

지형 및 고도에 따른 토양성 논거미 군집특성

어진우*, 김명현, 김민경, 최순군

농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화평가과

Effect of geography and altitude on the community characteristics of epigeic spiders in rice field levees

Jinu Eo*, Myung-Hyun Kim, Min-Kyeong Kim and Soon-Kun Choi

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

*Corresponding author

Jinu Eo

Tel. 063-238-2507

E-mail. eojinu@korea.kr

Received: 18 October 2020

Revised: 1 December 2020

Revision accepted: 2 December 2020

Abstract: This study investigated the effect of geography and altitude on epigeic spider communities in rice field levees in Jeollabuk-do. Spider communities in the mountainous and plain areas were compared to determine the effect of geography on the cultivation periods. The effect of altitude was compared between the Jeongeup and Jangsu areas during non-cultivation periods. Analysis using nMDS (non-metric multidimensional scaling), MRPP (multiple response permutation procedure), and ANOSIM (analysis of similarity) revealed differences in spider community structures between the two types of study areas. Lycosidae predominated at the family level, and its abundance was greater in the mountainous area than in the plains area. The total abundance did not differ between the two areas with different altitudes, but the abundance of three *Pardosa* species was greater at lower altitudes than at higher altitudes. Geography and altitude had a minimal effect on species richness and diversity indices at the community level. However, several Lycosidae species showed species-specific responses to both geography and altitude in the rice fields.

Keywords: rice field, altitude, geography, epigeic spider

서론

거미는 포식자로 생태계의 먹이그물 구조와 물질순환에 중요한 역할을 한다(Lawrence and Wise 2000; Wise 2004). 피트폴 트랩에 채집되는 토양성 거미는 초지, 식물의 잔사, 잡목, 토양의 균열 등에 서식하며, 일부 종을 제외하고는 그물을 만들지 않고 매복, 추격, 급습 등의 먹이포획전략으로 먹이활동을 한다(Uetz and Unzicker 1976). 논둑 등의 농

경지 주변공간은 육상 절지동물에 다양한 서식환경을 제공하여 거미의 발생밀도와 다양성에 긍정적인 역할을 한다(Clough *et al.* 2005; Schmidt *et al.* 2005). 논둑의 토양성 거미는 담수에 따라 논으로 이동하여 논생태계의 절지동물 군집에 영향을 미칠 수 있으며(Lambeets *et al.* 2008), 농업적으로는 해충의 밀도를 조절하는 기능적 역할을 한다(Symondson *et al.* 2002).

거미는 매우 다양하고 식생 등의 서식지 구조변화에 민

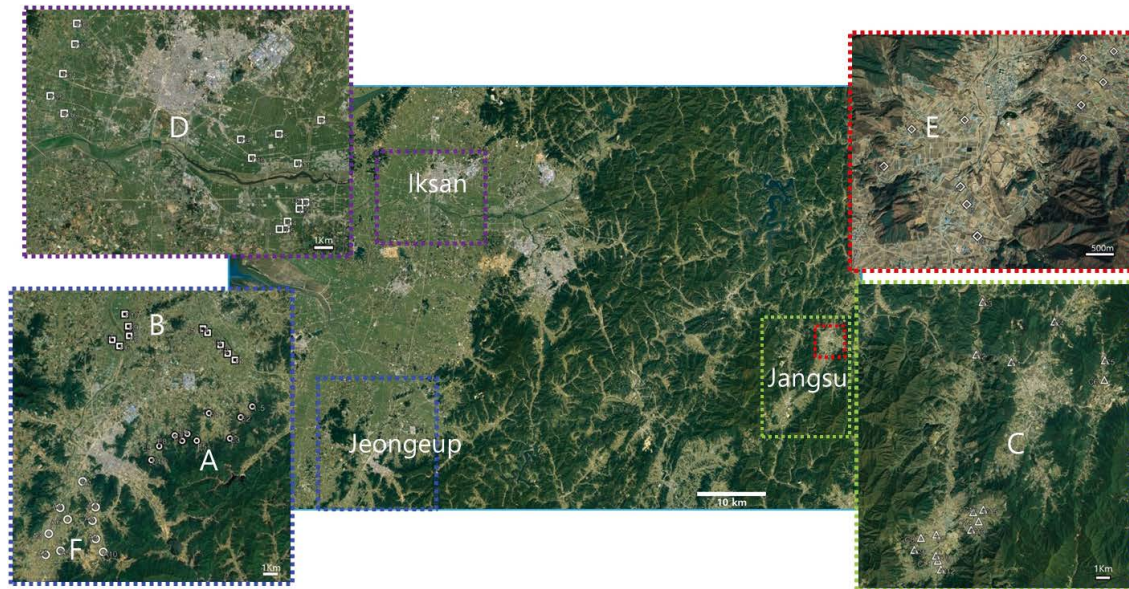


Fig. 1. Map of the survey sites. Geographical comparisons between mountainous and plain areas on a local scale (A and B; 100 km²) and regional scale (C and D; 1,000 km²), and an altitudinal comparison between the Jangsu (E) and Jeongeup (F) areas.

감하게 반응하기 때문에 환경변화를 평가하는 지표생물로 이용되며 (Pearce and Veiner 2006), 지역적 범위에서 공간 특성이 생물군집에 미치는 영향을 평가하는 모델로 이용되는 생물군이다 (Waide *et al.* 1999). 거미류의 서식처는 식생이나 지형적 요소에 의해 영향을 받으며 농업생태계 주변에 비농경지가 많을수록 거미의 종다양성도 증가한다 (Schmidt *et al.* 2005; Drapela *et al.* 2011). 지형에 따라 논 위치는 산간지와 평야지로 나눌 수 있으며, 농경지 주변의 산림은 절지동물에게 다양한 먹이자원과 서식환경을 제공하기 때문에 산림과의 거리는 거미군집에 영향을 미친다 (Amano *et al.* 2011; Kim *et al.* 2018; Choi *et al.* 2019). 또한, 다양한 공간범위에서 환경요소가 토양성거미에 미치는 영향을 비교하는 것은 거미군집의 변화를 이해하는 데 도움이 된다 (Clough *et al.* 2005; Loboda and Buddle 2018).

고도는 무척추동물의 크기, 온도저항성, 생활주기, 번식 등에 영향을 미쳐 군집구조를 변화시킨다 (Hodkinson 2005). 고도가 높아질수록 동물의 다양성은 일반적으로 감소하는 경향이 있으며 (Rahbeck 1995), 그 원인으로는 생태계의 생산성 감소, 서식면적 감소, 자원의 다양성 감소, 환경변동 증가 등을 들 수 있다 (Lawton *et al.* 1987). 거미류도 고도가 높아짐에 따라 다양성과 발생밀도가 감소하는 것으로 알려져 있다 (Wolda 1987; Mauer and Hanggi 1991).

고도가 100 m 증가할 때 온도는 평균 0.6°C씩 감소하여 위도에 비하여 짧은 거리에서도 온도구배가 크게 형성되기 때문에 고도 차이에 따른 생물의 반응은 기후변화 영향을 예측하는 데 일반적으로 이용되고 있다 (Fielding *et al.* 1999).

본 연구는 지형과 고도에 따른 논 위치가 토양성 논거미군집에 미치는 영향을 평가하기 위해 실시하였다. 지형에 따라 논 위치를 산간지와 평야지로 나누어 비교하였으며, 공간적 범위를 국지 및 지역 규모로 나누어 거미군집의 특성과 다양성을 비교하였다. 또한, 고도의 영향을 알아보기 위해 주변 환경과 지형이 유사한 장수와 정읍 지역 지점의 논을 대상으로 비교하였다.

재료 및 방법

1. 토양성 거미 조사

지형별 비교를 위해 논 유형을 산간지와 평야지로 구분하여 벼재배기인 2019년 6~7월에 조사를 실시하였으며 유형별 조사정보는 Table 1과 같다. 또한, 공간범위에 따른 차이를 비교하기 위해 조사지역 전체면적을 국지(약 100 km²) 및 지역(약 1,000 km²) 범위로 나누어 비교하였다. 국

Table 1. Information on the survey sites

Comparison	Types	Altitude	Survey area	Distance to forest
Geography	Mountainous	50 - 500 m	Jeongeup (local), Jangsu (regional)	< 200 m
	Plain	0 - 50 m	Jeongeup (local) , Iksan etc. (regional)	> 500 m
Altitude	High	400 - 500 m	Jangsu	< 500 m
	Low	0 - 80 m	Jeongeup	

Local scale, 100 km²; regional scale, 1,000 km².

지범위 비교에서는 전라북도 정읍 지역에서 유형별로 10개 지점씩 선정하였으며, 지역범위 비교에는 전라북도 장수의 산간지와 익산 일대의 평야지를 대상으로 유형별로 16개 지점씩 선정하였다. 고도별 비교를 위해 장수와 정읍 지역에서 각각 산림까지의 거리가 500 m 이내인 10지점을 선정하였고, 벼의 생육이나 농경지관리의 차이에 기인한 영향을 최소화하기 위해 휴한기인 2018년 3월과 2019년 4월에 조사를 실시하였다. 2018~2019년의 2년간 평균기온은 장수와 정읍이 각각 10.6°C와 13.4°C였다. 논에의 위치에 따른 지형별 비교조사는 각 지점별로 논을 3포장(0.1~0.4 ha)씩 선정하여 피트폴트랩을 논둑에 10 m 간격으로 3개씩 설치하였고, 고도별 비교조사에서는 5개씩 설치하였다. 피트폴트랩은 24시간 노출 후 수거하여 80% 알코올에 보관하였으며 실체현미경은 MZ 7.5 (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany)을 이용하여 종 수준까지 동정하였다 (Namkung 2001).

2. 통계분석

토양성거미는 각 지점별로 3개 포장에서 채집된 개체수를 합산하여 발생밀도(abundance)를 분석하였다. 지형 및 고도별 군집 비교를 위해 nMDS (non-metric multidimensional scaling)를 수행하였다. 또한, 유형별로 군집이 통계적으로 차이가 있는지 분석하기 위해 MRPP (Multiple response permutation procedure), ANOSIM (Analysis of similarity)을 이용하였다 (Clarke 1993). 유형별로 거미의 발생밀도와 다양성지수를 비교하기 위하여 t-test를 이용하였다. 거미의 군집분석은 R-4.0.2 vegan package를 이용하였으며, 종 수(species richness)와 다양성지수 (Shannon diversity index H', Simpson dominance index D', Pielou evenness index J')는 Community Analysis Package v.4 (Pices Conservation)를 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 거미군집 특성

지형별 100 km² 범위의 비교에서 산간지와 평야지 논에서 채집된 241개체의 논거미는 9과 29종으로 동정되었으며 늑대거미과(Lycosidae)가 81.3%를 차지하였다 (Table 2). 논거미 총 발생밀도는 산간지보다 평야지에서 높았고 이사고늑대거미(*Pardosa isago*)와 황산적늑대거미(*Pirata subpiraticus*)의 발생밀도는 산간지보다 평야지에서 높았다. 또한, 지형별 1,000 km² 범위의 비교에서는 13과 50종 651개체가 관찰되었으며 늑대거미과가 73.5%를 차지하였다. 논거미 총 발생밀도는 평야지에서 높았고 논가시늑대거미(*Pardosa pseudolaevitarsis*)의 발생밀도도 평야지에서 높았다. 고도별 비교에서 2018년에는 13과 35종에 속하는 393개체의 논거미가 채집되었고, 2019년에는 17과 53종 423개체의 논거미가 채집되었다 (Table 3). 갈거미과(Tetragnathidae)의 턱거미(*Pachygnatha clercki*)가 가장 우점하였으며 2018년과 2019년에 각각 전체의 69.5%와 10.6%를 차지하였으나 고도별 비교에서 통계적 차이는 없었다. 논거미 총 발생밀도는 2년간 모두 지역 간 차이가 없었고 2018년에는 별늑대거미(*Pardosa astrigera*)의 발생밀도가 고도가 높은 장수 지역보다 고도가 낮은 정읍 지역에서 높았으며, 2019년에는 이사고늑대거미(*P. isago*)와 논가시늑대거미(*P. pseudolaevitarsis*)의 발생밀도가 장수 지역보다 정읍 지역에서 높았다.

2. 지형 및 고도별 거미의 다양성 및 군집 비교

지형별 거미군집의 nMDS분석에서 100 km² 및 1,000 km² 범위에서 모두 산간지와 평야지가 구분되었다 (Fig. 2). 지형별 100 km² 범위의 비교결과에서 MRPP (A=0.09, P=0.002)와 ANOSIM (R=0.177, P=0.014) 분석에서 두

Table 2. Abundance of some dominant families and species of epigeic spiders in the two types of geography

	Local scale (100 km ²)		Regional scale (1,000 km ²)	
	Mountainous area	Plain area	Mountainous area	Plain area
Lycosidae	4.9±1.5	15.0±3.1*	9.7±2.3	20.4±4.8*
<i>Pardosa astrigera</i>	0.8±0.4	1.8±1.5	5.9±2.0	4.8±1.4
<i>Pardosa isago</i>	0.8±0.4	4.9±1.7**	0.1±0.1	13.7±3.7**
<i>Pardosa laura</i>	0.6±0.3	2.1±1.0	2.4±1.1	0.3±0.2
<i>Pardosa pseudolaevitarsis</i>	0.0±0.0	0.3±0.3	0.0±0.0	1.5±0.7*
<i>Pirata subpiraticus</i>	1.4±0.6	4.8±1.1**	0.3±0.1	0.4±0.2
<i>Trochosa ruricola</i>	0.0±0.0	0.2±0.1	0.1±0.1	0.2±0.1
Linyphiidae	0.6±0.2	1.2±0.4	1.0±0.4	2.3±0.5
<i>Erigone koshiensis</i>	0.5±0.2	1.1±0.4	0.5±0.3	1.0±0.4
Tetragnathidae	0.0±0.0	0.9±0.6	0.3±0.1	0.9±0.6
<i>Pachygnatha clercki</i>	0.0±0.0	0.9±0.6	0.3±0.1	1.1±0.6
Total	7.0±0.7	17.1±3.1*	14.3±2.9	26.7±4.8*

Data represent mean ± s.e. Asterisks indicate significant differences according to *t*-test: **P*<0.05; ***P*<0.01.

Table 3. Abundance of some dominant families and species of epigeic spiders in the two areas with different altitudes

	2018		2019	
	Jangsu	Jeongeup	Jangsu	Jeongeup
Lycosidae	0.9±0.3	0.3±0.2	9.2±1.5	18.3±3.3
<i>Pirata subpiraticus</i>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
<i>Pardosa astrigera</i>	0.1±0.1	0.7±0.2*	3.5±1.0	4.2±1.4
<i>Pardosa isago</i>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	6.0±2.4*
<i>Pardosa pseudolaevitarsis</i>	0.0±0.0	0.0±0.0	1.0±0.3	3.9±1.3*
<i>Trochosa ruricola</i>	0.2±0.1	0.0±0.0	1.3±0.4	2.0±0.7
Linyphiidae	4.0±1.1	2.3±0.7	1.0±0.4	0.7±0.3
Tetragnathidae	12.7±4.0	13.3±4.3	2.9±0.5	1.6±0.6
<i>Pachygnatha clercki</i>	13.4±4.8	13.9±5.2	2.8±0.5	1.5±0.6
Total	19.9±5.0	19.4±5.6	17.7±2.2	24.6±3.5

Data represent mean ± s.e. Asterisks indicate significant differences according to *t*-test: **P*<0.05; ***P*<0.01.

유형 간 거미군집이 통계적으로 차이가 있었으며, 1,000 km² 범위의 비교결과에서도 MRPP (*A*=0.137, *P*=0.0001)와 ANOSIM (*R*=0.494, *P*=0.00001)에 의해 지형별 뚜렷한 차이가 나타났다. 고도별 거미군집의 nMDS 분석에서 2019년에만 두 지역이 구분되었다(Fig. 2). 2018년에는 MRPP (*A*=0.023, *P*=0.085)와 ANOSIM (*R*=-0.022, *P*=0.451)으로 고도별 군집 차이가 없었으나, 2019년에는 MRPP (*A*=0.065, *P*=0.002)와 ANOSIM (*R*=0.310, *P*=0.0001)으로 군집이 달랐다. 지형 및 고도에 따른 종 수와 다양성지수는 뚜렷한 차이는 없었으며, 지형별 1,000 km²

범위의 비교에서 균등도만이 산간지에서 높았다(Table 4, 5).

고 찰

1. 지형에 따른 군집 변화

토양성거미의 총 발생밀도가 산간지보다 평야지에서 높았던 것은 논과 산림까지의 거리에 영향을 받았을 것으로 생각된다. 논생태계 거미의 군집조성과 밀도는 산림까지의

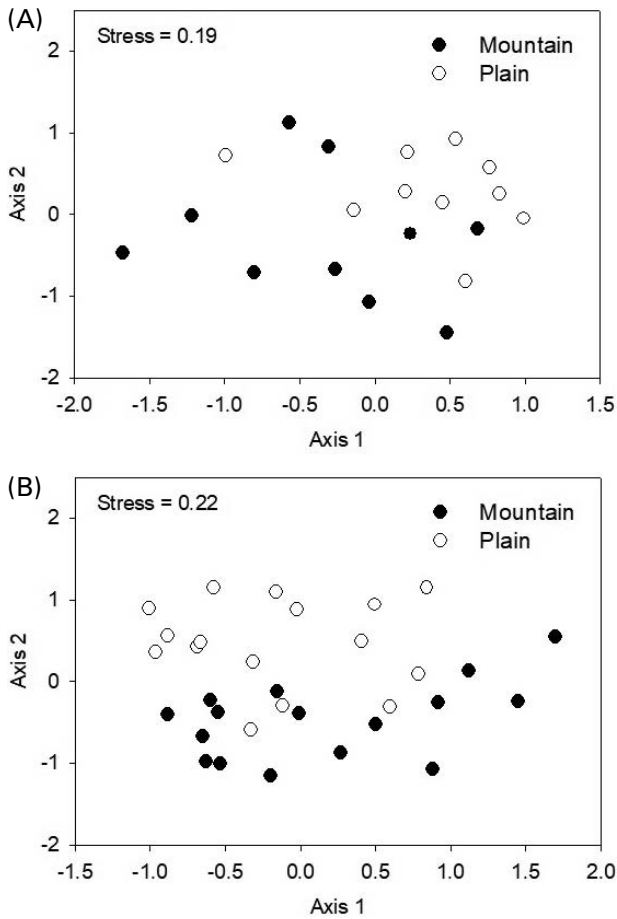


Fig. 2. nMDS results of ground-dwelling spider communities in the two types of geography on a (A) local scale (100 km²) and (B) regional scale (1,000 km²).

거리에 영향을 받으며 (Baba and Tanaka 2016), 농경지에 서식하는 거미의 군집조성은 산림으로부터의 거리가 멀어질수록 산림 특이종보다는 보편종이 우점하는 경향이 있다 (Oleszczuk *et al.* 2010; Stenchly *et al.* 2012). Stenchly *et al.* (2012)는 코코아 재배지의 거미 총 발생밀도나 종 수는 산림까지의 거리에 의한 영향이 없었으나 일부 우점종의 발생밀도는 산림까지의 거리와 양의 상관관계가 있었으며, 농경지 주변의 초본식물은 거미에 긍정적인 효과가 있다고 하였다. 논외의 경우에도 논둑처럼 초본식물이 발생하는 개방된 공간은 농경지에 우점하는 보편종들에게 유리할 것으로 추측된다.

2. 고도에 따른 군집 변화

고도에 따른 거미의 군집구조는 부분적으로 차이가 있

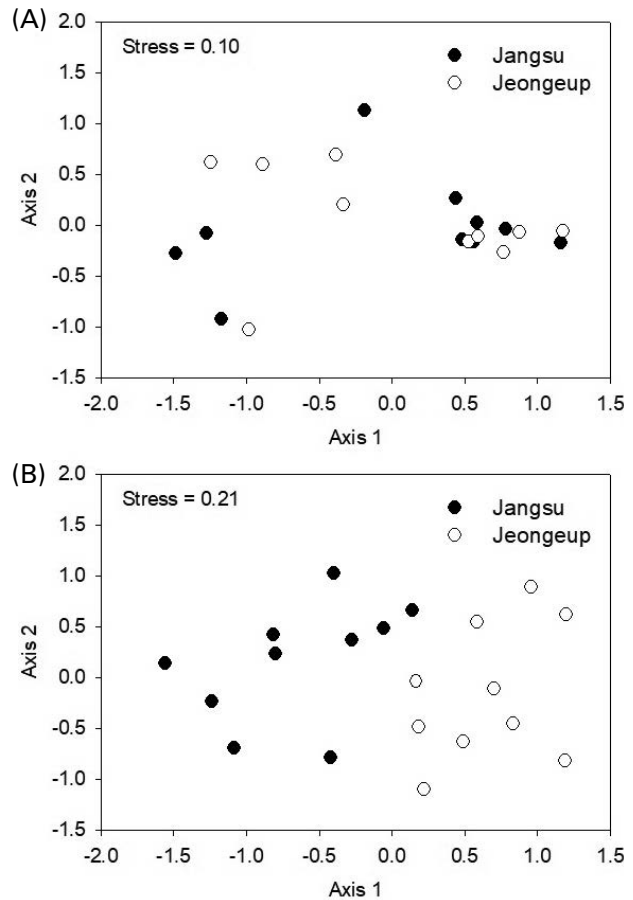


Fig. 3. nMDS results of ground-dwelling spider community in the two areas with different altitudes (A) in 2018 and (B) in 2019.

었으며, 긴마디늑대거미속 (*Pardosa* spp.) 일부 종의 발생밀도는 고도 간 차이가 있었다. 그러나 Chatzaki *et al.* (2005)는 거미류의 발생밀도가 고도와 상관관계는 없었고 종에 따라 특이적으로 반응한다고 하였다. Kwon *et al.* (2014)은 산림에서 대부분의 거미 우점종 발생밀도가 고도와 음의 상관관계를 나타냈다고 하였는데, 이 경우에는 고도가 1,100m 이상인 지점도 포함되어 고도의 효과가 뚜렷하게 나타난 것으로 생각된다. 한편, 토양성 거미는 종에 따라 선호하는 미소서식환경과 먹이가 다르지만 (Kobayashi *et al.* 2011), 논은 인위적인 공간으로 산림 등의 자연생태계에 비하여 고도에 따른 식생 등의 환경변화가 크지 않은 것도 고도별 차이가 적은 하나의 원인으로 볼 수 있다. 한편, 2018년에는 고도별로 뚜렷한 차이가 없었으나 2019년에는 뚜렷한 차이를 보였다. 이것은 조사시기에 영향을 받은 것으로 보이며, Weeks Jr. and Holtzer (2000)에 의하

Table 4. Diversity indices of epigeic spiders in the two types of geography

	Local scale (100 km ²)		Regional scale (1,000 km ²)	
	Mountainous area	Plain area	Mountainous area	Plain area
Species richness (N)	4.3±0.6	4.7±0.5	5.4±0.7	6.8±0.7
Shannon diversity index (H')	1.3±0.1	1.2±0.1	1.2±0.1	1.3±0.1
Simpson dominance index (D')	5.8±1.2	3.8±0.7	4.3±0.8	5.3±1.0
Pielou evenness index (J')	1.0±0.0	0.7±0.0*	0.7±0.1	0.8±0.0

Data represent mean ± s.e. Asterisks indicate significant differences: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

Table 5. Diversity indices of epigeic spiders in the two areas with different altitudes

	2018		2019	
	Jangsu	Jeongeup	Jangsu	Jeongeup
Species richness (N)	5.2±0.9	4.8±0.6	9.5±1.1	7.4±0.6
Shannon diversity index (H')	1.1±0.2	1.1±0.1	2.0±0.1	1.7±0.1
Simpson dominance index (D')	2.9±0.6	3.6±0.7	9.0±1.5	6.1±0.7
Pielou evenness index (J')	0.7±0.1	0.7±0.1	0.9±0.0	0.9±0.0

Data represent mean ± s.e.

면 거미류의 군집조성은 조사시기에 따라 1개월 간격으로도 달라지며 이는 계절적 변동 때문이라고 분석한 바 있다. 2019년의 경우에 늑대거미과(Lycosidae)가 갈거미과(Tetragnathidae)보다 크게 우점했다는 것은 논거미 중에서 늑대거미과가 지형과 고도에 모두 민감하게 반응한다는 것을 보여준다.

3. 생물다양성

지형이나 고도는 일반적으로 생물다양성에 영향을 미치는 주요한 환경요소이나(Barton *et al.* 2013), 본 연구에서는 종 수나 다양성지수에 미치는 영향이 뚜렷하지 않았다. 또한, 늑대거미과(Lycosidae)의 종 수는 주변에 산림의 비율이 높을수록 종 수가 증가한다는 보고가 있으나(Oberg *et al.* 2007; Fuller *et al.* 2014), 본 연구의 지형별 비교에서는 *t*-test에서 국지($P=0.218$) 및 지역범위($P=0.111$)에서 통계적인 차이는 없었다. 이것은 농업생태계의 교란 강도가 크기 때문에 농경지에 의존적인 소수의 종들이 우점하기 때문인 것으로 추측된다(Luczak 1979; Nyffeler *et al.* 1994). 한편, 거미의 다양성은 고도의 증가에 따라 감소하는 경향이 있으나 선형적인 관계는 아니다(Rahbek 1995). Otto and Svensson (1982)는 고도의 증가에 따라 종 수가

급격히 줄었다고 하였으나, 이는 0~1,600 m까지를 조사한 결과로 본 연구의 고도와는 차이가 있어 유사한 결과가 관찰되지 않았을 수 있다. 수리거미과(Gnaphosidae)의 경우에는 종 수가 고도의 증가에 따라 감소하는 경향이 있으나 400~700 m 부근에서 고점이 나타났다(Chatzaki *et al.* 2005). 거미 다양성과 고도와의 상관관계는 같은 지역에서도 조사지점이나 교란 등의 국지적 환경요인에 따라 양상이 다를 수 있으므로(McCoy 1990; Foord and Dippenaar-Schoeman 2016) 지형 등의 환경요소를 종합적으로 고려할 필요가 있을 것으로 사료된다.

4. 늑대거미과의 발생

지형별 비교에서 평야지의 발생밀도가 높았던 늑대거미과의 3종은 논에 대한 서식지 선호성을 갖고 있다. 이사고늑대거미(*P. isago*)와 논가시늑대거미(*P. pseudolaevitarsis*)는 주로 논에 서식하며 습한 환경을 선호하는 것으로 보고되었으며(Yoo *et al.* 2014; Kim and Yoo 2019), 황산적늑대거미(*P. subpiraticus*)는 다른 농경지에서도 우점한다(Togashi and Taka 1991; Ishijima *et al.* 2006; Lee *et al.* 2019). 일반적으로 늑대거미과(Lycosidae)는 접시거미과(Linyphiidae)보다 주위의 경관에 영향을 더 받을 수 있다

(Oberg *et al.* 2007). 고도에 따라 발생밀도에 차이가 나타난 종들은 모두 긴마디늑대거미속(*Pardosa spp.*)에 속한 종들이었는데, Hein *et al.* (2015)은 이 속에 속하는 종들이 고도에 따른 암컷의 크기나 알의 크기 등은 차이는 없었다고 하였기 때문에 고도의 영향을 평가하기 위해서는 생육 이외의 다른 요인을 고려할 필요가 있다. 연도에 따라 고도별로 늑대거미과 중 차이가 나는 종이 달랐는데 황산적늑대거미는 호흡성 거미로서 벼재배기 동안 논에 가장 우점하는 거미이지만 반대로 별늑대거미는 건습성 거미로서 논이 아닌 밭이나 공할지에 우점하는 종이다. 이것은 3~4월에 조사되었기 때문에 휴한기의 특성이 나타난 것으로 벼재배기 논에 일반적인 특성이 아닐 수 있다. 또한, 고도별 비교가 이루어진 지역은 논 주변 경관이 유사하였음에도 불구하고 농경지 분포 등의 주변의 미소한 환경 차이에 영향을 받았을 가능성이 있기 때문에 (Oberg *et al.* 2007), 고도와 지형의 효과를 명확히 분리할 수 있는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

조사지역인 정읍과 장수의 평균기온 차이가 2.8°C라는 점을 고려할 때 고도별 비교 결과는 지구온난화에 따른 지역적 평균기온 상승에 대한 토양성거미군집 반응을 예측하는 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 논생태계에서 논둑과 같은 가장자리는 늑대거미과(Lycosidae)의 서식에 중요한 장소이며(Oberg *et al.* 2007), 황산적늑대거미(*P. subpiraticus*)를 포함하는 늑대거미과는 해충을 포식하는 능력이 크다(Paik and Kim 1979). 따라서 농업생태계에서 토양성거미를 활용한 효율적인 해충조절을 위해서는 지형 등의 환경조건에 따른 논둑의 생태적인 관리에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

지형과 고도가 논둑에 서식하는 토양성거미의 군집과 다양성에 미치는 영향을 조사하였다. 지형의 영향평가를 위해 벼재배기에 산간지와 평야지에서 비교한 결과 거미의 군집구조가 달랐으며 발생밀도는 산간지보다 평야지에서 높았다. 늑대거미과가 가장 우점하였으며 이사고늑대거미(*P. isago*)의 발생밀도는 산간지보다 평야지에서 높았다. 거미군집의 발생은 국지(100 km²) 및 지역(1,000 km²) 범위에서 유사하였다. 고도의 영향과 관련하여 휴한기에 지형이 유사한 장수와 정읍 지역을 비교한 결과 발생밀도는

지역 간 차이가 없었으나, 긴마디늑대거미속(*Pardosa spp.*) 3종의 발생밀도는 정읍에서 높았다. 이러한 결과는 지형과 고도가 군집 수준에서 토양성 논거미의 다양성지수에 미치는 영향은 크지 않으나, 종 수준에서 논에 의존적인 늑대거미과의 우점종에 영향을 줄 수 있다는 것을 보여준다.

사 사

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01507302)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

REFERENCES

- Amano T, Y Kusumoto, H Okamura, YG Baba, K Hamasaki, K Tanaka and S Yamamoto. 2011. A macro-scale perspective on within-farm management: how climate and topography alter the effect of farming practices. *Ecol. Lett.* 14:1263–1272.
- Baba YG and K Tanaka. 2016. Factors affecting abundance and species composition of generalist predators (Tetragnatha spiders) in agricultural ditches adjacent to rice paddy fields. *Biol. Control* 103:147–153.
- Barton PS, SA Cunningham, AD Manning, H Gibb, DB Lindenmayer and RK Didham. 2013. The spatial scaling of beta diversity. *Global Ecol. Biogeogr.* 22:639–647.
- Chatzaki M, P Lymberakis, G Markakis and M Mylonas. 2005. The distribution of ground spiders (Araneae, Gnaphosidae) along the altitudinal gradient of Crete, Greece: Species richness, activity and altitudinal range. *J. Biogeogr.* 32:813–831.
- Choi S, N Kim, B Shin, J Lee and B Jang. 2019. Trend of temporal change in moth communities in forests of the agricultural landscape of southwestern South Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 37:426–432.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Ecol.* 18:117–143.
- Clough K, A Krueess, D Kleijn and T Tschamtkke. 2005. Spider diversity in cereal fields: comparing factors at local, landscape and regional scales. *J. Biogeogr.* 32:2007–2014.
- Drapela T, T Frank, X Heer, D Moser and JG Zaller. 2011. Landscape structure affects activity density, body size and fecundity of *Pardosa wolf* spiders (Araneae: Lycosidae) in winter

- oilseed rape. *Eur. J. Entomol.* 108:609–614.
- Fielding CA, JB Whittaker, FEL Butterfield and JC Coulson. 1999. Predicting responses to climate change: the effect of altitude and latitude on the phenology of the Spittlebug *Neophilaenus lineatus*. *Funct. Ecol.* 13:65–73.
- Foord SH and AS Dippenaar-Schoeman. 2016. The effect of elevation and time on mountain spider diversity: a view of two aspects in the Cederberg mountains of South Africa. *J. Biogeogr.* 43:2354–2365.
- Fuller L, A Oxbrough, T Gittings, S Irwin, TC Kelly and J O'Halloran. 2014. The response of ground-dwelling spiders (Araneae) and hoverflies (Diptera: Syrphidae) to afforestation assessed using within-site tracking. *Forestry* 87:301–312.
- Hein N, H Feilhauer, J Löffler and O Finch. 2015. Elevational variation of reproductive traits in five *Pardosa* (Lycosidae) species. *Arct. Antarct. Alp. Res.* 47:473–479.
- Hodkinson ID. 2005. Terrestrial insects along elevation gradients: Species and community responses to altitude. *Biol. Rev.* 80:489–513.
- Ishijima C, A Taguchi, M Takagi, T Motobayashi, M Nakai and Y Kunimi. 2006. Observational evidence that the diet of wolf spiders (Araneae: Lycosidae) in paddies temporarily depends on dipterous insects. *Appl. Entomol. Zool.* 41:195–200.
- Kim N, S Choi and J Lee. 2018. Spatio-temporal changes of beetles and moths by habitat types in agricultural landscape. *Korean J. Environ. Biol.* 36:180–189.
- Kim ST and JS Yoo. 2019. Two newly recorded wolf spiders with one new species (Araneae, Lycosidae) from Korea. *J. Species Res.* 8:283–287.
- Kobayashi T, M Takada, S Takagi, A Yoshioka and I Washitani. 2011. Spider predation on a mirid pest in Japanese rice fields. *Basic Appl. Ecol.* 12:532–539.
- Kwon T, CM Lee, TW Kim, S Kim and JH Sung. 2014. Prediction of abundance of forest spiders according to climate warming in South Korea. *J. Asia-Pac. Biodivers.* 7:e133–e155.
- Lambeets K, ML Vandegehuchte, JP Maelfait and D Bonte. 2008. Understanding the impact of flooding on trait-displacements and shifts in assemblage structure of predatory arthropods on river banks. *J. Anim. Ecol.* 77:1162–1174.
- Lawrence KL and DH Wise. 2000. Spider predation on forest-floor Collembola and evidence for indirect effects on decomposition. *Pedobiologia* 44:33–39.
- Lawton JH, M MacGarvin and PA Heads. 1987. Effects of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores of bracken. *J. Anim. Ecol.* 56:147–160.
- Lee S, M Kim, J Eo, YJ Song and ST Kim. 2019. Comparative analysis of terrestrial arthropod community and biomass in differently managed rice fields in Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 37:317–334.
- Loboda S and CM Buddle. 2018. Small- to large-scale patterns of ground-dwelling spider (Araneae) diversity across northern Canada. *FACETS* 3:880–895.
- Luczak J. 1979. Spiders in agroecosystems. *Pol. Ecol. Stud.* 5:151–200.
- McCoy ED. 1990. The distribution of insects along elevational gradients. *Oikos* 58:313–322.
- Namkung J. 2001. *The Spiders of Korea*. Kyo-Hak Publishing Com. Seoul.
- Nyffeler M, WL Sterling and DA Dean. 1994. Insectivorous activities of spiders in United States field crops. *J. Appl. Entomol.* 118:113–128.
- Oleszczuk M, M Ulikowska and K Kujawa. 2010. Effect of distance from forest edge on the distribution and diversity of spider webs in adjacent maize field. *Pol. J. Ecol.* 58:759–768.
- Oberg S, B Ekbohm and R Bommarco. 2007. Influence of habitat type and surrounding landscape on spider diversity in Swedish agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 122:211–219.
- Otto C and BS Svensson. 1982. Structure of communities of ground-living spiders along altitudinal gradients. *Ecography* 5:35–47.
- Paik KY and JS Kim. 1979. Survey on the spider-fauna and their seasonal fluctuation in paddy fields in Taegu, Korea. *Korean J. Plant Prot.* 12:125–130.
- Pearce JL and LA Venier. 2006. The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: A review. *Ecol. Indic.* 6:780–793.
- Rahbek C. 1995. The elevational gradient of species richness: A uniform pattern? *Ecography* 18:200–205.
- Schmidt MH, I Roschewitz, C Thies and T Tschardt. 2005. Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. *J. Appl. Ecol.* 42:281–287.
- Stenchly K, Y Clough and T Tschardt. 2012. Spider species richness in cocoa agroforestry systems, comparing vertical strata, local management and distance to forest. *Agric. Ecosyst. Environ.* 149:189–194.
- Symondson WOC, KD Sunderland and MH Greenstone. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annu. Rev. Entomol.* 47:561–594.
- Togashi I and J Taka. 1991. Spider fauna occurring in paddy fields in Ishikawa Prefecture. *Acta Arachnol.* 40:61–67.
- Uetz GW and JD Unzicker. 1976. Pitfall trapping in ecological studies of wandering spiders. *J. Arachnol.* 3:101–111.
- Waide RB, MR Willig, CF Steiner, G Mittelbach, L Gough, SI Dodson, GP Grundy and S Harden. 2009. Evidence of a latitudinal gradient in spider diversity in Australian cotton. *Austral*

Ecol. 34:10–23.

Weeks RD and TO Holtzer. 2000. Habitats and season in structuring ground-dwelling spider (Araneae) communities in a shortgrass steppe ecosystem. *Environ. Entomol.* 29:1164–1172.

Wise DH. 2004. Wandering spiders limit densities of a major microbe-detrivore in the forest-floor food web. *Pedobiologia*

48:181–188.

Wolda H. 1987. Altitude, habitat and tropical insect diversity. *Biol. J. Linn. Soc.* 30:313–323.

Yoo JS, S Lee, J Lee, JS Im and ST Kim. 2014. Description of two wolf spiders (Araneae: Lycosidae) from Korea. *J. Forest Environ. Sci.* 30:30–35.