

# 낙엽의 분해과정에 따른 영양염류 및 화학적 구성원의 동태

문 형 태 · 표 재 훈

공주대학교 자연과학대학 생물학과

## Dynamics of Nutrient and Chemical Constituents during Litter Decomposition

Mun, Hyeong-Tae and Jae-Hoon Pyo

Department of Biology, Kongju National University

### ABSTRACT

Dynamics of nutrients, non-polar, water solubles, acid solubles and acid insolubles (lignin) in decomposing litter were investigated for 2 years in the oak, *Quercus acutissima*, and the pitch pine, *Pinus rigida*, stands in the vicinity of Kongju, Chungnam Province. Nitrogen and phosphorus concentrations in decomposing litter increased with time elapsed, however, potassium decreased rapidly within three months and then remained constant with time elapsed. Calcium concentration in needle litter during experimental period was lower than that of initial concentration, and showed no significant variation with time elapsed. Calcium concentration in oak litter during the experimental period, however, were higher than that of initial concentration. Magnesium concentration in oak litter decreased rapidly during six months, and then remained constant thereafter. Annual amount of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium which returned to soil via litter decomposition in the oak and the pitch pine stands was 3.3 g/m<sup>2</sup> and 0.9 g/m<sup>2</sup> for N, 0.03 g/m<sup>2</sup> and 0.01 g/m<sup>2</sup> for P, 1.3 g/m<sup>2</sup> and 0.7 g/m<sup>2</sup> for K, 0.7 g/m<sup>2</sup> and 1.2 g/m<sup>2</sup> for Ca, 0.9 g/m<sup>2</sup> and 0.4 g/m<sup>2</sup> for Mg, respectively. Non-polar, and water- and acid-soluble fractions in decomposing litter decreased and lignin increased with time.

**Key words:** Acid solubles, Decomposition, Lignin, Nutrients, *Pinus rigida*, *Quercus acutissima*, Water solubles

### 서 론

식물은 물질생산을 지속하기 위하여 가용성 영양염류가 필요하다. 토양의 영양염류는 대부분 유기분자와 결합되어 있으므로 식물이 직접 이용할 수 없고, 이것들은 분해자들의 활동에 의한 무기화 과정을 거쳐 가용성 상태로 된 다음 식물에 흡수된다. 대부분의 삼림생태계에서 낙엽의

이 연구는 '92년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임(과제번호:921-0400-021-2)

분해는 가장 중요한 영양염류 공급원이다 (Berg and Wessen 1984). 생태계의 중요한 두 가지 기능을 에너지 흐름과 물질 순환이라고 볼 때 삼림생태계의 낙엽 생산과 분해는 생태계의 기능을 유지하기 위한 기본적인 과정이다.

육상생태계에서 부니질의 분해과정은 토양의 이화학적 성질, 분해자 군집, 낙엽의 성질 간의 복잡한 상호작용에 의하여 일어난다 (Douce and Webb 1978, Vossbrinck *et al.* 1979). 분해자 군집은 주로 세균과 곰팡이 등의 미생물과 토양 소동물로 구성 되는데, 이러한 생물들은 자신의 생장을 위해 부니질 속에 들어있는 에너지나 탄소 기타 다른 영양염류를 이용한다. 결국 분해자들도 죽어 이들의 시체가 분해계에 들어와 다른 분해자의 작용을 받게 된다 (Swift *et al.* 1979).

낙엽은 식물의 종에 따라 화학적 성질이나 물리적 성질이 다르다. 낙엽의 분해과정에는 토양 소동물의 영향이 크기 때문에 토양소동물의 종류나 수도에 영향을 주는 전체적인 식생구성, 토양의 이화학적 성질, 기후 조건에 따라서도 분해율은 매우 상이할 수 있다 (Anderson 1973a, Berg and Agren 1984, Fogel and Cromack 1976, Klemmedson 1985, Swift *et al.* 1979, Yavitt 1986). 또한 낙엽의 분해과정에 따른 유기물질의 구성원의 변화를 파악하는 것은 세균이나 곰팡이 그리고 토양소동물의 역할과 결부시켜 매우 중요한 의미가 있다 (Anderson 1973a, 1973b, Berg and Agren 1984, Berg *et al.* 1982, 1984, Duffy *et al.* 1985, Parker *et al.* 1984, Staaf and Berg 1982).

본 실험실에서는 삼림생태계의 물질 순환을 파악하기 위한 일환으로 우리나라 삼림의 주종을 이루는 소나무군락과 참나무군락을 대상으로 연중 낙엽의 생산 패턴, 생산량 및 분해율을 파악하여 보고한 바 있다 (Mun and Joo 1994). 본 연구는 낙엽의 분해에 의해 토양에 이입되는 영양염류의 양, 그리고 분해 과정에 따른 수용성 구성원, 산 용해물질, 리그닌 함량의 변화를 조사하여 낙엽의 종류에 따른 분해율의 차이를 해석하고, 삼림생태계의 물질순환을 밝히기 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

## 조사지소 및 방법

### 조사 방법

본 연구의 조사지 개황, 낙엽 주머니의 설치 및 수거 방법은 Mun과 Joo(1994)에 자세히 기술되어 있다. 수거한 낙엽 주머니는 실험실에서 겉에 묻은 흙을 털어내고 평량한 다음 80°C 건조기에서 건조시켜 수분 함량을 측정하였다. 수분 함량의 측정이 끝난 낙엽 주머니는 약한 수돗물로 낙엽에 묻은 흙과 모래를 씻어낸 다음 80°C 건조기에서 건조시킨 후 평량하여 건조량의 변화를 조사하였다. 평량이 끝난 낙엽은 분쇄기로 마쇄하여 화학 분석에 사용하였다.

각 분해단계에 있는 낙엽의 단위 무게당 영양염류 함량에 낙엽의 잔존량을 곱한 값을 각 영양염류의 초기 함량에 대한 백분율로 나타내어 초기 함량보다 높을 때를 영양염류의 부동화(immobilization) 기간, 낮을 때를 영양염류의 무기화(mineralization) 기간으로 간주하였다. 낙엽 생산량과 단위 무게 당 영양염류 함량의 자료 (Mun and Joo 1994), 처음의 litterbag에 들어 있는 영양염류의 양에서 1년이 경과된 뒤 소실된 영양염류량의 비를 이용하여 낙엽의 분해를 통해 연간 토양에 유입되는 영양염류의 양을 계산하였다.

### 낙엽의 화학 분석

전질소는 microKjeldahl 법 (Wilde *et al.* 1979)으로 분석하고, 인은 습식으로 분해한 뒤

Allen *et al.* (1974)에 따라 분석하였다. 칼륨과 칼슘, 마그네슘은 낙엽을 습식으로 분해한 뒤 Atomic absorption spectrophotometer를 사용하여 정량하였다 (Wilde *et al.* 1979).

낙엽의 분해 과정 중 유기물 구성원의 변화는 modified TAPPI (1975, 1976)에 따라 분석하였다. 시료 1g을 dichloromethane을 이용하여 41°C에서 5시간 동안 추출한 후 감소된 무게를 무극성 유기물로 하였다. 무극성 유기물이 제거된 시료 500mg에 25mL의 증류수를 넣은 후 100°C에서 3시간 동안 분해시켰다. 내용물을 Gooch crucible을 이용하여 여과한 다음 건조시켜 감소된 무게를 수용성 구성원으로 하였다.

수용성 구성원이 제거된 시료 200mg을 15mL의 시험관에 넣고 2mL의 72% 황산을 넣은 뒤 30°C의 수조에 1시간 동안 incubation 시킨다. 내용물을 250 mL의 삼각플라스크에 옮긴 뒤 120°C의 autoclave에서 1시간 동안 가수분해 시킨 후 Gooch crucible을 이용하여 여과한다. 남은 샘플을 건조시켜 평량한 다음 감소된 무게를 산 용해물질, 나머지를 리그닌으로 간주하였다. 낙엽의 화학분석은 각 시료에 대해 2번 측정된 값을 평균하였다.

## 결과 및 고찰

### 분해과정에 따른 영양염류의 변화

분해과정에 있는 낙엽의 단위 무게 당 질소 함량은 초기에는 감소하지만 12개월 이후에는 초기의 값보다 높게 유지되는 것으로 나타났다(Fig. 1A). 상수리나무 낙엽의 경우 초기의 질소 함량은 12.5 mg/g이었으나 1개월 후에는 10 mg/g으로 20%가 감소하였고 3개월 된 낙엽에서도 22%의 감소가 있었다. 그후 점점 증가하여 9개월째에는 초기의 함량과 같아진 후 계속 증가하였다. 리기다소나무 낙엽에서도 초기의 6 mg/g이 1개월 후에는 4.5 mg/g으로 25%가 감소된 것으로 나타났다. 그러나 그 이후 질소함량은 증가하여 1년이 지난 낙엽은 초기 함량의 133%에 달하였다.

Anderson(1973b), Gholz *et al.* (1985), 그리고 Kelly와 Beauchamp(1987) 등은 분해 중인 여러 종류의 낙엽에서 단위 무게 당 질소 함량이 시간이 지남에 따라 증가한다고 보고한 바 있

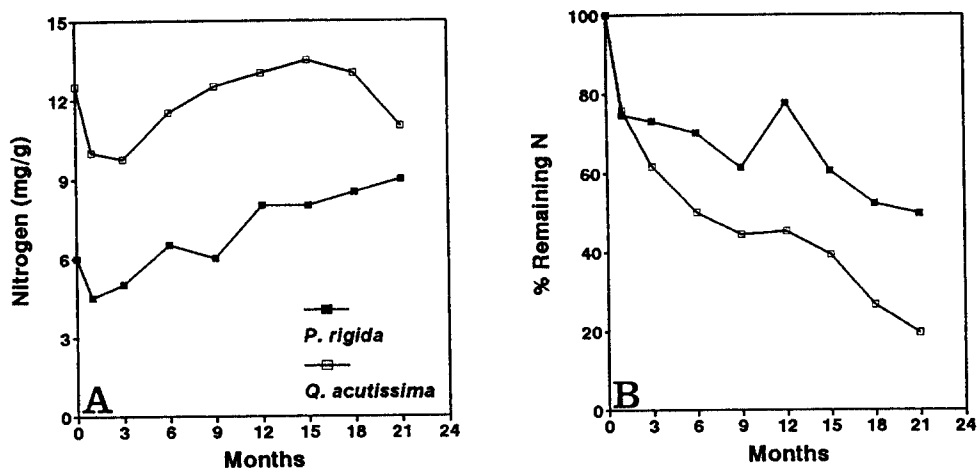


Fig. 1. Changes of nitrogen concentration (A) and percent of remaining nitrogen (B) in litter.

다. Yoo(1991)는 곰솔과 밤나무 낙엽이 분해되는 18개월 동안 질소 함량이 초기의 함량보다 더 높게 유지됨을 보고한 바 있고, Mun과 Kim(1992)은 소나무와 측백나무 낙엽의 분해과정을 조사한 실험에서 초기에는 질소함량이 감소하지만 그 이후 서서히 증가하는 것을 발표한 바 있다. 분해 중인 낙엽의 질소함량이 증가하는 주요 원인으로 미생물에 의한 질소고정과(Olsen 1932), 낙엽 분해미생물의 증식, 강수나 먼지 그리고 곤충의 배설물 등을 통한 질소의 첨가(Bocock 1964) 등을 들 수 있지만 본 연구에서는 낙엽 주머니에 침투하는 세균도 질소 함량의 증가에 큰 기여를 하는 것으로 판단된다.

질소의 잔존율은 상수리나무와 리기다소나무 낙엽 사이에 현저한 차이가 있었다(Fig. 1B). 상수리나무 낙엽은 1년이 경과한 후 처음 질소량의 45%가 남았고, 21개월이 지난 낙엽은 19.5%가 남아 있는데 비해 리기다소나무 낙엽은 1년이 경과한 낙엽에 78%, 21개월이 경과한 낙엽에도 50%의 질소가 남아 있는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 두 수종의 낙엽 분해율의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다 (Mun and Joo 1994).

분해 중인 낙엽의 단위 무게 당 인 함량의 변화는 상수리나무 낙엽과 리기다소나무 낙엽 사이에 차이가 있음을 알 수 있다. 상수리나무 낙엽은 6개월이 지날 때까지 그 값이 감소하여 6개월 된 낙엽의 인 함량은 초기량(132.4 ppm)에 비해 55%(59.5 ppm)나 감소하였다(Fig. 2A). 그러나 그 이후 급증하여 12개월 된 낙엽에서는 125%(165.2 ppm)로 증가하는 것을 볼 수 있다. 리기다소나무 낙엽은 3개월까지 거의 변화가 없다가 그 이후 감소하기 시작하여 9개월이 된 낙엽에서는 초기 함량(64.7 ppm)의 73%(47.3 ppm)로 낮아졌다가 다시 증가하는 것으로 나타났다.

Gosz 등(1973), Klemmedson 등(1985)과 Yavitt과 Fahey(1986)는 분해 중인 소나무 낙엽의 인 함량이 시간이 지남에 따라 감소한다고 보고한 바 있다. 그러나 Schlesinger(1985)와 Kelly와 Beauchamp(1987)은 chaparral 관목의 낙엽과 고지대의 참나무 낙엽, 그리고 증습성 혼합 활엽수 낙엽의 분해 과정에서는 인 함량이 증가한다고 보고하였다. Kim과 Chang(1989)은 리기다소나무 낙엽에서, Yoo(1991)는 곰솔과 밤나무 낙엽에서 단위 무게 당 인 함량이 증가하는 것으로 보고한 바 있으나, Mun과 Kim(1992)은 소나무와 측백나무의 1개월 된 낙엽에서 인 함량이 현저히 감소하는 것으로 보고하였다.

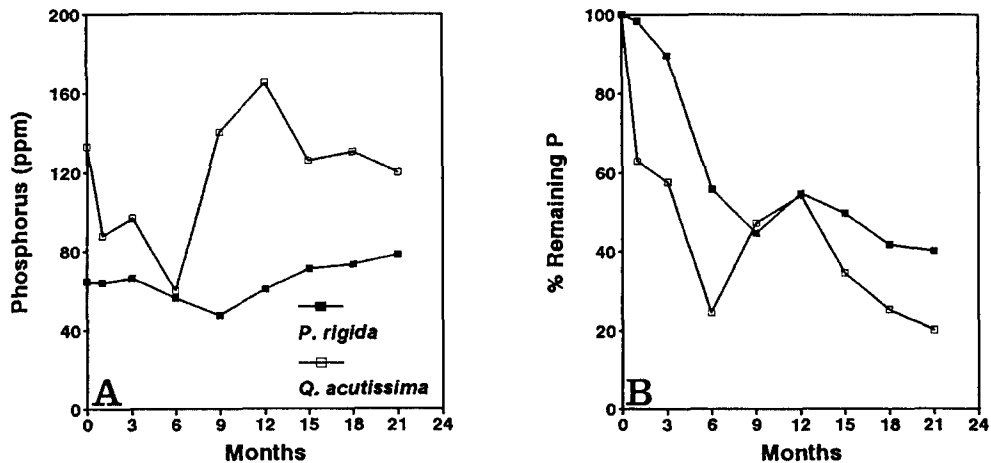


Fig. 2. Changes of phosphorus concentration (A) and percent of remaining phosphorus (B) in litter.

인의 잔존율도 두 종류의 낙엽 간에 차이가 있었다. 1개월이 지난 상수리나무 낙엽은 인의 잔존율이 63%로 현저히 감소하고 6개월 된 낙엽에서는 24%로 낮아짐을 알 수 있다(Fig. 2B). 이에 비해 리기다소나무 낙엽의 잔존율은 1개월 된 낙엽에서 98%, 6개월 된 낙엽에서 55%인 것으로 나타났다. 21개월 된 낙엽에서도 상수리나무 낙엽과 리기다소나무 낙엽의 인 잔존율은 각각 20%와 40%로 2배의 차이가 있음을 알 수 있다.

질소나 인과는 달리 분해 과정에 있는 낙엽의 칼륨 함량은 전 기간 동안 초기의 함량보다 낮았다(Fig. 3A). 특히 1개월 된 낙엽에서 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다. 1개월 된 상수리나무 낙엽의 칼륨 함량은 2.0 mg/g으로 초기값(3.6mg/g)의 56%로 감소되었다. 1개월 된 리기다소나무 낙엽의 칼륨 함량도 초기값(1.6mg/g)의 50%(0.8mg/g)로 낮아졌다.

대부분의 낙엽 분해에 관한 연구에서 분해과정에 있는 낙엽의 칼륨 함량은 초기에 신속히 세탈되는 것으로 보고되었다(Gosz *et al.* 1973, Klemmedson *et al.* 1985, Kelly and Beauchamp 1987). 그러나 Kim과 Chang(1989)은 리기다소나무 낙엽에서 처음 7개월 동안에는 칼륨 함량이 증가하는 것으로, Yoo(1991)는 밤나무와 곰솔의 1개월 된 낙엽에서는 칼륨이 감소하지만 그 이후 증가하는 것으로 보고하였다.

칼륨의 잔존율은 분해과정의 초기 단계부터 현저히 낮은 것을 볼 수 있다(Fig. 3B). 1년이 경과한 낙엽의 칼륨 잔존율은 상수리나무와 리기다소나무가 각각 19.3%와 36.0%로 질소와 인에 비해 낮은 것을 알 수 있다. 21개월이 경과한 낙엽의 칼륨 잔존율도 상수리나무 6.0%, 리기다소나무 15%로 다른 영양염류에 비해 낮다.

낙엽의 칼슘 함량의 변화는 상수리나무와 리기다소나무 낙엽에서 대조적인 패턴으로 나타났다(Fig. 4A). 상수리나무 낙엽은 전 기간을 통해 초기의 값보다 높은 값을 보였으나 변화의 폭이 큰 것으로 나타났다. 이에 비해 리기다소나무 낙엽은 전 기간을 통해 초기의 값보다 낮은 값을 유지하였다.

Kim과 Chang(1989)은 리기다소나무 낙엽에서 칼슘 함량이 초기의 85% 수준을 계속 유지하는 것으로 보고하였으며, Yoo(1991)의 결과에서는 분해과정에 따라 점점 감소하는 것으로 나타

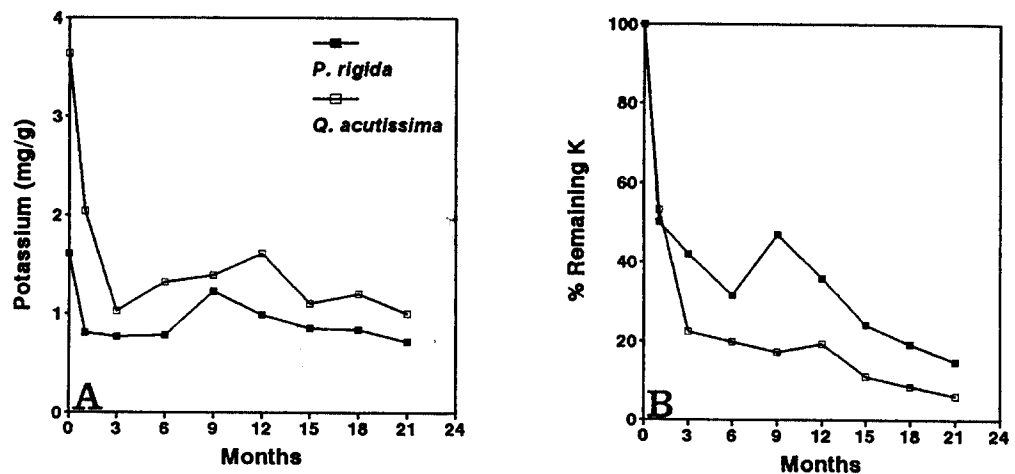


Fig. 3. Changes of potassium concentration (A) and percent of remaining potassium (B) in litter.

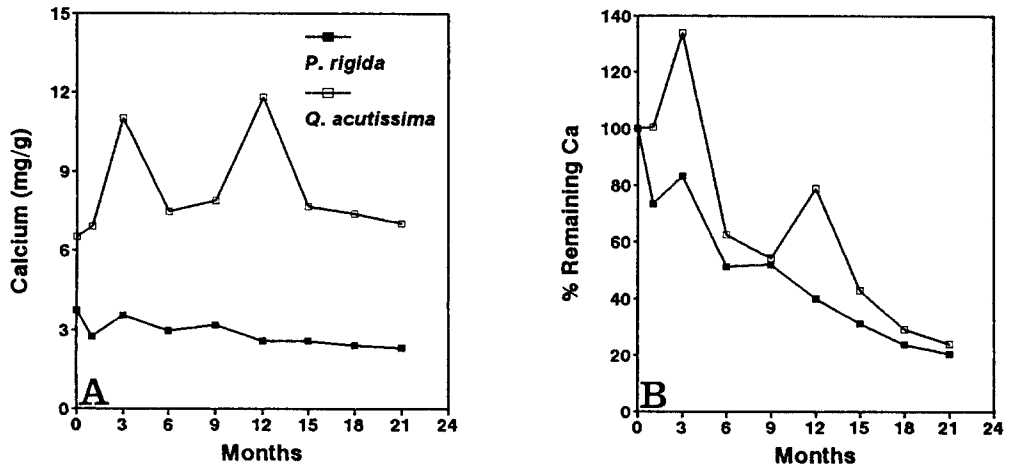


Fig. 4. Changes of calcium concentration (A) and percent of remaining calcium (B) in litter.

났다. 그러나 Klemmedson 등(1985)은 분해과정에 있는 소나무 낙엽의 칼슘 함량이 10개월 동안 현저히 증가하는 것으로 보고한 바 있다.

상수리나무 낙엽의 칼슘 잔존율은 3개월 된 낙엽에서 134%로 증가한 후 감소하여 21개월 된 낙엽에서는 잔존율이 24%이었다(Fig. 4B). 리기다소나무 낙엽의 칼슘 잔존율은 상수리나무 낙엽에 비해 낮은 것으로 나타났는데, 21개월 된 낙엽의 잔존율은 20%이었다.

마그네슘은 칼슘과는 반대로 상수리나무 낙엽에서는 분해가 진행됨에 따라 그 함량이 감소하였으며, 리기다소나무 낙엽에서는 3개월까지는 증가하나 그 이후 급격히 감소하였다(Fig. 5A). Yoo(1991)의 결과에서는 마그네슘 함량이 1개월 된 낙엽에서는 감소하나 그 이후 증가하다가 다시 감소하는 것으로 나타났다.

마그네슘의 잔존율도 칼슘과 차이가 있었다. 상수리나무 낙엽의 마그네슘 잔존율이 분해 초기부터 낮아지는 데 비해 리기다소나무 낙엽에서는 3개월까지는 초기값보다 높게 유지되다가 그 이후 급격히 감소하였다(Fig. 5B). 전반적으로 마그네슘의 잔존율은 리기다소나무 낙엽이 높은 것으로 나타났다.

Yoo(1991)가 곰솔과 밤나무 낙엽의 분해와 분해과정에 따른 영양염류의 동태를 조사한 결과를 보면 영양염류의 잔존율이 밤나무 낙엽보다는 곰솔 낙엽에서 높은 것으로 나타나 있다. 본 조사에서도 칼슘을 제외한 질소, 인, 칼륨, 마그네슘의 잔존율이 상수리나무 낙엽보다는 리기다소나무 낙엽에서 높은 것으로 나타났다. 이것은 후자에 비해 전자의 분해율이 높기 때문이다.

본 조사에서는 상수리나무 낙엽의 칼슘, 리기다소나무 낙엽의 마그네슘을 제외하고 영양염류의 부동화 기간은 없는 것으로 나타났다. 그러나 Yoo(1991)는 분해과정의 초기에 질소와 인의 부동화 기간이 있음을 보고한 바 있다. 낙엽의 분해를 통해 연간 토양에 유입되는 영양염류의 양은 상수리나무림과 리기다소나무림에서 각각 질소 3.3 g/m<sup>2</sup>, 0.9 g/m<sup>2</sup>, 인 0.03 g/m<sup>2</sup>, 0.01 g/m<sup>2</sup>, 칼륨 1.3 g/m<sup>2</sup>, 0.7 g/m<sup>2</sup>, 칼슘 0.7 g/m<sup>2</sup>, 1.2 g/m<sup>2</sup>, 마그네슘 0.9 g/m<sup>2</sup>, 0.4 g/m<sup>2</sup>이었다. 이러한 차이는 기본적으로 상수리나무와 리기다소나무 낙엽의 영양염류 함량의 차이, 그리고 낙엽 분해율의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

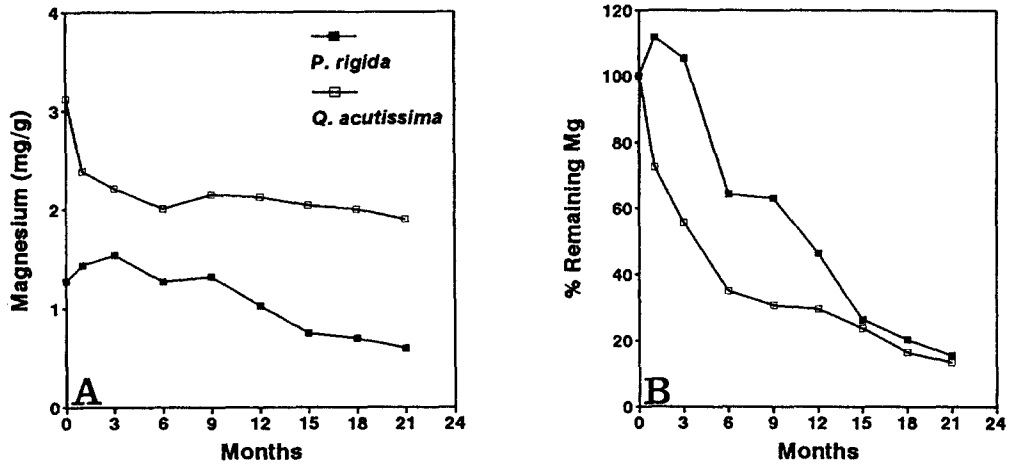


Fig. 5. Changes of magnesium concentration (A) and percent of remaining magnesium (B) in litter.

이상의 결과를 정리하면 리기다소나무림에 비해 상수리나무림에서 낙엽의 분해를 통해 토양에 회수되는 영양염류의 양은 질소 3.6배, 인 3배, 칼륨 2배, 그리고 마그네슘이 2배나 많음을 알 수 있다. 그러나 칼슘의 경우 상수리나무림에 비해 리기다소나무림에서의 회수량이 많았다.

**분해과정에 따른 유기물 구성원의 변화**

분해자가 낙엽에서 이용할 수 있는 에너지는 당, 여러 종류의 다당류, 리그닌 등에 포함되어 있다(Swift *et al.* 1979). 이 중 당, 그리고 녹말과 같은 저장성 다당류에 비해 셀룰로오즈, 헤미셀룰로오즈, 펙틴 등과 같은 다당류와 리그닌 등이 분해자의 주요 탄소원과 에너지원으로 작용한다.

무극성 화합물은 시간이 지남에 따라 서서히 감소하였으며, 리기다소나무 낙엽에 비해 상수리나무 낙엽에서 감소가 더 빨랐다(Fig. 6A). 1년이 지난 상수리나무 낙엽은 무극성 물질의 잔존률이 52%인데 비해 리기다소나무 낙엽은 68% 이었고, 21개월이 된 낙엽에서는 그 차이가 더 크게 나타났다. 이것은 리기다소나무 낙엽이 큐티클층이 잘 발달되어 있고 레진이 많이 함유되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 큐티클층은 수분 침투를 방해하고 진드기나 톡토기 등 낙엽을 직접 소비하는 미소동물의 작용을 억제하여 낙엽 분해를 지연시키는 효과가 있다. 관찰한 바에 의하면 상수리나무림과 리기다소나무림 토양이나 낙엽층에 서식하는 소동물의 종류나 수에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다(문 미발표 자료).

수용성 구성원의 잔존량의 변화는 상수리나무 낙엽과 리기다소나무 낙엽에서 비슷한 양상을 보였다(Fig. 6B). 수용성 물질은 분해과정의 초기에 급격히 감소하여 12개월 된 낙엽에서 상수리나무 24%, 리기다소나무 56%의 잔존률을 보였다. 21개월이 된 낙엽에서는 두 종류의 낙엽에서 각각 7%와 38%의 잔존률을 보였다. 낙엽의 수용성 구성원은 분해의 초기에 미생물의 주 에너지원이 되는 것으로 알려져 있다(Swift *et al.* 1979). 따라서 수용성 구성원의 소실이 빠른 낙엽일수록 미생물의 작용을 쉽게 받는 것으로 판단할 수 있다. 본 조사에서는 리기다소나무 낙엽에 비해 상수리나무 낙엽에서 수용성 구성물질의 소실이 빨라 분해율의 차이와 일치하였다

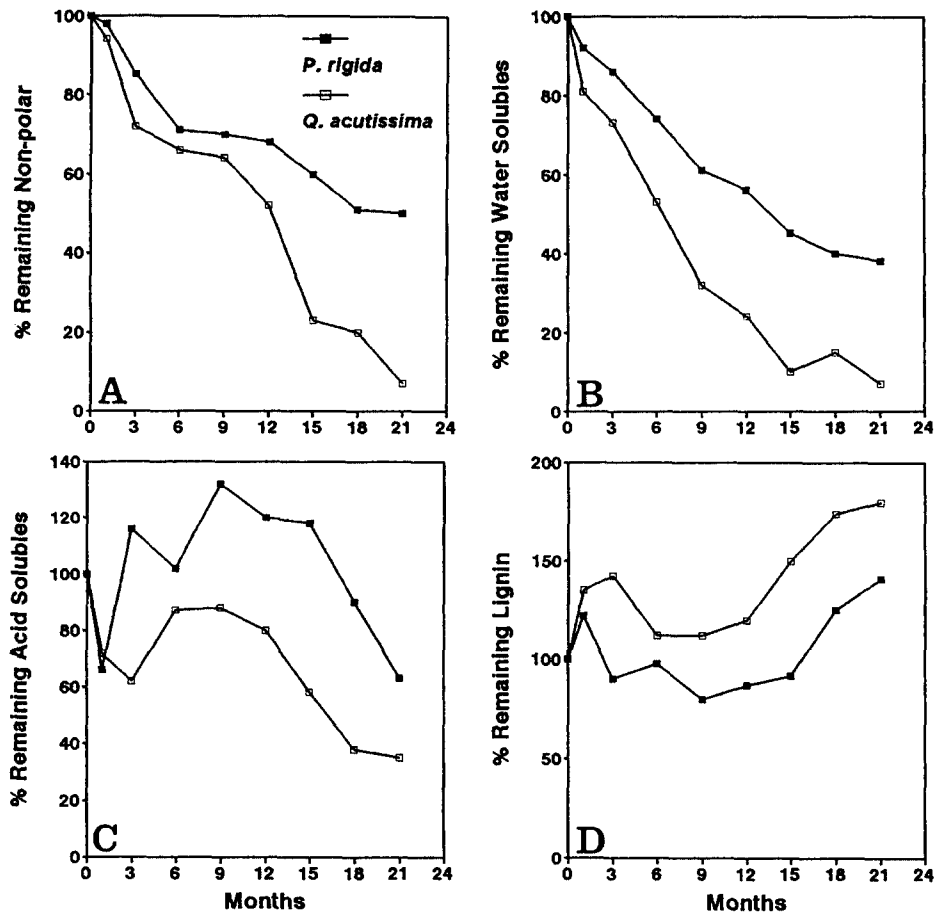


Fig. 6. Changes of remaining non-polar (A), water solubles (B), acid solubles (C) and lignin (D) in litter.

(Mun and Joo 1994).

상수리나무 낙엽에서 산 용해물질은 3 개월이 경과할 때까지는 감소하였으나 그 이후 초기값의 90% 정도까지 증가하다 다시 감소하였으며, 21 개월이 된 낙엽에서 산 용해물질의 잔존율은 35%이었다(Fig. 6C). 리기다소나무 낙엽은 처음 1개월이 지났을 때 초기값의 66%로 감소하였으나 그 이후 증가하여 15 개월이 경과할 때 까지 초기값보다 높게 유지되었다. 그러나 21 개월이 지난 낙엽에서는 잔존율이 63%로 낮아졌다. 산 용해물질 잔존율의 변화 패턴은 상수리나무 낙엽과 리기다소나무 낙엽에서 비슷하였지만, 리기다소나무 낙엽에 비해 상수리나무 낙엽에서 잔존율이 낮았다. Kim과 Chang(1989)의 결과에서는 분해과정에 있는 리기다소나무 낙엽의 hollocellulose의 잔존율이 시간이 지남에 따라 감소되는 것으로 나타났다.

리그닌은 분해가 가장 느린 물질로 부식질의 주성분으로 알려져 있다 (Swift *et al.* 1979). 낙엽이 분해되는 동안 수용성 물질과 산 용해물질이 분해됨에 따라 상대적으로 리그닌의 비율은 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 6D). 상수리나무 낙엽에서는 3 개월 된 낙엽에서 142%를 보인



후 110%로 낮아지지만 12 개월 된 낙엽부터는 다시 증가하여 21개월 된 낙엽에서는 초기값의 180%에 달하였다. 1 개월 된 리기다소나무 낙엽은 초기값의 120%로 증가하나 그 이후 잔존물이 감소하여 9 개월 된 낙엽에서는 81%를 보였다. 그러나 9개월 후부터 서서히 증가하여 21 개월 된 낙엽에서는 리그닌이 초기값의 145%로 나타났다. 리기다소나무 낙엽에 비해 상수리나무 낙엽에서 리그닌의 증가가 빠른데, 이것은 상수리나무 낙엽에서 비극성 물질과 산 용해물질의 용출이 빠르기 때문인 것으로 판단된다.

## 적 요

공주 근교에서 상수리나무와 리기다소나무 낙엽의 분해 과정에 따른 영양염류, 수용성 구성원, 산 용해물질, 리그닌의 동태를 조사하였다. 낙엽의 분해 과정에 따라 질소와 인의 함량은 증가하였으나 칼륨은 처음 3개월 동안 급격히 감소한 후 일정한 값을 유지하였다. 분해과정에 있는 리기다소나무 낙엽의 칼슘 함량은 초기 함량에 비해 낮았으며, 시간이 경과함에 따라 크게 변화하지 않았다. 이에 비해 상수리나무 낙엽의 칼슘함량은 초기값에 비해 높은 것으로 나타났다. 마그네슘 함량은 처음 6개월 동안에 신속히 감소한 다음 일정한 값을 유지하였다. 낙엽의 분해를 통해 연간 토양에 이입되는 영양염류의 양은 상수리나무림과 리기다소나무림에서 각각 질소 3.3 g/m<sup>2</sup>, 0.9 g/m<sup>2</sup>, 인 0.03 g/m<sup>2</sup>, 0.01 g/m<sup>2</sup>, 칼륨 1.3 g/m<sup>2</sup>, 0.7 g/m<sup>2</sup>, 칼슘 0.7 g/m<sup>2</sup>, 1.2 g/m<sup>2</sup>, 마그네슘 0.9 g/m<sup>2</sup>, 0.4 g/m<sup>2</sup>이었다. 무극성 화합물, 수용성 물질 및 산 용해물질은 시간이 지남에 따라 감소하였으나 리그닌 함량은 증가하였다.

## 인용문헌

- Allen, S.E., J.A. Parkinson, H.M. Grimshaw and C. Quaramby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Sci. Publication, Oxford.
- Anderson, J.M. 1973a. The breakdown and decomposition of sweet chestnut (*Castana sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils. I. Breakdown, leaching and decomposition. *Oecologia (Berl.)* 12:251-274.
- Anderson, J.M. 1973b. Ditto. II. Changes in the carbon, hydrogen, nitrogen and polyphenol content. *Oecologia (Berl.)* 12: 275-288.
- 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 Scots pine forest I. *Can. J. Bot.* 60:1310-1319.
- Berg, B. and G. Agren. 1984. Decomposition of needle litter and its organic chemical components: theory and field experiments. Long-term decomposition in a Scots pine forest III. *Can. J. Bot.* 62:2880-2888.
- Berg, B. and B. Wessen. 1984. Changes in organic-chemical components and ingrowth of fungal mycelium in decomposing birch leaf litter as compared to pine needles. *Pedobiologia* 26:285-298.
- Bocock, K.L. 1964. Changes in the amounts of dry matter, nitrogen, carbon and energy in decomposing woodland leaf litter in relation to the activities of the soil fauna. *J. Ecol.*

52:273-284.

- Douce, G.K. and D.P. Webb. 1978. Indirect effects of soil invertebrates on litter decomposition: elaboration via analysis of a tundra model. *Ecol. Model.* 4: 339-359.
- Duffy, P.D., J.D. Schreiber and L.L. McDowell. 1985. Leaching of nitrogen, phosphorus, and total organic carbon from loblolly pine litter by simulated rainfall. *Forest Sci.* 31: 750-759.
- Fogel, R. and K. Cromack, Jr. 1977. Effect of habitat and substrate quality on Douglas fir litter decomposition in western Oregon. *Can. J. Bot.* 55: 1631-1640.
- Gholz, H.L., C.S. Perry, W.P. Cropper, Jr. and L.C. Hendry. 1985. Litterfall, decomposition, and nitrogen and phosphorus dynamics in a chronosequence of slash pine (*Pinus elliottii*) plantations. *Forest Sci.* 31: 463-478.
- Gosz, J.R., G.E. Likens and F.H. Formann. 1973. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in Hubbard Brook forest, New Hampshire. *Ecol. Monogr.* 43: 173-191.
- Kelly, J.M. and J.J. Beauchamp. 1987. Mass loss and nutrient changes in decomposing upland oak and mesic mixed-hardwood leaf litter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1616-1622.
- Kim, J.G. and N.K. Chang. 1989. Litter production and decomposition in the *Pinus rigida* plantation in Mt. Kwan-ak. *Korean J. Ecol.* 12: 9-20.
- Klemmedson, J.O., C.E. Meir and R.E. Campbell. 1985. Needle decomposition and nutrient release in ponderosa pine ecosystems. *Forest Sci.* 31: 647-660.
- Mun, H.T. and H.T. Joo. 1994. Litter production and decomposition in *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. *Korean J. Ecol.* 17: 345-353.
- Mun, H.T. and J.H. Kim. 1992. Litterfall, decomposition, and nutrient dynamics of litter in red pine (*Pinus densiflora*) and Chinese thuja (*Thuja orientalis*) stands in the limestone area. *Korean J. Ecol.* 15: 147-155.
- Olsen, C. 1932. Studies of nitrogen fixation: nitrogen fixation in the dead leaves of forest beds. *Compt. Rend. Trav. Lab. Carlsberg* 19:pp. 36.
- Parker, L.W., P.F. Santos, J. Phillips and W.G. Whitford. 1984. Carbon and nitrogen dynamics during the decomposition of litter and roots of a Chihuahuan desert annual, *Lepidium lasiocarpum*. *Ecol. Monogr.* 54: 339-360.
- Schlesinger, W.H. 1985. Decomposition of chaparral shrub foliage. *Ecology* 66:1353-1359.
- Staaf, H. and B. Berg. 1982. Accumulation and release of plant nutrients in decomposing Scots pine needle litter. Long-term decomposition in a Scots pine forest II. *Can. J. Bot.* 60:1561-1568.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems (ed.). University of California Press, 372p.
- TAPPI. 1975. Water solubles in wood and pulp. T 207. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Georgia.
- TAPPI. 1976. Alcohol-benzene and dichloromethane solubles in wood and pulp. T 204. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Georgia.

- Vossbrinck, C.R., D.C. Coleman and T.A. Wooley. 1979. Abiotic and biotic factors in litter decomposition in semiarid grassland. *Ecology* 60: 265-271.
- Wilde, S.A., R.B. Corey, J.G. Iyer and G.K. Voigt. 1979. Soil and plant analysis for tree culture. Oxford and IBH Publishing, New Delhi. 224p.
- Yavitt, J.B. and T.J. Fahey. 1986. Litter decay and leaching from the forest floor in *Pinus contorta* (lodgepole pine) ecosystems. *J. Ecol.* 74: 525-545.
- Yoo, Z.S. 1991. Weight loss and nutrient dynamics during litter decomposition of *Pinus thunbergii* and *Castanea crenata*. Master's Thesis, Kongju National University.

(1994년 10월 7일 접수)