

상수리나무림과 리기다소나무림의 낙엽 생산과 분해

문 형 태 · 주 환 택

공주대학교 자연과학대학 생물학과

Litter Production and Decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* Forests

Mun, Hyeong-Tae and Hwan-Taek Joo

Department of Biology, Kongju National University

ABSTRACT

Litter production and decomposition were investigated for 2 years in the oak, *Quercus acutissima*, and the pitch pine, *Pinus rigida*, stands in the vicinity of Kongju, Chungnam Province. Litter production was measured with litter trap at monthly basis. Litterbag method was used for the measurement of litter decomposition. Litter production continued throughout the year, but showed a peak in autumn. Second peak in May or June was caused by falling of bud scales and reproductive organs. Average litter production in the oak and the pitch pine stands were $567.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ and $653.2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, respectively. Litter production in this study area were higher than those in other reports. Nutrient concentrations in litter were the highest in summer when the least litter production occurred, and the lowest in autumn when the greatest litter production occurred, except for calcium in the oak stand. Nutrient concentrations of the oak litter were higher than those in the pitch pine litter. After 1 year, % remaining mass of oak and pitch pine litter was 43.6% and 58%, respectively. After 21 months elapsed, % remaining mass of oak and pitch pine litter was 22.2% and 33.2%, respectively.

Key words: Decomposition, Litter production, Nutrients, *Pinus rigida*, *Quercus acutissima*

서 론

삼림생태계에서 낙엽의 분해는 식물 생장에 가장 중요한 영양염류 공급원이기 때문에 낙엽 생산과 분해는 삼림생태계의 유지를 위한 기본적인 과정이다(Berg and Agren 1984). 낙엽은 식물의 종에 따라 이화학적 성질이 다르고, 또한 낙엽의 분해과정에는 토양 소동물의 영향이 크기 때문에 토양소동물의 종류나 수도에 영향을 주는 토양의 이화학적 성질, 기후 조건에 따라 분해 이 연구는 '92년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임 (과제번호:921-0400-021-2)

율이 다를 수 있다(Anderson 1973, Berg and Agren 1984, Fogel and Cromack 1977, Klemmedson *et al.* 1985, Swift *et al.* 1979, Yavitt and Fahey 1986).

국내에서는 Kim과 Chang (1965), Park과 Lee (1980), Chang과 Chung(1986) 등이 낙엽분해에 따른 영양소 함량의 변화나, 이론적인 모델에 의해 낙엽의 분해를 조사한 경우를 제외하고는 낙엽분해에 따른 무게 감소, 화학적 구성원의 변화 등에 대한 단기적 또는 장기적인 자료가 많지 않다. Kim과 Chang(1989)은 리기다소나무 식재림에서 연간 낙엽 생산량과 분해량을, Yoo(1991)는 곰솔과 밤나무 낙엽의 분해율을, Kwak과 Kim(1992)은 신갈나무림에서 연간 낙엽 생산량을 조사한 바 있으며, Mun과 Kim(1992)은 석회암지역에 있는 소나무림과 측백나무림에서 2년 동안에 걸친 낙엽의 생산과 분해를 조사한 바 있다.

본 연구는 우리나라 삼림의 주종을 이루는 소나무군락과 참나무군락을 대상으로 연중 낙엽의 생산량을 파악하고, 낙엽을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양과 낙엽의 분해량을 조사하여 삼림생태계의 물질순환을 밝히기 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

조사지소의 개황

충남 공주시 근교에 있는 상수리나무림(*Quercus acutissima* forest)과 리기다소나무림(*Pinus rigida* forest)을 조사지소로 선정하였다. 본 조사지소는 일반인의 출입이 제한된 관계로 삼림의 보존 상태가 양호하다. 상수리나무림은 고도 150m, 경사 5~10°의 동사면에 발달되어 있고, 상수리나무와 굴참나무가 혼생하고 있었으며, 교목의 밀도는 2,800그루/ha, 수령은 30~40년, 흉고 직경은 평균 22.5cm이었다. 하층관목으로는 관목상 참나무류, 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 국수나무(*Stephanandra incisa*), 개웃나무(*Rhus trichocarpa*), 비목나무(*Lindera erythrocarpa*), 찔레(*Rosa multiflora*), 산벚나무(*Prunus sargentii*) 등이 분포하고 있었으며, 8월에 초본층의 피도

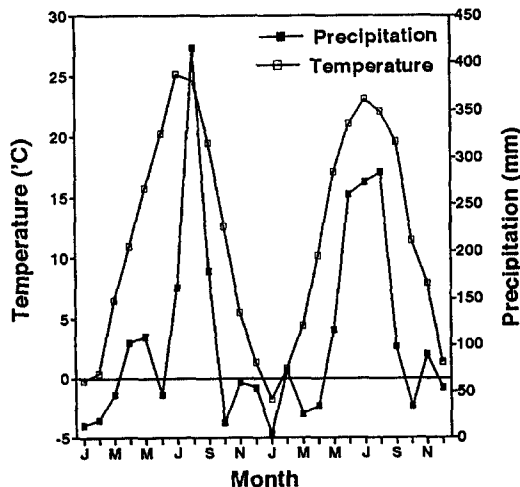


Fig. 1. Seasonal precipitation and temperature in 1992 and 1993 at Buyo Meteorological Station located at about 32km distance from the study area.

는 20% 정도로 빈약하였다. 리기다소나무림은 고도 200m, 경사 25~30°의 동사면에 발달되어 있고, 교목의 밀도는 8,400그루/ha, 수령은 25~30년, 흉고직경은 평균 7.1cm이었다. 상수리나무림과는 달리 하층 관목이나 초본층이 매우 빈약하였으며, 임상에는 10cm 정도의 낙엽층이 발달되어 있었다.

조사지소에서 32km 떨어져 있는 부여 측후소의 기상자료에 의하면 1992년과 1993년의 강우량은 각각 1,222mm와 1,347mm이었고, 연평균 기온은 각각 11.8°C와 11.4°C이었다. 강우량과 기온의 계절 변화는 Fig. 1과 같다.

조사 방법

1992년 3월에 조사지소의 각 군락에 사

넬천으로 제작한 직경 50cm의 원형 litter trap을 지상 30cm 정도의 높이에 5 개씩 설치하였다. 매월 litter trap에 이입되는 낙엽을 수거하여 잎, 꽃, 가지, 기타 등으로 구분한 다음 80°C에서 건조시켜 평량한 후 분석에 이용하였다. 낙엽을 통해 임상에 이입되는 영양염류의 양은 매 월 생산되는 낙엽량에 그때의 낙엽에 들어 있는 영양염류의 양을 곱하여 계산하였다.

낙엽의 분해는 litterbag 방법으로 조사하였다. 1991년 11월에 조사지소에서 가지에 붙어있는 누렇게 변한 잎을 채취하여 80°C에서 48시간 이상 건조시켰다. Litterbag은 mesh size 1mm 인 terylene net를 사용하여 12×12cm 크기로 각각 100개씩 만들었다. Litterbag에는 4~5g의 낙엽을 넣었으며, 낙엽의 정확한 무게를 적은 알루미늄판을 함께 넣었다.

1992년 4월에 litterbag을 각 식물군락의 임상에 흩어놓고 이동을 막기 위해 낙엽으로 덮어 두었다. 설치 후 1개월, 3개월, 그리고 그 후부터는 3개월 간격으로 5개씩을 수거하여 곁에 묻은 흙을 털어내고 평량한 다음 80°C에서 건조시켜 수분함량을 측정하였다. 수분함량의 측정이 끝난 litterbag은 낙엽에 묻은 흙과 모래를 약한 수도물로 씻어낸 다음 80°C 건조기에서 건조시킨 후 평량하여 건중량의 변화를 조사하였다.

1992년 3월부터 2년에 걸쳐 조사지소에서 상층토(0~20cm)와 하층토(20~40cm)로 구분하여 토양을 채취하였다. 일부의 토양을 이용하여 수분 함량을 측정하였고, 나머지는 음건시켜 2mm 체로 친 다음 유기물 분석에 사용하였다. 낙엽의 질소와 인은 Allen 등(1974)에 따라, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 습식분해 후 원자흡광분광계로 정량하였다 (Allen *et al.* 1974).

결과 및 고찰

토양의 수분함량 및 유기물 함량

토양의 수분함량은 상수리나무림이 리기다소나무림에 비하여 높았다 (Fig. 2A). 상층토의 수

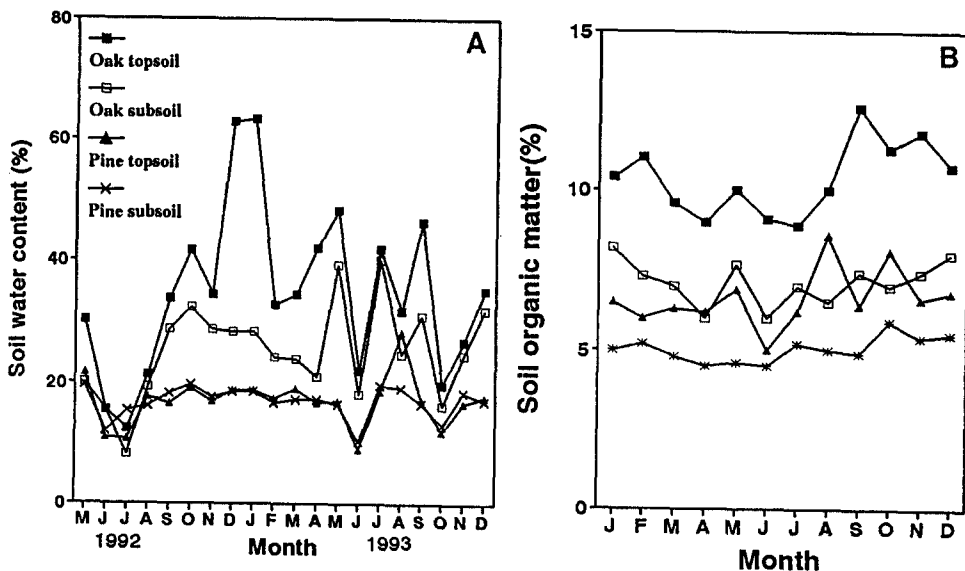


Fig. 2. Seasonal soil water(A) and organic matter(B) content of top soil and subsoil in the oak and the pitch pine stands in the study area.

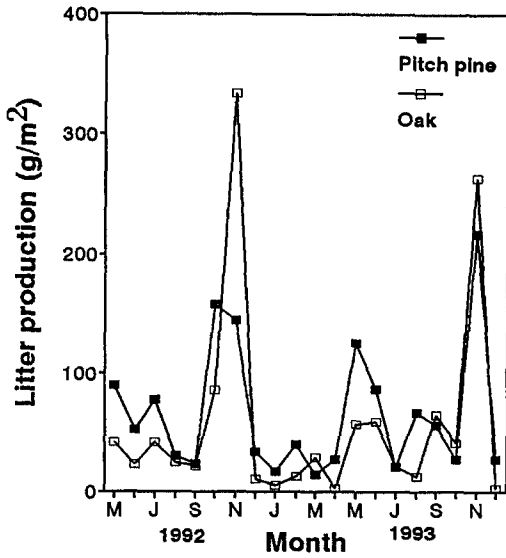


Fig. 3. Seasonal litter production in the oak and the pitch pine stands in the study area.

분 함량이 하층토에 비해 높은데, 이것은 토양 유기물함량과 관련이 있는 것으로 판단된다. 토양 수분함량의 계절 변화는 강우량의 계절 변화와 일치하였다. 토양 유기물함량도 상수리나무림에서 높았는데 (Fig. 2B), 이것은 참나무 낙엽의 분해가 빠르기 때문인 것으로 판단된다.

낙엽의 생산량

낙엽 생산은 연중 계속되었으며, 봄과 가을 두번의 peak를 보였다 (Fig. 3). 상수리나무림에서는 11월에 가장 높은 값을 보였고(46%), 봄에 나타나는 peak는 대부분 겨울눈의 비늘과 낙화에 의한 것이었다 (Fig. 4A). 상수리나무림에서는 잎에 의한 낙엽이 가을에 집중되며, 그 이외의 기간에는 가지에 의한 낙엽생산량이 상대적으로 많았다. 리기다소나무림에서도 11월에

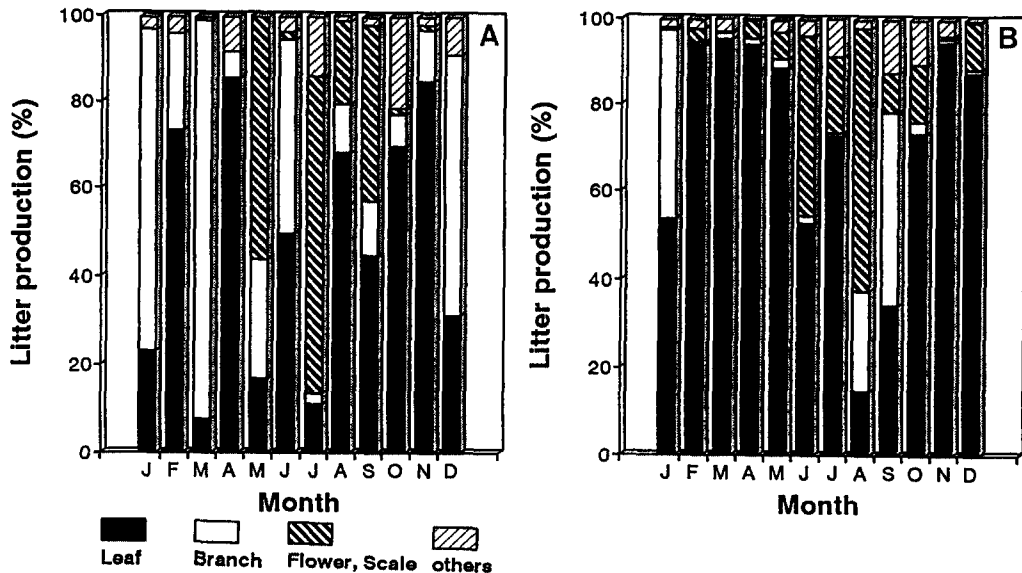


Fig. 4. Seasonal changes of litter components in the oak(A) and the pitch pine(B) stands in the study area.

가장 높은 값을 보였으며(33%), 5월과 6월의 peak는 대부분 수꽃에 의한 것이었다 (Fig. 4B). 1993년 상수리나무림과 리기다소나무림의 낙엽 생산량은 각각 567.1g/m²와 653.2g/m²이었다.

낙엽의 생산량은 군락의 종류, 임목의 밀도와 수령, 그리고 지역의 특성에 따라 변이가 심하다

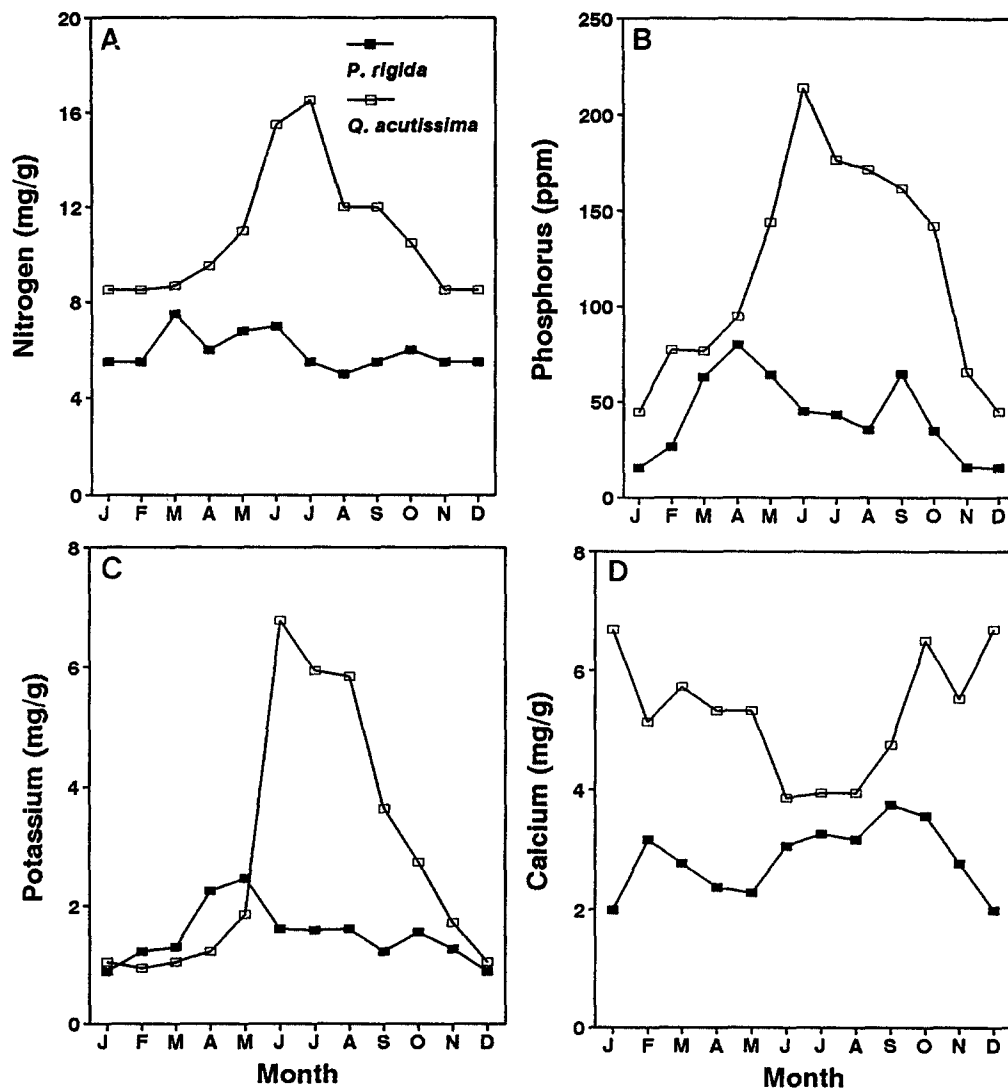


Fig. 5. Seasonal changes of nitrogen(A), phosphorus(B), potassium(C) and calcium(D) concentration in the litter of the oak and the pitch pine in the study area.

(Sharma and Ambasht 1987). 본 연구에서도 리기다소나무림의 낙엽생산량은 Kim과 Chang (1989), Mun과 Kim(1992), Gholz 등(1985)의 결과에 비해 훨씬 높은 값이다. 이것은 대부분 수령과 임목밀도의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다(Wiegert and Monk 1972). 상수리나무림의 낙엽생산량은 Kwak과 Kim(1992)이 신갈나무림에서 조사한 값보다 현저히 높은 값이다. 이것은 두 지역의 임목밀도와 임목의 흉고직경이 다르기 때문이다. 따라서 삼림생태계의 낙엽생산량은 1차적으로 임목의 수령과 성장 패턴에 따라 달라지지만 임목밀도가 중요한 요인임을 알 수 있다.

낙엽의 영양염류 함량

상수리나무 낙엽의 질소 함량은 봄부터 증가하기 시작하여 6월과 7월에 최대치를 보인 후(17 mgN/g), 낙엽 생산량이 최대인 가을에는 12 mgN/g으로 감소하였다. 리기다소나무 낙엽의 질소 함량은 상수리나무에 비해 계절변화가 뚜렷하지 않았다(Fig. 5A). 5월과 6월에 낙엽의 질소 함량이 높은 것은 낙엽의 구성분 중 생식기관의 비율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 상수리나무 낙엽의 인 함량은 5월과 6월에는 180~220ppm으로 높았지만 11월과 12월에는 약 25ppm으로 현저히 낮아졌다. 이에 비해 리기다소나무 낙엽의 인 함량은 4월과 5월에 75ppm이던 것이 11월과 12월에는 20ppm 정도로 낮아졌다. 인 함량도 질소와 유사한 계절변화를 보였다(Fig. 5B).

칼륨의 계절변화도 질소나 인과 비슷하였다(Fig. 5C). 리기다소나무 낙엽에 비해 상수리나무 낙엽의 칼륨 함량이 높았으나 다른 영양염류에 비해 그 차이가 적었다. 상수리나무 낙엽은 6월에 6.78mg/g으로 최대치를 보인 후 겨울에는 낮아졌으며, 리기다소나무 낙엽도 5월에 2.47 mg/g이던 것이 1월에는 0.88mg/g으로 낮아졌지만 상수리나무에 비해 계절변화가 적었다.

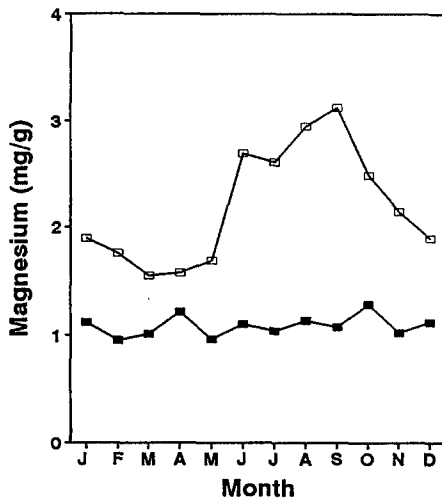


Fig. 6. Seasonal changes of magnesium concentration in the oak and the pitch pine in the study area.

칼슘은 다른 영양염류와는 달리 낙엽 생산량이 많은 11월에 최대치를 보였으며 (Fig. 5D), 상수리나무가 리기다소나무에 비해 현저히 높았다. 마그네슘도 10월과 11월에 그 값이 높은 것으로 나타났지만 리기다소나무는 계절적인 변화가 거의 없었다(Fig. 6). 상수리나무에 비해 리기다소나무의 마그네슘 함량이 낮았지만 그 차이는 다른 영양염류에 비해 적었다.

영양염류의 대부분이 낙엽 생산량이 적은 하절기에 그 함량이 높고 낙엽 생산량이 많은 가을에 낮은 것은 잎이 성숙함에 따라 영양염류의 양이 상대적으로 감소하는데 주 원인이 있으며, 낙엽이 되기 전에 상당량의 영양염류가 회수되기 때문이다 (Gholz *et al.* 1985, Davy and Taylor 1975). 그러나 상수리나무 낙엽에서 칼슘은 다른 영양염류와는 양상이 다른데, 이 점에 대해서는 더 많은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

낙엽을 통해 연간 임상에 회수되는 영양염류의 양은 상수리나무림과 리기다소나무림에서 각각 질소 6.1 g/m², 4.2 g/m², 인 0.064 g/m², 0.027 g/m², 칼륨 1.5 g/m², 1.1 g/m², 칼슘 3.2 g/m², 2.1 g/m², 마그네슘 1.3 g/m², 0.8 g/m²이었다.

낙엽의 분해

수거한 litterbag의 수분함량은 상수리나무가 리기다소나무에 비해 현저히 높았다(Fig. 7A). 수분 함량은 미생물의 활동에 영향을 주기 때문에 낙엽의 분해율과 직접적인 관계가 있다. 1년이 지난 상수리나무 낙엽의 잔존률은 43.6%이었고, 21개월이 지난 후에는 22.2%이었다(Fig.

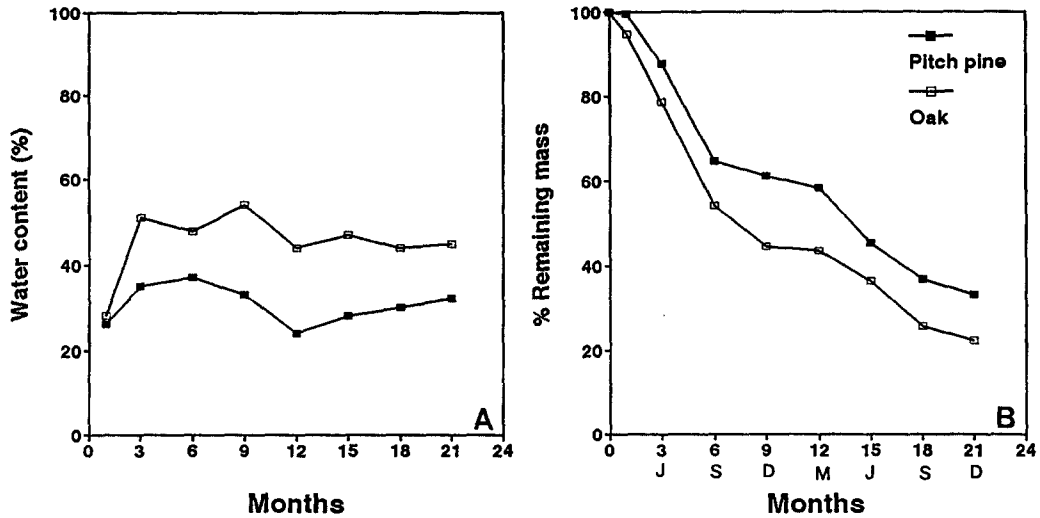


Fig. 7. Water content of litterbags(A) and percent remaining mass(B) in decomposing litter of the oak and the pitch pine in the study area.

7B). 이에 비해 리기다소나무 낙엽은 1년이 지났을 때 58%, 21개월이 지난 후에는 33.2%로 상수리나무 낙엽에 비해 분해율이 낮았다. 이것은 주로 낙엽의 질, 영양염류 함량의 차이, 그리고 토양의 이화학적 성질의 차이 때문인 것으로 판단된다.

계절별 낙엽의 분해율은 하절기에 그 값이 높음을 알 수 있다. 상수리나무 낙엽은 첫해 5월(1개월 된 낙엽)에 잔존율이 94.7%이던 것이 하절기를 거친 후 10월(6개월 된 낙엽)에는 54.3%로 40%가 소실되는 것을 알 수 있다. 그러나 겨울을 거친 다음 해 4월(12개월 된 낙엽)에는 잔존율이 43.4%로 11% 밖에 감소되지 않았다. 이듬해 4월에서 10월 사이에는 18%가 감소되어 강수량이 많고 온도가 높아 분해자의 활동이 활발한 하절기에 주로 낙엽 분해가 일어나는 것으로 판단된다. 리기다소나무 낙엽도 첫해 하절기에는 35%, 동절기에 6%, 다음해 하절기에 22%로 상수리나무 낙엽과 같은 경향을 보였다.

본 조사지역에서의 낙엽 분해의 결과는 Mun과 Kim(1992)의 결과에 비해 현저히 높았는데, 이것은 두 지역 토양의 이화학적 성질이 다르기 때문인 것으로 판단된다(Meentemeyer 1978, Vossbrinck *et al.* 1979). 공주지역에서 24개월 된 곰솔낙엽의 잔존율은 29%로 본 조사결과와 유사하였다(Yoo 1991).

적 요

상수리나무림과 리기다소나무림에서 낙엽 생산과 분해를 조사하였다. 낙엽 생산량은 litter trap을, 낙엽의 분해는 litterbag을 이용하여 정량적으로 조사하였다. 낙엽의 생산은 연중 계속되었지만 가을에 최대치를 보였으며, 5월과 6월에는 생식기관이나 눈을 싸고 있던 비늘에 의해 두번째의 peak가 나타났다. 연간 낙엽 생산량은 상수리나무림과 리기다소나무림에서 각각 567.1 g/m²과 653.2 g/m²이었다. 본 조사지역의 낙엽 생산량은 다른 지역의 결과에 비해 많았

다. 낙엽의 영양염류 함량은 상수리나무가 리기다소나무에 비해 높았고, 칼슘을 제외하고 낙엽 생산량이 최대인 가을에 그 값이 낮았다. 1년이 지난 후 낙엽의 잔존률은 상수리나무와 리기다소나무가 각각 43.6%, 58% 이었고, 21개월 후에는 그 값이 각각 22.2%와 33.2% 이었다.

인용문헌

- Allen, S.E., J.A. Parkinson, H.M. Grimshaw and C. Quaramby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Black. Sci. Publication. Oxford.
- Anderson, J.M. 1973. 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.
- 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.
- Chang, N.K. and M.A. Chung. 1986. A study on the production and decomposition of litters along altitude of Mt. Dokyoo. *Korean J. Ecol.* 9:185-192.
- Davy, A.J. and K. Taylor. 1975. Seasonal changes in the inorganic nutrient concentrations in *Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv. in relation to its tolerance of contrasting soils in the Chiltern Hills. *J. Ecol.* 63:27-39.
- 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.
- Kim, C.M. and N.K. Chang. 1965. The decomposition rate of litter affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in Korea. *Bull. Ecology Soc. Am.*, Sep. p. 14.
- 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.
- Kwak, Y.S. and J.H. Kim. 1992. Nutrient cyclings in mongolian oak (*Quercus mongolica*) forest. *Korean J. Ecol.* 15:35-46.
- Meentemeyer, V. 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59:465-472.
- 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.
- Park, B.K. and I.S. Lee. 1980. Effects of habitat and nutrient content of leaves on the litter decomposition of *Larix kaempferi* and *Quercus serrata* at Kwangnung. *Korean J. Botany* 23:45-48.

- Sharma, E. and R.S. Ambasht. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stands in the eastern Himalaya. *J. Ecol.* 75:997-1010.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems (ed.). University of California Press, 372p.
- 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.
- Wiegert, R.G. and C.D. Monk. 1972. Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.). *Ecology* 53:949-953.
- 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*. M.S. Thesis of Kongju National University.

(1994년 5월 24일 접수)