

## 산지초지의 식물 군락에 따른 토양 미소동물 및 지표면 서식 절지동물의 군집 차이

어진우 · 김명현\* · 권순익 · 송영주

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과

## Response of Soil Mesofauna and Ground-dwelling Arthropods to Plant Communities in a Mountain Pasture

Jinu Eo, Myung-Hyun Kim\*, Soon-Ik Kwon and Young-Ju Song

National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

**Abstract** - The purpose of this study is to investigate the response of the soil mesofauna and ground-dwelling arthropods to vegetation structure and composition in a mountain pasture. The pasture mainly comprised five types of plant communities; *Agrostis alba* - *Phleum pratense* community, *Poa pratensis* community, *Festuca ovina* community, *Rumex acetosella* community, and the shrub assemblage comprised *Spiraea miyabei*-*Spiraea salicifolia* community. Soil chemical properties including the pH, EC and nutrient levels were influenced by plant communities. Plant-specific responses were observed for bacteria-feeding and plant-feeding soil nematodes. Collembola and Oribatida having the same feeding habit were influenced differently by plants. nMDS showed that the community of ground-dwelling arthropods were separated by vegetation types. Species numbers of arthropods were different among different plant communities. Our results indicate that vegetation structure and composition can influence both abundance of diversity of terrestrial fauna.

**Key words** : Collembola, diversity, insect, nematode, Oribatida, spider

### 서 론

산지초지는 저지대의 농업지대와 비교하여 경제성이 낮은 산간 고지대를 중심으로 가축의 사료 공급을 위하여 만들어졌다. 이러한 초지는 생물 다양성이나 경관 같은 다양한 가치를 제공하지만, 높은 노동 요구도와 경제적인 이유로 버려지거나 관리가 소홀해지고 있는 실정이다(Kampmann *et al.* 2008). 이에 따라 고투입의 관리 방식을 중지하여 이전의 상

태로 되돌리려는 시도들이 있었다(Hemerik and Brussaard 2002). 초지 관리에서 필요한 제초, 시비, 경운 등의 농업활동은 생태계에 교란을 일으키는 주요한 원인이다. 이러한 요소의 감소에 의해 식생은 일반적으로 일년생 초본식물에 이어 관목을 포함하는 다년생 식물 군락이 점유하는 천이과정을 보인다(Corbet 1995; Dirnboeck and Dullinger 2008).

토양생태계를 구성하는 미소동물은 지상부 식생과 밀접한 관계가 있다(Hooper and Vitousek 1997; De Deyn *et al.* 2004). 토양 미소동물의 밀도와 다양성은 유기물의 분해나 식물의 양분흡수에 기여한다는 것이 밝혀지고 있다(Bettiol *et al.* 2002). 자활성 선충은 분해자인 미생물을 섭식하여 물

\* Corresponding author: Myung-Hyun Kim, Tel. 063-238-2503, Fax. 063-238-3823, E-mail. wildflower72@korea.kr

질순환에 영향을 미친다(Mikola and Sulkava 2001). 식물 섭취성 선충에 대한 식물의 저항성 차이에 의해 지상부 생태계의 복원과정에서 식물의 중간경쟁력이 달라질 수 있다(Verschoor *et al.* 2002).

절지동물은 생물 다양성을 형성하는 중요한 요소로 다양한 서식지에서 동물 군집의 많은 부분을 차지한다(Usher *et al.* 1993). 지표면에 서식하는 곤충은 다양한 농업적 관리와 국지적인 서식지 환경에 민감하게 반응하며 생태적 기능성에 크게 기여한다(Grove *et al.* 2005). 톱토기나 응애는 식물의 잔사를 기계적으로 분해하거나 유기물을 섭취한다(Filser 2002). 거미도 식물과의 연관성이나 서식지의 교란 정도를 나타내는 지표가 된다(Cardoso *et al.* 2003; Schmidt *et al.* 2005). 특히, 포식성 절지동물은 해충을 억제하는 역할을 하기 때문에 농업적으로도 중요하다(Zaller *et al.* 2009).

초지의 지속적 관리는 생물자원 및 환경의 보존에 중요하다. 농업활동은 생물적 및 비생물적 요소를 바꿈으로써 생태계 다양성에 영향을 미칠 수 있다(Watkinson and Ormerod 2001). 초지의 식물 다양성은 생산성으로 이어질 수 있으며(Frankow-Lindberg *et al.* 2009), 반자연적 초지와 같은 종이 풍부한 초지가 생물 다양성을 높이는 데 역할을 한다는 인식이 높아지고 있다(Isselstein *et al.* 2005). 또한, 토양생태계를 구성하는 절지동물의 다양성도 지상부 서식지의 다양성과 상관성이 있기 때문에(Querner *et al.* 2013), 식생의 차이에 따른 이들의 밀도 및 군집 변화를 연구하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 식생에 따른 토양 미소동물의 반응을 알아보기 위해 톱토기와 응애류의 밀도를 조사하여 식물 군락과의 관계를 구명하고자 하였다. 또한, 지표면 서식 절지동물을 조사하여 식생 구성이 이들의 군집 구성 및 다양성에 미치는 영향을 구명하는 것을 목표로 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 장소

강원도 대관령의 한우시험장(37°41'04"N, 128°44'02"E)에

위치한 산지초지에서 연구를 수행하였다. 이 초지는 1956년에 150 ha의 면적으로 만들어졌으며, 조사지점은 해발 800~840 m에 위치하고 있다. 사료작물의 파종은 매년 흰겨이삭(*Agrostis alba*, 15 kg ha<sup>-1</sup>), 큰조아재비(*Phleum pratense*, 3 kg ha<sup>-1</sup>) 및 왕포아풀(*Poa pratensis*, 2 kg ha<sup>-1</sup>)로 하였으며, 복합비료를 1.8 t ha<sup>-1</sup>로 시비하였다. 매년 200여 두의 소를 5월에서 10월 사이에 4~5회에 걸쳐 방목하여 관리하였으며, 경운이나 제초는 실시하지 않았다.

### 2. 식생조사

식생조사는 2015년 7월 초순에 상관과 입지조건이 균질한 곳을 선택하여 실시하였다. 식물사회의 종조성을 강조하는 Zürich-Montpellier School (Z.-M. 학파)의 전통적 식생단위 추출방법에 의해 수행하였다(Braun-Blanquet 1964). 조사구 내의 식물종은 9계급의 변환통합우점도(combined cover degree; Westhoff and van der Maarel 1973)로 기록하였다. 식물명은 국가표준식물목록을 기준으로 하였다.

조사구역(약 5.3 ha)의 식생은 크게 초본 4군락과 관목 1군락으로 구성되어 있었다. 각 군락은 한두 종의 식물이 강하게 우점하였기 때문에 이에 따라 군락을 구분하였다. 초본 군락은 흰겨이삭(*Agrostis alba*) - 큰조아재비(*Phleum pratense*) 군락, 왕포아풀(*Poa pratensis*) 군락, 김의털(*Festuca ovina*) 군락 및 애기수영(*Rumex acetosella*) 군락으로 구분하였다. 관목 군락은 덩불조팝나무(*Spiraea miyabei*) - 꼬리조팝나무(*Spiraea salicifolia*) 군락이었다. 한편, 초지 주변에 개발되지 않은 상태로 유지되었던 산림을 초지와 비교하기 위해 조사하였다. 김의털은 다발 형태로 군생하는 일년생 식물로 주로 산정부에서 발견되었다. 각 군락의 식생 특성에 대해서는 Table 1에 나타내었다. 애기수영은 아시아, 호주, 유럽과 북아메리카에 광범위하게 분포하고 있으며, 천이 초기에 빠르게 새로운 서식지에 확산한다(Stopps *et al.* 2011). 덩불조팝나무와 꼬리조팝나무는 주로 경사면에 서식하였다. 두 종이 속하는 *Spiraea*속은 온대지역에 분포하고 있으며, 14종이 남한에서 보고되었다(Ogle 1991; Kim and Sun 1996).

**Table 1.** Dominant plant species in each plant communities

Community type	Dominant species	Coverage (%)
Aa-Pp	<i>Agrostis alba</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Rumex acetosella</i> , <i>Artemisia princeps</i>	95
Pp	<i>Poa pratensis</i> , <i>A. alba</i>	95
Fo	<i>Festuca ovina</i> , <i>A. princeps</i> , <i>R. acetosella</i> , <i>A. alba</i>	80
Ra	<i>Agrostis alba</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>A. princeps</i>	90
Sm-Ss	<i>Spiraea miyabei</i> , <i>Spiraea salicifolia</i> , <i>Philadelphus pekinensis</i> , <i>Rubus crataegifolius</i>	70
Forest	<i>Quercus mongolica</i> , <i>Quercus serrata</i> , <i>Pinus densiflora</i>	85

Aa-Pp, *A. alba* - *P. pratensis* community; Pp, *P. pratensis* community; Fo, *F. ovina* community; Ra, *R. acetosella* community; Sm-Ss, *S. miyabei* - *S. salicifolia* community.

**Table 2.** Soil chemical properties

Community type	pH	EC (ds m <sup>-1</sup> )	N (%)	C (%)	C/N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
Aa-Pp	4.3b	0.7a	0.4b	6.7bc	15.5ab	71.8ab	32.6a	80.5c
Pp	4.1d	0.6ab	0.7a	8.2ab	12.2d	56.1b	24.5ab	242.2a
Fo	4.5a	0.3c	0.5b	7.3abc	16.0ab	46.1b	7.6b	92.3c
Ra	4.2cd	0.5abc	0.7a	8.7a	13.2cd	60.6b	14.9ab	153.8b
Sm-Ss	4.5a	0.3bc	0.5b	6.9abc	14.3bc	66.3ab	10.7b	55.2cd
Forest	4.3bc	0.4abc	0.4ab	6.2c	17.2a	89.4a	6.2b	6.7d

Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). Aa-Pp, *A. alba* - *P. pretense* community; Pp, *P. pratensis* community; Fo, *F. ovina* community; Ra, *R. acetosella* community; Sm-Ss, *S. miyabei* - *S. salicifolia* community.

### 3. 토양 미소동물 및 지표면 서식 절지동물 조사

토양 미소동물 조사를 위해 2015년 7월 초순에 토양시료를 채취하였다. 각 구의 크기는 5×6 m로 6반복으로 설정하였다. 0~15 cm의 표토를 구별로 4~5곳에서 채취하여 식물 잔사는 제거한 후 골고루 혼합하였다. 지표면 서식성 절지동물은 2016년 9월 하순에 각 구별로 하나의 pit-fall trap을 18 시간 동안 매설하여 채집하였다.

### 4. 토양 미소동물

토양 선충의 개체밀도는 10 g의 토양을 Baermann funnel을 이용하여 48시간 동안 추출하여 조사하였다. 분리한 선충은 TAF (triethanolamine formalin) 용액에 고정하여 보관하였다가 목 또는 아목 단위로 조사하였다. 세균 섭식성 선충 중에서 군락 간 차이가 뚜렷한 Rhabditida와 Monhysterida의 밀도를 나타내었다. 토양에 서식하는 톡토기와 응애를 조사하기 위해 400 mL의 토양을 Tullgren funnel을 이용하여 72시간 동안 추출하였다. 분리한 개체는 광학현미경으로 관찰하면서 분류하였으며, 응애는 부식성인 Oribatida목의 밀도만 나타내었다.

### 5. 토양 화학성 분석

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 2 M KCl로 추출하였고, 유효 인산은 acetate-lactate buffer로 추출하여 SmartChem autoanalyzer (Westco, Italy)로 제조사의 방법에 따라 분석하였다. C와 N은 CN analyser (Vario Max CN, Elementar, Germany)로 분석하였다.

### 6. 통계분석

토양의 화학성과 생물의 밀도 및 종 수는 ANOVA에서 유의성이 있는 경우 Duncan 검정법을 이용하여 식물 군락 간 비교를 하였다. 곤충과 거미의 군집은 nMDS (non-Metric

Multidimensional Scaling)를 이용하여 분석하였다. 통계 분석은 SAS v9.1 (SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토양 이화학적 및 식생

식물 군락에 따라 토양 화학성이 부분적으로 차이가 있었다 (Table 2). 식물 군락에 따라 pH, C/N, 유효인산 등에서 차이가 나타났으며, 초본 군락과 관목 군락 사이에 뚜렷한 차이는 없었다. 시비를 했던 초지에 비해 산림의 유효인산 농도가 낮았다. 초지는 산림에 비해 토양의 C 농도는 높아지고, C/N율은 낮아지는 경향이 있었다. 이것은 질소질 비료의 시비와 이에 따른 초지의 바이오매스 생산량 증가가 원인인 것으로 생각된다.

식생의 변화는 토양 이화학적 지형에 영향을 받을 수 있다. 김의털은 생장이 늦으며 건조와 저영양상태에 강하기 때문에 (Tuma *et al.* 2005), 이 군락이 주로 산 정상부에 우점하였던 것으로 생각된다. 애기수영은 천이 중간단계 식물로 산성 및 건조한 규질 토양에 잘 서식한다 (Pedersen *et al.* 2011; Stopps *et al.* 2011). 덩불조팝나무와 꼬리조팝나무는 주로 경사가 가파른 곳에서 관찰되었다. 경사가 가파른 곳은 토양의 유실이 커서 파종한 사료작물의 정착뿐만 아니라 초지의 사후관리와 가축의 먹이활동이 어렵기 때문에 관목이 정착한 것으로 생각된다.

### 2. 토양 서식 선충

식물의 침입은 지하부 생태계에 영향을 주며, 토양 선충의 군집은 식물의 종에 따라 달라진다 (Hoschitz 2004). Pritekel *et al.* (2006)은 식물 섭식성 선충 및 세균 섭식성 선충의 밀도가 각각 벼과 및 두과 식물에서 높았다고 하였다. 또한, 식

**Table 3.** Abundances of soil nematodes

	Rhabditida	Monhysterida	Tylenchina (ind g <sup>-1</sup> )	Aphelenchina	Dorylaimida
Aa-Pp	14.4a	0.1c	3.1b	0.3a	0.1b
Pp	9.0b	0.0c	9.3b	0.0b	0.1b
Fo	6.3b	0.7b	6.6b	0.3a	0.4a
Ra	9.0b	0.3c	29.4a	0.2ab	0.1b
Sm-Ss	5.4bc	1.3a	2.6b	0.3a	0.2ab
Forest	2.4c	1.0ab	4.3b	0.1ab	0.1b

Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). Aa-Pp, *A. alba* - *P. pretense* community; Pp, *P. pratensis* community; Fo, *F. ovina* community; Ra, *R. acetosella* community; Sm-Ss, *S. miyabei* - *S. salicifolia* community.

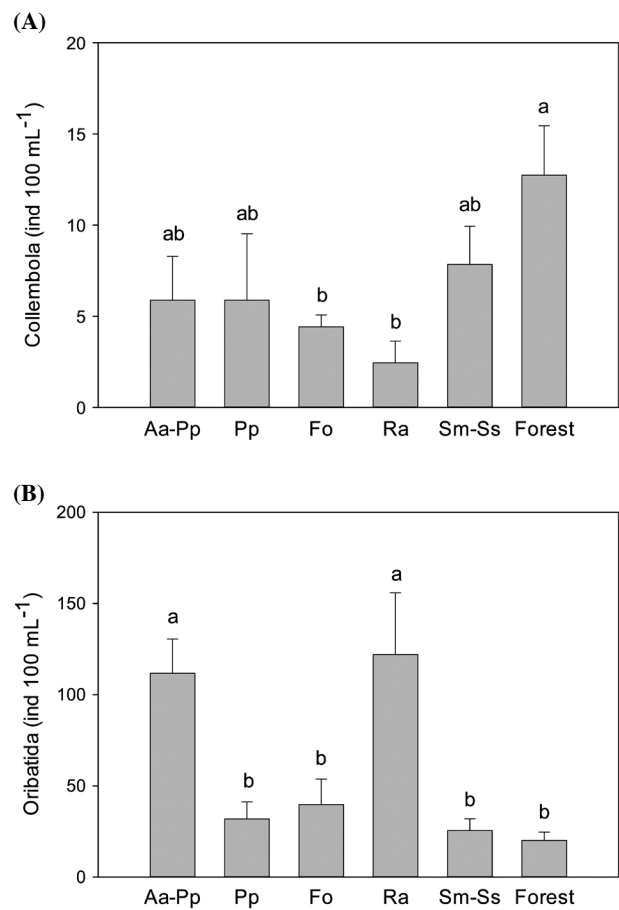
물 섭취성 선충은 식물이 영양부족 상태가 되어 방어물질 등을 생산할 경우 밀도가 낮아질 수 있다 (Verschoor *et al.* 2001). 이러한 식물의 종 특이적 영향은 본 연구에서도 선충의 분류군에 따라 다르게 나타났다 (Table 3).

세균 섭취성인 Rhabditida목 선충의 밀도는 산림보다 초지에서 높았다. 초지는 산지에 비하여 C/N율이 낮기 때문에 유기물 분해에 관여하는 토양미생물의 곰팡이/세균 비율이 낮아지는 경향이 있다 (de Vries 2006). 본 연구에서도 Rhabditida목의 밀도가 초지에서 높았던 것은 토양 C/N율 등의 화학성 변화에 의해 이들의 먹이가 되는 세균 중심의 먹이망 구조가 형성되었다는 것을 시사한다. 한편, Monhysterida목은 반대로 초지에서 낮은 경향이 있었다. Monhysterida목에 속하는 *Prismatolaimus*속은 농경지 조성 과 같은 교란에 의해 밀도가 감소했다는 보고가 있다 (Zhao and Neherb 2013). 이러한 결과는 두 군의 식성이 유사하더라도 서식지의 환경 차이에 의해 반응이 달라진다는 것을 시사한다. 또한, 주로 곰팡이를 섭취하는 Aphelenchina나 잡식성인 Dorylaimida의 밀도가 식물 군락에 따라 달랐던 것은 식물의 종 구성에 따라 이들이 섭취하는 먹이의 종류나 양이 달라진다는 것을 보여준다.

특히, Tylenchina에 속하는 식물 섭취성 선충의 밀도는 애기수영 군락에서만 크게 높았다. Ted-ford and Fortnum (1988)은 애기수영이 *Xiphinema americanum* 등과 연관되었다고 하였다. 식물 섭취성 선충은 뿌리의 분비물을 증가시키며 (Yeates *et al.* 1998), 시스템 선충의 경우 토양 미생물에 이차적으로 영향을 줄 수 있다 (Denton *et al.* 1999), 따라서, 이러한 선충 밀도의 증가가 애기수영의 생태계 기능에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

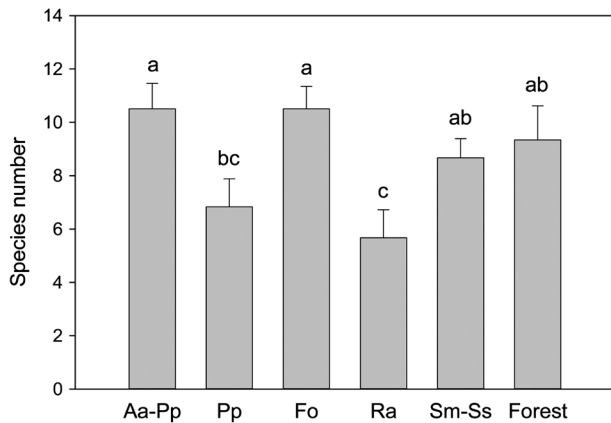
### 3. 토양 서식 특토기 및 응애

Collembola (특토기)의 밀도는 초지에 비해 산림에서 높았다 (Fig. 1A). Badejo *et al.* (1998)도 동일한 결과를 보고하였으며, 느리게 분해되는 유기물의 양이 많기 때문이라고 추측하였다. 또한, Collembola는 유기물이나 Ca, Na, Al과 같은



**Fig. 1.** Abundances of Collembola (A) and Oribatida (B). Aa-Pp, *A. alba* - *P. pretense* community; Pp, *P. pratensis* community; Fo, *F. ovina* community; Ra, *R. acetosella* community; Sm-Ss, *S. miyabei* - *S. salicifolia* community.

성분에 의해 군집 구성이 영향을 받는다는 보고도 있기 때문에 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다 (Maunsell *et al.* 2013). Oribatida목 응애는 초지와 산림 간에 뚜렷한 차이는 없었으며, 흰겨이삭 - 큰조아재비군락과 애기수영 군락에서 높았다 (Fig. 1B). 이들의 밀도는 토양특성에 영향을 받을 수 있지만 (Wissuwa *et al.* 2013), 두 식물 군락의 토양 화학성에

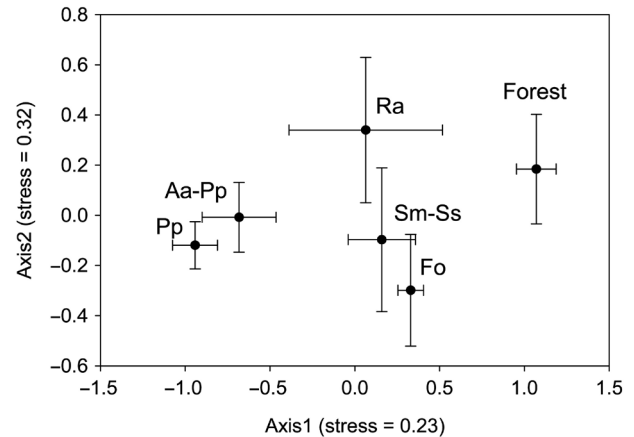


**Fig. 2.** Species number of arthropods collected from pit-fall trap. Aa-Pp, *A. alba* - *P. pretense* community; Pp, *P. pratensis* community; Fo, *F. ovina* community; Ra, *R. acetosella* community; Sm-Ss, *S. miyabei* - *S. salicifolia* community.

서 공통된 특징이 없었기 때문에 이것만으로 설명하기는 어렵다. Oribatida는 식물의 종 구성이나 다양성에 영향을 받으며(Eisenhauer *et al.* 2011), 식물 잔사의 양이나 성분에 따라 그 밀도가 달라질 수 있다(Maharning *et al.* 2009). 또한, Collembola와 Oribatida는 비슷한 먹이습성을 갖고 있어 경쟁적 관계를 보일 수 있다. 하지만 흰겨이삭 - 큰조아재비군락에서는 두 생물군의 밀도 간에 상반적 경향이 없었기 때문에 다른 환경적 요인이 작용했을 것으로 추측된다. 식물이 생산하는 유기물은 양뿐만 아니라 구성 성분에 따라서 이를 섭식하는 생물에 미치는 영향이 다를 수 있다(Crutsinger *et al.* 2008).

#### 4. 지표면 서식 절지동물

지표면 서식 절지동물은 총 105종으로 pit-fall trap에 의해 2669개체가 채집되었다. 이 중 곤충(Insecta)이 71종으로 가장 많았고, 거미(Araneae)는 21종이 관찰되었다. 절지동물의 종 수는 식물 군락 간 유의적 차이가 있었으며 애기수영에서 가장 낮았다(Fig. 2). 이것은 식물 군락의 조성이 다른 동물군의 다양성에 영향을 준다는 것을 보여준다. 특히, nMDS 분석 결과를 보면 초지 군락과 산림이 Axis 1에 의해 분리되었으며(Fig. 3), 산림을 산지초지로 개발한 이후에 식물 군락에 따라 절지동물 군락도 함께 변한다는 것을 보여준다. Siemann *et al.* (1999)는 버려진 농경지에서 목본식물의 증가에 따라 절지동물의 다양성도 증가하였다고 하였다. 하지만 본 연구에서는 이러한 경향이 없었기 때문에 인공초지에서 목본을 포함하는 다른 식물 군락의 서식이 절지동물의 다양성 변화를 동반하지는 않는다는 것을 시사한다. 토양은 지표



**Fig. 3.** nMDS analysis of arthropods collected from pit-fall trap. Aa-Pp, *A. alba* - *P. pretense* community; Pp, *P. pratensis* community; Fo, *F. ovina* community; Ra, *R. acetosella* community; Sm-Ss, *S. miyabei* - *S. salicifolia* community.

면 서식 절지동물에게 서식처나 산란지를 제공하기 때문에 직접적으로 영향을 미치며, 토양 화학성도 식물을 통하여 간접적으로 영향을 준다(Wolkovich 2010). 절지동물의 다양성도 미세서식처의 토양환경 차이에 따라 다르다(De Bruyn *et al.* 2001). 본 연구에서도 토양 화학성이나 지형이 식물 군락 형성과 연관성이 있었으며, 이차적으로 토양 미소동물과 지표면 서식 절지동물의 밀도 및 다양성 모두에 영향을 미친 것으로 생각된다.

## 적 요

산지초지의 관리 강도가 약해지면서 다양한 식물 군락이 형성되었다. 초본 군락은 흰겨이삭 - 큰조아재비 군락, 왕포아풀 군락, 김의털 군락 및 애기수영 군락이었고, 목본 군락은 덩불조팝나무 - 꼬리조팝나무 군락이었다. 군락에 따라 토양 미소동물 및 지표면 서식 절지동물의 군집 차이가 관찰되었다. 토양 화학성은 식물 군락에 따라 달랐으며, 이차적으로 다른 생물군에 영향을 주었다. 토양 선충은 같은 식성이라도 목 단위에서 다른 반응을 나타냈으며, 식물 섭식성 선충은 애기수영과 밀접한 관계를 보였다. Collembola나 Oribatida와 같은 미소절지동물의 밀도가 다른 것은 기질이 되는 유기물이나 미생물의 양이 식물 군락에 따라 다르기 때문인 것으로 추측된다. 지표면 서식 절지동물은 식물 군락별 군집 특성이나 종 수가 달랐다. 이것은 식생 구조와 구성이 절지동물의 다양성에도 영향을 준다는 것을 보여준다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ00997002, PJ01001301)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Badejo MA, TI Nathaniel and G Tian. 1998. Abundance of springtails (Collembola) under four agroforestry tree species with contrasting litter quality. *Biol. Fert. Soils* 27:15-20.
- Bettiol W, R Ghini, JAH Galvao, MAV Ligo and JLC Mineiro. 2002. Soil organisms in organic and conventional cropping systems. *Sci. Agricola* 59:565-572.
- Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie*. 3rd ed. Springer. New York. 631pp.
- Cardoso P, I Silva, NG Oliveira and ARM Serrano. 2004. Higher taxa surrogates of spider (Araneae) diversity and their efficiency in conservation. *Biol. Cons.* 117:453-459.
- Corbet SA. 1995. Insects, plants and succession: advantages of long term set-aside. *Agric Ecosyst. Environ.* 53:201-217.
- Crutsinger GM, W Reynolds, AT Classen and NJ Sanders. 2008. Disparate effects of host-plant genotypic diversity on above- and belowground communities. *Oecologia* 158:65-75.
- De Bruyn L, S Thys, J Scheirs and R Verhagen. 2001. Effects of vegetation and soil on species diversity of soil dwelling Diptera in a heathland ecosystem. *J. Insect Conserv.* 5:87-97.
- De Deyn GB, CE Raaijmakers and WH Van der Putten. 2004. Plant community development is affected by nutrients and soil biota. *J. Ecol.* 92:824-834.
- Denton CS, RD Bardgett, R Cook and PJ Hobbs. 1999. Low amounts of root herbivory positively influence the rhizosphere microbial community in a temperate grassland soil. *Soil Biol. Biochem.* 31:155-156.
- De Vries FT, E Hoffland, N van Eekeren, L Brussaard and J Bloem. 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biol. Biochem.* 38:2092-2103.
- Dirnboeck T and S Dullinger. 2008. Organic matter accumulation following *Pinus mugo* Turra invasion into subalpine, non-forest vegetation. *Plant Ecol. Divers.* 1:59-65.
- Eisenhauer N, A Milcu, ACW Sabais, H Bessler, J Brenner and C Engels. 2011. Plant diversity surpasses plant functional groups and plant productivity as driver of soil biota in the long term. *PLoS ONE* 6:e16055.
- Filser J. 2002. The role of collembola in carbon and nitrogen cycling in soil. *Pedobiologia* 46:234-245.
- Frankow-Lindberg BE, C Brophy, RP Collins and J Connolly. 2009. Biodiversity effects on yield and unsown species invasion in a temperate forage ecosystem. *Ann. Bot.* 103:913-921.
- Grove S and B Yaxley. 2005. Wildlife habitat strips and native forest groundactive beetle assemblages in plantation nodes in northeast Tasmania. *Aust. J. Entomology* 44:331-343.
- Hemerik L and L Brussaard. 2002. Diversity of soil macro-invertebrates in grasslands under restoration succession. *Eur. J. Soil. Biol.* 38:145-150.
- Hooper DU and PM Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277:1302-1305.
- Hoschitz M and R Kaufmann. 2004. Nematode community composition in five alpine habitats. *Nematology* 6:737-747.
- Isselstein J, B Jeangros and V Pavlu. 2005. Agronomic aspects of biodiversity targeted management of temperate grasslands in Europe: a review. *Agron. Res.* 3:139-151.
- Kampmann D, F Herzog, P Jeanneret, W Konold, M Peter, T Walter, O Wildi and A Luscher. 2008. Mountain grassland biodiversity: Impact of site conditions versus management type. *J. Nat. Conserv.* 16:12-25.
- Kim TJ and BY Sun. 1996. Taxonomy of the genus *Spiraea* in Korea. *Kor. J. Plant. Tax.* 26:191-212.
- Maharning AR, AAS Mills and SM Adl. 2009. Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands. *Appl. Soil Ecol.* 41:137-147.
- Maunsell SC, RL Kitching, P Greenslade, A Nakamura and CJ Burwell. 2013. Springtail (Collembola) assemblages along an elevational gradient in Australian subtropical rainforest. *Aust. J. Entomol.* 52:114-124.
- Mikola J and P Sulkava. 2001. Responses of microbial-feeding nematodes to organic matter distribution and predation in experimental soil habitat. *Soil. Biol. Biochem.* 33:811-817.
- Ogle DW. 1991. *Spiraea virginiana* Britton: 1. Delineation and distribution. *Castanea* 56:287-296.
- Pedersen J, AM Fransson and PA Olsson. 2011. Performance of *Anisantha (Bromus) tectorum* and *Rumex acetosella* in sandy calcareous soil. *Flora* 206:276-281.
- Powell CA, LB Forer, RF Stouffer, JN Cummins, D Gonsalves, DA Rosenberger, J Hoffman and RM Lister. 1984. Orchard weeds as hosts of tomato ringspot and tobacco ringspot viruses. *Plant Disease* 68:242-244.
- Pritekel C, A Whittemore-Olson, N Snow and JC Moore. 2006. Impacts from invasive plant species and their control on the plant community and belowground ecosystem at Rocky Mountain National Park, USA. *Appl. Soil. Ecol.* 32:13-141.

- Querner P, A Bruckner, T Drapela, D Moser, JG Zaller and T Frank. 2013. Landscape and site effects on Collembola diversity and abundance in winter oilseed rape fields in eastern Austria. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164:145-154.
- Schmidt MH, I Roschewitz, C Thies and T Tschamtko. 2005. Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. *J. Appl. Ecol.* 42:281-287.
- Stopps GJ, SN White, DR Clements and MK Upadhyaya. 2011. The biology of Canadian weeds. 149. *Rumex acetosella* L. *Can. J. Plant Sci.* 91:1037-1052.
- Tedford EC and BA Fortnum. 1988. Weed hosts of *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita* common in tobacco fields in South Carolina. *Annu. Appl. Nematol.* 2:102-105.
- Tuma I, P Holub and K Fiala. 2005. Competitive balance and nitrogen losses from three grass species (*Arrhenatherum elatius*, *Calamagrostis epigejos*, *Festuca ovina*). *Biologia* 60:1-6.
- Usher MB, J Field and S Bedford. 1993. Biogeography and diversity of ground-dwelling arthropods in farm woodlands. *Biodivers. Lett.* 1:54-62.
- Verschoor BC, RGM De Goede, FW De Vries and L Brussaard. 2001. Changes in the composition of the plant-feeding nematode community in grasslands after cessation of fertiliser application. *Appl. Soil Ecol.* 17:1-17.
- Verschoor BC, TE Pronk, RGM De Goede and L Brussaard. 2002. Could plant-feeding nematodes affect the competition between grass species during succession in grasslands under restoration management? *J. Ecol.* 90:753-761.
- Watkinson AR and SJ Ormerod. 2001. Grasslands, grazing and biodiversity: editors introduction. *J. Appl. Ecol.* 38:233-237.
- Westhoff V and E van der Maarel. 1973. The Braun-Blanquet approach. pp. 167-726. In *Ordination and classification of communities* (Whittaker RH ed.). Dr. W Junk by publisher. Hague, Boston, London.
- Wissuwa J, J Salamon and T Frank. 2013. Oribatida (Acari) in grassy arable fallows are more affected by soil properties than habitat age and plant species. *Eur. J. Soil. Biol.* 59:8-14.
- Wolkovich EM. 2010. Nonnative grass litter enhances grazing arthropod assemblages by increasing native shrub growth. *Ecology* 91:756-766.
- Yeates GW, S Saggar, CS Dento and CF Mercer. 1998. Impact of clover cyst nematode (*Heterodera trifolii*) infection on soil microbial activity in the rhizosphere of white clover (*Trifolium repens*): a pulse labeling experiment. *Nematologia* 44:81-90.
- Zaller J, D Moser, T Drapela and T Frank. 2009. Ground-dwelling predators can affect within-field pest insect emergence in winter oilseed rape fields. *BioControl* 54:247-253.
- Zhao J and DA Neherb. 2013. Soil nematode genera that predict specific types of disturbance. *Appl. Soil Ecol.* 64:135-141.

Received: 3 November 2016

Revised: 11 November 2016

Revision accepted: 11 November 2016