

Research Article



CrossMark

Open Access

농경지의 이용형태가 토양성 절지동물 군집 및 다양성에 미치는 영향

어진우*, 김명현, 남형규, 송영주

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

Effect of Agricultural Land Use on Abundance, Community Structure and Biodiversity of Epigeic Arthropods

Jin U Eo*, Myung-Hyun Kim, Hyung kyu Nam and Young Ju Song (Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 19 June 2019/ Revised: 10 July 2019/ Accepted: 2 August 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

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.

ORCID

Jin U Eo

<https://orcid.org/0000-0003-3577-9942>

Hyung kyu Nam

<https://orcid.org/0000-0002-9619-2478>

Myung-Hyun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5590-6622>

Young Ju Song

<https://orcid.org/0000-0003-5590-6622>

Abstract

BACKGROUND: Epigeic arthropods participate in ecological functions as predators, decomposers and herbivores. The purpose of this study was to investigate the responses of some dominant arthropods in rice fields to different forms of agricultural land management.

METHODS AND RESULTS: The abundance of microarthropods was compared between rice fields and uplands in the non-growing season. Collembola, Oribatida and Mesostigmata were more abundant in the upland fields than in the paddy fields. The community composition and diversity of epigeic arthropods were compared between fallow and rice fields. The total abundance and species richness of spiders and ground beetles were not significantly different in the two types of agricultural fields. The abundance of *Arctosa kwangreungensis* was greater in fallow fields than in cultivated fields. The community

structure of arthropods was compared between paddy fields with and without barley. The cropping system altered the community composition of spiders but not their biodiversity. Barley cultivation increased the abundance of ground beetles but decreased that of spiders. We suggest that this contrast was partly due to the availability of plants that provided shelter and food for ground beetles.

CONCLUSION: These results show that soil use intensity and cropping system alter the community composition of epigeic spiders and ground beetles. This could result in ecosystem-level alterations with respect to the control of pests and weeds. Our results also suggest that biodiversity of ground-dwelling arthropods may not increase during short fallow periods.

Key words: Arthropod, Beetle, Fallow, Land use, Spider

서론

최근 생태계서비스와 관련하여 토양생물의 농업적 기능에 대한 관심이 점점 높아지고 있다. 농업생태계에서 토양동물은 다양한 먹이그물 구조를 형성하여 식물생산 유지에 중요한 서

*Corresponding author: Jin U Eo

Phone: +82-63-238-2507; Fax: +82-63-238-3823;

E-mail: eojiny@korea.kr

비스를 제공한다. 톱토기와 날개응애 등의 미소절지동물은 토양의 유기물을 분해하여 식물에 양분을 공급하여 생장을 촉진한다(Wardle et al., 2001; Carpenter et al., 2007; Murray et al., 2009). 거미와 같은 포식자는 먹이활동을 통해 멸구나 매미충 등의 해충을 조절하고(Lang, 2003), 지표서식성 딱정벌레는 잡초의 종자를 섭식하여 잡초 발생을 억제한다고 보고되어 왔다(Honek et al., 2003). 또한, 토양동물은 작물의 방어가작에 영향을 줄 수도 있다(Endlweber et al., 2011).

농업생태계와 같이 인위적으로 조성된 환경은 자연생태계보다 생물다양성이 적은 군집을 형성한다(Paoletti et al., 1992; Bengtsson et al., 2005; Clough et al., 2007). 토양성 절지동물은 농지의 이용형태에 매우 민감하며 그 개체수와 다양성은 집약적인 경지이용에 의해 감소하는 경향이 있다(Hummel et al., 2002; Melnychuk et al., 2003; Clough et al., 2007). 토양동물은 매우 좁은 범위에서도 그 분포가 달라지며(Hortal et al., 2010; Da Silva et al., 2012), 톱토기류나 응애류와 같은 토양성 미소절지동물은 농업과 관련한 교란에 민감하게 반응하기 때문에 토양의 생물다양성 모니터링에 주요 지표로 이용되었다(Bispo et al., 2009). 우리나라의 논은 비교적 소규모로 관리되고 있으며 지속가능한 농업을 위해서는 중요한 생태학적 역할을 수행하는 토양성 절지동물의 밀도와 군집구조 등의 모니터링은 매우 중요한 예측적 요소이다.

농경지는 휴한기에도 토양동물의 유기물분해나 생물적 조절기능은 계속되며, 작물 재배시기의 토양동물의 밀도와 종구성도 이전 시기의 군집특성의 영향을 받는다. 논은 벼를 재배하는 기간에 담수하여 습지생태계를 형성하지만, 수확기부터 이앙기 전까지는 배수하기 때문에 일시적으로 육지생태계를 형성한다. 또한, 생태계 조절기능을 갖는 거미류와 딱정벌레류는 담수시에 논둑이나 주변으로 이동하여 논생태계의 절지동물 군집구조에 영향을 미칠 수 있다(Lambeets et al., 2008; Sienkiewicz and Zmihorski, 2012). 따라서, 휴한기 토양절지동물 군집조사는 농업생태계의 기능적 변화를 이해하는데 중요한 기초자료가 된다.

논은 벼를 재배하지 않는 시기의 토양이용 형태에 따라 생물들의 서식환경이 크게 변화되며 동계작물의 재배에 따른 이모작에 의해 토양의 이용강도는 증가할 수 있다. 반면에 휴경은 이용강도가 가장 적은 형태로 볼 수 있으며, 우리나라에서 그 면적이 계속 늘어나고 있기 때문에 이에 대한 생태적 영향 평가는 필요한 실정이다. 본 연구에서는 농경지의 이용형태와 강도가 토양생물의 군집과 다양성에 미치는 영향을 파악하기 위해 농경지의 이용형태에 따른 토양성 딱정벌레류와 거미류의 반응과 휴한기 논과 밭 토양에서 미소절지동물의 분포와 토양이화학성과의 관계를 조사하여 환경요소가 이들에게 미치는 영향을 분석하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

토양성 절지동물 조사

경기도 파주시 소재 논과 30 m 이내 인근 밭을 각각 30

지점(20 m × 10 m)씩 선정하여 토양성 미소절지동물을 조사하였다. 휴한기인 2013년 3월에 지점별로 0-10 cm 깊이에서 4-5 반복하여 토양을 채취하였다. 혼합한 400 mL의 토양을 Tullgren 깔대기를 이용하여 72시간 동안 처리하여 수집한 개체를 광학현미경으로 톱토기, 날개응애, 중기문응애로 분류하여 밀도를 계수하였으며 그 이외의 절지동물은 개체수가 적어 포함시키지 않았다. 휴경의 효과를 분석하기 위해 위성사진과 식생을 고려하여 전북 정읍시 소재 4-7년간 경작을 하지 않은 휴경지와 인근 논을 각각 8지점씩 선정하였다. 2018년 3월에 피트폴트랩(직경 9 cm, 용량 350 mL) 휴경지와 논둑에서 토양성 거미와 딱정벌레를 24시간 동안 채집한 후 해부현미경으로 중 수준으로 동정하였다. 휴한기에 동계작물의 재배가 토양성 거미류와 딱정벌레류에 미치는 영향을 비교하기 위해 전라북도 정읍시 소재 일모작 논과 인근에 보리를 재배하는 이모작 논을 각각 10지점씩 선별하여 2018년 4월에 토양성 거미류와 딱정벌레류를 피트폴트랩을 이용하여 채집하였고 중 수준으로 동정하였다.

토양화학성 분석

토양성 절지동물이 서식하는 토양을 대상으로 이화학성을 측정하였다. 토양 pH와 EC(전기전도도)는 현탁액(1:5)을 이용해 pH meter와 EC meter로 각각 측정하였다. 토양의 총 질소와 탄소 함량은 CN analyzer (Vario Max CN, Elementar, Germany)를 이용하여 측정하였다. 또한 토양수분함량은 토양을 105°C에서 48시간 동안 건조하여 측정하였다.

통계

논 이용형태별 절지동물의 밀도를 비교하기 위해 paired t-test법을 이용하여 두 유형간 값을 비교하였다. 절지동물의 밀도와 개체수는 normality test (Shapiro-Wilk) 결과에서 비정규분포를 하였으므로 Spearman's rank correlation coefficient를 계산하여 상관관계를 분석하였으며, SAS9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 수행하였다. 토양성 거미류와 딱정벌레류의 군집비교는 nMDS (non-metric multidimensional scaling)로 분석하였으며, Community Analysis Package v.4 (Pics Conservation)를 이용하였다. 두 집단의 통계적 차이를 측정하기 위해 MRPP (multi-response permutation procedure)로 분석하였으며 PC-ORD v.5 (MjM software design)를 이용하였다.

결과 및 고찰

휴한기 논과 밭 토양의 미소절지동물 군집 특성

휴한기의 톱토기, 날개응애, 중기문응애의 밀도는 논 토양보다 밭 토양에서 높았다(Fig. 1). 논은 담수기에 토양성 미소절지동물의 서식에 적합하지 않고, 낙수 후에 논 주변의 토양에서 유입되는 개체들이 번식하게 된다. 다만 이들의 밀도는 봄철의 낮은 기온의 영향을 받아 한 세대가 긴 종들이 증식하기에 기간이 짧기 때문에 낮은 것으로 알려져 있다(Ermilov

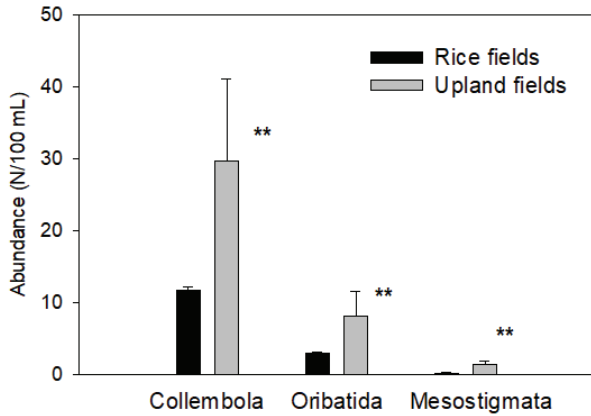


Fig. 1. Abundance of microarthropods in rice- and upland fields. Asterisks indicate significant differences (paired t -test, $n = 30$): ** $P < 0.01$.

and Lochynska, 2008). 또한, 토양수분함량은 논이 24.9%로 밭의 12.8%보다 크게 높았기 때문에 서식에 적정한 범위를 벗어났을 가능성도 있다. 한편 논토양에서 날개응애류와 포식성 응애류의 밀도 사이에 상관관계가 있었다($r = 0.46$, $P = 0.001$). 이러한 관계는 날개응애류가 증가하면 이를 먹이로 하는 포식성 응애류가 순차적으로 증가하는 상향식의 먹이연쇄반응이 형성된다는 것을 보여준다.

휴경에 따른 거미와 딱정벌레 군집 변화

휴경지와 논에 서식하는 거미류의 총 개체수는 통계적 차이는 없었으나, 광릉논늑대거미(*Arctosa kwangreungensis*)의 개체수는 휴경지에서 많았다(Table 1). 또한 nMDS 분석에서 두 유형간 군집이 분리되었으며(Fig. 2), MRPP 분석에 의해서도 유의적 차이가 있었다($P = 0.009$). 반면에 딱정벌레류의 총 개체수는 통계적으로 차이가 없었으며, 군집도 MRPP 분석에서 차이가 없었다($P = 0.412$). 이것은 생물군에 따라 휴경에 대한 반응이 다를 것을 보여준다.

Table 1. Abundance of dominant (>5%) and total species of epigeic arthropods in fallow and rice fields

	Fallow fields	Rice fields
Abundance (N/trap)		
Spiders		
<i>Nesticella brevipes</i>	0.1±0.1	0.0±0.0
<i>Pachygnatha clercki</i>	0.0±0.0	0.1±0.1
<i>Arctosa ebicha</i>	0.1±0.0	0.0±0.0
<i>Arctosa kwangreungensis</i>	0.4±0.1	0.0±0.0**
<i>Pardosa astrigera</i>	0.2±0.1	0.8±0.3
<i>Pardosa hedini</i>	0.0±0.0	0.3±0.1
Total (all species)	1.9±0.2	1.8±0.5
Beetles		
<i>Harpalus chalcatus</i>	0.1±0.1	0.0±0.0
<i>Olophrum mutatum</i>	0.1±0.1	0.1±0.1
<i>Brachypera zoilus</i>	0.1±0.1	0.1±0.1
<i>Galerucella grisea</i>	0.1±0.1	0.1±0.0
Total (all species)	1.2±0.2	1.1±0.3

Asterisks indicate significant differences (paired t -test, $n = 8$): ** $P < 0.01$.

휴경지는 토지의 이용강도가 감소하여 물리적 교란이 적기 때문에 경작지보다 거미류의 다양성이 증가하는 것으로 알려져 있다(Perez-Bote and Romero, 2012). 본 연구에서 휴경지와 논 토양 거미의 평균 종수는 각각 3.5 및 2.7 종이었으며, 딱정벌레류의 평균 종수는 각각 4.5 및 4.2로 통계적 차이가 없었다. 이것은 휴경지가 경작지에 비해 다양한 서식환경을 제공하지 못 하였고, 단기간에 생물다양성이 증가하기에는 어려웠던 것으로 보인다. Do 등(2011)도 논 휴경기간이 증가할수록 딱정벌레의 다양성이 증가한다고 하였다.

보리 이모작에 따른 거미와 딱정벌레 군집 변화

논의 보리재배에 의해 거미의 총 개체수는 감소하였으며, 딱정벌레(*Pachygnatha clercki*)와 이사고늑대거미(*Pardosa isago*)

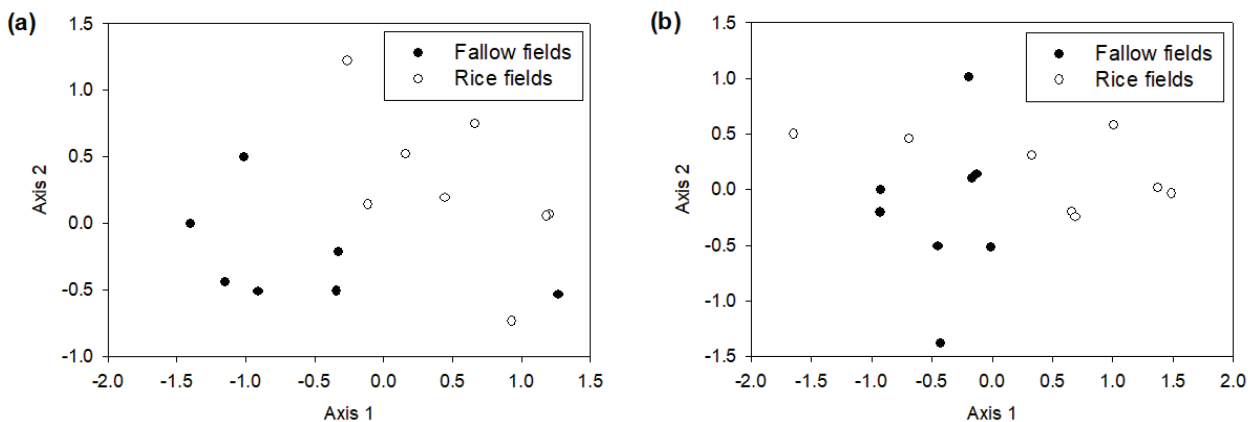


Fig. 2. Non-metric dimensional scaling results of epigeic spiders (a) and beetles (b) in fallow and rice fields.

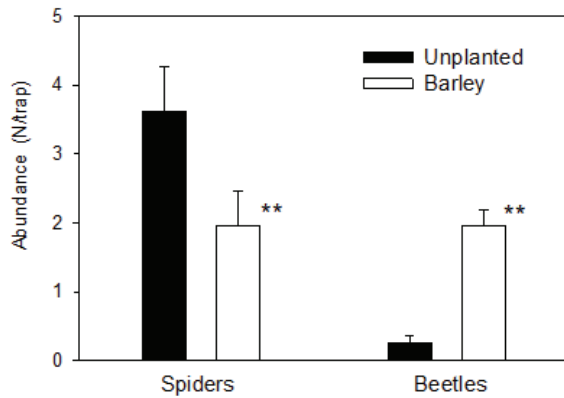


Fig. 3. Abundance of epigeic spiders and beetles in rice fields with and without barley during the non-growing season. Asterisks indicate significant differences (paired *t*-test, *n* = 10): ***P* < 0.01.

의 개체수도 감소하였다(Table 2). 또한 nMDS 분석에서 두 유형간 군집이 분리되었으며(Fig. 4), MRPP 분석에 의해서도 유의적 차이가 있었다(*P* = 0.002). 딱정벌레류의 총 개체수는 보리재배에 의해 증가하였으나, 군집구조는 MRPP 분석에서 통계적으로 차이가 없었다(*P* = 0.061). 거미와 딱정벌레의 개체수간에 음의 상관관계가 있었으며(*r* = -0.42, *P* = 0.03), 이것은 두 생물군이 먹이 또는 공간에 대한 경쟁관계에 있을 수 있다는 것을 의미한다.

동계작물의 재배는 토양성 절지동물의 서식환경을 변화시키며 거미류와 딱정벌레류의 반응이 서로 달랐던 것으로 추정된다. 농경지의 이용강도 증가는 토양성 거미의 밀도를 감소시킬 수 있으며(Schmidt et al., 2005), 보리 재배에 의한 토양환경 변화가 거미의 개체수를 감소시킨 것으로 추정된다. 일반적으로 논에서 수확기 이후 주변 논둑에서 유입된 개체들은 먹이나 은신처로 작용하는 식물과 같은 물리적 요소의 영향을 받을 수 있다. 지표서식성 거미의 밀도와 다양성은 서식환경이 개방된 공간일수록 증가한다고 알려져 있다(Oxbrough et al., 2006). 반대로 동계작물은 딱정벌레류에게 거미류 등

Table 2. Abundance of dominant (>5%) and total species of epigeic arthropods in rice fields with and without barley

	Unplanted	Barley
Abundance (N/trap)		
Spiders		
<i>Pachygnatha clercki</i>	1.4±0.2	0.7±0.1*
<i>Pardosa isago</i>	1.7±0.5	0.7±0.5*
Total (all species)	3.6±0.6	2.0±0.5**
Beetles		
<i>Harpalus chalcatus</i>	0.0±0.0	0.3±0.1
<i>Galerucella grisea</i>	0.0±0.0	0.2±0.1
Total (all species)	0.3±0.1	2.0±0.2**

Asterisks indicate significant differences (paired *t*-test, *n* = 10): **P* < 0.05; ***P* < 0.01.

의 천적으로부터 피할 수 있는 은신처나 식물 유래의 먹이원을 제공한다. 본 연구에서는 단기간의 차이를 비교하였기 때문에 계절적 요인이나 장기적인 영향을 평가하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

절지동물의 생태적 기능

농경지 이용형태에 의해 절지동물의 밀도와 종구성이 변한다는 것은 이에 따라 이들이 제공하는 생태적기능이 달라진다는 것을 의미한다. 날개응애류와 톡토기류는 토양에 유입되는 식물체를 20% 가까이도 분해하는 것으로 알려져 있다(Culliney, 2013). 일반적으로 날개응애류는 토양의 이화학성에 영향을 받으며(Wissuwa et al., 2013), 휴한기의 토양환경은 미소절지동물의 유기물분해에 영향을 준다. 거미의 종다양성은 유형간 차이가 없었으나 종 구성이 바뀌었다는 것은 해충조절 기능이 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 국내에서는 땅늑대거미(*Lycosa suzuki*) 등의 벼멸구 포식능력에 대한 연구가 있었으며(Song et al., 1987) 거미의 종다양성은 유형간 통계학적 차이가 없었으나 종 구성이 바뀌었다는 것은 해충조절 기능이 달라질 수 있다는 것을 의미한다.

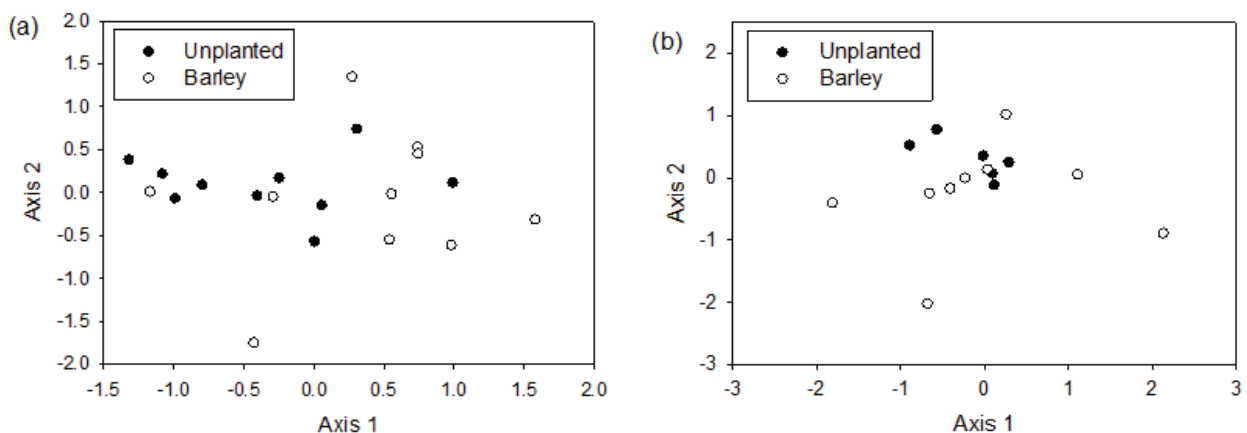


Fig. 4. Non-metric dimensional scaling results of epigeic spiders (a) and beetles (b) in rice fields with and without barley.

서식처를 제공하거나 식생에 의한 먹이곤충의 유입 등이 불리한 휴경지에서 광릉논늪대거미의 개체수가 증가한 결과는 추후 종에 따른 해충억제 기능 변화 뿐 아니라 공간의 선택 및 분포에 대한 추가적인 연구를 필요로 한다.

딱정벌레류 중 *Harpalus*속 등은 잡초종자를 섭식하는 대표적 종들로(Honek *et al.*, 2003) 동계작물 재배에 의해 딱정벌레류의 개체수가 증가하므로 이들의 잡초종자 조절기능도 농경지의 이용형태에 따라 달라질 수 있음을 의미한다.

결론

휴한기의 토양성 미소절지동물의 밀도는 밭보다 논 토양에서 높았기 때문에 이들의 유기물분해 기능은 밭에서 더 클 것으로 판단된다. 또한, 논에서 날개응애류와 중기문응애류의 밀도간의 유의적 상관관계는 먹이그물을 통한 물질순환이 이루어지고 있다는 것을 의미한다. 논에 휴경에 의해 거미류와 딱정벌레류의 종 수와 총 개체수는 변하지 않았지만, 종 구성이 달라졌기 때문에 이에 따른 해충조절 기능의 변화가 있을 수 있다. 보리의 이모작에 의해 거미류와 딱정벌레류의 개체수는 상반되게 반응하였으며 이것은 식물에 의해 두 생물군의 먹이활동이나 서식환경이 달라졌거나 경쟁하였기 때문인 것으로 사료된다. 농경지의 이용형태에 따라 절지동물의 밀도와 군집이 달라진다는 것은 이들이 제공하는 다양한 생태계 기능이 달라진다는 것을 보여준다. 한편 농경지 이용강도의 변화에 따라 거미류나 딱정벌레류의 생물다양성이 증가하지 않은 것은 휴경 등으로 인해 단기간에는 생물다양성이 증가하지 않을 수 있다는 것을 시사한다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01353301)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Bengtsson, J., Ahnström, J., & Weibull, A. C. (2005). The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 261-269.
- Bispo, A., Cluzeau, D., Creamer, R., Dombos, M., Greafe, U., Krogh, P. H., Sousa, J. P., Peres, G., Rutgers, M., Winding, A., & Rombke, J. (2009). Indicators for monitoring soil biodiversity. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(4), 717-719.
- Carpenter, D., Hodson, M. E., Eggleton, P., & Kirk, C. (2007). Earthworm induced mineral weathering: preliminary results. *European Journal of Soil Biology*, 43, S176-S183.
- Clough, Y., Kruess, A., & Tschamntke, T. (2007). Organic versus conventional arable farming systems: functional grouping helps understand staphylinid response. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1-4), 285-290.
- Culliney, T. W. (2013). Role of arthropods in maintaining soil fertility. *Agriculture*, 3(4), 629-659.
- Da Silva, P. M., Berg, M. P., Serrano, A. R. M., Dubs, F., & Sousa, J. P. (2012). Environmental factors at different spatial scales governing soil fauna community patterns in fragmented forests. *Landscape Ecology*, 27(9), 1337-1349.
- Do, Y., Jeong, K.W., Lineman, M., Kim, J.Y., Kim, H., & Joo, G. (2011). Community changes in carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) through ecological succession in abandoned paddy fields. *Journal of Ecology and Field Biology*, 34(3), 269-278.
- Endlweber, K., Krome, K., Welzl, G., Schaffner, A. R., & Scheu, S. (2011). Decomposer animals induce differential expression of defence and auxin-responsive genes in plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(6), 1130-1138.
- Ernilov, S. G., & Lochynska, M. (2008). The influence of temperature on the development time of three oribatid mite species (Acari, Oribatida). *North-Western Journal of Zoology*, 4(2), 274-281.
- Honek, A., Martinkova, Z., & Jarosik, V. (2003). Ground beetles (Carabidae) as seed predators. *European Journal of Entomology*, 100(4), 531-544.
- Hortal, J., Roura-Pascual, N., Sanders, N. J., & Rahbek, C. (2010). Understanding (insect) species distributions across spatial scales. *Ecography*, 33(1), 51-53.
- Hummel, R. L., Walgenbach, J. F., Hoyt, G. D., & Kennedy, G. G. (2002). Effects of vegetable production system on epigeal arthropod populations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1-3), 177-188.
- Lambeets, K., Vandegehuchte, M. L., Maelfait, J. P., & Bonte, D. (2008). Understanding the impact of flooding on trait-displacements and shifts in assemblage structure of predatory arthropods on river banks. *Journal of Animal Ecology*, 77, 1162-1174.
- Lang, A. (2003). Intraguild interference and biocontrol effects of generalist predators in a winter wheat field. *Oecologia*, 134(1), 144-153.

- Melnychuk, N., Olfert, O., Youngs, B., & Gillott, C. (2003). Abundance and diversity of Carabidae (Coleoptera) in different farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(1), 69-72.
- Murray, P. J., Clegg, C. D., Crotty, F. V., de la Fuente Martinez, N., Williams, J. K., & Blackshaw, R. P. (2009). Dissipation of bacterially derived C and N through the meso-and macrofauna of a grassland soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6), 1146-1150.
- Oxbrough, A. G., Gittings, T., O'Halloran, J., Giller, P. S., & Kelly, T. C. (2006). The influence of open space on ground-dwelling spider assemblages within plantation forests. *Forest Ecology and Management*, 237(1-3), 404-417.
- Paoletti, M. G., Pimentel, D., Stinner, B. R., & Stinner, D. (1992). Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 40(1-4), 3-23.
- Pérez-Bote, J. L., & Romero, A. J. (2012). Epigeic soil arthropod abundance under different agricultural land uses. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(1), 55-61.
- Schmidt, M. H., Roschewitz, I., Thies, C., & Tschamtké, T. (2005). Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 281-287.
- Sienkiewicz, P., & Zmihorski, M. (2012). The effect of disturbance caused by rivers flooding on ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *European Journal of Entomology*, 109(4), 535-541.
- Song, Y. H., Kim, J. B., & Kim, I. G. (1987). Detection and identification of biological control agents from planthoppers and leafhoppers-(3)-Studies on the bionomics of spiders inhabited on the rice paddy fields, focused on the biological control agents of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. *Journal of the Institute for Agricultural Resource Utilization-Gyeongsang National University*, 21(2), 87-96.
- Wardle, D. A., Barker, G. M., Yeates, G. W., Bonner, K. I., & Ghani, A. (2001). Introduced browsing mammals in New Zealand natural forests: aboveground and belowground consequences. *Ecological Monographs*, 71(4), 587-614.
- Wissuwa, J., Salamon, J. A., & Frank, T. (2013). Oribatida (Acari) in grassy arable fallows are more affected by soil properties than habitat age and plant species. *European Journal of Soil Biology*, 59, 8-14.