

목질계 바이오매스 생산을 위한 갯버들의 성장특성

이현석¹ · 안찬훈² · 강준원^{1*} · 이위영¹ · 이재선³

¹국립산림과학원 임목육종과, ²국립산림과학원 산림약용자원연구소, ³강원대학교 산림과학부

Investigation of Growth Characteristics of *Salix gracilistyla* Clones for Promoting Woody Biomass Resources

Hyunseok Lee¹, Chanhoon An², Junwon Kang^{1*}, Wiyoung Lee¹ and Jae-Seon Yi³

¹Forest Tree Improvement Division, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

²Forest Medicinal Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Youngju 36040, Korea

³Division of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

요약: 본 연구는 갯버들의 성장 특성을 기반으로 단기순환벌채림(Short rotation coppices)을 조성하고, 바이오매스 생산 및 자원화 방안을 모색하기 위하여 우수집단 및 개체를 선발하고자 수행하였다. 갯버들이 서식하는 7개 집단에서 시료를 수집하여 2개의 시험지(춘천과 용인)에 집단별로 시험구를 설치하고, 우수집단 및 개체선발에 있어서 각 요인이 미치는 유의적인 차이를 조사하였다. 수고와 근원경은 시험지, 수집집단 및 연간생장 간에 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$). 식재 3년 후 지상부의 수확량은 춘천시험지에서는 영월집단이 개체 당 평균 4.8 kg(dw)으로 나타났으며, 이는 각 집단별 전체 평균의 2배 이상의 수확량으로 보여진다. 용인시험지에서는 홍천과 원주집단의 수확량이 개체 당 평균 3.3kg(dw)으로 가장 높게 나타났다. 두 시험지에서 수확량이 높게 나타난 집단은 일치하지 않았으나 수집 집단(Pop)과 시험지(Nur) 간의 상호작용에서 유의성이 인정되어서, 각 시험지별로 수확량이 우수한 집단을 제시할 수 있었다(F value = 3.51, $p < 0.01$). 이러한 결과를 토대로 선발된 집단의 영양계 검정을 이용하여 목질계 바이오매스 자원화를 위한 우수 자원을 육성할 수 있을 것이다.

Abstract: This study was investigated to select superior population and clones of *Salix gracilistyla* for promoting woody biomass resources through creating of short rotation coppices (SRC). Plant materials were collected from seven different population groups of *S. gracilistyla* and planted at two different nursery sites in Chuncheon and Yongin. Height and root collar diameter showed statistically significant differences among population, nursery, and annual growth for three years ($p < 0.01$). Aboveground biomass was harvested to investigate dry weight after 3 years from planting, the Youngwol population showed the highest yield as 4.8 kg DW plant⁻¹ in Chuncheon nursery which was more than double yield compared to the other nursery planted plants. However, Hongcheon and Wonju populations as 3.3 kg plant⁻¹, showed the best yield in Yongin nursery. In addition, there was a significant difference between collected populations and nurseries. But there was statistically significant different interaction between population (Pop) and nursery (Nur) (F value = 3.51, $p < 0.01$). Therefore, the superior populations selected by this experiment could be cultivated as an excellent variety for woody biomass resources through the clonal test.

Key words: biomass, salix gracilistyla, short rotation coppices, SRC, willow

서론

기후변화에 관한 정부 협의체(Intergovernmental Panel

on Climate Change, IPCC)의 제 5차 평가보고서에 따르면 지구표면의 온난화는 1850년대 이후에 시작되었으며, 특히 지난 30년간 급격히 진행되었다고 보고된바 있다. 세계 각국은 온실가스 저감에 대한 필요성을 적극 공감하고 있으며, 신재생에너지 개발에 정책 및 경제력을 집중하고 있는 실정이다. 유럽과 북미의 선진국들은 목질계 바이오매스 자원 식물을 대체에너지원으로 이용하기

* Corresponding author

E-mail: jwkang15@korea.kr

ORCID

Junwon Kang  http://orcid.org/0000-0003-3641-4654

위하여 점진적으로 확대·보급함으로써 유용하게 활용하고 있다(Walle et al. 2007). 이러한 요구에 부응하여 생장 및 번식능력이 우수한 수종의 발굴, 선발, 교잡 및 도입을 통하여 개량된 단기순환속성수의 바이오매스 자원화가 요구된다. 일반적으로 바이오매스 자원식물은 단위면적당 생산성이 높고, 투입되는 에너지와 비용이 최소한으로 투자되어야 한다(Mckendry, 2002). 지속 가능한 에너지 공급을 위하여 속성수를 고밀도로 식재하여 짧은 벌기령으로 단기간에 수확할 수 있는 단기순환림 경영을 위한 조림지를 조성할 수 있다. 이는 우수한 맹아력으로 갱신하여 많은 회수에 걸쳐 운벌기를 갖는 관목림으로서 지속적으로 벌채 수확이 가능하다고 볼 수 있다(Serapiglia et al., 2015). 이와 같이 목질계 바이오매스를 에너지원으로 이용하기 위해서는 대상 수종의 연구가 선행되어야 한다.

목질계 바이오매스로 이용 가능성이 높은 단기순환속성수로 포플러, 아까시나무와 함께 버드나무류를 언급할 수 있다. 버드나무류는 생장이 빠르고 탄소공급원으로 이용할 수 있는 특징이 있다. 더불어 최소한의 질소질 비료를 요구하는 특성이 있으며(Karp et al., 2011), 포플러와 아까시나무와 비교하여 단위면적당 재배 본수와 수확량이 우수하다. 또한 장령목의 포플러 유전자형은 녹병에 취약하고 줄기가 하나로 성장하는 경향이 있으나, 버드나무류의 경우 맹아력이 우수하고 다경의 줄기로 성장하기 때문에 목질계 바이오에너지원으로 활용 가능성이 높다고 사료된다. 이러한 생육특성으로 인하여 버드나무류는 미국과 유럽에서 목질계 바이오에너지 자원으로 이용되고 있다(Aylott et al., 2008; Serapiglia et al., 2014).

바이오매스 생산성이 우수한 클론을 육성하기 위하여, 미국과 유럽에서는 중간 교잡 및 클론선발법 이용하여 바이오매스 생산성을 높이는 육종전략을 추진하고 있는 상황이다(Cameron KD et al., 2008; Weih M et al., 2006;

Karp A et al., 2011). 영국에서 버드나무속 클론은 수확량이 최소 7.49 (odt) ha⁻¹ yr⁻¹로 ~ 10.72 (odt) ha⁻¹ yr⁻¹로 시험지와 유전자형에 따라 최대 3.23 (odt) ha⁻¹ yr⁻¹로 나타난 결과를 토대로 볼 때 집단 혹은 클론 간 선발시험이 요구된다(Aylott et al., 2008). 하지만 국내에서는 버드나무류의 바이오매스 자원화를 위한 자원 확보 및 선발육종 등의 연구가 이루어지지 않고 있는 실정으로 이에 대한 기초연구가 시급한 실정이다.

특히 갯버들은 우리나라 자연 습지의 수제부와 같이 비교적 안정화된 수변 식생대에 우점을 이루고 분포하는 것으로 알려져 있기 때문에(Chun et al., 1999), 바이오매스 우수 자원 확보가 용이할 것으로 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 갯버들의 우수 집단 확보 및 선발에 활용하기 위하여, 강원도 지역에 분포하는 갯버들을 지역별로 수집하여 각 수집 집단간의 생장특성을 파악하고자 두 지역의 생장시험지에 식재하여 그 생장특성을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 자원 수집

강원도 내 하천변에 자생하는 갯버들을 지역별로 영동권(강릉, 태백), 영서 남부권(원주, 영월) 및 영서 북부권(홍천, 양구)으로 구분하여 6개 집단과 경기도 양평군에서 1개 집단을 수집하였다(Figure 1). 집단 간의 유전적인 동질성을 방지하기 위하여 지역별 거리를 30~40 km로 유지하였다(Table 1). 하천 연변에 자생하는 3~4년생의 생장이 우수한 개체로부터 삼수를 채취하였으며, 동일 개체의 수집을 배제하기 위하여 개체 간의 20 m 이상의 간격을 두고 채취하였다.

2. 삼수 조제 및 식재

수집된 갯버들은 반숙지를 13 cm~15 cm 길이로 절단하여 삼수로 조제하였다. 발근이 용이하도록 배양토를

Table 1. List and description of collected sampling sites.

Collected regions	Longitude		Altitude(m)
1 GN	N 37° 42' 51.43"	E 128° 49' 43.83"	57
2 TB	N 37° 07' 16.32"	E 128° 55' 32.48"	823
3 YW	N 37° 11' 32.06"	E 128° 22' 54.01"	239
4 YG	N 38° 08' 05.72"	E 127° 59' 01.66"	171
5 HC	N 37° 46' 31.3"	E 127° 50' 00.2"	114
6 WJ	N 37° 20' 01.05"	E 127° 51' 57.73"	95
7 YP	N 37° 30' 50.61"	E 127° 36' 37.90"	96

GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong

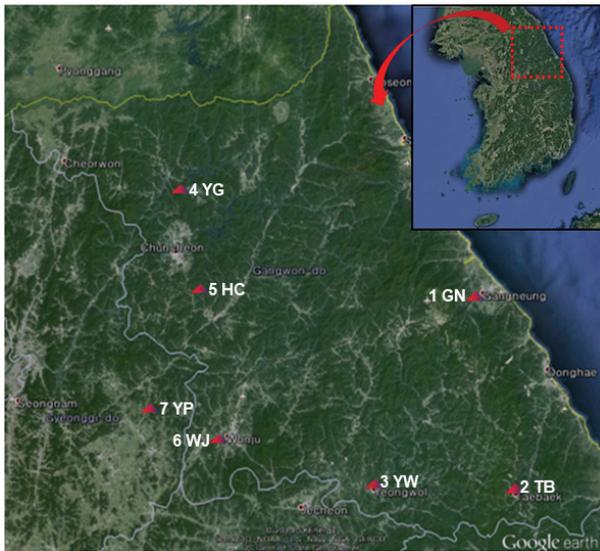


Figure 1. Collected branches of *S. gracilistyla* for provenance tests from several areas in Gangwon and Gyeonggi provinces. (GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong).

이용하여 만든 포트에 집단별로 15개체 3반복 총 45본을 삽목하였으며, 온실에서 2회/일 관수하였다. 삽목 1개월 후 활착이 완료되어 지상부의 묘고가 30 cm 가량 성장한 묘목은 시험포지에 집단별로 3반복씩 총 36본을 개체 당 간격 1 m×1 m로 하여 난괴법으로 이식하였다. 시험포지는 강원도 춘천시 신북읍 울문리와 경기도 용인시 기흥구 고매동에 조성되었다. 각 시험포지의 기상요소(연평균기온, 강수량)는 가장 근접한 기상 관측소(춘천과 수원 관측소) 데이터를 제시하였다(Figure 2). 시험지 토양의 화학적 특성 분석은 식재 전 표토로부터 깊이 30 cm 지점에서 3반복으로 채취하여, 토양 및 퇴비분석법(GARES, 2008)에 의하여 화학적 특성을 분석한 결과를 다음에 제시하였다(Table 2).

3. 성장량 및 바이오매스 측정

춘천 및 용인 시험지에 이식한 갯버들의 생장이 중지된 시점인 12월 첫째 주에 수고 및 측지 발생 수를 식재

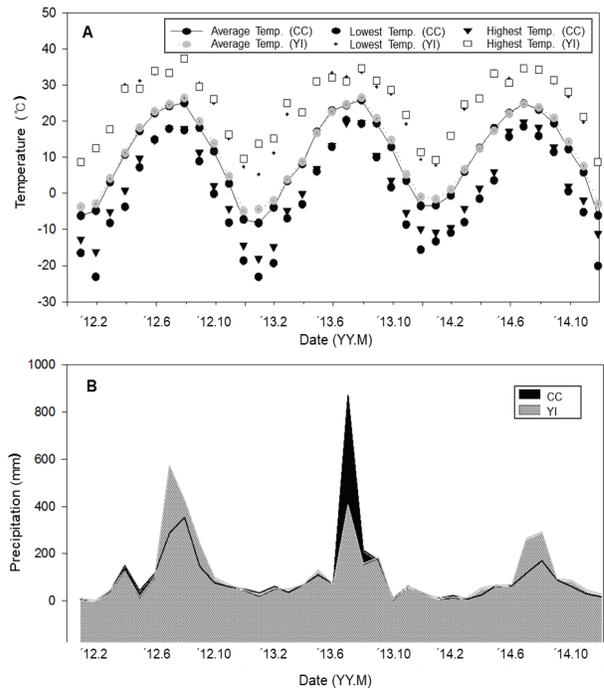


Figure 2. Monthly rainfall and mean air temperature at the two nursery sites during the experimental period 2012 to 2014. (CC : Chuncheon; YI : Yongin).

당년과 이듬해 식재된 클론에 대하여 전수조사를 실시하였다. 이식 후 3년생이 되는 시점에도 식재된 클론에 대하여 전수조사로 수고를 측정하였으며, 지상부를 수확하여 생중량을 측정하였다. 지상부 생중량 측정은 12월에 자연낙엽으로 잎이 제거된 상태에서, 지상부에서 5 cm 이내에서 잘라 전체를 측정하였다.

4. 통계분석

측정된 연간 수고 성장, 측지 발생 수, 근원경 및 수확량의 자료분석은 SAS enterprise guide(SAS Institute, ver. 9.2)프로그램을 이용하였다. 각 요인들 간의 유의성은 이원배치분산분석(two-way ANOVA), 동일한 시험지 내에서 수집 집단 간의 유의성 분석은 Duncan의 다중검정을 수행하였다.

Table 2. Characteristics of soil chemical properties of two nursery sites.

Nursery	Content		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ²⁺	CEC	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)
	pH	EC							
CC	5.7	0.15	6.6	1.65	5.19	0.23	29.34	0.93	33.93
	± 0.51	± 0.02	± 1.23	± 0.46	± 0.28	± 0.04	± 3.56	± 0.10	± 2.96
YI	5.1	0.13	3.61	0.73	2.99	0.31	13.66	0.33	26.19
	± 0.67	± 0.02	± 0.68	± 0.29	± 0.42	± 0.04	± 1.44	± 0.09	± 3.61

CC: Chuncheon, YI: Yongin

결 과

1. 수집집단 생장량

각 집단에서 수집된 갯버들 삼목묘를 시험포지에 이식한 후 연간 수고생장, 측지 발생 수 및 근원경을 조사하였다. 수고생장에 있어서 수집집단, 시험지 및 연간생장에 대한 이원배치분산분석을 수행한 결과, 각 요인들 및 요인들 간의 상호작용에서 각 요인들은 유의적으로 작용하는 것으로 나타났다($p < 0.01$, Table 3).

각 시험지에서 수집집단별 연간 수고생장을 비교하였을 때, 춘천시험지의 1년생은 태백집단이 가장 낮은 생장량을 보였으며 용인시험지의 경우 원주집단이 가장 낮은 수준으로 나타났다. 양구집단은 춘천과 용인시험지에서

1년생이 각각 66.4 cm와 102.6 cm로 가장 높은 수준으로 나타났으나 수집집단별 생장 차이가 높지 않았다. 1년생의 생장 특성을 시험지별로 비교하면, 용인시험지가 춘천시험지와 비교하여 30 cm 이상 높았다(Figure 3).

2년생의 춘천시험지에서는 수집집단에 따른 생장의 차이가 유의적으로 나타나지 않았으나, 용인시험지에서는 홍천집단이 177.2 cm로 가장 높은 수준을 보였으며 원주집단이 1년생과 동일하게 가장 낮은 생장량을 나타냈다.

별기령을 3년으로 하였을 때, 수확시점인 3년생의 수고생장이 우수한 집단은 두 시험지에서 다르게 나타났다. 춘천시험지는 영월 및 양구집단이 각각 294.6 cm와 294.3 cm, 용인시험지는 원주집단이 280.0 cm로 높은 수준으로 나타났다. 두 시험지 모두 이식 후 2년까지 낮은

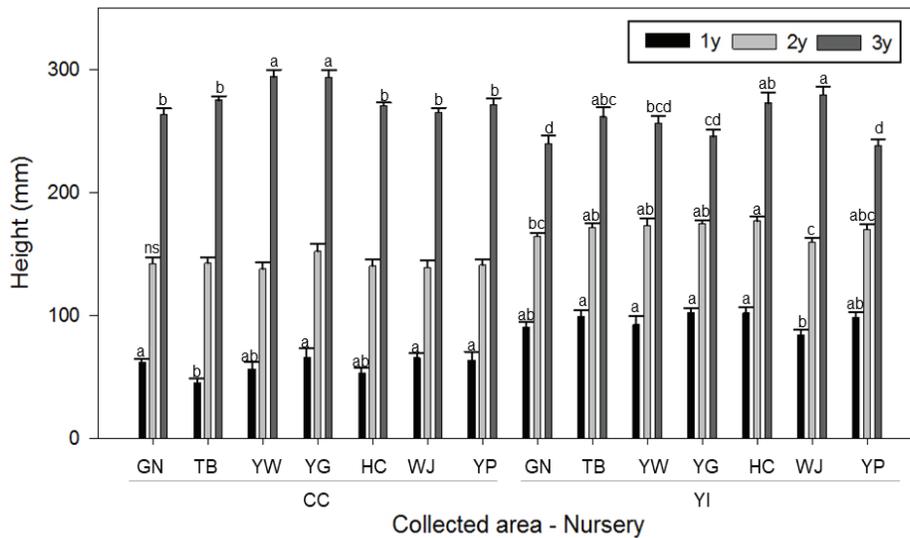


Figure 3. Annual height growth of *S. gracilistyla* by the difference of collected sampling regions at two nursery sites (CC, YI). (CC : Chuncheon, YI : Yongin, GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong, Means within same year and nursery followed by the same letter are not significantly different based on the Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)).

Table 3. Results of two-way ANOVA for interaction effects of nursery, year and population on height growth.

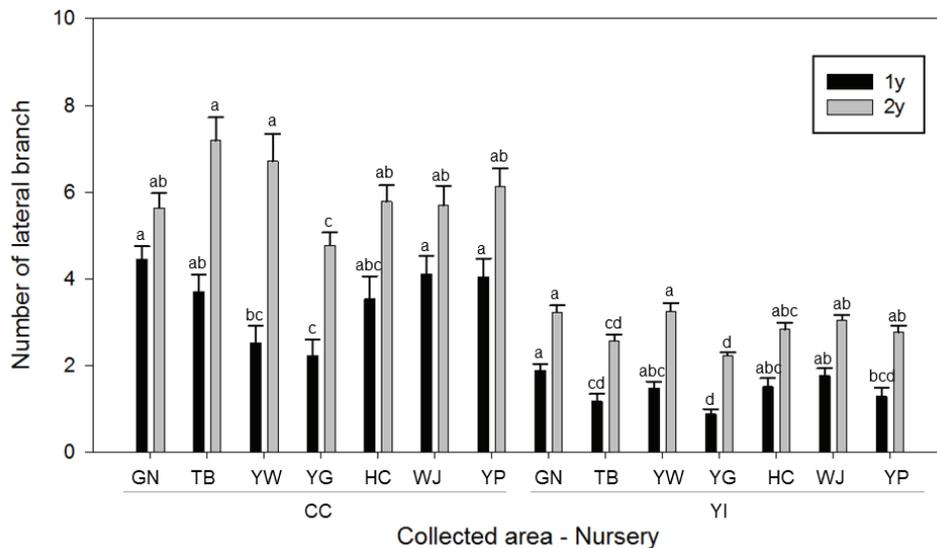
Source of variation	df	Mean square	F value	P
Population (<i>Pop</i>)	6	15216.61	3.34	< 0.01
Nursery (<i>Nur</i>)	1	58226.84	76.75	< 0.01
Year (<i>Yr</i>)	2	6150915.07	4053.85	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i>	6	16762.01	3.68	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Yr</i>	12	24875.59	2.73	< 0.01
<i>Nur</i> × <i>Yr</i>	2	176495.91	116.32	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i> × <i>Yr</i>	12	36540.78	4.01	< 0.01

df=degree of freedom, P=p-value

Table 4. Results of two-way ANOVA for interaction effects of nursery, year and population on number of lateral branch.

Source of variation	df	Mean square	F value	P
Population (<i>Pop</i>)	6	20.00	6.88	< 0.01
Nursery (<i>Nur</i>)	1	1279.63	440.06	< 0.01
Year (<i>Yr</i>)	1	709.92	244.14	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i>	6	7.04	2.42	0.03
<i>Pop</i> × <i>Yr</i>	6	10.51	3.61	< 0.01
<i>Nur</i> × <i>Yr</i>	1	52.45	18.04	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i> × <i>Yr</i>	6	6.41	2.20	0.04

df=degree of freedom, P=p-value

**Figure 4. Number of lateral branches of *S. gracilistyla* depending on the collected sampling regions at two nursery sites.**

(GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong, Means within same year and nursery followed by the same letter are not significantly different based on the Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)).

생장을 보였던 영월 및 원주집단이 수확 전 최종 생장이 우수한 집단임을 알 수 있었다. 또한 시험지와 연간생장 간의 상호작용에 따라, 평균 수고생장이 이식 후 2년까지는 용인시험지가 높았으나 3년생 생장에 있어서 춘천시험지는 평균 276.8 cm로 용인시험지의 평균 256.7 cm에 비하여 높게 나타났다.

갯버들의 생육특성 중 하나는 여러 개의 줄기가 발달 (다경, multiple branches)하기 때문에 단기간에 바이오매스 수확량 증가를 기대할 수 있다는 점이다. 이러한 이유로 발달된 측지 발생 수를 조사하였다. 측지 발생 수에 있어서 수집집단, 시험지 및 연간생장에 대한 이원배치 분산분석을 수행한 결과, 요인 내에서 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.01$, Table 4). 또한 각 요인들 간의 상호작용에서도 유의성이 인정되었다($p < 0.05$). 집단별로 수집된 클론을 시험지를 다르게 하여 식재하였을 때, 측지 발생

수는 시험지와 연간 기후 등 환경적 요인에 따라 순위가 다르게 나타날 수 있다.

수집집단별 각 시험지에서 연간 측지 발생 수를 비교 하였을 때, 춘천시험지에서 원주 및 양평집단이 1년생 측지 발생이 많은 수준이었고 강릉집단은 춘천시험지와 더불어 용인시험지에서 측지 발생이 가장 많은 것으로 조사되었다(Figure 4). 2년생 측지 발생은 춘천시험지에서 태백 및 영월집단이 용인시험지에서 강릉 및 영월집단이 높은 수준으로 나타났다. 양구 집단은 두 시험지에서 1년생과 2년생 모두 가장 적은 수준의 측지가 발생되었다. 각 요소들의 상호작용 중 시험지와 연간 생장 간에는 유의적인 차이가 나타났다($p < 0.01$). 따라서 두 시험지에서 2년생의 측지 발생을 비교하였을 때 춘천시험지가 3.5개로 용인시험지에 비하여 높은 수준으로 나타났으나, 수고생장과 뒤에서 제시될 근원경의 2년생 생장에 있어서

Table 5. Result of two-way ANOVA for interaction effects of nursery, year and population on root collar.

Source of variation	df	Mean square	F value	P
Population (<i>Pop</i>)	6	505.30	5.08	< 0.01
Nursery (<i>Nur</i>)	1	2579.03	25.93	< 0.01
Year (<i>Yr</i>)	1	100286.98	1008.17	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i>	6	59.71	0.60	0.73
<i>Pop</i> × <i>Yr</i>	6	393.85	3.96	< 0.01
<i>Nur</i> × <i>Yr</i>	1	2109.52	21.21	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i> × <i>Yr</i>	6	143.24	1.44	0.20

df=degree of freedom, P=p-value

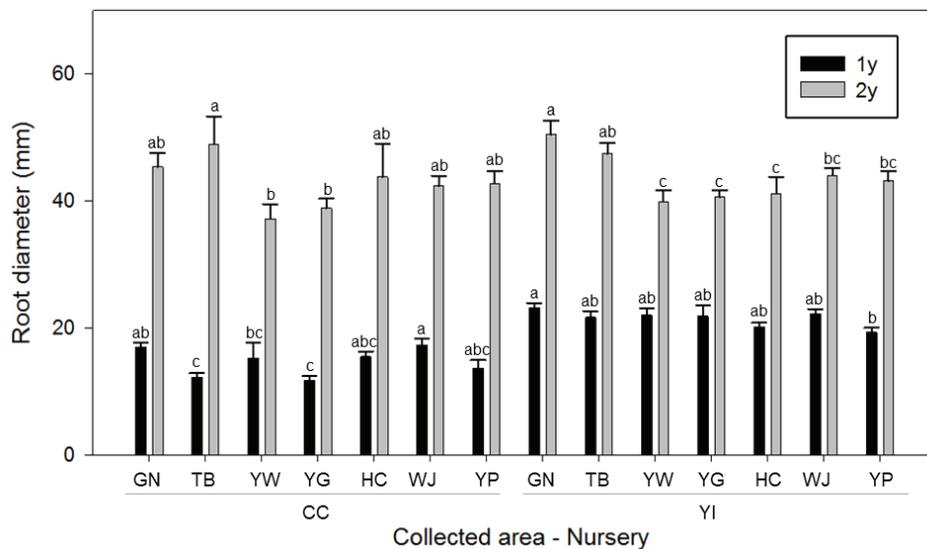


Figure 5. Root collar diameter of *S. gracilistyla* depending on the collected sampling regions at the two nursery sites.

(CC : Chuncheon, YI : Yongin, GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong, Means within same year and nursery followed by the same letter are not significantly different based on the Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)).

용인시험지에서 우수한 것과는 다른 경향을 보였다.

근원경을 대상으로 수집집단, 시험지 및 연간생장에 대한 이원배치분산분석을 수행한 결과, 요인 내의 유의성이 인정되었다($p < 0.01$, Table 5). 근원경에 영향을 미치는 요인으로는 세 가지 요인(수집집단 × 시험지 × 연간생장)의 상호작용은 유의적인 차이를 나타내지 않았으나, 수집 집단 × 연간생장, 시험지 × 연간생장에서 유의성이 나타났다($p < 0.01$). 식재 후 연차별로 생장 특성이 다를 수 있으며, 이는 수집집단 혹은 시험지와와의 상호작용으로 유전적 및 환경적 요소가 각각 작용하는 것으로 볼 수 있다.

수집집단별 1년생의 근원경은, 원주집단이 17.41 mm로 가장 높은 수준으로 나타났으며 양구집단이 11.83 mm로 낮은 수준으로 춘천시시험지에서 조사되었다(Figure 5). 용인시험지에서는 강릉집단이 23.45 mm로 가장 높은

수준으로 나타났으며, 양평집단이 가장 낮은 수준이었다. 2년생 근원경이 높은 수준으로 조사된 집단은 춘천시시험지에서 태백집단, 용인시험지에서 강릉집단이었다. 가장 낮은 수준으로 조사된 집단은 춘천시시험지에서 영월 및 양구 집단, 용인시험지에서 영월, 양구 및 홍천집단이었다. 시험지와 연간 근원경을 살펴보았을 때 1, 2년생 모두 용인시험지가 춘천시시험지에 비하여 생장량이 높은 것으로 나타났다. 하지만 태백 및 홍천집단의 2년생 근원경은 춘천시시험지에서 생장이 우수한 것으로 나타났다.

2. 수집집단 수확량

바이오매스량을 측정하기 위하여 식재 3년 후 지상부를 수확하여 생중량을 측정하였다. 수확량에 있어 수집 집단, 시험지 및 연간생장에 대한 이원배치분산분석을

Table 6. Result of two-way ANOVA for interaction effects of population and nursery on yield.

Source of variation	df	Mean square	F value	P
Population (<i>Pop</i>)	6	3.95	1.26	0.27
Nursery (<i>Nur</i>)	1	47.25	15.11	< 0.01
<i>Pop</i> × <i>Nur</i>	6	10.98	3.51	< 0.01

df=degree of freedom, P=p-value

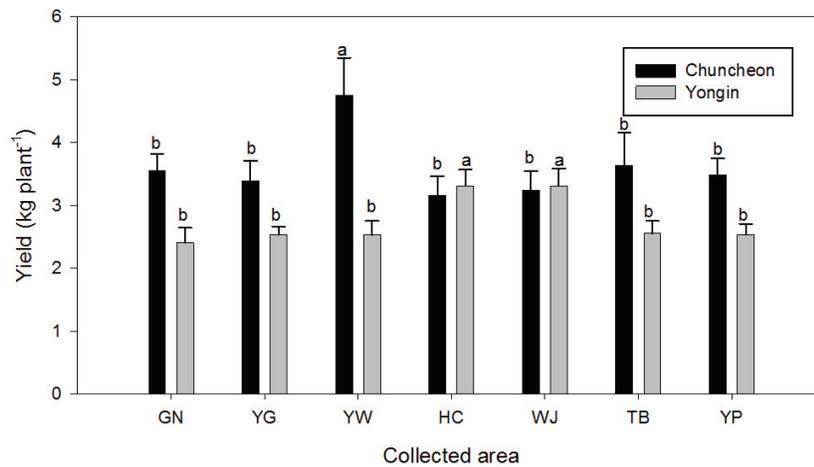


Figure 6. Biomass yield of *S. gracilistyla* depending on the collected sampling regions at the two nursery sites.

(CC : Chuncheon, YI : Yongin, GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong, Means within a column followed by the same letter are not significantly different based on the Duncan's multiple range test ($p < 0.05$)).

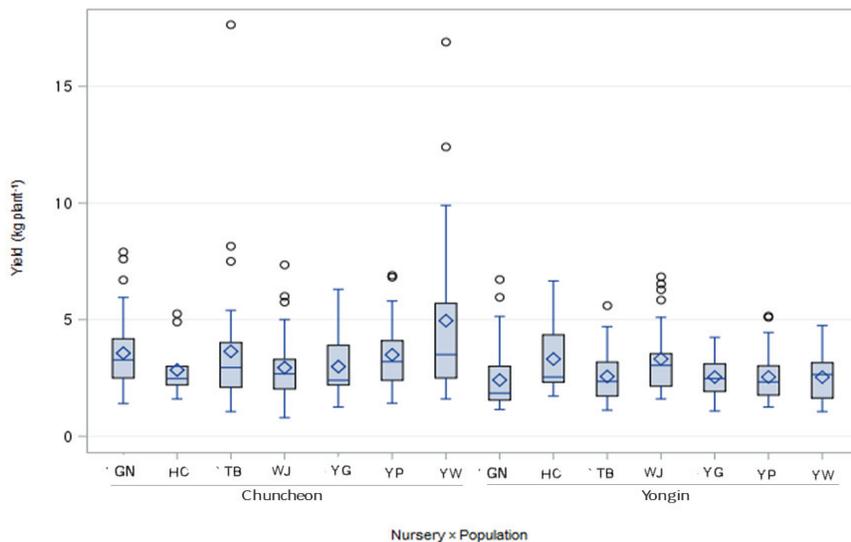


Figure 7. Biomass yield distribution of *S. gracilistyla* depending on the collected sampling regions at the two nursery sites.

(GN: Gangneung; YW: Yeongwol; WJ: Wonju; YG: Yanggu; TB: Taebaek; HC: Hongcheon; YP: Yangpyeong).

수행한 결과 두 시험지 간 유의적인 수확량의 차이가 나타났다($p < 0.01$). 수집집단과 시험지 간의 상호작용도 유의적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 이는 바이오매스 생산에 있어 환경적 요소인 시험지가 유의적

인 요인으로 작용하나, 유전적 요인인 수집집단을 다르게 식재하였을 때 두 요인이 모두 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

단일요소로 유의성이 인정된 시험지 간의 개체별 평균

수확량을 비교하면, 춘천시시험지에서 3.5 kg으로 용인시험지의 2.8 kg에 비하여 높게 나타났다. 두 시험지에서 수확량이 높게 나타난 집단은 일치하지 않았으나, 수집 집단과 시험지 간의 상호작용에서 유의성이 인정되어 각 시험지별로 수확량이 우수한 집단을 제시할 수 있다. 춘천시시험지에서는 영월집단이 개체별 평균 4.8 kg으로 월등히 우수한 수확량을 보였고, 나머지 집단들은 통계적으로 유의성이 나타나지 않았다(Figure 6). 용인시험지에서는 홍천 및 원주집단이 3.3 kg로 우수한 수확량을 보였고 나머지 집단은 비슷한 수확량이 나타났다.

시험지 전체 평균의 2배 이상의 수확량을 나타낸 클론은 춘천시시험지에서만 영월, 태백 및 강릉집단에서 수집된 개체에서 조사되었다(Figure 7). 이를 토대로 바이오매스 생산량 우수개체 선발시 3년을 주기로 수확하여 바이오매스량을 측정함으로써 벌채 횟수에 따른 수확량의 증감과 클론 간의 편차를 지속적으로 조사해야 할 것이다.

고 찰

생장 및 수확량이 우수한 집단 또는 개체의 선발 과정에서 유전과 환경의 상호작용은 복합적으로 작용하여 각 시험지 간에 상이한 결과를 나타낼 수 있다(Allard and Bradshaw 1964; Barnes et al., 1984). 갯버들의 바이오매스 자원화를 위한 우수 집단 및 클론 선발을 위한 본 연구에서 수집 집단, 시험지 및 연간생장의 요인 중 두 가지 요인을 통제하였을 때, 하나의 요인은 수고생장에 있어서 영향을 미치는 요소로 작용할 수 있을 것이다. 하지만 둘 이상의 요인들 간의 상호작용이 존재하는 것으로 나타났기 때문에, 상이한 시험지에 식재하였을 때 수집 집단 및 클론을 수고생장과 연간생장의 순위가 다를 수 있음을 의미한다. 수확량은 수집 집단과 시험지 중 시험지에 있어 유의성이 인정되었으며, 수집 집단×시험지의 상호작용에 있어서도 유의성이 인정되었다. 유전자형과 재배지에 따른 생산량에 관한 선행연구로 Serapiglia et al.(2013)는 서로 다른 재배지에서 동일한 클론을 식재하여 수확량을 비교하였을 때 생산량이 우수한 클론이 재배지마다 다르게 나타났으며, 재배지 간의 생산량도 큰 차이가 있는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 수확량이 우수한 집단이 춘천과 용인시험지에서 일치하지 않았다. 춘천시시험지에서는 영월에서 수집된 집단이 개체당 평균 3.5 kg으로 가장 높은 수확량을 나타냈지만, 용인시험지에서는 홍천과 원주에서 수집된 집단이 개체당 평균 2.5 kg으로 수확량이 우수한 것으로 나타났다. 또한 초기 생장과 후기생장이 우수한 집단이 일치하지 않았다. 이는 버드나무 클론을 식재하였을 때 초기 생장이 좋지 않

았던 클론이 3년이 경과하였을 때 우수한 것으로 보고된 Yeo et al.(2007)의 기존 연구결과와 같은 경향이다. 클론 별로 연간 생장 특성이 다르게 나타날 수 있으므로 벌기령 시점에서 이러한 점을 고려하여야 할 것이다.

Volk et al.(2011)의 연구결과에 따르면, 버드나무의 수확량은 1차 수확보다 2차 수확 때 23.0% 증가하였으며, 4차 수확 시에는 초기 수확량보다 30.8%가 증가되었다고 보고하였다. 이러한 버드나무류의 특징은 수확 후 맹아 발생이 증대될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 조사된 갯버들은 1차 수확이기 때문에 벌채 후 맹아의 발달에 의하여 형성된 2차 수확기에는 보다 높은 수확량을 기대할 수 있을 것이다. 일반적으로 버드나무류의 수확기를 3년으로 보고 있지만, 1년차 벌채 후 맹아력을 유도하여 단위면적당 생산량을 증대시키는 방법도 고려해 볼 수 있을 것이다. 본 연구에서 갯버들의 수확량은 식재 본수를 고려하였을 때 수집집단에 따라 춘천시시험지에서는 32~48 fwt ha⁻¹ 범위에서 평균 35 fwt ha⁻¹, 용인시험지에서는 24~33 fwt ha⁻¹ 범위에서 평균 28 fwt ha⁻¹로 환산된다. 갯버들의 지상부의 재적을 추정하기 위한 본 연구에서 건조중량은 생중량 대비 50.5% 수준으로 조사되었다(데이터미제시). 이러한 결과를 토대로, 17.5 odt ha⁻¹ 과 14 odt ha⁻¹ 가량으로 추정할 수 있다. 영국에서 버드나무류 수종과 클론을 다르게하여 49개소에 식재하였을 때, 수확량은 1.97~13.34 odt ha⁻¹ yr⁻¹로 클론 간의 차이가 있기는 하지만 본 연구의 연구 결과와 비슷한 수준인 것을 알 수 있다(Aylott et al., 2008). 이 연구에서도 나타나듯이 클론 간에 최대 6.8배 가량 차이를 보이므로 우수 클론을 선발해야 함을 시사하였다. 또한, 1차 벌채 후 이원배치분산분석에 의해 도출된 각 요소들 간의 상호작용에 대한 유의성이 2차 벌채 후에도 유의적인 차이가 있는지 조사할 필요가 있을 것이다. 기존의 연구에서 목질계 바이오매스로 많이 이용되는 포플러와 버드나무류 클론을 식재하였을 때, 식재 4년 후 버드나무와 포플러 클론의 수확량은 같거나 다소 낮은 수준으로 나타났다(Labrecque and Teodorescu, 2005). 입지조건에 따라 버드나무류와 포플러의 생육특성을 고려하여 식재함으로써 바이오매스 수확량을 증대시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 바이오매스 생산량에 관한 국내 연구가 전무한 상태에서 수행된 초기 연구이며 측정된 갯버들의 수확량은 개체 단위로 측정되었기 때문에 갯버들의 대단위 면적당 수확량을 단정 짓는 것은 다소 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 현재 단계에서는 개체당 수확량을 자료로 하여 토양과 시비(Mortensen et al., 1998) 그리고 식재지 환경과 방법(Conroy and Svejcar, 1991) 등을 고려하여 대단위로 여러 곳에 재배함으로써 생산량을 산출

하여야 할 것이다. 바이오매스 우수개체 선발에 있어서 유럽과 미국 등에서는 측정 기준을 수고를 우선으로 하지만 이는 기계수확 시스템을 반영한 결과로 보여진다. 하지만 우리나라의 경우 주로 유희농지나 한계농지 등 한정된 토지를 이용할 가능성이 높은 실정을 고려할 때, 수고가 낮을지라도 가지수가 많으며 직경이 두꺼워 벌채시 수확량이 우수한 집단 혹은 클론을 선발하여야 할 것이다. 본 연구에서 수확량에 영향을 미치는 요인으로 시험지 단독 및 수집집단과 시험지 간 상호작용으로 나타났으며, 이를 고려하여 유전적으로 다양한 집단을 확보함으로써 우수 클론의 선발 및 육종에 기여할 수 있을 것이다.

References

- Allard, R.W. and Bradshaw, A.D. 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science* 4: 503-508.
- Aylott, M.J., Casella, E., Tubby, I., Street, N.R., Smith, P. and Taylor, G. 2008. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist* 178: 358-370.
- Barnes, R., Burley, J. and Gibson, G., 1984. Genotype-environment interactions in tropical pines and their structure of breeding population. Oxford England p.22.
- Cameron, K.D., Phillips, I.S., Kopp, R.F., Volk, T.A., Maynard, C.A., Abrahamson, L.P. and Smart, L.B. 2008. Quantitative genetics of traits indicative of biomass production and heterosis in 34 full-sib *F₁ salix eriocephala* families. *Bioenergy Research* 1: 80-90.
- Chun, S.H., Hyun, J.Y. and Choi, J.K. 1999. A study on the distribution patterns of *Salix gracilistyla* and *Phragmites japonica* communities according to micro-landforms and substrates of the stream corridor. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 27(2): 58-68.
- Conroy, S.D. and Svejcar, T.J. 1991. Willow planting success as influenced by site factors and cattle grazing in Northeastern California. *Journal of Range Management* 44(1): 59-63.
- GARES. 2008. Methods of soil and compost analysis. Gyeonggido Agricultural Research and Extension Services, Hwaseong, Korea.
- IPCC. 2014. Synthesis report of the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change(IPCC). WMO and UNEP. Cambridge university press. Cambridge. New York. U.S.A.
- Labrecque M., and Teodorescu TI. 2005. Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice in southern Quebec (Canada). *Biomass and Bioenergy* 29: 1-9.
- McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37-46.
- Karp, A., Hanley, S.J., Trybush, S.O., Macalpine, W., Pei, M. and Shield, I. 2011. Genetic improvement of willow for bioenergy and biofuels. *Journal of Integrative Plant Biology* 53(2): 151-165.
- Mortensen, J., Nielsen, K.H. and Jørgensen, U. 1998. Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass and Bioenergy* 15(6): 457-466.
- Serapiglia, M.J., Cameron, K.D., Stipanovic, A.J., Abrahamson, L.P., Volk, T.A. and Smart, L.B. 2013. Yield and woody biomass traits of novel shrub willow hybrids at two contrasting sites. *Bioenergy Research* 6: 533-546.
- Serapiglia, M.J., Gouker, F.G. and Smart, L.B. 2014. Early selection of novel triploid hybrids of shrub willow with improved biomass yield relative to diploids. *BMC Plant Biology* 14: 74.
- Serapiglia, M.J., Gouker, F.G., Hart, J.F., Unda, F., Mansfield, S.D., Stipanovic, A.J., and Smart, L.B. 2015. Ploidy level affects important biomass traits of novel shrub willow(*Salix*) hybrids. *BioEnergy Research* 8: 259-269.
- Volk, T.A., Abrahamson, L.P., Cameron, K.D., Castellano, P., Corbin, T., Fabio, E., Johnson, G., Kuzovkina-Eischen, Y., Labrecque, M., Miller, R., Sidders, D., Smart, L.B., Staver, K., Stanosz, G.R. and Rees, K.V. 2011. Yields of willow biomass crops across a range of sites in North America. *Aspects of Applied Biology* 112: 67-74.
- Walle, IV., Camp, N.V., Castele, L.V., Verheyen, K., Lemeur, R. 2007. Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I—Biomass production after 4 years of tree growth. *Biomass & bioenergy* 31(5): 267-275.
- Weih, M., Rönnerberg-Wästljung, A.C. and Glynn, C. 2006. Genetic basis of phenotypic correlations among growth traits in hybrid willow(*Salix dasyclados* × *S. viminalis*) grown under two water regimes. *New Phytologist* 170: 467-477.
- Yeo, J.K., Woo, K.S., Koo, Y.B. and Kim, Y.S. 2007. Growth performance and adaptability of three-year-old poplar and willow clones in a riparian area. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 10(5): 40-50.