention on Biological Diversity)기구에 의해 채택되었으며, 국내에서는 2001년 3월에 ‘유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률’을 제정·공포하였고, 2007년 10월 3일 바이오안전성 위원회에 비준서를 기탁함에 따라 2008년 1월 1일부터 카르타헤나의정서의 국내 이행「유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률(LMO법)」이 시행되고 있다(Shim, 2013; Ministry of Environment, 2010).

우리나라의 식량자급률은 25% 정도로서, 외국농산물에 대한 수입의존도가 높다(Moon and Kim, 2009). 국내 LMO 농산물 수입은 주로 가공식품 및 사료용으로 사용하기 위해 이루어지며 식용, 사료용 LMO는 약 849만 톤이 수입되며, 가공식품용은 옥수수가 100만 톤, 콩은 92만 톤이 수입되고 있

다(National Science & Technology Council, 2013). LMO-FFP (Food, Feed, Products: 식품, 사료, 생산물)로 수입되는 곡물들은 많은 부분이 LMO일 가능성이 높으며, 운송 과정에서 국내환경에 비의도적으로 노출될 가능성이 높음에(Han *et al.*, 2015) 따라 이에 대비한 안전대책 마련이 시급한 상황이다(Ministry of Environment, 2010).

벼는 세계 인구의 40% 이상이 주식으로 이용하는 세계 3대 작물이며, 우리나라의 농업에서 중요한 농산물로서 1차 산업에서 차지하는 경제적 가치가 가장 큰 농산물이나, 국내 1인당 쌀 소비량은 매년 약 2% 정도 감소중이며 상대적으로 연말재고량은 증가하는 추세이다. 따라서 쌀 소비 확대를 위해서는 고부가가치 신기능성 쌀의 개발이 절실히 필요한 실정이다(Moon *et al.*, 2013).

우리나라는 농업생명공학에 관한 3대 기본목표를 설정하고 이를 추진 중에 있다. 3대 기본 목표라 함은 첫째, 2022년까지 세계 4위권의 농업생명공학 기술 선진국으로 진입하는 것이고 둘째, 지식 기반형 고부가 농산업 구조로 전환을 추진하는 것이며, 마지막으로 첨단 농축산업 주도를 위한 전문 인력 양성 및 고용창출을 확대하는 것이다. 이러한 정책 목표 아래 연구·개발단계에 있는 LMO품목은 많으나 아직 상품화에 이른 품목은 없다(National Science & Technology Council, 2013).

우리나라는 생명공학기술의 발전에 많은 연구비를 투자하고 있으며 LMO 개발연구에 노력을 기울이고 있다(Kim and Choi, 2006). LMO의 개발 및 국내유통이 본격화됨에 따라, 국내 자연생태계 특수성과 국민정서에 부합하는 LMO의 환경위해성 심사지표 구축이 필요한 실정이며, 국민들이 신뢰할 수 있는 LMO 심사 및 안전관리를 위한 판단 기준 마련하여 LMO 심사신청자들이 납득할 수 있는 과학적 요청자료의 제출요구를 위한 기반마련이 절실히 요구된다(Ministry of Environment, 2010).

본 논문에서는 LMO가 자연생태계에 미치는 영향연구의

중요한 요소인 비표적 생물체에 미치는 영향에 대한 평가방법을 제시하였다. LMO 식물 중 국내에서 개발 중인 LM벼에 영향 가능성이 있는 비표적 생물체(곤충 중심)를 구분하였고, LM벼로 인해 자연생태계에 미치는 영향을 평가하기 위해서 LM벼에 서식하는 초식자, 포식자, 기생포식자 등의 직접적 영향이나, 간접적 영향을 받을 곤충 분류군들에 대한 선별방법, 위해 가설 등을 제시하여 환경위해성 평가기법을 구축 하는데 목적이 있다. 따라서 본 논문은 LMO의 국내 자연생태계의 지속가능한 이용 및 보존에 기여하고자 하며, LMO의 환경위해성 평가를 통해 국민들이 LMO에 대한 신뢰성을 가질 수 있도록 사전위해성을 진단 및 차단할 수 있는 방법을 제시하고자한다. 결과적으로 국민의 건강 및 생물다양성유지, 자연 생태계 보전을 위한 사후 안전관리 체계구축에 활용될 연구 자료를 제공하고자 한다.

연구방법

1. LM벼의 환경위해성 비표적 생물체 조사 및 분류

LM벼에 영향가능성이 있는 비표적 곤충을 조사하기 위해서 비표적 생물체 분류자료를 활용하였으며, 농업 해충관련 도감 및 서적을 활용하였고 참고문헌, 환경위해성 평가 관련 홈페이지를 통하여 자료를 얻었다. 국내에서의 자료는 논문이나 벼와 관련된 서적들을 이용하여, 해충으로 구분되어 있는 자료를 취합 후 표로 작성하였다. 각종 농업(Beak 2004; Lee *et al.*, 1994), 논문(Hoffman and Rattner, 2002; James, 2006; Jepson *et al.*, 1994; Romies *et al.*, 2006; Wolfenbarger and Phifer, 2000), 보고서(Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, 2007), 및 인터넷웹사이트를 참조하였다.

2. 국내 자연환경위해성에 적합한 LMO 환경위해성 평가의 세부 항목 선정

국내외 자료를 참고하여, 환경위해성 평가의 세부항목 선정 등에 대한 기준과 국내·외 생물다양성 관련 환경 위해성 평가 자료의 조사 및 제출, LM벼의 위해가능성이 있는 비표적 생물체의 분류군과 생태적 기능군 조사, 비표적 생물체를 생태학적인 원리와 LM벼에 대한 노출가능성에 따른 위해등급별 목록 작성, 비표적 생물체 중 환경부 지정 보호종, 멸종 위기종 등에 대한 피해 가능성 여부에 대한 조사를 진행하였으며, 미국정부의 LMO심사기준에 대한 자문과 관련정보 자료를 획득하기 위해 기준에 평가연구를 수행하였던 미네소타 대학의 앤도우(Dr. Davis Andow) 교수 및 산업계의 과학자들을 만나 자문을 구하였다. EFA의 관계자

를 통해 구체적인 평가 및 심사항목에 대한 의견 및 자문을 구하였고, CABI Publishing에서 발행한 환경위해성 분석 자료를 이용 하였다(Andow *et al.*, 2008; Hilbeck *et al.*, 2007).

3. 국내 생물다양성의 위해가능성 여부

국내 외 생물다양성 관련 환경 위해성 평가자료를 조사하였으며, Environmental Risk Assessment Of Genetically Modified Organisms, Volume 2 (Hilbeck *et al.*, 2007), Environmental Risk Assessment Of Genetically Modified Organisms, Volume 4 (Andow *et al.*, 2008)의 환경위해성

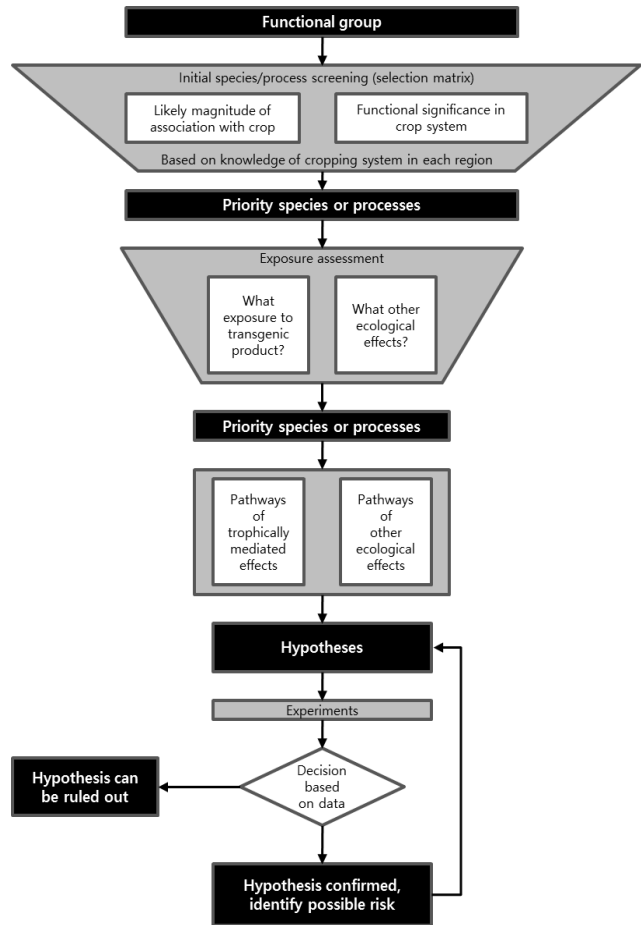


Figure 1. Outline of the methodology to support non-target and biodiversity risk assessment for LM rice. The objective is to screen the spectrum of known non-target species and the theoretically possible risks the introduction of the transgenic crop poses to these non-target species, in order to focus risk assessment on the most important possible risks. (This figure was adapted from Hilbeck *et al.*, 2007)

평가방법을 적용하여 LM벼의 비표적 생물체의 위해도를 표로 나타내었다.

4. 비표적 생물체에 대한 위해가능성 여부 조사

해충저항성 LM벼의 위해가능성이 있는 생물체의 분류군과 생태적 기능군을 조사하였으며, 비표적 생물체의 생태학적 원리와 LMO에 대한 노출가능성에 따른 위해등급별 목록을 작성하였다.

5. 비표적 곤충과 생물다양성에 대한 환경위해성 평가방법의 단계적 모식도

비표적 생물체와 관련한 환경위해도 모델을 다섯 단계로 제시하였다. 첫째, LM벼를 통해 악영향을 받을 가능성이 있는 잠재적 비표적 생물체를 생태적 기능군(초식자, 포식자, 기생포식자, 분해자)으로 구분하였다. 둘째, LMO에 대한 노출가능성과 악영향의 가능성을 극대화시켜 LM벼를 통해 악영향을 받을 수 있는 초식곤충군을 생태학적인 원리에 따라서 순위를 정하였다. 셋째, 노출 경로를 분석하였고, 넷째, 위험도를 식별하고 가설을 설정하여 테스트하여, 다섯째, 생태학적으로 의미 있는 테스트 방법과 프로토콜을 제시하였다(Figure 1).

결 과

1. LM벼에 직접적인 영향을 받는 초식곤충 분류군

벼를 섭식하는 초식자 중 벼의 잎이나 줄기의 수액을 흡즙하는 수액 섭식자로서 LM벼에 노출 시 가장 피해가능성이 큰 비표적 곤충은 매미목의 애멸구, 벼멸구, 흰등멸구, 끝등매미충이 있다. 이들 중 벼멸구를 제외한 나머지 3종은 질병을 일으키는 바이러스를 매개하기도 한다. 피해가능성이 중간정도인 비표적 곤충은 총채벌레목의 벼총채벌레와 노린재목 해충은 우리가시허리노린재, 애긴노린재, 잡초노린재과, 썩덩나무노린재, 가시점등글노린재, 벼가시허리노린재, 벼멸구붙이, 매미목의 보리수염진딧물, 옥수수테두리진딧물, 붉은테두리진딧물, 벼뿌리가루깍지벌레 등이 있고, 바이러스를 매개하는 모무늬매미충이 있다. 피해가능성이 매우 경미한 비표적 곤충은 총채벌레목의 알팔파줄총채벌레, 대관령총채벌레, 담배총채벌레, 벼관총채벌레, 노린재목의 비단노린재, 풀색노린재, 남쪽풀색노린재, 자귀나무허리노린재를 포함한 10종과 바이러스를 매개하면서 잠재적 해충류로 분류되는 노린재목의 먹노린재가 있고, 매미목의 남방매미충, 말매미충, 초록애매미충, 홍점애매미충, 줄친

말매미충, 일자무늬넓적매미충, 번개매미충, 마름무늬 매미충을 포함한 40 여종이 있다. 곡물섭식자로서 피해가능성이 중간정도인 비표적 곤충은 벼뿌리바구미, 쌀바구미가 있고, 피해가능성이 경미한 비표적 곤충은 보리나방, 뽕나무바구미, 누룩바구미가 있다. 잎 섭식자로는 피해가능성이 큰 비표적 곤충은 딱정벌레목의 벼잎벌레, 나비목의 벼애나방, 멸강나방, 벼은무늬밤나방, 벼물명나방, 메뚜기목의 벼메뚜기, 땅강아지, 섬서구메뚜기가 있다. 피해가능성이 중간정도인 비표적 곤충은 딱정벌레목의 벼뿌리잎벌레, 애풍뎅이, 파리목의 벼잎물가파리, 벼줄기굴파리, 나비목의 사초독나방, 이화명나방, 벼포충나방, 벼잎말이명나방, 애벼물명나방, 메뚜기목의 벼메뚜기붙이, 잔날개벼메뚜기가 있다. 피해가능성이 적은 비표적 곤충은 딱정벌레목의 갈색머리대장, 밤색우단풍뎅이, 애우단풍뎅이를 포함한 9종, 파리목의 벼잎굴파리, 보리굴파리를 포함한 4종, 벌목의 일본왕개미, 곰개미, 나비목의 줄점팔랑나비, 흑명나방, 극락꼬마밤나방, 먹나비를 포함한 18종, 메뚜기목의 왕귀뚜라미, 풀무치, 팔중이 등이 있다. 화분섭식자로서 피해가능성이 적은 비표적 곤충은 파리목의 보라무늬꽃등에, 꼬마꽃등에, 꽃등에과, 벌목의 양봉꿀벌과 꿀벌류가 있다(Appendix 1).

2. LM벼에 영향 가능성 있는 비표적 곤충 분류군

벼에 서식하거나 벼와 상관관계가 높은 곤충 약 70여종을 생태학적 기능군으로 초식자(Hebivore, 34종), 포식자(Predator, 20종), 기생포식자(Parasitoid 15종), 분해자(Decomposer, 6종)로 구분하였다. 초식자(Hebivore)는 수액섭식자(Sap feeder), 곡물섭식자(Grain feeder), 잎섭식자(Defoliator), 화분섭식자(Pollen feeder)로 4가지로 분류되며, 수액섭식자는 침형 주둥이를 가지고 있는 매미목과 노린재목이 있고, 종류는 매미목의 벼멸구, 흰등멸구, 매미충류 등과 노린재목의 우리가시허리노린재, 알락수염노린재, 애긴노린재, 먹노린재 등이 있다. 곡물섭식자는 보리나방이 있고, 잎섭식자로는 메뚜기목의 벼메뚜기, 나비목의 벼밤나방, 이화명나방, 흑명나방, 줄점팔랑나비, 파리목의 벼줄기굴파리, 벼잎물가파리 등이 있다. 화분섭식자는 딱정벌레목의 크로바잎벌레와 파리목의 보라무늬꽃등에, 꼬마꽃등에 등, 벌목의 야생벌과 양봉꿀벌 등의 곤충류가 있다. 이 곤충류들의 연간 생식횟수는 연간 최소 1회에서 최대 8회까지 번식을 하여 개체군을 유지하고 있으며, 그 중 연간 5회 이상의 번식을 하는 애멸구, 7~8회 번식을 하는 벼잎물가파리는 다른 개체군에 비해 벼 생육과 직접적으로 영향을 주는 종이다. 포식자는 딱정벌레목의 칠성무당벌레, 꼬마낭생이무당벌레, 청딱지개미반날개, 미륵강변면지벌레, 꼬마노랑면지벌레, 꼬마길앞잡이, 좀길앞잡이. 잡자리목의 고추잡자리,

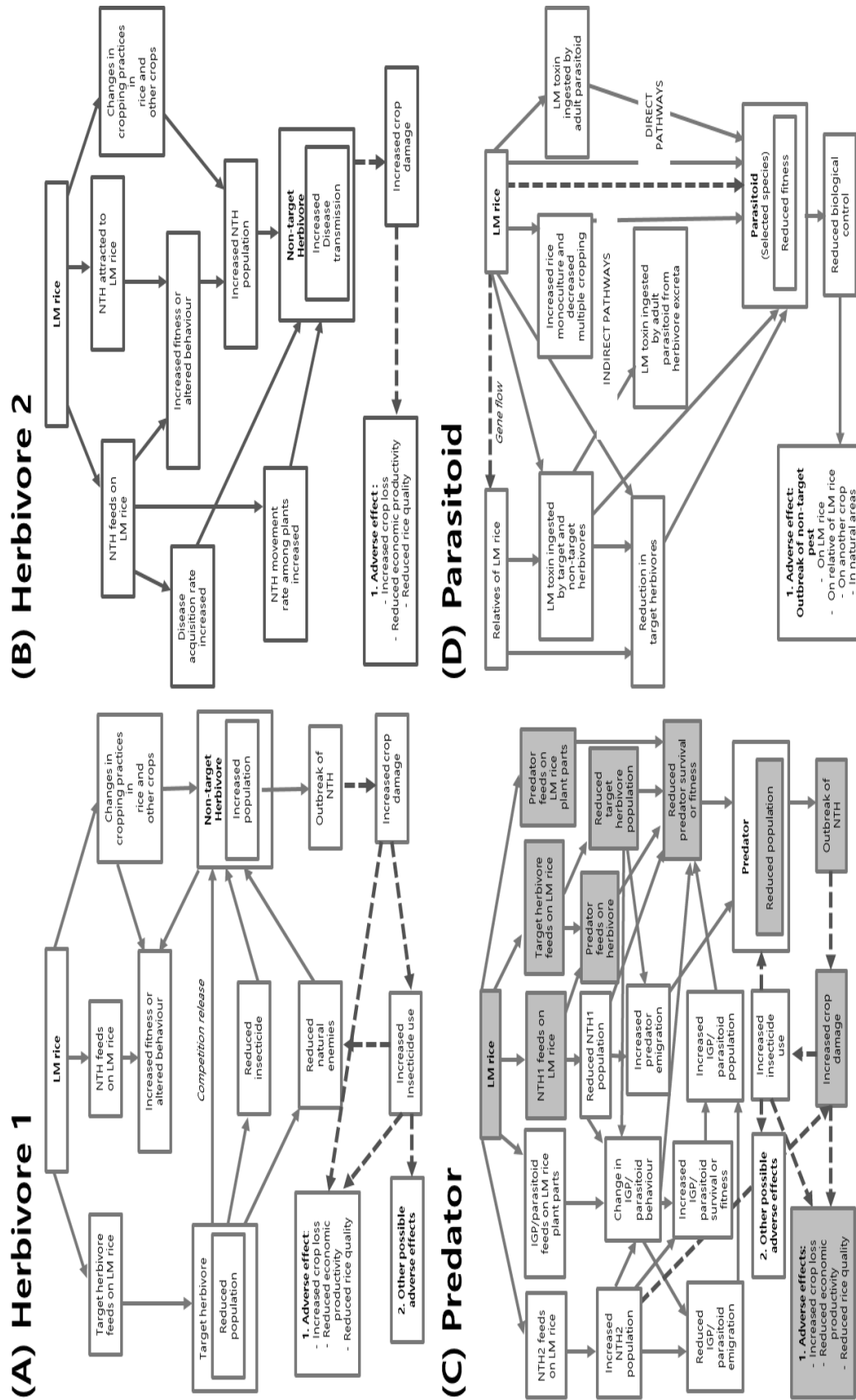


Figure 2. Diagrams of the following possible five risk hypotheses for non-target species (herbivore, predator and parasitoid) associated with LM rice. Arrows represent causal connections and dashline means the following potential predict hypotheses. NTH = non-target herbivore; NTH1 (A) and NTH2 (B) are distinct non-target herbivore species. IGP means intraguild predator. Major pathways are shown in gray color in (C), and Parasitoid is in (D)

아세아실잠자리, 된장잠자리, 갯동잠자리, 사마귀목의 왕사마귀, 좁사마귀, 벌목의 어리은줄구멍벌, 흡즙성 포식자인 노린재목의 등검은황록장님노린재, 깔따구침노린재 등이 있다. 기생포식자는 벌목의 날개집게벌, 신충채벌, 흰등신충채벌, 멸구신충채벌, 노랑집게벌, 홍집게벌, 고치벌과, 좁벌과, 맵시벌과, 알벌과, 파리목의 꼭지운머리파리, 끝등운머리파리, 큰머리파리가 있다. 이 들은 대부분 애벌구, 벼멸구의 천적으로 이들의 알이나 몸에 기생한다. 분해자는 파리목이 대부분을 차지하고 있다. 과실파리과, 꼭지파리과, 깔따구과, 각다귀과, 딱정벌레목인 개미반날개가 이에 속한다(Appendix 2).

3. 비표적 곤충과 생물다양성에 대한 환경위해성 평가방법의 단계적 모식도 및 위해가설

1) LM 벼의 초식곤충 목록

LM벼의 비표적 생물체를 알아보기 위해 LM벼를 통해 약영향을 받을 수 있는 초식곤충군을 조사하였고, 각 종에 따라 벼에 대한 지리적 분포, 서식지 특수화, 확산정도, 종풍부도 등을 조사하여 점수를 매겼으며, 합계가 낮은 10종(벼총채벌레, 애멸구, 벼멸구, 멸강나방, 흑명나방, 우리가시 허리노린재, 먹노린재, 벼멸구붙이, 벼메뚜기, 벼잎굴파리)을 선별하였다(Table 1).

2) LM벼의 위해 가설 적립단계 모식도

선별된 종으로 LM벼의 비표적 생물에 대한 영향을 추론하기 위하여 가설을 설정하였으며 초식자뿐만 아니라 포식자와 포식기생자가 받는 영향도 같이 고려하였다. 이때 포식자와 포식기생자는 부록 1의 결과를 참조하여 선별하였다(Figure 2).

(1) 초식자 위해가설1 (벼멸구)

LM벼의 표적 초식자(벼멸구)를 감소시키면 살충제를 적게 사용하게 되고, 천적(황사적거미, 논거미)이 줄어들 것이다. 그로 인해 비표적 초식자(애멸구, 먹노린재)가 증가하게 되고, 작물의 피해가 늘어나게 된다. 비표적 초식자를 죽이기 위한 증가된 살충제의 사용은 또 다른 역효과를 일으킬 것이다.

(2) 초식자 위해가설2 (멸강나방)

LM벼의 유인성 또는 품질 증가는 초식자 개체군(흑명나방, 벼메뚜기, 벼잎굴파리)을 증가시킬 것이며 LM벼의 피해를 증가시킨다. 결국 그에 따른 비표적 초식자가 늘어나게 되고, LM벼에 적응을 하여 개체수를 증가시켜 벼의 손실을 가져올 것이다.

(3) 포식자 위해가설 (사마귀)

LM벼를 섭식하는 표적 초식자(벼메뚜기)가 감소됨에 따라 표적 초식자를 먹이로 하는 포식자(사마귀)의 생존, 적응도가 감소할 것이며, 포식자의 개체군 감소를 불러온다. 그로 인해 비표적 초식자(흑명나방, 멸강나방, 벼멸구)가 급증할 것이며, 작물의 피해가 증가할 것이다. 결국 작물 손실의 증가, 경제적 생산력 감소, 벼의 질 감소를 가져오게 될 것이다.

(4) 기생포식자 위해가설 (납작맷시벌)

표적초식자에 기생하는 기생포식자(납작맷시벌)는 표적 초식자(흑명나방) 안의 Bt독소를 섭취하게 되면 그 개체수가 감소하고, 생물학적 조절이 감소하게 될 것이다. 이로 인해 비표적 해충이 급증하게 되어 직접적인 피해를 입힐 것이다. 또한 LM벼의 Bt독소로 인해 표적 초식자(흑명나방)가 감소할 것이고, 기생포식자(납작맷시벌)들도 감소하게 될 것이다. 결국 비표적 해충이 급증할 것이며 LM벼와 그와 관련된 곳에 간접적인 피해를 입히게 될 것이다.

고찰

생명공학기술의 급속한 발전으로 인하여, 최근 많은 종류의 LMO가 계속적으로 개발 중에 있으며, LMO 수입이 증가하는 추세이다. 이에 따라 국내 자연환경위해성에 적합한 LMO의 평가 및 심사 항목 개발의 필요성이 요구되고 있으며, 향후 환경부에서 지원할 심사 구축 체계를 마련하는 것이 필수 불가결한 상황이다.

본 논문은 비표적 곤충과 천적 곤충과의 상호관계를 통해 LM벼가 자연생태계에 미칠 수 있는 영향에 대한 기초 정보를 제공하고자 하였으며, 이를 통해서 환경위해성 평가를 위한 프로토콜을 확립, 제공함으로써 추후 국내에서 새로 개발되는 LM작물이나 추가 수입되는 LM작물 또는 곡물에 대한 안정성 평가를 통한 과학적이고 투명한 자료를 소비자에게 제공하고자 하였다. 따라서 본 논문의 결과가 LMO의 수입 및 개발과정에 수반되는 각종 규제와 행정절차에 대한 안전관리 관련 규제 지침의 기본적인 자료로 활용 가능할 것으로 기대되며, 생명공학이 지속적으로 발전할 수 있는 틀을 마련하여, 국내자연환경의 안전성을 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Andow, D.A., Hilbeck, A. and N.V. Tuat.(2008) Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms. Volume 4. Oxford Univ Pr, Oxfordshire, 432pp.
- Baek, W.H.(2004) reported insect pests. Hongmunsa, Seoul, 476pp. (in Korean)
- Choi, S.H.(2008) Legal Issues in International Liability and

- Redress Rules regarding Living Modified Organisms (LMO). Seoul International Law Academy. 15(1): 171-195. (in Korean with English abstract)
- Han, S.M., Lee, J.J., Won, O.J., Eom, O.J., K.W. Park(2015) Occurrence and Distribution of Genetically Modified Maize (*Zea mays* L.) at a Grain Receiving Port and along Transportation Routes in Korea. The Journal of the Korean Society of International Agriculture. 27(3): 321-325. (in Korean with English abstract)
- Hilbeck, A., Andow, D.A. and E.M.G. Fontes.(2007) Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms. Volume 2. Oxford Univ. Pr, Oxfordshire, 373pp.
- Hoffman, D.J. and B.A. Rattner.(2002) Handbook of ecotoxicology Second Edition. CRC Press, Boca Raton, FL. USA, 1312pp.
- James, C.(2006) Global status of commercialized biotech/GM crops in 2006. The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Ithaca, NY, 83pp.
- Jepson, P.C., Croft, B.A. and G.E. Pratt(1994) Test systems to determine the ecological risks posed by toxin release from *Bacillus thuringiensis* genes in crop plants. Molecular Ecology 3(1): 81-89.
- Kim, E.J. and D.K. Choi(2006) Need for Reinforcement of Safety Assessment on Genetically Modified Organisms. Korea Association Of Organic Agriculture. 14(2): 139-157. (in Korean with English abstract)
- Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology(2007) 2007 Biosafety white paper. Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Seoul, 435pp. (in Korean)
- Lee, H.S., Kim, H.D., Kim, Y.U., Park, E.W., Park, U.H., Seong, R.C., Lee, S.H., Lee, Y.I., Lee, Y.H., Zo, U.G., Jean Y.M., Han, S.C. and E.H. Hong(1994) Physiology and Genetics of Bean Cultivation. Seoul University Publisher, Seoul, 522pp. (in Korean)
- Lee, Y.T., Kim, J.G., Ha, S.H., Jo, H.S. and S.C. Seo(2010) Analyses of Nutrient Composition in Genetically Modified β -Carotene Biofortified Rice. the transactions of food and nutrition technology. 39(1): 105-109. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Enviroment(2010) Final report of Living modified organisms and its natural ecosystem assessment. Ministry of Enviroment, Gwachon, 304pp. (in Korean)
- Moon, J.H., Moon, J.M., Lee, Y.H. and J.J. Lee(2013) Influence of Transgenic Rice Plant Transformed with Silbene Synthase Gene on Insect Fauna and Biosafety Evaluation on Biological Indicators. Journal of Agriculture & Life Sciences. 44(1): 11-16. (in Korean with English abstract)
- Moon, T.H. and B.S. Kim(2009) Korea's Limit to Growth from Circular Causation Perspective: Focusing on Crisis Factors, Population, Economy, Resources, Environment, and Food. Korean system dynamics review. 10(3): 47-79. (in Korean with English abstract)
- National science & Technology Council(2013) The third agricultural biotechnology development and long-term basic plan(2013-2022). National Science & Technology Council, Seoul, 88pp. (In Korean)
- Romeis, J., Meissle, M. and F. Bigler(2006) Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. Nature biotechnology 24(1): 63-71.
- Rural Development Adminisrtation(2011) Problem formulation and options assessment handbook. Rural Development Adminisrtation, Seoul, 192pp. (In Korea)
- Shim, Y.J.(2013) A Review on the 「Transboundary Movement, Etc. of Living Modified Organizms Act」 - Centering on the Point of View of the Criminal Law -. Biomedical and law. 9: 121-143. (in Korean with English abstract)
- Wolfenbarger, L.L. and P.R. Phifer(2000) The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. Science 290 5499 (2000): 2088-2093.
- Yoon, S.C.(2010) Die Studie zur Haftungsfrage nach den Schadensereignisse durch gentechnisch veränderten Produkten. The Korean Property Law. 26(3): 87-115. (in Korean with German abstract)

Appendix 1. Functional group lists of herbivores on rice crops and their possible adverse effects

Functional group	Order	Family	Taxa	Korean name	Reproductive rate/year	Possible adverse effect			
						signif	Vector of disease	Damage	
Hemiptera	Aphididae		<i>Melanaphis sacchari</i>	사탕수수진딧물			No	Light	
			<i>Paracletus cimiciformis</i>	빈대면충			No	Light	
			<i>Rhopalosiphum maidis</i>	옥수수테두리진딧물			No	Medium	
			<i>Rhopalosiphum rufiabdominale</i>	붉은테두리진딧물			No	Medium	
			<i>Schizaphis graminum</i>	보리두갈래진딧물			No	Light	
			<i>Sitobion avenae</i>	보리수염진딧물			No	Medium	
			Coreidae	<i>Anacanthocoris stricornis</i>	자귀나무허리노린재			No	Light
				<i>Cletus schmidti</i>	우리가시허리노린재	**	virus	Medium	
				<i>Cletus trigonus</i>	벼가시허리노린재		No	Medium	
			Lygaeidae	<i>Togo hemipterus</i>	미디표주박긴노린재	2		No	Light
	<i>Lygocoris lucorum</i>	초록장님노린재		2		No	Light		
	Miridae	<i>Lygus apicalis</i>	밝은색장님노린재			No	Light		
		<i>Stenodema rubrinervis</i>	보리장님노린재			No	Light		
		<i>Dolycoris baccarum</i>	알락수염노린재	2		No	Light		
		<i>Eurydema rugosa</i>	비단노린재			No	Light		
		<i>Eysarcoris parvus</i>	가시점동글노린재	2		No	Medium		
		<i>Halyomorpha halys</i>	썩덩나무노린재	1	**	virus	Medium		
		Pentatomidae	<i>Molipteryx fuliginosa</i>	큰허리노린재			No	Light	
			<i>Nezara antennata</i>	풀색노린재	2, 3		No	Light	
			<i>Nezara viridula</i>	남쪽풀색노린재			No	Light	
			<i>Nysius plebejus</i>	애긴노린재		**	virus	Medium	
	<i>Scotinophara lurida</i>		먹노린재		**	virus	Light		
	Rhopalidae	Rhopalidae	잡초노린재과		**	virus	Medium		
	Aeolothripidae	<i>Aeolothrips fasciatus</i>	알팔파줄충채벌레			No	Light		
	Sap feeder	Cicadellidae	<i>Alobaldia tobae</i>	남방매미충			No	Light	
<i>Cicadella viridis</i>			말매미충			No	Light		
<i>Dictyophara patruelis</i>			상투벌레			No	Light		
<i>Empoasca vitis</i>			초록애매미충			No	Light		
<i>Empoasca canara limbata</i>			넙점박이애매미충			No	Light		
<i>Erythroneura mori</i>			홍점애매미충			No	Light		
<i>Futausujinus candidus</i>			흑점박이매미충			No	Light		
<i>Hishimonus sellatus</i>			모무늬매미충		**	virus	Medium		
<i>Hishimonus stellatus</i>			마름무늬매미충	3	**	virus	Light		
<i>Inazuma dorsalis</i>			번개매미충	3, 4	**	virus	Light		
<i>Kolla atramentaria</i>		줄친말매미충			No	Light			
<i>Limotettix striola</i>		일자무늬넓적매미충			No	Light			
<i>Macropsis prasina</i>		녹색머리매미충			No	Light			
<i>Macrosteles brunnescens</i>		꼬마매미충			No	Light			
<i>Macrosteles cyane</i>		암갈매미충			No	Light			
<i>Macrosteles quadrimaculatus</i>		넙점박이매미충			No	Light			
<i>Macrostele ssexnotatas</i>		육점박이매미충			No	Light			
Homoptera		<i>Nephotettix cincticeps</i>	끝동매미충	4	**	virus	Heavy		
		<i>Nephotettix virescens</i>	두점끝동매미충			No	Light		
		<i>Oniella koreana</i>	고려관매미충			No	Light		
	<i>Penthimia nitida</i>	넓적매미충			No	Light			
	<i>Psammotettix striatus</i>	알락매미충			No	Light			
	<i>Recilia oryzae</i>	벼알락매미충			No	Light			
	<i>Scaphoideus albivittatus</i>	흰줄황나매미충			No	Light			
	<i>Scaphoideus festivus</i>	흰점박이황나매미충			No	Light			
	Cixiidae	<i>Pentastiridius sapicalis</i>	장삼벌레			No	Light		
	Delphacidae	<i>Garaga nagaragawana</i>	들판멸구			No	Light		
<i>Laodelphax striatellus</i>		애멸구	5		virus	Heavy			
<i>Nilaparvata bakeri</i>		벼멸구불이			No	Medium			
<i>Nilaparvata lugens</i>		벼멸구			No	Heavy			
<i>Opiconsisasirokata</i>		어리흰등멸구			No	Light			
<i>Paradelphacodes paludosus</i>		반야월멸구			No	Light			
<i>Saccharosydne procerus</i>		풀멸구			No	Light			
<i>Sogatella furcifera</i>		흰등멸구			virus (curl)	Heavy			

		<i>Sogatella kolophon</i>	흰등멸구붙이		No	Light
		<i>Sogatella vibix</i>	피멸구		No	Light
		<i>Stenocranus matsumurai</i>	일본멸구		No	Light
		<i>Terthron albovittatum</i>	등줄멸구		No	Light
		<i>Toya lyraeformis</i>	여수멸구		No	Light
		<i>Toya propinqua</i>	남방멸구		No	Light
		<i>Tropidocephala brunnipennis</i>	영남멸구		No	Light
		<i>Unkanodes albifascia</i>	흰줄검정멸구		No	Light
	Derbidae	<i>Diostrombus politus</i>	주홍긴날개멸구		No	Light
	Pemphigidae	<i>Geoica lucifaga</i>	땅면충		No	Light
		<i>Tetraneura nigriabdominalis</i>	검은배네줄면충		No	Light
	Phlaeothripidae	<i>Haplothrips aculeatus</i>	벼관총채벌레		No	Light
	Pseudococcidae	<i>Geococcus oryzae</i>	벼뿌리가루깍지벌레		No	Medium
Thysanoptera	Thripidae	<i>Anaphothrips obscurus</i>	대관령총채벌레		No	Light
		<i>Baliothrips biformis</i>	벼총채벌레		No	Medium
		<i>Frankliniella tenuicornis</i>	담배총채벌레		No	Light
Coleoptera	Anthribidae	<i>Araecerus fasciculatus</i>	누룩바구미		No	Light
	Curculionidae	<i>Echinocnemus squamemus</i>	벼뿌리바구미		No	Medium
		<i>Scepticus insularis</i>	뿔나무바구미	1	No	Light
Lepidoptera	Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i>	보리나방	3	No	Light
		<i>Altica viridicyanea</i>	광녹색잎벌레		No	Light
		<i>Atrachya menetriesi</i>	외잎벌레붙이		No	Light
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Chrysomelidae</i>	잎벌레과		No	Light
		<i>Donacia provostii</i>	벼뿌리잎벌레		No	Medium
		<i>Monolepta quadriguttata</i>	크로바잎벌레		No	Light
		<i>Oulema oryzae</i>	벼잎벌레	1	No	Heavy
		Cucujidae	<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	갈색머리대장	2, 3	No
Coleoptera	Elateridae	<i>Ectinus sericeus</i>	누런방아벌레		No	Light
		<i>Anomala rufocuprea</i>	애풍뎡이	1	No	Medium
		<i>Blitopertha orientalis</i>	등얼룩풍뎡이		No	Light
		<i>Maladera castanae</i>	밤색우단풍뎡이	1	No	Light
		<i>Maladera orientalis</i>	애우단풍뎡이	1	No	Light
Diptera	Agromyzidae	<i>Agromyza oryzae</i>	벼잎굴파리		No	Light
	Chloropidae	<i>Agromyza albipennis</i>	보리굴파리	2, 3	No	Light
		<i>Chlorops oryzae</i>	벼줄기굴파리	3	No	Medium
	Muscidae	<i>Hydrellia griseola</i>	벼잎물가파리	7, 8	No	Medium
	Tipulidae	<i>Tipula aimo</i>	아이노각다귀		No	Light
		<i>Tipula longicauda</i>	배각다귀		No	Light
Hymenoptera	Formicidae	<i>Camponotus japonicus</i>	일본왕개미		No	Light
		<i>Formica japonica</i>	곰개미		No	Light
Defoliator	Hesperiidae	<i>Parnara guttata</i>	줄점팔랑나비	3	No	Light
		<i>Polytremis pellucida</i>	산팔랑나비	1	No	Light
	Lymantridae	<i>Laelia coenosa</i>	사초독나방		No	Medium
		<i>Lymantria dispar japonica</i>	짚시나방	1	No	Light
	Noctuidae	<i>Chrysaspidia festata</i>	벼은무늬밤나방	2, 3	No	Heavy
		<i>Lithacodia distinguens</i>	극락꼬마밤나방	2, 3	No	Light
		<i>Lithacodio stygia</i>	지옥꼬마밤나방		No	Light
		<i>Mythimna separata</i>	멸강나방		No	Heavy
		<i>Naranga aenescens</i>	벼애나방	2, 4	No	Heavy
		<i>Sesamia inferens</i>	벼밤나방	3	No	Light
Lepidoptera	Nymphalidae	<i>Pararge achine</i>	눈많은그늘나비	1	No	Light
	Pieridae	<i>Aglossa dimidiata</i>	꼭식비단명나방		No	Light
		<i>Ancylolomia japonica</i>	벼포충나방		No	Medium
		<i>Chilo suppressalis</i>	이화명나방	1, 2	No	Medium
	Pyralidae	<i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	혹명나방	3	No	Light
		<i>Marasmia exigua</i>	벼잎말이명나방	2, 3	No	Medium
		<i>Neopediasia mixtalis</i>	깨다시포충나방		No	Light
		<i>Nymphula fengwhanalisis</i>	벼물명나방		No	Heavy
		<i>Paralipsa gularis</i>	한점쌀명나방		No	Light
		<i>Paraponyx ussuriensis</i>	우수리물명나방		No	Light
	Pyralidae	<i>Paraponyx vittalis</i>	애벼물명나방		No	Medium
		<i>Plodia interpunctella</i>	화랑곡나방	3, 4	No	Light

		<i>Melanitis leda</i>	먹나비	more	No	Light
		<i>Minois dryas</i>	굴뚝나비	1	No	Light
	Satyridae	<i>Mycalesis francisca</i>	부처사촌나비	2, 3	No	Light
		<i>Mycalesis gotama</i>	부처나비	2, 3	No	Light
		<i>Ypthima motschulski</i>	물결나비	2	No	Light
		<i>Locusta migratoria</i>	폴무치		No	Light
		<i>Mecostethus alliaceus</i>	벼메뚜기붙이		No	Medium
	Acrididae	<i>Oedaleus infernalis</i>	팔중이		No	Light
		<i>Oxya chinensis</i>	벼메뚜기	1	No	Heavy
		<i>Oxya japonica</i>	잔날개벼메뚜기		No	Medium
		<i>Teleogryllus mma</i>	왕귀뚜라미	1	No	Light
Orthoptera	Gryllotalpidae	<i>Gryllotalpa fossor</i>	땅강아지	1	No	Heavy
	Pyrgomorphidae	<i>Atractomorpha lata</i>	섬서구메뚜기	1	No	Heavy

Appendix 2. Insect lists and their functional group on rice crops

Functional Group	Order	Family	Taxa	Korean Name	Reproductive Rate/Year
		Coreidae	<i>Cletus schmidtii</i>	우리가시허리노린재	
			<i>Dolycoris baccarum</i>	알락수염노린재	2
	Hemiptera	Pentatomidae	<i>Halyomorpha halys</i>	썩덩나무노린재	1
			<i>Nysius plebejus</i>	애긴노린재	
			<i>Scotinophara lurida</i>	먹노린재	
		Rhopalidae	Rhopalidae	잡초노린재과	
Sap feeder			<i>Hishimonus stellatus</i>	마름무늬매미충	3
		Cicadllidae	<i>Inazuma dorsalis</i>	번개매미충	3, 4
	Homoptera		<i>Nephotettix cincticeps</i>	끝동매미충	4
			<i>Laodelphax striatellus</i>	애멸구	5
		Delphacidae	<i>Nilaparvata lugens</i>	벼멸구	
			<i>Sogatella furcifera</i>	흰등멸구	
	Thysanoptera	Thripidae	<i>Baliothrips biformis</i>	벼충채벌레	
Grain feeder	Lepidoptera	Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i>	보리나방	3
		Chrysomelidae	Chrysomelidae	잎벌레과	
	Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Monolepta quadriguttata</i>	크로바잎벌레	
			<i>Oulema oryzae</i>	벼잎벌레	1
Herbivore			<i>Agromyza albipennis</i>	보리굴파리	2, 3
	Diptera	Chloropidae	<i>Chlorops oryzae</i>	벼줄기굴파리	3
		Muscidae	<i>Hydrellia griseola</i>	벼잎물가파리	7, 8
		Hesperiidae	<i>Parnara guttata</i>	줄점말랑나비	3
Defoliator		Lymantiridae	<i>Lymantiria dispar japonica</i>	짚시나방	1
			<i>Mythimna separata</i>	멸강나방	
	Lepidoptera	Noctuidae	<i>Naranga aenescens</i>	벼애나방	2, 4
			<i>Sesamia inferens</i>	벼밤나방	3
			<i>Chilo suppressalis</i>	이화명나방	1, 2
		Pyralidae	<i>Cnaphalocrocis medinalis</i>	혹명나방	3
	Orthoptera	Acrididae	<i>Oxya chinensis</i>	벼메뚜기	1
		Gryllotalpidae	<i>Gryllotalpa fossor</i>	땅강아지	1
			<i>Melangyna lasiophthalma</i>	보라무늬꽃등에	
	Diptera	Syrphidae	<i>Sphaerophoria menthastri</i>	꼬마꽃등에	
		Syrphidae	Syrphidae	꽃등에과	
Pollen feeder	Hymenoptera	Apidae	Apidea	꿀벌과	
			<i>Apis mellifera</i>	양봉꿀벌	
		Cicindelidae	<i>Cicindela elisae</i>	꼬마길앞잡이	
			<i>Cicindela japana</i>	좁길앞잡이	
			<i>Coccinella eptempunctat</i>	칠성무당벌레	
		Coccinellidae	Coccinellidae	무당벌레과(약충)	
			<i>Propylea japonica</i>	꼬마남생이무당벌레	
			<i>Acupalpus inornatus</i>	꼬마노랑먼지벌레	
		Harpalidae	<i>Bembidion semilunium</i>	미륵강변먼지벌레	
		Harpalidae	Harpalidae	먼지벌레과	
Predator		Staphylinidae	<i>Paederus fuscipes</i>	청딱지개미반날개	

Hemiptera	Miridae	<i>Cyrtorhinus lividipennis</i>	등검은황록장님노린재	
	Reduviidae	<i>Nabis ferus</i>	깔따구침노린재	
Hymenoptera	Veliidae	<i>Microvelia douglasi</i>	긴개알소금쟁이	
	Spheroidea	<i>Tachysphex bengalensis</i>	어리은줄구명벌	
Mantodea	Mantodea	<i>Statilamaculata</i>	좀사마귀	
		<i>Tenodera angustipennis</i>	사마귀	
Odonata	Agrionidae	<i>Tenodera aridifolia</i>	왕사마귀	
		<i>Ischnura asiatica</i>	아세아실잠자리	
	Libellulidae	<i>Crocothemis servilia</i>	고추잠자리	
		<i>Pantala flavescens</i>	된장잠자리	
Coleoptera	Meloidae	<i>Sympetrum infuscatum</i>	깃동잠자리	
		<i>Epicauta gorhami</i>	줄먹가뢰	
Diptera	Pipunculidae	<i>Eudorylas javanensis</i>	큰머리파리	
		<i>Tomosvaryella ephichalca</i>	꼭지윤머리파리	
Parasitoid	Braconidae	<i>Tomosvaryella oryzaetora</i>	끝둥윤머리파리	
		Braconidae	고치벌과	
	Chneumonidae	Chneumonidae	맷시벌과	
		Drynidae	<i>Echthrodelphax fairchildi</i>	날개집계벌
	<i>Haplogonatopus atratus</i>		홍집계벌	
	Eulophidae	<i>Pseudogonatopus flavifemur</i>	노랑집계벌	
		Eulophidae	좀벌과	
	Mymaridae	<i>Anagrus flaveolus</i>	신총채벌	
		<i>Anagrus incarnatus</i>	흰등신총채벌	
	Trichogrammatidae	<i>Anagrus optabilis</i>	멸구신총채벌	
Trichogrammatidae		알벌과		
Strepsiptera	Elenchidae	<i>Elenchius japonicus</i>	수염부채벌레	
Coleoptera	Staphylinidae	<i>Paederus parallelus</i>	개미반날개	
Decomposer	Chironomidae sp.	Chironomidae sp.	깔따구과	
		Sepsidae	꼭지파리과	
	Diptera	Stratiomyidae	<i>Ptecticus tenebrifer</i>	등에등에
		Tephritidae	Tephritidae	과실파리과
		Tipulidae	Tipulidae	각다귀과