

고도와 수관부 유무가 제주조릿대 군락과 소비자 군집에 미치는 영향

이 진, 이재영¹, 장범준¹, 정길상², 최세웅^{1,*}

국립생태원 멸종위기종복원센터 복원연구실, ¹목포대학교 환경교육과, ²국립생태원 기후변화연구실

Effects of elevation and canopy openness on a dwarf bamboo (*Sasa quelpaertensis* Nakai) vegetation and their consumer communities

Jin Lee, Jae-Young Lee¹, Beom-Jun Jang¹, Gilsang Jeong² and Sei-Woong Choi^{1,*}

Division of Restoration Research, Research Center for Endangered Species, NIE, Yeongyang 36531, Republic of Korea

¹Department of Environmental Education, Mokpo National University, Muan 58554, Republic of Korea

²Division of Climate & Ecology, NIE, Seocheon 33657, Republic of Korea

*Corresponding author

Sei-Woong Choi
Tel. 061-450-2783
E-mail. choisw@mokpo.ac.kr

Received: 24 June 2019

Revised: 2 July 2019

Revision accepted: 14 July 2019

Abstract: We investigated the tritrophic interactions associated with elevation and openness of dwarf bamboo (*Sasa quelpaertensis* Nakai) vegetation on Mt. Halla, Jeju Island. The interactions between dwarf bamboo plants and its consumers were investigated in four study sites with and without canopy along the elevation gradient. The ecological traits of dwarf bamboo included leaf area, water content, nitrogen content and carbon/nitrogen ratio. Arthropods were collected using a sweeping net and they were later divided into three different feeding guilds: herbivorous, omnivorous and predators. We found that the elevation and canopy openness on dwarf bamboo vegetation was positively related and as elevation increased and canopy opened, the bamboo densities and C/N ratio increased. However, the leaf area, water content and the N content decreased. The study sites with closed canopy indicated a relatively higher species richness of arthropods including insects. We concluded that the tritrophic interactions is closely related to the ecological characteristics of the dwarf bamboos, which is affected by elevation and canopy openness.

Keywords: biodiversity, dwarf bamboo, Mt. Hallasan, *Sasa quelpaertensis*, tritrophic interaction

서 론

제주조릿대 (*Sasa quelpaertensis* Nakai)는 제주도 한라산 산림지대를 중심으로 높은 밀도로 분포하고 분포 지역이 점차 확산되어 한라산 북쪽 사면의 76% 이상을 덮고 있다

(Lee *et al.* 2010; Cho *et al.* 2018). 산림 내 조릿대류 (*Sasa* sp.)가 우점하게 되면 조릿대의 조밀한 잎이 주변 식물의 갱신 치수를 현저히 피압하여 고사시키고, 조릿대 타감물질은 다른 식물 종자 발아를 억제한다(Nakashizuka 1988; Li *et al.* 1992; Peter *et al.* 1992; Park *et al.* 2012). 그 결과 다른 식

물 종의 발달을 억제할 뿐만 아니라 고산지대에 서식하는 한라산시로미 (*Empetrum nigrum* var. *japonicum*), 흰그늘용담 (*Gentiana chosonica*), 설앵초 (*Primula modesta* var. *hannasanensis*) 등과 같은 식물은 멸종위기에 처해 있다(Cho et al. 2018).

한라산은 해발고도에 따라 뚜렷한 수직분포 식생대를 보여주고 있으며(Yim et al. 1991), 식생대를 구성하는 식물은 환경변화에 민감한 종으로 구성되어 있다(Kim 2008). 제주조릿대는 한라산을 중심으로 해발고도 400m에서 1,900m까지 분포 범위가 넓고(Kim 2008), 고도에 따른 다양한 식생대의 하부식생으로 자리 잡고 있다. 조릿대류는 고도, 분포지역 및 입지 등에 따라 표현형, 번식 형태가 다르므로(Kudo 1980; Katagiri et al. 1982; Yajima et al. 1997; Kim 2008), 고도별 제주조릿대군락의 생태적 특성을 이해하고 그 성장 특성을 조사할 필요가 있다.

빛 가용성(Light availability)은 하부 식생이 성장하거나 생존하는 데 있어서 가장 중요한 요인으로 작용한다(George and Bazzaz 1999). 즉 닫힌 수관부 아래 성장하는 하부 식생은 그들의 밀도, 종 구성, 구조 및 공간 분포를 바꿈으로써 빛 가용성을 높이기 위해 적응을 했다는 것을 의미한다. 한라산에 분포하는 제주조릿대 역시 해발고도에 따른 생육 특성은 연구되고 있지만(Kim 2008), 수관부의 유무에 따른 연구는 아직까지 미비하기 때문에, 수관부의 유무에 따른 수관부와 하부 식생의 상호관계 연구가 필요하다.

나비목, 메뚜기목, 흑파리과 등 많은 곤충들은 조릿대류(*Sasa* spp.)를 기주식물로 이용하거나 쉼터(shelter)로 이용한다(Stephan et al. 2017). 예를 들면, *Thoressa varia* (Murray) (나비목)는 조릿대류(*S. veitchii*)를 생장하기 위해 섭식하고, 월동하기 위한 장소로 선택한다(Ide 2004). 우리나라에서도 먹그늘나비(*Lethe diana* Butler)가 조릿대를 먹이로 하는 것으로 알려져 있다(Kim 2012). 그러나 제주도를 포함한 국내에 분포하고 있는 조릿대류에 서식하는 곤충 군집에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았기 때문에, 조릿대와 이 식물과 상호작용을 하는 곤충에 관한 연구가 필요하다.

식물의 물리·화학적 변화는 초식곤충의 군집 구조를 조절할 수 있다(Kytö et al. 1996; Throop and Lerdaу 2004). 식물과 곤충의 상호작용에 관한 가설인 Plant apparency hypothesis (Feeny 1976)와 Resource availability hypothesis

(Coley 1985) 등은 초식곤충이 잎의 저작을 방해하는 딱딱한 잎이나 소화를 방해하는 탄닌(tannin)과 같은 이차대사산물은 피하지만, 높은 질소 함량과 수분함량을 지닌 식물을 먹으면 생장이 빠르고 생식력이 높아지는 경향이 있다고 설명한다. 이러한 가설을 바탕으로 제주조릿대의 물리·화학적 변화 역시 곤충 군집구조의 상호관계에 영향을 줄 것으로 예측되며 이를 밝히기 위한 연구가 필요하다.

삼중영양 상호작용(Tri-trophic interaction)은 기주식물, 초식성곤충과 그를 섭식하는 포식자 등으로 나누어진다. 포식자(천적)는 초식곤충을 공격하거나, 섭식활동을 하는 곤충을 방해하여 식물에게 이익을 주므로, 식물의 관점에서 포식자의 존재는 간접적인 식물의 방어 기작으로 간주되기도 한다(Price 1997). 즉 제주조릿대의 생태적인 기능을 밝히기 위하여 제주조릿대를 기주로 하는 초식곤충과 초식곤충 상위영양단계인 포식자와의 관계를 밝히는 것은 제주조릿대 군집을 이해하는 데 필요한 작업이라고 여겨진다.

본 연구는 한라산 지역에서 고도별로 나타나는 제주조릿대 서식지의 고도와 수관부 개폐 여부에 따른 식물 생육특성을 밝혀내고, 제주조릿대군락이 초식곤충의 군집에 미치는 영향을 파악하며, 더 나아가 제주조릿대에 서식하는 초식곤충군집이 상위포식자에게 미치는 영향을 조사하여 제주조릿대의 생태적인 기능을 밝히기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 제주조릿대가 넓게 분포하고 있는 제주도 한라산 지역에서 수행했다. 한라산의 평균 월간 기온은 -3~22°C이며, 연평균 강수량은 2,968~4,749 mm이다. 식물군집은 고도에 따라 다르게 분포하며, 중간고도(600~1,000 m)에서는 신갈나무, 졸참나무, 서어나무, 개서어나무 등이

Table 1. Information of study sites on Mt. Hallasan National Park, Jeju, Korea

Site	Canopy	Elevation (m)	Latitude	Longitude
HL1	Closed	673	N 33°24'37.77"	E 126°29'45.18"
HL2	Closed	1,099	N 33°21'30.85"	E 126°27'45.01"
HL3	Opened	1,399	N 33°22'31.47"	E 126°29'59.51"
HL4	Opened	1,612	N 33°21'50.33"	E 126°30'50.33"

분포하여 낙엽활엽수림을 이루며, 높은 고도(1,400~1,950 m)에서는 구상나무와 같은 침엽수림이 분포한다(Kong 1998). 제주조릿대 분포양상에 따라 제주조릿대-초식곤충, 초식곤충-포식자와의 상호관계를 파악하기 위해 수관부가 있는 수목한계선 하부에서 해발고도가 다른 2지점, 수관부가 없는 수목한계선 상부에서 해발고도가 다른 2지점을 선정하였다(Table 1). 제주도 한라산에 서쪽 사면을 따라서, 천왕사 주변(HL1; 수관부 유, 673 m), 1100고지(HL2; 수관부 유, 1,099 m), 사제비동산(HL3; 수관부 무, 1,399 m) 및 윗세오름(HL4; 수관부 무, 1,612 m)의 4개의 조사지점을 선정하여 제주조릿대 생육특성 및 서식하는 절지동물류와의 상호관계를 조사하였다.

조사지별 제주조릿대 밀도를 측정하기 위해 4개 조사지역 내에서 무작위로 3개의 방형구(1 m×1 m)를 선정하여 단위면적당 제주조릿대 줄기 개수로 밀도를 산출하였다. 또한 입지조건별 제주조릿대 생육특성을 알아보기 위하여 조사지역 내에서 제주조릿대 잎을 10장 이상 무작위로 채취하여 잎의 길이, 잎의 수분함량, LMA (Leaf Mass per Area), 질소함량(N), 탄소질소비(C/N)를 분석하였다. 수분함량은 건조오븐에 60°C로 48시간 건조시키기 전과 후 잎의 무게를 재 그 차이로 구하였다. 또한 단위면적 당 잎면적(LMA; Leaf Mass per Area)을 구하기 위해 아래와 같은 방정식을 이용했다.

$$LMA = \frac{W_{dry}}{A_{area}}$$

여기서 W_{dry} 는 48시간 이상 60°C에서 건조된 질량을 나타내며, A_{area} 는 잎을 뜯는 펀치를 이용하여 잎 지름 1.5 cm의

잎의 원반모양을 만들어 면적을 계산하였다. 또한 원소분석기(EA 1108, Fisons Instruments, USA)를 이용하여 질소와 탄소의 함량을 백분율로 계산하였다.

제주조릿대지역에 서식하는 초식곤충과 이들 포식자를 알아보기 위하여 2018년 5월부터 10월까지 총 6회 현장조사를 실시하였다. 해발고도별 조사지역 당 4개의 방형구(25 m×25 m)를 설치하고 쓸어잡기법(Sweeping)을 이용하여 제주조릿대에 서식하는 곤충을 포함하는 절지동물을 무작위로 채집하였다. 쓸어잡기법은 제주조릿대 크기를 감안하여 0.5 m에서 1 m 높이에서 왕복 20~30회 바닥을 쓸 듯이 움직여 채집을 하였다. 채집된 종들은 국내·외 문헌을 이용하여 동정하였으며, 미동정된 종들은 국내 분류전문가에게 의뢰하여 동정 결과를 얻었다. 채집된 자료를 이용하여 다양성 지수(Shannon-Wiener index)를 구하였다.

조사된 해발고도와 수관부 개폐에 따른 제주조릿대 밀도, 채집된 생물상의 차이를 알아보기 위해 일원분산분석(One-way ANOVA)을 실시했고, 고도에 따른 잎 길이, 수분함량, LMA, N, C/N의 변화를 알아보기 위하여 t-검정(t-test)과 단순회귀분석(Simple Linear Regression)을 시도하였다. 또한 제주조릿대(밀도, 잎 생장 차이, 수분함량, LMA, N, C/N)와 초식곤충의 상관관계, 초식곤충과 포식자(육식성, 잡식성)의 상관관계를 알아보기 위하여 상관분석(Correlation Analysis)을 시도하였다. 모든 변수는 정규성 검정을 하기 위하여 Shapiro-Wilk normality test를 하였고 정규분포에 따르지 않는 데이터는 log로 변환시켜 정규분포를 따르게 하였다. 모든 통계분석은 R 프로그램(ver.3.4.3, R development)를 이용하여 분석하였다.

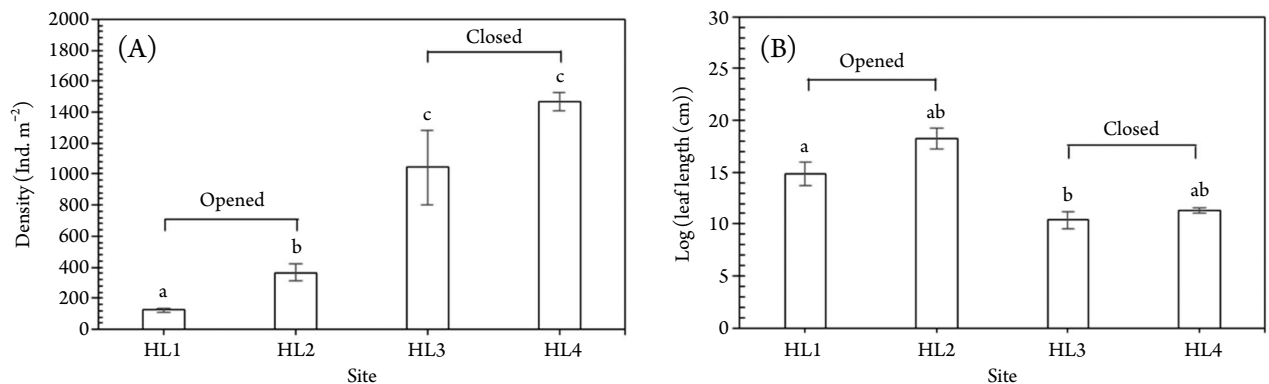


Fig. 1. The densities (A) and leaf lengths (B) of dwarf bamboos at four study sites on Mt. Hallasan National Park, Jeju, Korea. Different alphabets above bar indicate a significant difference at $p < 0.001$.

결 과

1. 수관부 개폐에 따른 제주조릿대 식물 특성 분석

1) 밀도 및 잎 길이

제주도 한라산의 해발고도에 따른 4개 지점을 대상으로 조사한 결과, 제주조릿대 밀도는 해발고도에 따라 차이를 나타내었다. 저고도인 HL1 [120.0 ± 11.8 (평균 \pm 표준오차, value m^{-2})]과 HL2 (366.7 ± 55.7)는 차이를 보였지만 1,400 m 이상인 고고도인 HL3 ($1,041.7 \pm 238.7$)과 HL4 ($1,466.7 \pm 60.5$)은 차이를 보이지 않았다. 그러나 전체적인 결과로는 해발고도가 증가함에 따라 수관부가 열려있는 상태이며 잎의 밀도가 높아졌다(Fig. 1A). 제주조릿대의 잎 길이는 HL1 (18.3 ± 1.1), HL2 (14.9 ± 1.1), HL3 (10.4 ± 0.8), HL4 (11.3 ± 0.3) 순으로 해발고도와 수관부 닫힘으로 줄어들었

다(Fig. 1B). 즉 해발고도가 증가함에 따라서 제주조릿대의 밀도는 점차 높아지며, 잎의 길이는 감소하는 경향을 보였다.

2) 제주조릿대 잎 분석

제주조릿대 잎의 수분함량(%)은 수관부가 유(14.8 ± 2.0), 무(8.4 ± 3.2)에 따라 통계적으로 다르지 않았으며

Table 2. The ecological traits of dwarf bamboo in the opened and closed canopy sites on Mt. Hallasan National Park, Jeju, Korea

Leaf traits	Opened	Closed	p value
Water content (%)	8.40 ± 0.76	14.80 ± 2.03	0.056
LMA ($mg\ area^{-1}$)	94.85 ± 4.32	84.72 ± 3.78	0.087
Nitrogen (%)	2.26 ± 0.14	3.02 ± 0.06	< 0.001
C/N ratio	21.82 ± 1.59	13.41 ± 0.21	< 0.001

The values are presented as mean \pm SD.
*p values represent the results of t test.

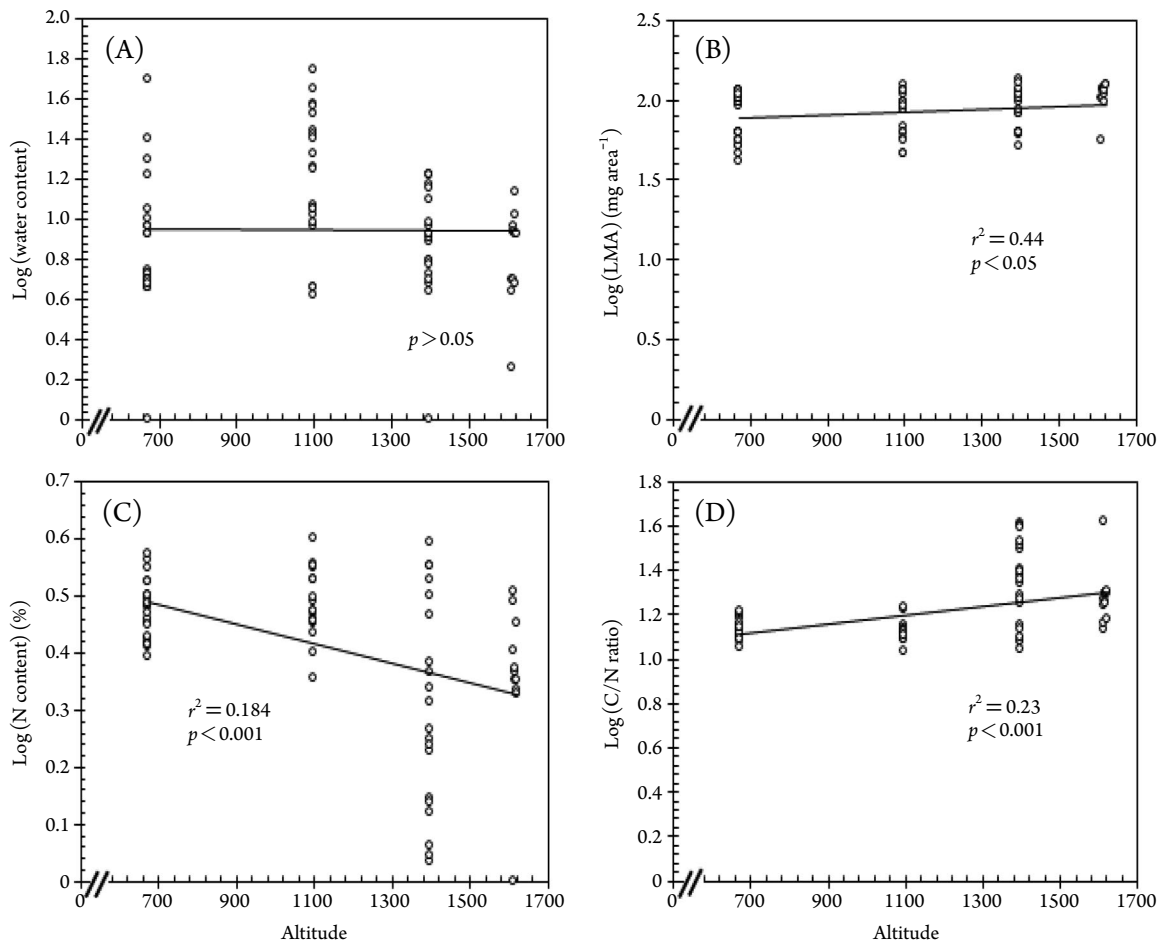


Fig. 2. The ecological traits of dwarf bamboos at four study sites on Mt. Hallasan National Park, Jeju, Korea. (A) Water content, (B) Leaf mass area, (C) Nitrogen content, (D) Carbon/Nitrogen ratio.

(Table 2, $p=0.056$), 조사지역 HL2 (21.0 ± 3.2)가 가장 높았고 조사지역 HL1 (9.6 ± 2.1), HL3 (9.0 ± 1.1), HL4 (7.4 ± 1.1) 값의 변동은 없었다(Fig. 2A, $p > 0.05$). 잎의 LMA는 수관부의 유 (84.7 ± 3.8), 무 (92.6 ± 4.3)에 따라 통계적으로 다르지는 않았지만 (Table 2, $p=0.087$), 조사지점 별 HL1 (83.7 ± 5.3), HL2 (86.0 ± 5.5), HL3 (87.6 ± 5.6), HL4 (107.0 ± 5.2)의 순으로 고도에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2B, $r^2=0.04$, $p < 0.05$). 수관부에 따른 제주조릿대의 잎의 수분함량과 LMA는 영향은 없었으나, 해발고도가 증가함에 따라 제주조릿대 잎의 LMA는 증가하는 경향을 보였으나, 수분함량 변화는 없었다.

또한 잎의 N, C/N값은 수관부의 유 (N: 3.0 ± 0.1 , C/N: 13.5 ± 0.2), 무 (N: 2.3 ± 0.1 , C/N: 21.8 ± 1.6)에 따라 통계적으로 유의하게 차이를 보였고 (Table 2, N: $p < 0.001$, C/N: $p=0.001$), 조사지점별 HL1 (N: 3.0 ± 0.1 , C/N: 13.6 ± 0.3), HL2 (N: 3.1 ± 0.1 , C/N: 13.2 ± 0.3), HL3 (N: 2.2 ± 0.2 , C/N: 23.2 ± 2.2), HL4 (N: 19.6 ± 2.1 , C/N: 19.6 ± 2.1) 순으로 고도별로 점차 변화하였다(Fig. 2C, D, N: $r^2=0.23$, $p < 0.001$, C/N: $r^2=0.18$, $p < 0.001$). 해발고도가 증가함에 따라 질소함량은 감소하였고, C/N 함량은 증가하였다.

2. 제주조릿대에 서식하는 절지동물 다양성

1) 해발고도별 종 다양성

한라산 제주조릿대 조사지역에서 출현한 생물상으로는 HL1에서 10목 39과 79종, HL2에서 12목 55과 116종, HL3 9목, 40과 84종, HL4 7목 21목 55과 116종이 채집되었다(Appendix 1).

고도별 출현양상으로는 조사지역 HL2에서 가장 많은 종수(s)와 개체수(n) ($s: 45.3 \pm 5.4$, $n: 52.0 \pm 7.1$)가 채집되었으나 HL1 ($s: 28.8 \pm 7.2$, $n: 35.3 \pm 9.4$), HL3 ($s: 32.2 \pm 1.8$, $n: 38.3 \pm 1.7$)과 통계적으로 유의하게 차이를 보이지 않았다(Table 3). 그러나 HL1~HL3과 HL4 ($s: 16.0 \pm 0.8$, $n: 19.5 \pm 1.5$)는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 3, $p < 0.001$). 또한 다양성지수는 조사지역 HL2 (3.7 ± 0.1)에서 가장 높았으나 통계적으로 HL1, HL3과는 차이를 보이지 않고 HL4 (2.7 ± 0.1)와는 뚜렷한 차이를 보였다(Table 3, $p < 0.001$).

2) 제주조릿대-초식곤충-포식자 상관관계

한라산 제주조릿대 군락에 나타나는 초식곤충과 제주조

Table 3. The summary of arthropod diversity in four study sites on Mt. Hallasan National Park, Jeju, Korea

Site	No. of species	No. of individuals	Diversity index
HL1	28.8 ± 7.2^a	35.3 ± 9.4^a	3.2 ± 0.2^a
HL2	45.3 ± 5.4^a	52.0 ± 7.1^a	3.7 ± 0.1^{ab}
HL3	32.3 ± 1.8^{ab}	38.3 ± 1.7^a	3.1 ± 0.3^a
HL4	16.0 ± 0.8^c	19.5 ± 1.5^b	2.7 ± 0.1^c

Values marked with superscripts are significant differences ($p < 0.05$).

Table 4. The interactions between ecological traits of dwarf bamboo and consumers in four study sites of Mt. Hallasan National Park, Jeju, Korea

	Herbivores	Predators (Carnivores)	Predators (Omnivores)	Predators (Carnivores+Omnivores)
Density	-0.75***			
Leaf length	0.73**			
LMA	0.21			
Nitrogen	0.78***			
C/N ratio	-0.77***			
Herbivores		0.74***	0.31	0.76***

, * mean statistically significant at $p < 0.01$, $p < 0.001$.

릿대 밀도($r = -0.77$, $p < 0.001$), 잎 길이($r = 0.72$, $p < 0.05$), 질소함량($r = 0.78$, $p < 0.05$), C/N ($r = -0.77$, $p < 0.001$)과 통계적으로 유의한 관계가 있는 것으로 보였다(Table 4). 즉 제주조릿대 밀도가 낮을수록, C/N함량이 낮을수록 초식곤충의 개체수가 증가하였으며, 반대로 잎의 길이가 길수록, 질소함량이 높을수록 초식곤충이 증가하는 경향을 보인다.

또한 초식곤충의 개체수와 육식성 포식자의 개체수($r = 0.74$, $p < 0.001$) 및 육식성과 잡식성을 합한 포식자 개체수($r = 0.76$, $p < 0.001$)는 양의 상관관계를 보였으나, 잡식성 포식자는 상관이 없었다($p > 0.05$)(Table 4).

고찰

1. 해발고도별 제주조릿대 분석

한라산 제주조릿대 밀도는 해발고도가 증가함에 따라 높아지며, 반대로 잎의 크기는 작아지는 경향을 보였다(Fig. 1). 조사지역 HL1 (해발고도, 673m)과 HL2 (1,099m)는 상부 식생이 신갈나무, 졸참나무, 서어나무 등이 포함된 낙엽활엽수림이며, HL3 (1,399m)와 HL4 (1,612m)는 상부 식생이 전혀 없어 빛에 관한 노출 정도가 다르다. 일반적인

로 안정된 극상림이나 혼효림의 경우, 수목의 잎은 일제히 성장하여, 거의 동시에 봄에 개엽하고 가을에 낙엽이 지기 때문에 하층 식생은 단시간에 동화시스템을 만들어내 수관부가 닫힌 곳에서도 빛 획득 경쟁에 유리한 전략을 가지고 있다(Kikuzawa 1986). 또한 잎의 수분함량, N, C/N 비율 역시 고도가 낮을수록 높아지는데(Fig. 2), 이는 상부 식생으로부터 유기물 이입이 된 것으로 여겨진다(Kim 2008). 상부 식생의 유무에 따른 하부 식생의 동화시스템 기작은 아직 밝혀지지 않았으나, 잎을 더 크게 생장시킴으로써 빛 경쟁에 유리한 전략 중의 하나로 사료된다.

질소함량과 잎 면적의 크기는 양의 상관관계를 가지고 있어(Reich *et al.* 1998) 상부 식생으로부터 이입된 유기물(e.g., 질소)은 잎 성장에 영향을 준다. 한라산 조사지역에서 상부 식생이 있는 HL1과 HL2는 상부 식생이 없는 HL3과 HL4보다 질소함량이 높았고(Fig. 2C), 잎 면적도 넓었다(Fig. 1B). 이처럼 제주조릿대의 밀도와 잎 면적은 상부 식생 존재에 따른 생태적 영향 결과로 나타난 것으로 판단된다.

2. 제주조릿대에 서식하는 생물다양성

조릿대는 많은 곤충의 기주식물과 쉼터로 이용이 되며(Stephan *et al.* 2017), 이를 기주로 하는 상위포식자들도 서식 가능하게 하기 때문에 생물다양성에 영향을 준다. 본 연구에서 확인한 제주조릿대군락과 연관된 곤충을 포함한 절지동물상은 HL1(10목 39과 79종), HL2(12목 55과 116종), HL3(9목 40과 84종), HL4(7목 21과 55과 116종)로 한라산 지역에서 분포하는 딱정벌레류 다양성(Yang *et al.* 2006)과 비교해 볼 때 비교적 높은 생물다양성을 보였다(Appendix 1).

제주조릿대 군락 내에서 절지동물 종수, 개체수 및 다양성 지수는 상부 식생이 존재하는 HL1, HL2이 높았으며 상부 식생은 없으나 주변에 낙엽활엽수림이 존재하는 HL3 지역이 수관부가 전혀 없는 HL4보다 월등히 높았다(Table 3). 이는 조릿대에 서식하는 많은 곤충(나비목, 매뚜기목, 흑파리과 등) 이외에 주변 식생으로부터 유입되는 곤충이 많다는 것을 의미한다. Schuldt *et al.* (2010)은 식물 다양성이 높아지면 이를 기주로 하는 초식곤충이 증가한다고 제안하고 있다. 왜냐하면 같은 섭식길드(동일한 자원을 이용하는 종들의 모임) 안에서 초식곤충의 먹이원 경쟁이 적

어지는 등의 직접적인 이익을 얻기 때문이다. 그러나 한라산에서의 제주조릿대 확산은 식물 종 다양성을 감소시켜(Nakashizuka 1988; Li *et al.* 1992; Peters *et al.* 1992; Park *et al.* 2012; Cho *et al.* 2018), 식물과 곤충의 관계에 따른 곤충의 분포를 저해시킬 수 있다는 것도 의미한다. 즉, 제주조릿대 확산에 대한 곤충다양성 변화를 알기 위해서는 제주조릿대 분포지역과 인위적인 제주조릿대 별채지역을 비교하는 등의 더 많은 연구가 필요하다.

More Individual Hypothesis (Mcglynn *et al.* 2010)는 식물 잎의 높은 생산성은 곤충 사망률을 감소시켜 곤충개체군의 크기가 커진다고 주장하였다. 본 연구에서 해발고도가 낮고 상부식생이 존재할 때, 제주조릿대의 잎 면적이 증가되고(Fig. 1B), 잎 면적이 증가할수록 초식곤충의 개체수도 증가하는 결과(Table 4)를 얻었다. 즉 제주조릿대의 생산성 역시 곤충 개체군에게 긍정적인 영향을 준다는 것을 의미한다.

초식곤충은 식물을 먹이원으로 하기 때문에 항상 식물 내 질소 함량은 곤충군집의 제한요인으로 작용한다(White 1978; Mattson 1980; Kytö *et al.* 1996; Awmack and Leather 2002). 즉, 식물에 질소함량이 높아지면 초식곤충은 높은 자원 활용과 높은 개체군의 밀도를 유지할 수 있다(Throop and Lerdaу 2004). 본 연구의 결과에서도 식물의 질소함량이 높아질수록, C/N 함량이 낮아질수록(Table 4) 초식곤충의 개체수가 많아지는 경향을 보인다. 낮은 고도일수록 낙엽활엽수림과 제주조릿대가 함께 분포하고 있으며, 상부 식생으로부터 유입되는 유기물은 제주조릿대에 영양학적 장점을 불러일으켜 곤충 개체군을 늘리는 것으로 보인다.

해발고도에 따른 온도 감소는 식물과 곤충 개체군에게 중요하게 작용한다고 알려져 있다(Scheidel *et al.* 2003). 예를 들면 식물의 개엽은 100m 높아질수록 약 2.7일이 지연되기 때문에(Richardson *et al.* 2006), 식물과 곤충의 상호작용에도 고도에 따라 변할 수 밖에 없다. 고도가 가장 높은 지역(HL4)에 종수와 다양성 지수가 적은(Table 3) 이유는 수관부에 따른 유기물 공급이 없는 것도 있지만, 온도에 따라 생물계절의 변화 역시 곤충과의 상호작용에 있어 중요한 요인이기 때문에 추후 관련 연구가 필요하다.

제주조릿대에 서식하는 초식곤충의 개체수 증가에 따라 포식자(육식성, 육식성+잡식성)도 증가하는 경향을 보인다(Table 4). 초식곤충의 증가는 포식자에게 화학적, 시각적으로 먹이를 쉽게 찾게 하며, 먹이와 쉼터로의 자원도 제공

한다(Chen 2010). 예를 들면, Gotoh and Shida (2009)의 연구에 따르면, 조릿대류에 서식하는 거미류는 다양한 생물들과 공존하며 서식하고 있으며, 조릿대잎에 털(hairiness)의 허용범위로 인해 많고 다양한 거미류가 서식하고 있다고 밝혔다.

본 연구는 한라산에 확산되고 있는 제주조릿대를 고도별, 수관부의 유무에 따른 생육특성을 조사하였고, 제주조릿대의 생육특성에 따라 서식하는 절지동물상도 조사하였다. 제주조릿대에 서식하는 초식곤충과 제주조릿대 생육특성과 연관관계를 보였으며, 더 나아가 입지조건에 따른 제주조릿대군락 분포는 삼중영양 상호작용(Tritrophic level)인 제주조릿대-초식곤충-포식자에게도 중요하게 작용하고 있다. 그러나 제주조릿대 확산에 대한 곤충의 영향을 파악하기 위해서는 같은 조사지역 내의 제주조릿대 관리유무에 따른 곤충 군집의 영향을 파악하는 등의 연구가 더 필요하다.

적 요

이 연구에서는 한라산을 포함한 제주도 전역에서 높은 밀도로 자라고 있는 제주조릿대(*Sasa quelpaertensis* Nakai)가 서식지 고도와 수관부 개폐 여부에 따라서 나타나는 식물의 생태학적 특성과 소비자 군집 다양성 변화에 영향을 받는가를 알아보았다. 고도와 상부 식생의 유무에 따라 제주조릿대 군락 네 지점을 선정한 후 각 지점에서 자라고 있는 제주조릿대 식물 특성 그리고 소비자 군집 다양성을 통하여 삼중영양 상호작용(Tritrophic interaction)을 조사하였다. 조사결과, 고도가 증가하면서 상부 식생이 없어지고 제주조릿대의 잎 면적, 수분함량, 질소함량은 감소하였으며, 밀도와 C/N함량은 증가하였다. 상부 식생이 존재할수록 제주조릿대의 생육특성은 더 좋아졌으며 이를 기주로 하는 초식곤충과 포식자가 증가하였다. 따라서 제주조릿대의 생육조건은 고도에 따른 주변 수관부 개폐와 밀접한 관련을 가지고 있으며 이러한 조건은 소비자 군집과도 밀접한 관련이 있는 것으로 생각한다.

사 사

제주조릿대에 서식하는 곤충과 거미를 동정해 주신 조

영복 박사님, 최용근 박사님, 함다슬 선생께 감사합니다. 본 연구는 환경부 “국가장기생태연구사업(NIE-전략연구-2019-02)”와 한국연구재단(KRF 2018R1D1A1B07046637) 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

- Awmack CS and SR Leather. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 47:817-844.
- Chen Y, DM Olson and JR Ruberson. 2010. Effects of nitrogen fertilization on tritrophic interactions. *Arthropod-Plant Interact.* 4:81-94.
- Cho S, K Lee and Y Choung. 2018. Distribution, abundance, and effect on plant species diversity of *Sasa borealis* in Korean forest. *J. Ecol. Environ.* 42:9.
- Coley PD, JP Bryant and FS Chapin. 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. *Science* 230:895-899.
- Feeny P. 1976. Plant apparency and chemical defense. pp.1-40. In *Biochemical Interaction between Plants and Insects*. Springer, Boston, MA.
- George LO and FA Bazzaz. 1999. The fern understory as an ecological filter: growth and survival of canopy-tree seedlings. *Ecology* 80:846-856.
- Gotoh T and T Shida. 2007. Life cycles and interactions in spider mites (Acari: Tetranychidae) on dwarf bamboo, *Sasa senanensis* (F. & S.) (Poaceae), in Japan. *Inter. J. Acarol.* 33:259-273.
- Ide JY. 2004. Selection of age classes of *Sasa* leaves by caterpillars of the skipper butterfly *Thoressa varia* using albedo-margination of overwintered leaves. *J. Ethol.* 22:99-103.
- Katagiri S, H Ishii and N Miyake. 1982. Studies on the amounts of dry matter and nutrients in *Sasa* communities. *Jap. J. Ecol.* 32:527-534.
- Kikuzawa K. 1986. Leaf survival strategy of forest trees. *Jap. J. Ecol.* 36:189-203.
- Kim HC. 2008. Ecological characteristics and management methods of *Sasa quelpaertensis* Nakai. Ph.D. dissertation, Jeju National University.
- Kim SS. 2012. Life Histories of Korean Butterflies. Sakyajeol, Seoul.
- Kong WS. 1998. The distributional patterns of Alpine plants of Mt. Halla, Cheju Island, Korea. *J. Korean Geograph. Soc.* 33:191-208.
- Kudo H. 1980. The variation of floor plants after withering of *Sasa Kurilensis* by unusual mass flowering. *J. Jap. For. Soc.* 62:1-8.

- Kytö M, P Niemeä and S Larsson. 1996. Insects on trees: population and individual response to fertilization. *Oikos* 75:148–159.
- Lee JU, HC Kim, KJ Hwang, NK Park and YY Oh. 2010. The evaluation of feed value and growth characteristics of *Sasa queipaertenisis* Nakai by horse grazing in the woodland of Jeju. *J. Korean Soc. Grassl. Forage Sci.* 30:151–158.
- Li HH, H Nishimura, K Hasegawa and J Mizutani. 1992. Allelopathy of *Sasa cernua*. *J. Chem. Ecol.* 18:1785–1796.
- Mattson Jr WJ. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 11:119–161.
- McGlynn TP, MD Weiser and RR Dunn. 2010. More individuals but fewer species: testing the ‘more individuals hypothesis’ in a diverse tropical fauna. *Biol. Lett.* 6:490–493.
- Nakashizuka T. 1984. Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forests: IV. Gap formation. *Jap. J. Ecol.* 34:75–85.
- Park SG, MG Yi, JW Yoon and HT Sin. 2012. Environmental factors and growth properties of *Sasa borealis* (Hack.) Makino community and effect its distribution on the development of lower vegetation in Jirisan National Park. *Korean J. Environ. Ecol.* 26:82–90.
- Peters R, T Nakashizuka and T Ohkubo. 1992. Regeneration and development in beech-dwarf bamboo forest in Japan. *Forest Ecol. Manag.* 55:35–50.
- Price PW. 1997. *Insect Ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Reich PB, DS Ellsworth and MB Walters. 1998. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: evidence from within and across species and functional groups. *Funct. Ecol.* 12:948–958.
- Richardson AD, AS Bailey, EG Denny, CW Martin and J O’Keefe. 2006. Phenology of a northern hardwood forest canopy. *Glob. Change Biol.* 12:1174–1188.
- Schuldt A, M Baruffol, M Böhnke, H Bruelheide, W Härdtle, AC Lang, K Nadrowski, G von Oheimb, W Voigt, H Zhou, T Assman and J Friedley. 2010. Tree diversity promotes insect herbivory in subtropical forests of south-east China. *J. Ecol.* 98:917–926.
- Schwenk WS, AM Strong and TS Sillett. 2010. Effects of bird predation on arthropod abundance and tree growth across an elevational gradient. *J. Avian Biol.* 41:367–377.
- Stephan JG, F Pourazari, K Tattersdill, T Kobayashi, K Nishizawa and R Jonathan. 2017. Long-term deer exclosure alters soil properties, plant traits, understory plant community and insect herbivory, but not the functional relationships among them. *Oecologia* 184:685–699.
- Throp HL and MT Lerdau. 2004. Effects of nitrogen deposition on insect herbivory: implications for community and ecosystem processes. *Ecosystems* 7:109–133.
- White TC. 1978. The importance of a relative shortage of food in animal ecology. *Oecologia* 33:71–86.
- Yajima T, N Watanabe and M Shibuya. 1997. Changes in biomass of above- and under-ground parts in *Sasa kurilensis* and *Sasa senanensis* stands with culm height. *J. Jap. For. Soc.* 79:234–238.
- Yang KS, SB Kim and WT Kim. 2006. Spatial and temporal analysis of the Coleopteran communities around 5.16 road of Mt. Halla, Jeju Island, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 24:337–358.
- Yim YJ, GW Baek and NJ Lee. 1991. *Vegetation in Halla san*. Chung-Ang University, Seoul.

Appendix 1. A list of collected species, with feeding guilds, the number of individual and collecting site. O. Omnivore, P. Predator, H. Herbivore

Scientific name	Korean name	Feeding guilds	Sites/Ind.			
			HL1	HL2	HL3	HL4
Oder Dermaptera	집게벌레목					
Family Forficulidae	집게벌레과					
<i>Timomenus komarowi</i>	고마로브집게벌레	O	4			
<i>Anechura japonica</i>	좁집게벌레	O	4	12		
<i>Forficulidae sp.1</i>	Forficulidae sp.1	O			1	
Oder Orthoptera	메뚜기목					
Family Tettigoniidae	여치과					
<i>Tettigoniidae sp.1</i>	Tettigoniidae sp.1	P	2			
<i>Chizuella bonneti</i>	잔날개여치	P		1		
<i>Cosmetura jejuensis</i>	제주민어리썩새기	P	8	6		
Family Acrididae	메뚜기과					
<i>Podismopsis genicularibus</i>	검정무릎삽사리	H			4	
<i>Calliptamus abbreviatus</i>	땅딸보메뚜기	H			6	
<i>Calliptamus sp.1</i>	Calliptamus sp.1	H			1	
<i>Zubovskya koeppeni parvula</i>	민날개밀들이메뚜기	H			1	
<i>Schmidtiacris schmidti</i>	수염치레애메뚜기	H			5	
<i>Parapodisma setouchiensis</i>	제주밀들이메뚜기	H			1	2
<i>Anapodisma beybienkoi</i>	팔공산밀들이메뚜기	H				1
Family Rhaphidophoridae	꼭등이과					
<i>Tachycines coreanus</i>	꼭등이	P	4	33		
Oder Phasmida	대벌레목					
Family Phasmatidae	대벌레과					
<i>Ramulus mikado</i>	대벌레	H	1	6		
Oder Hemiptera	노린재목					
Family Miridae	장님노린재과					
<i>Miridae sp.</i>	Miridae sp.	H		1		
Family Acanthosomatidae	뿔노린재과					
<i>Elasmotethus nubilus</i>	남방뿔노린재	H		3	4	
Family Pentatomidae	노린재과					
<i>Plautia stali</i>	갈색날개노린재	H	1			
<i>Eurydema gebleri</i>	북쪽비단노린재	H	1			
Family Issidae	알멸구과					
<i>Ishiharanus iguchii</i>	알락알멸구	H	1			
Family Aradidae	넓적노린재과					
<i>Neuroctenus castaneus</i>	큰넓적노린재	H		1		
Family Largidae	큰벌노린재과					
<i>Physopelta gutta</i>	꿀큰벌노린재	H	1			
Family Nabidae	쌌기노린재과					
<i>Nabidae sp.1</i>	Nabidae sp.1	P	1	1	3	1
<i>Nabidae sp.2</i>	Nabidae sp.2	P	8	2	2	
Family Achilidae	좀머리멸구과					
<i>Errada nawae</i>	울도좀머리멸구	H		1		
Oder Lepidoptera	나비목					
Family Crambidae	포충나방과					
<i>Spoladea recurvalis</i>	흰띠명나방	H		3	1	
Family Erebidae	태극나방과					
<i>Erebidae Larvar sp.1</i>	Erebidae Larvar sp.1	H	1			
Family Geometridae	자나방과					
<i>Zethenia albonotaria</i>	점짚룩가지나방	H	1			
Family Nymphalidae	네방나비과					
<i>Lethe diana Larva</i>	먹그늘나비 애벌레	H	1	6	4	
<i>Ypthima multistriata</i>	물결나비	H			1	

Appendix 1. Continued

Scientific name	Korean name	Feeding guilds	Sites/Ind.			
			HL1	HL2	HL3	HL4
Family Pyralidae	명나방과					
<i>Lepidogma angusta</i>	Lepidogma angusta	H	8	2		
<i>pyralidae sp.1</i>	pyralidae sp.1	H	1			
<i>Lepidoptera larva SP1</i>	Lepidoptera larva SP1	H	1			1
<i>Lepidoptera larva SP2</i>	Lepidoptera larva SP2	H	2	18		
<i>Lepidoptera larva SP3</i>	Lepidoptera larva SP3	H		8		2
<i>Lepidoptera larva SP4</i>	Lepidoptera larva SP4	H	2	9	2	
<i>Lepidoptera larva SP5</i>	Lepidoptera larva SP5	H	2			
<i>Lepidoptera larva SP7</i>	Lepidoptera larva SP7	H				
Oder Coleoptera	딱정벌레목					
Family Carabidae	딱정벌레과					
<i>Dicranoncus femoralis</i>	남색납작먼지벌레	P		1		
Family Cerambycidae	하늘소과		1			
<i>Acalolepta sejuncta sejuncta</i>	작은우단하늘소	H	1			
Family Chrysomelidae	잎벌레과		16	5		
<i>Chrysomelidae sp.</i>	Chrysomelidae sp.	H	13	4		
<i>Galerucella nipponensis</i>	일본잎벌레	H	3	1		
Family Coccinellidae	무당벌레과					
<i>Propylea japonica</i>	꼬마남생이무당벌레	P			8	1
<i>Harmonia axyridis</i>	무당벌레	P			1	
<i>Coccinella septempunctata</i>	칠성무당벌레	P			6	3
Family Curculionidae	바구미과					
<i>Pseudocneorhinus obesus</i>	두줄무늬가시털바구미	H		3		
<i>Curculionidae sp.</i>	바구미 sp.	H	2	2		
Family Elateridae	방아벌레과					
<i>Elateridae sp.</i>	방아벌레 sp.	H		7	1	
<i>Liotrichus sp.</i>	Liotrichus sp.	H		2	3	
Family Melolonthidae	검정풍뎅이과					
<i>Ectinohoplia rufipes</i>	주황긴다리풍뎅이	H			1	
Family Oedemeridae	하늘소붙이과					
<i>Chrysanthia geniculata integricolis</i>	녹색하늘소붙이	H			1	
Family Pyrochroidae	홍날개과					
<i>Pseudopyrochroa laticollis</i>	황머리털홍날개	P		1		
Family Rhynchitidae	거위벌레과					
<i>Japonorhynchites sanguinipennis</i>	홍날개주둥이거위벌레	H		1		
Family Staphylinidae	반날개과					
<i>Philonthus(Philonthus) ohizumi</i>	소똥좀반날개	P			1	
Oder Araneae	거미목					
Family Arassidae	농발거미과					
<i>Micrommata virescens</i>	이슬거미	P		1	11	5
Family Araneidae	왕거미과					
<i>Acusilas coccineus</i>	가랑잎왕거미	P	1			
<i>Araniella di sp.licata</i>	각시꽃왕거미	P			1	1
<i>Araniella coreana</i>	고려꽃왕거미	P	1		2	
<i>Plebs sachalinensis</i>	북왕거미	P	3	1		
<i>Hypsosinga sanguinea</i>	산짜애왕거미	P				5
<i>Araneus pentagrammicus</i>	선녀왕거미	P	1			
<i>Neoscona sp.</i>	Neoscona sp.	P	1	3		
<i>Gibbaranea abscissa</i>	총총왕거미	P		2	2	
Family Clubionidae	염낭거미과					
<i>Clubiona rostrata</i>	부리염낭거미	P		1		1
<i>Clubiona lena</i>	솔개빛염낭거미	P		1		
<i>Clubiona sp.</i>	Clubiona sp.	P	2			1

Appendix 1. Continued

Scientific name	Korean name	Feeding guilds	Sites/Ind.			
			HL1	HL2	HL3	HL4
Family Linyphiidae	접시거미과					
<i>Eskovina clava</i>	못금오접시거미	P	1	4	1	
Family Philodromidae	새우게거미과					
<i>Philodromus subaureolus</i>	갈새우게거미	P	1			
<i>Philodromus sp.</i>	Philodromus sp.	P				1
Family Pisauridae	닷거미과					
<i>Dolomedes sp.</i>	Dolomedes sp.	P	1	4		
<i>Dolomedes sulfureus</i>	황닷거미	P		2		
Family Salticidae	깡충거미과					
<i>Helicium cylindratum</i>	갈색골풀무깡충거미	P		1		
<i>Evarcha coreana</i>	한국흰눈썹깡충거미	P	1		3	
<i>Evarcha albaria</i>	흰눈썹깡충거미	P	1		2	1
<i>Plexippus incognitus</i>	흰줄깡충거미	P		1		
Family Tetragnathidae	갈거미과					
<i>Tetragnatha sp.</i>	Tetragnatha sp.	P	1	1		
<i>Tetragnatha caudicula</i>	꼬리갈거미	P		1		
<i>Leucauge celebesiana</i>	꼬마백금거미	P	2	1		
<i>Tetragnatha vermiformis</i>	논갈거미	P		2		
<i>Tetragnatha shinanoensis</i>	미녀갈거미	P	1	4		
<i>Leucauge sp.</i>	백금거미속 sp.	P		1		
<i>Tetragnatha squamata</i>	비늘갈거미	P	1	1		
Family Thomisidae	게거미과					
<i>Diaea subdola</i>	각시꽃게거미	P	3			
<i>Ozyptila sp.</i>	곤봉게거미속 sp.	P				1
<i>Ebelingia kumadai</i>	곰보꽃게거미	P	1			
<i>Xysticus ephippiatus</i>	대륙게거미	P	1			2
<i>Oxytate sp.</i>	연두게거미속 sp.	P	3			
<i>Oxytate parallela</i>	중국연두게거미	P	7	1		
<i>Xysticus sp.</i>	참게거미속 sp.	P	6	4	2	5
<i>Tmarus piger</i>	참범게거미	P	1	1		
<i>Tmarus koreanus</i>	한국범게거미	P	2	3	1	
<i>Lysiteles coronatus</i>	황갈풀게거미	P	6	1		
Oder Opiliones	통거미목					
Family Phalangidae	참통거미과					
<i>Homolophus sp.</i>	Homolophus sp.	P	8	9		
Family Sclerosomatidae	굳은몸통거미과					
<i>Gagrella grandis</i>	왕통거미	P	1	2		
Oder Ixodida	진드기목					
Family Ixodidae	참진드기과			1		
<i>Ixodes sp.</i>	Ixodes sp.	P		1		