

하천토양에서 갯버들의 생장특성과 질소와 인의 제거효과

서병수 · 최수민 · 박종민*

전북대학교 산림과학부, 농업과학기술연구소

Growth Characteristics and Removal Effect of Nitrogen and Phosphorus of *Salix gracilistyla* Grown in Waterway Soils

Byung-Soo Seo, Su-Min Choi and Chong-Min Park*

Faculty of Forest Science, Chonbuk National University, Chonju, Chollabukdo 561-756

요 약: 질소와 인의 농도가 다른 만경강 하천토양에 친수성 목본식물인 갯버들을 재배하여 식물체의 생장량과 광합성, 그리고 토양내의 질소와 유효인산(P_2O_5)의 함량변화 등을 조사하였다. 만경강 하천토양 내 질소와 유효인산의 함량은 비교적 하루에 위치하면서 일부 축산오수가 유입되고 있는 삼례철교 부근의 하천토양에서 가장 높았다. 하천토양에서 재배된 갯버들은 줄기의 길이생장이 가장 왕성(170-215%)하였고, 다음으로 직경생장이 양호(42.3-79.3%)하였다. 전반적으로 질소의 함량이 높은 하천토양일수록 갯버들의 생장이 더 왕성하였다. 식물체의 광합성량은 질소의 함량이 많은 토양에서 약간 높았고, 8월에 최대치를 나타내었다. 갯버들을 재배함으로써 하천토양에서 질소는 14-15% 정도 제거되었고, 유효인산은 9-11% 정도 제거되었다. 갯버들은 인보다는 질소의 제거에 더 효과적이었으며, 질소와 인산 모두 농도가 높은 토양에서 제거율도 높은 경향을 나타내었다.

Abstract: This study was carried out to survey the growth and the photosynthesis of *Salix gracilistyla*, the reduction rate of nitrogen and phosphoric acid by the plant grown in waterway soil. The results were summarized as follows; 1. The contents of nitrogen and phosphoric acid at waterway soils of Mangyeong river showed the highest level in the around Samrye railway bridge where was located in the downstream and livestock complex. 2. The *Salix gracilistyla* which grown in waterway soil showed that the growth of stem length and diameter were 170~215% and 42.3~79.3%, respectively. In addition the growth rate of *Salix gracilistyla* was increased with increasing nitrogen concentrations in waterway soils. 3. The rate of photosynthesis was high in waterway soil contained high nitrogen and it appeared the highest in August. 4. The nitrogen and phosphoric acid by *Salix gracilistyla* grown in waterway soil were removed about 14~15% and 9~11%, respectively. The *Salix gracilistyla* was effective removing nitrogen more than phosphoric acid.

Key words: *Salix gracilistyla*, Mangyeong river, waterway soils, growth rate

서 론

호소, 하천 및 해양의 수질오염은 유입부하로 발생하는 외부오염원과 퇴적물에 의한 내부오염원으로 분류할 수 있는데, 수중생태계에 유입되는 외부오염원의 제어에도 불구하고 수질이 크게 개선되지 않는 것은 내부오염원의 잠재적인 기여도와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(임흥탁, 1991). 하천토양 중에 함유된 유기물질, 질소, 인 및 중금속과 같은 영양물질과 환경오염물질로 인해 수중생태계가 건전성을 잃어가고 있는데, 특히 하천퇴적물에는 고농도의 인과 질소가 분포하며, 물리·화학·생물학적인 변화에 민감하게 반응하여 수중생태계로 용출됨으로써 수질의 부영양화를 초래하게 된다

(임흥탁, 1991). 따라서 많은 수중생태계가 중영양화(mesoeutrophication)에서 부영양화(eutrophication)상태로 발전되고 있는 상황에서 이들 하천퇴적물에 존재하는 질소와 인의 제거는 수중생태계의 건전성 유지를 위해 필수불가결한 정화작업 중의 하나라고 할 수 있다.

이러한 오염된 하천 수질의 친환경적인 정화법으로 수생식물을 활용하는 방법에 대해 연구가 진행되어 왔다(Grant and Patrick, 1970; 김윤태, 1999). 수생식물은 질산염, 인산염, 중금속 등 각종 수질오염물질을 섭취하여 제거하는 수질정화능력을 지니고 있을 뿐 아니라 대기로부터 수중으로 산소를 공급하고 수생미생물의 수질정화능력을 증가시킨다고 보고된 바 있다(함용규, 1996). 또한 이들 수생식물들이 서식하는 습지와 하천은 물리·화학적 처리와는 달리 2차적인 오염 발생이 없는 자연수질정화능력을 갖고 있어 낮은 비용으로 오폐수를 처리할 수 있음이 밝혀졌다(Ghosh and Sen, 1987). 이러한 수생식물의 수질정화능력에 관한 연구로서 Rogers와 Davis(1972)는 1 ha의 부레옥잠이 800명의 사람이 하루에 배출하는 질소

*Corresponding author

E-mail: cmpark@chonbuk.ac.kr

이 연구는 2001년 농림기술센터의 학술연구비 지원에 의해 수행되었음

와 인을 함유한 폐수를 정화할 수 있다고 하였고, Sato와 Kando(1981)는 영양염류의 농도변화에 따른 부레옥잠의 질소와 인의 흡수량에 관한 연구에서 최대 흡수량이 각각 1.31, 0.27 g/m²/day임을 밝혔다. Reddy와 Debusk(1987)는 식물에 의해서 암모니아태 질소와 질산태 질소의 일부가 흡수·제거될 수 있는데, 계절에 따라서 0.3~7.0 kg/ha/day 정도까지 흡수가 가능하다고 하였다. 국내에서는 1990년대에 들어와서 수질오염과 관련된 연구(김용범과 임양재, 1990; 조강현, 1992), 질소와 인의 제거능력에 관한 연구(이육주, 1999)들이 활발히 진행되어 왔다. 이러한 연구들은 대부분 수생초본을 재료로 한 수질정화효과를 분석한 것들이며, 목본식물을 이용한 수질정화효과에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다.

목본식물을 이용한 수질정화 연구로는 1969년에 Hazuk와 Mazur에 의해 버드나무를 식재하여 침출수를 관수한 결과 그렇지 않은 지역보다 100%의 수고생장을 보였음이 조사되었고(Kutera and Soroko, 1994), Obarska-Pempkowiak(1994)가 침출수에서 버드나무가 질소와 인등을 얼마나 제거하는가를 조사한 바 있으며, Kutera와 Soroko(1994)는 버드나무와 포플러를 식재한 후 침출수를 관수하여 질소와 인이 얼마나 제거되는가와 성장량을 조사한 바 있다. 또한, 갯버들의 질소와 인의 제거능력에 대한 연구가 수행되었으며(신정아와 차영일, 1999), 그 비슷한 예로서 쓰래기매립지에 현사시나무의 적응성(김관기 등, 2002)이나, 이태리포플러와 자작나무의 묘목생장에 미치는 영향 등을 조사한 사례(우수영 등, 2001)가 있다. 그러나 오염된 하천토양을 대상으로 식물을 이용한 질소와 인의 제거능에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 오염정도가 다른 하천토양에서 내침수성 수종인 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)을 이용하여 오염토양에서의 성장반응을 파악하고, 직접적인 질소와 인의 제거효과를 측정 분석함으로써, 갯버들이 하천수질 및 토양오염의 개선에 어느 정도 기여할 수 있는가를 구명하는 데에 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 시험용 하천토양의 채취장소

생활하수와 공단폐수 등이 방류되어 오염된 하천토양을 얻기 위해 오염상태가 다른 만경강 상류(A, B), 중류(C, D), 하류(E)에서 5지점을 선택하여 시험토양을 채취하였다. 채취지

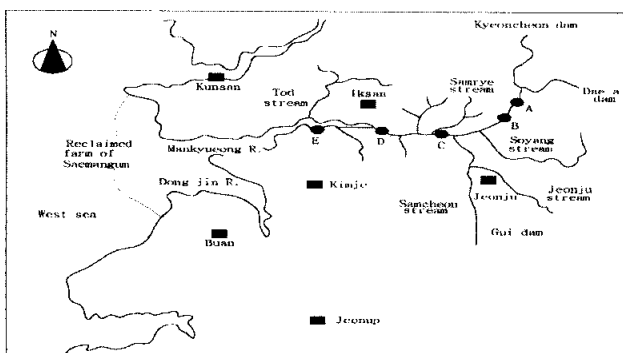


Figure 1. Location map of sampling sites(A: Sindang bridge, B: Bongdong bridge, C: Samrye bridge, D: Gocheon water reservoir, E: Gongduk water reservoir).

점은 Figure 1에 나타난 바와 같다.

2. 토양내 질소와 인산 함량 분석

채취방법은 2001년 2월에 하천토양의 표토를 걷어낸 후 10~20 cm 깊이에서 각 지점마다 5점을 채취하였다. 각 지점에서 채취한 5점의 토양시료를 혼합한 후, 토양을 실험실로 옮겨 그늘지고 통풍이 잘 되는 곳에서 얇게 펴서 2주간 음건시켰다. 음건 후 덩어리 상태인 토양을 잘게 부순 후 토양체(No. 10)로 쳐서 뿌리 등 이물질질을 완전히 제거하고 유리병에 넣어 햇빛이 들지 않는 곳에 보관하여 분석시료로 이용하였다. 시험에서 대조구 토양은 오염수에 의해 토양 중에 질소와 인 성분이 축적되지 않은 토양으로서, 전북대학교 농업생명과 학대학 묘포장에서 채취한 토양을 사용하였다. 시험용 하천토양과 식물재배 후의 토양을 대상으로 질소와 유효인산의 함량을 분석하였다. 질소는 micro Kjeldahl 법으로, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다(Page, 1990).

3. 공시식물의 재배

시험에 사용된 갯버들은 2001년 12월에 전주 소재 전북대학교 학술림 내에서 채취하여 온실에 삼목하였다. 삼목후 6개월간 온실에서 발근을 유도한 다음 삼목묘에서 발생한 잎을 모두 제거하고, 뿌리는 10 cm로 길이를 일정하게 절단 한 후 사용하였다. 식재하기 전에 각 개체의 직경, 가지수, 가지 길이 등을 측정하였다. 만경강의 5지점에서 채취한 시험토양을 구멍이 없는 높이 50 cm, 직경 30 cm의 고무통에 20 cm 정도의 높이로 충전하였다. 시험구 배치는 하천토양을 요인으로 하여 난괴법 5반복으로 하였다(박성현, 2002). 2002년 5월 21일에 포트 당 4본씩 갯버들을 식재하였고, 비닐하우스 안에서 재배하여 2002년 10월 21일에 시험을 종료하였다. 수분공급은 포트에 항상 침수상태의 물이 유지되도록 수돗물을 관수하였다.

4. 광합성 측정

광합성은 광도, 온도, CO₂의 농도, 습도 등의 환경요인에 대해 고도의 유의성을 나타낸다(손기철과 김미경, 1998). 이에 본 연구에서는 위의 조건을 일정하게 맞추는 다음 만경강의 여러 지점에서 채취한 토양별로 성장중인 갯버들의 광합성량의 변화를 측정하였다. 공시식물의 광합성 측정은 식재 후 6~7 개 이상의 잎이 발생한 2002년 6월말부터 10월말까지 시험하우스(길이 20 m×폭 7 m×높이 2.5 m) 안에서 식물체의 가장 건전한 상위 잎을 가진 3개의 포트를 선정하여 적외선 가스분석기(Infrared gas analyzer, LCA4 ADC)로 측정하여 그 평균값을 취하였다. 측정시 동화상을 개방계로 설치하고 공기를 분당 250 ml의 속도로 흐르게 하여 주입한 공기와 동화상을 지나온 공기와의 차이로 산출하였으며, 광량은 300 μmol m⁻²s⁻¹ 범위를 유지하고, 외부의 CO₂ 농도는 360~380 ppm을 유지하였다. 엽면적은 6.25 cm²로 하고, 측정온도는 28°C ± 2°C, 시간은 수분의 변화가 적은 시간대인 9시에서 10시 사이에 측정하였다.

5. 통계처리

토양과 식물체 내 질소와 인산의 함량, 식물체의 성장량, 광합성량 등은 통계 프로그램 SAS 6.12 version(SAS Institutes, 1995)을 사용하여 5%와 1% 수준에서 유의성 검정을 하였다.

결과 및 고찰

1. 하천토양의 채취 위치별 질소와 인 함량

하천에서 채취한 토양의 질소와 유효인산의 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같았다. 표에서 보는 바와 같이 질소의 함량은 봉동교 하류쪽인 B 지점의 하천토양이 1.26%로 가장 높았고, 다음으로는 고천배수장 근처인 D 지점의 하천토양이 1.06%이었으며, 삼례철교 쪽인 C와 신당교 근처인 A 하천토양, 공덕배수장 근처인 E 하천토양에서 각각 0.77%, 0.66%, 0.51%를 나타내었다. 대조구인 묘포장 토양은 0.20%로서 만경강 하천토양들은 대조토양에 비해 3~6배 정도 많은 질소를 함유하고 있었다. 유효인산의 함량은 D 지점의 하천토양에서 123.0 ppm으로 가장 많았고 다음으로는 B, C, E, A 하천토양에서 각각 82.6 ppm, 74.8 ppm, 40.0 ppm, 24.5 ppm 순이었으며, 대조토양(22.8 ppm)에 비해 1~4배 정도 많은 것으로 나타났다.

Table 1. Total nitrogen and phosphoric acid concentration of experiment waterway soils collected from Mangyeong river

Test soils	T-N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)
A(Sindang bridge)	0.66 ± 0.14 ^{bc}	24.5 ± 6.5 ^d
B(Bongdong bridge)	1.26 ± 0.63 ^a	82.6 ± 16.2 ^{ab}
C(Samrye bridge.)	0.77 ± 0.25 ^b	74.8 ± 18.0 ^b
D(Gocheon water reservoir)	1.06 ± 0.58 ^{ab}	123.0 ± 21.2 ^a
E(Gongduk water reservoir)	0.51 ± 0.18 ^c	40.0 ± 14.8 ^c
Control(Nursery soil)	0.20 ± 0.07 ^d	22.8 ± 8.8 ^d

전체적으로 질소의 농도는 B 지점, 인산은 D 지점에서 가장 많은 함유량을 나타내었다. 총질소와 총인산의 함량으로 하천별 오염도를 알 수 있는데, 조사토양 가운데 가장 오염이 심한 하천토양은 질소와 유효인산의 총량이 가장 많은 D 토양으로 나타났으며, 그 다음으로는 B, C, E, A 순의 오염도를 나타냈다. D 지점은 주로 농경지를 통과하는 고산천, 소양천 및 전주천과 삼천이 합류한 다음, 대규모 축산단지에서 유출되는 오수가 모아지는 삼례천이 합류한 지점으로서 하천 토양에 질소와 인산이 많이 축적된 것으로 판단된다.

2. 하천토양별 갯버들의 생장량

질소와 인산의 농도가 각각 다른 공시토양에 갯버들을 재배하여 생장상태를 조사한 결과 Figure 2~4와 같이 나타났다. 실험 후 조사된 수치는 각 하천토양별로 5개의 포트에 4 본씩 식재된 20개체의 생장상태를 조사하여 평균치를 나타낸 값이다.

줄기직경은 B 토양에서 식재 후 1.72 cm가 성장하여 79.3%의 가장 왕성한 생장을 나타내었다. 다음으로는 D 토양에서 1.43 cm(72.6%), C 토양이 1.30 cm(69.9%)의 생장을 기록하였으며, A 토양에서 1.10 cm(55.0%), E 토양에서는 0.86 cm(42.8%)가 성장하여 전체적으로 대조구(30.4%)에 비해 생장량이 높은 것으로 나타났다. 줄기의 길이는 B 토양에서 30.38 cm로 초기의 측정값보다 2배 이상(215%)으로 가장 많이 성장하였으며, 다음으로 D, A, C, E 토양에서 각각 27.10 cm(202%), 27.13 cm(192%), 23.52 cm(192%), 22.49 cm(170%)의 성장을 하여 줄기의 길이는 줄기직경과 마찬가지로 대조구(20 cm, 138%)에 비해 생장량이 높은 것으로 나타났다(Figure 2). 뿌리길이는 B 토양과 D 토양에서 26.92 cm로 식재당시(10 cm)에 비해 16.92 cm(169.2%)가 성장하여 가장 많이 성장하였고, 다음으로 A 토양 15.71 cm(157.1%), E 토양 13.92 cm(139.2%), 대조구 토양 12.81 cm(128.1%)의 순으로 성장하였으며, C 토양에서 10.27 cm(102.7%)로 가장 적게 성장을 하였다(Figure 3). 식재 직전에 잎을 모두 제거한 갯버들에서 재배 후 발생한 잎의 수를 측정된 결과 B 토양이 평균 23개로 가장 많았고, D 토양에서 18개, A와 C 토양에서 15개, E 토양과 대조토양에서는 각각 13개와 12개의 잎이 발생하였다(Figure 4). 갯버들의 줄기직경, 줄기길이 및 뿌리의 생장량은 채취지점별 하천토양 사이에 모두 5% 수준의 유의차가 있었고, 잎의 수는 1% 수준의 유의차가 있었다.

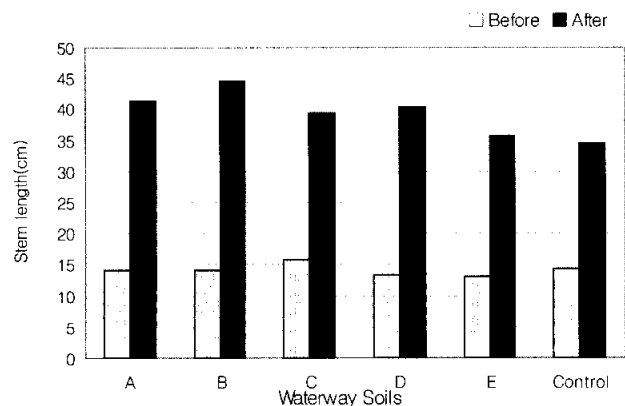
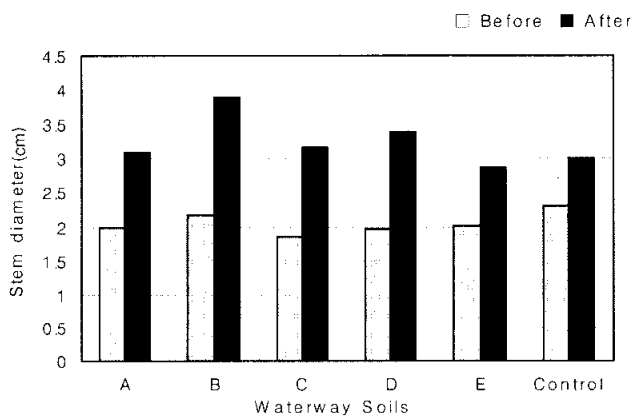


Figure 2. Stem growth of *Salix gracilistyla* grown in waterway soils.

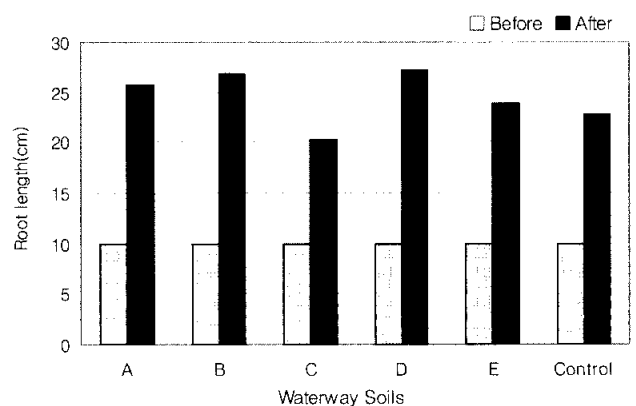


Figure 3. Root growth of *Salix gracilistyla* grown in waterway soils.

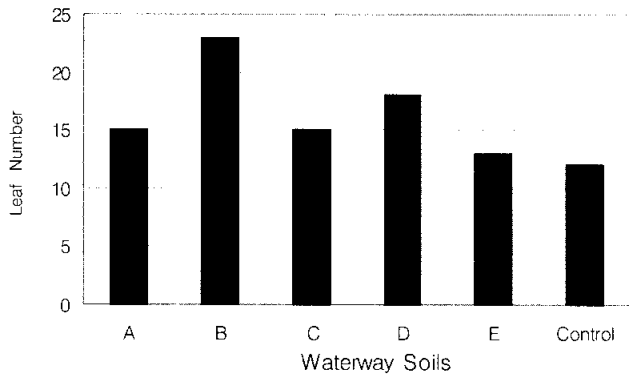


Figure 4. Leaf growth of *Salix gracilistyla* grown in waterway soils.

이상의 결과를 종합하면, B 토양에서 재배 후 갯버들의 생장이 가장 왕성하였는데, B 토양에서는 질소가 1.26%로서 다른 토양에 비해 현저히 많은 양을 함유하고 있었으며, 유효인산은 82.6 ppm을 포함하는 하천토양이다. 또한, 전반적으로 토양의 질소 함량이 높은 하천토양일수록(B>D>C>A>E>대조구) 갯버들의 생장이 더 왕성한 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 BOD와 NO₃-N의 농도가 높은 침출수가 증가할수록 이태리 포플러와 자작나무의 수고와 근원경 생장이 촉진되어 침출수의 고농도 질소성분이 수목의 수고와 직경생장을 촉진했을 가능성이 인정되었다는 우수영 등(2001)의 결과와, 배나무 실생묘에서 잎과 줄기의 생체중이 배양액 내 질소농도의 증가에 따라 증가되었다고 한 김송남 등(2002)의 결과, 그리고 하천토양에서 질소의 함량이 높을수록 노랑꽃창포의 생장이 양호하였다는 서병수 등(2004)의 결과 등과 비슷한 경향이 있었다.

3. 토양별 광합성량의 변화

갯버들의 시기별 및 토양별 광합성량은 Table 2에 나타난 바와 같이 각 하천토양에서 대부분 6.5~8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 정도였다. 시기별로는 6월말에서 10월 중순까지 매월 1회씩 광합성을 측정된 결과 8월에 가장 활발한 광합성을 하였다. 토양별로는 시기에 관계없이 B 토양의 갯버들이 가장 높은 광합성량을 나타내었다. B 토양은 질소함량이 1.26%로 다른 지점에 비해 가장 높은 함량을 나타냈으며 성장상태도 가장 왕성한 하천토양이었다. 같은 토양 내에서 성장시기별 광합성량과 같은 측정 시기에 토양별 광합성량들 사이에 통계적 유의성은 없었다.

그러나 전반적으로 질소의 함량이 높은 토양에서 광합성량이 높게 나타난 본 연구의 결과는 질소가 다량 함유되어 있는 침출수의 처리가 이태리포플러와 자작나무의 광합성능력을 증가시키고(우수영 등, 2001), 침출수의 높은 질소성분이 비료 역할을 해서 광합성량을 높일 가능성이 있다는 보고

Table 3. The nitrogen and phosphoric acid removal capacity of *Salix gracilistyla* grown in waterway soils

Soils	T-N(%)			P ₂ O ₅ (ppm)		
	Before growth	After growth	Removal rate(%)	Before growth	After growth	Removal rate(%)
A	0.66	0.57 ± 0.11	14.4	24.5	22.2 ± 6.1	9.4
B	1.26	1.07 ± 0.52	15.2	82.6	73.6 ± 13.4	10.8
C	0.77	0.66 ± 0.25	14.8	74.8	66.9 ± 16.3	10.5
D	1.06	0.90 ± 0.37	15.0	123.0	109.2 ± 18.2	11.2
E	0.51	0.44 ± 0.13	14.1	40.0	36.0 ± 9.6	9.8
Control	0.20	0.17 ± 0.03	13.5	22.8	20.7 ± 7.7	9.2

(Nutter and Red, 1986), 그리고 질소함량이 많은 하천토양일수록 노랑꽃창포의 광합성량이 많았고 8월에 최대치를 나타냈다는 보고(서병수 등, 2004)와 비슷한 경향이 있었다.

4. 갯버들의 하천토양 내 질소, 인 제거효과

각기 다른 양의 질소와 인을 함유하고 있는 하천토양이 담긴 포트에 갯버들을 재배하여 식물체들이 토양내의 질소와 인을 어느 정도 제거하였는지 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다.

B 토양에서 갯버들의 식재 전에 질소함량이 1.26%이었던 것이 재배 후에는 1.07%로 15.2%가 감소되어 시험토양 중에서 가장 많은 감소율을 나타내었다. 다음으로 D 토양과 C, A, E 토양에서 각각 15.0%, 14.8%, 14.4%, 14.1%의 제거율을 나타내었다. 대조구 토양에서는 13.5%로 가장 적게 제거되었다. 즉, 하천토양 내 질소의 제거율이 토양 내 질소 함량이 가장 높았던 B 토양에서 가장 높았으며, 질소 함량이 가장 낮았던 대조구 토양에서 가장 적게 제거되었음을 알 수 있었다. 이상과 같이 갯버들의 재배가 하천토양 내 질소의 제거에 효과적이었다는 것을 알 수 있었지만, 질소함량이 다른 각 시험토양의 질소 제거율 사이에는 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

갯버들의 재배에 의한 하천토양 내 유효인산(P₂O₅)의 제거효과를 보면, D 토양에서는 123.0 ppm에서 109.2 ppm으로 11.2%가 감소하여 시험토양 중에서 가장 높은 제거율을 나타내었다. 다음으로 B 토양과 C, E, A 토양에서 각각 10.8%, 10.5%, 9.8%, 9.4%의 제거율을 나타내었다. 대조구 토양에서는 9.2%로 가장 낮은 제거율을 나타내었다. 즉, 질소의 경우와 마찬가지로 인산의 경우에도 인산 함량이 많은 토양일수록 제거율이 높은 결과를 나타내었다. 그러나 각 시험토양의 인산 제거율 사이에는 통계적 유의성이 인정되지 않았다.

이상의 결과를 종합하면 갯버들은 하천토양에서 질소는 14~15% 정도, 인산은 9~11% 정도 제거하는 효과가 있었다. 수생식물을 이용한 수질정화효과에 관한 연구는 국내에서도

Table 2. The photosynthesis capacity of *Salix gracilistyla* grown in different waterway soils

(Unit : $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

Soil	06/30	07/15	08/09	08/26	09/17	10/14
A	6.82 ± 1.04	6.96 ± 1.21	7.19 ± 1.63	6.59 ± 1.41	6.73 ± 1.56	6.62 ± 1.37
B	7.49 ± 1.28	7.76 ± 1.18	8.06 ± 2.01	7.42 ± 1.37	7.09 ± 1.68	6.96 ± 1.13
C	5.45 ± 1.02	7.09 ± 1.09	6.94 ± 1.43	6.89 ± 1.07	6.75 ± 1.72	6.73 ± 1.20
D	7.09 ± 1.63	7.13 ± 1.01	7.19 ± 1.51	6.99 ± 0.92	6.83 ± 1.46	6.79 ± 1.65
E	5.63 ± 0.75	7.03 ± 0.92	7.15 ± 1.23	6.96 ± 1.64	6.78 ± 1.10	6.87 ± 1.57
Control	5.29 ± 1.16	6.85 ± 1.32	6.98 ± 1.48	6.73 ± 1.31	6.68 ± 1.83	5.56 ± 0.87

활발히 수행되고 있으나, 오염된 하천토양을 대상으로 한 연구는 극히 미약하여 다른 식물을 이용한 연구결과와 직접적인 비교가 어려운 실정이다. 따라서 초본식물인 노랑꽃창포의 경우와 비교하면, 같은 재배기간에 노랑꽃창포는 하천토양에서 질소는 19~21% 정도, 인산은 13~15% 정도 제거하는 효과가 있었다(서병수 등, 2004). 즉, 갯버들은 노랑꽃창포에 비해 토양에서 질소와 인산의 흡수제거효과가 약간 낮은 편이며, 인산보다는 질소의 제거에 더 효과적인 것으로 나타났다. 이와 같이 질소에 비해 인산의 제거효율이 낮은 이유는 식물체에서 영양분으로 질소의 요구도가 더 높고(전만식과 김법철, 1998), 일반적으로 식물은 인보다 질소를 약 5~10배 빠른 속도로 흡수하기 때문이다(Boyd, 1969).

결 론

본 연구에서는 만경강 상류에서 하류에 이르기까지 5지점에서 하천퇴적토양을 채취하여 질소와 유효인산의 함량을 측정하였다. 그리고 질소와 유효인산의 함량이 다른 각각의 하천토양에 친수성 목본식물인 갯버들을 재배하여 식물체의 성장량과 광합성량, 토양내의 질소와 인산의 제거효과 등을 조사하였다.

본 연구에서 토양 내 질소와 인산의 함량을 기준으로 만경강의 장소별 영양물질 축적 정도를 판단하면, 가장 영양물질 축적이 많은 하천토양은 D 토양으로 조사되었으며, 그 다음으로는 B, C, E, A 토양 순으로 나타났다. D 지점은 고산천, 소양천 및 전주천과 삼천이 합류한 다음, 익산시 왕궁면에 위치한 대규모 축산단지에서 유출되는 오수가 모이는 삼례천이 합류한 지점이다. 따라서 하천토양에 질소와 인산이 많이 축적된 것으로 판단된다.

5개 하천토양에서 5개월 동안 재배한 갯버들의 생장을 조사한 결과, 줄기직경은 약 43%~80%의 성장을 하였고, 줄기 길이는 170%~215%까지 성장하였으며, 뿌리는 약 103~170% 성장하였고, 잎은 13~23개가 발생하였다. 토양별로는 전질소의 함량이 가장 많은 B 토양에서 생장이 가장 왕성했으며, 전반적으로 전질소의 함량이 높은 하천토양일수록 갯버들의 생장이 더 왕성한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 토양 중에 질소성분의 함량이 많을수록 식물체의 생장이 양호하였다는 다른 연구결과와 비슷한 경향으로서, 본 연구에서도 하천토양 내 질소함량의 차이가 갯버들의 성장차이를 나타낸 주요 인자로 작용했을 것으로 판단된다. 또한 갯버들의 광합성량에 있어서도 전반적으로 질소함량이 많은 하천토양일수록 광합성량이 많은 경향을 나타내었다.

본 연구의 가장 중요한 목적은 오염된 하천토양에 갯버들을 재배함으로써 하천토양에서 질소와 인을 제거하는 효과를 검증하는 것이라고 할 수 있다. 본 연구에서 질소와 유효인산의 함량이 다른 하천토양에 갯버들을 재배한 결과 질소는 시험토양에서 14~15% 정도 제거되었고, 유효인산은 9~11% 정도 제거되었다. 이러한 결과로 볼 때, 갯버들의 재배에 의해 토양 중에서 인산보다는 질소의 제거효과가 약간 높은 것을 알 수 있었고, 또한 질소와 인산의 함량이 높은 토양일수록 제거효과가 높은 것을 알 수 있었다.

생묘의 생육과 수체내 질소함량에 미치는 영향. 전북대 농대는 문집 33: 116-123.

2. 김용범 · 임양재. 1990. 한강지천의 수질오염과 식생변화. 한국생태학회지 13: 297-309.
3. 김윤태. 1999. 수생식물을 이용한 영양염류 제거에 관한 연구. 창원대학교산업대학원 석사학위논문. pp. 11.
4. 김판기 · 김선희 · 이상모 · 조주형 · 이은주. 2002. 김포 수도권 매립지에 식재된 현사시나무의 환경 적응 반응(I). 한국임학회지 91(1): 79-87.
5. 박성현. 2002. 현대실용계획법. 민영사. 서울. pp. 694.
6. 손기철 · 김미경. 1998. 실내 광, 온도, 절대습도 및 이산화탄소의 변화가 파키라 (*Pachira aquatica*)의 증산 및 광합성량에 미치는 영향과 통계적 모델링. 한국원예학회지 39(5): 605-609.
7. 서병수 · 최수민 · 박우진 · 박종민. 2004. 만경강 하천토양에서 노랑꽃창포의 성장특성과 질소 · 인 제거효과. 한국환경복원녹화기술학회지 7(5): 57-65.
8. 신정이 · 차영일. 1999. 갯버들(*Salix gracilistyla* Miq.)의 질소와 인 제거능에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회 추계학술발표집 p. 41-42.
9. 우수영 · 이동섭 · 김동근 · 김판기. 2001. 생활쓰레기 매립지 침출수가 이태리포플러와 자작나무 묘목에 미치는 영향(II). 한국임학회지 90(1): 55-63.
10. 이옥주. 1999. 수생식물의 수질정화 효과에 관한 연구(꽃창포, 박하, 이삭물수세 미, 큰파피어, 부들, 노랑어리꽃, 생이가래에 대하여). 한양대학교 환경대학원 석사 학위논문. pp. 85.
11. 임홍탁. 1991. 호수의 퇴적물에 함유된 인의 존재형태와 용출에 관한 연구. 서울 대학교 대학원 석사학위논문.
12. 전만식 · 김법철. 1998. 부레옥잠의 수중 영양염 제거 잠재력에 관한 고찰. 한국 환경생물학회지 17:117-124.
13. 조강현. 1992. 팔당호에서 대형 수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 서울대 박사학위 논문 pp. 197-206.
14. 함용규. 1996. 수생식물의 증감속 흡수능에 관한 연구. 순천향대학교 석사학위논문. pp. 24-27.
15. Boyd, C.E. 1969. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted water. Economic Botany 23: 95-103.
16. Ghosh, D. and S. Sen. 1987. Ecological history of Calcutta's wetland conversion. Environmental conservation 14: 219-226.
17. Grant R.R. and R. Patrick 1970. In Two studies of Tincum Marsh. Tincum marsh as a water purifier. 105-123. In Two studies of Tincum Marsh. The Conservation Foundation. Washington, D.C.
18. Kuter, J. and M. Soroko. 1994. The use and treatment of wastewater in willow and poplar plantations. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental Research, Section of Short Rotation Forestry. p. 37-47.
19. Nutter, W.L. and J.P. Red. 1986. Future direction: Forest Wastewater application. In Cole D. W., C.L. Henry and W. L. Nutter(eds). The forest alternative for treatments and utilization of municipal and industrial waste. 55-69. University of Washington Press. Seattle.
20. Obarska-Pempkowiak, H. 1994. Removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater by willow. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Ecology and Environmental Research, Section of Short Rotation Forestry. p. 83-90.
21. Page, A.L. (Editor). 1982. Methods of Soil Analysis(Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition). Agronomy. Wisconsin USA. pp. 403-430, 595-624.
22. Reddy, K.R. and W.F. Debus. 1987. Nutrient Storage Capabilities of Aquatic and Wetland Plants. Magnolia Pub., Inc., Orlando, Fla.
23. Rogers H.H. and D. E. Davis 1972. Nutrient Removal by Water hyacinth. Weed Science 20: 423.
24. SAS Institutes. 1995. SAS User's Guide: Statistics, Version 6.12.
25. Sato H. and Kando T. 1981. Biomass production of water hyacinth and its ability to remove inorganic minerals from water I. Effect of the concentration of culture solution on the rates of plant growth and nutrient uptake. Jpn. J. Ecol. 31: 257-267.

(2004년 8월 5일 접수; 2005년 3월 28일 채택)

인용문헌

1. 김송남 · 오성도 · 최동근. 2002. 저농도 질소시비가 배나무 실