

ORIGINAL ARTICLE

논 태우기가 논 포장 및 농경지 서식 절지동물에 미치는 영향 평가

공민재 · 전성욱 · 권경화 · 송순이 · 김광호*

농촌진흥청 국립농업과학원

Evaluation of the Effect of Burning Rice Paddy Fields on Arthropods in Rice Paddy Fields and Agricultural Fields

Minjae Kong, Sungwook Jeon, Kyoung-Hwa Kwon, Soon-I, Song, Kwang-Ho Kim*

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract

It is known that the effect of traditional agricultural techniques of burning farmland such as paddy fields and fields gradually declines and affects both the fauna and flora of the rice paddy as well as pests. Therefore, in this study, a study was conducted to investigate the effects of burning rice paddy fields and rice paddy fields levee on the control effect of winter pests inhabiting agricultural land and the amount of pests generated and damaged during the growing season. As a result of this study, the pest control effect of incineration reduces not only the density of pests, but also beneficial insects (natural enemies) and non-reptiles. It is judged that burning has a very low insect control effect. It is expected to be used as basic data to create a sustainable agricultural environment, such as minimizing various negative effects such as pest control effects, wildfires, and air pollution caused by incineration, and suppressing unnecessary incineration and fine dust generation.

Key words : Burning, Arthropods, Rice paddy fields, Forest fire

1. 서론

한국의 논, 밭 등 농경지를 태우는 전통적 농업기술은 과거로부터 현재까지 이어오고 있으며 정월대보름을 전후로 논·밭을 태워 농경지로 유입되는 병해충의 초기밀도를 낮추기 위한 목적 및 추수 후 짚더미로 만든 달집과 논·밭두렁의 마른 풀을 태워 풍년을 기원하는 쥐불놀이와 병행하여 농촌의 오래된 관습이다(Lee, 1974; RDA, 1989; Kim et al., 1990; Lee and Kim, 2003). 하지만 70년대 이후 이양

전 초기 병해충방제 목적의 농약사용으로 인해 농경지 소각 효과는 점차적으로 떨어지고 논둑 해충뿐만 아닌 논둑의 동식물상 모두에게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Garren, 1943; Kim et al., 1990; Kim, 2002). 논·밭두렁 태우기는 대체적으로 봄철에 이루어져 이 시기는 날씨가 건조한 2~4월에 집중되어 최근 10년간 평균적으로 발생한 산불(474건) 중 15.2%(72건)에 해당할 만큼 큰 피해를 발생시키기도 하였다. 또한 태우기로 인해 불이 지속적으로 유지될 경우 토양 속 유기물까지 태워 토양의 영양함량이

Received 26 October, 2021; Revised 23 November, 2021;

Accepted 23 November, 2021

*Corresponding author: Kwang-Ho, Kim, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

Phone : +82-63-238-3288

E-mail : ecomanager@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

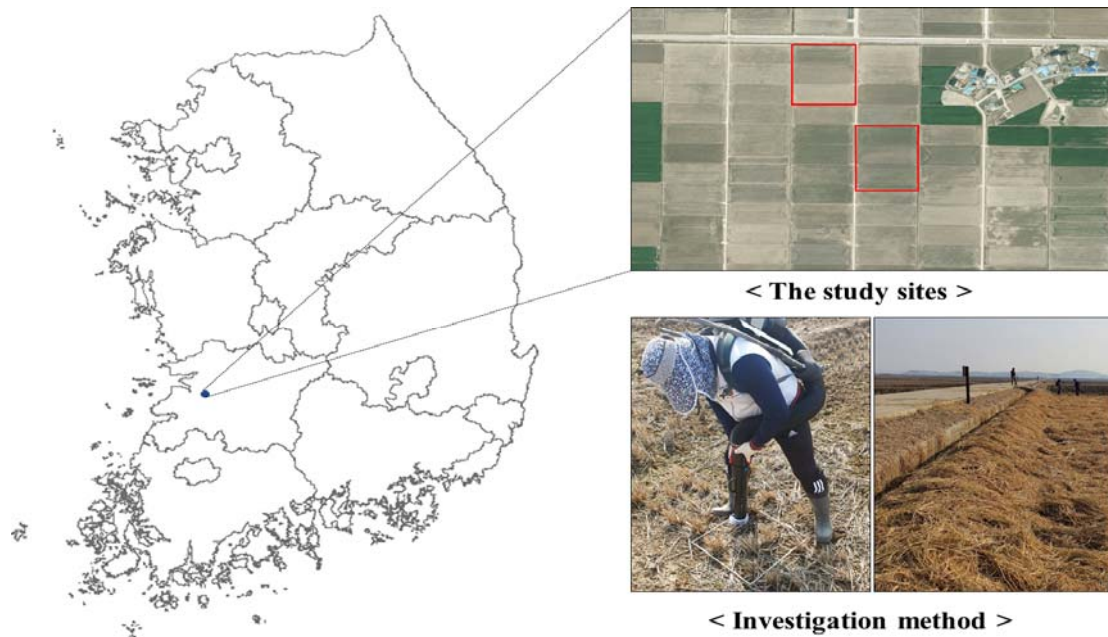


Fig. 1. Study sites and investigation method.

낮아질 수 있고 다량의 봄비로 인해 태운 논둑은 표토유실을 유발할 수 있는 것으로 보고되어 있다(Lee and Kim, 2003). 더불어 논·밭두렁 소각이나 산불발생으로 농업잔재물(벼짚, 보리짚, 고춧대, 깻대 등), 식생 등 생물성연소(biomass burning)로 인해 다양한 입자상, 가스상 대기오염물질이 배출되고 미세먼지, 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 블랙카본 등 기후변화 원인물질이 다량 배출되어 지구 온난화의 중요한 원인으로 대기오염의 심각성이 대두되고 있는 실정이다(Hwang et al., 2008; Lee et al., 2009; Park et al., 2015). 이와 같이 태우기로 인해 산불발생, 미세먼지 발생, 생물서식처 단절 등의 원인제공으로 긍정적 효과보다는 부정적인 효과가 증가하기 시작하여 최근 관계부처에서는 농촌지역 불법소각 합동 점검을 실시하고 있으며 폐기물관리법 제2조, 산림보호법 제53조, 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 제21조 등 농촌의 불법 소각을 점검하여 농민들에게 홍보, 계도, 과태료 부과를 실시하여 논·밭두렁 태우기를 금지하고 있는 추세이다.

논·밭두렁 태우기와 관련한 국내 연구에는 농업 잔재물 소각에 따른 대기오염물질과 관련된 연구(Ko et al., 2004; Seo, 2009; Park et al., 2015; Kim et al., 2016)

와 논둑 태우기로 인한 해충 및 천적상에 미치는 영향에 대한 연구(Kim et al., 1990)와 논둑 태우기로 인한 주변 잡초와 거미상의 변화를 살펴본 연구(Lee and Kim, 2003)가 있으며, 국외 연구에는 베트남 벼짚 연소 방법에 따른 토양 온도 및 미생물에 미치는 영향 연구(Tung et al., 2014), 인도 Punjab 지역의 벼짚 소각 근절을 위한 바이오에너지생산 연구(Trivedi et al., 2017), 인도 그루터기 연소가 건강, 환경, 규정, 관리에 미치는 영향에 대한 연구(Abdurrahman et al., 2020), 인도 논 소각에 대한 지속 가능 대안에 관한 연구(Athira et al., 2019) 등 논 및 벼짚 태우기로 인한 영향에 대해 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 최근 국내 논·밭두렁 태우기와 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 논 및 논두렁 태우기에 따른 농경지에 서식하는 월동 해충방제 효과와 태우기 후 생육기 해충 발생량 및 피해에 미치는 영향을 알아보기 위해 연구를 수행하였다. 본 연구는 논·논두렁 태우기로 인한 해충방제 효과를 규명하고 미세먼지, 산불발생, 대기오염 등 다양한 영향을 최소화하기 위한 기초자료 확보를 위해 본 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 동절기 논 및 논두렁 소각 전·후 절지동물상 조사

논포장 및 논두렁 태우기에 따른 절지동물상의 변화를 살펴보고자 전라북도 김제시 부량면 신용리(6필지, 7200평)에 소재하고 있는 농가포장을 시험포장으로 선정하였다(Fig. 1). 그 중 3필지는 논포장 및 논두렁을 태운 소각지(Incineration)와 3필지는 태우지 않은 비소각지(Non-incineration)로 구분하여 2020년~2021년 2년간 2월 초순부터 5월 중순 이양 전까지 2주 간격으로 월동 해충방제 조사를 진행하였다. 소각지, 비소각지의 논 및 논두렁을 0.5 m × 0.5 m quadrat 내 각 3반복으로 충전식 진공흡충기(Battery : 12 DC, 17 Amp-hr, 12.3kg)를 사용하여 1회 조사 시 총 18 sample(소각/비소각, 3지역, 각 3반복)을 망사자루를 이용하여 흡충기로 빨아들인 후 실험실 내에서 현미경을 통해 절지동물상 분류를 가능한 과(Family)수준까지 동정을 실시하였다. 동정을 통해 기능군별로 해충, 익충(천적), 기타(비해충)를 분류하였고 채집시기에 따라 Table 1의 생물군집구조 조사 지표를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Indicators of biotic community structure survey

1. Diversity Index(H' , Shannon & Weaver, 1949)	
$H' = - \sum_{i=1}^n (n_i/N) \cdot \ln(n_i/N)$	
n : Number of appearances,	
n_i : Number of species,	
N : Total number of individuals	
2. Dominance Index(DI, McNaughton, 1967)	
$C = \sum_{i=1}^n (n_i/N)^2$	n : Number of appearances, n_i : Number of species, N : Total number of Individuals
3. Richness Index(RI, Magalef, 1958)	
$RI = \frac{S-1}{\ln(N)}$	RI : Richness Index S : Total number of species N : Total number of Individuals
4. Evenness Index(EI, Pielou, 1975)	
$EI = \frac{H'}{\ln(S)}$	H' : Diversity Index S : Total number of species

절지동물상 및 기능군별, 생물군집조사 결과의 통계 처리는 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., Release 18)을 이용하여 일원배치분산분석(ANOVA) 및 Duncan's New Multiple Range Test로 95% 수준에서 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 분석하였다.

2.2. 작물생육기 논 소각 전·후 해충 발생량 조사

작물생육기 소각지, 비소각지의 주요해충 발생량 및 피해량 조사를 2020년~2021년 2년간 이양 직후(5월 중순)부터 8월 하순 까지 2주 간격으로 조사를 실시하였다. 주요 해충인 벼멸구(*Nilaparvata lugens*), 애멸구(*Laodelphax striatellus*), 흰등멸구(*Sogatella furcifera*)는 조사구 당 20주 3반복 조사를 실시하였고 흑명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*)은 20주당 피해엽률, 피해주율 및 5회 타락 성충수, 먹노린재(*Scotinophara lurida*)는 20주당 발생 마리수 육안조사 조사구당 3반복, 벼물바구미(*Lissorhoptus oryzaophilus*)는 먹노린재와 동일하게 조사하고 이양직후 5주당 가해엽률 조사를 3반복 실시하였다.

2.3. 소각에 따른 매립깊이별 온도변화 및 해충방제 영향 평가

먹노린재의 서식처로 이용되는 논두렁에서 소각으로 인해 먹노린재 생사에 미치는 영향을 살펴보기 위해 국립농업과학원 내 시험포장에서 소각실험을 추가적으로 실시하였다(Fig. 2). 먹노린재는 논과 인접한 야산에서 채집하였으며, 넓이는 0.5 m × 0.5 m, 깊이는 3 cm, 5 cm, 10 cm 씩 각각 3반복으로 임의적으로 서식처를 구현하였다. 매립구당 30마리, 벳깊은 약 2 kg 정도를 이용하여 2~3분 소각 후 토양 깊이별 토양온도 변화를 살펴보기 위해 온·습도 로거(WatchDog Button logger)를 이용하여 30분 이상 관찰하였고, 먹노린재 생존여부를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 동절기 논 및 논두렁 소각 전·후 절지동물상 변화

동절기 논 및 논두렁 소각에 따른 절지동물상의 변화를 살펴본 결과는 Table 2와 같다. 소각을 하기 전 논과 논두렁의 총 채집된 개체수는 '20년 1593개체, '21년 3984 개체로 확인되었다. '20년에는 논보다 논두렁에서

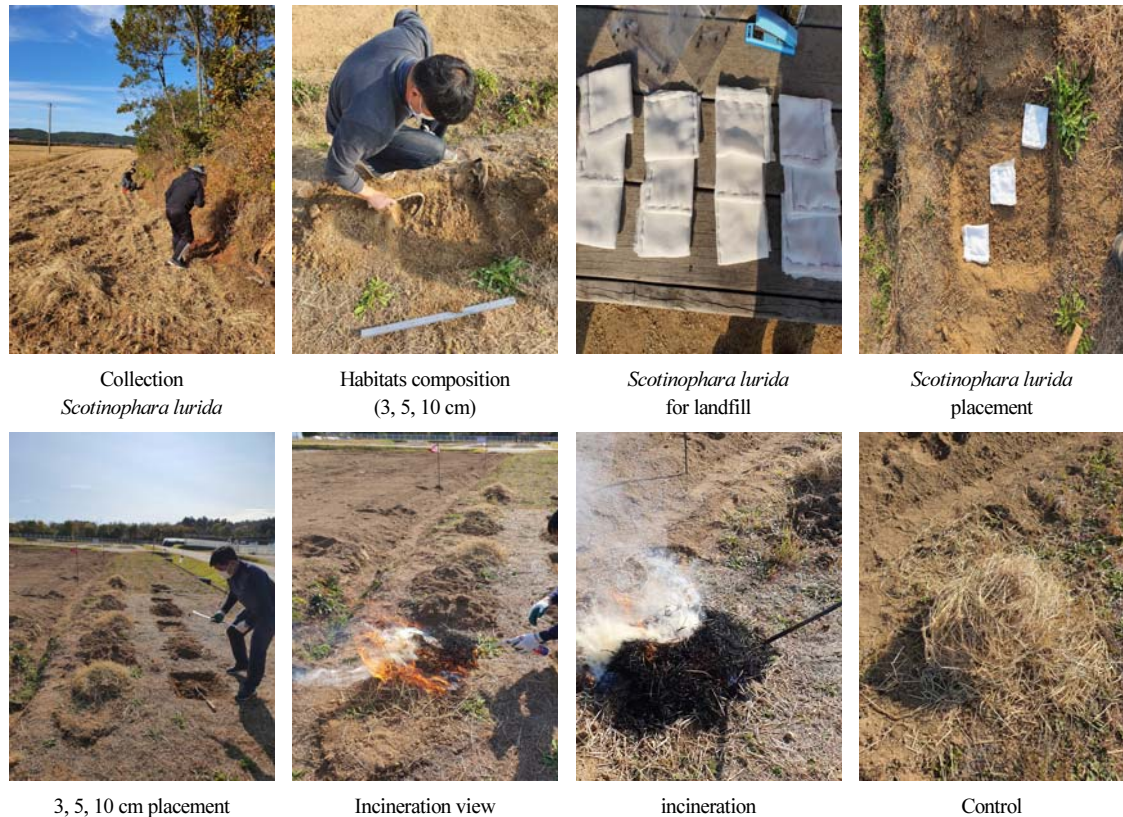


Fig. 2. Investigation of the effect of incineration on *Scotinophara lurida* by depth of landfill (habitats).

더 높은 밀도로 확인되었고($p < 0.05$), '21년에는 논과 논두렁의 비슷한 밀도 수준으로 확인되었다. 소각이 이루어진 후 1차 조사에서 '20년 논두렁은 289.3(± 79.30)개체에서 62.7(± 24.23)개체로 감소하였고 '21년 논두렁에서는 288.7(± 46.03)개체에서 46.3(± 11.97)으로 소각의 영향으로 절지동물 개체수가 줄어든 것으로 판단된다. 반면 소각을 하지 않은 비소각 논두렁의 경우 '20년 164.3(± 5.99)개체에서 27.7(± 7.22)개체, '21년 355.0(± 94.10)개체에서 320.7(± 132.08)개체, 논은 '20년 56.3(± 13.10)개체에서 236.0(± 76.89)개체, '21년 393.7(± 87.93)개체에서 182.7(± 57.05)개체로 분석되어 절지동물 개체수의 큰 변화는 나타나지 않았다. 또한 소각 처리구의 절지동물 밀도가 소각 이전 수준으로 회복하는데 4주 이상 오랜 시간이 걸리는 것으로 확인된다. 1차~4차 조사에서 소각 논·논두렁, 비소각 논·논두렁의 절지동물 개체수 간 차이에 따른 통계적 유의성은 확인되지 않

았으며, 벼 이앙 전 물을 댄 시기인 5차 조사에서는 2년간 비소각 논두렁과 소각 논두렁의 차이가 확인되었다($p < 0.01$).

채집시기별 절지동물의 기능군별 밀도변화를 분석하였다(Fig. 3). 기능군별 익충류(Useful insects)에는 툴레기류(Collembola sp.), 거미류(Arachnida sp.), 벌류(Hymenoptera sp.) 등, 해충(Insect pests)에는 파리류(Diptera sp.), 멸구류(Delphacidae sp.), 진딧물류(Aphididae sp.), 응애류(Mite sp.), 잎벌류(Tenthredinidae sp.) 등, 기타류(The other arthropod)에는 달팽이류(Snail sp.), 깔따구류(Chironomus sp.) 등으로 분류하였다. 소각 이전부터 5차 조사까지 채집시기별로 살펴본 결과 '20년보다 '21년 채집된 개체수가 많은 것으로 확인되며, 기능군별로 익충류 > 해충류 > 기타류 순으로 2년간 동일한 결과를 나타내었다. 총 채집된 개체 중 논보다 논두렁에서 많은 개체수가 나타난 것은 이용형태에

Table 2. Changes in the collection density of arthropods due to incineration of paddy fields and paddy fields levee(2020-2021)

Classification		Incineration (M±S.E.)		Non-incineration (M±S.E.)		Total arthropods	F-value ¹⁾
		Paddy field	Paddy field levee	Paddy field	Paddy field levee		
Burning before	2020	21.0 ^b ±4.97	289.3 ^a ±79.30	56.3 ^b ±13.10	164.3 ^{ab} ±5.99	1593	5.977*
	2021	290.7±43.68	288.7±46.03	393.7±87.93	355.0±94.10	3984	N.S.
1st	2020	76.3±9.30	62.7±24.23	236.0±76.89	27.7±7.22	1208	N.S.
	2021	13.0±6.34	46.3±11.97	182.7±57.05	320.7±132.08	1688	N.S.
2nd	2020	67.3±11.86	54.7±36.48	57.0±14.70	116.3±47.85	1014	N.S.
	2021	143.7±19.58	43.0±6.80	120.7±47.18	207.7±95.20	1545	N.S.
3rd	2020	24.0±4.97	41.7±6.90	277.0±111.34	142.7±80.00	1456	N.S.
	2021	57.7±24.02	4.3±0.54	8.0±1.41	66.7±21.59	410	N.S.
4th	2020	31.0±11.78	25.7±5.19	24.3±7.49	20.7±8.72	305	N.S.
	2021	4.7 ^b ±1.52	15.7 ^b ±3.81	144.3 ^{ab} ±53.26	197.7 ^a ±47.69	1087	4.741*
5th	2020	-	105.7 ^b ±30.20	-	236.3 ^a ±27.82	1026	19.918***
	2021	-	84.3 ^a ±27.14	-	121.7 ^a ±16.74	618	9.886**

* Test result is statistically significant level at the P = 0.05 (*), 0.01 (**), 0.001 (***), N.S = Not significant

1) The result is according difference by treatment, Lower case letters. a>b>c..., - : Can't investigate because of the rice paddy fields through water

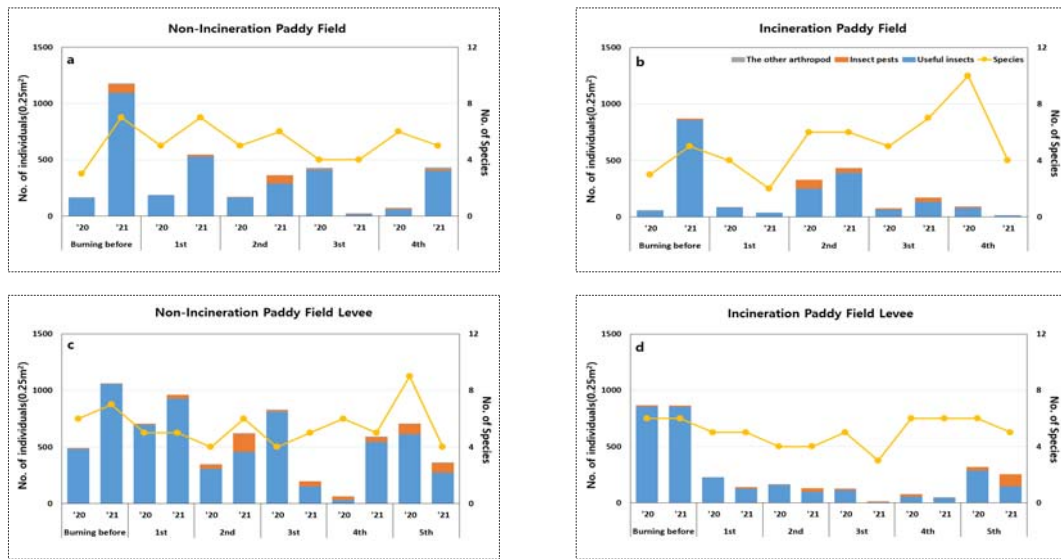


Fig. 3. Density change by Arthropods functional group by collection period from 2020 to 2021.

따른 절지동물의 밀도와 종구성이 변동하기 때문인 것으로 사료된다(Eo et al., 2019). 익충류(Useful insects) 중 높은 밀도를 보인 톱토기류(Collembola sp.)는 토양 미소절지동물로 토양질 평가를 위한 표준 종으로 이용되

기도 하며 토양 pH 변화에도 민감하게 반응하는 종으로(), 유기물이나 Na, Ca, Al과 같은 성분에 의해 군집 구성이 영향을 받고 토양에 유입되는 식물체를 약 20% 분해하는 것으로 알려져 있다(Jaeger and Eisenbeis,

Table 3. Arthropod community analysis following incineration of paddy fields and paddy fields levee (2020-2021)

Classification	Burning before		1st		2nd		3st		4th		5th		Mean (\pm S.D.)		
	'20	'21	'20	'21	'20	'21	'20	'21	'20	'21	'20	'21	'20	'21	
(H)	N.I.P	0.82	0.52	0.23	0.82	0.70	0.98	0.16	0.98	0.89	0.50	-	-	0.56 (\pm 0.31)	0.76 (\pm 0.22)
	I.P	0.40	0.44	0.56	0.49	0.33	0.70	0.87	0.70	1.22	0.12	-	-	0.68 (\pm 0.33)	0.49 (\pm 0.22)
	N.I.P.L	0.53	0.26	0.28	0.36	0.38	0.41	0.62	0.41	1.47	0.07	0.95	0.56	0.70 (\pm 0.40)	0.34 (\pm 0.15)
	I.P.L	0.34	0.34	0.38	0.13	0.57	0.56	1.09	0.56	1.31	0.54	1.31	0.62	0.83 (\pm 0.42)	0.46 (\pm 0.17)
(EI)	N.I.P	0.75	0.27	0.14	0.51	0.51	0.55	0.12	0.31	0.5	0.35	-	-	0.40 (\pm 0.24)	0.40 (\pm 0.11)
	I.P	0.37	0.23	0.35	0.25	0.21	0.39	0.54	0.08	0.53	0.47	-	-	0.40 (\pm 0.12)	0.28 (\pm 0.13)
	N.I.P.L	0.29	0.15	0.21	0.22	0.27	0.29	0.34	0.06	0.82	0.11	0.43	0.41	0.39 (\pm 0.20)	0.21 (\pm 0.12)
	I.P.L	0.19	0.21	0.23	0.18	0.32	0.31	0.68	0.28	0.73	0.05	0.73	0.38	0.48 (\pm 0.24)	0.24 (\pm 0.10)
(RI)	N.I.P	0.39	0.86	0.61	0.58	0.51	0.78	0.45	0.75	1.17	0.63	-	-	0.63 (\pm 0.28)	0.72 (\pm 0.10)
	I.P	0.48	0.85	0.74	0.95	0.78	0.85	0.94	0.94	1.99	0.66	-	-	0.99 (\pm 0.52)	0.85 (\pm 0.11)
	N.I.P.L	0.81	0.74	0.68	0.81	0.59	0.62	0.83	0.78	1.21	1.30	1.07	0.51	0.86 (\pm 0.21)	0.79 (\pm 0.25)
	I.P.L	0.74	0.59	0.76	0.27	0.94	0.82	0.83	1.16	1.15	1.14	0.87	0.72	0.88 (\pm 0.14)	0.79 (\pm 0.31)
(DI)	N.I.P	0.26	0.08	0.02	0.23	0.17	0.30	0.01	0.09	0.16	0.14	-	-	0.12 (\pm 0.10)	0.17 (\pm 0.09)
	I.P	0.07	0.05	0.09	0.13	0.08	0.17	0.17	0.00	0.19	0.19	-	-	0.12 (\pm 0.05)	0.11 (\pm 0.07)
	N.I.P.L	0.08	0.03	0.02	0.06	0.08	0.05	0.09	0.00	0.42	0.01	0.21	0.14	0.15 (\pm 0.13)	0.05 (\pm 0.05)
	I.P.L	0.02	0.04	0.04	0.01	0.08	0.15	0.34	0.07	0.38	0.00	0.38	0.12	0.21 (\pm 0.16)	0.07 (\pm 0.05)

* N.I.P : Non-Incineration Paddy field, I.P : Incineration Paddy field, N.I.P.L : Non-Incineration Paddy field Levee, I.P.L : Incineration Paddy field Levee; H' : Diversity Index, EI : Evenness Index, RI : Richness Index, DI : Dominance Index; - : Can't investigate because of the rice paddy fields through water

1984; Fountain et al., 2005; Culliney, 2013; Maunsell et al., 2013). 하지만 소각으로 인해 불이 지속적으로 유지될 경우 토양 속의 유기물까지 태워 토양 영양함량에 영향을 미칠 수 있으며, 소각 이전의 토양으로 원상 복귀 되기 위해서는 N, K는 최소 14~27년, Na, Ca, Mg는 7년, P는 67~83년의 긴 시간이 필요하고 다량의 봄비로 인해 소각한 논둑은 표토유실을 유발할 수 있다(Garren, 1943; Kinako and Gimingham, 1980; Lee and Kim, 2003). 이러한 영향으로 인해 토양 지표에 서식하는 절지동물의 서식처와 산란지의 피해 및 토양 화학성의 변화, 식물상의 변화도 줄 수 있다(De Bruyn et al., 2001; Wolkovich, 2010). 따라서 절지동물의 기능별 밀도변화 결과 해충방제를 위한 논-논두렁의 소각 효과는 미미하고 해충보다 익충의 피해가 더 큰 것으로 분석되었다.

채집된 절지동물의 군집분석 결과(Table 3), 종다양도지수(H')는 '20년 비소각 논은 소각이전 0.82에서 소각 후 0.23으로 감소하였으며, 소각 논은 0.40에서 0.56

로 증가, 비소각 논두렁은 0.53에서 0.28로 감소, 소각 논두렁은 0.34에서 0.38로 증가하였으며, 평균 종다양도 지수가 소각, 비소각지 논-논두렁의 유의적인 변화는 확인되지 않았다($P<0.05$). 평균 종균등도지수(EI)는 '20년 비소각 논 0.42(\pm 0.24), 소각 논 0.40(\pm 0.12), 비소각 논두렁 0.39(\pm 0.20), 소각 논두렁 0.48(\pm 0.24), '21년 비소각 논 0.40(\pm 0.11), 소각 논 0.28(\pm 0.13), 비소각 논두렁 0.21(\pm 0.12), 소각 논두렁 0.24(\pm 0.10)으로 유의적인 변화는 확인되지 않았다. 종풍부도 지수(RI)의 변화는 '20년 비소각 논은 0.39~1.17, 소각 논은 0.48~1.99, 비소각 논두렁은 0.59~1.21, 소각 논두렁은 0.74~1.15로 변화를 보였으며, '20년 ~'21년 평균 종풍부도 지수 소각, 비소각지 논-논두렁의 유의적인 변화는 확인되지 않았다. 우점도 지수(DI) 또한 '20년 ~'21년 소각, 비소각지 논-논두렁의 유의적인 변화는 확인되지 않았다. 소각지, 비소각지의 종다양도, 종풍부도, 종균등도, 우점도 지수는 시기에 따른 차이는 확인되었지만, 소각으로 인한

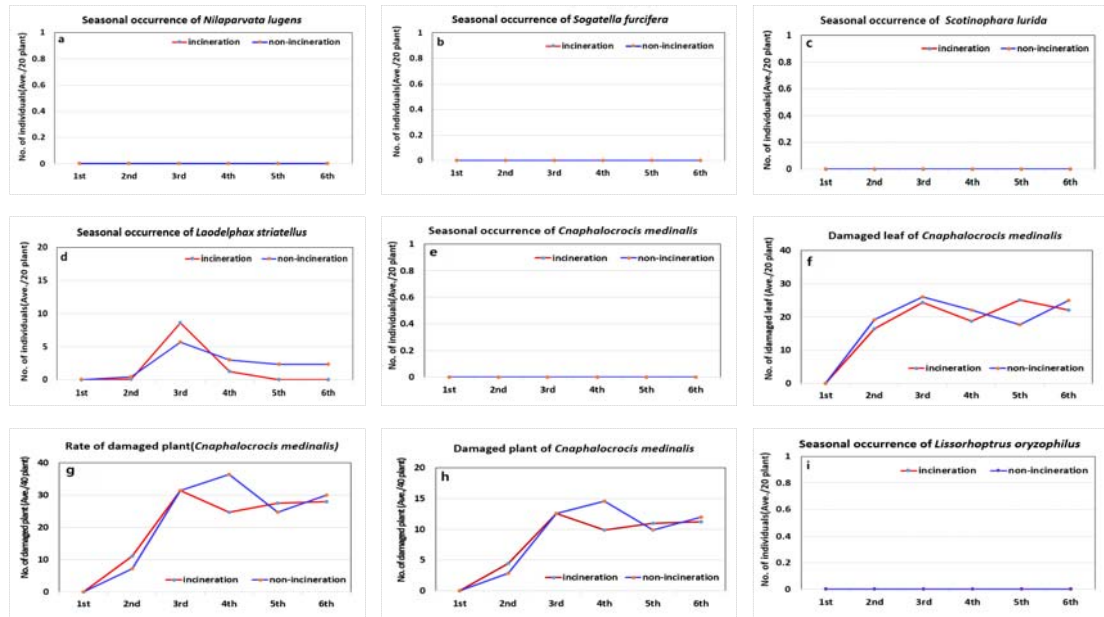


Fig. 4. Changes in pest density in paddy fields due to incineration in 2020.

(a : *Nilaparvata lugens*, b : *Sogatella furcifera*, c : *Scotinophara lurida*, d : *Laodelphax striatellus*, e,f,g,h : *Cnaphalocrocis medinalis*, I : *Lissorhoptrus oryzophilus*)

차이는 나타나지 않았다. 추후 소각으로 인해 영향을 미치는 토양 화학성, 토양 물리성, 토양 절지동물, 기후 등 다양한 인자를 조사하여 인자들 간의 상관관계를 알아보는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3.2. 작물생육기 논 소각 전·후 해충 발생량 변화

벼 이앙 시작 된 후 작물 생육기 소각지와 비소각지 논 의 주요해충 6종(벼멸구, 애멸구, 흰등멸구, 먹노린재, 흑명나방, 벼물바구미)을 대상으로 발생량 및 피해량 조사를 하였다. 벼에 가해를 하는 주요해충인 벼멸구 (*Nilaparvata lugens*), 흰등멸구(*Sogatella furcifera*)는 6월 하순부터 7월 상순 비래하여 피해를 주고 흑명나방 (*Cnaphalocrocis medinalis*)은 7월 상순에 비래하는 것으로 알려져 있다(Choi, 1973; Hu et al., 2014; Kim and Park, 2018). '20년 주요해충 6종 분석결과(Fig. 4), 벼멸구, 흰등멸구, 먹노린재, 벼물바구미의 발생량은 극히 미미 하였다. 애멸구(*Laodelphax striatellus*)는 주로 4령충으로 논둑에서 월동하여 4월~5월 초 성충이 되어 논으로 이동하는 것으로 알려져 있으며(Hyun et al., 1977; Bae et al., 1995; Park et al., 2018), 2차 조사

(7/2)부터 소각지에서 20주당 평균 0.11~8.56마리가 발생하였고 비소각지는 20주당 평균 0.44~5.67마리가 발생하였으나 경제적 피해 밀도 수준 이하로 발생하였다. 또한 소각, 비소각지 조사지 간 발생량 차이는 확인되지 않았다. 흑명나방은 7월 하순부터 8월 상순에 성충 발생 최성기로 본 조사에서는 성충의 발생은 관찰되지 않았으나 피해량은 관찰되었다(Kim and Choi, 1984). 2차 조사부터 40주당 피해주수는 소각논 4.44~12.56, 비소각논 2.89~14.56으로 확인되었다. 40주당 피해주율은 소각논은 11.11~31.39%, 비소각논 7.22~36.39%로 나타나 소각에 따른 피해량 차이는 확인되지 않았다. '21년 주요해충 6종 분석결과(Fig. 5), 애멸구를 제외한 5종의 발생 및 피해는 관찰되지 않았다. 소각지에서 애멸구는 20주당 평균 0.11~3.11마리, 비소각지는 0.11~10.67마리로 경제적 피해 밀도 수준 이하로 발생하였다. 소각지, 비소각지의 2차조사에서 일시적으로 비소각지의 애멸구 발생이 높게 나타난 것은 소각의 영향을 받은 것으로 생각되어지나(Lee and Yoo, 1974), 논둑이나 휴반에서 월동한 성충이 맥류에서 증식한 후 이동한 개체가 거나(Hyun et al., 1977), 5월 하순부터 6월 상순사이에

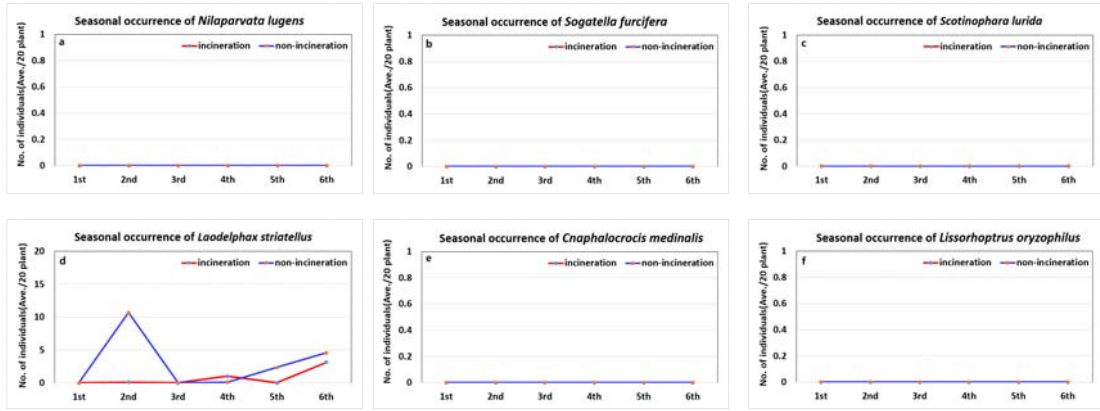


Fig. 5. Changes in pest density in paddy fields due to incineration in 2021. (a : *Nilaparvata lugens*, b : *Sogatella furcifera*, c : *Scotinophara lurida*, d : *Laodelphax striatellus*, e : *Cnaphalocrocis medinalis*, f : *Lissorhoptrus oryzophilus*)

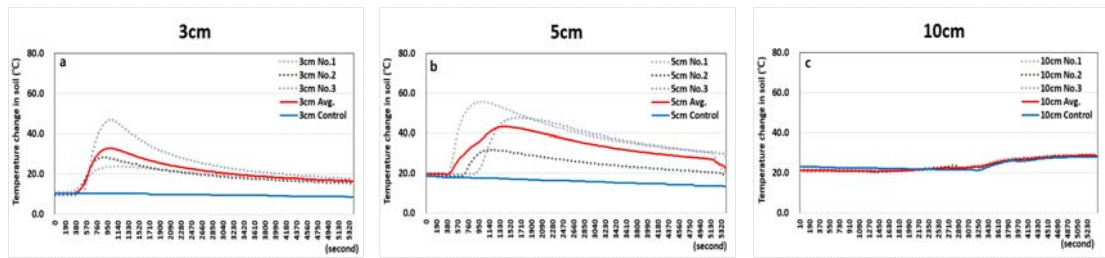


Fig. 6. Soil temperature change by depth of landfill following incineration.

기류를 타고 중국 남동부에서 서남해안으로 이동한 개체 인지에 대한 지속적인 조사가 필요한 것으로 사료된다 (Otuka et al., 2012).

3.3. 소각에 따른 매립깊이별 온도변화 및 해충방제 영향 평가

먹노린재(*Scotinophara lurida*)는 1997년 충청도 지역에서 발생하기 시작하여 중·산간지역을 대상으로 작물의 즙액을 흡즙, 반점미 등의 피해를 주며 점차적으로 발생면적이 증가하고 있는 추세이다(Lee, 1971; Gwon, 1999; Lee et al., 2001; Goh et al., 1988). 먹노린재의 월동처는 산기슭, 제방, 논두렁, 논, 낙엽 밑 등 햇빛이 잘 비추는 남향에 물 빠짐이 좋은 미사질 양토, 논두렁에 놓인 돌 아래 부분을 선호하는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2004; Choi et al., 2020). 국내 벼의 주요해충으로 알려진 먹노린재를 대상으로 먹노린재의 서식처로 이용

되는 논, 논두렁의 소각으로 인해 매립깊이에 따른 온도 변화와 해충방제 효과를 알아보기로 하여 실험을 진행하였다 (Fig. 2). 소각시간은 2~3분으로 깊이에 따른 온도 변화를 살펴본 결과(Fig. 6), 깊이 3 cm에서는 3반복 평균 10.1~46.9℃의 범위로 온도변화가 확인되었고, 5 cm는 18.6~55.9℃, 10 cm는 20.3~28.9℃의 범위로 확인되었다. 3 cm 깊이의 반복실험에서 토양 속 온도가 최고 55.9℃까지 상승하는 구간이 있었으나 그 지속시간이 짧아 먹노린재 생사에 영향을 미치지 못하는 것으로 확인되었다. 온도변화에 따라 매립구당 30마리 생충율을 분석한 결과(Table 4), 3 cm 깊이에서 평균 95~100%, 5 cm 깊이는 평균 93.3~100%, 10 cm 깊이는 100%로 분석되었으며 통계적 차이도 확인되지 않았다. 논·논두렁에서 월동하는 해충은 소각으로 따른 방제효과는 미미한 것으로 보여진다(Kim et al., 1990).

Table 4. Life or death of *Scotinophara lurida* by depth of landfill according to incineration.

Classification	Life (Num.)	Death (Num.)	Survival rate (%)	
3cm	1st	39	1	97.5
	2nd	38	2	95.0
	3rd	40	0	100
	control	40	0	100
5cm	1st	30	0	100
	2nd	29	1	96.67
	3rd	28	2	93.33
	control	30	0	100.0
10cm	1st	40	0	100.0
	2nd	40	0	100.0
	3rd	40	0	100.0
	control	40	0	100.0

4. 결론

본 연구에서는 논 및 논두렁 태우기에 따른 농경지에 서식하는 월동 해충방제 효과와 생육기 해충 발생량 및 피해량에 미치는 영향을 알아보기 위해 연구를 수행하였다.

소각 전·후 절지동물의 총 개체수는 소각으로 인한 영향으로 전체적으로 감소하는 경향으로 나타났으며, 소각 처리구의 절지동물 밀도가 소각 이전 수준으로 회복하는데 4주 이상 오랜 시간이 걸리는 것으로 확인되었다. 기능군별 밀도변화를 분석한 결과 익충류 > 해충류 > 기타류 순으로 해충방제를 위한 논·논두렁의 소각 효과는 미미하고 해충보다 익충의 피해가 더 큰 것으로 분석되었다. 채집된 절지동물의 군집분석 결과, 소각지, 비소각지의 종다양도, 종풍부도, 종균등도, 우점도 지수는 시기에 따른 차이는 확인되었지만, 소각으로 인한 차이는 나타나지 않았다. 벼 이앙 시작 된 후 작물 생육기 소각지와 비소각지 논·논두렁의 주요해충의 발생량 및 피해량 조사결과 '20년 벼멸구, 흰등멸구, 먹노린재, 벼물바구미의 발생량은 극히 미미 하였다. 애멸구는 경제적 피해 밀도 수준 이하로 발생하였고 흑명나방의 성충은 관찰되지 않았으나 피해는 확인되었다. '21년에는 경제적 피해 밀도 수준 이하로 발생한 애멸구를 제외한 5종의 발생 및 피해는 관찰되지 않았다. 조사기간 동안 일시적으로 비소각지의 애

멸구 발생이 높게 나타난 것은 논둑이나 휴반에서 월동한 성충이 맥류에서 증식한 후 이동한 개체이거나 5월 하순부터 6월 상순사이에 기류를 타고 중국 남동부에서 서남해안으로 이동한 개체인지에 대한 조사가 부족한 점은 본 연구의 한계로 사료된다.

본 연구 결과 소각으로 인한 해충방제 효과는 해충의 밀도뿐만 아닌 익충류(천적류), 비해충류 까지 모두 감소시키고 생육기 주요해충의 차이는 확인되지 않으며, 월동하는 해충의 생존에 미치는 영향은 미미하여 논 및 논두렁 태우기는 해충방제효과는 매우 낮은 것으로 판단된다. 향후 논·밭두렁 태우기 금지 권고를 위한 농업인, 일반인 대상 및 전문가 조사와 태우기로 인한 미세먼지 발생량 등의 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 이러한 다방면의 연구들을 통해 소각으로 인한 해충방제 효과, 산불발생, 대기오염 등 다양한 부정적인 영향을 최소화하고 불필요한 소각행위, 미세먼지 발생량 억제 등 지속가능한 농업환경을 조성하기 위한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업(과제번호:PJ0153002021)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Abdurrahman, M. I., Chaki, S., Saini, G., 2020, Stubble burning: Effects on health & environment, regulations and management practices, *Environmental Advances*, 2, 100011.

Athira, G., Bahurudeen, A., Appari, S., 2019, Sustainable alternatives to carbon intensive paddy field burning in India: A framework for cleaner production in agriculture, energy, and construction industries, *Journal of Cleaner Production*, 236, 117598.

Bae, S. D., Song, Y. H., Park, K. B., 1995, Study on the bionomics of overwintering small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallen, in Milyang, *Korean J. Appl. Entomol.*, 34, 321-327.

Choi, D. S., Kim, H. J., Oh, S. A., Lee, J. H., Cho, A. H., Ma, K. C., 2020, Developmental ecology and temperature

- dependent development model of *scotinophara lurida* (Heteroptera: Pentatomidae), Korean J. Org. Agric., 28, 251-261.
- Choi, K. M., 1973, *Cnaphalocrocis medinalis* G. rice leaf folder. Literature review of Korea rice pests, Ins. Agr. Sci. O.R.D., 17-18.
- Culliney, T. W., 2013, Role of arthropods in maintaining soil, fertility. Agriculture, 3, 629-659.
- De Bruyn, L., Thys, S., Scheirs, J., Verhagen, R., 2001, Effects of vegetation and soil on species diversity of soil dwelling diptera in a heathland ecosystem., J. Insect Conserv., 5, 87-97.
- Eo, J. U., Kim, M. H., Nam, H. K., Song, Y. J., 2019, Effect of agricultural land use on abundance, community structure and biodiversity of epigeic arthropods, Korean J Environ Agric., 38, 139-144.
- Fountain, M. T., Hopkin, S. P., 2005, *Folsomia candida* (Collembola): a "standard" soil arthropod. Annu. Rev. Entomol., 50, 201-222.
- Garren, K. H., 1943, Effects of fire on vegetation of the southeastern United States, Bot. Rev., 9, 617-654.
- Goh, H. G., Kim, Y. H., Lee, Y. I., Choi, G. M., 1988, Occurrence of peckey rice and species of bugs at paddy field, RDA. J. Agri. Sci., 30, 47-51.
- Grren, K. H., 1943, Effects of fire on vegetation of the southeastern United States, Bor. Rev., 9, 617-654.
- Gwon, Y. J., 1999, Classification of the Hemiperea and Homoptera from Korea, 299.
- Hu, G., Lu, F., Zhai, B. P., Lu, M. H., Liu, W. C., Zhu, F., Wu, X. W., Chen, G. H., Zhang, X. X., 2014, Outbreaks of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (stal) in the Yangtze river delta: immigration or local reproduction?, PLoS ONE, 9, e88973.
- Hwang, I. J., Cho, Y. H., Choi, W. G., Lee, H. M., Kim, T. O., 2008, Quantitative estimation of PM₁₀ source contribution in Gumi city by the positive matrix factorization model, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 24, 100-107.
- Hyun, J. S., Woo, K. S., Ryoo, M. I., 1977, Studies on the seasonal increase of the population of the smaller brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallen), Korean J. Plant Prot., 16, 13-19.
- Jaeger, G., Eisenbeis, G., 1984, pH-dependent absorption of solutions by the ventral tube of *Tomocerus flavescens* (Tullberg, 1871) (Insecta, Collembola), Rev. Ecol. Biol. Sol., 21, 519-531.
- Kim, D. Y., Choi, M. A., Han, Y. H., Park, S. K., 2016, A Study on estimation of air pollutants emission from agricultural waste burnig, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 32, 167-175.
- Kim, H. S., 2002, Broad-casting Scenario, KTV.
- Kim, H. S., Lee, Y. I., Lee, H. P., 1990, Effect of levee -burning of insect pests and natural enemies, Kor. J. Appl. Entomol., 29, 209-215.
- Kim, K. C., Choi, C. S., 1984, Studies on the bionomies and analysis of damage of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* G. in South region of Korea. Rural Dev. Rev., 19, 25-32.
- Kim, K. M., Park, Y. H., 2018, Studies of the life cycle and rearing methods of whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera* Horváth), J. Life Sci., 28, 357-360.
- Kinako, P. D. S., Gimingham, C. H., 1980, Heather burning and soil erosion on the upland heath in scotland, U. K. J. Env. Manag., 10, 277-284.
- Ko, J. Y., Kang, H. W., Lee, J. S., Kim, C. S., Park, S. T., Kim, B. J., 2004, The impacts of barley straw burning having different moisture contents and harvestin timing on air pollutant emission, J. Korean Environ. Agri., 23, 99-103.
- Lee, C. U., 1971, Dictionary of disease and pest in crops, Yang Hyeon Dang, 969-970.
- Lee, H. W., Lee, T. J., Kim, D. S., 2009, Identifying ambient PM_{2.5} sources and estimating their contributions by analyzing ECs and OCs, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 25, 75-89.
- Lee, K. Y., Ahn, K. S., Kang, H. J., Park, S. K., Kim, T. S. 2001, Host plants and life cycle of rice black bug, *Scotinophara lurida* Bürmeister (Hemiptera: Pentatomidae), Korean J. Appl. Entomol., 309-313.
- Lee, S. C., Yoo, J. K. 1974, Experiment on control of the smaller rice leaf hopper, I. A. S. Res., 134-143.
- Lee, Y. I., Kim, K. H., 2003, Influence of levee-burning on the surroundings of rice paddies, Korean J. Appl. Entomol., 42, 345-352.
- Lee, K. Y., Park, S. K., Ahn, K. S., Choi, B. R., 2004, Overwintering site and seasonal occurrence of the rice black bug *scotinophara lurida* BÜRMEISTER (Hemiptera: Pentatomidae) in the rice paddy field, Korean J. Appl. Entomol., 43, 291-296.
- Margalef, R. 1958, Information theory in ecology, General Systems, 3, 36-71.

- Maunsell, S. C., Kitching, R. L., Greenslade, P., Nakamura, A., Burwell, C. J., 2013, Springtail (Collembola) assemblages along an elevational gradient in Australian subtropical rainforest, *Aust. J. Entomol.*, 52, 114-124.
- McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- Otuka, A., Zhou, Y., Lee, G. S., Matsumura, M., Zhu, Y., Park, H. H., Liu, Z., Sanada-morimura, S., 2012, Prediction of overseas migration of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae) in East Asia, *Appl. Entomol. Zool.*, 47, 379-388.
- Park, S. K., Hong, Y. S., Kim, D. K., Kim, D. Y., Jang, Y. K., 2015, Emission of air pollutants from agricultural crop residues burning, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 31, 63-71.
- Park, T. C., Choe, H. J., Jang, H. J., Kim, K. H., Park, J. J., 2018, Spatial pattern analysis for distribution of migratory insect pests at paddy field in Jeolla-province, *Korean J. Appl. Entomol.*, 57, 361-372.
- Pielou, E. C., 1975, *Ecological Diversity*, John Wiley, New York, 165.
- RDA, 1989, Pest control IN : food increase technology focused guidance direction, RDA, 188-179.
- Seo, Y. H., 2009, Determination of levoglucosan and organic and elemental carbon in PM10 particles collected from biomass burning, rice staw, *J. Korea Soc. Environ. Administ.*, 15, 110-117.
- Shannon, C. E., Weaver, W., 1949, *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL., 117.
- Trivedi, A., Verma, A. R., Kaur, S., Jha, B., Vijay, V., Chandra, R., Vijay, V. K., Subbarao, P. M. V., Tiwari, R., Hariprasad, P., Prasad, R., 2017, Sustainable bio-energy production models for eradicating open field burning of paddy straw in Punjab, India, *Energy*, 127, 310-317.
- Tung, N. S., Cu, N. X., Hai, N. X., 2014, Impact of rice straw burning methods on soil temperature and microorganism distribution in the paddy soil ecosystem, *J. Agri. Biological Sci.*, 9, 157-160.
- Wolkovich, E. M., 2010, Nonnative grass litter enhances grazing arthropod assemblages by increasing native shrub growth, *Ecology*, 91, 756-766.
-
- Postdoctoral Researcher. Min-Jae Kong
National Institute of Agricultural Sciences, RDA
alswogud@korea.kr
 - Postdoctoral Researcher. Sung-Wook Jeon
National Institute of Agricultural Sciences, RDA
sw3109@korea.kr
 - Researcher. Kyoung-Hwa Kwon
National Institute of Agricultural Sciences, RDA
hwa417@korea.kr
 - Researcher. Soon-I Song
National Institute of Agricultural Sciences, RDA
sse3649@korea.kr
 - Research Scientist. Kwang-Ho Kim
National Institute of Agricultural Sciences, RDA
ecomanager@korea.kr