

# 공주와 진주지역에서 상수리나무 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류 함량 변화

원 호 연\* / 오 경 환 \*\* / 문 형 태\*\*\*<sup>+</sup>

## Decay Rate and Nutrient Dynamics during Litter Decomposition of *Quercus acutissima* in Gongju and Jinju

Ho-Yeon Won\* / Kyung-Hwan Oh\*\* / Hyeong-Tae Mun\*\*\*<sup>+</sup>

**요지** : 낙엽활엽수인 상수리나무 낙엽의 지역에 따른 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류의 함량 변화를 파악하기 위해 2008년 12월 공주의 상수리나무림과 진주지역의 낙엽-상록침엽수 혼효림 입상에 낙엽주머니를 설치하고 2011년 3월까지 33개월 동안 분해율, 분해상수 (*k*), 그리고 분해과정에 따른 C/N 비, C/P 비의 변화와 영양염류의 동태를 조사하여 비교하였다. 33개월경과 후 공주와 진주에서 상수리나무 낙엽 잔존물은 각각 41.2 ± 0.4 %와 28.3 ± 0.6 %, 분해상수 (*k*)는 각각 0.39와 0.61로 진주지역이 공주지역에 비해 분해가 빠른 것으로 나타났다. 이것은 진주지역이 공주에 비해 연중 기온과 강수량이 높기 때문인 것으로 판단된다. 상수리나무 낙엽의 분해과정에 따른 C/N, C/P 비율은 초기에 각각 46.8, 270.9 이었으나 33개월경과 후에는 공주지역에서 각각 22.0과 106.8, 진주지역에서는 각각 19.2와 170.2로 낮아졌다. 낙엽의 초기 N, P, K, Ca, Mg 함량은 각각 8.31, 0.44, 4.18, 9.38, 1.37 mg/g이었으며, 33개월경과 후 N, P, K, Ca, Mg의 잔존물은 공주지역에서 각각 91.0, 85.4, 30.2, 47.9, 11.7 %, 진주지역에서는 각각 67.0, 54.2, 19.9, 30.0, 40.8%로 Mg를 제외하고 진주지역의 잔존률이 낮았다. 조사기간 동안에 질소와 인은 부동화 후 무기화가, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 지속적인 무기화가 진행되었다.

**핵심용어** : 낙엽분해, 분해율, 영양염류 함량, C/N비, C/P비, 상수리나무

**Abstract** : Decay rate and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of deciduous *Quercus acutissima* were compared between Gongju and Jinju for 33 months from December 2008 through March 2011. Percent remaining weight of *Q. acutissima* leaf litter after 33 months elapsed in Gongju and in Jinju was 41.2±0.4 % and 28.3±0.6 %, and decay constant (*k*) was 0.39 and 0.61, respectively. Decomposition in Jinju was significantly faster than that in Gongju. This seemed to be related to higher temperature and precipitation in Jinju than those in Gongju during the experimental period. Initial C/N and C/P ratio of *Q. acutissima* leaf litter was 46.8 and 270.9, respectively. After 33 months elapsed, C/N and C/P ratios in Gongju decreased to 22.0 and 106.8, and those in Jinju decreased to 19.2 and 170.2, respectively. Initial concentration of N, P, K, Ca and Mg in *Q. acutissima* leaf litter was 8.31, 0.44, 4.18, 9.38, 1.37 mg/g, respectively. After 33 month elapsed, remaining N, P, K, Ca and Mg were 91.0, 85.4, 30.2, 47.9, 11.7% in Gongju, and 67.0, 54.2, 19.9, 30.0, 40.8% in Jinju, respectively. Except for Mg, remaining nutrients of decomposing leaf litter in Jinju were lower than those in Gongju. In case of N and P, initial immobilization was observed, however, only mineralization was observed in K, Ca and Mg during the whole experimental period.

**keywords** : LITTER DECOMPOSITION, DECAY RATE, NUTRIENT CONCENTRATION, C/N RATIO, C/P RATIO, QUERCUS ACUTISSIMA

+ Corresponding author : htmun@kongju.ac.kr  
\* 정회원 · 공주대학교 생물학과 박사과정 · E-mail : devilkin84@kongju.ac.kr  
\*\* 정회원 · 경상대학교 생물교육과 교수 · E-mail : ohkh@gnu.ac.kr  
\*\*\* 정회원 · 공주대학교 생명과학과 교수 · E-mail : htmun@kongju.ac.kr

## 1. 서 론

산림생태계의 중요한 두 가지 기능은 에너지 흐름과 물질순환인데, 에너지와 물질을 동시에 포함하고 있는 낙엽의 생산과 분해는 생태계의 구조와 기능을 유지하기 위한 기본적인 과정이다 (Bray and Gorham 1964, Wiegert and Monk 1972, Berg and Agren 1984, Berg *et al.* 1987). 산림생태계에서 낙엽의 형태로 임상에 이입된 유기물질의 영양염류는 분해과정을 통하여 토양에 이입되어 식물에 의해 재흡수가 일어난다. 대부분의 산림생태계에서 영양염류의 유입은 주로 낙엽생산과 분해에 의존하고 있다 (Bray and Gorham 1964). 낙엽은 떨어지는 시기에 따라 영양염류의 함량이 다르며, 떨어진 낙엽은 토양 미생물에 의해 분해되고 그 과정에서 탄소는 CO<sub>2</sub> gas로 방출된다. 이 과정에서 영양염류는 식물이 흡수할 수 있는 가용성 상태로 전환되기 때문에 낙엽 분해는 산림의 1차생산을 조절하는 중요한 요인이 된다 (Cole and Rapp 1981, Meentemeyer *et al.* 1982, Blanco *et al.* 2008).

낙엽 분해에 영향을 주는 화학성분 중 중요한 것은 낙엽의 목질소(lignin), 질소 그리고 인이다. 특히, 낙엽의 초기 lignin/N 비, C/N 비가 낙엽 분해율과 가장 높은 상관관계를 갖는데, 이들의 비가 낮을 경우 질소 이용도가 높아 낙엽분해가 빠르다(Berg and Agren 1984, Berg and Theander 1984, Kelly and Beauchamp 1987). 하지만 토양의 질소함량이 높을 경우 미생물이 낙엽의 질소를 이용하지 않기 때문에 이 경우 리그닌 함량이 낙엽 분해율에 더 큰 영향을 미치게 된다. 특히, 낙엽의 분해는 수중 (Daubenmire 1953) 및 낙엽의 질에 따라 분해율에 큰 차이가 있는데 (Kucera 1959, Berg *et al.* 1982, Melillo *et al.* 1982), 이중 C/N 비율이 가장 큰 영향을 준다 (Fogel and Cromack 1977). Carlisle 등 (1966)은 토양 흡수량이 높은 지역의 낙엽 분해율이 더 높다고 보고한 바 있다. 낙엽의 분해는 대부분 토양 미생물에 의해 진행되기 때문

에 온도의 영향이 크다(Swift *et al.* 1979). 일반적으로 위도가 높은 지역은 낮은 지역에 비해 낙엽분해가 느려 임상에 축적되는 낙엽의 양이 많다 (Larcher 1995, Barbour *et al.* 1999).

본 연구에서는 낙엽활엽수인 상수리나무 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류 동태의 지역에 따른 차이를 알아보기 위해 위도상으로 차이가 있는 공주와 진주지역에 낙엽주머니를 설치하고 33개월 동안 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류의 동태를 조사하여 비교하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지 개황

본 연구는 충청남도 공주시 금학동에 위치한 수원지의 상수리나무림과 경상남도 진주시 가좌동에 위치한 낙엽-상록침엽수 혼효림에서 실시되었다. 공주의 상수리나무림은 해발 약 221m (N 36° 25' 21", E 127° 07' 06")에 위치하며, 교목층은 상수리나무(*Quercus acutissima*)가 우점하는 가운데 굴참나무 (*Quercus variabilis*)가 낮은 밀도로 출현하였고, 관목층의 경우에는 생강나무 (*Lindera obtusiloba*), 진달래 (*Rhododendron mucronulatum*), 국수나무 (*Stephanandra incisa*)가 낮은 피도로 분포하였으며, 초본층은 밀도와 피도가 매우 빈약하였다. 진주의 낙엽 및 상록활엽수 혼효림은 해발 약 71m (N 35° 09' 19", E 128° 05' 51")에 위치하며, 교목층은 상수리나무 (*Quercus acutissima*)와 소나무 (*Pinus densiflora*)가 우점하였고, 아교목층의 경우 매죽나무 (*Styrax japonica*)가 우점하는 가운데, 소나무와 상수리나무가 출현하였고, 관목층의 경우 상수리나무와 국수나무가 낮은 피도로 분포하였다. 초본층은 고사리 (*Pteridium aquilinum*)가 우점하고, 관중(*Dryopteris crassirhizoma*)과 주름조개풀 (*Oplismenus undulatifolius*)이 낮은 밀도로 분포하고 있었다.

공주지역에서 약 30km 떨어진 대전 측후소의 자료에 따르면 공주지역의 조사기간 (2009~2011

년) 동안 공주의 연평균기온은 12.4℃, 연강수량은 1,237.6mm, 진주측후소의 기상자료에 따르면 진주지역의 조사기간동안 연평균기온은 13.1℃, 연강수량은 1,733.0mm로 진주지역 연평균기온과 연강수량이 모두 높았다. 공주지역의 30년간

(1982~2011년) 평균기온은 13.0℃, 연강수량은 1,458.6mm 이었고, 진주지역의 30년간 연평균기온은 13.1℃, 연강수량은 1,512.6mm로 진주지역 연평균기온과 연강수량이 모두 높게 나타났다 (Fig. 1).

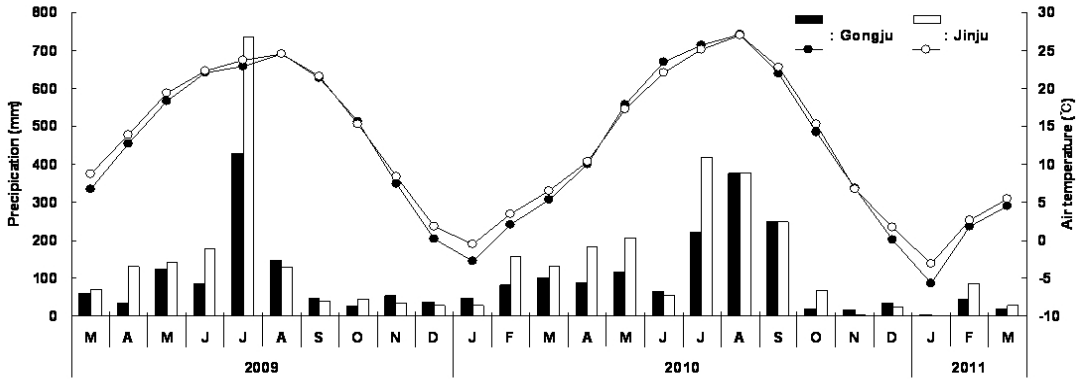


Fig. 1. Seasonal precipitation and temperature from March 2009 through March 2011 at Daejeon meteorological station about 30 km distance from the Gongju, and Jinju meteorological station.

## 2.2. 낙엽주머니 제작 및 설치

낙엽주머니의 제작에 사용된 낙엽은 2008년 10월에 공주의 상수리나무림에서 갓 떨어진 신선한 상수리나무 낙엽을 수거하여 60℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조 시킨 후 사용하였다. 낙엽주머니는 mesh size가 2mm 인 나이론 그물을 사용하여 20 x 25 cm의 크기로 만들어 약 5g 정도의 낙엽을 넣은 뒤 각각의 주머니에 고유번호와 정확한 낙엽 무게가 기록되어 있는 aluminum tag를 함께 넣은 후 유출되지 않도록 잘 봉합하였다. 제작된 낙엽주머니는 2008년 12월에 각 조사 지소의 임상에 상수리나무 낙엽주머니 80개를 서로 겹치지 않고 낙엽주머니가 훼손되거나 유실되지 않도록 지면에 못과 끈을 이용하여 고정시켜 놓았다.

## 2.3. 낙엽주머니 수거 및 처리

낙엽주머니의 수거는 설치한 뒤 3개월 이후인

2009년 3월부터 3개월 간격으로 매번 각 지소에서 5개씩 수거하였다. 수거해 온 낙엽주머니는 겉에 묻은 흙과 주머니 안쪽으로 침투한 뿌리 등을 제거한 후, 남아있는 낙엽을 60℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하였다. 칭량이 끝난 샘플은 mixer를 이용하여 곱게 갈아 유기탄소 및 영양염류 분석에 사용하였다. 분해 중인 낙엽의 무게 잔존률은 수거시에 남아있는 잔존량을 초기 무게에 대한 백분율 (%)로 표시 하였으며, 분해상수 ( $k$ )는 Olson (1963)의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$X_t = X_0 e^{-kt}$$

여기서,  $X_0$  = 낙엽의 처음 무게,

$X_t$  = 시간  $t$ 가 경과된 후의 잔존 무게,

$t$  = 시간 (년으로 계산)

공주지역과 진주지역 낙엽 분해율의 차이는  $t$ -test를 통해 통계적 유의성을 검증하였다.

## 2.4. 낙엽의 영양염류 분석

낙엽의 유기탄소, 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘을 분석하였으며, 화학적 분석은 샘플마다 3반복으로 실시하였다. 유기탄소는 Elemental Analyzer (EA1112, Thermo Fisher Scientific Inc.)를 사용하여 분석하였으며, C의 값을 N 그리고 P의 값으로 나누어 각각 C/N비, C/P비를 계산하였다.

전질소와 인은 샘플이 들어 있는 Kjeldahl flask에 분해촉진제와 진한 황산을 넣어 390°C block digester에서 120분간 분해시킨 후 상온에서 식힌 다음 증류수를 이용하여 50 ml로 정용한 후 상등액을 자동분석기 (Lachat: Quick Chem 8000)로 분석하였다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 샘플을 습식분해한 후 원자흡수분광광도계 (Perkin-Elmer 3110)로 정량하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 분해율과 분해상수

공주와 진주지역에서 상수리나무 낙엽의 분해에 따른 무게 잔존률을 Fig. 2에 정리하였다. 공주와 진주지역에서 6개월경과 후 낙엽의 무게 잔존률은 각각 92.1%와 94.8%로 큰 차이를 보이지 않았으나 9개월경과 후에는 공주지역이 73.3%, 진주지역이 67.5%로 진주지역의 분해가 더 빨리 진행되었다. 이는 진주지역의 기온과 강수량이 공주지역보다 높기 때문으로 판단된다(Fig. 1) 여름의 기온은 두 지역간 차이가 거의 없지만 초봄과 가을 그리고 겨울 동안에 진주지역의 기온이 공주에 비해 높아 이 기간에도 진주지역에서는 분해가 진행될 것으로 예상된다. 분해가 하절기에 집중되는 것은 기온이 상승하고 강수량이 더 많아 분해자의 활성이 왕성하며, 습한 하절기에 더 많은 수용성 물질이 낙엽으로부터 용출되는데 기인한다 (Jensen 1974, Millar 1974, Swift et al. 1979, Chang and Yoo 1986, Mun 2009). 33개월경과

후 공주지역과 진주지역 상수리나무 낙엽의 무게 잔존률은 각각  $41.2 \pm 0.4\%$ ,  $28.3 \pm 0.6\%$ 로 진주지역 낙엽의 분해가 공주지역보다 빠르게 진행되는 것으로 나타났다 (Fig. 2).

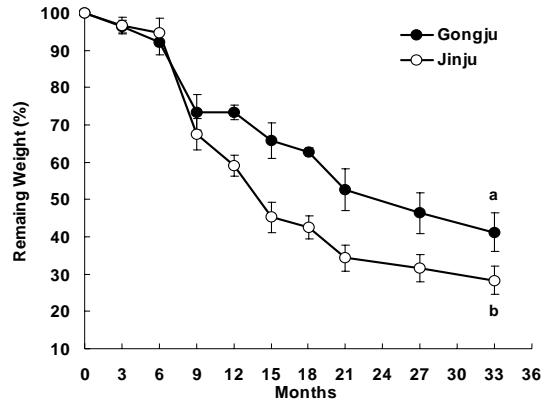


Fig. 2. Remaining weight (%) in decomposing leaf litter of *Quercus acutissima* in Gongju and in Jinju. Bars indicate SD. Means with different letters are significantly different (t-test,  $p < 0.05$ ).

두 지역에서 낙엽분해가 시작된 후 6개월이 지난 후부터 분해율이 낮아지고 있는데, 이는 분해 초기단계에서 수용성 물질이 빠르게 용탈된 후 리그닌과 같은 난분해성 물질이 낙엽분해의 제한요인으로 작용하고 있기 때문으로 판단된다 (Fogle and Cromack 1977, Swift et al. 1979, Berg et al. 1982). 낙엽의 분해율은 탄소, 리그닌, 질소, 인 등의 초기 낙엽의 질에 의하여 영향을 받지만 고도, 기온, 강수량, 방위 등의 외부 요인에 의한 영향도 받는다 (Namsung et al. 2008).

공주지역의 상수리나무 낙엽의 분해상수 ( $k$ )는 12, 24, 33개월째에 각각 0.31, 0.38, 0.39 이었으며, 진주지역의 경우 12, 24, 33개월째에 각각 0.52, 0.58, 0.61로 박과 이 (1981)가 지리산에서 조사한 상수리나무 낙엽의 분해상수 ( $k$ ) 0.32 보다는 본 연구에서 진주지역 상수리나무 낙엽의 분해상수 ( $k$ )가 훨씬 높았다.

### 3.2. 분해과정에 따른 C/N, C/P비의 변화

분해과정에 따른 낙엽의 C와 N 그리고 P의 함량은 분해자의 성장과 증식에 필요한 에너지원과

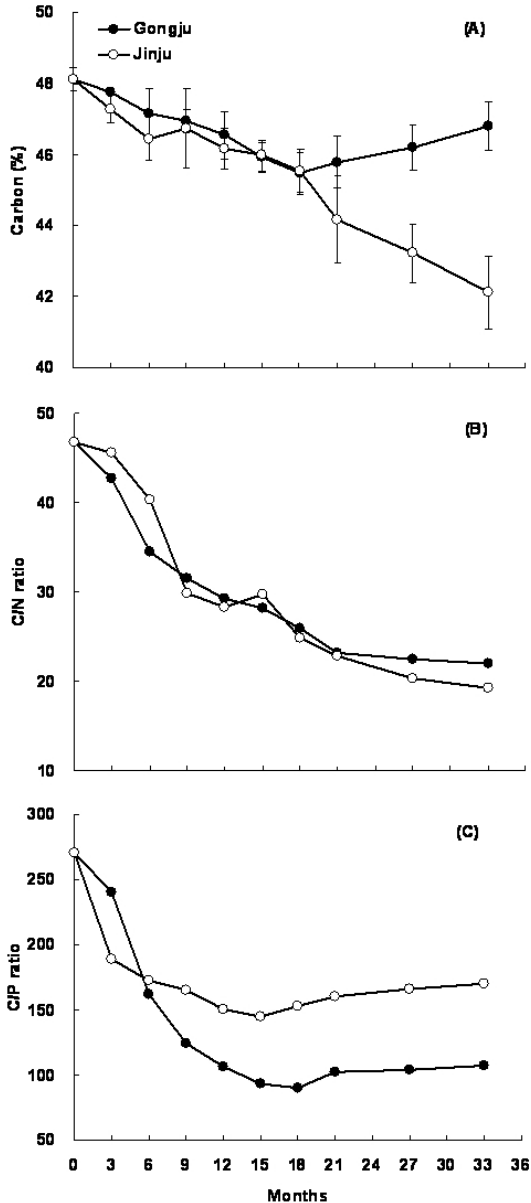


Fig. 3. Changes of carbon % (A), C/N ratio (B) and C/P ratio (C) in decomposing leaf litter of the *Q. acutissima* in Gongju and in Jinju. Bars indicate SD.

질소원으로 이용되기 때문에 낙엽분해에 매우 중요하다. 충분한 질소가 없으면 분해에 참여하는 미생물 개체군이 적어 분해속도가 느려진다 (Seereeram and Lavender 2003). 상수리나무 낙엽의 초기 탄소함량은 48.1%이었으며 공주와 진주 두 지역에서 모두 21개월째 까지 감소하였다. 그러나 공주지역에서는 21개월경과 후 점차 증가하여 33개월경과 후의 탄소함량은 46.8%로 나타났으나 진주지역에서는 지속적으로 감소하여 33개월경과 후 42.1%로 나타났다(Fig. 3A). 상수리나무낙엽의 초기 질소와 인의 함량은 각각 8.31과 0.44 mg/g으로 나타났다. 따라서 상수리나무낙엽의 초기 C/N비는 46.8이었으며 공주와 진주 두 지역에서 분해가 진행됨에 따라 이 값은 점차 감소하여 33개월경과 후에는 각각 22.0과 19.2로 나타났다 (Fig. 3B). 이것은 분해가 진행됨에 따라 낙엽의 탄소 함량은 감소하고 질소 함량은 증가하기 때문이다. 분해과정에 따른 C/P비는 C/N비와 매우 유사한 경향을 나타내었다. 상수리나무낙엽의 초기 C/P비는 270.9이었으며, 일반적으로 낙엽의 C/P비는 200 ~ 480의 범위를 갖는 것으로 보고되어 있다 (Gozs et al. 1973). 33개월경과 후 공주와 진주지역 낙엽의 C/P비는 각각 106.8, 170.2로 감소하였으며, 공주지역이 진주지역에 비해 감소폭이 큰 것으로 나타났다 (Fig. 3C).

### 3.3. 분해과정에 따른 영양염류 함량 및 잔존물의 변화

공주와 진주지역 상수리나무 낙엽의 분해과정에 따른 영양염류의 함량 및 잔존물의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 낙엽의 초기 질소 함량은 8.31 mg/g이었으며 공주지역과 진주지역에서 모두 분해가 진행됨에 따라 그 값이 증가하는 것으로 나타났다. 33개월이 경과한 후 공주와 진주지역에서 분해 중인 낙엽의 질소 함량은 각각 18.33 mg/g과 19.65 mg/g으로 초기 값의 두 배 이상 증가하였다 (Fig. 4A). 낙엽의 분해과정에서

질소의 증가는 일반적인 현상인데 (Berg and staaf 1981, Mellilo *et al.* 1982, Kim *et al.* 2003, Xu *et al.* 2004), 주 원인은 분해 미생물의 증가와 이들에 의한 질소고정 (Olsen 1932), 강우, 먼지, 곤충의 배설물 등이 첨가되기 때문인 것으로 판단된다 (Bocock 1964). Namsung 등 (2008)이 연구한 굴참나무 낙엽의 분해에서도 본 조사의 결과와 유사하였다.

분해과정에 따른 질소의 잔존률은 공주지역의 경우 분해 27개월경과 후까지 부동화현상을 보이다가 33개월째에 무기화가 일어나 33개월경과 후 질소 잔존률은 91.0%이었다. 이에 비해 진주지역의 경우에는 12개월경과 후까지 부동화가 일어난 후, 15개월째부터는 무기화가 일어났으며, 33개월경과 후의 질소 잔존률을 67.0%이었다 (Fig. 4B).

상수리나무 낙엽의 초기 인 함량은 0.44 mg/g 이었으며 공주와 진주지역에서 분해가 진행됨에 따라 모두 점차 증가하는 경향을 보여 33개월경과 후의 인 함량은 각각 0.92, 0.85 mg/g이었다. 분해과정에 따른 인 함량의 증가도 일반적으로 보고되는 현상이며 (Gosz *et al.* 1973; Brinson 1977), 질소와 마찬가지로 분해 미생물의 증가에 의한 것으로 판단된다. 낙엽의 분해과정에 따른 인의 동태는 낙엽의 종류에 따라 매우 다양하다고 보고된 바 있다 (Gosz *et al.* 1973; Baker *et al.* 2001). 공주지역의 경우 분해 18개월째까지는 급격히 증가한 후 점차 감소하는 경향을 나타내어, 33개월경과 후에는 진주지역과 큰 차이를 보이지 않았다 (Fig. 4C). 분해과정에 따른 인의 잔존률은 공주지역의 경우 지속적인 부동화 기간을 보이다가 33개월경과 후 무기화가 일어나 인 잔존률은 85.4%이었으며, 진주지역에서는 15개월째부터 무기화가 진행되었고, 33개월경과 후의 인의 잔존률은 54.2%로 공주 지역의 값에 비해 현저히 낮았다 (Fig. 4D).

상수리나무 낙엽의 초기 칼륨 함량은 4.18 mg/g이었으며 질소, 인과는 다르게 두 지역에서 모두 분해 초기에 감소하는 것으로 나타났다. 공

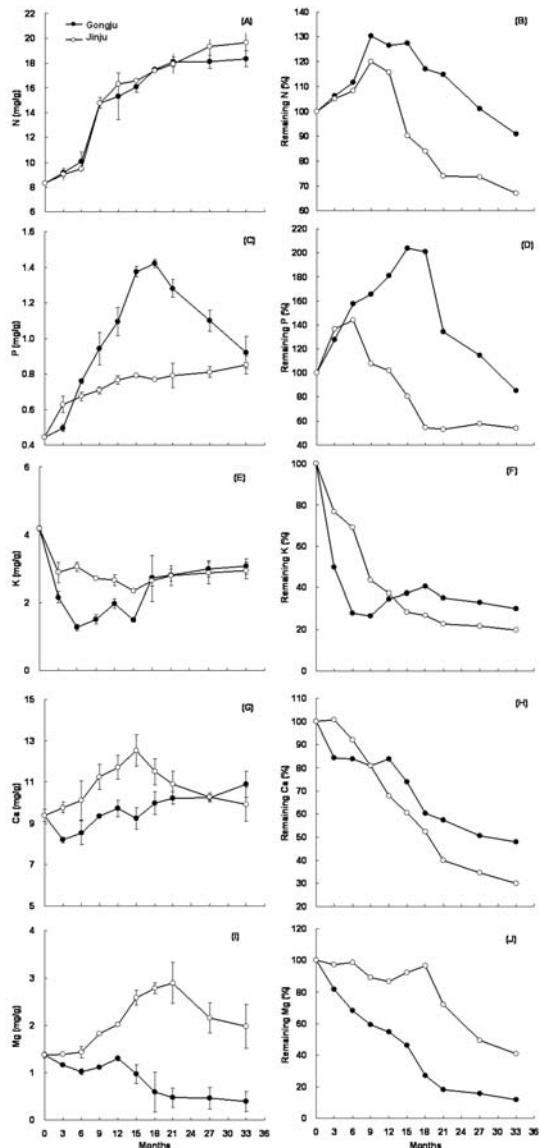


Fig. 4. Changes of N, P, K, Ca, Mg concentration (A, C, E, G, I) and % remaining N, P, K, Ca, Mg (B, D, F, H, J) in decomposing leaf litter of *Q. acutissima* in Gongju and in Jinju. Bars indicate SD.

주의 경우 15개월경과 후의 칼륨 함량은 1.49 mg/g으로 나타났으나, 이후 점차 증가하여 33개월경과 후에는 그 값이 3.06으로 증가하였고, 진주지역의 경우에는 분해 3개월째에 2.88 mg/g으

로 감소한 후 33개월경과 후의 칼륨 함량은 2.94 mg/g으로 큰 변화를 보이지 않았다 (Fig. 4E). 이처럼 분해 중인 낙엽의 칼륨 함량이 초기에 신속히 감소하는 것은 칼륨이 낙엽의 유기물질 구성요소가 아니기 때문에 세탈에 의한 영향을 비교적 쉽게 받기 때문으로 판단된다 (Gosz *et al.* 1973; Lousier and Parkinson 1978; Xu *et al.* 2004). 상수리나무 낙엽의 분해과정에 따른 칼륨의 잔존률은 두 지역에서 모두 초기단계에서 급격히 감소하여 33개월경과 후에는 공주와 진주지역에서 각각 30.2, 19.9%로 나타났다. 칼륨은 분해 초기단계에서부터 신속하게 무기화가 진행되었다 (Fig. 4F).

상수리나무 낙엽의 초기 칼슘 함량은 9.38 mg/g이었으며, 공주와 진주지역에서 모두 분해과정에 따른 변동은 있었지만 초기값과는 큰 차이를 보이지 않았다 (Fig. 4G). 칼슘은 식물 세포벽의 구성 성분인 관계로 세탈로부터 보호를 받기 때문에 다른 성분에 비하여 용출이 적다고 보고된 바 있다 (Gosz *et al.* 1973; Edmonds and Thomas 1995; Kim *et al.* 2003). 33개월경과 후 공주와 진주지역 상수리나무 낙엽의 칼슘함량은 각각 10.89, 9.93 mg/g이었다. 칼슘은 공주와 진주에서 모두 분해 초기부터 무기화가 일어나 33개월 경과 후, 두 지역의 칼슘 잔존률은 각각 47.9, 30.0%로 나타났다 (Fig. 4H).

상수리나무 낙엽의 초기 마그네슘 함량은 1.37 mg/g이었으며, 공주지역의 경우 분해가 진행됨에 따라 점차 감소하여 33개월째에는 0.39 mg/g이었으나, 진주의 경우에는 공주와는 다르게 분해 21개월째에 2.39 mg/g까지 증가하였다가 33개월 경과 후에는 1.98 mg/g으로 감소하였다 (Fig. 4I). 분해에 따른 마그네슘의 잔존률 또한 칼륨, 칼슘처럼 분해 초기부터 지속적인 무기화가 일어나 33개월경과 후 공주와 진주지역의 마그네슘 잔존률은 각각 11.7, 40.8%로 나타났다 (Fig. 4J). 칼륨, 칼슘과 달리 마그네슘의 경우 진주지역에서의 잔존률이 공주에 비해 높았다.

상수리나무 낙엽은 공주와 진주지역에서 분해

율에 큰 차이를 보였는데, 이것은 위도에 따른 온도와 강수량의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 특히 하절기 기온에는 두 지역 사이에 거의 차이가 없지만 봄, 가을 그리고 겨울 동안에 진주지역의 기온이 공주에 비해 높아 진주지역에서 이 기간에 상당한 분해가 진행될 것으로 예상된다. 상수리나무 낙엽은 두 지역 모두 분해가 진행되는 동안 질소와 인이 부동화 현상을 보인 뒤 무기화가 일어났지만 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 경우에는 부동화기간이 나타나지 않고 순 무기화만 일어났다. 국내에서 낙엽활엽수의 두 지역 간의 낙엽분해에 관한 연구결과가 거의 없어 비교는 어려우나, 한반도의 중부와 남부지방 삼림생태계의 물질순환을 파악하기 위해서는 위도가 상이한 여러 지역 간 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류 동태에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 감사의 글

본 논문은 환경부의 “국가장기생태연구사업”의 지원을 받아 수행되었음.

#### 5. 참고 문헌

- Baker, T., Lockaby, B., Conner, W., Meier, C., Stanturf, J., Burke, M., Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four southern forested floodplain communities, *J. American Soc. Soil Sci.* 65, pp. 1334-1347, 2001.
- Barbour, M., Burk, J., Pitts, W., Gilliam, F., Schwartz M., *Terrestrial plant ecology* (3rd ed.), The Benjamin/Cummings, Menlo Park, California, 1999.
- Berg, B., Agren, G., *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, pp. 2880-2888, 1984
- Berg, B., Hannus, K., Popoff, T., Theander, O., Changes in organic chemical components of needle litter during decomposition, In Long-term decomposition in a Scots pine forest. I. Can. J. Bot. 60, pp. 1310-1319, 1982.
- Berg, B., Staaf, H., Leaching accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter, Eco. Bul. 33, pp. 163-178, 1981.
- Berg, B., Staaf, H., Wessen, B., Decomposition and nutrient release in needle litter from nitrogen-fertilized Scots pine (*Pinus sylvestris*) stands, Sca. J. For. Res. 2, pp. 399-415, 1987
- Berg, B., Theander, O., Dynamics of some nitrogen fraction in decomposition Scots pine needle litter, Pedobiologia 27, pp. 264-267, 1984
- Blanco, J., Imbert, J., Castillo, F., Nutrient return *via* litterfall in two constrating *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities, Forest Ecology and Management 256, pp. 1840-1852, 2008
- Bocock, K., Changes in the amount of dry matter, nitrogen, carbon and energy in decomposing woodland leaf litter in relation to the activities of soil fauna, Eco, 52, pp. 273-284, 1964
- Bray, J., Gorham, E., Litter production in forests of the world. Advance in Ecological Reserch 2, pp. 101-157, 1964.
- Brinson, M., Decomposition and nutrient exchange of litter in an Alluvial swamp forest, Eco. 58(3), pp. 601-609, 1977.
- Carlisle, A., Brown, A., White, E., The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy, Ecology 54, pp. 87-98, 1966
- Chang, N., Yoo, J., Annual fluctuations and vertical distributions of cellulase, xylanase activities and soil microorganisms in humus horizon of a *Pinus rigida* stand, Korean J Ecology 9(4), pp. 231-241, 1986
- Cole, D., Rapp, M., Elemental cycling in forest ecosystems, In Dynamic Properties of Forest (Reiche DE, ed.), International Biological Programme 23, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 341-409, 1981.
- Daubenmire, R., Nutrient content of leaf litter of trees in the Northern Rocky Mountains, Eco. 34(4), pp. 786-793, 1953
- Edmonds, R., Thomas, T., Decomposition and nutrient release from green needles of western hemlock and Pacific silver fir in an old-growth temperate rain forest, Olympic National Park, Washington, Can. J. For. Res. 25, pp. 1049-1057, 1995.
- Fogel, R., Cromack, Jr K., Effect of habitat and substrate quality on Douglas-fir litter decomposition in western Oregon. Can. J. Bot. 55, pp. 1632-1640, 1977.
- Gosz, J., Likens, G., Bormann, F., Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest, New Hampshire. Eco. Mon. 43, pp. 173-191, 1973.
- Jensen, V., Decomposition of angiosperm tree leaf litter, In Biology of plant litter decomposition Vol 1 (Dickson CH, Pugh GJF, ed.), Academic Press, New York, pp. 69-104, 1974
- Kelly, J., Beauchamp, J., Mass loss and Nutrient changes in decomposing upland



- oak and mesic-mixed hardwood leaf litter, Soil Sci Soc Am J 51, pp. 1616-1622, 1987.
- Kim, C., Lim, J., Shin, J., Nutrient dynamics in litterfall and decomposing leaf litter at the Kwangneung deciduous broad-leaved natural forest. Kor. J. Agr. For. Met. 5(2), pp. 87-93, 2003.
- Kucera, C., Weathering characteristics of deciduous leaf litter, Eco. 40(3), pp. 485-487, 1959.
- Larcher, W., Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups (3rd ed.), New york: Springer-Verlag, 1995.
- Lousier, J., Parkinson, D., Chemical element dynamics in decomposing leaf litter, Can. J. Bot. 56, pp. 2795-2812, 1978.
- Meentemeyer, V., Box, E., Thompson, R., World patterns and amounts of terrestrial litter production, BioScience 32, pp. 125-128, 1982.
- Melillo, J., Aber, J., Muratore, J., Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics, Eco. 63, pp. 621-626, 1982.
- Millar, C., Decomposition of coniferous leaf litter, In Biology of plant litter decomposition (Dickson CH, Pugh GJF, ed.), Vol 1, Academic Press, New York, pp. 105-128, 1974.
- Mun, H., Weight loss and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of *Quercus mongolica* in Mt. Worak National Park. J Ecol Field Biol 32(2), pp. 123-127, 2009.
- Namgung, J., Han, A., Mun, H., Weight loss and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of *Quercus variabilis* and *Pinus densiflora* at Mt. Worak National Park. J Ecol Field Biol 31(4), pp. 291-295, 2008.
- Olsen, C., Studies of nitrogen fixation: nitrogen fixation in the dead leaves of forest beds, Compt Rend Trav Lab Carlsberg. 19, pp. 36, 1932.
- Olson, J., Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems, Eco. 44, pp. 321-331, 1963.
- Seereeram, S., Lavender, P., Analysis of leaf litter to establish its suitability for compositing to produce a commercially saleable product, A Report Prepared for SWAP, Aqua Enviro. pp. 18, 2003.
- Swift. M., Heal, O., Anderson, J., Decomposition in terrestrial ecosystems, Studies in Ecology Vol 5, Univ of California Press, Berkley and Los Angeles, pp. 372 , 1979
- Wiegert, R., Monk, C., Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.), Ecology 53, pp. 949-953, 1972.
- Xu, X., Hirata, E., Enoki, T., Tokashiki, Y., Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance, Plant Eco. 173, pp. 161-170, 2004.

- 논문접수일 : 2012년 07월 18일
- 심사의뢰일 : 2012년 07월 26일
- 심사완료일 : 2012년 10월 19일