

수변지 단벌기 목재에너지림에 적합한 포플러 클론 선발

김현철 · 이솔지 · 이위영 · 강준원*

국립산림과학원 임목육종과

Selection of Poplar Clones for Short Rotation Coppice in a Riparian Area

Hyun-Chul Kim, Sol-Ji Lee, Wi-Young Lee and Jun-Won Kang*

Division of Tree Breeding, National Institute of Forest Science Institute, Suwon 16631, Korea

요약: 본 연구는 수변지에 포플러 단벌기 목재에너지림을 조성한 후 2년생 포플러 클론들의 바이오매스 생산, 질소 및 탄소흡수량을 구명하여 수변지 단벌기 목재에너지림에 적합한 포플러 클론을 선발하는데 그 목적이 있으며, 공시수종은 이태리포플러 Eco28클론, 미류나무 교잡종 97-18클론 및 현사시나무 72-30클론 등의 포플러 3클론이다. 포플러 클론들의 평균 줄기 직경 생장은 23.2 mm로 나타났으며, 이태리포플러 Eco28클론이 5.9개로 가장 많았다. 포플러 클론들의 평균 줄기 직경 생장은 23.2 mm로 나타났으며, 미류나무 교잡종 97-18클론이 25.4 mm로 가장 우수하게 나타났다. 포플러 클론별 연평균 바이오매스 생산량은 미류나무 교잡종 97-18클론이 16.1 ton/ha/year, 현사시나무 72-30클론이 12.3 ton/ha/year 그리고 이태리포플러 Eco28클론이 5.4 ton/ha/year로 나타나 미류나무 교잡종 97-18클론이 가장 우수하였다. 포플러 클론들의 평균 질소흡수량은 연간 46.5 kg/ha/year로 나타났으며, 현사시나무 72-30클론이 연간 63.1 kg/ha/year로 가장 높게 나타났다. 평균 탄소흡수량은 연간 5.3 ton/ha/year로 나타났으며, 미류나무 교잡종 97-18클론이 연간 7.7 ton/ha/year로 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과들을 고려할 때 미류나무 교잡종 97-18클론이 수변지 포플러 목재에너지림에 가장 적합한 포플러 클론이라 판단된다.

Abstract: This study aims to select the most appropriate poplar clones for planting on short rotation coppice poplar plantations in a riparian area. The research investigated biomass production, nitrogen and carbon absorption with 2-year-old poplar (*Populus* spp.) clones including *P. euramericana* clone Eco28, *P. deltoides* hybrid clone 97-18, and *P. alba* × *P. glandulosa* hybrid clone 72-30. The average number of stems per stump was five and *P. euramericana* clone Eco28 had the greatest average number of live stems per stump with 5.9. The average stem diameter was 23.2 mm, and *P. deltoides* hybrid clone 97-18 achieved the largest average diameter with 25.4 mm. The average annual above-ground biomass production of *Populus deltoides* hybrid clone 97-18 was 16.1 ton/ha/year, followed by *P. alba* × *P. glandulosa* hybrid clone 72-30 and *P. euramericana* clone Eco28, 12.3 and 5.4 ton/ha/year, respectively. The average annual nitrogen uptake of poplar clones was 46.5 kg/ha/year. *P. alba* × *P. glandulosa* hybrid clone 72-30 had the highest average, 63.1 kg/ha/year. The average of annual carbon absorption was estimated 5.3 ton/ha/year and *Populus deltoides* hybrid clone 97-18 showed the best results with 7.7 ton/ha/year. Based on the results given above, *P. deltoides* hybrid aspen clone 97-18 is considered as the most suitable poplar clones for wood biomass production on riparian areas.

Key words: biomass, carbon absorption, nitrogen uptake, poplar clone, short rotation coppice

서론

우리나라 전체 산림의 총 바이오매스 자원은 2010년 현재 804백만톤이며, 시장으로 공급 가능한 목질계 바이오매스 자원은 연간 약 1,300천톤으로 추정되고 있다(Son et al., 2014). 또한 전분계 바이오매스와는 달리 목질계 바이

오매스는 식량자원과의 경쟁이 없으며(Gray et al., 2006), 탄소고정 능력이 높아 화석연료의 대체로 사용할 수 있는 재생가능자원으로 이용할 수 있다(Hamelinck et al., 2005). 이러한 목질계 바이오매스를 친환경적인 에너지원인 바이오에탄올, 목재펠릿 및 칩 등으로 사용하기 위해선 생산비 절감 등과 같은 경제적인 측면을 고려하여 집약적인 형태의 목질계 바이오매스 생산이 필요하다. 또한 최근 대두되는 기후변화에 대응하기 위해서라도 많은 탄소를 흡

*Corresponding author
E-mail: jwkang15@korea.kr

수할 수 있는 바이오매스 증진도 필요한 실정이다.

단벌기 목재에너지림(Short rotation coppice)은 포플러 및 버드나무 등과 같은 속성수를 고밀도로 식재하고 2~5년 주기로 바이오매스를 수확하는 것이며, 일반적인 산림수종의 경우 수확기가 긴 반면에 단벌기 목재에너지림은 수확주기가 짧고 많은 바이오매스를 생산할 수 있는 장점이 있다(Laureysens et al., 2003; Dillen et al., 2013). 따라서, 유희농지, 간척지 및 수변구역 등의 넓은 면적에 단벌기 목재에너지림 조성이 필요하다. 포플러의 경우 홍수방지(flood-tolerant) 선구수종(pioneer tree species)으로 하천환경에 대한 빠른 적응력과 줄기는 1년에 3~5 m, 뿌리는 3~4 m까지 뻗어나갈 정도로 생장이 우수하여 단기간에 영양염류를 제거시킬 수 있으며, 비점오염원 저감을 위한 수변완충림(riparian buffer forest)으로 이용되고 있기 때문에 수변구역에 적합한 수종이다(Schultz et al., 1995; Schultz et al., 2004; Kelly et al., 2007; Fortier et al., 2010a; Cartisano et al., 2013).

Yeo et al.(2010)은 포플러 수변완충림을 조성하여 3년생 지상부 바이오매스량을 조사한 결과, 3년생 포플러 Ay 클론이 37.5 ton/ha으로 나타난다고 보고하였으며, Kim et al.(2015)은 수변지 4년생 포플러의 바이오매스량을 조사한 결과, 평균 33.1 ton/ha으로 나타난다고 보고하였다. 하지만 이들 연구는 수변완충림에 대한 연구결과이기 때문에 현재 수변지에서의 단벌기 목재에너지림에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 수변구역에 포플러 단벌기 목재에너지림을 조성하여 바이오매스 생산량 및 수종별 탄소흡수량을 분석하여 수변지 단벌기 목재에너지림에 적합한 포플러 수종 및 클론을 선발하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 시험림 조성

2012년 4월 경기도 양평군 강상면에 위치한 남한강 수변구역에 이태리포플러(*Populus euramericana*) Eco28클론, 미류나무 교잡종(*P. deltoides* × *P. deltoides*) 97-18클론과 현사시나무(*P. alba* × *P. glandulosa*) 72-30클론 등 포플러 3클론을 2열 부분밀식(Figure 1)으로 식재밀도 13,000 본/ha이 되도록 식재 하였으며, 맹아지를 유도하기 위해 2013년 2월에 지표로부터 10 cm 높이의 지상부를 대절하였다.

2. 바이오매스 조사

대절 후 2년간 생장을 시켰으며, 디지털캘리퍼스(SL05022 Digital Calipers, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 줄기의 기부직경을 측정 한 후, 직경이 10 mm 이상인 줄

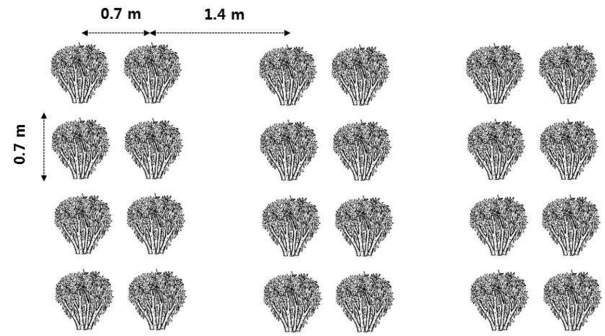


Figure 1. Experimental design of short rotation coppice in riparian area.

기의 수도 측정하였다. 2014년 12월에 단벌기 목재에너지림에 식재된 모든 포플러 클론들의 개체별 줄기를 수확하여 생중량을 현장에서 측정하였다. 그리고 포플러 클론별 각각 3개체의 줄기를 수집하여 건조기에서 75°C로 3일 이상 무게변동이 없을 때까지 건조시켜 건중량을 조사한 후, 생중량에 대한 건중량의 비를 구하여 포플러 클론별 전체 지상부 바이오매스 생중량에 대한 건중량 값을 추정하였다.

3. 질소 및 탄소흡수량 조사

수변지 단벌기 목재에너지림의 탄소저장량을 분석하기 위해 포플러 클론별 줄기를 채취하여 원소분석기(FlashEA 1112 elemental analyzer, Thermo Electron Co., USA)를 이용하여 질소 및 탄소량을 측정하였다. 채취한 시료를 80°C 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후, 곱게 분쇄하여 4~5 mg을 채취해 분석에 사용하였다. 시료는 기기 내에서 1800°C에서 산화되고 산화된 기체는 헬륨가스와 함께 구리를 통과하며 환원된다. 환원된 기체는 크로마토그래피 컬럼을 지나며 분리되고 thermal conductivity detector(TCD)에 의해 정량된다. 정량된 값을 포플러 클론별 바이오매스 생산량에 대입하여 질소 및 탄소 흡수량을 추정하였다.

4. 통계분석

포플러 클론별 줄기 수, 줄기직경, 바이오매스 생산량, 질소 및 탄소흡수량 비교분석을 위해 SAS 통계프로그램(ver. 9.3, SAS Institute Inc., USA)을 사용하였으며, 분산분석(ANOVA)을 실시한 후 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였다. 또한 Pearson correlation을 이용하여 포플러 클론별 줄기 수, 줄기직경, 바이오매스 생산량 등의 상관관계를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 수변지 포플러 단벌기 목재에너지림의 바이오매스 분석
맹아지 유도에 의해 발생한 포플러 클론별 줄기 수는 평

Table 1. Number of shoots and shoot diameter in short rotation coppice of poplar clones in riparian area.

Species	Clone	Number of Shoots	Shoot diameter(mm)
<i>Populus euramericana</i>	Eco28	5.9±0.2a	20.6±0.7(10.1–50.8) ^{a,b}
<i>P. deltoides</i> × <i>P. deltoides</i>	97-18	3.9±0.6b	25.4±0.3(10.2–59.7)a
<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	72-30	5.2±1.0a	23.6±1.2(10.1–41.0)a
Mean		5.0±1.0	23.2±2.4

^aData are mean±SD. The values in parenthesis are ranges.

^bSame letters are not significantly different at P<0.05.

Table 2. Total and annual biomass production in short rotation coppice of two-year-old poplar clones in riparian area.

Species	Clone	Total biomass (ton/ha)	Annual biomass (ton/ha/year)
<i>Populus euramericana</i>	Eco28	10.8±2.1c	5.4±1.1 ^c
<i>P. deltoides</i> × <i>P. deltoides</i>	97-18	32.3±5.8a	16.1±2.9a
<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	72-30	24.6±2.1b	12.3±1.1b
Mean		22.6±10.8	11.3±5.4

^aData are mean±SD.

^bSame letters are not significantly different at P<0.01.

균 5.0개로 나타났습니다(Table 1). 이태리포플러 Eco28클론 및 현사시나무 72-30클론이 각각 5.9 및 5.2개로 많았으며, 미류나무 교잡종 97-18클론이 3.9개로 낮게 나타났습니다(F=6.87, P<0.05). Laureysens et al.(2005)은 생활쓰레기 처리장에 포플러 단벌기 목재에너지림을 조성한 후 포플러 클론들의 줄기 수를 조사하였는데 최대 13.4개의 줄기가 발생한다고 보고하였으며, Kim et al.(2014a)은 유희지에 단벌기 목재에너지림을 조성하여 줄기 수를 조사한 결과, 평균 11.1개의 줄기가 발생한다고 보고하였다. 본 연구에서의 줄기 수가 적은 이유는 2012년 수변지 단벌기 목재에너지림을 조성할 때 삼목 식재를 하여 2013년 대절 당시 뿌리 활력이 저조하였기 때문이라 판단된다. 또한 일반적인 단벌기 목재에너지림의 경우, 2~5년 주기로 수확하여 4~5번의 로테이션을 가지는데, 본 연구는 첫 번째 로테이션이므로 다음 로테이션 때에는 많은 줄기를 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 포플러 클론별 줄기직경 생장은 평균 23.2 mm로 나타났으며(Table 1), 미류나무 교잡종 97-18클론 및 현사시나무 72-30클론이 각각 25.4 및 23.6 mm로 우수하게 나타났습니다(F=23.37, P<0.05). 미류나무 교잡종 97-18클론의 경우, 줄기 수는 다른 클론들보다 낮게 나타났지만 줄기직경 생장은 가장 우수하였으며, 가장 큰 줄기직경은 59.7 mm로 나타났습니다. 또한 이태리포플러 Eco28클론의 경우, 줄기 수는 가장 많았지만 줄기직경 생장은 가장 저조하였다.

수변지 단벌기 목재에너지림의 2년생 포플러 클론별 바이오매스 생산량을 조사한 결과, 2년생 포플러 클론들의 평균 바이오매스 생산량은 22.6 ton/ha로 나타났습니다(Table 2). 미류나무 교잡종 97-18클론이 32.3 ton/ha로 가장 우수하게 나타났으며, 현사시나무 72-30클론 및 이태리포플러

Table 3. Correlation between number of shoots, shoot diameter, total biomass and annual biomass.

Traits	X ₁	X ₂	X ₃
Number of shoots(X ₁)			
Shoot diameter(X ₂)	-0.946		
Total biomass(X ₃)	-0.945	1.000 ^{**z}	
Annual biomass(X ₄)	-0.944	1.000 ^{**}	1.000 ^{**}

^{**}: Show significance at the 0.01 level.

Eco28클론이 각각 24.6 및 10.8 ton/ha 순으로 나타났습니다(F=23.86, P<0.01). 연평균 바이오매스 생산량 역시 미류나무 교잡종 97-18클론이 16.1 ton/ha/year로 나타나 가장 우수하였으며, 현사시나무 72-30클론 및 이태리포플러 Eco28클론 순으로 나타났습니다(F=24.52, P<0.01). 미류나무 교잡종 97-18클론의 경우, Table 1에 나타난 바와 같이 줄기 수는 가장 적었으나 바이오매스 생산량은 가장 우수하였다. 이에 줄기 수, 줄기직경, 바이오매스, 연평균 바이오매스에 대해 상관분석을 실시한 결과(Table 3), 줄기직경과 바이오매스 및 연평균바이오매스 생산량에서 고도의 정의상관을 나타내었다(r=1.00; p<0.01). 따라서, 미류나무 교잡종 97-18클론의 줄기직경이 가장 우수하였기 때문에 바이오매스 생산량이 높게 나타난 것으로 판단된다. 일반적으로 버드나무 및 포플러 단벌기 목재에너지림에서의 연간 바이오매스 생산량이 10~20 ton/ha/year 정도인 것을 감안할 때(Labrecque and Teodorescu, 2003; Laureysens et al., 2003; Pellis et al., 2004; Laureysens et al., 2005) 미류나무 교잡종 97-18클론의 연평균 바이오매스 생산량은 우수한 것으로 판단된다. 또한 Kim et al.(2014a)은 유희지 단벌기 목재에너지림에서 이태리포플러가 미류나무

Table 4. N and C contents of shoot in short rotation coppice of two-years-old poplar clones in riparian area.

Species	Clone	N content (%)	C content (%)
<i>Populus euramericana</i>	Eco28	0.30±0.12 ^c	46.3±0.56
<i>P. deltoides</i> × <i>P. deltoides</i>	97-18	0.37±0.11	47.6±1.42
<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	72-30	0.51±0.10	47.3±0.46
Mean		0.39±0.10	47.1±0.64

^aData are mean±SD.

Table 5. Annual biomass N and C in short rotation coppice of two-year-old poplar clones in riparian area.

Species	Clone	Annual biomass N (kg/ha/year)	Annual biomass C (ton/ha/year)
<i>Populus euramericana</i>	Eco28	17.3±8.4 ^{ab}	2.5±0.5 ^c
<i>P. deltoides</i> × <i>P. deltoides</i>	97-18	59.2±11.5 ^a	7.7±1.6 ^a
<i>P. alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	72-30	63.1±16.5 ^a	5.8±0.5 ^b
Mean		46.5±25.3	5.3±2.6

^aData are mean±SD.

^bSame letters are not significantly different at P<0.01.

보다 연평균 바이오매스 생산이 우수하다고 보고하였는데, 이와 같은 결과는 유희지와 수변지의 입지에 따른 수종들 간의 특성으로 판단되며, Yeo et al.(2010)과 Kim et al. (2015)이 보고한 수변완충림에서의 바이오매스 연구결과와 본 연구결과를 감안할 때 수변지에서의 바이오매스 생산은 미류나무가 우수한 것으로 판단된다.

2. 수변지 포플러 단벌기 목재에너지림의 질소 및 탄소흡수량

포플러 클론별 줄기의 질소함량을 조사한 결과(Table 4), 포플러 클론들의 전체 평균은 0.39%로 나타났으며, 현사시나무 72-30클론이 0.51%로 가장 높았지만 다른 클론들과 통계적 차이는 없었다. 탄소함량을 조사한 결과(Table 4), 포플러 클론 모두 46.3~47.6%의 범위에 분포하며, 클론 간에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

포플러 클론별 줄기의 질소 및 탄소함량을 연평균 바이오매스 생산량에 대입하여 질소 및 탄소흡수량을 추정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 수변지 목재에너지림에서의 포플러 클론들의 평균 질소흡수량은 연간 46.5 kg/ha/year로 나타났으며, 현사시나무 72-30클론과 미류나무 교잡종 97-18클론이 각각 63.1 및 59.2 kg/ha/year로 우수하였다(F=11.30, P<0.01). 이태리포플러 Eco28클론의 경우, 17.3 kg/ha/year으로 가장 저조하였다. 현사시나무의 경우, 포플러 중에서도 양료 요구도가 높은 수종으로(Kim et al., 2014a) 본 연구에서도 유사하게 나타났다. Fortier et al.(2010b)은 4지역의 수변완충림에서 6년생 포플러의 질소흡수량은 47.0~490.1 kg/ha이라고 보고하였는데, 이를 연간 질소흡수량으로 환산하면 본 연구에서 조사된 결과와 유사하게 나타난다. 이와 같은 결과로 인해 수변지 포플러 단벌기 목재에너지림 역시 비점오염원을 저감하기

위해 조성되는 수변완충림과 동일한 역할을 수행할 수 있을 것이라 판단된다.

수변지 단벌기 목재에너지림에서의 포플러 클론들의 평균 탄소흡수량은 연간 5.3 ton/ha/year로 나타났으며, 미류나무 교잡종 97-18클론이 연간 7.7 ton/ha/year으로 가장 우수하게 나타났다(F=18.79, P<0.01). 일반적인 단벌기 목재에너지림의 수명이 약 20년 정도임을 고려한다면(Dillen et al., 2013) 미류나무 교잡종 97-18클론의 경우, 20년 동안 약 154.0 ton/ha/year의 탄소를 흡수할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 다른 수종들에 비해 많은 양의 탄소를 흡수하는 것으로 나타났다(Kim et al., 2014b). 따라서, 수변지 포플러 단벌기 목재에너지림의 경우, 기후변화 대응을 위한 탄소흡수원으로써의 역할이 가능할 것이라 판단된다.

결론

본 연구에서는 수변지 포플러 단벌기 목재에너지림에 적합한 포플러 클론을 선발하기 위해 포플러 클론들의 줄기 수, 줄기직경 및 바이오매스 생산량을 분석하였으며, 포플러 클론별 줄기의 질소 및 탄소함량을 조사하여 질소흡수량 및 탄소흡수량을 구명하였다. 그 결과, 연평균 바이오매스 생산량은 미류나무 교잡종 97-18클론(16.1 ton/ha/year)>현사시나무 72-30클론(12.3 ton/ha/year)>이태리포플러 Eco28(5.4 ton/ha/year) 순으로 나타났으며, 연간 질소흡수량은 현사시나무 72-30클론(63.1 kg/ha/year)>미류나무 교잡종 97-18클론(59.2 kg/ha/year)>이태리포플러 Eco28클론(17.3 kg/ha/year) 순으로 나타났다. 연간 탄소흡수량은 미류나무 교잡종 97-18클론(7.7 ton/ha/year)>현사시나무 72-30클론(5.8 ton/ha/year)>이태리포플러 Eco28(2.5 ton/ha/year) 순으로 나타났다. 이와 같은 결과들을 중

합하여 볼 때, 수변지 단벌기 목재에너지림에 가장 적합한 포플러 클론은 미류나무 97-18클론이라 판단되며, 현 사시나무 72-30클론 역시 그 다음으로 적합할 것으로 판단된다. 또한 수변지 포플러 단벌기 목재에너지림은 본 연구에서 구명된 바와 같이 수계로 유입되는 비점오염원을 저감할 수 있는 수변완충림의 역할 및 기후변화에 대응할 수 있는 탄소흡수원으로써의 역할을 충분히 할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구는 한 지역의 수변지에서 포플러 단벌기 목재에너지림을 조성한 후, 첫 번째 로테이션의 2년생을 수확한 결과이기 때문에 향후 다른 지역에서의 연구 및 추가 연구를 통해 좀 더 정확한 포플러 클론 선발이 필요할 것이라 판단된다.

References

- Cartisano, R., Mattioli, W., Corona, P.G., Mugnozza, S., Sabbati, M., Ferrari, B., Cimini, D., and Giuliarelli, D. 2013. Assessing and mapping biomass potential productivity from poplar-dominated riparian forests: A case study. *Biomass and Bioenergy* 54: 293-302.
- Dillen, S.Y., Djomo, S.N., Al Afas, N., Vanbeveren, S., and Ceulemans, R. 2013. Biomass yield and energy balance of a short rotation poplar coppice with multiple clones on degraded land during 16 years. *Biomass and Bioenergy* 56: 15-165.
- Fortier, J., Gagnon, D., Truax, B., and Lambert, F. 2010a. Biomass and volume yield after 6 years in muliclonal hybrid poplar riparian buffer strips. *Biomass and Bioenergy* 34: 1028-1040.
- Fortier, J., Gagnon, D., Truax, B., and Lambert, F. 2010b. Nutrient accumulation and carbon sequestration in 6-year-old hybrid poplars in multiclinal agriculture riparian buffer strips. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 276-287.
- Gray, K.A., Zhao, L., and Emptage, M. 2006. Bioethanol. *Current Opinion in Chemical Biology* 10(2): 141-146.
- Hamelinck, C., Hooijdonk, G., and Faaij, A. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass technoeconomic performance in short-, middle- and long-term. *Biomass and Bioenergy* 28(4): 384-410.
- Kelly, J., Kovar, J., Sokolowsky, R., and Moorman, T. 2007. Phosphorus uptake during four years by different vegetative cover types in a riparian buffer. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 34: 197-224.
- Kim, H.C., Lee, W.Y., Yeo, J.K., and Oh, C.Y. 2015. Above-ground biomass and adaptability of four-year-old poplar in a riparian area. *Journal of Agriculture & Life Science* 49(1): 95-102.
- Kim, H.C., Shin H., Lee, H.H., Yeo, J.K., and Kang, K.S. 2014a. Biomass production in the short rotation coppice of poplar species treated with low-concentrated liquid fertilizer. *Korea Journal of Breeding Science* 46(1): 10-16.
- Kim, Y.H., Jeon, E.J., Shin, M.Y., Chung, I.B., Lee, S.T., Seo, K.W., and Pho, J.K. 2014b. A study on the baseline carbon stock for major species in Korea for conducting carbon offset projects based on forest management. *Journal of Korean Forest Society* 103(3): 439-445.
- Labrecque, M. and Teodorescu, T.I. 2003. High biomass yield achieved by Salix clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy* 25: 135-146.
- Laureysens, I., Pellis, A., Willems, J., and Ceulemans, R. 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass and Bioenergy* 29: 10-21.
- Laureysens, I., Deraedt, W., Indeherberge, T., and Ceulemans, R. 2003. Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. Clonal differences in stool mortality, Shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy* 24: 81-95.
- Pellis, A., Laureysens, I., and Ceulemans, R. 2004. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy* 27: 9-19.
- Schultz, R.C., Colletti, J.P., Isenhardt, T.M., Simpkins, W.W., Mize, C., and Thompson, M. 1995. Design and placement of a multi-species riparian buffer strip system. *Agroforestry System* 29: 201-206.
- Schultz, R.C., Isenhardt, T.M., Simpkins, W.W., and Colletti, J.P. 2004. Riparian forest buffers in agroecosystems-lessons learned from from the Bear Creek Watershed, central Iowa, USA. *Agroforestry System* 61: 35-50.
- Son, Y.M., Lee, S.J., Kim, S., Hwang J.S., Kim, R., and Park, H. 2014. Mapping and assessment of forest biomass resources in Korea. *Journal of Korean Forest Society* 103(3): 431-438.
- Yeo, J.K., Lee, W.W., Koo, Y.B., Woo, K.S., and Byun, J.K. 2010. Nitrogen storage potential in aboveground biomass of three-year-old poplar clones in a riparian area. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(3): 15-21.