

석회암과 화강편마암 지역의 초지에서 영양단계별 칼슘 전이

이 훈 복^{1,2,*} · 남 상 호³ · 김 준 호¹¹서울대학교 생물학과, ²한국생명공학연구원, ³대전대학교 생물학과

Transfer of Calcium along Trophic Levels on Limestone and Granitic Gneiss Grassland

Hoonbok Yi^{1,2,*}, Sang-Ho Nam³ and Joonho Kim¹¹Department of Biological Science, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea²Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, Chungwon 363-883, Korea³Department of Biological Science, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

Abstract - Calcium plays an important role for the organisms' physiology, reproduction, and growth. Calcium amount and transfer efficiency along trophic levels were compared at two different geological areas, Limestone area (LS) and Granitic Gneiss area (GG) in 1992 and 1993. Biomass and calcium amount of plants, herbivores and carnivores were seasonally measured. The removal sweeping net method was used to collect the quantitative insect samples. Calcium content (mgCa g⁻¹ DM) and pH of soil were 4.85 and 7.3 at LS and 0.21 and 7.3 at GG. The calcium transfer efficiencies (%) at LS and CG were 0.2 and 4.2 from soil to plants, 0.002 and 0.02 from plants to herbivores, and 73 and 47 from herbivores to carnivores, respectively. As a whole, the high calcium content of the LS soil reduced the utilization of calcium by plants. The higher trophical levels were, the higher ecological efficiency of the biological levels was. The calcium transfer amount was higher at LS, but its efficiency was rather higher at GG.

Key words : calcium, carnivores, herbivores, transfer efficiency, trophic levels

서 론

생태계는 생물과 환경과의 상호작용으로 이루어진 물질계이다. 새로운 유기물 생산은 에너지와 영양소를 필요로 하며 이들의 이동률은 생산성에 큰 영향을 미친다. 이러한 영양소와 에너지는 생태계내의 먹이사슬에 의해 복잡한 그물 구조를 나타낸다(French 1979; Schowalter 2000). 생물체에게 영양염류를 공급하는 토양은 모암의 화학조성에 따라 특성이 다르므로 석회암 토양과 비석

회암 토양과 물리 화학적 특성이 다르다(Sposito and Page 1984; Gauld and Robertson 1985; Jeffrey 1987; Kim *et al.* 1991). 석회암 토양은 비석회암 토양보다 통기성이 좋아서 배수가 잘 되고, 토양 온도가 높으며 토양의 pH가 높고, 많은 Ca²⁺과 HCO₃⁻을 함유하고 있으며 Fe이나 PO₄³⁻가 불용성인 Fe(OH)₃나 Ca₃(PO₄)₂로 존재하므로 식물에 의한 그들의 이용도가 낮다(Larcher 1980; Mengel and Kirkby 1987; Miller and Donahue 1990; 김 등 1990). 석회암 토양은 탄산칼슘이 주성분이므로 비석회암 토양의 것보다 약 10배의 칼슘을 함유하기 때문에 동·식물군집의 종조성과 기능에 영향을 미친다(Turnbull 1960; Kinzel 1983; 김 등 1990; Kemp *et al.* 1990; Shore

* Corresponding author: Hoonbok Yi, Tel. 043-240-6558, Fax. 043-240-6549, E-mail. yih@kribb.re.kr; yihoonbok@gmail.com

et al. 1991).

많은 생태학자들은 먹이선택에서 칼슘의 역할을 강조해 왔다 (Hughes and Wood-Gush 1971; Belovsky 1978; Belovsky and Jordan 1981). 칼슘은 동·식물체의 영양소로써 생물체의 정상적인 생리기능, 생식, 성장에 중요한 역할을 담당하며, 칼슘에 대한 각 생물종의 기호도는 초식자와 육식자를 진화시켰고, 식물체 내의 칼슘농도는 토양에 의존적이며 초식자들에 의한 칼슘의 섭취는 식물체 내의 농도에 의존하며, 이어서 육식자는 초식자에 의존하고 있다 (Rodger 1967; Denton *et al.* 1977; Harborne 1982). 거미, 개구리, 쥐 및 뱀과 같은 고차 소비자들은 초식자인 곤충을 섭식함으로써 해충 발생을 억제하여 생물적 조절인자로서 매우 중요시되고 있으며, 그들의 생태와 이용가치에 대한 연구들이 여러 분야에서 꾸준히 이루어져 왔다 (Clarke and Grant 1968; Turnbull 1973; Riechert and Lockley 1984; Nyffeler *et al.* 1987; 이와 이 1990).

영양단계에 따른 에너지유전과 물질의 전이는 1923년 Elton에 의해서 처음으로 생태계 내의 영양염류 순환이 연구되었고, Odum (1983)에 의해서 먹이그물과 생태피라미드에서 물질과 에너지 흐름의 모델이 고찰되었다. 한국에서는 또한 염습지에서 영양단계에 따른 에너지의 생태적 효율과 유전량이 밝혀졌고 (류 1982; 정 1982) 고속도로변의 거리에 따라 중금속이 영양단계별로 생물농축되는 연구가 이루어졌다 (정 1987). 최근의 연구에서는 산성비때문에 토양속의 칼슘이 세탈되어 영양단계에 따라 칼슘의 전이량이 감소됨으로써 상위단계의 조류의 알껍질이 얇고 다공성인 알을 낳아서 조류 개체군이 감소된다는 연구가 있었지만 (Drent and Woldendorp 1989). 본연구와 같이 각 토양에서 식물체, 곤충의 초식자 육식자로의 구체적인 칼슘의 전이와 관련된 연구는 이뤄진 연구가 없으므로 본연구의 자료는 추후 많은 유사연구에 기초적인 토대로 활용 될것으로 여겨진다.

본 연구는 칼슘이 풍부한 석회암토양의 초지와 상대적으로 칼슘함량이 풍부하지 않은 화강편마암 토양의 초지에서 두 군집의 토양 특성, 식물 및 곤충의 군집구조, 생물량, 영양단계에 따른 칼슘의 전이량을 비교함으로써, 칼슘원소의 함량 차이가 큰 두 군집 생태계내에서 칼슘이 어떤 역할을 하였는지를 간접적으로 분석하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 석회암지역 조사지는 충청북도 제천과 단

양사이의 매포읍 상시리 (37° 03'N, 128° 17'E)에 위치한 표고 220 m, 방위각 100°, 경사각 25°의 초지를 선정하였고, 비석회암지역 조사지는 화강암질 편마암지인 서울시 강남구 개포동의 대모산 (37° 28'N, 127° 04'E)에 위치한 표고 80 m, 방위각 280°, 경사각 25°의 초지를 선정하였다. 조사지의 모암은 국립지질원 발행 지질도인 단양도폭과 한국동력자원연구소 발행 지질도인 둔전도폭을 참조하였다. 석회암 초지와 화강편마암 초지의 연평균 기온은 각각 10.38°C와 12.10°C이었고, 연평균 강수량은 각각 1,393 mm와 961 mm이었다. 본 연구의 석회암 초지는 모암인 석회암이 풍화되어 점토비와 유기물함량이 높고, 많은 양의 칼슘으로 포화되어 있으며, 많은 수용성 Fe이 산화되어 Fe₂O₃로 존재함으로써 적색을 띠는 테라로사(terra rossa)나 적색 석회암 토양(red limestone soil)이 형성되어있다. 석회암 토양의 산도는 중성 내지 약알칼리성이었고, 칼슘함량은 4.70 mgCa g⁻¹ DM이었다. 화강편마암지의 토양은 약산성이었으며 칼슘함량은 0.20 mgCa g⁻¹ DM으로 석회암 토양보다 낮았다. 석회암지의 식생은 관목성 떡갈나무가 우점하였고, 그늘사초, 쌀새, 기장대풀, 들마타리 등의 초본이 혼생하였으며, 화강편마암지의 식생은 관목성 신갈나무가 우점하였고, 그늘사초, 큰기름새, 참억새 등의 초본이 혼생하였다.

2. 토양의 채집과 분석

각 조사지에서 무작위로 채토장소를 선정하고, 낙엽층을 제거한 다음 직경 4.5 cm, 높이 5 cm의 토양 sleeve로 20 cm 깊이까지의 토양을 채취하여 비닐주머니에 넣어서 실험실로 운반하였다. 이 토양시료를 105°C에서 72시간 건조하고 무게를 측정하여 토양가비중(g cm⁻³)과 함수량을 표시하였다. 토양은 약 10일간 음건한 다음 잘게 부수어서 직경 2 mm체로 친 것을 분석 시료로 이용하였다. 약 20 g의 토양을 칭량병에 넣어 덮개를 덮은 다음 건조 전의 무게와 105°C에서 72시간 건조 후의 무게를 칭량하여 토양함수량을 계산하였다. 토양 10 g과 2 차중류수 50 mL을 1:5(w/w)의 비로 섞어서 30분간 진탕하여 여과지(Whatman No. 44)로 여과시켜서 상층액을 pH meter (Fisher 230A)로 측정하였다. 자체도가니 무게를 칭량한 후 토양을 담고 105°C에서 48시간 건조시킨 무게와 600°C 전기로 (Model F-2)에서 4시간 가열한 무게의 차인 작열손실량을 유기물함량으로 간주하였다.

3. 생산자의 채집

조사지역 내에 15 m × 15 m 크기의 방형구를 설치하여 Braun-Blanquet 방법에 따라 우점도와 군도를 조사하였

고, 군락별로 Shannon-Wiener diversity index (H')와 Pielou의 균등도지수 (e)로 나타내었다 (Magurran 1988; Henderson 2003; Magurran 2004). 그리고 식물량을 알아보기 위하여 조사지에서 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 방형구 10개를 무작위로 설치하고, 방형구내 식물체의 지상 5 cm 부위를 절취하여 비닐주머니에 넣어 실험실로 운반하였다. 이 재료는 물로 세척한 다음 목본과 초본으로 구분하고 종별로 분류하였다. 특히, 목본식물은 잎과 가지로 구분하였고 식물체 각각을 신문지로 싸서 80°C 의 건조기에서 72시간 건조한 다음 식물량을 칭량하였다. 건조된 각 식물은 micromill grinder (KK2916-RI)를 이용하여 1 mm 굵기의 분말로 분쇄한 후 분석용으로 유리병에 보관하였다.

4. 소비자의 채집

거미류를 포함한 1차 소비자와 2차 소비자인 곤충의 채집은 그 활동이 왕성한 정오 전후에 포충망을 이용하여 removal sweeping법으로 실시하였다 (Shelford 1951; Southwood 1978). 포충망은 입구면적이 $1,018\text{ cm}^2$ 이고 망의 깊이가 100 cm인 것을 사용하였다. 곤충의 removal sweeping은 $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 방형구를 경사방향으로 1.5 m의 평행선을 가정하고, 그 중앙을 왕복하면서 포충망으로 식물체 위를 휩쓸었고, 1회에 300번의 sweeping하기를 10회 ($300 \times 10 = 3,000$) 반복하였다 (Menhinick 1963). $15\text{ m} \times 15\text{ m}$ 방형구 내의 제1회 sampling (300 sweepings)과 제2회 sampling 사이에 교란이 회복되는 시간을 5분이상으로 간주하고 5분 이내에 다음 회의 sampling을 실시하는 것을 원칙으로 하였다. 전 회의 sampling에서 잡힌 곤충의 총 개체수와 다음 sampling에서 잡힌 곤충 누적 개체수의 관계를 직선 회귀식을 이용하여 개체수를 추정하였다 (Hayne 1949; Southwood 1978; Krebs 1998). 매 회의 sweeping마다 포획한 곤충은 일련번호가 적힌 비닐주머니에 넣어 몸체가 눌리지 않도록 공기를 주입한 다음 밀봉하여 실험실로 운반하였다. 곤충은 실험실 내에서 ethyl ether로 마취한 다음 각 개체를 분리하여 음건시켰다. 채집된 곤충의 종을 동정하고 목록을 작성한 다음 개체수를 계수하였다. 분류한 곤충재료는 종별로 유리병에 넣어 105°C 의 건조기에서 24시간 건조한 다음 건량을 칭량하였다. 채집된 곤충은 밀도 (number m^{-2})와 단위면적당 건중량으로 표시하였다. 건조시킨 곤충은 초식성 곤충과 육식성 곤충을 고려하여 목으로 분류하였고, 가능한 종수준까지 분류하였다. 또한 두 지역 곤충 군집 구조의 차이를 확인하기 위해 종까지 구분된 종을 대상으로 Shannon-Wiener diversity index (H')와 Pielou의 균등도지수 (e)로 나타내었다 (Magurran 1988,

2004; Henderson 2003).

5. 토양, 식물체, 곤충의 칼슘분석

토양 2 g을 100 mL의 삼각플라스크에 넣고 1 M의 ammonium acetate 50 mL을 넣어 60분간 진탕한 다음 여과지 (Whatman No. 44)로 추출하였다. 그 여과액은 atomic absorption spectrophotometer (M-901)를 이용하여 422.7 nm 에서 칼슘을 정량하였다 (Allen *et al.* 1974). 칼슘 정량 후 가비중값을 이용하여 단위 면적당 토양의 칼슘 함량을 계산하였다. 식물체와 곤충의 칼슘을 정량하기 위하여 각 분말 0.2 g을 micro-kjeldahl 플라스크에 넣고 질산 (HNO_3) 5 mL, 황산 (H_2SO_4) 1 mL 및 과염소산 (HClO_4) 1 mL을 함께 넣어 분말이 완전히 녹을 때까지 가열하여 분해하는 acid digestion법을 사용하였다. 분해액을 50 mL의 volumetric 플라스크에 넣고 증류수를 가하여 정용한 다음 여과지 (Whatman No. 44)로 여과시켰다. 여과액은 1%의 spectrosoil lanthanum을 첨가하였고 희석액으로 희석율을 조절하였으며 아세틸렌 가스를 사용하는 atomic absorption spectrophotometer (M-901)를 이용하여 422.7 nm 에서 칼슘을 정량하였다.

6. 데이터 분석

본 연구에서 얻어진 데이터는 SAS를 이용하여 토양을 포함한 영양단계별로 조사지역, 계절 그리고 그들의 상호작용에 관하여 ANOVA 분석을 수행하였다 (SAS 2001).

결 과

1. 토양

본 연구에서 각 토양의 특성을 비교한 결과는 (Table 1)에서 비교 되었다. 즉, 석회암 토양과 화강편마암 토양의 가비중값은 유사하였으며, 석회암 토양보다 화강편마암 토양에서 더 높은 함수량을 나타내었고, 석회암지의 유기물 함량은 화강편마암지보다 약 2배 높았다. 석회암 토양의 pH는 7.1~7.5로써 약알칼리성이었으며, 화강편마암지의 것은 pH 4.5~5.2인 약산성이었다. 석회암지의 칼슘함량은 평균 $4.70 \pm 0.85\text{ mgCa g}^{-1}\text{ DM}$ 이었고, 화강편마암지의 것은 평균 $0.20 \pm 0.03\text{ mgCa g}^{-1}\text{ DM}$ 이었으며, 석회암지의 단위면적당 칼슘축적량은 0.83 Kg m^{-2} 이었고, 화강편마암지의 것은 0.04 Kg m^{-2} 으로써 두 지역의 토양 칼슘함량과 축적량은 석회암지가 화강편마암지

보다 약 23배 많았다.

2. 생산자

1) 생산자 군집의 특성

본 조사지로 선정된 두 지역의 생산자 군집의 특성은, 석회암 초지에서 관목층의 수고는 150 cm, 초본층은 50 cm이었고, 관목은 25종, 초본은 48종, 총 73종이 출현하였다. 피도가 2 이상 되는 중요종은 관목층에서 5종, 초본층에서 6종이었다. 화강편마암 초지에서 관목층의 수

고는 200 cm, 초본층은 60 cm이었고, 관목은 14종, 초본은 33종, 총 52종의 식물이 출현했다. 피도가 2 이상 되는 중요종은 관목층에서 5종, 초본층에서 3종이었다. 두 지역에서의 식물의 수고는 화강편마암지가 석회암지보다 더 높게 나타났다. 또한 두지역의 식물출현 종수는 석회암지가 더 많은 종이 출현하였다. 식물의 종다양도 지수는 석회암 초지가 4.0이었고 화강편마암 초지는 3.7로써 석회암 초지가 더 높은 다양도 지수를 보여 주었다. 두 지역의 균등도 지수(e)는 모두 0.9로써 유사한 값을 나타냈다(Table 2).

Table 1. Characteristics of soil taken in 1992~1993 from the limestone (LS) of Maepo in Chechun city in Chungcheongbukdo and the granitic gneiss (GG) of Daemosan in Seoul. Data are means and standard errors

	LS	GG
Bulk density (g cm ⁻³)	0.9±0.0	0.8±0.0
Moisture content (%)	23.0±2.3	27.6±1.5
Organic matter content (%)	10.4±2.8	10.4±2.3
pH	7.1±0.3	4.8±0.2
Calcium (10 ⁻² mgCa g ⁻¹ DM)	470.3±103.7	20.2±3.5

Table 2. The comparison of vegetation structures (Species richness, Number of important species, Height, Species diversity, and Evenness) including shrub and herb layers from the limestone (LS) and the granitic gneiss (GG) areas

		LS	GG
Species richness	Shrub	25	19
	Herb	48	33
Number of important species	Shrub	5	5
	Herb	6	3
Height (cm)	Shrub	150	200
	Herb	50	60
Species diversity (H')		4	3.7
Evenness (e)		0.9	0.9

2) 식물량의 계절변화

석회암지에서 단위 면적당 총 식물체의 건중량은 92년 8월에 304 g DM m⁻², 10월에 95 g DM m⁻², 93년 6월에 482 g DM m⁻², 7월에 273 g DM m⁻²로써 93년 6월의 식물량이 다른 계절의 것보다 높게 나타났다(Table 3). 특히, 6월의 관목류의 일부는 205 g DM m⁻², 가지와 줄기 부위는 120 g DM m⁻²이었고, 초본층은 157 g DM m⁻²로써 다른 계절보다 높은 값을 보여 주었다.

3) 식물체 내에 있는 칼슘농도의 계절변화

석회암지 식물의 단위 무게당 칼슘농도에서 관목층 잎은 93년 6월에 11.83 mgCa g⁻¹ DM으로써 다른 시기 보가 높은 값을 나타냈다(Table 3). 관목성 가지와 줄기는 93년 6월과 7월에 각각 5.73 mgCa g⁻¹ DM, 5.77 mgCa g⁻¹ DM으로써 상호간에 유사한 값을 보였다. 초본층은 92년 8월에 4.72 mgCa g⁻¹ DM으로써 높게 나타났다. 총 식물체에 대한 칼슘농도는 93년 6월에 6.71 mgCa g⁻¹ DM로써 10월의 3.30 mgCa g⁻¹ DM에 비하면 높은 값을 나타내고 있다. 총 식물체의 칼슘 농도는 93년 7월에 2.82 mgCa g⁻¹ DM을 보였다. 두 지역에서 칼슘함량이 가장 높은 시기에 대한 비교에서는 석회암지가 약 2배 이상 높다는 것을 알 수 있다.

Table 3. Seasonal changes of phytomass (g DM m⁻²), calcium concentration (mgCa g⁻¹ DM), and calcium standing stock (mgCa m⁻²) from plants on the limestone (LS) and the granitic gneiss (GS) areas. A. Phytomass, B. Calcium concentration, C. Calcium standing stock

		A. Phytomass (g DM m ⁻²)				B. Calcium Conc (mgCa g ⁻¹ DM)				C. Calcium standing stock (mgCa m ⁻²)			
		1992		1993		1992		1993		1992		1993	
		Aug.	Oct.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Jun.	Jul.
LS	Shrub leaves	103	17	205	76	4.17	4.84	11.83	8.72	430	83	2425	663
	Shrub branches	86	19	120	84	3.26	2.13	5.73	5.77	280	41	688	485
	Herb	115	59	157	113	4.72	2.93	2.59	3.64	543	173	407	411
	Whole plants	304	95	482	273	4.05	3.30	6.71	6.04	1253	297	3520	1559
GG	Shrub leaves	240	135	113	231	2.81	1.29	3.91	3.55	674	174	442	820
	Shrub branches	128	175	116	305	1.79	2.82	1.29	3.71	229	494	150	1132
	Herb	182	176	306	401	0.24	3.38	2.81	1.21	44	595	860	485
	Whole plants	550	486	535	937	1.61	2.50	2.67	2.82	947	1263	1452	2437

Table 4. Species diversity and individual number of insects and spiders caught and estimated on the limestone (LS) and the granitic gneiss (GG) areas

		92 Aug.	92 Sep.	92 Oct.	93 May	93 Jun.	93 Jul.
LS	No. of caught (no. m ⁻²)	1.0	3.0	1.0	6.0	4.0	3.0
	No. of estimated (no. m ⁻²)	1.0	3.0	1.0	7.0	5.0	4.0
	Species diversity (H')	3.2	2.8	2.9	1.7	3.1	3.0
	Evenness (e)	0.9	0.7	0.9	0.5	0.8	0.8
GG	No. of caught (no. m ⁻²)	5.0	4.0	4.0	5.0	7.0	7.0
	No. of estimated (no. m ⁻²)	7.0	4.0	4.0	6.0	12.0	6.0
	Species diversity (H')	2.8	2.6	3.0	2.5	2.6	2.8
	Evenness (e)	0.7	0.7	0.9	0.7	0.7	0.8

4) 식물체 내의 칼슘 축적량의 계절변화

단위면적당 관목류와 초본류의 칼슘 축적량의 변화에 있어서 석회암지의 총 식물체는 92년 10월에는 297 mgCa m⁻²로써 다른 계절보다 적었고, 93년 6월에 3,520 mgCa m⁻²로써 다른 계절보다 많았다. 관목류의 잎은 92년 10월에 83 mgCa m⁻²이었고, 93년 6월에 2,425 mgCa m⁻²이었다. 관목성 가지와 줄기는 92년 10월에 41 mgCa m⁻²이었고, 93년 6월에 688 mgCa m⁻²이었다. 초본은 92년 8월에 543 mgCa m⁻²이었고 10월에 173 mgCa m⁻²이었다. 화강편마암지의 총 식물체는 93년 7월에 2,437 mgCa m⁻²으로써 가장 높았으며 92년 8월에 947 mgCa m⁻²으로써 가장 적었다. 관목류의 잎은 92년 10월에 174 mgCa m⁻²이었고 93년 7월에 820 mgCa m⁻²이었다. 관목성 가지와 줄기는 93년 6월에 150 mgCa m⁻²이었고, 93년 7월에 1,132 mgCa m⁻²이었다. 초본은 92년 8월에 44 mgCa m⁻²이었고, 93년 6월에 860 mgCa m⁻²이었다 (Table 3).

3. 소비자

1) 소비자 군집의 특성

이 식생군집에 따른 소비자 군집에서 초식성 곤충은 딱정벌레목 (Coleoptera), 매미목 (Hemiptera), 메뚜기목 (Orthoptera), 나비목 (Lepidoptera), 벌목 (Hymenoptera), 파리목 (Diptera)이 포획되었다. 딱정벌레목 (Coleoptera)은 잎벌레류가 석회암지와 화강편마암지에서 우점종을 이루었는데, 특히 모출스키잎벌레 (*Luperus flaviventris*)와 바구미 (*Sitophilus orysae*)는 전 조사기간 동안 계속 출현하였다. 매미목 (Hemiptera)은 석회암지에서 광대거품벌레가 우점하였으며 일시적으로 5월에 네줄흑곰매미충이 357개체나 출현하였고, 화강편마암지에서는 끝둥매미충이 우점하였다. 메뚜기목 (Orthoptera)은 석회암지에서 삼사리가 8월과 9월에 우점하였고, 화강편마암지에서는 실베짱이가 우점하였다. 육식성 곤충은 두 조사지에서 딱정벌레목, 잠자리목, 빨잠자리목, 메뚜기목, 거미강 등

이 출현하였다. 딱정벌레목에 속하는 무당벌레류는 두 지역에서 계절에 따라 유사하게 출현하였다. 잠자리목의 잠자리류는 두 지역에서 8월과 9월에 출현율이 높았다. 메뚜기목의 여치류는 석회암지에서 5월과 6월에 성체로 나타났으며 화강편마암지에서는 7월에 성숙되어 나타났고, 사마귀류는 두 지역에서 5월과 7월 사이에 작은 유충으로 나타나 9월과 10월에 성충으로 포획되었다. 거미류는 석회암지에서 7월에 가장 많이 출현하였으며 화강편마암지에서는 5월에 가장 많이 출현하였다 (이 1994의 Appendix II 참고).

석회암지와 화강편마암지에서 실제 포획수와 회귀식을 이용한 밀도와의 차는 석회암지에서 93년 5월, 6월, 7월에 각각 1개체의 차를 보였고 그외엔 같은 개체수를 나타냈다 (Table 4). 화강편마암지에서는 92년 8월에 2개체의 차가 있었고 93년 6월에 5개체의 차를 보였다. 또한 석회암지와 화강편마암지에서 같은 시기의 개체수는 화강편마암지가 92년 8월에 4개체, 9월에는 1개체, 10월엔 3개체, 93년 6월에 3개체, 7월에 4개체가 더 많았고, 93년 5월엔 석회암지가 1개체 더 많은 개체가 포획되었다. 석회암지에서 소비자의 종다양도지수는 조사기간 동안 1.7~3.2의 범위로 변화 하였고 특히, 8월에 그 지수가 3.2로써 다른 때보다 현저히 높았다. 화강편마암지에서는 2.5~3.0의 범위로써 석회암지보다는 변화폭이 적었으며 10월의 다양도지수가 3.0으로 다른 달보다 높게 나타났다 (Table 4). 또한 두 지역에서 가장 높은 때의 다양도지수는 전자가 약간 높았다. 균등도는 석회암지의 변화량은 0.5~0.9이었고 가장 높은 값을 보일 때는 10월이었으며, 화강편마암지에는 변화량의 범위가 0.7~0.9로써 변화량이 적었고 두지역간의 가장 균등도가 높았던 때의 값은 0.9로써 상호간에 유사하였다.

2) 소비자 생물량의 계절변화

석회암지에서 곤충과 거미류의 총생물량은 92년 8월에 17.87 mg DM m⁻², 9월에 29.23 mg DM m⁻², 10월에 13.10 mg DM m⁻², 93년 5월에 13.77 mg DM m⁻², 6월에

Table 5. Seasonal change of biomass (mg m^{-2}) of insect orders including araneae (=spider) on the limestone (LS) and granitic gneiss (GG) areas

	LS						GG					
	92 Aug.	92 Sep.	92 Oct.	93 May	93 Jun.	93 Jul.	92 Aug.	92 Sep.	92 Oct.	93 May	93 Jun.	93 Jul.
Herbivore												
Coleoptera	1.26	5.15	0.02	3.15	2.56	1.71	4.36	2.12	0.38	1.79	3.59	2.66
Hemiptera	2.39	6.55	1.27	3.65	1.96	3.37	7.80	4.82	12.21	3.58	3.43	10.17
Orthoptera	10.24	10.37	8.24	1.57	9.47	2.13	2.77	4.81	9.10	0.69	0.19	1.56
Lepidoptera	0.25	2.20	—	0.78	0.92	0.36	0.59	0.48	0.99	0.56	1.12	3.68
Hymenoptera	0.64	1.14	0.10	1.04	0.34	0.28	0.28	1.05	1.20	0.81	1.13	2.14
Diptera	0.11	0.12	0.02	0.69	0.84	0.42	0.68	0.48	0.63	0.71	1.72	1.34
Miscellanea	0.27	0.60	0.06	0.31	—	1.56	1.09	0.37	1.45	1.28	0.31	2.28
Carnivore												
Coleoptera	—	0.19	0.11	0.10	—	0.03	0.63	0.12	0.19	0.06	0.25	0.22
Odonata	1.50	0.55	0.99	0.34	0.57	0.21	0.05	1.86	—	—	0.14	0.26
Orthoptera	0.66	1.22	1.58	0.82	6.04	20.44	2.56	2.70	18.49	—	0.12	2.97
Araneae	0.55	1.15	0.70	1.32	1.72	2.33	1.56	2.46	0.71	2.60	0.17	2.60
Total biomass	17.87	29.23	13.10	13.77	24.41	32.85	22.37	21.29	45.33	12.07	12.17	29.87

—: not detected

24.41 mg DM m^{-2} , 7월에 32.85 mg DM m^{-2} 를 나타냈다 (Table 5). 7월에 가장 많은 생물량을 나타냈으며, 10월에 가장 적은 생물량을 나타냈다. 생물량의 구성비율은 5월에 매미목이 차지하는 26%를 제외하고는 매 조사사마다 메뚜기목의 구성비가 높게 나타났고 5월의 거미류의 구성비도 10%를 차지하였다. 화강편마암지에서 곤충과 거미류의 생물량은 92년 8월에 22.37 mg DM m^{-2} , 9월에 21.29 mg DM m^{-2} , 10월에 45.33 mg DM m^{-2} , 93년 5월에 12.07 mg DM m^{-2} , 6월에 12.17 mg DM m^{-2} , 7월에 29.87 mg DM m^{-2} 를 나타냈다 (Table 5).

3) 소비자 칼슘농도와 칼슘 축적량의 계절적 변화

석회암지의 초식성 곤충의 목별 건중량당 칼슘함량이 가장 많았던 계절은 딱정벌레목이 10월에 3.0 mgCa g^{-1} DM, 매미목이 5월에 2.10 mgCa g^{-1} DM, 메뚜기목이 6월에 3.50 mgCa g^{-1} DM, 나비목이 7월에 4.20 mgCa g^{-1} DM, 벌목이 6월에 4.10 mgCa g^{-1} DM, 파리목이 10월에 19.00 mgCa g^{-1} DM, 기타곤충무리가 10월에 4.70 mgCa g^{-1} DM이었다. 육식성 곤충에서 칼슘함량이 가장 많았던 계절은 딱정벌레목이 10월에 7.21 mgCa g^{-1} DM, 잠자리목이 10월에 2.50 mgCa g^{-1} DM, 메뚜기목이 5월에 3.70 mgCa g^{-1} DM, 거미류가 7월에 6.43 mgCa g^{-1} DM이었다. 화강편마암지의 초식성 곤충의 목별 건중량당 칼슘함량이 가장 많았던 계절은 딱정벌레목이 5월에 2.36 mgCa g^{-1} DM, 매미목이 5월에 4.73 mgCa g^{-1} DM, 메뚜기목이 5월에 5.23 mgCa g^{-1} DM, 나비목이 5월에 4.10 mgCa g^{-1} DM, 벌목이 5월에 4.42 mgCa g^{-1} DM, 파리목이 9월에 3.00 mgCa g^{-1} DM, 기타곤충무리가 8월에 3.70 mgCa g^{-1} DM이었으며, 육식성 곤충에서 칼슘함량이 가

장 많았던 계절은 딱정벌레목이 10월에 4.30 mgCa g^{-1} DM, 잠자리목이 9월에 2.80 mgCa g^{-1} DM, 메뚜기목이 6월에 7.13 mgCa g^{-1} DM, 거미류가 7월에 3.70 mgCa g^{-1} DM이었다 (Table 6). 석회암지의 초식성 곤충의 목별 평균 칼슘 농도는 딱정벌레목이 1.85 mgCa g^{-1} DM, 매미목이 1.35 mgCa g^{-1} DM, 메뚜기목이 1.84 mgCa g^{-1} DM, 나비목이 2.01 mgCa g^{-1} DM, 벌목이 1.79 mgCa g^{-1} DM, 파리목이 4.43 mgCa g^{-1} DM이었으며, 기타곤충무리가 4.08 mgCa g^{-1} DM이었는데 이 중 파리목이 가장 높은 농도를 나타냈다. 육식성 곤충에서 평균 칼슘 농도는 딱정벌레목이 5.30 mgCa g^{-1} DM, 잠자리목이 1.80 mgCa g^{-1} DM, 메뚜기목이 2.67 mgCa g^{-1} DM, 거미류가 4.40 mgCa g^{-1} DM이었는데 이들 중 딱정벌레목이 가장 높은 값을 나타냈다 (Table 6).

석회암지에서 초식성 곤충의 단위 면적당 칼슘 축적량이 가장 많았던 달은 딱정벌레목이 6월에 6.22×10^{-3} mgCa m^{-2} , 매미목이 5월에 7.64×10^{-3} mgCa m^{-2} , 메뚜기목이 6월에 33.24×10^{-3} mgCa m^{-2} , 나비목은 9월에 4.00×10^{-3} mgCa m^{-2} , 벌목이 5월에 2.53×10^{-3} mgCa m^{-2} , 파리목이 5월에 3.29×10^{-3} mgCa m^{-2} , 기타곤충무리가 7월에 5.47×10^{-3} mgCa m^{-2} 이었다. 육식성 곤충의 단위 면적당 칼슘 축적량이 가장 많았던 달은 딱정벌레목이 10월에 0.98×10^{-3} mgCa m^{-2} , 잠자리목이 10월에 2.49 mgCa m^{-2} , 메뚜기목이 7월에 48.44×10^{-3} mgCa m^{-2} , 거미류가 7월에 15.02×10^{-3} mgCa m^{-2} 이었다. 또한 총 칼슘 축적량은 7월에 81.42×10^{-3} mgCa m^{-2} 로써 다른 달보다 많은 칼슘 축적량을 나타내었다. 화강편마암지에서 초식성 곤충의 칼슘 축적량이 가장 많았던 달은 딱정벌레목이 5월에 4.22×10^{-3} mgCa m^{-2} , 매미목이 10월에

Table 6. Seasonal change of calcium concentration (mgCa g⁻¹ DM) and calcium standing stock (10⁻³ mgCa m⁻²) in insect order and spider on the limestone (LS) and the granitic gneiss (GG) areas

	Calcium concentration (mgCa g ⁻¹ DM)							Calcium standing stock (10 ⁻³ mgCa m ⁻²)					
	92 Aug.	92 Sep.	92 Oct.	93 May	93 Jun.	93 Jul.	Mean	92 Aug.	92 Sep.	92 Oct.	93 May	93 Jun.	93 Jul.
LS													
Herbivore													
Coleoptera	1.03	0.60	3.00	1.83	2.44	2.20	1.85	1.30	3.11	0.04	5.78	6.22	3.47
Hemiptera	0.90	0.90	1.50	2.10	2.03	0.68	1.35	2.18	6.22	1.91	7.64	3.96	2.31
Orthoptera	0.70	1.20	2.50	1.76	3.50	1.40	1.84	7.11	12.44	21.33	2.76	33.24	2.89
Lepidoptera	1.40	1.90	—	3.31	1.43	4.20	2.01	0.36	4.00	—	2.58	1.33	1.78
Hymenoptera	0.80	1.00	2.74	2.50	4.10	1.93	1.79	0.53	1.33	0.27	2.53	1.38	0.53
Diptera	7.00	—	19.00	4.78	3.18	1.70	4.43	0.93	—	0.44	3.29	2.67	1.16
Miscellanea	3.70	3.85	4.70	4.65	—	3.51	4.08	1.00	2.31	0.28	1.44	—	5.47
Carnivore													
Coleoptera	—	0.50	7.21	6.75	—	6.75	5.30	—	0.09	0.98	0.71	—	0.04
Odonata	0.70	1.20	2.50	2.40	2.40	1.40	1.80	1.07	0.67	2.49	0.80	1.33	0.31
Orthoptera	5.50	1.64	1.30	3.70	1.50	2.40	2.67	3.69	2.22	2.09	3.07	9.02	48.44
Araneae	3.23	2.50	4.77	5.54	3.93	6.43	4.40	1.78	2.89	3.33	7.33	6.76	15.02
GG													
Herbivore													
Coleoptera	0.52	0.36	1.81	2.36	0.68	1.01	1.12	2.27	0.76	0.71	4.22	2.44	2.71
Hemiptera	0.52	0.98	1.78	4.73	4.40	1.35	2.29	4.00	4.89	21.78	16.93	15.07	13.73
Orthoptera	0.70	0.44	1.85	5.23	4.50	2.03	1.26	1.96	2.22	17.33	3.60	0.84	3.16
Lepidoptera	1.27	0.72	2.23	4.10	1.00	1.96	1.44	0.76	0.36	2.22	2.27	1.07	7.20
Hymenoptera	1.72	0.36	1.12	4.42	1.01	2.70	1.63	0.49	4.00	1.33	3.60	1.16	5.78
Diptera	1.80	3.00	1.60	2.89	2.40	1.01	2.28	1.20	1.47	1.60	2.04	4.04	1.38
Miscellanea	3.70	2.50	3.70	2.73	2.70	2.73	3.01	0.70	0.93	5.37	3.49	0.84	6.22
Carnivore													
Coleoptera	0.37	1.58	4.30	1.25	1.25	1.25	1.11	0.22	0.22	0.80	0.09	0.31	0.27
Odonata	2.50	2.80	—	—	1.69	2.03	2.26	0.13	5.33	—	—	0.22	0.53
Orthoptera	0.44	2.20	2.10	—	7.13	4.05	2.19	1.11	5.96	38.67	—	0.84	12.04
Araneae	0.84	0.11	0.28	3.59	4.33	3.70	3.87	1.33	0.27	0.22	9.33	0.71	9.64

—: not detected

21.78 × 10⁻³ mgCa m⁻², 메뚜기목이 10월에 17.33 × 10⁻³ mgCa m⁻², 나비목은 7월에 7.20 × 10⁻³ mgCa m⁻², 벌목이 7월에 5.78 × 10⁻³ mgCa m⁻², 파리목이 6월에 4.04 × 10⁻³ mgCa m⁻², 기타곤충무리가 7월에 6.22 × 10⁻³ mgCa m⁻² 이었다. 육식성 곤충의 칼슘 축적량이 가장 많은 달은 딱정벌레목이 10월에 0.80 × 10⁻³ mgCa m⁻², 잠자리목이 9월에 5.33 × 10⁻³ mgCa m⁻², 메뚜기목이 10월에 38.67 × 10⁻³ mgCa m⁻², 거미류가 7월에 9.64 × 10⁻³ mgCa m⁻² 이었다. 또한 총 칼슘 축적량은 10월에 90.03 × 10⁻³ mgCa m⁻²으로써 다른 달보다 많은 칼슘축적량을 나타내었다 (Table 6). 두 지역에서 단위 면적당 칼슘 축적량을 초식성 곤충과 육식성 곤충으로 구분하여 비교하면, 석회암지의 초식성 곤충은 6월에, 육식성 곤충은 7월에 다른 달보다 현저하게 많은 칼슘 축적량을 나타냈다. 화강편마암지의 초식성 곤충은 10월에, 육식성 곤충은 10월에 높은 칼슘 축적량을 나타냈다 (Table 6).

4. 영양단계에 따른 생태 피라미드

1) 생물량과 칼슘농도의 피라미드

석회암지와 화강편마암지에서 채집한 생물량을 단위

면적으로 환산하여 영양단계에 따른 생물량 피라미드로 볼 때, 생산자의 생물량은 각각 2.6 × 10⁵ mg DM m⁻²과 6.3 × 10⁵ mg DM m⁻²이었으며, 1차 소비자인 초식성 곤충의 생물량은 각각 14.7 mg DM m⁻²과 16.8 mg DM m⁻² 이었고, 2차 소비자인 거미를 포함한 육식성 곤충의 생물량은 각각 7.2 mg DM m⁻²과 6.8 mg DM m⁻²이었다. 두 조사지에서 영양단계에 따른 생산자의 식물량은 화강편마암지가 석회암지보다 약 2.4배 많았고, 1차 소비자의 생물량은 화강편마암지의 생물량이 1.1배 많았으나, 2차 소비자는 석회암지가 1.1배 더 많았다.

영양단계별 칼슘농도가 토양에서는 건중량당 칼슘함량이 석회암지와 화강편마암지에서 각각 4.70 ± 1.04 mgCa g⁻¹ DM과 0.20 ± 0.04 mgCa g⁻¹ DM이었다. 식물체의 잎에서는 각각 6.08 ± 2.14 mgCa g⁻¹ DM과 2.35 ± 0.52 mgCa g⁻¹ DM이었고, 총 식물체의 칼슘함량은 각각 5.60 ± 1.78 mgCa g⁻¹ DM과 2.45 ± 0.45 mgCa g⁻¹ DM이었다. 곤충의 칼슘함량은 초식성 곤충에서 각각 4.14 ± 1.39 mgCa g⁻¹ DM과 2.32 ± 0.85 mgCa g⁻¹ DM이었고 육식성 곤충에서는 각각 3.34 ± 1.07 mgCa g⁻¹ DM과 2.30 ± 0.81 mgCa g⁻¹ DM이었다. 총 곤충의 칼슘함량은 각각

3.74 ± 3.38 mgCa g⁻¹ DM과 2.31 ± 0.82 mgCa g⁻¹ DM이었다. 건중량당 칼슘함량은 토양, 생산자인 식물체, 1차 소비자인 초식성 곤충, 2차 소비자인 육식성 곤충 등 상위의 영양단계로 갈수록 두 지역간의 칼슘함량 차이가

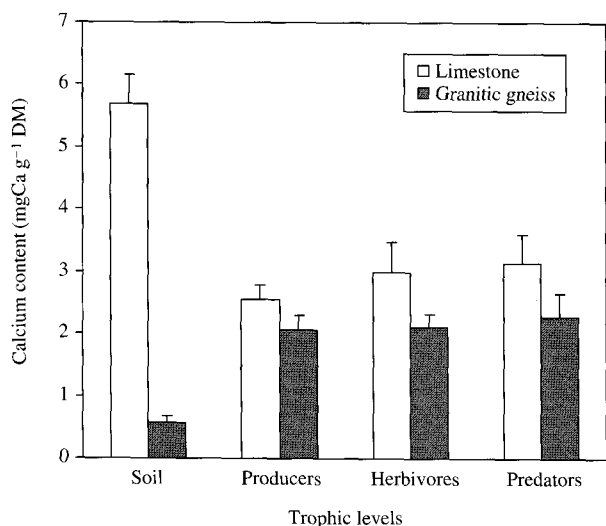


Fig. 1. The comparison of calcium concentrations (mgCa g⁻¹ DM) in soil and trophic levels on the limestone and the granitic gneiss areas.

Table 7. Analysis of variance for the effects of site, collecting seasons and their interaction along the trophic levels, producers, herbivores, and predators including soils

	Soil	Producers	Herbivores	Predators
Sites	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001
Seasons	<0.001	NS	NS	NS
Sites × Seasons	<0.001	NS	NS	NS

NS: Not significant

감소하였다(Fig. 1). 석회암지와 화강편마암지의 칼슘함량에 대한 건중량당 칼슘함량비는 화강편마암지의 칼슘함량을 기준 1로 잡아 상대적 비로 나타내면 토양에서는 약 23.5배, 식물체에서는 2.3배, 초식성 곤충에서는 1.9배, 육식성 곤충에서는 1.2배의 차이를 나타냈다.

각 토양을 포함한 영양단계에 따른 지역의 차이와 계절적인 차이를 ANOVA 분석을 통하여서, 어떠한 요소가 각 영양단계별로 영향을 주었는지 알기위해서, 지역, 계절, 그리고 둘과의 상호작용에 관련된 통계분석을 실시한 결과, 토양은 각 요소, 즉 지역 계절 그리고 상호작용과 통계적으로 유의성 있는 결과를 가져왔으며, 생산자, 초식자, 그리고 육식자는 지역에 관여되어 통계적으로 유의성을 나타내었지만($P < 0.001$), 계절이나 상호작용에서는 유의성을 나타내지 않았다($P > 0.05$, Table 7).

2) 칼슘 축적량의 피라미드

토양의 칼슘 축적량은 석회암지와 화강편마암지에서 각각 8.3×10^5 mgCa m⁻²과 3.8×10^4 mgCa m⁻²이었고 총 식물체에서는 1.7×10^3 mgCa m⁻²과 1.5×10^3 mgCa m⁻²이었다. 초식성 곤충은 각각 2.6×10^{-2} mgCa m⁻²과 3.2×10^{-2} mgCa m⁻²이었고 육식성 곤충은 1.9×10^{-2} mgCa m⁻²과 1.5×10^{-2} mgCa m⁻²이었으며 소비자인 총 곤충에서는 2.2×10^{-2} mgCa m⁻²과 2.4×10^{-2} mgCa m⁻²이었다. 단위 면적당 칼슘함량값을 영양단계별로 나타내면 상위 단계로 갈수록 칼슘축적량은 적어졌고 석회암지와 화강편마암지에서의 전이율은 토양에서 생산자인 식물로 각각 0.2%, 4.2%, 생산자에서 1차 소비자로 각각 0.002%, 0.02%, 1차 소비자가 2차 소비자로 각각 73%, 47%의 전이율을 나타냈다(Fig. 2). 석회암지가 전이량은 많았지만 전이율은 화강편마암지가 더 높았다.

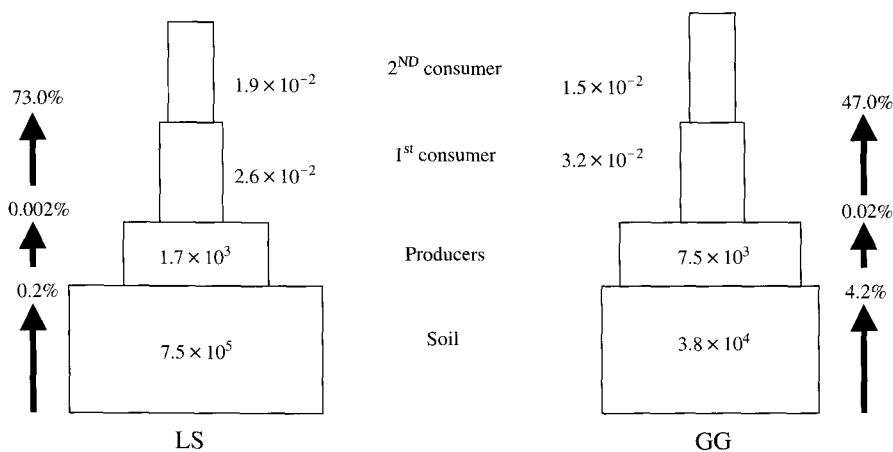


Fig. 2. The pyramid of the calcium amount (mg m⁻²) per unit area along trophic levels on the limestone (LS) and the granitic gneiss (GG) areas.

고 찰

1. 토양의 특성

토양의 성질은 모암에 따라 크게 좌우 되므로 (Sposito and Page 1984), 석회암지인 매포와 비석회암지인 대모산에서 토양 속성의 차이가 나타났다. 토양의 함수량은 석회암지보다 비석회암지에서 더 높은 값을 나타냈다. 석회암지인 매포의 토양 pH는 정과 김 (1987)이 강원도 영월 석회암지역의 소나무 군집의 pH와 비슷한 값으로 나타났으며 콧 (1993)이 발표한 석회암지의 pH와 유사하였다. 한편 비석회암지인 대모산의 pH는 한 (1988)이 대모산의 삼림식생에서 나타낸 pH와 유사한 값을 보였다. 석회암지의 칼슘농도는 콧 (1993)의 것 ($530 \sim 740 \text{ mg } 10^{-2} \text{ mgCa g}^{-1} \text{ DM}$)보다 조금 낮게 나타났는데 이는 본 조사지가 교목이 없고 관목만이 혼재한 초지이었기에 칼슘의 집적이 적었다고 생각된다. 이러한 두 조사지에서의 차이는 모암의 차이에서 오는 화학적 특성에서 기인한 것이며, 매포의 토양은 약알칼리성으로 양이온인 Ca^{2+} 을 많이 흡착할 수 있고 대모산의 토양은 약산성으로 양이온 등의 흡착이 상대적으로 적기 때문인 것으로 보여진다. 그리고 석회암 토양의 칼슘함량이 비석회암 토양의 칼슘함량보다 높은 것은 석회암 토양이 많은 CaCO_3 로 구성되어 있으며 이것이 풍화되어 Ca^{2+} 를 많이 생성하기 때문이다 (Miller and Donahue 1990). 이처럼 많은 칼슘함량의 차이는 동식물 군집의 종조성과 기능에 특이하게 작용하여 다른 양상을 보이게 되는 것이다 (Turnbull 1960; Kinzel 1983; 김 등 1990; Kemp *et al.* 1990).

2. 생산자의 종조성과 식물량

석회암지인 매포에서 관목과 초본의 높이가 다소 낮았는데 이는 토양이 건조해서 뿌리발달과 무기영양소 이용에 제한을 받아 나타난 결과로 볼 수 있다 (Whittaker and Niering 1968; Kim *et al.* 1991; Wesser and Armbruster 1991; 콧 1993). 대모산에서보다 매포에서 더 많은 종이 출현하였는데 이는 Tilman (1988)의 이론과 같이 제한받는 자원에서 오히려 종 다양성이 증가한다는 개념과 일치한다. 즉 석회암지의 높은 pH와 낮은 무기영양소 이용도로 인해 종 다양성이 증가한다고 볼 수 있다 (콧 1993). 매포의 식생은 6월에 최대의 성장을 보이다가 7월과 8월에 낮은 성장을 보였다. 대모산의 식물량은 7월에 최대의 성장을 보였다. 이러한 매포에서 7월과 8월의 성장률 감소는 백화현상과 함께 높은 pH와 P,

Fe이 불용성의 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 와 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 로 되어 이들의 흡수가 저해되기 때문에 일어나는 현상이다 (박 등 1972; 장과 목 1981). 대모산의 식물량이 7월에 갑작스럽게 증가한 것은 여름에 비가 많은 관계로 인해 초본층의 생장이 증가되었기 때문이다. 석회암 토양에서 주요군락의 지상부 식물량은 비석회암 토양의 식물량보다 작았다는 콧과 김 (1993)의 결과와 일치하였다.

3. 곤충의 종조성과 생물량

매포에서 5월에 출현한 메뚜기류는 성숙하지 못한 종들이 많아서 뚜렷히 성숙한 종이 아니면 메뚜기과와 여치과로 분류하였다. 부식성 곤충인 비단벌레류는 개체수가 적었고 건중량이 적었기 때문에 분석에서 제외시켰고, 개미류도 종조성에는 포함시켰지만 초식성 곤충의 개체수 변화나 생물량 변화에서 제외시켰다. 파리목에서 파리매를 분석에서 제외시켰고 그 외는 식물로부터 먹이를 얻는 초식성으로 분류하였다. 노린재부류에서 동정이 어려운 노린재 유충과 훼손된 성충은 개체수에만 포함시켰다. 거미류는 곤충과 별개의 분류군에 속하지만 곤충과 함께 포획되었고 곤충과 깊은 관련을 가진 섭식자이기 때문에 육식성 곤충과 함께 취급하였다. 뿔잠자리목은 잠자리목과 섭식행동이 비슷하고 포획된 개체수도 적었기 때문에 잠자리목과 함께 분석하였다. 대모산에서 초식성 곤충이 매포에서보다 많은 개체수를 보인 것은 종밀도가 높았다는 것과 일치하며 따라서 각 목에서 포획된 곤충이 많았다. 한편 육식성 곤충에서 거미류를 제외하고 다른 곤충의 포획된 수는 낮았으며, 매포에서보다 대모산에서 많은 수의 거미류가 포획되었는데 이는 초식성 곤충이 풍부한 곳에서 육식성 곤충도 풍부하다는 것을 보여준다. 초식성 곤충의 개체수는 매포에서 8월에 낮게 나타났지만 생물량에 있어서는 대모산과 유사한 값을 보였으며, 9월에는 낮은 개체수에도 불구하고 생물량은 높았다. 그리고 10월에는 개체수의 감소와 함께 생물량도 감소하였다. 5월에는 매포의 개체수가 다른 달의 개체수보다 훨씬 높게 나타났지만 생물량은 높은 값이 아니었다. 이는 가을에 곤충들이 성숙하며 개체당 생물량도 증가하기 때문이다. 육식성 곤충의 생물량은 대모산에서 10월에 높게 나타났는데 이는 사마귀류가 산란을 준비하는 단계에 있었기 때문이며, 매포에서는 7월에 생물량이 높게 나타났는데 이는 개체당 건중량이 큰 여치가 많이 포획되었기 때문이었다 (이 1994).

4. 영양단계별 피라미드와 칼슘함량

두 조사지의 초지에서 채집한 식물량에서 1차 소비자,

2차 소비자로의 생물량 전이의 감소는 계의 안정성을 유지하기 위한 하나의 방법이다. 영양단계별로 두 조사지에서 모두 생산자 > 1차 소비자 > 2차 소비자의 순으로 생물량이 감소하였다. 생산자의 생물량이 대모산에서 높았고 총 소비자의 생물량도 대모산에서 높게 나타났다. 그러나 2차 소비자만을 비교해 보면 매포가 오히려 약간 높았으며 이는 매포에서 포획된 종이 주로 사마귀와 여치로써 개체별 건중량이 큰 종이었기 때문이다.

본 연구의 결과에는 포함시키지는 않았지만, 본연구자가 수행한 척추동물인 개구리와 쥐는 정량적인 채집을 수행하지 못하여서, 건중량당 칼슘함량으로만 분석한 결과 3차 소비자인 쥐에서의 칼슘함량은 각각 $19.0 \pm 9.0 \text{ mgCa g}^{-1} \text{ DM}$ 과 $15.8 \pm 10.0 \text{ mgCa g}^{-1} \text{ DM}$ 이었고, 개구리에서의 칼슘함량은 각각 $16.5 \pm 3.7 \text{ mgCa g}^{-1} \text{ DM}$ 과 $15.8 \pm 1.3 \text{ mgCa g}^{-1} \text{ DM}$ 이었다. 위에서 밝힌 바와 같이 건중량당 칼슘함량은 토양, 생산자인 식물체, 1차 소비자인 초식성 곤충, 2차 소비자인 육식성 곤충, 3차 소비자인 쥐, 개구리 등 상위의 영양단계로 갈수록 두 지역간의 칼슘함량 차이가 감소하였다. 석회암지와 화강편마암지의 칼슘함량에 대한 건중량당 칼슘함량비는 화강편마암지의 칼슘함량을 기준 1로 잡아 상대적 비로 나타내면 토양에서는 약 23.5배, 식물체에서는 2.3배, 초식성 곤충에서는 1.9배, 육식성 곤충에서는 1.2배, 쥐에서는 1.18배, 개구리에서는 1.04배의 차이를 나타내었는데 이는 생물조절현상으로 많은 양의 칼슘이 체내에 유입되더라도 필요량만 남기고 체외로 배설하기 때문이다. 이러한 관계를 자세히 알아보기 위해서는 각 종의 섭식물과 배설물에 대한 분석이 이루어져야 하는데 이는 차후에 연구되어야 할 과제이다. 또한 두 조사지에서 개구리와 쥐의 근육, 뼈, 내장에 있어 유의성 있는 차이는 볼 수 없었다 ($P > 0.05$). 일반적으로 생물량이 높을수록 단위 면적당 칼슘함량은 높아지지만, 매포에서는 생산자의 건중량당 칼슘함량이 높아 생물량이 높은 대모산에서보다 현저하게 단위 면적당 칼슘함량이 높게 나타났다.

영양단계별 칼슘함량은 단위 면적당 상위단계로 올라 갈수록 감소하였으며 이러한 감소율로 전이를 알 수 있었다. 매포에서는 토양에서 식물체로 1.9%가 전이되었고, 식물체에서 초식성 곤충으로 0.002%, 초식성 곤충에서 육식성 곤충으로 73%가 전이되었다. 대모산에서는 토양에서 식물체로 4.2%, 식물체에서 초식성 곤충으로 0.02%, 초식성 곤충에서 육식성 곤충으로 47%가 전이되었다. 토양에서 식물체로 전이되는 비율은 대모산이 높았는데 이는 식물체의 생물조절현상으로 보여진다. 그리고 생물단계에서는 상위단계로 갈수록 전이율이 높아짐을 볼 수 있다. 이는 생태적효율이 상위단계로 갈수록

높아지기 때문에 일어나는 현상이다 (Odum 1983).

참 고 문 헌

- 곽영세. 1993. 단양 석회암지역 식물군락의 생산성 및 호식회식물과 협식회식물의 분류. 서울대 박사학위논문.
- 김준호, 문형태, 곽영세. 1990. 석회암지역 소나무 군집의 구조와 토양의 물리·화학적 성질. 한생태지. 13:285-296.
- 류병태. 1982. 인천 해안 간석지의 생산성과 영양구조. 서울대 석사학위논문.
- 박봉규, 오지영, 김진. 1972. 석회암지대에 있어서의 황화현상의 빈도 및 토양요인에 대하여. 한국생활과학연구원 논총. 9:87-95.
- 이건형, 이해풍. 1990. 소나무숲의 거미군집의 Guild 구조 및 계절적 변동. 한생태지. 13:149-163.
- 이영로, 오용자. 1970. 단양 도담삼봉지대의 식물. 한국생활과학연구원 논총. 5:101-115.
- 이훈복. 1994. 석회암과 화강편마암 지역 초지에서 영양단계별 칼슘전이. 서울대 석사학위논문.
- 장남기, 목창수. 1981. 금속광체상에 나타나는 식물에 관한 생리생태학적 연구. 2. 석회암지대의 백화현상. 한생태지. 4:25-32.
- 정연숙. 1982. 수목밀 연못 생태계의 환경요인, 구조 및 에너지 유전. 서울대 석사학위논문.
- 정연숙, 김준호. 1987. 산화가 소나무림의 토양과 유출수의 화학적 성질 및 식물량에 미치는 영향. 한생태지. 10:129-138.
- 정완호. 1987. 고속도로변 생태계의 납과 카드뮴 함량의 비교연구. 동국대 박사학위논문.
- 한창섭. 1988. 대모산 삼림식생의 구조적 특성에 관한 연구. 중앙대 석사학위논문.
- Allen SE, JA Parkinson, HM Grimshaw and C Quaramby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Sci. Publishing, Oxford.
- Belovsky GE. 1978. Diet optimization in a generalist herbivore: the moose. Theoret. Pop. Biol. 14:105-134.
- Belovsky GE and PA Jordan. 1981. Sodium dynamics and adaptations of a moose population. J. Mammal. 62:613-621.
- Clarke RD and PR Grant. 1968. An experimental study of the role of spider predators in a forest litter community. Part 1. Ecology. 44:1152-1154.
- Denton D, M Mckinley, J Nelson and R Weisinger. 1977. The hormonal genesis of mineral appetites. Acta. Endocrinol. 85:3-4.
- Drent PJ and JW Woldendorp. 1989. Acid rain and eggshells. Nature 339:431.
- French NR. 1979. Perspectives in glassland ecology. Springer-Verlag, New York.

- Gauld JH and JS Robertson. 1985. Soils and their related plant communities on the Dalradian limestone of some sites in central perthshire, Scotland. *J. of Ecology*. 73:91-112.
- Harborne JB. 1982. Introduction to ecological biochemistry. Academic Press 2nd (ed.).
- Hayne DW. 1949. Two methods of estimating populations from trapping records. *J. Mamm.* 30:399-411.
- Henderson PA. 2003. Practical methods in ecology. Blackwell Science Ltd., Malden, MA.
- Hughes BO and DGM Wood-Gush. 1971. A specific appetite for calcium in domestic chickens. *Anim. Behav.* 19:490-499.
- Jeffrey DW. 1987. Soil-plant relationships: an ecological approach. Timber press, Oregon. pp. 257-279.
- Kemp WP, SJ Harvey and KM O'Neil. 1990. Patterns of vegetation and grasshopper community ecosystem. *Oecologia*. 83:299-308.
- Kinzel H. 1983. Influence of limestone, silicates and soil pH on vegetation. In physiological plant ecology III. Responses to the chemical and biological environment, Lange OL, PS Nobel, CB Osmond and H Ziegler (eds.). Springer-Verlag, Berlin, pp. 201-244.
- Krebs CJ. 1998. *Ecological Methodology*, 2nd (eds.). Benjamin /Cummings, Menlo Park, CA.
- Larcher W. 1980. *Physiological plant ecology*. 2nd (eds.). Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 303 pp.
- Magurran AE. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Magurran AE. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science Ltd., Malden, MA.
- Menger K and EA Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute, Bern.
- Menhinick EF. 1963. Estimation of insect population density in herbaceous vegetation with emphasis on removal sweeping. *Ecology*. 44:617-621.
- Miller RW and RL Donahue. 1990. *Soils: An introduction to soils and plant growth*. Prentice-Hall, USA.
- Nyffeler M, DA Dean and WL Sterling. 1987. Feeding ecology of the orb-weaving spider *Argiope aurantia* (Araneae: Araneidae) in a cotton agroecosystem. *Entomophaga*. 32:367-375.
- Odum EP. 1983. *Basic ecology*. Saunders College Publishing. 613 pp.
- Riechert SE and T Lockley. 1984. Spiders as biological control agents. *Ann. Rev. Entomol.* 29:299-320.
- Rodgers WL. 1967. Specificity of specific hungers. *J. Camp. Physiol. Psychol.* 64:49-58.
- SAS Institute. 2001. *PROC user's manual*, 6th ed. SAS Institute, Cary, NC.
- Schowalter TD. 2000. *Insect ecology*. Academic Press, San Diego, CA.
- Shelford VE. 1951. Fluctuation of forest animal populations in east central Illinois. *Ecol. Monogr.* 21:183-214.
- Shore RF, RJ Balment and DW Yalden. 1991. The effect of habitat geology on calcium intake and calcium status of wild rodents. *Oecologia* 88:539-546.
- Southwood TRE. 1978. *Ecological methods*. 2nd (ed.). Chapman and Hall, London.
- Sposito G and AL Page. 1984. Cycling of metal ions in the soil environment. In: Sigel H. (ed.) *Metal ions in biological systems*. Volume 18: Circulation of metals in the environment. Marcel Dekker Inc., New York, pp. 5-60.
- Tilman D. 1988. *Plant strategies and the dynamic and structure of plant communities*. Princeton Univ. press. New Jersey.
- Turnbull AL. 1960. The spider population of the stand of oak in Wytham wood, Berks., England. *Can. Ent.* 92:110-124.
- Turnbull AL. 1973. Ecology of the true spiders (Araneomorphae). *Ann. Rev. Entomol.* 18:305-348.
- Wesser SD and WS Armbruster. 1991. Species distribution controls across a forest-steppe transition: Casual model and experimental test. *Ecological monographs*. 61:323-342.
- Whittaker RH and WA Niering. 1968. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. IV. Limestone and acid soils. *J. Ecol.* 56:523-544.

Manuscript Received: May 12, 2007
 Revision Accepted: August 2, 2007
 Responsible Editor: Kwang-Guk An