

동백나무(*Camellia japonica* L.) 낙엽의 분해와 영양원소의 동태¹

차상섭² · 이경의² · 이상훈² · 최문종² · 심재국^{2*}

Decomposition and Nutrient Dynamics of Leaf Litter of *Camellia japonica* L. in Korea¹

Sangsub Cha², Kyung-Eui Lee², Sang-Hoon Lee², Moonjong Choi², Jae Kuk Shim^{2*}

요 약

낙엽은 육상 생태계에서 영양원소의 주요 원천이며, 낙엽의 분해는 토양의 비옥도를 유지하고, 식물의 생장을 위한 영양원소의 방출 뿐 아니라 이산화탄소의 배출을 조절하는 생물계에서 가장 중요한 과정 중 하나이다. 본 연구는 지구온난화로 인해 그 분포역의 확대가 예상되는 상록활엽수인 동백나무를 대상으로 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양원소의 함량 변화를 파악하기 위해 진행되었다. 실험은 전라남도 완도군 주도 상록활엽수림에서 2011년 12월부터 2013년 12월까지 731일만에 걸쳐 수행되었다. 동백나무 낙엽은 기타 상록활엽수 낙엽에 비해 작고 두꺼우며 단단한 재질을 가지고 있고, 비교적 높은 수용성물질과 셀룰로오스, 리그닌의 함량을 나타내었다. 분해 시작 후, 731일 경과 된 동백나무 낙엽의 잔존율은 42.6%이고 분해상수(k)는 0.427으로 나타났다. 동백나무 낙엽의 탄소 함량은 44.6%를 나타내었고, 분해과정에 따른 탄소의 잔존량은 낙엽 잔존량의 변화와 거의 일치하는 경향을 나타내었다. 질소와 인의 초기 함량은 각각 0.47%와 324.7mg/g을 나타내었다. 질소의 잔존량은 분해 초기 증가하여 최고 1.66배까지 증가하였지만, 점차 감소하여 731일 후 초기양의 1.18배를 나타내었다. 인의 경우 최고 1.64배까지 증가하였고 731일 후 1.15배를 나타내었다. 동백나무 낙엽의 칼슘, 칼륨, 마그네슘, 나트륨 잔존량은 분해과정에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 칼륨의 경우 빠르게 감소하여 8.9%의 잔존율을 보였다. C/N, C/P 초기 비율은 각각 94.87과 1368.5로 나타났지만, 분해가 진행됨에 따라 현저하게 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 질소와 인의 함량이 초기 함량에 비해 최대 2.78배와 2.68배까지 증가하였기 때문이다. 본 연구의 결과 동백나무의 낙엽은 조사기간 동안에 질소와 인에서는 부동화가, 나머지 원소에서는 무기화가 진행되는 것을 확인하였다.

주요어: 동백나무, 상록활엽수, 낙엽 분해, 분해상수, 영양원소 동태

ABSTRACT

Litter fall is a source of nutrients and carbon transfer in terrestrial ecosystems. Litter decomposition provides nutrients needed for plant growth, sustains soil fertility, and supplies CO₂ to the atmosphere. We collected the leaf litter of evergreen broadleaf tree, *Camellia japonica* L., and carried out a decomposition experiment using the litterbag method in Ju-do, Wando-gun, Korea for 731 days from Dec 25, 2011 to Dec 25, 2013. The leaf litter of *C. japonica* remained 42.6% of the initial litter mass after experiment. The decay constant (k) of *C. japonica* leaf litter was 0.427 yr⁻¹. The carbon content of *C. japonica* leaf litter was 44.6%, and the remaining carbon content during the decomposition tended to coincide with the changes in litter mass. The initial nitrogen and phosphorus content was 0.47% and 324.7 mg/g, respectively. The remaining N in decaying litter increased

1 접수 2015년 9월 25일, 수정 (1차: 2015년 10월 26일, 2차: 2015년 12월 14일), 게재확정 2015년 12월 15일

Received 25 September 2015; Revised (1st: 10 October 2015, 2nd: 14 December 2015); Accepted 15 December 2015

2 중앙대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Chung-Ang Univ., Seoul(156-756), Korea(shimjk@cau.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-2-820-5211, Fax: +82-8-825-5206, E-mail: shimjk@cau.ac.kr

1.66-fold in the early decomposition stage, then gradually decreased to 1.18-fold after 731 days. The content of P showed the highest value (1.64-fold of initial content) after 456 days, which then fell to a 1.15-fold after 731 days. The remaining Ca, K, Mg and Na content in *C. japonica* leaf litter tended to decrease during decomposition. The remaining K showed a remaining mass of 8.9% as a result of rapid reduction. The initial C/N and C/P ratio of *C. japonica* leaf litter was 94.87 and 1368.5, respectively. However, it tended to decrease as decomposition progressed because of the immobilization of N and P (2.78 and 2.68-fold of initial content, respectively) during the leaf litter decaying. The study results showed that N and P was immobilized and other nutrients was mineralized in *C. japonica* leaf litter during experimental period.

KEY WORDS: *Camellia japonica* L., EVERGREEN BROADLEAF, LITTER DECOMPOSITION, DECOMPOSITION CONSTANT, NUTRIENT DYNAMICS

서론

삼림생태계는 에너지의 흐름과 영양원소의 순환에 의해 그 구조와 기능이 유지된다. 대부분의 삼림생태계에 있어서 낙엽은 지상부 임목으로부터 임상으로 이동되는 양분과 에너지의 주요 경로이므로, 낙엽의 생산과 분해는 생태계를 유지하기 위한 기본적인 과정이라고 할 수 있다(Swift *et al.*, 1979).

낙엽의 화학적 구성은 분해를 조절하는 중요한 요인으로 인식되어지고 있다(Swift *et al.*, 1979). 낙엽의 질은 낙엽의 분해능을 조절하는 요인으로 정의하기는 힘들지만, 분해율과 높은 상관관계를 나타낸다. 낙엽의 물리적 구조뿐만 아니라 화학적 조성, 즉 질소의 함량, 리그닌의 함량은 낙엽기질의 질을 결정하는데 중요한 요인이며(Melillo *et al.*, 1982; Cotrufo *et al.*, 1998), 특히 낙엽내의 질소와 리그닌의 양, C/N, lignin/N 등은 낙엽 분해의 속도를 조절하는 중요한 인자로 알려져 있다(Melillo, 1982).

한편 최근 온난화에 의한 기후변화는 세계적 관심사인데 이러한 온난화에 따라 전체 식생의 분포역은 달라질 것으로 예상되고, 한편으로는 난대성 식물의 북상도 예상된다. 이들 식생의 분포는 기온, 강수량, 온량지수, 대륙도, 지질상태 등에 의해 결정되어 지는 것으로 알려져 있다(Piao *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2007; Luo *et al.*, 2009). 특히 한국의 난온대 상록활엽수림은 제주도, 다도해해상국립공원, 울릉도 및 남부 일부지역 등에서 제한적으로 분포하고 있으며 그 분포는 coldness index에 의해 잘 설명되어 왔다(Yim and Lee, 1976).

그러나 상록활엽수림에 관한 연구는 국내에서는 활발하게 이루어지고 있지 않다. 특히, 상록활엽수림 생태계의 기능에 관해서는 낙엽의 생산과 분해(Chang and Han, 1985;

Won *et al.*, 2012), 탄소분포와 수지(Han, 2014)에 관한 연구 등 몇몇 연구가 진행되었을 뿐이다. 제주도에 설립된 난대림연구소의 활동으로 제주도의 난대림 연구들이 점차 이루어지기 시작하고 있으나 주로 생물다양성, 산림유전자원의 보존 및 자원화 연구, 난대수종 무육기술 개발, 난대림의 지속 가능한 산림 경영 관리 등에 중점을 두고 있어 난대림에서의 생태적 기능에 관한 연구는 주목받지 못하고 있는 상황이다.

본 연구는 우리나라의 전형적인 상록활엽수인 동백나무(*Camellia japonica* L.) 낙엽의 분해율 및 분해과정에 따른 영양원소의 동태를 알아보고, 상록활엽수림 생태계의 물질순환을 밝히기 위한 기초자료를 얻는데 목적을 두고 있다.

연구방법

1. 낙엽주머니의 제작, 설치, 수거

실험에 사용된 낙엽은 완도수목원 내의 상록활엽수림에서 갓 떨어진 신선한 낙엽을 2011년 12월 채집하였다.

채집한 낙엽은 60℃의 건조기에 48시간동안 건조시켰으며, 건조된 낙엽에 대하여 두께와 면적을 측정하였다. 낙엽의 두께는 outside micrometer(M110-25, Mitutoyo)를 사용하여 측정하였고, 스캐너(perfection 1670, Epson)와 AutoCAD (2007)를 사용하여 낙엽의 면적을 측정하였다.

낙엽분해를 위하여 제작한 낙엽주머니는 mesh size가 2 mm인 나일론 소재의 그물을 사용하여 10cm×10cm 크기로 제작하였으며, 실험재료를 8g씩 넣은 후, 낙엽주머니에 고유번호를 기록한 알루미늄 tag을 함께 넣은 후 실험재료가 유실되지 않도록 나일론사로 봉합하였다.

2011년 12월 실험대상지인 주도의 동서남북 각 1개소를 선정하여 4반복으로 낙엽주머니를 임상에 설치하고 고정된

을 사용하여 지면에 고정하였다. 낙엽주머니는 2012년 3월부터 2013년 12월까지 총 6회에 걸쳐 4지소로부터 회수되어 매회 4반복의 회수가 이루어지도록 하였다(Figure 1).

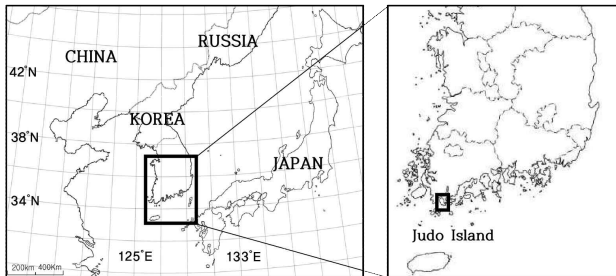


Figure 1. The map showing the geographical position of the study site

2. 조사지 개황

실험이 행해진 주도는 완도항에서 동쪽으로 약 300m(동경 126° 46', 북위 34° 17') 떨어져 있는 면적 약 1.75ha, 해발 약 35m의 둥글고 작은 섬이며, 섬 전체가 상록수림으로 빽빽하게 들어차 있다. 우리나라에서 난대림의 모습을 가장 잘 유지·보존하고 있고 학술연구에 귀중한 자원이 되고 있는 섬으로서 천연기념물 28호로 1962년 12월 7일에 지정·보호되고 있다(문화재청, <http://www.cha.go.kr>).

주도는 완도기상대(1981~2010)에 의하면 연평균 기온 13.4℃, 연강수량 1,532.6mm이며, 온량지수는 105.1℃·month, 한랭지수는 -2.5℃·month로 상록활엽수림대에 속하는 지역이다(Yim and Kira, 1975; Yim and Lee, 1976).

3. 식물체 분석

1) 중량감소의 측정 및 분해율의 결정

회수된 낙엽주머니는 내부에 침투한 식물체 뿌리와 흙 등의 이입물질을 제거한 후 종이 봉투에 옮겨 60℃에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 정량하였다. 분해중인 낙엽의 무게 잔존율은 회수 시에 남아 있는 건조 잔존량을 초기 무게에 대한 백분율(%)로 표시하였으며, 정량이 끝난 실험 재료는 Wiley mill을 사용하여 0.1mm 이하로 분쇄하여 탄소와 질소함량의 정량과 기타 분석에 사용하였다.

$$\text{분해 낙엽의 잔존율 (\%)} = \frac{\text{회수 후 건조량(g)}}{\text{초기무게(g)}} \times 100$$

2) 낙엽의 화학적 특성 분석

수용성 및 알콜용해성 물질 : 낙엽 내 수용성 물질과 알콜용해성 물질의 함량 측정을 위하여 적당량의 건조낙엽을 증류수와 알콜에 3일간 침지하는 동안 6회에 걸쳐 증류수와 알콜을 교환해준 후 침지 전후의 무게 차이를 침지전의 무게에 대한 백분율로 하였다.

리그닌과 셀룰로즈 함량 : 리그닌과 셀룰로즈의 함량은 Rowland and Roberts(1994)와 Lim *et al.*(2011)의 방법에 준하여 실시하였다. 250ml 비커에 0.5g의 분쇄한 식물 시료(W1)와 100ml의 CTAB (0.5M의 5.0ℓ 황산용액에 acetyltrimethyl ammonium bromide 50g을 용해) 그리고 소량의 octan-2-ol을 가한 후 서서히 가열하였다. 이후 550℃에서 작열 후 식혀 무게가 측정된 sinter(W2)에 여과하였다. 뜨거운 증류수 15회와 아세톤으로 2회 sinter 내의 시료를 세척한 다음 105℃ 건조기에서 2시간 동안 건조하였다. 건조된 시료를 포함한 sinter의 무게(W3)를 측정하고, 이어 sinter에 72%황산을 반 정도 채우고 멩쳐진 시료를 풀어주며 3시간 동안 두었다. 이 후 황산을 감압 흡입하여 제거하고, 뜨거운 증류수로 수 회 세척한 뒤, 최종적으로 아세톤으로 세척 후 105℃에서 2시간 동안 건조시킨 후 무게(W4)를 측정한다. 다음, 550℃에서 2시간 작열시킨 후 무게(W5)를 측정하였다. 각각의 측정된 무게를 이용하여 밑에 제시된 식에 의해 리그닌, 셀룰로즈의 함량을 구하였다.

$$\% \text{ Lignin} = (W4 - W5) \times 100 / W1$$

$$\% \text{ Cellulose} = (W3 - W4) \times 100 / W1$$

탄소함량의 측정 : 낙엽의 탄소 함량은 분쇄된 건조 시료 1mg을 칭량하여 Elemental analyzer(EA 1112, Thermo)를 사용하여 측정하였다.

질소함량의 측정 : 낙엽 내 총 질소 함량 측정은 분쇄한 건조 식물 시료 0.5g을 250ml digestion tube에 담은 후 분해촉진제 Kjeltab tablet(1527 0003, FOSS) 2개와 황산 10ml을 첨가한 다음 시료가 젖도록 가볍게 흔들어 준 다음, Kjeldahl 분해장치(TecatorTM digestion system, FOSS)를 이용하여 400℃에서 1시간 20분 동안 가열하였다. 시간의 경과 후 흰 연기가 나고 분해액의 색이 투명해지면 15분 동안 실온에서 식힌 후 증류장치(KjltectTM 8100 distillation unit, FOSS)를 이용하여 2% boric acid 용액에 증류된 질소를 포집 한 다음 0.05N 염산을 이용하여 정량하였다.

$$\% \text{ Nitrogen} = \frac{(T - B) \times N \times 14.007 \times 100}{\text{Weight(sample, mg)}}$$

T = Sample titration B = Blank Titration
N = normality of titration

영양원소 함량의 측정 : 분쇄한 식물시료 0.2g에 nitric acid(HNO₃)10ml와 60% perchloric acid(HClO₄) 3ml를 넣

고 2시간 동안 hot-plate에서 낮은 온도에서부터 차츰 온도를 높이며 가열하였다. HNO₃가 모두 증발되고 HClO₄의 흰색 연기가 발생하면 용액을 식힌 다음 증류수와 1:1 비율로 희석한 HCl 10ml를 첨가하고, 50ml volumetric flask에 옮겨 부피를 맞추었다. 그 후 No. 42 Whatman filter paper를 이용하여 여과하고 여과액 내 칼슘, 칼륨, 인, 나트륨의 농도를 ICP(inductively coupled plasma spectrometry : JY-ULTIMA-2, Horiba)로 측정하였다.

결과 및 고찰

동백나무 낙엽의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다. 동백나무 낙엽은 평균 두께가 0.31mm, 면적은 20.1cm²로 작고 두꺼우며, SLA(specific leaf area)는 53.9cm²/g 이었다. SLA는 낙엽분해에 큰 영향을 주는데 Huang(2007)이 중국 동부의 상록활엽수림에서 수종별 조사에서 73~141의 범위에 있는 것으로 비교해 보면 동백나무 낙엽은 두꺼운 재질의 낙엽이라고 판단할 수 있다. 동백나무 낙엽의 수용성물질 함량은 3.5%, 셀룰로스와 리그닌의 함량은 각각 20.3, 16.6%로서 비교적 높은 편이었다. 질소의 함량은 0.47%로서 Huang(2007)의 질소함량 범위(0.75~1.6%)에 비하면 동백나무의 질소함량은 매우 낮은 편이며, 국내 남부지방에서 채취한 기타 상록활엽수 낙엽에 비해서도 낮은 값이다(Lee, 2015).

동백나무 낙엽의 주도의 현지 임상에서의 분해에 따른 무게 감소는 Figure 2와 같다. 초기 90일간의 겨울철 기간에는 94.02%의 잔존율을 나타냈으며, 분해 첫해의 봄 기간을 지난 후인 182일까지 90.34%로 다소 느린 초기 분해 양상을 나타내었지만, 이후 분해 속도가 증가하여 분해 첫해의 여름을 넘긴 274일 후의(9월까지) 잔존율은 74.48%에 달하였다. 또한 2차년에도 여름과 가을을 거치면서 약 22%의 중량감소를 나타내었다. 총 731일간의 분해기간 동안 42.6%의 잔존율을 나타내었다. 낙엽의 분해는 기후 조건, 즉 계절적 특성과 임상의 미기후와 같은 물리적 환경과 낙엽의 화학적 조성에 영향을 많이 받는다(Heal *et al.*, 1997; Zimmer, 2002; Sariyildiz and Anderson, 2003). Millar(1974)와 Swift *et al.*(1979)은 낙엽의 분해가 하절기에 집중되는 것은 기온의 상승과 강수량의 증가로 분해자의 활성화와 활동이 왕성하며, 습한 하절기에 더 많은 수용성 물질이 용해되는데 기인하는 것이라 하였다. 또한 Xu and Hirata(2005)는 분해가 시작된 3-4개월의 초기 분해단계에서 빠른 분해율

을 보이는 것은 가용성물질의 쉬운 용탈에 기인한다고 하였다. Swift *et al.*(1979)에 의하면 낙엽의 수용성 구성원은 분해의 초기에 미생물의 주 에너지원이 되고, Genssner(1991)와 Cunha-Santino *et al.*(2003)에 의하면 가용성 탄소화물은 분해가 시작된 후 수일 안에 80% 이상의 양이 용탈되어 감소한다고 보고하였다. 동백나무 낙엽의 경우도 마찬가지로 수용성 물질의 함량이 3.52%로 다른 낙엽에 비해 낮아 초기의 분해가 다소 느리게 진행된 것으로 판단된다. 본 실험의 경우에도 강수가 집중되는 일차 년과 이차 년의 여름 동안에 낙엽분해가 실험기간 동안 가장 활발한 것으로 나타났다.

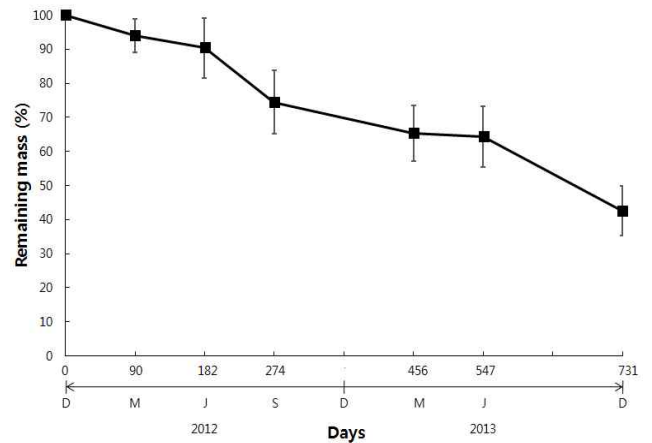


Figure 2. Remaining mass of *C. japonica* leaf litter during decomposition in evergreen broadleaf forest in Judo island. Bars indicate standard deviations

2년간의 현지 실험을 통하여 동백나무 낙엽의 분해상수는 0.426yr⁻¹으로 나타났으며, 반감기는 1.62년, 99% 분해에 걸리는 시간은 11.72년으로 나타났었다(Table 2). 한반도 대표 수종인 신갈나무의 경우 약 0.123~0.369yr⁻¹의 분해상수를 나타냈고, 소나무의 경우 0.128~0.318 yr⁻¹의 분해상수를 나타낸 것(Chang and Chung, 1986; Chang and Leem, 1986; Chang *et al.*, 1991; Mun and Kim 1992; Lee *et al.*, 2006; Namgung and Mun, 2009; Mun, 2009; Won *et al.*, 2014)과 비교해보면 동백나무 낙엽의 분해상수는 0.426 yr⁻¹로서 신갈나무와 소나무의 낙엽보다 빠른 분해를 보였다. Chang and Han(1985)는 동백나무 낙엽의 분해상수를 생산과 분해가 평형에 도달한 숲을 전제로하여 모델식에

Table 1. Physico-chemical properties of the freshly fallen litter of *C. japonica* (mean±standard deviation)

Carbon (%)	Nitrogen (%)	Lignin (%)	Cellulose (%)	Water soluble (%)	Alcohol soluble (%)	Thickness (mm)	Area (cm ²)	SLA (cm ² /g)
44.6±0.1	0.47±0.0	16.6±0.3	20.3±0.8	3.5±1.6	6.9±2.4	0.31±0.04	20.1±3.7	53.9±5.6

의해 추론한 결과 거제도과 해남에서 각각 0.093yr^{-1} 과 0.313yr^{-1} 으로 해남에서의 분해율은 붉가시나무, 상수리나무, 삼나무 그리고 편백나무의 낙엽보다 큰 값을 보여 타수종보다 빠른 분해를 보고하는 한편 거제도에서의 분해율은 매우 낮은 결과를 보고하면서 그 이유는 토양의 높은 염분때문으로 추정한다. 한편 Won *et al.*(2012)은 가시나무 낙엽의 공주 상수리나무림에서의 24개월 동안의 분해에서 0.49yr^{-1} 의 분해율을 얻었다.

낙엽의 질소 함량이나 리그닌 함량, 그리고 C/N은 낙엽의 질을 결정하는 중요한 요인으로 알려져 있고(Melillo *et al.*, 1982; Cotrufo *et al.*, 1998; Berg and Laskowski 2005; Ber and McLaugherty 2008; Heal *et al.*1997). 낙엽의 초기 질소함량이 낙엽의 분해 속도와 일반적으로 양의 상관관계를 나타내는데(Heal *et al.*1997, Berg and Laskowski 2005; Huang *et al.*, 2007) 동백나무 낙엽의 경우 질소의 함량은 0.47%로 같은 지역에서 채취한 상록활엽수 낙엽 중 가장 낮은 값을 나타내었다(Lee, 2015). 분해과정에 따른 낙엽의 질소와 인의 함량은 분해자의 성장과 증식에 필요한 에너지원과 질소원으로 이들을 이용하기 때문에 낙엽분해에 매우 중요하다. 충분한 질소가 없으면 분해에 참여하는 미생물 개체군이 적어 분해속도가 느려진다(Seeceream and Lavender, 2003). 낙엽분해가 진행되어 가면서 낙엽내 질소함량은 초기 함량에 비하여 증가하는 부동화의 양상을 나타내다가 분해가 시작된 후 456일이 지나서야 질소의 양이 초기 낙엽의 질소 함량보다 감소하기 시작하는 양상을 나타내었다. 이러한 경향은 일반적인 현상으로 많은 연구자들에 의해 보고가 되어있다(Staaf and Berg, 1981; Mellilo *et al.*, 1982; Kim *et al.*, 2003; Xu *et al.*, 2004). 질소의 증가는 분해미생물의 증가와 이들에 의한 질소고정(MacLean *et al.*, 1978), 강우, 먼지, 곤충의 배설물(Bocock, 1962), 곰팡이의 작용(Mellilo *et al.*, 1978) 등에 기인하며 외부로부터 미생물체로 도입되는 것(Xu and Hirata, 2005)으로 알려져 있다. 본 실험에서 질소의 잔존량이 급격히 증가한 기간은 2012년 6월에서 9월 사이로 강우량이 집중되고 미생물을 비롯한 미소동물의 활동이 활발한 여름철에 질소의 잔존량(%)이 급격히 증가한 것으로 생각된다. 본 실험에서 분해되는 동백나무 낙엽에서의 질소와 인의 농도는 731일 경과 후 초기 함량에 비해 각각 277.6%와 268.1%로 그 값이 크

게 증가하였다. 인의 경우에도 분해가 진행됨에 따라 함량이 크게 증가하여 초기 함량에 대해 최고 164.2%의 잔존율을 보였다. 이러한 인의 부동화는 일반적인 현상이다(Gosz *et al.*, 1973; Brinson, 1977; Fahey, 1983). 본 실험에서는 실험이 종료되는 731일 후에도 낙엽의 초기 함량의 115.8%의 잔존율을 나타내었다. Xu and Hirata(2005)는 높은 C/N 비와

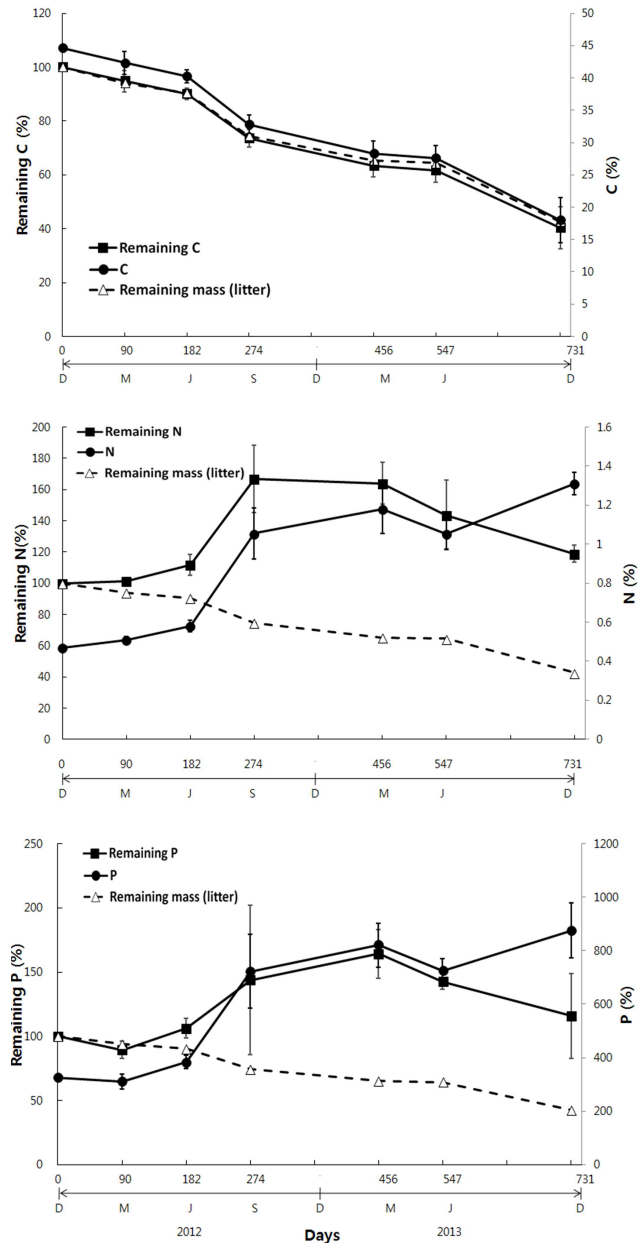


Table 2. Decomposition constant, and the time periods of half time, 95%, and 99% decomposition of *C. japonica*

k (yr^{-1})	Period of decomposition (yr)		
	50%	95%	99%
0.427	1.62	7.03	11.72

Figure 3. Changes in concentration and remaining C, N, P in the decomposing litter of *C. japonica* on the forest floor in evergreen broadleaf forest in Judo island. Bars indicate standard deviations

낮은 질소함량일 때 분해 중에 질소의 농도가 높게 올라갔다고 보고했으며, 질소와 인의 낙엽 분해 중 동태는 낙엽 중에 따라 다양하여 질소와 인의 부동화가 큰 것은 160%, 낮은 것은 7.6%를 나타냈으며, 어떤 종은 즉시 무기화되는 종도 있음을 보고하였다.

한편 동백나무 낙엽의 C/N비는 94.87로 나타났고, 분해가 진행되는 동안 C/N비는 점차 감소하여 731일 경과 후에는 32.36까지 낮아졌다(Figure 4). Won *et al.*(2012)은 가시나무의 초기 C/N은 22.4, C/P는 41.7임을 보고하였다. 낙엽의 분해과정에 따른 C/P비의 양상은 C/N비와 매우 유사한 경향을 나타내었다. 동백나무 낙엽의 C/P비율은 1368.5였으며 731일 경과 후에는 489.2까지 낮아졌다(Figure 4). 낙엽의 종류에 따라 C/P비는 다양한데 Xu and Hirata(2005)는 1639-3811의 범위를, Gosz *et al.*(1973)은 200-480을 제시하였는데 동백나무의 경우에는 그 중간을 보였다. 더구나 Xu and Hirata(2005)는 7가지 종류의 낙엽 분해에 대하여 C/N과 C/P는 음의 상관관계를 나타내고, 질소와 인의 농도는 양의 상관관계를 보인다는 것을 찾았고, C/P의 값이 모든 종에서 분해 초기에는 빠르게 줄어든다고 보고하였다.

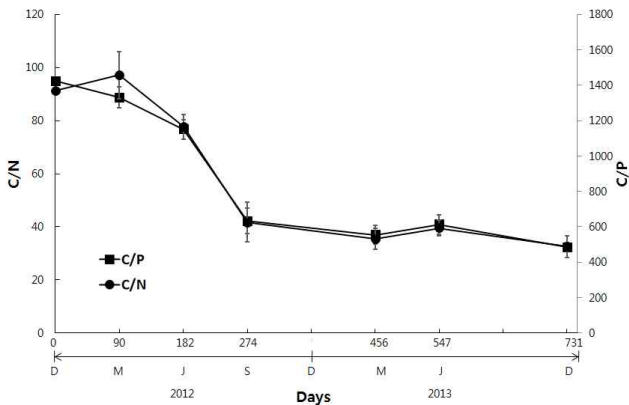


Figure 4. Changes in C/N, C/P of decomposing leaf litter of *C. japonica* on the forest floor in evergreen broadleaf forest in Judo island. Bars indicate standard deviations

동백나무 낙엽의 분해과정에 따른 각 영양원소 함량의 변화는 Figure 5와 같다. 조사된 영양원소 모두는 낙엽 분해 중에 순 무기화 양상을 나타내었다. 나트륨, 칼륨 등과 같은 영양원소는 수용성 물질과 같이 분해초기에 쉽게 용탈되는 것으로 알려져 있다(Swift *et al.*, 1979; Bockheim *et al.*, 1991; Laskowski *et al.*, 1995). 4종류의 영양원소들은 분해 초기에 빠르게 용탈되는 모습을 나타냈다. 낙엽 내의 칼륨 함량은 분해의 초기에 모든 집단에서 급격한 용탈을 보여

분해 시작 731일 후 초기 함량의 8.9%의 잔존율을 보였다. 그러나 꾸준히 빠른 감소를 보인 칼륨을 제외하고, 나머지 원소들은 시간이 지남에 따라 낙엽 건중량의 감소양상과 큰 차이를 나타내지 않았다. 이러한 결과는 중국의 아열대림에서 수관층을 형성하는 7종의 낙엽분해에서도 같은 결과를 보였다(Xu *et al.*, 2006). 분해 중인 낙엽의 칼륨 함량은 초기에 빠르게 감소하는 것으로 보고되어 있다(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). 칼륨은 낙엽의 구조 물질이 아니기 때문에 세탈에 의한 영향을 많이 받기 때문이다(Gosz *et al.*, 1973; Lousier and Parkinson, 1978; Xu *et al.*, 2004). 칼슘의 경우 건중량의 감소보다는 다소 느리지만, 꾸준히 감소하는 양상을 나타내어 분해 과정 중에 부동화가 일어나지 않는 것으로 조사되었다. 칼슘은 식물의 구조를 이루는 조직의 구성 성분인 관계로 다른 성분에 비하여 용출이 적다고 보고된 바 있다(Gosz *et al.*, 1973; Edmonds and Thomas, 1995; Kim *et al.*, 2003). 분해 중인 동백나무 낙엽의 마그네슘 함량의 변화는 칼슘과 같이 꾸준히 감소하는 양상을 나타내었다.

동백나무의 낙엽은 Won *et al.*(2012)이 상록 활엽수인 가시나무의 낙엽에서 질소와 인을 포함한 여러 원소들이 모두 부동화 기간 없이 무기화가 일어난다고 발표한 결과와는 다르게 일부 원소들이 부동화를 나타내는 양상을 나타내었다.

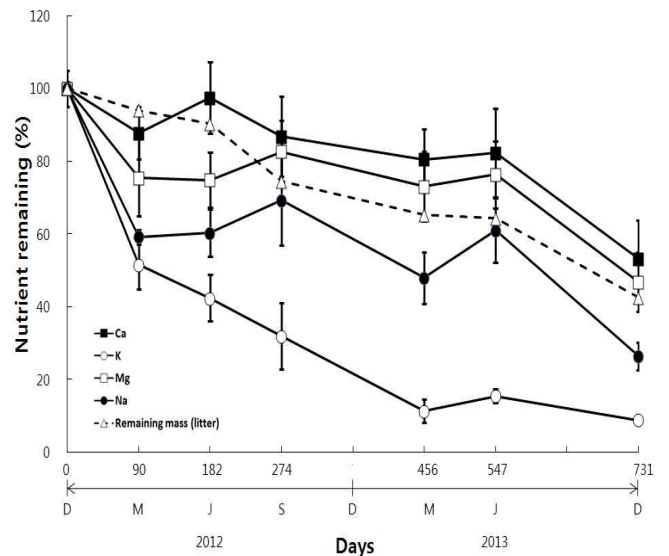


Figure 5. Changes in Ca, K, Mg, Na in the decomposing leaf litter of *C. japonica* on the forest floor in evergreen broadleaf forest in Judo island. Bars indicate standard deviations

REFERENCES

- Berg, B., and R. Laskowski(2005) Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. Advances in ecological research vol. 38. Elsevier Academic Press, London, UK.
- Berg, B., and C. McClaugherty(2008) Plant litter. Decomposition, humus formation, carbon sequestration. 2nd Ed Springer-Verlag, Heidelberg. Germany.
- Bocock, K. L.(1962) Changes in the amount of dry matter, nitrogen, carbon and energy in decomposing woodland leaf litter in relation to the soil fauna. *Journal of Ecology* 52: 273-284.
- 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. *Canadian Journal of Forest Research*. 21: 803-812.
- Brinson, M.M.(1977) Decomposition and nutrient exchange of litter in an Alluvial swamp forest. *Ecology* 58(3): 601-609.
- Chang, N.K. and S.E. Han(1985) A study on the production and decomposition of litters of evergreen broadleaved forests in Haenam and Koje-do. *Korean journal of Ecology* 8(3): 163-169. (in Korean with English abstract)
- Chang, N.K. and Y.W. Leem(1986) Comparison of the pine litter decomposition and microbial population change at Youngwal with those at Sinlim. *Journal of Ecology and Environment* 9(1): 9-18. (in Korean with English abstract)
- Chang, N.K. and M.A. Chung(1986) A study on the production and decomposition of litters along altitude of Mt. Dokyoo. *Journal of Ecology and Environment* 9(4): 185-192. (in Korean with English abstract)
- Chang, N.K., B.K. Kim and D.K. Lee(1991) Dynamics of plant communities under human impact in the green belt nearby Seoul - The balance of litter production and decomposition in the forests -. *Journal of Ecology and Environment* 14(2): 171-179. (in Korean with English abstract)
- Cotrufo, M.F., M.J.I. Briones and P. Ineson(1998) Elevated CO₂ effects, field decomposition rate and palatability of tree leaf litter : Importance of change in substrate quality. *Soil Biology Biochemistry* 30(12): 1565-1571.
- Cunha-Santino, M.B. D., L.D. Pacobahyba, and I. Bianchini Jr(2003) Changes in the amount of soluble carbohydrates and polyphenols contents during decomposition of *Montrichardia arborescens* (L.) Schott. *Acta Amazonica* 33(3): 469-476.
- 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. *Canadian Journal of Forest Research* 25(7): 1049-1057.
- Fahey, T.J.(1983) Nutrient dynamics of aboveground detritus in lodgepole pine(*Pinus contorta* ssp. *latifolia*) ecosystems, southeastern Wyoming. *Ecological monographs* 53(1): 51-72.
- Gessner, M.O.(1991) Differences in processing dynamics of fresh and dried leaf litter in a stream ecosystem. *Freshwater Biology* 26(3): 387-398.
- 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. *Ecological monographs* 43: 173-191.
- Han, Y.S.(2014). A study on carbon distribution and budget of dominant plant community in gotjawal, Jeju island. M.S. thesis, Univ. of Kongju, Kongju, Korea, 19pp. (in Korean with English abstract)
- Heal, O.W., J.M. Anderson and M.J. Swift(1997). Plant litter quality and decomposition: an historical overview. Driven by nature: plant litter quality and decomposition. CAB International Wallingford, UK.
- Huang, J., X. Wang and E. Yan(2007) Leaf nutrient concentration, nutrient resorption and litter decomposition in an evergreen broad-leaved forest in eastern China. *Forest Ecology and Management* 239(1): 150-158.
- 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. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 5(2): 87-93.
- Klemmedson, J.O., C.E. Meier and R.E. Campbell(1985) Needle decomposition and nutrient release in ponderosa pine ecosystems. *Forest Science* 31: 647-660.
- Laskowski, R., M. Niklinska, and M. Maryanski(1995) The dynamics of chemical elements in forest litter. *Ecology* 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. Gyebang. *Journal of Ecology and Field biology* 29(6): 585-591. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.E.(2015) A study on decomposition of leaf litter of evergreen broad-leaved trees in Ju-do.. M.S. thesis, Univ. of Chung-ang, Seoul, Korea, 24pp. (in Korean with English abstract)
- Lim S. M., S. S. Cha and J. K. Shim(2011) Effects of simulated acid rain on microbial activities and litter decomposition. *Journal of Ecology and Field Biology* 34(4): 401-410.
- Lousier, J.D. and D. Parkinson(1978) Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. *Canadian Journal of Botany* 56(21): 2,795-2,812.
- Luo, Z., B. Ding, X. Mi, J. Yu, and Y. Wu(2009). Distribution patterns of tree species in an evergreen broadleaved forest in eastern China. *Frontiers of Biology in China* 4(4): 531-538.
- MacLean, D.A., and R.W. Wein(1978). Weight loss and nutrient

- changes in decomposing litter and forest floor material in New Brunswick forest stands. *Canadian Journal of Botany* 56(21): 2730-2749.
- Melillo, J.M., H.D. Aber and J.F. Muratore(1982) Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*. 63(3): 621-626.
- Millar, C.S.(1974). Decomposition of coniferous leaf litter. In biology of plant litter decomposition Vol 1. (Eds. C.H. Dickinson, G.J.F. Pugh), Academic press, London, 105pp.
- Mun, H.T.(2009) Weight loss and nutrient dynamics during leaf litter decomposition of *Quercus mongolica* in Mt. Worak National Park. *Journal of Ecology and Field biology* 32(2): 123-127. (in Korean with English abstract)
- 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. *Journal of Ecology and Environment*, 15(2): 147-155. (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. *Journal of Ecology and Field biology* 31(4): 291-295. (in Korean with English abstract)
- Namgung, J. and H.T. Mun(2009) Litterfall and nutrient input via litterfall in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. *Kor. J. Env. Ecol.* 27(3): 261-264. (in Korean with English abstract)
- Piao, S., J.Y. Fang, W. Ji, Q.H. Guo, J.H. Ke, and S. Tao(2004). Variation in a satellite-based vegetation index in relation to climate in China. *Journal of Vegetation Science* 15(2): 219-226.
- Rowland A. P. and J. D. Roberts(1994) Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. *Commun Soil Sci Plant Ana.* 25: 269-277.
- Sariyildiz, T. and J. M. Anderson(2003) Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study. *Soil Biology and Biochemistry* 35(3): 391-399.
- Seereeram, S. and P. Lavender(2003) Analysis of leaf litter to establish its suitability for compositing to produce a commercially saleable product. A Report Prepared for SWAP. *Aqua Enviro.*, 18pp.
- Staaf, H., and B. Berg(1981) Plant litter input to soil. *Terrestrial nitrogen cycles* 33: 147-162.
- Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson(1979) *Decomposition in terrestrial ecosystems* (Vol. 5). Univ. of California Press, Berkeley and Los Angeles. 372pp.
- Xu, X., E. Hirata, T. Enoki and Y. Tokashiki(2004) Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. *Plant Ecology*. 173(2): 161-170.
- Xu, X. and E. Hirata(2005) Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics. *Plant and soil*, 273(1): 279-289.
- Xu, X., H. Shibata and T. Enoki(2006) Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: dynamics of mineral nutrients. *Journal of Forestry Research* 17(1): 1-6.
- Yim, Y.J. and T. Kira(1975) Distribution of forest vegetation and climate in the Korea peninsula; I. Distribution of some indices of thermal climate. *Jap. J. Ecol.* 25(2): 77-88.
- Yim, Y.J. and W.T. Lee(1976) On the Vegetations of Judo and Gamageum. *Journal of Plant Biology* 19(2): 49-61. (in Korean with English abstract)
- 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)
- Wang, X.H., M. Kent, and X.F. Fang(2007). Evergreen broad-leaved forest in Eastern China: its ecology and conservation and the importance of resprouting in forest restoration. *Forest Ecology and Management* 245(1): 76-87.
- Won, H.Y., K.H Oh, J.H Pyo and H.T Mun(2012) Decay rate and nutrient dynamics during litter decomposition of *Quercus acutissima* and *Quercus mysinaefolia* Kor. *J. Env. Ecol.* 26(1): 74-81. (in Korean with English abstract)
- Won, H.Y., D.K. Kim, K.J. Lee, S.B. Park, J.S. Choi and H.T. Mun(2014) Long term decomposition and nutrients dynamics of *Quercus mongolica* and *Pinus densiflora* leaf litter in Mt. Worak National Park. *Kor. J. Env. Ecol.* 28(5): 566-573. (in Korean with English abstract)
- Zimmer, M.(2002) Is decomposition of woodland leaf litter influenced by its species richness?. *Soil Biology and Biochemistry* 34(2): 277-284.