

천관산(전남 장흥군) 동백나무(*Camellia japonica*) 천연림의 현존량과 무기영양소 분포

황재홍\* · 이상태 · 김병부 · 권봉삼 · 신현철 · 이경재 · 박남창  
국립산림과학원 남부산림연구소

Standing Biomass and Inorganic Nutrients Distribution for a *Camellia japonica* Stand at Mt. Cheon-gwan(Janghueng-gun, Jeonnam)

Jaehong Hwang<sup>\*</sup>, Sang-Tae Lee, Byeong-Bu Kim, Bong-Sam Kwon, Hyun-Cheol Shin, Kyung-Jae Lee and Nam-Chang Park

Southern Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju, 660-300, Korea

**ABSTRACT:** This study was carried out to estimate above-ground biomass and inorganic nutrient distribution for a *Camellia japonica* stand located Mt. Cheon-gwan, Jeonnam province. Regression analysis of biomass for stem, current twig, branch and foliage versus diameter at breast height(DBH) was used to calculate regression equations of the form of  $\log Y = a + b \log D$  ( $Y$ : component biomass,  $D$ : DBH). Total above-ground biomass for a *Camellia japonica* stand was 115.2 ton/ha(47.9 for main stem, 1.4 for current twig, 53.4 for live and dead branch, 5.6 for current foliage and 6.9 for  $\geq 1$ -yr-old foliage). Component biomass was non-linearly correlated with DBH, and the difference in biomass between  $\geq 1$ -yr-old and current foliage increased in proportion to DBH. Current foliage and live branch showed higher N, P and K concentrations compared to  $\geq 1$ -yr-old foliage and dead branch, respectively. However, Ca concentration of current foliage and live branch was lower than that of  $\geq 1$ -yr-old foliage and dead branch, respectively. Total above-ground inorganic nutrient contents(kg/ha) were distributed as follows; K: 366.4, N: 442.7, Ca: 433.3, Mg: 118.4, P: 50.5 and Na: 25.3. The proportions of inorganic nutrient content for live branch were generally the highest in all the inorganic nutrients.

**Key words:** Above-ground standing biomass, Allometric regression equation, *Camellia japonica*, Inorganic nutrient distribution

서론

현재 진행 중인 지구 온난화로 인해 주로 남해안에만 분포하고 있는 동백나무와 가시나무 등의 상록활엽수림은 북위 37° 부근까지 북상하고 중부와 북부지방의 대부분은 개서어나무, 서어나무, 신갈나무 등의 냉온대 낙엽활엽수림으로 덮이게 될 것이라 예상되고 있다(김과 길 1996). 따라서, 이들 종의 분포 변화와 관련한 연구와 더불어 탄소 저장원으로서 산림의 기능이 중요하게 인식되고 있는 시점에서 지상부 생체량과 관련한 연구도 최근 많은 관심을 받는 주제로 부각되고 있어, 우리나라 남부지방의 주요 상록활엽수인 동백나무를 대상으로 한 생체량 추정

에 관한 연구는 어느 때보다 중요한 연구 과제로 인식되고 있다. 현재 국외에서는 기온 상승 및 대기 중 이산화탄소 농도 변화가 생체량 변화에 미치는 연구가 활발히 수행되고 있으며(Häger *et al.* 1999, Hobbie and Chapin 1998, Kubiske *et al.* 1998,

Kirschbaum 1999), 이와 같은 임분 내 물질 생산 및 생체량 조사와 관련한 연구는 임분 내 탄소 저장량 극대화를 위한 시업 및 임분 관리를 목적으로 최근 그 관심이 증가하고 있다. 또한, 지상부에 국한되지 않고 지하부 내에 존재하는 뿌리의 생체량으로까지 그 관심이 확대되고 있는 실정이다(이 2001, Cairns *et al.* 1997, Steele *et al.* 1997).

지금까지 천연림 생태계 내 지상부 생체량과 관련된 연구는 주로 중부지방을 중심으로 한 참나무 임분을 대상으로 이루어져 왔으며(이 등 1987, 박 1999, 박과 이 2001, Son *et al.* 2004), 자작나무와 가래나무 등 일부 특수 조림지를 대상으로 한 물질 생산에 관한 연구(박 등 2000) 및 쉬나무의 부위별 생체량과 관련한 연구가 수행된 바 있다(이와 홍 1991). 침엽수종의 경우 리기다소나무, 낙엽송, 소나무, 잣나무 및 편백 등 인공 조림지를 대상으로 지상부 현존량에 관한 연구가 이루어졌다(박과 이 1990, 김 등 1996, 김 등 1999, Son *et al.* 2001). 해외에서는 Chapman과 Gower(1991)가 미국 Wisconsin 주의 sugar maple(*Acer*

\* Corresponding author; Phone: +82-55-760-5012, e-mail: jhwang@foa.go.kr

saccharum)과 red oak(*Quercus rubra*)를 대상으로 지상부의 물질 생산량을 추정한 바 있으며, 인근 지역에서 여러 임분간 비교 시험을 수행하였고(Gower *et al.* 1997), 시비에 따른 지상부 생체량 변화에 관한 연구도 수행된 바 있다(Ingerslev and Hallbäck 1999). 난대 수종을 대상으로 한 물질 생산 연구는 이와 김(1988)이 완도군 내 후박나무림에 대하여 연구를 수행한 바 있으며, 박과 류(1996)는 왕대속 대나무림의 물질 생산 및 무기영양소 분배에 관하여 연구를 수행한 바 있다. 하지만, 주요 난대 수종 중 제주도를 포함한 남부지방에서 구실갯밤나무에 이어 가장 많은 분포면적을 차지하고 있는 동백나무에 대한 생체량 및 무기영양소 분포와 관련한 연구는 전무한 실정이다.

동백나무는 상록활엽의 소교목으로 인천시 옹진군 대청면이 최북단 분포지역이고 울릉도에도 자라지만 주로 남쪽 해안에 분포하며, 품종 분화가 가장 많은 종으로 자원식물로서도 보존 및 활용 가치가 높다(이와 김 1992). 본 연구는 우리나라 남부지방 주요 상록활엽수의 하나로 탄소 저장원과 열매의 기름 성분 이용 등의 이용 가치가 있는 동백나무를 대상으로 부위별 지상부 현존량을 추정하고 주요 무기영양소의 분포를 파악하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

조사지 개황

본 연구는 전남 장흥군 천관산 동백나무 천연 임분(34° 33' 10" N, 126° 52' 77" E)을 대상으로 실시하였다. 출현하는 주요 하층 수종은 초피나무(*Zanthoxylum piperium*), 비목나무(*Lindera erythrocarpa*), 작살나무(*Callicarpa japonica*), 싸리(*Lespedeza bicolor*), 생달나무(*Cinnamomum japonicum*), 섬딸기(*Rubus ribesioideus*) 등이었다. 조사지 동백나무 임분 인근 장흥지역의 최근 10년간 1월과 8월 평균 기온은 각각 0.8°C, 25.0°C였고 평균 강수량은 1,552 mm이었다. 조사 지역의 임분과 토양 특성은 Table 1과 2에 제시하였다.

Table 1. Stand characteristics for a *Camellia japonica* stand

Aspect	Slope (°)	Elevation (m)	No. of trees/ha	DBH(cm)		Basal area (m <sup>2</sup> /ha)
				Range	Mean	
N	15	220~250	1,367	4.7~24.8	13.75	31.25

Table 2. Physical and chemical soil characteristics (0~15 cm depth) for a *Camellia japonica* stand

Soil texture	pH (1:5, H <sub>2</sub> O)	Org. C (g/kg)	T-N (g/kg)	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	C.E.C (2.05)	K <sup>+</sup> (0.09)	Ca <sup>2+</sup> (1.68)	Mg <sup>2+</sup> (0.38)	Na <sup>+</sup> (0.03)
SL	4.42 (0.17)	68.0 (5.01)	6.04 (0.64)	13.18 (2.79)	11.72 (2.05)	0.45 (0.09)	4.22 (1.68)	1.05 (0.38)	0.13 (0.03)

Values in parenthesis are one standard error of the mean.

조사 방법

2004년 9월 초 동백나무 임분 내 20 m × 20 m 크기의 조사구 3개를 설정한 후 흉고직경 6cm 이상의 개체를 대상으로 흉고직경, 수고 및 수관폭을 측정하고, 경사, 방위, 표고 등 기초적인 임분 조사를 실시하였다. 조사 결과를 바탕으로 생체량 추정 회귀식을 도출하기 위하여 경급에 따라 2 cm 간격으로 9분의 표본목을 조사구 밖에서 선정한 다음 지상 20 cm 지점에서 벌채하여 수간석해에 의한 방법으로 벌채한 후 부위별(수간, 가지, 엽)로 분류하고 그 중 가지는 당년에 생성된 소가지, 생지(生枝) 및 고사지로, 엽은 당년생과 1년생 이상으로 구분하였다. 부위별로 채취된 시료는 현장에서 생중량을 측정하였으며, 건중량 측정을 위하여 생중량 시료의 일부를 실험실로 운반하여 80°C에서 항량이 될 때까지 건조시켰다. 건조된 시료는 각 부위별 건중량 대 생중량 비에 의하여 부위별 건중량 비를 산출하였으며, 이에 따라 전체 생체량을 환산 추정하였다.

채취된 시료를 바탕으로 생체량 추정식을 검정하였으며, 임분의 특성상 정확한 수고의 측정이 어려운 점을 감안하여 현실적으로 많이 적용될 수 있는 흉고 직경 단일 변수에 의한 방법을 적용하였는데, 현재 대수 회귀식 중에서 비교적 적합도와 실용성이 높은 흉고 직경 변수 모형을 적용하였다(박과 문 1994, 박과 류 1996, 이와 김 1988, Son *et al.* 2004). 생체량 추정에 적용된 대수회귀식(log Y = a + b log D, Y: 중량, D: 흉고직경)의 검정은 결정계수 값인 r<sup>2</sup>(coefficient of determination)와 root MSE의 통계량 값을 적용하였다(국립산림과학원, 2004). 또한, 도출된 현존량 추정식을 이용하여 동백나무의 ha당 지상부 생체량을 산출하였다.

무기영양소 분석

토양 분석용 시료는 각 조사구 내 3곳에서 낙엽층을 걷어 낸 후 직경 5 cm 토양 채취기를 이용하여 토심 15 cm까지의 시료를 채취하였으며, 채취한 토양 시료는 충분히 기건시킨 후 2 mm체로 친 다음 무기영양소 분석에 이용하였다. 토양 무기영양소 분석은 농업기술연구소(1988)에 준하여 실시하였다. 토양 pH는 pH meter(Orion 501)을 이용하여 1:5 증류수법을 이용하였고, 전질소는 Indophenol-blue법, 유효인산은 Lancaster법, 유기탄소는 Tyurin법, 양이온 치환 용량은 간이법, 치환성 양이온은 ammonium acetate로 침출하여 ICP(optima 4300D, Perkin Elmer)로 각각 측정하였다. 식물체 시료(수간, 가지, 엽)의 전질소는 Indophenol-

blue법으로 분석하였고, 습식분해 후 인산은 ammonium vanadate 법, K, Ca, Mg, 및 Na는 ICP를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

부위별 생체량 추정식

흉고 직경을 독립변수로 한 지상부 생체량 추정식은 Table 3에 제시하였다. 부위별 생체량 추정식은 고사지를 제외하고 일반적으로 높은 결정계수 값을 나타내었다. 당년생 엽과 소지(小枝)의 결정계수 값이 가장 높았으며, 주간, 생지, 그리고 1년생 이상 엽의 순이었다. 고사지 생체량 추정식의 결정계수 값이 가장 작은 것은 기존의 다른 연구 결과에서도 나타나는데(이 등 1987, 박과 이 2001, Son et al. 2001), 이는 불규칙적으로 발생하는 고사지의 자연 낙지와 별체 과정에서 발생하는 고사지 손실이 그 원인으로 추측된다. 전체 생체량 추정을 위한 추정식의 결정계수는 0.921로 나타나, 흉고직경 측정에 따른 전체 임분의 생체량 추정에 적합함을 알 수 있었는데, Kim et al.(1995)이 리기다소나무와 낙엽송을 대상으로 조사한 추정식의 결정 계수 값(리기다소나무: 0.891, 낙엽송: 0.903)보다 높았다. 하지만 전체 생체량 추정을 위한 추정식의 결정계수 값은 박(1999)이 각각 신갈나무와 굴참나무를 대상으로 조사한 전체 생체량 추정식의 결정 계수값인 0.98과 0.99 및 Son et al.(2001)이 잣나무를 대상으로 추정된 지상부 전체 생체량 추정식의 결정계수 값인 0.97보다는 낮았다.

지상부 생체량 추정

조사지 동백나무 임분 전체 부위별 생체량의 합은 115.2 ton/ha로 나타났는데, 전체 생체량 추정식에 의해 도출된 118.5 ton/ha과 유사하였다(Table 4). 동백나무 임분 전체 생체량은 이와 김(1988)이 주요 난대 수종 중 하나인 후박나무 임분(평균 흉

Table 4. Tree components biomass (ton/ha) for a *Camellia japonica* stand

Main stem (stem+bark)	Current twig	Branch		Foliage		Total
		Live	Dead	Current	≥1-yr-old	
47.9 (41.6%)	1.4 (1.2%)	53.1 (46.0%)	0.3 (0.3%)	5.6 (4.9%)	6.9 (6.0%)	115.2 (100%)

고 직경 10.3 cm)을 대상으로 조사한 지상부 생체량 123.71 ton/ha 및 박과 문(1994)이 보고한 졸참나무림(평균 흉고 직경 12.6 cm)과 신갈나무림(평균 흉고 직경 12.9 cm)의 지상부 생체량(졸참나무림: 115.3 ton/ha, 신갈나무림: 118.8 ton/ha)과 유사하였다. 하지만, Son et al.(2004)이 우리나라 중부지방 천연 참나무 임분을 대상으로 조사한 지상부 전체 생체량(119.46~224.12 ton/ha)과 박과 문(1994)이 보고한 상수리나무림(평균 흉고 직경 14.3 cm)과 굴참나무림(평균 흉고 직경 14.6 cm)의 지상부 생체량(상수리나무: 164.0 ton/ha, 굴참나무: 158.9 ton/ha) 및 이 등(1987)이 태화산의 29년생 상수리나무 임분의 지상부 생체량으로 보고한 189.1 ton/ha보다는 적었다. 한편, 동백나무 지상부 생체량은 박과 이(2002)가 남부지방 광양, 무주 및 포항 지역 졸참나무 임분을 대상으로 보고한 지상부 생체량(42.00~88.32 ton/ha)보다 많았으며, 최와 박(1993)이 보고한 굴참나무 천연 임분 (31.28 ton/ha)과 본 연구와 임분 밀도가 유사한 17년생 현사시나무 인공림 (55.58 ton/ha)을 대상으로 조사한 지상부 생체량보다 많았다.

부위별 동백나무의 생체량은 주간이 47.9 ton/ha로 전체의 42%를 차지하였으며, 당년생 소지와 고사지를 제외한 전체 가지는 53.1 ton/ha로 전체의 46%를 차지하였다(Table 4). 당년생 엽은 5.6 ton/ha로 1년생 이상 엽의 6.6 ton/ha보다 적었다. 동백나무의 전체 지상부 생체량 중 주간이 차지하는 비율은 김 등(1996)이 조사한 전체 지상부 생체량 중 수피를 포함한 주간이 차지하는 비율인 리기다소나무의 78%와 낙엽송의 81%와 비교하면 상당히 낮음을 알 수 있다. 이러한 차이는 원추형의 수관을 형성하며 주간이 주로 발달하는 침엽수와 달리 동백나무는 둥근 수형을 형성하며 주간 이외에 측지의 성장도 활발하기 때문으로 판단되며, 이러한 경향은 경급이 커질수록 확연하게 증가하였다. 즉, 동백나무는 경급에 따라 전체 생체량 중 각 부위의 생체량이 차지하는 비율이 변화하였다(Fig. 1). 경급이 작은 동백나무의 경우 수고 2.2 m에서 주간이 차지하는 비중이 가지와 엽보다 컸으나, 경급이 증가할수록 오히려 주간보다는 가지와 엽이 차지하는 비중이 증가하였다. 또한, 개체목 내에서도 수고가 증가하면서 주간이 차지하는 생체량 비중보다 엽과 가지가 차지하는 비중이 항상 커지는 것으로 나타났다. 동백나무의 엽 전체 생체량(12.5 ton/ha)은 이와 김(1988)이 보고한 후박나무 임분 내 엽 생체량(11.6 ton/ha)과 비슷하였으나, 박과 이(2001)가 굴참나무 임분을 대상으로 보고한 지상부 엽 생체량(2.10~2.47 ton/ha)과 박 등(2000)이 보고한 자작나무(2.77 ton/ha)와 가래나무 임분(2.48 ton/ha)의 엽 생체량 및 Son et al.(2004)이 보고한

Table 3. Regressions of above-ground component biomass for a *Camellia japonica* stand

Component	a	b	r <sup>2</sup>	Root MSE	
Main stem	5.355	1.881	0.936	0.227	
Current twig	0.874	2.226	0.951	0.233	
Live branch	2.225	3.031	0.890	0.490	
Dead branch	-0.163	2.014	0.736	0.555	
Foliage	current	3.145	1.902	0.951	0.199
	≥1-yr-old	3.260	1.940	0.869	0.347
Total	5.050	2.315	0.921	0.313	

Equations follow the form  $\log Y = a + b \log D$ , where  $Y$  is component dry mass(g),  $D$  is diameter at breast height(cm),  $a$  and  $b$ : regression coefficients;  $r^2$ : coefficient of determination

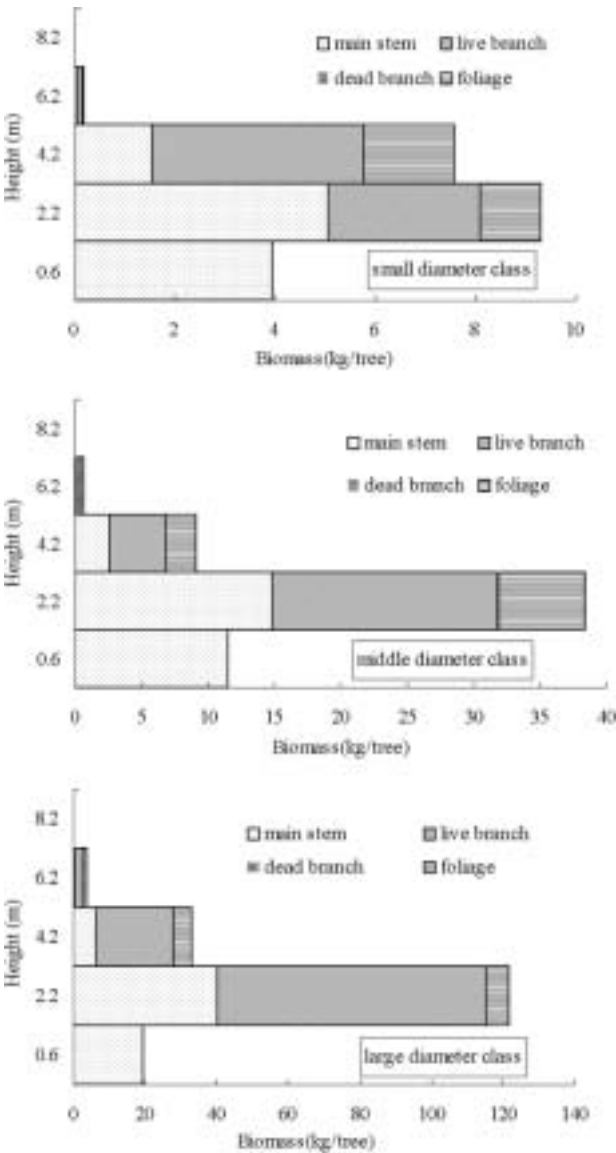


Fig. 1. Vertical biomass distribution related to diameter class for a *Camellia japonica* stand (small diameter class: <11 cm, middle diameter class: 11~18 cm, large diameter class: >18 cm).

우리나라 중부 지방 천연 참나무 임분의 지상부 엽 생체량 (2.45~4.70 ton/ha)보다 상당히 높게 나타나 동백나무 등 난대 상록활엽수의 생체량 중 엽이 차지하는 비중이 낙엽활엽수에 비해 상당히 높음을 알 수 있었다. 한편, 1년생 이상 엽은 흉고직경이 증가할수록 당년생 엽과의 생체량 차이가 커지는 경향을 보였다.

부위별 무기영양소 농도 및 분포

동백나무 임목 부위별 무기영양소 농도는 Table 5에 제시하였다. 부위별 질소는 당년생 엽의 농도가 가장 높았으며 1년생 이상 엽, 당년생, 수피, 생지, 수간 목질부의 순이었으며, 인산은

Table 5. Inorganic nutrient concentrations (%) of each component for a *Camellia japonica* stand

Component	N	P	K	Ca	Mg	Na	
Stem wood	0.160 (0.012)	0.019 (0.002)	0.163 (0.013)	0.113 (0.015)	0.037 (0.005)	0.017 (0.002)	
Stem bark	0.588 (0.027)	0.058 (0.002)	0.727 (0.037)	0.792 (0.023)	0.200 (0.007)	0.015 (0.002)	
Current twig	0.663 (0.034)	0.100 (0.005)	0.537 (0.025)	0.541 (0.037)	0.200 (0.008)	0.022 (0.003)	
Branch	Live	0.413 (0.032)	0.060 (0.004)	0.377 (0.017)	0.464 (0.037)	0.121 (0.010)	0.024 (0.002)
	Dead	0.380 (0.045)	0.035 (0.003)	0.238 (0.024)	0.605 (0.060)	0.126 (0.010)	0.028 (0.002)
Foliage	Current	0.934 (0.048)	0.073 (0.004)	0.737 (0.039)	0.776 (0.061)	0.287 (0.012)	0.028 (0.003)
	≥1-yr-old	0.775 (0.036)	0.061 (0.002)	0.560 (0.030)	1.156 (0.094)	0.252 (0.022)	0.038 (0.004)

Values in parenthesis are one standard error of the mean.

당년생의 농도가 가장 높았고 엽, 생지, 수피, 고사지, 수간 목질부 순이었다. 생지의 질소, 인산, 칼륨 농도는 고사지보다 높았으나, 칼슘 농도는 고사지가 생지의 농도보다 높았다. 당년생 엽도 1년생 이상의 엽보다 질소, 인산, 칼륨의 농도가 높았으나, 칼슘과 나트륨의 농도는 오히려 1년생 이상 엽의 농도가 높았다.

부위별 무기영양소 농도는 Son *et al.*(2004)이 굴참나무를 대상으로 조사한 결과와 비교하면 질소는 모든 부위의 경향이 비슷하였지만, 엽의 경우 굴참나무 엽의 질소 농도(1.95%)보다 낮았으며, 부위별 인산 농도는 대체로 동백나무가 높았다. 칼륨은 수피를 제외하고 대체로 굴참나무보다 낮은 경향이었으며, 당년생 가지의 칼슘 농도는 굴참나무 당년생 가지의 농도(1.403%)보다 상당히 낮았다. 동백나무의 마그네슘 농도는 굴참나무의 부위별 농도보다 높은 경향이었고, 나트륨 농도는 대체로 낮았다. 한편, 동백나무의 부위별 무기영양소 농도는 김 등(1996)이 리기다소나무와 낙엽송을 대상으로 보고한 부위별 질소 및 인산 농도보다 주간, 수피, 가지의 농도는 높았으나 엽은 낮은 것으로 조사되었다.

동백나무 임분 각 부위별 무기영양소 분포를 Fig. 2에 제시하였다. 주요 무기영양소 함량(kg/ha)은 질소 442.7, 칼슘 433.3, 칼륨 366.4, 마그네슘 118.4, 인산 50.5 및 나트륨 25.3으로 조사되었다. 본 결과는 이 등(1987)이 보고한 태화산의 29년생 상수리나무 임분의 지상부 무기영양소 함량(질소 589.5 kg/ha, 인산 85.88 kg/ha, 칼륨 628.95 kg/ha)보다 적었으며, Son *et al.*(2004)이 중부지방 천연 참나무 임분을 대상으로 조사한 무기영양소 함량(kg/ha) (N: 471~839, P: 37~71, K: 478~860, Ca: 428~791, Mg:

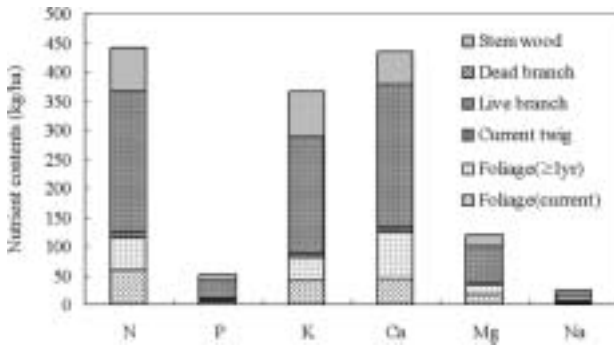


Fig. 2. Distribution of inorganic nutrients in the plant tissues for a *Camellia japonica* stand.

72~125, Na: 77~141)과는 유사한 범위에 있었다. 한편, 김 등 (1996)이 보고한 리기다소나무와 낙엽송 임분 내의 질소(리기다소나무: 201.9 kg/ha, 낙엽송: 205.3 kg/ha)와 인산 함량(리기다소나무: 38.0 kg/ha, 낙엽송: 30.0 kg/ha)과 비교하면 높은 함량을 나타내었다.

전체 무기영양소 함량 중에서 생지 내 무기영양소 함량이 차지하는 비중이 가장 높게 나타났으며, 엽은 전체 지상부 생체량 중 약 12.5%를 차지하는 것으로 추정되었으나, 무기영양소 함량의 경우 질소 25.9%, 인산 16.5%, 칼륨 21.8%, 칼슘 28.4%, 마그네슘 28.3%, 나트륨 16.5%를 차지하는 것으로 조사되어 무기영양소 분포는 생체량보다 무기영양소 농도에 의해 많은 영향을 받는 것으로 조사되었다.

적 요

본 연구는 우리나라 난대 지역에 분포하는 주요 상록수종 중 하나인 동백나무 임분을 대상으로 각 부위별 지상부 생체량을 추정하고, 주요 무기영양소의 분포를 파악하기 위하여 실시하였다. 조사지는 전남 장흥군 천관산 내 동백나무 임분에서 실시하였으며, 부위별 생체량 추정식은 흉고 직경 단일 변수에 의한 직경 변수 모형을 적용하였다( $\log Y = a + b \log D$ ,  $Y$ : 중량,  $D$ : 흉고 직경). 동백나무 임분의 부위별 생체량(ton/ha)은 주간 47.9, 당년생 소지(小枝) 1.4, 1년생 이상 가지 전체 53.4, 엽 12.5로 추정되었으며, 전체 지상부 생체량은 115.2 ton/ha이었다. 동백나무 부위별 생체량은 흉고 직경과 비선형 관계에 있었으며, 1년생 이상 엽은 흉고직경이 증가할수록 당년생 엽과의 생체량 차이가 커지는 경향을 보였다. 생지의 질소, 인산, 칼륨 농도는 고사지보다 높았으나, 칼슘 농도는 고사지가 생지보다 높았고, 당년생 엽도 1년생 이상 엽보다 질소, 인산, 칼륨 농도가 높았으나, 칼슘과 나트륨 농도는 오히려 1년생 이상 엽의 농도가 높았다. 주요 무기영양소 함량(kg/ha)은 칼륨 366.4, 질소 442.7, 칼슘 433.3, 마그네슘 118.4, 인산 50.5 및 나트륨 25.3 순이었다. 모든 무기영양소 함량에서 생지 내에 함유된 무기영양소 함량의 비율이 수체 내에서 가장 높았다.

인용문헌

국립산림과학원. 2004. 주요 수종의 임목자원 평가 및 예측시스템. 125 p.

김정연, 김봉섭. 1996. 지구 온난화에 따른 한반도의 순1차생산력과 잠재자연식생의 변화 추정. 한국생태학회지 19(1): 1-7.

김종성, 손요환, 임주훈, 김진수. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 416-425.

김춘식, 원형규, 정진현. 1999. 경기도 광릉 리기다소나무 임분의 지상부 현존량과 양분축적 특성. 산림과학논문집 62: 1-7.

농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법(토양, 식물체, 토양미생물). 농촌진흥청. 농업기술연구소. 450 p.

박관수. 1999. 충주지역의 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 지상부 및 토양 중 탄소고정에 관한 연구. 한국임학회지 88(1): 93-100.

박관수, 송호경, 권기원. 2000. 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 89(2): 249-255.

박관수, 이승우. 2001. 공주, 포항, 그리고 양양 지역 굴참나무 천연림 생태계의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 90(6): 692-698.

박관수, 이승우. 2002. 광양, 무주, 포항 지역 굴참나무 천연림의 현존생물량 및 순생산량. 한국임학회지 91(6): 714-721.

박인협, 류석봉. 1996. 왕대속 대나무림의 물질생산 및 무기영양물 분배에 관한 연구. 한국임학회지 85(3): 453-461.

박인협, 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 83(2): 246-253.

박인협, 이석면. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2): 196-204.

이도형. 2001. 독일가문비(*Picea abies* [L.] Karst)의 지상부와 지하부 생체량에 관한 연구: 흉고직경에 의한 뿌리생체량 추정. 한국임학회지 90(3): 338-345.

이돈구, 이경재, 신준환, 이경학. 1987. 중부지방 삼림생태계의 물질생산 및 양료순환. 임산에너지 7(2): 15-32.

이선하, 김상구. 1992. 한국내 동백나무의 자생 분포 및 군락 특성. 한국원예학회지 33(2): 196-208.

이여하, 홍성각. 1991. 쉬나무의 바이오매스 연구. 임산에너지 11(1): 1-10.

이정석, 김춘식. 1988. 후박나무림의 물질생산량에 관하여. 한국임학회지 77(1): 10-16.

최영철, 박인협. 1993. 전남 모후산지역 굴참나무천연림과 현사시나무인공림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 82(2): 188-194.

Cairns, M.A., S. Brown, E.H. Helmer and G.A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111: 1-11.

Chapman, J.W. and S.T. Gower. 1991. Aboveground production and canopy dynamics in sugar maple and red oak trees in southwestern Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 21: 1533-1543.

Gower, S.T., J.G. Vogel, J.M. Norman, C.J. Kucharik, S.J. Steele and T.K. Stow. 1997. Carbon distribution and aboveground net primary production in aspen, jack pine, and black spruce stands in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *J. Geophys. Res.* 102(D24): 29029-29041.

Häger, C., G. Würth and G.H. Kohlmaier. 1999. Biomass of forest

- stands under climatic change: a German case study with the Frankfurt biosphere model(FBM). *Tellus* 51B: 385-401.
- Hobbie, S.E. and F.S. Chapin, III. 1998. The response of tundra plant biomass, aboveground production, nitrogen, and CO<sub>2</sub> flux to experimental warming. *Ecology* 79(5): 1526-1544.
- Ingerslev, M. and L. Hallbäcken. 1999. Above ground biomass and nutrient distribution in a limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies*) plantation, Part II, Accumulation of biomass and nutrients. *For. Ecol. Manage.* 119: 21-38.
- Kim, J.S., Y. Son and Z.S. Kim. 1995. Allometry and canopy dynamics of *Pinus rigida*, *Larix leptolepis* and *Quercus serrata* stands in Yangpyeong area. *J. Korean For. Soc.* 84(2): 186-197.
- Kirschbaum, M.U.F. 1999. Modelling forest growth and carbon storage in response to increasing CO<sub>2</sub> and temperature. *Tellus* 51B: 871-888.
- Kubiske, M.E., K.S. Pregitzer, D.R. Zak and C.J. Mikan. 1998. Growth and C allocation of *Populus tremuloides* genotypes in response to atmospheric CO<sub>2</sub> and soil N availability. *New Phytol.* 140: 251-260.
- Son, Y., J.W. Hwang, Z.S. Kim, W.K. Lee and J.S. Kim. 2001. Allometry and biomass of Korean pine(*Pinus koraiensis*) in central Korea. *Biores. Tech.* 78: 251-255.
- Son, Y., I.H. Park, M.J. Yi, H.O. Jin, D.Y. Kim, R.H. Kim and J.O. Hwang. 2004. Biomass, production and nutrient distribution of a natural oak forest in central Korea. *Ecol. Res.* 19: 21-28.
- Steele, S.J., S.T. Gower, J.G. Vogel and J.M. Norman. 1997. Root mass, net primary production and turnover in aspen, jack pine and black spruce forests in Saskatchewan and Manitoba, Canada. *Tree Physiol.* 17: 577-587.

(2005년 5월 21일 접수; 2005년 6월 14일 채택)

K C I