Korean J. Org. Agric.
Volume 27, Number 1: 77-86, February 2019
http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2019.27.1.77

ISSN 1229-3571 (Print)
ISSN 2287-819X (Online)

제주 유기 감귤 과수원의 두과피복작물 재배에 따른 지렁이 분포*

박종호** · 김유경*** · 김용기**** · 한은정**** · 심창기**** · 변영웅**** · 김민정**** · 김용욱****

Earthworm Fauna in Citrus Orchards by Legume Cover Crop Culture in Jeju Island

Park, Jong-Ho · Kim, Yu-Kyoung · Kim, Yong-Ki · Han, Eun-Jung · Shim, Chang-Ki · Byeon, Young-Woong · Kim, Min-Jeong · Kim, Young-Wook

This study was carried out to investigate the effect of legume cover crop culture on earthworm fauna in organic farmland. We compared sod culture with two kinds of legume crops of hairy vetch and crimson clover on organic citrus orchard to natural sod culture and conventional orchards in Jeju Island. We analyzed the soil characteristics and investigated the density of earthworms from the orchards. Organic matter content did not show much difference in soil analysis between organic and conventional orchard. But the biomass of earthworms in organic orchards is 3.8 times to 7.0 times higher than that in conventional cultivated orchards, and individuals of earthworms on organic orchards were 2.3~18 times higher than conventional orchards. The biomass of earthworms on hairy vetch and crimson clover cultivation was 44.8 g, 47.2 g in 2016, and 78.7 g, 31.8 g in 2017, respectively, which were higher than 32.8 g and 9.5 g of those on natural sod cultivation. Through this study, we found that hairy vetch and crimson clover cultivation improve the earthworm occurrence density in the soil on organic citrus orchard.

Key words : *earthworm, citrus orchard, cover crop*

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ012532와 PJ010829)의 지원에 의해 이루어진 것이다. 본 논문이 완성되기까지 지렁이 동정 및 분류 작업을 협조해 주신 전북대학교 홍용 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.
** Corresponding author, 국립농업과학원 유기농업과(jhpark75@korea.kr)
*** 제주특별자치도 농업기술원 친환경연구과
**** 국립농업과학원 유기농업과

Ⅰ. 서 론

농업생태계 내 경작지에는 다양한 토양 소동물들이 군집을 형성하며 상호 유기적인 관계를 맺고 있다. 이들 중 지렁이는 토양의 생물적 및 화학·물리적 환경에 영향을 주는 주요한 생물군이라 할 수 있다. 지렁이는 환형동물문의 빈모류에 속하는 동물로써, 오래전부터 학자들이 토양의 비옥도를 높이는데 중요한 역할을 하는 것으로 판단했다. 기원전 4세기 아리스토텔레스는 “지렁이는 대지의 장이다.”라고 표현하였으며, 찰스다윈 또한 토양을 비옥하게 하는데 있어 “지렁이는 지구상에서 가장 가치 있는 생물이다.”라고 격찬하였다(Darwin, 1881). 지렁이는 섭식과 배설을 통해 토양을 파고 엎는 행동을 함으로써 토양의 물리성과 화학성에 영향을 끼쳐 토양을 비옥하게 하는 기능을 하고 있다(Darwin, 1881; Hong and Kim, 2009). 또한 지렁이의 발생 밀도는 토양의 유기물함량, 경운, 화학농약 투입여부 등 다양한 농경지 재배방식에 의해 변화하여 토양 환경을 예측해 볼 수 있는 지표가 될 수 있다.

유기농업의 지속성은 건강한 토양에서 시작하는 것이므로 토양 환경의 중요한 생물요소인 지렁이에 대한 연구는 매우 중요한 일이다. 이미 국내외로 유기농경지내에 지렁이 분포에 대한 연구는 여러 건이 보고되었으나(Paoletti et al., 1998; Bengtsson et al., 2005; Kim et al., 2007; Carey et al., 2009; Na et al., 2017), 단순히 친환경인증 여부나 토양의 유기물 함량 등 화학적 특성 및 경운을 요인으로 지렁이 발생과의 관련성을 분석한 수준이었다. 유기재배 시 토양관리는 농가별로 다양한 방식으로 이루어지므로 토양 생물상 조사를 위해서는 잡초관리, 피복여부, 녹비활용 등 구체적인 재배방법과 연관성을 분석하는 것이 타당할 것이다. 녹비작물 활용의 경우 유기재배에서 건전한 토양 관리를 위한 중요한 요인 중 하나로, 토양의 양분공급뿐만 아니라 토양 생물환경에도 영향을 끼치지만 토양 내 지렁이와 관련된 연구는 부족한 실정이다.

이에 지렁이가 풍부하게 발생하는 것으로 알려진 친환경재배 과수원(Kim et al., 2007; Na et al., 2017)에서 두과피복작물이 토양 내 지렁이 발생에 끼치는 영향을 알아보고자 본 연구를 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 연구장소 및 시기

본 연구는 제주특별자치도 서귀포시 표선면 가시리의 감귤 유기재배 과수원과 일반재배 과수원 3곳에서 이루어졌다. 유기재배 과수원은 자연초생재배로 토양관리를 하던 곳으로 2015년부터 두과작물인 헤어리베치와 크림슨클로버를 일부 포장에 피복재배하여 기존의

자연초생구와 비교 조사하였다. 대조농장으로는 가시리 내 인근 관행재배 과수원 3곳을 선정하였다. 관행농가 3곳은 잡초방제를 위한 제초제와 병해충방제를 위한 살균·살충제를 모두 사용하는 과수원이었다. 지렁이의 조사는 2016년 6월 2일과 2017년 6월 8일로 총 2년간 2회 실시하였다.

2. 지렁이 채집 및 보관

과수원 포장에서의 지렁이 분포조사는 토양채취를 통해 이루어졌다. 각 조사구는 50 cm× 50 cm 크기의 사각모양으로 삽을 이용하여 15 cm 깊이로 토양을 파서 매트위에 올려놓고 옮겨진 토양 내 지렁이를 채집하였다. 채집위치는 감귤나무와 1.5 m~2 m 가량 떨어진 곳으로 선정하여 2016년 그리고 2017년 각각 4반복과 3반복으로 조사를 수행하였다. 채집된 지렁이는 개체수와 생체중을 측정 후 75% 알코올과 10% 포르말린 용액에서 고정하여 밀봉된 통에 보관하였다.

3. 지렁이 동정 및 분류

종의 동정을 위해 사용한 형질은 수정낭구멍(spermathecal pore)의 위치와 수, 생식돌기(genital tumescences), 생식 결절(tubercula pubertatis), 생식표지(genital marking)의 위치와 모양 등으로, 종 기재는 Hong (2000)의 분류체계를 사용하였다.

4. 토양분석

조사구 별 토양의 특성을 알아보기 위하여 pH (산도), EC (전기전도도), 유기물함량 등 7항목을 조사하였다(Table 1, 2). 토양 조사는 2016년 6월과 2017년 6월 2회 실시하였으며 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하여 분석하였다. 토양시료는 각 시험구별 15 cm 정도 깊이로 5반복으로 채취하였으며 채취한 시료는 음건시킨 후 2 mm 체를 통과시키고 분석에 이용하였다. 토양 pH와 전기전도도(EC)는 토양시료와 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 각각 pH와 전기전도도 meter (Orion 3 Star)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법 그리고 치환성양이온은 1N-ammonium acetate로 침출한 후 ICP (OPTIMA 7300, PerkinElmer)를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Chemical properties of soil from citrus orchards by different soil managements, 2016

Orchards	pH (1:5)	EC (dS/m)	Av.P_2O_5 (mg/kg)	Exch. cation (cmolc kg^{-1})			O.M. (g/kg)
				K	Ca	Mg	
Hairy vetch	5.26	0.76	130	1.19	6.60	1.20	12.1
Crimson clover	5.53	0.52	113	0.69	7.20	1.19	11.7
Common sod culture	4.81	1.09	115	0.76	4.14	0.70	12.2
Conventional-1	5.56	0.45	285	1.22	10.13	4.03	12.3
Conventional-2	5.26	0.26	210	0.62	2.44	1.00	13.0
Conventional-3	5.91	0.67	629	1.67	17.17	5.46	12.2

Table 2. Chemical properties of soil from citrus orchards by different soil managements, 2017

Orchards	pH (1:5)	EC (dS/m)	Av.P_2O_5 (mg/kg)	Exch. cation (cmolc kg^{-1})			O.M. (g/kg)
				K	Ca	Mg	
Hairy vetch	5.50	0.74	119	1.46	6.58	1.23	12.4
Crimson clover	5.70	0.45	114	0.82	7.31	1.91	12.1
Common sod culture	5.44	0.38	153	0.85	5.68	1.21	13.4
Conventional-1	5.58	0.83	293	1.52	9.32	3.18	11.5
Conventional-2	4.81	0.66	313	0.59	3.60	1.01	12.6
Conventional-3	5.99	1.01	642	1.77	8.22	5.04	12.1

5. 자료정리 및 통계분석

채집된 지렁이의 개체 수는 채집한 모든 지렁이의 합을 표기하였다. 생체중은 채취구별 평균을 기록하였고 이에 대한 자료의 분석은 SAS 8.1 (SAS Institute, Cary, NC) 통계프로그램을 이용하였으며 Duncan의 다중검정(DMRT)으로 비교하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

본 연구의 조사지인 서귀포시 표선면 가시리의 감귤원에서 2016년과 2017년에 채집된 지렁이 종은 총 2과 3속 8종이었다. 가장 많이 채집된 지렁이 종은 참지렁이*(Amynthas*

koreanus)와 외무니지렁이(*Amynthas hilgendorfi*)였다. 참지렁이는 우리나라에만 서식하는 것으로 알려진 종으로 국내 농업생태계에서 변이성지렁이(*Amynthas heteropodus*), 밭지렁이(*Amynthas agrestis*)와 함께 가장 많이 발생하는 종으로 알려져 있으며, 외무늬지렁이 또한 농업생태계에서 흔히 발생하는 종으로 알려져 있다(Hong and Kim, 2007).

기존의 제주도 지렁이 조사 연구(Hong et al., 2007)에서 발견하지 못했던 낚시지렁이과(Lumbricidae)가 본 연구에서는 2016년 조사에서 발견되었는데, 그 발생밀도는 높지 않았다. 2006년 국내 농업생태계 지렁이 조사에서 14.7%를 차지한 낚시지렁이과는 제주도에서 채집수가 적은 것으로 미루어 볼 때, 제주도에 정착한 기간이 얼마 안 되거나 제주도의 환경이 생존에 적합지 않은 것으로 판단된다(Kim et al., 2007; Hong and Kim, 2007).

과수원 재배방법 별 지렁이 분포를 비교하기 위해 조사구 별 토양 특성 분석 결과를 보면 가시리 포장 내 자연초생재배구는 피복작물 처리구보다 pH가 낮으며 교환성 칼슘 및 마그네슘 함량도 대체로 낮은 경향을 나타내었다(Table 1, 2). 인근 관행과수원-1은 유기과수원 포장 대비 평균적으로 유효인산, 치환성양이온 함량이 높으나 인근 관행과수원-2 (2016년 기준)포장은 유기과수원 포장과 유사하거나 낮은 경향을 보였다. 그러나 지렁이의 발생밀도에 영향을 끼친다고 알려진 유기물 함량은 두과 피복작물재배구가 일반 초생재배구나 관행재배구와 비교해서 크게 차이가 나지 않았다.

과수원 재배방법 별 지렁이 분포를 토양을 채집하여 지렁이의 생체중을 조사한 결과, 유기재배과수원이 관행재배과수원에 비해 3.8배(2016년)~7.0배(2017년)가 높게 나타났으며(Table 5), 지렁이 개체수도 유기재배과수원이 관행재배과수원에 비해 2.3~18배 높게 나타났다(Table 3, 4). 특히 두과피복작물 재배포장에서 자연초생 재배보다 지렁이 생체중 차이가 크게 나타났는데, 헤어리베치와 크림슨클로버 재배구에서 2016년에는 44.8 g, 47.2 g, 2017년에는 78.7 g, 31.8 g으로 자연초생재배구 32.8 g, 9.5 g보다 각각 높게 나타났다.

Table 3. Occurrence of earthworm at various phases of citrus orchard in Jeju Island, 2016

Species	*HV **c/sc/ac	CC c/sc/ac	CS c/sc/ac	C-1 c/sc/ac	C-2 c/sc/ac	C-3 c/sc/ac	No. total c/sc/ac
Family Lumbricidae							
Aporrectodea Caliginosa	0/0/0	0/0/0	0/0/0	3/0/1	0/0/0	0/0/0	3/0/1
Bimastos parvus	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0	1/0/8	1/0/8
Family Megascolecidae							
Amynthas agrestis	0/0/0	0/0/0	0/0/0	2/4/0	0/0/0	0/0/0	2/4/0
Amynthas corticis	0/0/0	1/0/0	1/1/0	1/0/0	3/2/6	1/0/0	7/3/6
Amynthas heteropodus	0/6/5	0/5/12	5/2/27	0/0/5	2/0/0	0/0/0	7/13/49

Species	*HV **c/sc/ac	CC c/sc/ac	CS c/sc/ac	C-1 c/sc/ac	C-2 c/sc/ac	C-3 c/sc/ac	No. total c/sc/ac
Amynthas hilgendorfi	4/7/19	5/4/43	1/0/22	0/0/4	0/0/0	0/0/0	10/11/88
Amynthas koreanus	8/8/75	2/3/61	0/0/11	1/0/33	3/0/15	0/0/23	14/11/218
Amynthas sp.	1/2/3	0/0/9	2/0/9	7/0/0	0/0/13	2/0/1	12/2/35
No. total	13/23/102	8/12/125	9/3/69	14/4/43	8/2/34	4/0/32	56/44/405

* HV: Hairy vetch, CC: Crimson clover, CS: Common sod culture, C-1~3: Conventional
** c: clitellate; sc: semiclitellum, ac: aclitellate

Table 4. Occurrence of earthworm at various phases of citrus orchard in Jeju Island, 2017

Species	*HV **c/ac	CC c/ac	CS c/ac	C-1 c/ac	C-2 c/ac	C-3 c/ac	No. total c/sc/ac
Family Megascolecidae							
Amynthas corticis	0/0	0/0	4/3	0/1	1/0	0/0	5/4
Amynthas hilgendorfi	27/62	9/45	0/0	0/0	0/0	4/5	40/112
Amynthas koreanus	9/106	3/10	5/7	0/0	0/3	2/14	19/140
Amynthas sp.	0/0	0/0	0/0	0/9	0/5	0/10	0/24
No. total	36/168	12/55	9/10	0/10	1/8	6/29	64/280

* HV: Hairy vetch, CC: Crimson clover, CS: Common sod culture, C-1~3: Conventional
** c: clitellate; ac: aclitellate

Table 5. Fresh weight of earthworm at various phases of citrus orchard in Jeju Island

Orchards	2016*	2017**
Hairy vetch	44.8 a	78.7 a
Crimson clover	47.2 a	31.8 b
Common sod culture	32.8 ab	9.5 c
Conventional-1	9.9 cd	1.6 c
Conventional-2	20.1 c	12.2 bc
Conventional-3	2.6 d	3.3 c

The same letter over the bars in each treatment indicates that there is no significant difference among means (DMRT, $p < 0.05$).

Kim 등(2007)의 감귤원 연구에서도 유기재배지에서 관행재배지에 비해 2배가량 높은 지렁이 개체수가 나타나 비슷한 결과를 보여주었다. 포도과수원에서도 관행재배농가에서는

지렁이가 발견되지 않거나 발생이 낮은데 반해 친환경재배 과수원에서는 높은 발생 밀도를 보여준 사례도 보고되었다(Kim et al., 2009).

하지만 친환경재배지에서 무조건 지렁이의 발생이 높은 것은 아니다. Na 등(2000)은 국내 53개 지점의 농경지를 조사하여 지렁이의 분포를 분석하였는데, 재배작물과 상관없이 관행에 비해 유기농에서 지렁이가 많을 것이라는 예상과 달리, 관행과수원 10개 지역에서 모두 지렁이가 서식하고 있었고 유기농 노지재배지 8곳 중 2곳에서는 지렁이가 발견되지 않았다. 또한 친환경재배지 간에도 토양상태에 따라 지렁이의 발생 차이가 크게 나타난다. 포도과수원의 지렁이 조사 연구에서 무농약 재배지에서 유기농 재배지보다 개체수가 더 많은 사례가 보고되었는데, 조사대상이였던 무농약 재배지의 유기물함량이 유기농 재배지보다 높았던 것이 원인으로 추측되었다(Kim et al., 2009). 토양 내 유기물 함량이 높을수록 지렁이의 밀도가 높아진다는 다양한 보고가 있었는데, Stachell은 1955년에 거름을 준 토양에서 지렁이 발생 밀도가 3배가량 높다고 보고하였으며, Carey 등(2009)도 과수원에 유기물 투입이 높은 곳에서 지렁이가 발생이 더 많았다고 보고하였다. 이는 지렁이의 서식환경에 유기물의 함량이 중요한 요인으로 작용하기 때문인데, 유기물함량이 1% 미만인 토양에서는 지렁이가 생존하지 못하고 4~7%의 토양에서 가장 많은 지렁이가 발생하는 것으로 알려져 있다(Na et al., 2000).

그러나 본 연구의 조사지였던 제주도 감귤 과수원의 유기물 함량은 관행재배구와 유기재배구 모두 큰 차이를 보이지는 않았음에도 유기과수원에서 지렁이의 발생이 매우 높게 나타난 것은 단순히 유기물 함량 뿐 만 아니라 종합적인 유기재배 방식이 원인으로 추측된다. 김 등(2009)의 연구에서도 관행재배와 유기농재배 과수원의 유기물이 큰 차이가 없음에도 유기과수원에서만 지렁이가 발견되었는데, 이는 관행농과 유기농의 다양한 재배방법의 차이에 의한 것으로 추측하였다. 토양 내 유기물함량 이외에도 유기재배지에서 지렁이의 개체군이 많은 한 가지 원인은 화학농약을 사용하지 않기 때문이다. 다양한 화학농약이 지렁이의 생존에 영향을 끼치며 특히 dazomet, metam-sodium 등의 농약은 지렁이에 대한 치사력이 높은 것으로 보고되었다(Park et al., 2003).

본 연구에서는 일반 자연초생 재배지와 두과 피복작물 재배지 간에 유기물 함량의 차이가 크지 않았고 다른 화학성도 크게 차이가 나지 않았음에도 지렁이의 발생차이는 크게 나타났다. 이는 토양표면의 온도와 수분함량 등 이번 조사에서 검정하지 못한 여러 물리적인 조건 등이 지렁이의 분포와 관련된 것으로 보인다. 지렁이는 몸이 건조해지면 죽게 되어 서식지의 토양수분 조건이 지렁이의 생존에 매우 중요한데, Na 등(2000)의 연구에 의하면 토양 내 수분함량이 5% 미만이거나 35% 이상인 토양에서는 지렁이가 발생하지 않아 수분의 영향이 매우 큰 것을 알 수 있었다.

농경지에서 피복작물의 활용에 따른 지렁이 발생 분포에 대한 연구는 매우 부족한 편이나, 두과작물 피복재배로 지렁이의 발생이 증가된 몇몇 사례가 알려져 있다(Fagoso et al.,

1999; Ortiz-Ceballos et al., 2004). 멕시코에서는 옥수수재배 지역에서 벨벳콩으로 생물피복을 한 재배지에서 유기물 함량 차이가 크지 않은 대조구보다 지렁이의 발생이 훨씬 높게 확인되어 본 연구와 유사한 결과가 보고되었다(Ortiz-Ceballos et al., 2004). 연구를 수행한 Ortiz-Ceballos 등은 벨벳콩의 토양 피복이 토양 온도를 낮추고 수분을 높이는 “낙엽층 효과”를 보여주어 지렁이 발생 밀도를 높였다고 판단하였다. 헤어리베치, 크림슨클로버 또한 유사한 효과를 통해 토양 내 지렁이의 밀도를 높이는 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 고려해 볼 때 유기재배지와 관행재배지의 토양 환경을 비교 분석할 때는 단순히 유기농 인증 여부를 조사 기준으로 설정할 것이 아니라 두과작물 재배 등 토양환경에 영향을 주는 구체적 재배방식을 기준으로 조사하는 것이 필요하다 할 것이다.

지렁이는 지속적인 유기재배에 의해 토양 내 밀도가 높아지는 중요 생물군이다(Bengtsson et al., 2005; Kim et al., 2007; Kim et al., 2009). 또한 토양 환경에 민감하게 반응하는 생물로, 유기농경지에서 주요한 기술인 무경운 재배 여부나 유기농 과수원의 주요한 자재인 동재의 활용에 따른 지렁이의 밀도차가 토양미생물의 차이보다 확연히 드러난다고 알려져 있다(Paoletti et al., 1998; Kuntz et al., 2013). 이와 같은 연구와 본 시험결과를 고려할 때, 유기농경지에서의 토양 생물환경 조사 기준에 지표생물로 지렁이를 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅳ. 적 요

본 연구에서는 유기농경지에서 두과피복작물 재배가 지렁이 생물상에 끼치는 영향을 조사하고자 제주도 유기농 감귤 과수원에 헤어리베치와 크림슨클로버 2종의 두과작물을 초생재배하여 자연초생재배구와 관행과수원을 대조로 연구를 수행하였다. 각 재배 시험구의 토양 특성을 분석하고 포장에서 발생한 지렁이를 채취하여 발생 밀도를 비교하였다. 토양 분석에서 유기농과 관행농 과수원의 유기물 함량은 큰 차이를 보이지 않았으나, 지렁이의 생체중은 유기재배 과수원이 관행재배 과수원에 비해 3.8배~7.0배 높게 나타났으며, 개체수도 유기재배 과수원이 관행재배 과수원에 비해 2.3~18배 높게 나타났다. 지렁이의 생체중은 헤어리베치와 크림슨클로버 재배구에서 2016년에는 44.8 g, 47.2 g, 2017년에는 78.7 g, 31.8 g으로 자연초생재배구의 32.8 g, 9.5 g보다 각각 높게 나타났다. 본 연구를 통해 두과피복작물인 헤어리베치와 크림슨클로버 재배를 통해 유기농 감귤 과수원의 토양 내 지렁이 발생밀도를 증진시키는 것을 확인하였다.

[Submitted, December. 26, 2018 ; Revised, January. 23, 2019 ; Accepted, February. 20, 2019]

References

1. Bengtsson, J., J. Ahnström, and A. C. WEIBULL. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. J. Appl. Ecol. 42: 261-269.
2. Carey, P. L., J. R. Benge, and R. J. Haynes. 2009. Comparison of soil quality and nutrient budgets between organic and conventional kiwifruit orchards. Agri. ecosys. environ. 132: 7-15.
3. Darwin, C. 1881. The formation of vegetable mould, through the action of worms, with observations on their habits. Murray, London.
4. Fragoso, C., P. Lavelle, E. Blanchart, B. K. Senapati, J. J. Jimenez, M. A. Martinez, T. Decans, and J. Tondoh J. 1999a. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. In: Lavelle, P., Brussaard, L., Hendrix, P. F. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI, Wallingford, pp. 27-55.
5. Hong, Y. 2000. Taxonomic review of the family Lumbricidae (Oligochaeta) in Korea. Korean J. Syst. Zool. 16: 1-13.
6. Hong, Y. and T. H. Kim. 2007. Occurrence of earthworm in agro-ecosystem. Korean J. Environ. Biol. 25: 88-93.
7. Hong, Y. and T. H. Kim. 2009. The earthworm composition in agroecosystem of Sunyu Island, Korea. Korean J. Environ. Biol. 27: 135-139.
8. Kim, T. H., S. H. Jung, Y. Hong, and N. J. Choi. 2007. Earthworm, springtail, and mite fauna in environment-friendly citrus orchards in Jeju Isalnd. Korean J. Syst. Zool. 12: 23-27.
9. Kim T. H., Y. Hong, and N. J. Choi. 2009. Earthworm fauna in environment-friendly managed vineyards with various levels of pesticide use. Korean J. Soil Zool. 13: 1-5.
10. Kuntz, M., A. Berner, A. Gattinger, J. M. Scholberg, P. Mäder, and L. Pfiffner. 2013. Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. Pedobiologia. 56: 251-260.
11. Lee, S. B., C. O. Hong, K. K. Kim, Y. B. Lee, S. G. Hong, K. L. Park, C. R. Lee, and M. S. An. 2017. Microorganisms and Earthworms Density of Soil in Organic Vegetable and Fruit Cultivation Fields. Korean Society Of Soil Sciences And Fertilize, 174-175.
12. Na, Y. E., S. B. Lee, M. S. Han, S. G. Kim, and D. R. Choi. 2000. Soil properties influencing on earthworm habitation in upland. Korean j. soil zool. 5: 165-168.
13. Ortiz-Ceballos, A. I. and C. Fragoso. 2004. Earthworm populations under tropical maize cultivation: the effect of mulching with velvet bean. Biology and Fertility of Soils, 39: 438-445.

14. Paoletti, M. G., D. Sommaggio, M. R. Favretto, G. Petruzzelli, B. Pezzarossa, and M. Barbafieri. 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. Appl. Soil Ecol. 10: 137-150.
15. Park, K. H., Y. K. Park, J. B. Joo, K. S. Kyung, J. S. Shin, C. S. Kim, and J. Y. Uhm. 2003. Risk Assessment of Pesticide for Earthworms. Korean J. Pest.. Sci. 7: 280-287
16. Satchell, J. E. 1955. Some aspects of earthworm ecology, in Soil Zoology (ed. D.K. Mc. E. Kevan), Butterworths, London. pp. 180-201.