

상수리나무와 가시나무 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류 함량 변화^{1a}

원호연² · 오경환³ · 표재훈² · 문형태^{2*}

Decay Rate and Nutrient Dynamics during Litter Decomposition of *Quercus acutissima* and *Quercus myrsinaefolia*^{1a}

Ho-Yeon Won², Kyung-Hwan Oh³, Jae-Hoon Pyo², Hyeong-Tae Mun^{2*}

요약

상록활엽수인 가시나무와 낙엽활엽수인 상수리나무 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류의 함량 변화를 파악하기 위해 2008년 12월 공주의 상수리나무군락에 낙엽주머니를 설치하고 2009년 3월부터 2010년 12월까지 3개월 간격으로 낙엽주머니를 수거하여 분해율, 분해상수(k), 그리고 분해과정에 따른 C/N비, C/P비의 변화와 영양염류의 동태를 조사하였다. 24개월경과 후 상수리나무 낙엽과 가시나무 낙엽의 잔존률은 각각 $46.3 \pm 5.4\%$ 와 $37.8 \pm 2.5\%$ 로 가시나무 낙엽의 분해가 상수리나무 낙엽의 분해보다 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 24개월경과 후 상수리나무 낙엽과 가시나무 낙엽의 분해상수(k)는 각각 0.38과 0.49로 가시나무 낙엽의 분해상수가 높게 나타났다. 상수리나무 낙엽의 분해과정에 따른 C/N, C/P 비율은 초기에 각각 46.8, 270.9 이었으나 24개월경과 후에는 각각 22.5와 104.2로 점차 감소하였으며, 가시나무 낙엽의 경우 초기 C/N, C/P 비율은 각각 22.4와 41.7로 나타났고, 24개월경과 후에는 각각 16.7와 89.9로 나타났다. 낙엽의 초기 N, P, K, Ca, Mg 함량은 상수리나무 낙엽에서 각각 8.31, 0.44, 4.18, 9.38, 1.37 mg/g, 가시나무 낙엽에서 각각 19.88, 2.73, 7.06, 8.24, 2.61 mg/g으로 가시나무 낙엽의 질소와 인의 함량이 상수리나무 낙엽에 비해 현저히 높았다. 24개월경과 후 N, P, K, Ca, Mg의 잔존률은 상수리나무 낙엽에서 각각 100.91, 114.75, 32.99, 50.63, 15.51% 이었고, 가시나무 낙엽에서 각각 43.22, 11.35, 12.98, 82.22, 44.23% 로 조사기간 동안에 상수리나무 낙엽에서는 질소와 인의 부동화가, 가시나무 낙엽에서는 질소와 인의 무기화가 진행되었다.

주요어: 잔존률, C/N비, C/P비, 무기화, 부동화

ABSTRACT

Decay rate and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of deciduous *Quercus acutissima* and evergreen *Quercus myrsinaefolia* were studied for 24 months from December 2008 to December 2010 in Gongju, Chungnam Province, Korea. Percent remaining weight of *Q. acutissima* and *Q. myrsinaefolia* leaf litter after 24 months elapsed was $46.3 \pm 5.4\%$ and $37.8 \pm 2.5\%$, respectively. Decomposition of evergreen *Q. myrsinaefolia* leaf litter was significantly faster than that of deciduous *Quercus acutissima* leaf litter. Decay constant(k) of *Q. acutissima* and *Q. myrsinaefolia* leaf litter after 24 months elapsed was 0.38 and 0.49, respectively. Initial C/N and C/P ratio of *Q. myrsinaefolia* leaf litter was significantly lower than those of *Q.*

1 접수 2011년 10월 21일, 수정(1차: 2011년 12월 20일, 2차: 2011년 12월 27일), 게재확정 2011년 12월 28일

Received 21 October 2011; Revised(1st: 20 December 2011, 2nd: 27 December 2011); Accepted 28 December 2011

2 공주대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Kongju National University, Gongju(314-701), Korea

3 경상대학교 생물교육과 Dept. of Biology Education, Gyeongsang National University, Jinju(660-701), Korea

a 이 논문은 환경부의 국가장기생태연구사업의 지원에 의해 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author(htmun@kongju.ac.kr)

acutissima leaf litter. Initial C/N and C/P ratio of *Q. acutissima* leaf litter was 46.8 and 270.9, respectively. After 24 months elapsed, C/N and C/P ratio of decomposing *Q. acutissima* leaf litter decreased to 22.5 and 104.2, respectively. Initial C/N and C/P ratio of *Q. mysinaefolia* leaf litter was 22.4 and 41.7, respectively. After 24 months elapsed, C/N and C/P ratio of decomposing *Q. mysinaefolia* leaf litter decreased to 16.7 and 89.7, respectively. Initial concentration of N, P, K, Ca and Mg in leaf litter was 8.31, 0.44, 4.18, 9.38, 1.37 mg/g in *Q. acutissima*, and 19.88, 2.73, 7.06, 8.24, 2.61 mg/g in *Q. mysinaefolia*, respectively. Initial concentration of N and P in *Q. mysinaefolia* leaf litter was significantly higher than those in *Q. acutissima*. After 24 month elapsed, remaining N, P, K, Ca and Mg were 100.91, 114.75, 32.99, 50.63, 15.51% in *Q. acutissima*, and 43.22, 11.35, 12.98, 82.22, 44.23% in *Q. mysinaefolia*, respectively. N and P in decomposing leaf litter was immobilized in *Q. acutissima*, and mineralized in *Q. mysinaefolia*.

KEY WORDS: REMAINING WEIGHT, C/N RATIO, C/P RATIO, MINERALIZATION, IMMOBILIZATION

서론

삼림생태계의 구조와 기능은 에너지 흐름과 영양염류 순환을 통해 유지되는데, 에너지와 영양염류를 모두 포함하고 있는 낙엽의 생산과 분해에 관한 연구는 생태계의 기능을 이해하기 위한 기본적인 과정이다(Bray and Gorham, 1964; Berg and Agren, 1984; Berg *et al.*, 1987). 삼림생태계에서 낙엽의 형태로 임상에 이입된 유기물질의 영양염류는 분해과정과 영양염류의 무기화 과정을 통하여 토양에 이입되어 식물에 의해 재흡수가 일어난다. 이들 분해과정과 무기화 과정은 영양염류 이용도와 삼림의 성장률을 조절하는 중요한 역할을 한다(Bray and Gorham, 1964).

낙엽은 종류에 따라 화학적 구성성분과 물리적 특성이 다르기 때문에 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류의 방출 양상도 다르다(Melillo *et al.*, 1982; Taylor *et al.*, 1989; Moretto *et al.*, 2001). 낙엽의 분해 초기에는 수용성 물질이 먼저 소실되고, 질량감소와 함께 분해중인 낙엽의 질소함량은 증가한다. 그리고 분해 후반부에서는 낙엽의 난분해성 물질들이 소실된다. 또한 나트륨, 칼륨 등과 같은 영양염류는 분해초기에 쉽게 용탈되는 것으로 알려져 있다(Swift *et al.*, 1979; Bockheim *et al.*, 1991; Laskowski *et al.*, 1995).

낙엽 분해에 영향을 주는 낙엽의 화학성분 중 중요한 것은 초기의 리그닌, 질소 그리고 인의 함량이다. 특히, 낙엽의 초기 리그닌/질소의 비가 낙엽 분해율과 가장 높은 상관관계를 갖는데, 리그닌/질소의 비가 낮을 경우 질소 이용도가 높아 낙엽분해가 빠르다(Swift *et al.*, 1979). 하지만 토양의 질소함량이 높을 경우 미생물이 낙엽의 질소를 이용하지 않기 때문에 이 경우 리그닌 함량이 낙엽 분해율에 더 큰 영향을 미치게 된다(Namgung, 2010). 낙엽의 분해는 수중(Kim and Chang, 1965; Daubenmire, 1953) 및 낙엽의 질에

따라 분해율에 큰 차이를 나타내는데(Kucera, 1959; Berg *et al.*, 1982; Melillo *et al.*, 1982), 이중 C/N 비율이 분해속도에 가장 큰 영향을 미치고 있다(Jensen, 1929; Fogel and Cromack, 1977). 국내에서는 침엽수종의 낙엽과 활엽수종의 낙엽 분해에 관한 연구는 많이 이루어졌지만(Park and Lee, 1981; Mun and Joo, 1994; Mun and Pyo, 1994; Lee *et al.*, 2006), 남부지역에 주로 분포하고 있는 상록성 활엽수 낙엽의 분해 및 분해과정에 따른 영양염류의 동태에 관한 연구는 전무한 실정이다. Aerts(1995)는 경엽성 상록식물이 낙엽이 지기 전에 영양염류 재흡수가 높아 낙엽성 활엽수에 비해 영양염류 소실률이 낮다고 보고한 바 있다.

본 연구는 낙엽활엽수인 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 상록활엽수인 가시나무(*Quercus mysinaefolia*) 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류 동태를 비교하기 위한 것이다. 이를 위해 2008년 12월에 상수리나무와 가시나무의 낙엽주머니를 준비하여 공주지역의 상수리나무림에 설치하고, 2009년 3월부터 2010년 12월까지 2년 동안 3개월 간격으로 낙엽주머니를 수거하여 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류의 동태를 조사하였다. 상록활엽수와 낙엽활엽수 낙엽의 분해를 통해 토양에 이입되는 영양염류의 양을 파악하여 삼림 생태계의 물질순환을 밝히는 데 필요한 기초 자료를 얻는데 본 연구의 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 조사는 충청남도 공주시 금학동에 위치한 해발 약 220 m(N 36° 25' 21", E 127° 07' 06")의 상수리나무림에서 실시되었으며, 교목층은 상수리나무(*Quercus acutissima*)

가 우점하는 가운데 굴참나무(*Quercus variabilis*)가 낮은 밀도로 출현하였다. 관목층에는 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 국수나무(*Stephanandra incisa*), 짚레꽃(*Rosa multiflora*)이 낮은 피도로 분포하였으며, 초본층은 밀도와 피도가 매우 빈약하였다(Lee, 1994).

조사지소로부터 약 30 km 떨어진 대전 측후소의 자료에 따르면 조사지역의 30년간(1981~2010년) 평균기온은 12.3℃, 연평균 강수량은 1,353.8 mm 이었으며, 조사기간(2009~2010년) 동안 연평균기온은 13.5℃, 연평균 강수량은 1,090.4 mm 이었다.

2. 낙엽주머니 제작 및 설치

낙엽주머니의 제작에 사용된 낙엽은 2008년 10월에 공주의 상수리나무림에서 갓 떨어진 신선한 상수리나무 낙엽을 수거하여 낙엽주머니를 제작하였고, 진주시 경상대학 구내에 있는 가시나무에서 3년생 잎을 채취한 다음 60℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 사용하였다. 낙엽주머니는 mesh size가 2 mm 인 나일론 그물을 사용하여 20 x 25 cm의 크기로 만들어 약 5 g 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 조사지소의 임상에 상수리나무 낙엽주머니 80개, 가시나무 낙엽주머니 80개를 서로 겹치지 않고 낙엽주머니가 훼손되거나 유실되지 않도록 지면에 못과 끈을 이용하여 고정시켜 놓았다.

3. 낙엽주머니 회수 및 처리

낙엽주머니의 회수는 설치한 뒤 3개월 이후인 2009년 3월부터 3개월 간격으로 매번 각각 5개씩 회수하였다. 회수해 온 낙엽주머니는 겉에 묻은 흙과 주머니 안쪽으로 침투한 뿌리 등을 제거한 후, 주머니 안의 낙엽을 60℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량 하였다. 칭량이 끝난 샘플은 mixer를 이용하여 곱게 갈아 유기탄소 및 영양염류 분석에 사용하였다. 분해 중인 낙엽의 무게 잔존률은 회수시에 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)

상수리나무와 가시나무 낙엽의 분해율의 차이는 t-test를

통해 통계적 유의성을 검증하였다.

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℃ 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.

결과 및 고찰

1. 분해율과 분해상수

상수리나무 낙엽과 가시나무 낙엽의 분해에 따른 무게 잔존률을 Figure 1에 정리하였다. 두 종 모두 무게가 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 상수리나무 낙엽의 무게 잔존률은 12개월경과 후 71.4%이었으며, 24개월경과 후에는 46.3±5.4%로 나타났고, 이에 반해 가시나무 낙엽의 무게

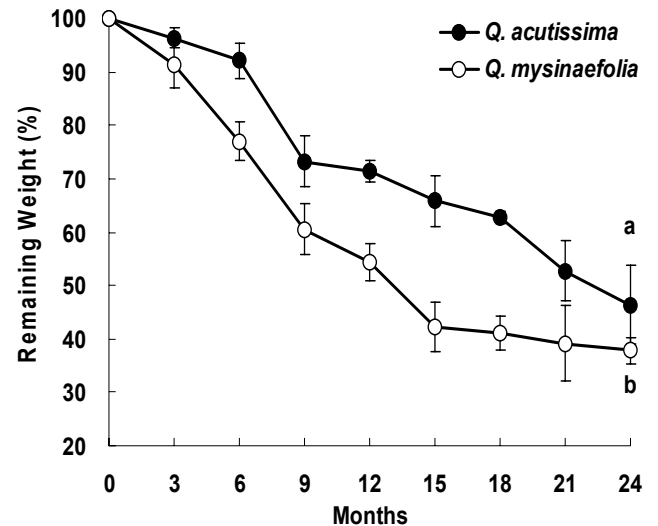


Figure 1. Remaining weight(%) in decomposing leaf litter of *Quercus acutissima* and *Quercus mysinaefolia* on the study area. Bars indicate SD. Means with different letters are significantly different (t-test, p<0.05)

잔존물은 12개월경과 후 54.4%, 24개월경과 후에는 37.8±2.5%로 가시나무 낙엽의 분해가 상수리나무 낙엽보다 빠르게 진행되었다(Figure 1).

상수리나무 낙엽과 가시나무 낙엽의 분해율에 차이가 있는 것은 주로 낙엽의 영양염류 함량의 차이 때문인 것으로 판단된다(Swift *et al.*, 1979; Mun and Joo, 1994). 초기 낙엽의 영양염류 분석 결과 상수리나무 낙엽에 비해 가시나무 낙엽의 질소와 인 함량이 현저히 높아 C/N비와 C/P비가 가시나무에서 낮았다. 따라서 가시나무 낙엽의 분해가 상수리나무 낙엽의 분해에 비해 빠른 것으로 판단된다.

두 종류의 낙엽 모두 분해가 시작된 후 1년이 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).

상수리나무 낙엽의 분해에 따른 분해상수(*k*)는 6, 12, 24개월째에 각각 0.17, 0.31, 0.38로 박과 이(1981)가 지리산에서 조사한 상수리나무 낙엽의 분해상수(*k*) 0.32보다 높았다. 가시나무 낙엽의 분해상수(*k*)는 6, 12, 24개월째에 각각 0.52, 0.61, 0.49로 상수리나무 낙엽에 비해 더 높게 나타났다.

2. 분해과정에 따른 C/N, C/P의 변화

분해과정에 따른 낙엽의 C와 N 그리고 P의 함량은 분해자의 성장과 증식에 필요한 에너지원과 질소원으로 이들을 이용하기 때문에 낙엽분해에 매우 중요하다. 충분한 질소가 없으면 분해에 참여하는 미생물 개체군이 적어 분해속도가 느려진다(Seereeram and Lavender, 2003). 상수리나무와 가시나무 낙엽의 초기 탄소 함량은 각각 48.1%, 45.6%로 유사하였으며, 이것은 분해가 진행됨에 따라 감소하는 것으로 나타났다(Figure 2A). 24개월경과 후 상수리나무와 가시나무 낙엽의 탄소함량은 각각 46.2%, 41.0%로 가시나무 낙엽에서 낮았다. 상수리나무와 가시나무 낙엽의 초기 질소 함량은 각각 8.31, 19.88 mg/g으로 가시나무 낙엽의 질소함량이 2배 이상 높았다. 또한 상수리나무와 가시나무 낙엽의 초기 인 함량은 각각 0.44, 2.73 mg/g으로 질소와 마찬가지로 가시나무 낙엽에서 6배 이상 높았다.

상수리나무와 가시나무 낙엽의 초기 C/N비는 각각 46.8, 22.4으로 상수리나무 낙엽이 가시나무 낙엽에 비해 현저히 높았다. 이것은 가시나무 낙엽의 질소함량이 상수리나무에 비해 현저히 높기 때문이다. 분해가 진행되는 동안 상수리나무 낙엽의 C/N비는 감소하여 24개월경과 후 그 값이 23.2이었다. 가시나무 낙엽의 C/N비도 분해가 진행됨에 따라

감소하였으나 상수리나무 낙엽에 비해 감소가 완만하였으며, 24개월경과 후 가시나무 낙엽의 C/N비는 16.2이었다(Figure 2B)

낙엽의 분해과정에 따른 C/P비의 양상은 C/N비와 매우 유사한 경향을 나타내었다. 일반적으로 낙엽의 C/P비는 200~480의 범위를 갖는다고 보고되어 있다(Gozs *et al.*, 1973). 본 연구에서 상수리나무 낙엽의 경우 초기 C/P 비율은 270.9로 이 범위 내에 속하는 것으로 나타났으나 가시나무 낙엽의 경우는 초기의 C/P비가 41.7로 상수리나무 낙엽에 비해 훨씬 낮은 것으로 나타났으며, 일반적인 C/P비의

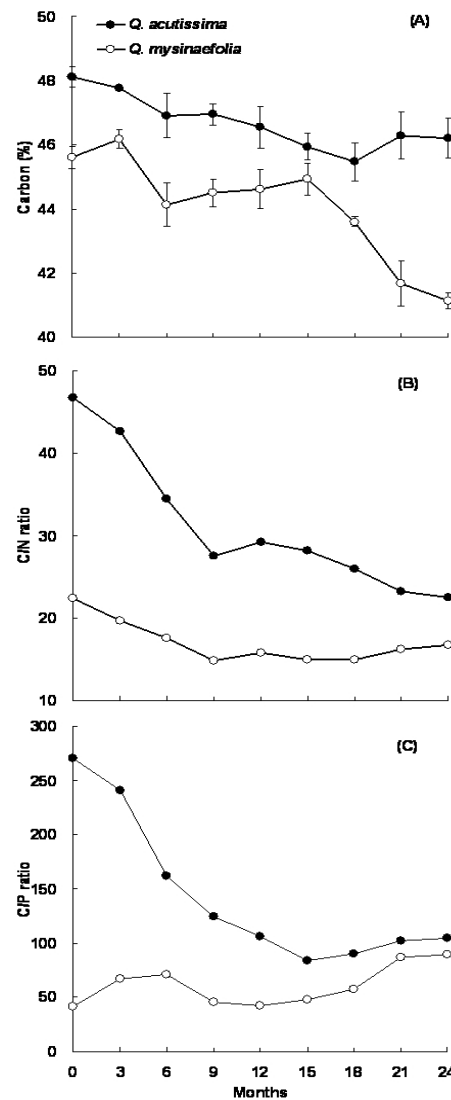


Figure 2. Changes of carbon (A), C/N ratio(B) and C/P ratio(C) in decomposing leaf litter of the *Q. acutissima* and *Q. mysinaefolia* on the study area. Bars indicate SD

범위보다도 현저히 낮았다. 이는 가시나무 낙엽의 인 함량이 상수리나무에 비해 현저히 높기 때문에 판단된다. 낙엽의 분해과정에 따른 C/P비의 변화는 상수리나무 낙엽의 경우 C/N비의 변화패턴과 유사하였으나 가시나무 낙엽의 경우 초기에 다소 증가하는 것으로 나타났다. 24개월경과된 상수리나무와 가시나무 낙엽의 C/P비는 각각 104.2, 89.7으로 유사하였지만 가시나무 낙엽의 경우 초기 C/P비에 비해 증가한 것으로 나타났다(Figure 2C).

3. 분해과정에 따른 영양염류 함량의 변화

상수리나무와 가시나무 낙엽의 분해과정에 따른 영양염류 함량의 변화를 Figure 3에 정리하였다. 상수리나무와 가시나무 낙엽의 초기 질소함량은 각각 8.31, 19.88 mg/g으로 상록성인 가시나무 낙엽의 질소함량이 낙엽성인 상수리나무 낙엽에 비해 현저히 높았다. 낙엽의 분해가 진행되면서 두 종 낙엽의 질소함량은 증가하는 것으로 나타났다. 가시나무 낙엽의 경우 15개월경과 후 질소함량이 30.1 mg/g으로 최대를 보인 후 감소하여 24개월경과 후에는 그 값이 22.7 mg/g이었다. 상수리나무 낙엽의 경우 분해기간 동안 질소함량이 계속 증가하여 24개월 후에는 18.1 mg/g인 것으로 나타났다(Figure 3A). 분해 중인 낙엽의 질소함량 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). Mun(2009), Namgung *et al.*(2008)이 보고한 신갈나무, 굴참나무 그리고 소나무 낙엽의 분해에서도 분해과정에 따라 질소함량이 증가하였다.

분해과정에 따른 질소의 잔존률은 상수리나무 낙엽과 가시나무 낙엽에서 대조적인 패턴을 보였다(Figure 3F). 상수리나무 낙엽의 질소 잔존률은 분해기간 동안 부동화 현상을 보여 24개월경과 후 그 값은 100.9%이었다. 이에 비해 가시나무 낙엽은 분해 초기단계부터 질소의 무기화가 일어나는 것으로 나타났다. 24개월경과 후 가시나무 낙엽의 질소 잔존률은 43.2%이었다(Figure 3F).

상수리나무와 가시나무낙엽의 분해과정에 따른 인의 함량변화는 질소의 경우와 유사하였다(Figure 3B). 분해과정에 따른 인 함량의 증가도 일반적으로 보고되는 현상이다(Gosz *et al.*, 1973; Brinson, 1977; Fahey, 1983). 상수리나무 낙엽의 초기 인 함량은 0.44 mg/g이었으나 분해 18개월이 경과한 후에는 1.42 mg/g으로 3배 이상 증가하였으나 24개월경과 후에는 그 값이 1.10 mg/g으로 나타났다. 가시나무 낙엽의 초기 인 함량은 2.73 mg/g으로 상수리나무에 비해 현저히 높았다(Figure 3B). 상수리나무 낙엽과는 달리

가시나무 낙엽은 분해 초기에 그 값이 감소되어 6개월경과 후 2.56 mg/g 이었으나 그 이후 증가하여 12개월째에는 2.68 mg/g으로 초기값과 유사하였다. 12개월 이후부터 가시나무 낙엽의 인 함량은 감소되어 24개월째에는 0.82 mg/g으로 상수리나무 낙엽보다 그 값이 낮은 것으로 나타났다.

낙엽의 분해과정에 따른 인의 동태는 낙엽의 종류에 따라 매우 다양하다고 보고되어 있는데(Gosz *et al.*, 1973; Schlesinger, 1985; Baker *et al.*, 2001), Gosz *et al.*(1973), Klemmedson *et al.*(1985)은 분해중인 소나무 낙엽의 인 함량이 시간이 지남에 따라 감소한다고 보고하였는데, 이는 본 조사에서 상록성인 가시나무와 유사한 것으로 판단된다. Mun(2009)은 신갈나무 낙엽에서, Lee *et al.*(2006)은 졸참나무 낙엽에서, 그리고 Namgung *et al.*(2008)은 굴참나무와 소나무 낙엽에서 분해과정에 따른 인 함량의 변화를 조사하였는데, 분해가 진행됨에 따라 그 값이 증가하는 것으로 보고한 바 있는데, 이는 본 조사의 상수리나무 낙엽과 유사한 경향이 었다.

분해과정에 따른 상수리나무 낙엽의 인 잔존률은 6개월째에 98.0%로 일시적인 무기화를 보인 후 지속적으로 부동화가 이루어져 분해 15개월째에는 203.8%로 나타났으며, 그 이후 감소하여 24개월경과 시에는 잔존률이 114.8%이었다. 가시나무 낙엽의 인 잔존률은 질소에서처럼 분해 초기부터 무기화가 지속되어 24개월경과 후의 인 잔존률은 11.4%로 나타났다(Figure 3G).

상수리나무 낙엽과 가시나무 낙엽의 분해과정에 따른 칼륨 함량 변화는 질소나 인과는 다르게 초기단계에 감소하는 것으로 나타났다(Figure 3C). 상수리나무 낙엽의 경우 초기 칼륨 함량은 4.18 mg/g이었으나 분해가 진행됨에 따라 감소하여 15개월째에는 1.49 mg/g인 것으로 나타났다. 가시나무 낙엽의 초기 칼륨 함량은 7.06 mg/g으로 상수리나무 낙엽보다는 높게 나타났으며, 15개월째에 1.10 mg/g 으로 감소한 이후 그 값이 증가하였다. 분해 중인 낙엽의 칼륨 함량은 초기에 신속히 감소하는 것으로 보고되고 있는데(Yoo, 1991; Kim *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2006; Gosz *et al.*, 1973; Brinson, 1977; Swift *et al.*, 1979; Klemmedson *et al.*, 1985; Namgung *et al.*, 2008; Mun, 2009), 이러한 경향은 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 초기단계에서 급격히 감소하여 24개월경과 후 잔존률이 33.0%이었다. 가시나무 낙엽의 칼륨 잔존률도 분해가 진행됨에 따라 감소하여 24개월경과 후 잔존률이 13.0%이었다.

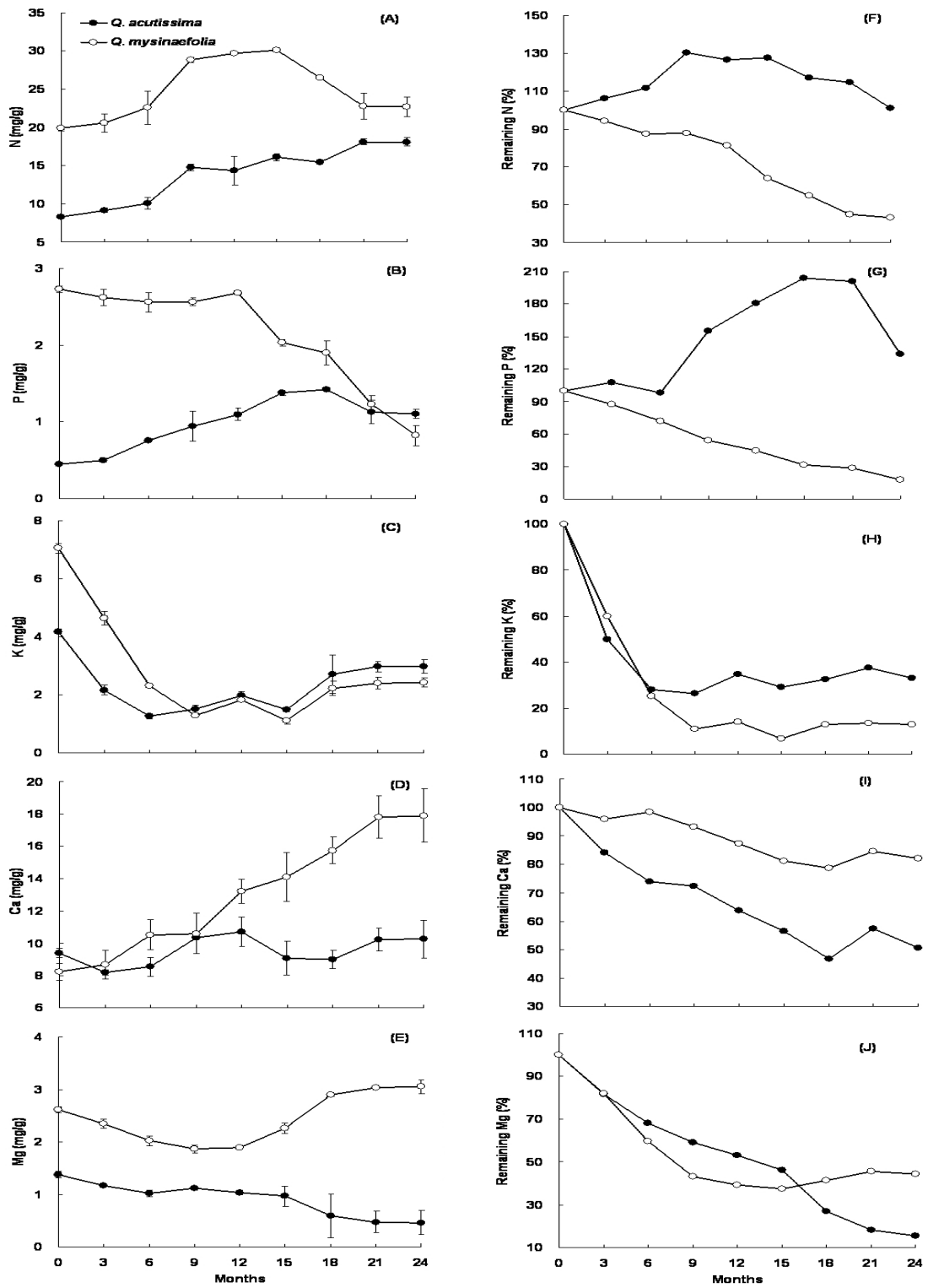


Figure 3. Changes of N, P, K, Ca, Mg concentration(A, B, C, D, E) and % remaining N, P, K, Ca, Mg(F, G, H, I, J) in decomposing leaf litter of *Q. acutissima* and *Q. mysinaefolia* on the study area. Bars indicate SD

칼륨은 분해 초기단계에서부터 신속하게 무기화가 진행되었다(Figure 3H).

상수리나무 낙엽의 초기 칼슘함량은 9.83 mg/g 이었으며, 분해과정에 따라 변동은 있었지만 초기값과 크게 차이가 나지 않았다(Figure 3D). 가시나무 낙엽의 초기 칼슘 함량은 8.24 mg/g으로 상수리나무 낙엽에 비해 낮았지만 Figure 3D에서 보는 바와 같이 분해가 진행되는 동안 계속 증가하여 24개월경과 후 그 값이 17.9mg/g이었다. 칼슘은 식물조직(세포벽)의 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).

분해 중인 가시나무 낙엽의 칼슘함량이 증가하였지만 칼슘의 잔존률을 살펴보면 상수리나무와 가시나무 낙엽 모두 조사기간 동안 부동화가 일어나지 않는 것으로 조사되었다. 칼슘의 잔존률은 상수리나무 낙엽의 경우 24개월경과 후 50.6%로 지속적인 무기화가 일어났으며, 가시나무 낙엽의 칼슘 잔존률의 경우에도 24개월경과 후 82.2%로 지속적인 무기화가 일어났다(Figure 3I).

상수리나무 낙엽의 초기 마그네슘 함량은 1.37 mg/g이었으며, 칼슘과는 달리 분해가 진행됨에 따라 지속적으로 감소하였는데, 24개월경과 후 마그네슘의 함량은 0.46 mg/g 이었다(Figure 3E). 가시나무 낙엽의 초기 마그네슘 함량은 2.61 mg/g으로 상수리나무 낙엽에 비해 높았으며, 분해 초기단계에 감소하였으나 18개월째에는 2.89 mg/g으로 증가하였다. 분해기간 중 상수리나무와 가시나무 낙엽의 마그네슘은 칼륨, 칼슘에서와 같이 부동화 기간이 없이 무기화가 지속적으로 진행되었다. 24개월경과 후 상수리나무와 가시나무 낙엽의 마그네슘 잔존률은 각각 15.5%, 44.2% 이었다(Figure 3J).

낙엽성인 상수리나무 낙엽은 질소와 인이 분해 과정 중 부동화 현상을 보였지만 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 부동화 기간이 없이 순 무기화를 보였다. 이에 비해 상록성인 가시나무 낙엽은 분해과정 중 질소와 인 그리고 칼륨, 칼슘, 마그네슘이 모두 부동화 기간이 없이 무기화가 일어나는 것으로 나타났다. 국내에서 상록 활엽수 낙엽의 분해에 관한 연구결과가 거의 없어 비교가 어렵지만 한반도의 남쪽지방에 주로 분포하고 있는 상록활엽수림의 물질순환을 파악하기 위해서는 이들 상록활엽수 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양염류 동태에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

인용문헌

Aerts, R.(1995) The advantages of being evergreen. Trends in

Ecology and Evolution 10: 402-407.

Baker, T.T., B.G. Lockaby, W.H. Conner, C.E. Meier, J.A. Stanturf and M.K. Burke(2001) Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four southern forested floodplain communities. J. American Soc. Soil Sci. 65: 1,334-1,347.

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: 2,880-2,888.

Berg, B., K. Hannus, T. Popoff, and O. Theander(1982) Changes in organic chemical components of needle litter during decomposition. In Long-term decomposition in a Scots pine forest. I. Can. J. Bot. 60: 1,310-1,319.

Berg, B. and H. Staaf(1981) Leaching accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. Eco. Bul. 33: 163-178.

Berg, B., H. Staaf, and B. Wessen(1987) Decomposition and nutrient release in needle litter from nitrogen-fertilized Scots pine(*Pinus sylvestris*) stands. Sca. J. For. Res. 2: 399-415.

Bockheim, J.G., E.A. Jepsen and D.M. Heisey(1991) Nutrient dynamics of decomposing leaf litter of four tree species on soil in northern Wisconsin. Can. J. For. Res. 21: 803-812.

Bocock, K.L.(1964) 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: 273-284.

Bray, J.R. and E. Gorham(1964) Litter production in forests of the world. Advance in Ecological Reserch 2: 101-157.

Brinson, M.M.(1977) Decomposition and nutrient exchange of litter in an Alluvial swamp forest. Eco. 58(3): 601-609.

Daubenmire, R.F.(1953) Nutrient content of leaf litter of trees in the Northern Rocky Mountains. Eco. 34(4): 786-793.

Edmonds, R.L., and T.B. Thomas(1995) 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: 1049-1057.

Fahey, T.J.(1983) Nutrient dynamics of aboveground detritus in lodgepole pine(*Pinus contorta* ssp. *latifolia*) ecosystems, southeastern Wyoming. Eco. Mon. 53(1): 51-72.

Fogel, R. and Jr K. Cromack(1977) Effect of habitat and substrate quality on Douglas-fir litter decomposition in western Oregon. Can. J. Bot. 55: 1,632-1,640.

Gosz, J.R., G.E. Likens and F.H. Bormann(1973) Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest, New Hampshire. Eco. Mon. 43: 173-191.

Jensen, H.L.(1929) On the influence of the carbon:nitrogen ratios of organic material on the mineralization of nitrogen. J. Agr. Sci. 19: 71-82.

Kim, C.M. and N.K. Chang(1965) The decomposition rate of litter

- affecting the amount of mineral nutrients of forest soil in the Korea. Bull Eco. Soc Am Sep. 14pp.
- Kim, C.S., J.H. Lim, and J.H. Shin(2003) Nutrient dynamics in litterfall and decomposing leaf litter at the Kwangneung deciduous broad-leaved natural forest. Kor. J. Agr. For. Met. 5(2): 87-93.
- Klemmedson, J.O., C.E. Meier and R.E. Campbell(1985) Needle decomposition and nutrient release in ponderosa pine ecosystems. For. Sci. 31: 647-660.
- Kucera, C.L.(1959) Weathering characteristics of deciduous leaf litter. Eco. 40(3): 485-487.
- Laskowski, R., M. Niklinska, and M. Maryanski(1995) The dynamics of chemical elements in forest litter. Eco. 76(5): 1,393-1,406.
- Lee, E.K., J.H. Lim, C.S. Kim and Y.K. Kim(2006) Nutrient Dynamics in Decomposing Leaf Litter and Litter Production at the Long-Term Ecological Research Site in Mt. Gyeong. J. Ecol Field Biol 29(6): 585-591.
- Lee, J.Y.(1994) Litter decomposition, soil characteristics and cellulase activity in *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forest. M.S. thesis, Univ. of Kongju, Kongju, Korea, 5pp. (in Korean with English abstract)
- Lousier, J.D. and D. Parkinson(1978) Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. Can. J. Bot. 56: 2,795-2,812.
- Melillo, J.M., J.D. Aber and J.F. Muratore(1982) Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Eco. 63: 621-626.
- Moretto, A.S., R.A. Distel and N.G. Didoné(2001) Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. App. Soil Eco. 18(1): 31-37.
- Mun, H.T.(2009) Weight loss and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of *Quercus mongolica* in Mt. Worak National Park. J Ecol Field Biol 32(2): 123-127.
- Mun, H.T. and H.T. Joo(1994) Litter Production and Decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* Forests. J. Eco. Field Bio. 17(3): 345-353.
- Namgung, J.(2010) Production and Nutrient cycling in the *Quercus variabilis* forest at Mt. Worak. Ph. D. thesis, Univ. of Kongju, Kongju, Korea., 58pp. (in Korean with English abstract)
- Namgung, J., A.R. Han, and H.T. Mun(2008) 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): 291-295.
- Olsen, C.(1932) Studies of nitrogen fixation: nitrogen fixation in the dead leaves of forest beds. Compt Rend Trav Lab Carlsberg. 19: 36
- Olson, J.S.(1963) Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Eco. 44: 321-331.
- Park, B.K. and I.S. Lee(1981) A Model for Litter Decomposition of the Forest Ecosystem in South Korea. J. Eco. Field Bio. 4(1-2): 38-51.
- Reiners, W.A. and N.M. Reiners(1970) Energy and nutrient dynamics of forest floors in three Minnesota forests. Eco. 58: 497-579.
- Schlesinger, W.H.(1985) Decomposition of chaparral shrub foliage. Eco. 66: 1,353-1,359.
- Seereeram, S. and P. Lavender(2003) Analysis of leaf litter to establish its suitability for composting to produce a commercially saleable product. A Report Prepared for SWAP. Aqua Enviro., 18pp.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson(1979) Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology Vol 5. Univ of California Press, Berkley and Los Angeles, 372pp.
- Taylor, B.R., D. Parkinson, and W.F.J. Parsons(1989) Nitrogen and lignin content as predictor of litter decay rates: A microcosm test. Eco. 70: 97-104.
- Xu, X., E. Hirata, T. Enoki and Y. Tokashiki(2004) Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. Plant Eco. 173: 161-170.
- Yoo, J.S.(1991) Weight loss and nutrient dynamics during litter decomposition of *Pinus thunbergii* and *Castanea crenata*. M.S. thesis, Univ. of Kongju, Kongju, Korea, 22pp. (in Korean with English abstract)