

## 잣나무 성장과 목질부내의 전질소, 탄소 및 질소 동위원소 조성과의 상관관계

이위영<sup>1\*</sup> · 박응준<sup>1</sup> · 한상억<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림생명공학과, <sup>2</sup>국립산림과학원 자원육성과

### Correlation of Growth Performance with Total Nitrogen, Carbon and Nitrogen Isotope Compositions in the Xylem of *Pinus koraiensis*

Wi Young Lee<sup>1\*</sup>, Eung-Jun Park<sup>1</sup> and Sang Urk Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Biotechnology, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

<sup>2</sup>Division of Forest Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

**요 약:** 잣나무 목질부의 전질소 함량, 질소 및 탄소 동위원소비와 성장량과의 관계를 구명하고자 목편을 채취, 목질부의 질소 함량, 질소 및 탄소 동위원소비를 측정하여 목편의 연륜 폭과의 관계를 분석하였다. 목편의 연륜 폭과  $\delta^{13}C$  및 전질소 함량과는 각각  $p=0.003$ ,  $p=0.024$ 로 유의적 정의 상관관계가 있었고, 전질소 함량과  $\delta^{13}C$ 값과도 정의 상관관계( $p=0.038$ )가 있어 목질부의  $^{13}C$ 량이 높고 또한 전질소 함량이 높을수록 잣나무 성장량도 증가하는 것으로 나타났다. 반면 목질부의  $\delta^{15}N$ 값과 C/N율이 낮을수록 연륜 폭이 증가하는 것으로 나타났다. 잣나무 개체간의 비교에서 생장이 우수한 개체일수록 그 목질부의  $\delta^{13}C$ 값이 큰 것으로 나타나 잣나무의  $\delta^{13}C$ 값이 상대적으로 높으면 성장도 우수한 것으로 추정된다. 이러한 결과로 잣나무 목질부내의  $\delta^{13}C$ 값 및 전질소 함량은 성장량과 밀접한 관계가 있는 인자로 추정된다.

**Abstract:** In this study, we investigated the relationship of tree-ring growth with total nitrogen content, and stable carbon and nitrogen isotopes from the core samples of *Pinus koraiensis* (35-year-old). Annual ring width showed significant positive correlations with the  $\delta^{13}C$  ( $P=0.003$ ). The total nitrogen content ( $P=0.024$ ), and the  $\delta^{13}C$  content was also correlated with total nitrogen content ( $P=0.038$ ), indicating that the growth of *P. koraiensis* was stimulated as the contents of both  $\delta^{13}C$  and total nitrogen were increased. On the other hand, the less the  $\delta^{15}N$  content and the C/N ratio were, the larger the annual ring width was. Moreover the families with relatively better growth performance contained the higher levels of  $\delta^{13}C$  in the xylem compared to other families. These results suggest that the  $\delta^{13}C$  and total nitrogen contents are the important determinants in the growth performance of *P. koraiensis*.

**Key words :** *Pinus koraiensis*,  $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{15}N$ , tree ring, isotope compositions

## 서 론

신속성장하는 임목의 선발을 위해 임목의 성장량을 추정할 수 있는 호르몬,  $\delta^{13}C$ , 등 성장 추정인자들에 대한 연구가 진행되어 오고 있다(Pharis *et al.*, 1991; Prasolova *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 2000).

$\delta^{13}C$ 값은 잎 내부의  $CO_2$  농도를 추정할 수 있게 함으로써 식물 고유의 광합성 능력과 관계가 있다(Guy and

Holowachuk, 2001; O'Leary, 1988; Farquhar *et al.*, 1989). 특히  $C_3$  식물의 경우  $\delta^{13}C$ 값은 기공 전도도도 관련이 있는 인자이므로 수분이용효율과도 상관관계를 갖는다(Orbrich *et al.*, 1993; Barber *et al.*, 2000). 또한 임목 성장과 관련하여  $\delta^{13}C$ 값은 수분이용효율과의 유전적인 변이와 관련이 있어  $\delta^{13}C$ 는 임목의 여러 표현형 중에서 수분이용효율을 서열화 시킬 수 있는 유용한 인자이므로 성장량을 증가시키기 위한 임목개량에 주요한 지표인자가 될 수 있을 것으로 추정하고 있다(Prasolova *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 2000, 2003). 특히 Prasolova 등(2003)은 Slash pine

\*Corresponding author  
E-mail: lwy20@forest.go.kr

과 Caribbean pine의 클론별 식재지에서 클론간 잎의  $\delta^{13}\text{C}$ 에서 높은 유전변이가 확인되었고, 또한 성장량과 정의 상관관계가 있어 잎의  $\delta^{13}\text{C}$ 분석을 통한 성장우량클론의 선발 가능성을 제시하였다. 식물체 내의  $\delta^{15}\text{N}$ 값 차이는 근근류에 의한 질소공급량이나 토양의  $^{14}\text{N}$ 과  $^{15}\text{N}$ 의 비율 등 환경 특성에 대한 영향으로 발생하는 것으로 보고되고 있다(Kwak *et al.*, 2009; Ogaya and Peñuelas, 2008). 동일 수종내에서의 질소동위원소 차이는 양분이용효율 및 수분이용효율과 관련이 있을 것으로 추정하고 있으나(Farquhar *et al.*, 1989; Peñuelas and Estiarte, 1997; Swap *et al.*, 2004) 아직 변이에 대한 명확한 기작은 밝혀져 있지 않다.

생장이 우수한 수형목의 이상적인 표현형은 짧은 생장기간에 빨리 성장하고, 서리, 가뭄, 기타 혹한 동절기에 대한 저항성이 있어야 한다. 이와 같이 신속한 성장을 하는 나무는 상대적으로 높은 수분 및 질소 이용효율이 높고 탄소 저장율이 높아야 한다. 따라서 신속성장하는 우량목 선발을 위해 고려되어야 할 인자는 광합성능, 수분이용효율 및 질소이용효율과 관련이 있는  $^{13}\text{C}$ 동위원소비나  $^{15}\text{N}$  동위원소비가 될 것으로 추정된다. 한편 이러한 인자들은 수종에 따라 수체내의 함량차이를 보이고 있다(Zhao *et al.*, 2009).

잣나무는 그간 국내에서 주요 조림수종으로서 많은 면적에 조림되어 있으나 성장량과 탄소 및 질소 동위원소와의 관계가 밝혀진 바가 거의 없다. 본 연구는 잣나무 성장 우수개체를 선발할 수 있는 기초자료를 제공하고자 잣나무 풍매채대 검정림에서 확인된 성장량을 근거로 개체목의 목편내의 질소, 탄소 함량과  $\delta^{13}\text{C}$  및  $\delta^{15}\text{N}$ 값을 측정하여 이들 특성과 연륜폭과의 관계 및 가계별 성장과의 관계를 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시료 채취지 개황 및 시험목 선정

본 시험에는 1975년도에 수형목으로부터 종자를 채취하여 조성한 풍매 차대검정림을 사용하였다. 시험지로 사용한 풍매 차대검정림은 강원, 강릉(위도: 37° 14' 50, 경도 126° 57' 28, 해발고 64 m)에 위치하며, 전체 23가계가 완전임의배치 4블록, 블록당 10개체가 1.8×1.8 m로 식재되어 있다. 본 실험에 사용하기 위한 시험목은 시험지 30년의 재적생산량(Yi 등, 2007)을 기준으로 Table 1에서와 같이 재적생산량이 0.2 m<sup>3</sup> 이상을 성장 우수가계, 0.2~0.1 m<sup>3</sup> 사이를 성장 중간가계, 0.1 m<sup>3</sup> 이하를 성장 저조가계로 구분하여 9가계를 선발, 선발 가계당 3 개체목을 무작위로 선정하였다.

### 2. 목편 채취 및 조제 방법

선발된 9개의 가계에서 가계별 각 3개체목으로부터 1.2

**Table 1. Comparison of growth performances between families of 30-year old *Pinus koraiensis*. Total nine families were divided into three groups based on their growth performance.**

Growth performance	Family name	Height (m)	DBH (cm)	Volume (m <sup>3</sup> )
Inferior	18	8.6	13.2	0.060
	27	11.1	9.6	0.044
	217	9.8	8.6	0.031
Intermediate	26	12.5	16.4	0.139
	215	13.2	19.0	0.189
	221	13.2	15.1	0.124
Superior	115	15.5	19.9	0.245
	211	14.1	20.9	0.242
	216	14.6	20.1	0.234

m부위에서 경사와 직교 방향에서 직경 5 mm의 성장추를 이용하여 목편을 채취(2008. 6. 28)하였다. 채취된 목편에서 개체목별로 최근부터 20년 전까지 형성된 목부를 생장기간 5년간 단위로 구분 절단하였고, 4개의 절단된 목편의 각 5년간 성장한 연륜 폭을 0.01 mm단위까지 측정하여 연평균의 연륜 성장량을 계산하였다. 이어서 각 목편은 동결건조를 하였고, 동결건조된 목편은 불밀분쇄기를 이용하여 분쇄 후 탄소, 질소 및 안정성 동위원소 분석용 시료로 사용하였다.

### 3. 전탄소 및 전질소 함량과 $\delta^{13}\text{C}$ 및 $\delta^{15}\text{N}$ 측정

동결건조, 분말화한 시료의 안정성 탄소동위원소 ( $^{13}\text{C}$ ), 안정성 질소동위원소( $^{15}\text{N}$ ) 및 전탄소, 전질소의 함량은 안정성동위원소비 질량분석기(stable isotope ratio mass spectrometer; Micromass, Isoprime-EA, UK)로 측정하였다. 안정성 탄소동위원소 비( $\delta^{13}\text{C}$ )는 Xu 등(2003)의 방법으로 PeeDee belemnite(PDB) 표준 시약의 상대 값으로 탄소동위원소 조성을 구하였다. 시료의 탄소동위원소 조성비( $\delta^{13}\text{C}$ ) 및 질소동위원소 비( $\delta^{15}\text{N}$ )는 아래와 같이 계산하였다.

$$\delta^{13}\text{C} = [R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1] \times 1000\text{‰}$$

$R_{\text{sample}}$ 은 시료의  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  비율,  $R_{\text{standard}}$ 는 PDB 표준품의  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  비율

$$\delta^{15}\text{N} = [R_{\text{sample}} / R_{\text{air}} - 1] \times 1000\text{‰}$$

$R_{\text{sample}}$ 은 시료의  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  비율,  $R_{\text{air}}$ 는 공기의  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  비율

## 결과 및 고찰

### 1. 연륜 수령에 따른 목질부(목편)의 전탄소 및 전질소 함량과 $\delta^{13}\text{C}$ 및 $\delta^{15}\text{N}$ 변화

잣나무 목편을 최근부터 20년까지의 수령에 따른 목질부의 질소동위원소 비( $\delta^{15}\text{N}$ ), 탄소동위원소 비( $\delta^{13}\text{C}$ ), 및 전질소 함량을 분석한 결과 목질부의 연륜 부위에 따라 차

**Table 2. Changes in the tree-ring growth, total carbon and nitrogen contents, and isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in the annual rings of *Pinus koraiensis* during the last 20 years.**

Year	Ring Width (mm)	Total Carbon (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB, ‰)	Total Nitrogen (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR, ‰)	C/N ratio
1~5	2.7±0.91 <sup>1)</sup> d <sup>2)</sup>	48.2±0.80a	-26.85±0.67c	0.071±0.014a	4.11±1.48c	701±127d
6~10	3.5±0.14c	48.5±0.71a	-26.51±0.69bc	0.055±0.010b	6.35±1.70b	905±178c
11~15	4.0±1.52b	48.6±1.16a	-26.20±0.88b	0.039±0.008c	11.43±2.46a	1290±245b
16~20	5.0±1.70a	48.4±0.93a	-25.82±0.94a	0.035±0.005c	12.18±2.74a	1405±214a

<sup>1)</sup>Means±S.D.(standard deviation), <sup>2)</sup>Duncan's multiple ranges test at 0.05% level

**Table 3. Simple correlation coefficients between the tree-ring growth, total carbon and nitrogen contents, C/N ratio, and isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in the xylem of *Pinus koraiensis* during the last 20 years.**

	Total Carbon (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB, ‰)	Total Nitrogen (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR, ‰)	C/N ratio
Ring width (mm)	0.464 (0.014) <sup>1)</sup>	0.545 (0.003)	0.431 (0.025)	-0.450 (0.018)	-0.386 (0.047)
Total Carbon (%)		-0.001 (0.994)	0.232 (0.243)	-0.148 (0.461)	-0.116 (0.564)
$\delta^{13}\text{C}$ (PDB, ‰)			0.401 (0.038)	-0.207 (0.299)	-0.358 (0.066)
Total Nitrogen (%)				-0.719 (<.000)	-0.981 (<.000)
$\delta^{15}\text{N}$ (AIR, ‰)					0.726 (<.000)

<sup>1)</sup>P values are indicated in parenthesis.

이가 있는 것으로 나타났다(Table 2). 잣나무 연륜 부위의 수령이 증가할수록 목질부내의 C/N율은 701에서 1405로,  $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -26.85‰에서 -25.82‰로 및  $\delta^{15}\text{N}$ 값은 4.11‰에서 12.18‰로 증가하였고, 반면 전질소 함량은 0.071%에서 0.035%로 감소하였다. 특히 수령이 증가할수록 목질부의  $\delta^{13}\text{C}$ 값이 증가하고 또한 연륜 폭도 증가하여 생장이 왕성한 유시기에 많은  $^{13}\text{C}$ 를 축적하고 있는 것으로 추정된다. 일반적으로 침엽수의 경우 수령이 증가하면서 연륜폭 생장은 감소하는 경향(Li *et al.*, 2005)임으로 이와 더불어  $\delta^{13}\text{C}$ 값도 감소하는 것으로 나타났다. 연륜 부위에 따른  $\delta^{13}\text{C}$ 값의 차이는 환경특성, 임목의 생육단계에 기인하고 있는 것으로 추정하고 있다(Li *et al.*, 1996; 2005; Leavitt and Long, 1991). 한편 전질소 및  $\delta^{15}\text{N}$ 값은 목질부 수령이 11~20년 사이에는 각각 0.035~0.039%, 11.43~12.18% 사이로 유사한 수치를 나타내는 경향이었고, 10년 이후부터 최근까지 생성된 연륜 내의 전질소 함량은 수령이 감소하면서 0.055%에서 0.071%로 증가하였고,  $\delta^{15}\text{N}$  수치는 6.35%에서 4.11%로 감소하여 수령에 따라 변화가 있는 것으로 나타났다.

**2. 목편의 연륜 폭과 전탄소 및 전질소 함량,  $\delta^{13}\text{C}$  및  $\delta^{15}\text{N}$ 간의 관계**

최근 20년간에 성장한 목편을 채취하여 목편의 연륜폭 및 목편(목질부)내의 원소들 간의 함량과의 단순 상관관

계를 분석하였다. 연륜 폭과  $\delta^{13}\text{C}$ 값(p=0.003) 및 전질소 함량(p=0.024)은 유의적 정의 상관관계가 있었고, 전질소 함량과  $\delta^{13}\text{C}$ 값과도 정의 상관관계(p=0.038)가 있어  $^{13}\text{C}$  흡수량이 높고 또한 전질소의 흡수량이 높을수록 잣나무 성장량도 증가하는 것으로 나타났다(Table 3). 반면 목질부의  $\delta^{15}\text{N}$ 값이나 C/N율이 낮을수록 연륜폭이 증가하는 것으로 나타났다. 전질소와  $\delta^{15}\text{N}$ 값 간에는 고도의 부의 상관관계(p<0.001)가 있어 잣나무 목질부내 전질소의 함량이 높을수록  $\delta^{15}\text{N}$ 값은 낮아지는 것으로 나타났다.

최근 5년간 성장한 목부의 전질소 함량 및  $\delta^{13}\text{C}$ 도 연륜폭과 고도의 정의 상관관계(1% 유의성)가 있었고,  $\delta^{15}\text{N}$ 나 C/N율과 연륜폭과는 부의 상관관계가 있었다(Figure 1).  $^{13}\text{C}$ 은 탄소동화작용과정이나 토양의 수분을 흡수하는 과정에서 흡수되므로  $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높다는 것은 수분이 용효율이 높다는 것을 나타내며 이로 인해 연륜폭도 증가하는 것으로 추정된다. 일반적으로 식물은 탄소를 탄소동화 작용을 통한  $\text{CO}_2$ 나 뿌리에서  $\text{HCO}_3^-$  형태로 흡수하게 된다(Ziegler and Hertel, 2007). 한편 Guy와 Holowachuk(2001)는 *Pinus deltoides* 의 종내 교잡을 통해 우량목은  $^{13}\text{C}$  동위원소의 구별능력의 감소와 관련이 있음을 확인하여 유전적으로 빨리 성장하는 나무는 광합성량이 증가하고, 이에 따라 rbisco enzyme은  $^{13}\text{CO}_2$ 의 구별능력이 감소하여 식물의 탄소동위원소 함량에 차

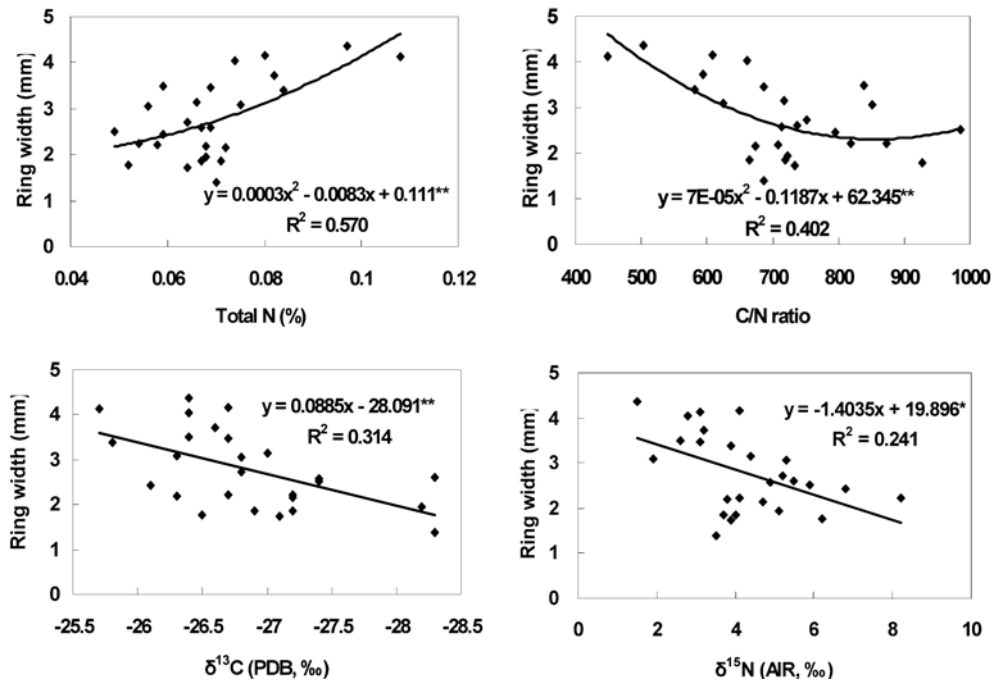


Figure 1. Regression analysis between the growth of tree ring, total nitrogen content, C/N ratio, and isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) in the xylem of *Pinus koraiensis* during the last 5 years.

이가 나게 됨을 추정하였다. 특히  $\text{C}_3$  식물의 경우, 체내 탄소동위원소 비( $\delta^{13}\text{C}$ ) 차이는 대기 중의  $\text{CO}_2$ 의 탄소동위원소 비( $\delta^{13}\text{C}$ )나 식물 RuBP carboxylase의  $^{13}\text{CO}_2$ 에 대한 구별 능력차이로 발생됨이 제시된 바가 있다 (Farquhar *et al.*, 1982). 잣나무도 이러한 경우에 속하는 것으로 추정된다.

$^{15}\text{N}$ 은 토양으로부터 무기양분과 같이 흡수되는 과정에서 흡수되어 수체에 전달, 축적되어 질소 이용효율과 관계가 있는 것으로 추정되고 있다(Ogaya and Peñuelas, 2008). 그러나  $\delta^{15}\text{N}$ 값은 목질부의 전질소 함량과는 고도의 부의 상관관계를 나타내고 또한 연륜폭과도 부의 상관관계가 있어 목질부내에 높은 비율로  $\delta^{15}\text{N}$ 값이 존재하면 잣나무의 성장량이 상대적으로 감소하는 것임을 의미한다. 이는 잣나무의 성장량이 상대적으로 낮을 경우 수체내의  $\delta^{15}\text{N}$ 값이 상대적으로 높아지는 것으로 추정된다.

### 3. 잣나무 품매차대 가계의 성장과 전탄소 및 전질소 함량, $\delta^{13}\text{C}$ 및 $\delta^{15}\text{N}$ 과의 관계

잣나무 가계별의 재적생산량 차이에 따라 목질부 내의 원소들의 함량 간에도 차이가 있는지를 알고자 잣나무 가계간 재적성장 지수간에 따른 연륜폭,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , 전질소 함량 및 C/N율을 비교하였다. 30년생의 재적생산량이  $0.2 \text{ m}^3$  이상의 것을 성장 우수가계,  $0.2\sim 0.1 \text{ m}^3$  사이를 성장 중간가계,  $0.1 \text{ m}^3$  이하의 것을 성장 저조가계로 구분하여 목질부의 원소함량을 비교하였다. 그 결과 성장 우수가계는 성장 중간 및 저조가계 간에 유의적 차이를 보였으나 성장 중간 및 저조가계 간에서는 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 4). 이는 생장이 우수한 잣나무 가계만이  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , 전질소 함량 및 C/N율에서 중간 및 저조가계와 구분이 가능함을 제시하고 있다. 특히 잣나무 가계별간의 분산분석 결과  $\delta^{13}\text{C}$  및 전질소 함량에서 각 1% 및 5%의 유의적 차이가 있었으나  $\delta^{15}\text{N}$  및 C/N율은 가계간

Table 4. Differences of the growth of tree ring, total nitrogen content, C/N ratio, and isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) between three family groups of *Pinus koraiensis*.

Growth performances	Ring width (mm)	Total Carbon (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB, ‰)	Total Nitrogen (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (AIR, ‰)	C/N ratio
Superior	$5.0\pm 1.3^{1)a^2)}$	$48.9\pm 0.9a$	$-25.9\pm 0.5a$	$0.056\pm 0.019a$	$7.51\pm 3.68b$	$961\pm 311b$
Intermediate	$3.5\pm 1.2b$	$48.1\pm 0.6b$	$-26.5\pm 0.8b$	$0.047\pm 0.015b$	$8.87\pm 4.39a$	$1141\pm 368a$
Inferior	$2.5\pm 0.8c$	$48.1\pm 0.8b$	$-26.7\pm 0.9b$	$0.048\pm 0.016b$	$8.78\pm 3.83a$	$1092\pm 336a$
p Value						
Family	0.082	0.006	0.009	0.030	0.110	0.104
Growth performances	<.000	<.000	0.001	<.000	0.001	<.000

<sup>1)</sup>Means $\pm$ S.D., <sup>2)</sup>Duncan's multiple ranges test at 0.05% level.

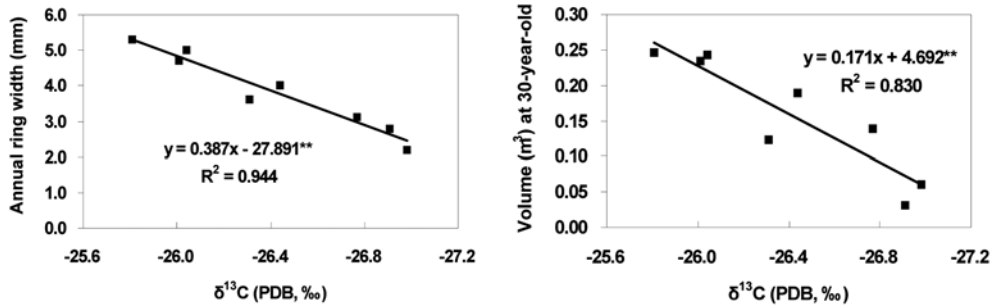


Figure 2. Relationship of the  $\delta^{13}\text{C}$  content with either annual ring width (left) or volume production (right) in the families of *Pinus koraiensis*.

유의적 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 목질부내  $\delta^{13}\text{C}$  및 전질소 함량으로 가계간 성장특성을 구별할 수 있을 것으로 추정되었다.

한편 시험에 사용한 9개의 가계 중 재적생장이 매우 저조하여 특이한 수치를 보였던 1개 가계를 제외하고 8개의 가계를 대상으로 잣나무 가계별의 목질부의 평균  $\delta^{13}\text{C}$ 값과의 연륜폭 및 재적지수간의 상관관계를 분석하였다. 가계별의 연 평균 연륜폭과 목질부의 평균  $\delta^{13}\text{C}$ 값 간에는 고도의 정의 상관관계(1%의 유의성)가 있었으며, 30년생의 가계별 재적지수와 목질부의 평균  $\delta^{13}\text{C}$ 값과도 고도의 정의 상관관계(1%의 유의성)가 있었다(Figure 2). 이는 생장이 우수한 가계일수록 그 목질부의  $\delta^{13}\text{C}$ 값도 크다는 것으로 잣나무 목질부의  $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높으면 생장이 우수한 것으로 나타났다. 신속 성장하는 나무는 광합성능이 높아 높은 수분 이용효율을 갖고 있으며(Farquhar *et al.*, 1989), 또한 종종 광합성능은 잎의 질소함량과 정의 상관관계를 갖고 있다(Field and Mooney, 1986; Evans, 1989)하였다. 한편 Farquhar 등(1989)은 질소공급이 충분하다는 조건하에서 질소이용효율과 안정성탄소동위원소( $^{13}\text{C}$ ) 비와는 정의 상관관계를 갖고 있어  $\delta^{13}\text{C}$ 값을 이용하여 성장량의 유전적인 변이를 추정하는데 이용할 수 있을 것임을 제시한 바가 있다.

## 결론

잣나무 목질부의 전질소 함량, 질소 및 탄소 동위원소 비와 성장량과의 관계를 구명하고자 목편을 채취하여 질소 함량, 질소 및 탄소 동위원소비를 측정하고 목편의 연륜 폭과의 관계를 분석하였다.

목편의 연륜 폭과  $\delta^{13}\text{C}$  및 전질소 함량은 각각 유의적 정의 상관관계가 있어 연륜 성장량이 클수록 즉 잣나무의 성장량이 클수록 수체내의  $\delta^{13}\text{C}$  및 질소함량도 높은 것으로 나타났다. 또한 신속 성장하는 잣나무 가계에서  $\delta^{13}\text{C}$ 와 전질소 함량이 높은 것으로 나타났다. 이는 신속 성장하는 잣나무는 상대적으로  $^{13}\text{C}$ 을 보다 많이 흡수하고

질소 흡수량도 높다는 것으로 광합성율과 질소이용 효율이 높다는 것을 의미한다.

한편 목질부의  $\delta^{15}\text{N}$ 값과 C/N율이 낮을수록 연륜 폭이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 잣나무 가계간의 비교에서  $^{15}\text{N}$ 값과 C/N율은 유의적 차이를 보이지 않았다.

$\delta^{13}\text{C}$  수치는 연륜폭 및 재적성장량과도 고도의 정의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며,  $\delta^{13}\text{C}$ 과 전질소 함량간에도 정의 상관관계가 있었다. 이러한 결과로 잣나무 목질부내의  $\delta^{13}\text{C}$ 값 및 전질소 함량은 성장량과 밀접한 관계가 있어 성장량을 추정할 수 있는 인자로 사료된다.

## 인용문헌

1. Barber, V.A., Juday, G.P. and Finney, B.P. 2000. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature* 405: 668-673.
2. Evans J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of  $\text{C}_3$  plants. *Oecologia* 78: 9-19.
3. Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R. and Hubick, K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 503-537.
4. Farquhar, G.D., O'Leary, M.H. and Berry, J.A. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration of leaves. *Australian Journal of Plant Physiology* 9: 121-137.
5. Field, C. and Mooney, H.A. 1986. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plant. In: Givnish, R. (Ed.), *On the Economy of Plant Form and Function*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 25-55.
6. Guy, R.D. and Holowachuk, D.L. 2001. Population differences in stable carbon isotope ratio of *Pinus contorta* Dougl. ex Loud.: Relationship to environment, climate of origin and growth potential. *Canadian Journal of Botany* 79: 274-283.
7. Kwak, J.H., Choi, W.J., Lim, S.S., and Arshad, M.A. 2009.

- $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ , N concentration and Ca-to-Al ratios of forest samples from *Pinus densiflora* stands in rural and industrial areas. *Chemical Geology* 264: 385-393.
8. Leavitt, S.W. and Long, A. 1991. Seasonal stable-carbon isotope variability in tree rings: possible paleoenvironmental signals. *Chemical Geology: Isotope Geoscience section* 87: 59-70.
  9. Li Z.H., Leavitt, S.W., Mora, C.I. and Liu, R.M. 2005. Influences of early wood-latewood size and isotope differences on long-term tree-ring  $\delta^{13}\text{C}$  trends. *Chemical Geology* 216: 191-201.
  10. Li, Z.H., Liu, R.M., An, Z.S. and Wu, Z.D. 1996. Climatic implication of seasonal  $\delta^{13}\text{C}$  in tree ring from Huangling of Shaanxi province. *Chinese Science Bulletin* 41(4): 326-329.
  11. O'Leary M.H. 1988. Carbon isotope in photosynthesis. *BioScience*. 38: 328-336
  12. Ogaya, R. and Peñuelas, J. 2008. Changes in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  for three mediterranean tree species in relation to soil water availability. *Acta Oecologica* 34: 331-338.
  13. Olbrich, B.W., Le Roux, D., Poulter, A.G., Bond, W.J. and Stock, W.D. 1993. Variation in water use efficiency and  $\delta^{13}\text{C}$  levels in *Eucalyptus grandis* clone. *Journal of Hydrology* 15: 615-633.
  14. Peñuelas, J. and Estiarte, M. 1997. Trends in plant carbon concentration and plant demand for N throughout this century. *Oecologia* 109: 69-73.
  15. Pharis, R.P., Yeh, F.C. and Dancik, B.P. 1991. Superior growth potential in trees: What is its basis, and can it be tested for at an early age ?. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 368-374.
  16. Prasolova, N.V., Xu, Z.H., Farquhar, G.D., Saffigna, P.G. and Dieters, M.J. 2000. Variation in branchlet  $\delta^{13}\text{C}$  in relation to branchlet nitrogen concentration and growth in 8-year-old hoop pine families (*Araucaria cunninghamii*) in subtropical Australia. *Tree Physiology* 20: 1049-1055.
  17. Prasolova, N.V., Xu, Z.H., Lundkvist, K., Farquhar, G.D., Dieters, M.J., Walker, S. and Saffigna, P.G. 2003. Genetic variation in foliar carbon isotope composition in relation to tree growth and foliar nitrogen concentration in clones of the  $F_1$  hybrid between Slash pine and Caribbean pine. *Forest Ecology and Management* 172: 145-160.
  18. Swap, R.J., Aranibr, J.N., Dowty, P.R., Gilhooly, W.P. and Macko, S.A. 2004. Natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in  $C_4$  and  $C_3$  plants vegetation of southern Africa: Patterns and implications. *Global Change of Biology* 10: 350-358.
  19. Xu, Z.H., Daffignam P.G., Farquhar, G.D., Simpson, J.A., Haines, R.J., Walker, S., Osborne, D.O. and Guinto, D. 2000. Carbon isotope discrimination and oxygen isotope composition in clones of the  $F_1$  hybrid between slash pine and Carribbean pine in relation to tree growth. *Tree Physiology* 20: 1209-1217.
  20. Xu, Z.H., Prasolova, N.V., Lundkvist, K., Beadle, C. and Leaman, T. 2003. Genetic variation in branchlet carbon and nitrogen isotope composition and nutrient concentration of 11-year-old hoop pine families in relation to tree growth in subtropical Australia. *Forest Ecology and Management* 186: 359-371.
  21. Yi J.S., Song J.H. and Yi J.S. 2007. Estimate of early selection using age-age correlation by stem analysis in *Pinus koraiensis*. *Korean White Pine (Pinus koraiensis) 2*: 51-61.
  22. Zhao L., Xiao H., Cheng G., Liu X., Yang Q., Yin L., and Li C. 2009. Correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in  $C_4$  and  $C_3$  plants of natural and artificial sand-binding microhabitats in the Tengger desert of China. *Ecological Informatics*. ( In press ).
  23. Ziegler, H., and Hertel, H. 2007. Carbon isotope fractionation in species of the torrenticolous families Podostemaceae and Hydrostachyaceae. *Flora* 202: 647-652.