

남산과 광릉수목원의 잣나무림에서 낙엽분해과정에 관련된 토양미소절지동물군집

배 윤 환 · 이 준 호*

(대전대학교 생명과학과, *서울대학교 응용생물화학부)

Soil Microarthropod Community in the Process of Needle Leaf Decomposition in Korean Pine (*Pinus koraiensis*) Forest of Namsan and Kwangreung

Bae, Yoon Hwan and Joon Ho Lee*

(Department of Life Science, Daejin University, *School of Agrobiolgy, Seoul National University)

ABSTRACT

Two years-study with litter bag (mesh size : 0.4 mm, 1.7 m) was carried out from Nov., 1996 to Sept., 1998 to investigate the soil microarthropod community in the process of needle leaf decomposition of Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest in Namsan and Kwangreung, where were supposed to be under different environmental selective pressures. Soil arthropoda collected from litter bags were sorted into suborders or higher taxa. Acari and Collembola were dominant groups, which were 61-68% and 27-35% of total soil arthropod in their numbers, respectively. Among Acari, Oribatida was major group, and Gamasida and Actinedida were minor groups. Abundance of Acari was a little higher in Kwangreung than in Namsan. But there was not significant difference between the arthropod community structures of Namsan and Kwangreung forest. And the different mesh sizes (0.4 mm and 1.7 mm) of litter bags could not make significantly different community structures in the litter bags. One taxon showed different pattern of population dynamics from another. But Oribatida, Gamasida and Collembola showed peak density in July, 1997. All taxa showed lower population densities in cold season i.e. Nov., Jan. and March. There was not significant difference in decomposition rate between Namsan and Kwangreung forest, and between mesh sizes of litter bags. % residual mass of needle leaf was about 40% at 22 months after litter fall.

Key words : Soil arthropod, Community structure, Decomposition, Korean pine, Namsan, Kwangreung

서 론

산림생태계내 토양절지동물은 그들의 직,간접 활동으로 생태계의 물질순환과 에너지흐름을 원활하게 하고 다른 생물군간의 균형을 유지시켜주는 역할을 하며 (Wallwork 1983, Lussenhop 1992), 그들의 분포특성이 이화학적 미환경변화에 민감하게 반응하므로 환경지표생물로서 이용가능성이 높다 (Andre 등 1982, Van Straalen 등 1988, Paoletti 등 1991).

남산과 광릉수목원은 지리적으로는 우리나라 중부지역에서 서로 인접해 있으나, 남산은 대도시의 중심부에서 도시환경으로부터 오는 각종 오염원에 의한 스트레스를 받고 있고, 광릉수목원은 도시 외곽에서 비교적 보존이 잘 되어 있는 청정지역으로 간주된다. 따라서, 이 두 지역은

서로 다른 환경도태압을 받는 산림생태계로 인식되어 두 지역에 서식하는 토양절지동물의 분포상은 많은 연구자들의 관심의 대상이 되었다. 두 지역의 침엽수림과 활엽수림에서 토양동물군집구조 (박 등 1996), 날개응애 종구성 (박 등 1998, 정 등 1998)이 보고되었으며, 배와 이 (1997)는 두 지역의 환경도태압의 차이와 두 지역의 활엽수림에서 낙엽분해율 및 그것에 관여하는 토양절지동물상과의 관련성에 관하여 보고하면서 몇 가지 분류군의 지표생물로서의 이용가능성을 언급한 바 있다.

본 연구에서는 낙엽주머니를 이용하여 두 지역 잣나무림의 낙엽분해율, 낙엽분해과정에 관련된 토양절지동물군집 및 주요 분류군의 발생동태를 1996년 11월부터 1998년 9월까지 약 2년에 걸쳐 조사하여 두 지역의 입지환경 차이가 두 지역 잣나무림의 낙엽분해에 관여하는 토양절지

동물군집 및 낙엽분해에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

측정하였다.

재료 및 방법

조사지 개요 및 조사구

남산, 광릉 모두 잣나무조림지였으며, 조림년수는 각각 20년, 30년 정도였다. 두 지역 모두 하부 식생에 대한 간벌이 이루어져 잣나무림내 하부식생의 발달이 극히 빈약하였으며, 잣나무림의 울폐도는 두 지역 모두 90% 이상이었다. 두 지역의 잣나무림에서 30×30m 단구를 조사구로 설정하였는데, 남산의 조사구는 남서쪽 사면에 위치하였고 경사도는 10°-15°, 해발고도는 110-120m이었다. 광릉의 조사구는 45임반의 남쪽사면에 위치하였으며, 조사구의 경사도는 10°-20°, 해발고도는 90-100m이었다.

낙엽주머니 설치

1996년 11월 4일에 남산, 광릉 잣나무림내 조사구에서 최근의 낙엽을 채취하여 실내에서 음건시켰다. Nylon mesh를 재질로 낙엽주머니를 20×20cm의 크기로 만들어 주머니당 10g씩의 낙엽을 넣은 다음 봉하였다.

광릉 조사지에서는 mesh size 0.4 mm, 1.7 mm의 낙엽주머니 두 개를 1개 묶음으로 묶은 다음, 조사회수를 고려하여 충분한 수의 묶음을 1m 간격으로 비닐끈에 연결하여 1개조를 만들었다. 조사구를 5개의 소구로 분할한 다음 분할한 각 소구에 낙엽주머니 1개조를 낙엽과 동일한 깊이에 한줄로 배치하였다. 남산조사지에서는 광릉의 경우와 같은 방법이 되며, mesh size 1.7 mm의 낙엽주머니를 이용하였다. 낙엽주머니 설치시기는 광릉의 경우 1996년 11월 18일 이었고 남산은 동년 11월 19일이었다.

낙엽주머니 회수와 동물추출

낙엽주머니 회수는 낙엽주머니 설치 2개월후인 1997년 1월부터 1998년 9월까지 2개월 간격으로 조사당월 하순에 실시하였다. 각 조사시기에 조사구내 5개의 소구에 설치된 낙엽주머니 묶음들에서 각 소구당 1개 묶음씩 5개의 묶음을 무작위로 회수해 왔다. 따라서, 1회 조사시 각 mesh size 별 반복수는 5개였다. 수거 시간은 맑은 날 오전 10-12시 이었다. 회수된 낙엽주머니는 실내에서 개량된 Berlese-Tullgren funnel을 이용하여 그 안에 들어 있는 동물들을 48시간동안 추출하고 잎의 건량을 측정하였다. 추출된 동물은 75% alcohol에 보관한 후, 해부현미경하에서 아목이상의 분류군으로 동정하였다. 한편, 낙엽내 수분함량은 낙엽주머니 회수당시 낙엽무게에서 동물추출후의 낙엽건중량을 감함으로써 계산하였고, 조사지역 토양의 pH는 휴대용 수소이온농도 측정기 (Model : DEMETRA PAT 193478, E.M. System Soil Tester)를 이용하여 조사구내 25지점을

결과 및 고찰

낙엽주머니내 토양절지동물군집구조

남산과 광릉의 잣나무림에 낙엽주머니 설치후 1997년 1월부터 1998년 9월까지 2개월 간격으로 11회에 걸쳐 낙엽주머니를 회수, 그 안에 서식하는 토양절지동물을 추출하여 아목이상의 분류군으로 동정하여 분류군별 개체수를 합산한 결과(표 1) 두 지역 모두 응애류, 툴토기류가 60% 이상, 27% 이상을 점유하여 절대우점군을 이루고 있었다. 이와 같은 경향은 활엽수 낙엽분해과정의 군집구조나 토양과 부엽에 서식하는 절지동물 군집구조에서도 여러 연구자들에 의해 보고된 바 있다(권 1993, 박 등 1996, 배와 이 1997, Seastedt 1984, Takeda 1988). 특히, 동일지역의 활엽수림 낙엽분해에서 두 분류군의 점유율이 95% 미만이었던 것(배와 이 1997)과는 달리 본 조사에서는 이 두 분류군 점유율이 98% 이상을 차지하고 있어 활엽수림보다 침엽수림의 낙엽분해에서 응애류와 툴토기류의 상대적 중요성이 클 수 있음을 시사하고 있다. Petersen과 Luxton (1982)은 침엽수림에서는 특히 mesofauna가 양적으로 중

Table 1. Total number^a of soil arthropods collected bimonthly from litter bags from Jan., 1997 to Sept., 1998 in Korean pine (*Pinus koriensis*) forests of Namsan and Kwangreung

Soil animal	Sampling site and mesh size of litterbag					
	Namsan		Kwangreung			
	1.7mm	%	1.7 mm	%	0.4 mm	%
Arachnida	1772	62.5	2320	68.0	1770	61.4
Acari	1761	62.2	2290	67.1	1755	60.9
Oribatida	1034	36.5	767	22.3	722	25.1
Gamasida	229	8.1	263	7.7	225	7.8
Actinedida	107	3.8	190	5.6	177	6.1
Etc.	391	13.8	1070	31.4	631	21.9
Araneae	11	0.4	24	0.7	8	0.3
Pseudoscorpion	0	0.0	6	0.2	7	0.2
Chilopoda	5	0.2	17	0.5	14	0.5
Diplopoda	4	0.1	1	0.0	2	0.1
Symphyla	5	0.2	2	0.1	7	0.2
Insecta	1033	36.5	1059	31.0	1079	37.4
Thysanoptera	0	0.0	1	0.0	0	0.0
Collembola	908	32.1	931	27.3	1008	35.0
Diptera	83	2.9	103	3.0	51	1.8
Coleoptera	9	0.3	4	0.1	1	0.0
Lepidoptera	4	0.1	6	0.2	5	0.2
Hymenoptera						
Formicidae	29	1.0	14	0.4	14	0.5
Etc.	14	0.5	12	0.4	10	0.3
Total	2833	100.0	3411	100.0	2882	100.0

^a : Soil animals of the same group collected from Jan. 1997 to Sept., 1998 were pooled.

요한 생물요인이 되고 있으며 mesofauna는 주로 날개응애와 톡토기가 주요 분류군이라고 하였다. 응애류중에서는 날개응애류(Oribatida)가 최대 우점군으로 전체개체수의 22-36% 정도를 점유하는 것으로 나타났으나 실제로 미동정된 응애류의 약충까지를 감안하면 날개응애류의 비율이 더 높아질 것으로 생각된다.

중기문응애는 약 8%, 전기문응애는 4-6%를 차지하고 있어 날개응애류에 비해서 소수군에 해당되었다. 일반적으로 톡토기와 더불어 날개응애의 식성은 부식성이거나 미생물 섭식자로 알려져 있다(Seastedt 1984). 따라서, 이 두 분류군이 최대 우점군을 이루는 것은 날개응애와 톡토기류가 낙엽분해과정에서 1차 소비자에 해당되어 부식연쇄의 영양단계에서 하부구조를 이루고 있는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 한편, 응애류와 톡토기를 제외한 소수분류군중에서는 파리류가 약 2-3%로 상대적 우점군을 이루고 있었다.

토양절지동물의 군집분포에 영향을 미치는 환경인자들은 pH, 산성비, 유기물 함량, 강우, 온도 등이 있다. 박(1995)은 남산과 광릉의 침엽수림에서 상기 환경요인들을 비교하고 두 지역이 인접해 있기 때문에 강우산도, 강수량, 기온 등에서는 지역간에 큰 차이가 나타나지 않았으나 부엽의 pH, 부엽층의 두께에서는 차이가 있었다고 하였다. 본 조사에서 잣나무림 경우 남산의 토양 pH는 6.12 ± 0.66 , 광릉은 $6.82 \pm 0.080^*$ ($P > 0.5$)이므로 광릉이 약간 높았다.

Mesh size 1.7 mm의 낙엽주머니에서 남산과 광릉의 군집구조를 비교해 보면 응애류를 제외한 나머지 상위분류군의 개체수는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히, 두 지역의 활엽수림에서 지네류의 개체수는 남산이 많았고, 노래기와 애지네류는 광릉에서 현저하게 많았던 것(배와 이 1997)과는 상당히 대조적이다. 그러나 각 분류군에 대한 종단위의 군집구조에서는 두 지역이 상이할 수 있으므로 향후 조사, 분석이 요망된다. 박(1995)은 두 지역의 침엽수림에서 날개응애아목의 종수나 개체수는 광릉이 남산보다 높았다고 보고하였다. 한편, 광릉의 mesh size 1.7 mm 낙엽주머니에서 응애류, 거미류, 파리류의 개체수가 0.4 mm 낙엽주머니내 개체수보다 많은 것을 제외하면 낙엽주머니의 mesh size가 낙엽주머니내 절지동물의 상위분류군 군집구조에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. Anderson (1975)은 너도밤나무(*Fagus sylvatica*)와 밤나무(*Castanea sativa*)에서 낙엽주머니를 이용하여 토양절지동물 군집구조를 조사한 결과 낙엽주머니의 mesh size에 따른 토양동물의 질적, 양적 차이가 뚜렷하지 않았다고 보고한 바 있다.

낙엽주머니내 주요 분류군의 계절적 밀도변동

토양절지동물에 대한 낙엽주머니내의 서식환경은 자연적으로 형성된 토양과 부엽의 서식환경과는 다를 것이다.

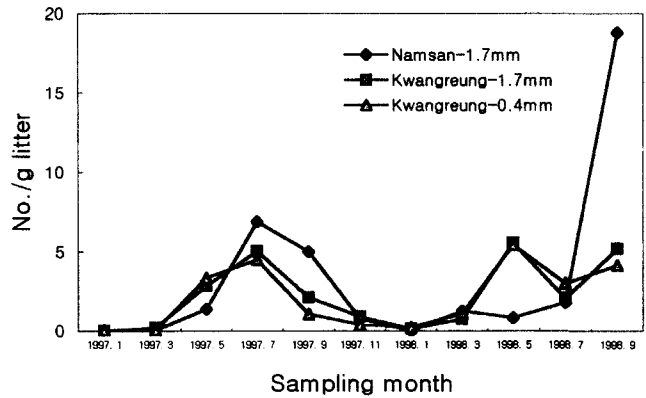


Fig. 1. Changes in the densities (No./g litter) of Oribatida (Acari) in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

특히, 토양속의 미환경에 비해서 낙엽주머니내의 미환경은 대기온도에 의한 영향을 더 많이 받을 것으로 생각된다. 따라서, 낙엽주머니내에 서식하는 토양절지동물의 계절변동은 기온의 변동과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다.

남산과 광릉의 응애류중에서 최대우점군이었던 날개응애(표 1)의 경우 기온이 낮은 11월부터 3월까지 낮은 밀도를 유지하다가 그 외의 계절에서는 상대적으로 높은 밀도를 유지하는 양상을 나타내고 있다(그림 1). 낙엽분해 1년차에는 7월에 최고 밀도를 뚜렷하게 나타내었으나 이듬해에는 뚜렷한 최고밀도가 없이 5, 7, 9월의 밀도가 전년도 11월과 당해연도 1, 3월 밀도보다 높은 양상으로 나타났다. 이러한 현상은 낙엽분해 1년차에는 낙엽주머니가 지표면에 위치하여 대기온도의 영향을 뚜렷하게 받아 우리나라 기온분포와 유사한 밀도변동양상을 나타내었고, 낙엽분해 2년차에는 낙엽주머니가 토양속으로 들어가 있어 대기온도의 영향을 전년도에 비하여 상대적으로 덜 받았기 때문인 것으로 생각된다.

응애류중 중기문응애와 전기문응애는 침엽수의 낙엽분해과정에서 날개응애보다 나중에 서식하게 되는 분류군으로 알려져 있다(Takeda 1988). 중기문응애의 밀도변동양상은 날개응애의 경우처럼 낙엽분해 첫해의 7월에 최고밀도를 나타내었다가 이후에는 특정한 경향을 보이지 않았으며(그림 2), 7월의 최고밀도 수준이 날개응애의 5월의 수준(그림 1)과 유사하였다. 전기문응애의 밀도변동양상은 전반적으로 낮은 밀도를 유지하였고, 낙엽분해 첫해에는 계절에 따른 특정한 경향을 찾아볼 수 없었으며, 낙엽분해 2년차 9월에 밀도가 증가하는 경향을 나타내었다(그림 3). 응애류의 계절변동양상에서 남산과 광릉 두 지역간 낙엽주머니의 mesh size간에 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다.

톡토기의 밀도변동양상은 낙엽분해 1년차에는 날개응애류의 밀도변동양상과 유사한 경향을 나타내었으나 낙엽분해 2년차에는 일정한 수준의 밀도를 유지하고 있었다(그

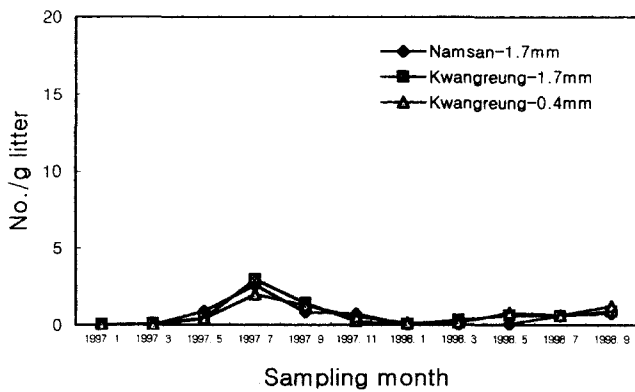


Fig. 2. Changes in the densities (No./g litter) of Gamasida (Acari) in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

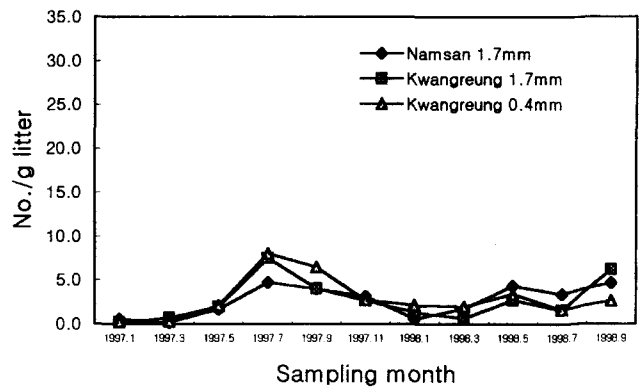


Fig. 4. Changes in the densities (No./g litter) of Collembola in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

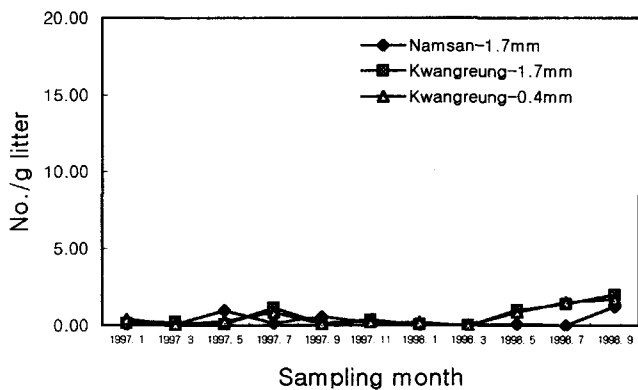


Fig. 3. Changes in the densities (No./g litter) of Actinedida (Acari) in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

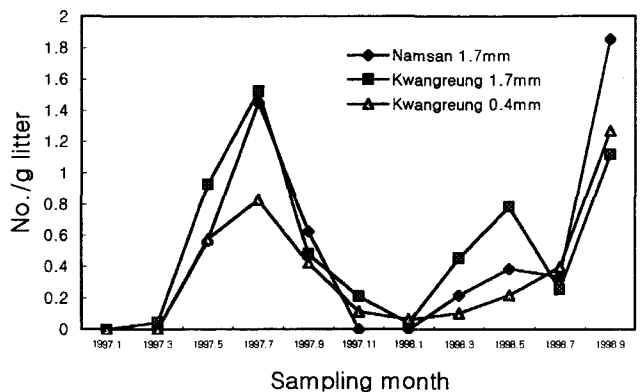


Fig. 5. Changes in the densities (No./g litter) of soil arthropods except Acari and Collembola in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

림 4). 특히, 1997년 11월, 1998년 1, 3월의 밀도가 응애류의 경우 전무한 수준이었던 것(그림 1, 2, 3)에 비해 특토기의 경우에는 응애류보다는 현저하게 높은 밀도를 유지하고 있어 특토기의 저온에 대한 내성이 응애류에 비해 상대적으로 높다는 것을 엿볼 수 있다. 그리고 응애류의 경우와 마찬가지로 특토기에서도 지역간, 낙엽주머니의 mesh size간에 밀도변동양상의 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

응애류와 특토기를 제외한 나머지 분류군을 합산하여 밀도변동상황을 나타내었을 때(그림 5) 낙엽분해 1년차에는 7월에 뚜렷한 최고밀도를 나타내었고, 2년차에는 최종 조사월인 9월에 최고밀도를 나타내었다. 남산과 광릉 두 지역간의 밀도변동은 대체로 유사한 양상을 나타내었으나, 낙엽주머니의 mesh size간에는 낙엽분해 2년차의 1998년 5월까지 mesh size 1.7 mm에서의 밀도가 0.4 mm에서보다 지속적으로 높은 밀도를 유지하고 있어 낙엽주머니의 mesh size이 차이가 이들 분류군에 대하여 출입제한 효과

를 발휘했던 것으로 생각된다.

낙엽분해율

낙엽주머니 설치 8개월후인 1997년 7월까지의 두 지역간, 낙엽주머니의 mesh size (1.7 mm, 0.4 mm)간에 낙엽의 잔존률이 유사하게 유지되었으며 1997년 7월 이후에 비해서 상대적으로 빠른 속도로 잔존률이 감소하였다(그림 6). 그리고 같은 시기의 낙엽주머니 잔존률의 변이계수는 5% 미만의 낮은 수준을 유지하였다(그림 7). 이것은 낙엽분해 과정에서 분해초기에는 생물적 요인이 낙엽분해에 미치는 영향이 아주 작고, 주로 낙엽내 용해성 물질의 용탈이 일어나기 때문에 빠른 무게 감소가 일어나며, 이러한 현상은 서로 다른 미환경속에 위치하는 낙엽이라도 비교적 균일하게 일어나는 것 (Anderson 1973, Seastedt 1984, Takeda 1988)과 관련이 있는 것으로 생각된다.

낙엽분해 1년 후인 1997년 11월부터는 잔존률의 감소율이 둔화되고 있으며, 동시에 잔존률의 변이계수도 커지고

Soil Arthropod Community in Decomposing Litter of Korean Pine

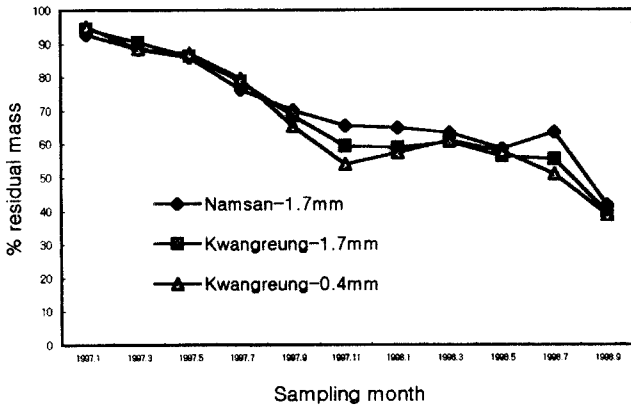


Fig. 6. Changes in the % residual masses of leaf litter in *Pinus koraiensis* forest of Namsan and Kwangreung.

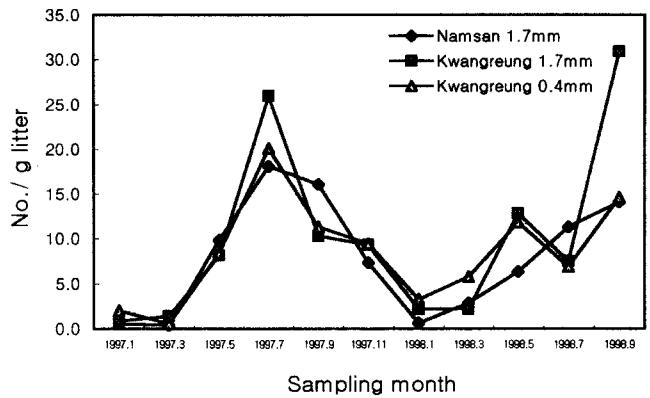


Fig. 8. Changes in the densities (No./g litter) of total arthropods in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

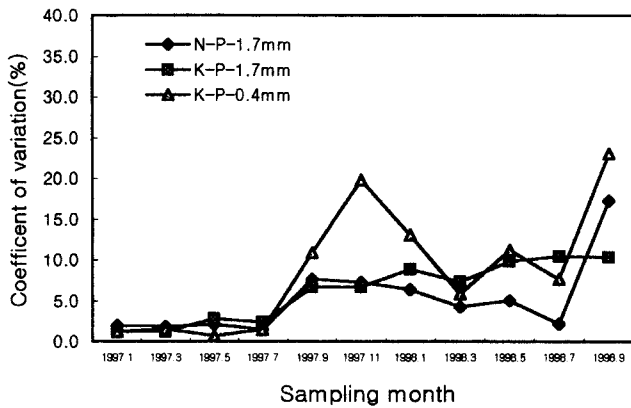


Fig. 7. Changes in the CV(%)s of % residual mass among the individual litter bags in Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest of Namsan and Kwangreung.

있다. 이것은 낙엽분해과정이 어느 정도 진행되고 나면 리그닌과 같은 난분해성 물질이 낙엽분해의 제한요인으로 작용하고 (Forgel and Cromack 1977, Berg 등 1982) 분해중인 낙엽내 미환경의 복잡성이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 특히, 1997년 11월 이후에는 낙엽잔존률이 증가하는 경우도 있는데, 이는 낙엽분해과정에서 여름철 강우나 동절기 결빙과 같은 물리적인 원인에 의해 낙엽주머니 내로 진흙이나 모래와 같은 외부물질이 들어가 낙엽에 결합하여 낙엽잔존률 측정과정의 오차 요인으로 작용하였기 때문인 것으로 생각된다. 최종 조사시기인 낙엽주머니 설치 22개월 후 1998년 9월에는 약 40%의 잔존률을 나타내었다.

전반적으로 두 지역간, 낙엽주머니 mesh size간 낙엽분해율의 차이는 크게 나타나지 않았으며 (그림 6), 토양절지동물 밀도가 높았던 1997년 7월의 분해율이 그 전후의 분해율보다 특별히 높지 않고, 낙엽분해 2년차인 1998년도 5, 7월의 밀도가 1, 3월의 밀도보다 높게 유지됨에도 불구하고

낙엽분해율은 증가되지 않는 것으로 보아 (그림 6, 그림 8) 토양절지동물이 잣나무 낙엽분해에 직접적으로 큰 영향은 미치지 않았던 것으로 생각된다. Seastedt (1984)는 토양동물이 토양내의 에너지 대사에 직접 기여하는 역할은 전체 대사량의 10% 미만이고, 다른 생물적 요인들간의 간접적 상호작용이 중요하다고 하였다.

적 요

남산과 광릉의 잣나무림에서 낙엽분해에 관련된 토양미소절지동물을 아목이상의 상위분류군으로 동정한 결과 개체수에 있어서 두 지역 모두 응애류가 61-68%, 툭토기류가 27-35%로 두 분류군이 절대다수를 점유하고 있었다. 응애류에서는 날개응애아목이 현저하게 많았으며, 중기문, 전기문아목은 소수군에 속하였다. 응애류의 총개체수가 광릉이 남산보다 약간 많은 것 이외에는 두 지역간의 토양절지동물 군집구조가 크게 다르지 않은 것으로 나타났다. 낙엽주머니의 mesh size에 따른 차이도 응애류, 거미류, 파리목의 개체수가 1.7mm에서 0.4mm보다 높은 것을 제외하면 양자간 차이가 없는 것으로 나타났다. 분류군의 계절변동에 있어서는 분류군에 따라 다른 밀도변동양상을 나타내었으나 전체적으로는 5월부터 9월까지의 밀도가 다른 시기의 밀도보다 높은 것으로 나타났고, 특히 낙엽분해 1년차에는 7월의 밀도가 뚜렷하게 높게 나타났다. 낙엽의 잔존률은 낙엽 후 1년 동안은 지속적으로 떨어졌다. 낙엽분해 2년차에는 잔존률의 하강속도가 둔화되는 경향을 보였으며, 최종조사 시점인 22개월 후의 낙엽잔존률은 약 40% 정도가 되었으며, 두 지역간, 낙엽주머니 mesh size간에 차이가 없었다. 이상의 결과에서 낙엽분해 2년차까지는 남산과 광릉의 입지환경 차이가 두 지역 잣나무 낙엽분해과정에 관련된 토양절지동물군집과 낙엽분해율에 큰 영향을 미치지 않았던 것으로 판단된다.

인용문헌

- 권영립. 1993. 잣나무 조림지내 토양미소절지동물상에 관한 연구. 3. 토양미소절지동물의 종류와 분포. 한국응용곤충학회지 32(2) : 168-175.
- 박홍현. 1995. 남산과 광릉침엽수림에서 날개응애류 (Acari: Oribatida) 군집분석. 서울대학교 대학원 석사학위논문. p. 78.
- 박홍현, 정철의, 이준호, 이범영. 1996. 남산과 광릉의 토양미소절지동물에 관한 연구. 한국토양동물학회지 1(1) : 37-47.
- 박홍현, 이준호, 배윤환, 최성식. 1998. 남산과 광릉침엽수림 지역의 날개응애류 (Acari: Oribatida) 종 구성. 한국토양동물학회지 3(2) : 78-90.
- 배윤환, 이준호. 1997. 남산과 광릉활엽수림에서 낙엽분해에 관여하는 토양무척추동물 군집에 관한 연구. 한국토양동물학회지 2(2) : 83-91.
- 정철의, 이준호, 배윤환, 최성식. 1998. 남산과 광릉활엽수림에서 날개응애류 (Acari: Oribatida) 종 구성. 한국토양동물학회지 3(2) : 91-105.
- Anderson, J.M. 1973. The breakdown and decomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) litter. I. Breakdown, leaching and decomposition. *Oecologia* 12 : 251-274.
- Anderson, J.M. 1975. Succession, diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *J. Animal Ecology*. 44 : 475-495.
- Andre, H.M., C. Bolly and H. Lebrun. 1982. Monitoring and Mapping air pollution through an animal indicator: A new and quick method. *J. of Appl. Ecol.* 19 : 107-111.
- Berg, B., K. Hannus, T. Popoff and O. Theander. 1982. Changes in organic chemical components of needle litter during decomposition. Long term decomposition in a Scot pine forest. *Can. Bot.* 19 : 1310-1318.
- Fogel, R. and Cromack Jr. 1977. Effect of habitat and substrate quality in Douglas fir needles decomposition western Oregon. *Can. J. Bot.* 55 : 1632-1640.
- Lussenhop, J. 1992. Mechanisms of microarthropod-microbial interaction in soil. *Advances in Ecological Research*. 23 : 1-33.
- Paoletti, M.G., MR. Favretto and B.R. Stinner. 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 34(1) : 341-365.
- Petersen, H. and M. Luxton. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39 : 287-388.
- Seastedt, T.R. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization process. *Ann. Rev. Entomol.* 29 : 25-46.
- Takeda, H. 1988. A 5 year study of pine needle litter decomposition in relation to mass loss and faunal abundances. *Pedobiologia* 32 : 221-226.
- Van Straalen, N.M., M.H.S. kraak and C.A.J. Denneman. 1988. Soil microarthropods as indicators of soil acidification and forest decline in the Veluwe area, the Netherlands. *Pedobiologia* 32 : 47-55.
- Wallwork, J.A. 1983. Oribatids in forest ecosystems. *Ann. Rev. Entomol.* 28 : 109-130.