

습지식물의 지상부 제거가 생산력과 영양염류 제거량에 미치는 효과

정연숙 · 오현경 · 노찬호 · 황길순¹

(강원대학교 생명과학부, ¹농어촌진흥공사 농어촌연구원)

적 요 - 본 연구는 우리나라 습지의 주요 우점종인 갈대, 줄 및 애기부들을 대상으로, 자연습지에서 생육기 중에 시기와 횡수를 달리하여 지상부를 제거하는 것이 생산력과 영양염류 제거능에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 지상부 제거는 세 종 모두에서 지상부 생산력과 영양염류 흡수량을 증가시켰으며, 최대효과를 위한 시기와 횡수 및 효과의 정도는 종에 따라 차이를 보였다. 즉, 갈대는 1차년도 실험에서 6월 제거구의 연총생산력이 1,014 g/m²로서 대조구의 1.9배이었고, 2차년도에는 5월 제거구가 1,494 g/m²로서 대조구의 1.3배이었다. 줄은 8월 제거구의 생산력이 1,386 g/m²으로서 대조구의 1.2배, 애기부들은 6월과 8월의 3회 제거구와 8월 제거구의 생산력이 각각 1,670, 1,620 g/m²로서 대조구의 1.1~1.2배이었다. 영양염류 제거량에서 갈대는 질소와 인이 1차년도에서 대조구의 2.0배와 1.8배, 2차년도에서 각각 1.4배, 줄은 2.4배와 1.8배 그리고 애기부들은 1.8배와 1.9배로서 생산력의 증가비율보다 더 많은 영양염류를 제거하였다. 종합적으로 생산력과 영양염류 제거량 그리고 관리의 경제적인 측면을 고려할 때, 갈대는 5~6월과 10월의 2회, 그리고 줄과 애기부들은 8월과 10월의 2회 제거하는 것이 효과적인 것으로 판단한다.

서 론

습지는 지구상에서 가장 생산력이 큰 생태계 중의 하나로서 육상생태계와 수계생태계의 전이대이다. 습지의 중요성이 오랜동안 간과되어 왔으나 근래에는 습지가 육상으로부터 제공된 영양염류의 흡수원, 즉 제거원으로서의 중요성이 밝혀짐으로써 간척지와 아울러 자연습지에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러므로 호수나 저수지의 부영양화를 억제하기 위한 수단으로서, 또는 생활하수의 초기 단계의 처리를 위한 수단으로서 인공습지의 조성에 관심이 모아지고 있다.

수생식물 재배시스템을 통해 질소나 인 등의 무기물 질이나 납, 구리, 아연 등의 중금속을 제거하는 방법은 외국에서 이미 70년대부터 실제 습지나 인공습지에 도입되어 활용되고 있으며 (Mitchell 1978; Brix & Schierup 1989), 복원습지나 자연습지의 정착과 유지과정에 관한 많은 논의도 이루어지고 있다 (Wilson & Mitsch 1996).

이에 비하여 우리나라는 초기연구단계로서 축산폐수를 정화하기 위하여 부레옥잠, 물옥잠, 줄, 부들, 창포, 왕골, 토란 등을 이용하거나 (Kim *et al.* 1988; 이 1993; 전

과 김 1994), 양어장 배출수의 정화를 위한 시도로서 부유배드상에서 대형수생식물을 재배하는 연구와 (정 1996), 팔당호의 호수 만입부에 부레옥잠을 적용하는 연구 (국립환경연구원 1991) 등의 시험적 연구 등이 있었다. 또한 인공호에서 자생하는 대형수생식물에 의한 물질생산과 순환에 관한 기초적 연구 (조 1992)도 진행되었고 수생생물의 이용현황에 대한 검토 (공 1997)가 있었다.

위의 연구가 특정 수생식물의 적용가능성을 실험하는 소극적인 목적으로 시도되었다면, 최근에는 보다 실질적인 수질관리와 수변환경 조성의 측면에서 인공습지를 조성하여서 실행하고 있거나 (김 1998), 계획단계에 있으며 환경부를 비롯한 많은 국가기관이나 지방자치단체에서도 인공습지를 실용화하는 계획을 가진 것으로 알려지고 있다.

인공습지를 조성하는 경우 그 목적은 일부 심미적 측면을 고려하기도 하지만, 주목적은 식물체의 영양염류 흡수능을 이용하여 수계로부터 영양염류를 제거하는 것이다. 그러므로 대상종의 생산력과 영양염류 흡수량을 증대하기 위한 연구가 선행될 필요가 있으나 기존의 연구를 확인할 수 없었다. 지금까지 많은 연구에서 인공습

지를 조성할 경우 대상종으로서 고려되는 종은 갈대 (*Phragmites communis*), 줄 (*Zizania latifolia*), 애기부들 (*Typha angustifolia*) 등이었는데 그 이유는 이들 종이 대형수생식물이며 생산력이 상대적으로 큰 종이기 때문이다. 이들은 벼과식물로서 지하경생장식물이라는 공통점을 가지고 있다. 지하경은 영양물질을 축적하고 있을 뿐만 아니라 지상부 생산을 위한 분열조직을 가지고 있으므로 생육기 중에 지상부를 제거하면 지상부를 다시 재생산하여(정 1989) 결과적으로 연총생산력을 증가하며 수중으로부터 많은 무기물을 흡수할 수 있을 것이다.

따라서 본연구에서는 세 종의 지상부 재생특성을 이용하여 자연습지에서 시기와 횟수를 달리하여 지상부를 제거한 후 이러한 처리가 갈대, 줄 및 애기부들의 생산력과 영양염류 흡수능에 미치는 영향을 밝힘으로써 인공습지나 자연습지의 수질 정화 능력을 확대하는 방안을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험계획

이 실험은 1997년과 1998년 두 차례에 걸쳐서 이루어졌다. 1997년의 1차 실험은 갈대, 줄 및 애기부들을 대상으로 하였고, 1998년의 2차 실험은 인공습지 조성시 가장 많이 활용되는 갈대만을 대상으로 실험을 반복하였다. 1차 연구시 갈대와 줄의 연구는 강원도 양양군 손양면 도화리의 자연습지에서, 애기부들은 강원도 고성군 거진읍 봉평리의 자연습지에서 이루어졌고, 2차 연구는 경기도 안산시 본오동, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 내의 자연적으로 형성된 갈대밭에서 이루어졌다.

본 실험은 지상부 제거횟수와 제거시기의 효과를 밝히기 위한 것이므로 생육기가 끝난 10월에 제거하는 것을 1회 제거구(대조구)로 하고, 최종 수확기인 10월의 제거 외에 생육기간 중에 1회 더 제거하는 것을 2회 제거구, 2회 더 제거하는 것은 3회 제거구로 하였다. 따라서 1차 실험에서 지상부의 최종수확은 97년 10월 13~15일에 하였고, 생육기 중의 지상부 제거는 10월의 수확 외에 6월 15~17일(6월 제거구)과 8월 11~13일(8월 제거구)에 각각 이루어졌고 일부 방형구는 6월과 8월에 반복하여 지상부를 제거함으로써(6월과 8월 제거구) 3회 제거구로 처리하였다.

2차 실험에서는 최종수확을 98년 10월 4일에 하였고, 생육기중의 부가적인 지상부 제거는 각각 5월 28일(5월 제거구), 6월 28일(6월 제거구) 및 7월 28일(7월 제거구)에 하여 2회 제거구로 하였으며, 일부 5월에 지상부를 제거한 방형구는 7월에 더 제거함으로써(5월과 7월 제

거구) 3회 제거구가 되었다. 2차 실험에서는 1차 실험의 분석결과 일찍 제거한 것이 생산력과 영양염류의 제거 측면에서 효과적이었던 것을 고려하여 첫 제거시기를 5월로 앞당겼다.

지상부 제거 실험을 위하여 자연습지에서 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 의 방형구를 설치하였으며 방형구의 네 모서리에 약 1m 높이의 나무기둥을 세워서 재수확시 확인할 수 있도록 번호로 표시하였다. 지상부 제거 후 재생장을 하는 동안에 주변식물로 인한 그늘효과를 줄이기 위해서 방형구와 방형구 사이는 최소 50cm 이상, 그리고 방형구와 인접한 갈대군락 사이는 1m 이상 거리를 띄웠다. 각 제거 시기마다 방형구에서 낮을 이용하여 지표면에 가깝게 2~4cm 높이에서 지상부의 기부를 제거하였다. 지상부를 이와 같이 낮은 높이에서 제거하였으나 년중 장마기를 제외하면 잘린 기부가 물에 잠기지 않는 높이라고 판단되었다.

1차 실험에서 지상부 제거의 반복수는 5개이었고 2차 실험에서는 10개로 증가하였다. 제거한 지상부는 현지에서 밀도를 세고 생중량을 측정하였다. 생중량의 측정시 고사한 잎도 포함하였다. 건중량을 구하기 위하여 현지에서 종 별로 700~1,000g의 식물체 세 봉지씩 취하여 생중량을 측정후 실험실로 가져와 건조후 수분함량을 계산하였으며 이 값으로 방형구 내 식물의 건중량을 환산하였다. 연총생산력은 각 방형구에서 제거한 지상부 건중량을 합산한 총량으로 표시하였다.

2. 식물체의 질소와 인 농도 분석 및 연총제거량 계산

1997년 10월의 수확기에 종별, 처리구별로 각 습지에서 약 400~1,000g의 식물체를 수확하였다. 이를 실험실로 옮겨서 70°C의 항온건조기에서 항량이 될 때까지 건조한 후 Tecator sample mill (Cyclotec 1093)로 분쇄하여 시료로 이용하였다. 갈대는 식물의 형태적 특징이 잎과 줄기로 뚜렷이 구분되므로 잎, 줄기 및 꽃으로 나누어 분석을 하였고, 줄과 애기부들은 전식물체로 처리하였다. 식물체는 0.4g의 시료를 취하여 습식분해법인 sulphuric acid-hydrogen peroxide digestion법(Allen *et al.* 1986)에 따라 kjeldahl digester(Tecator 2012)를 이용하여 분해하였다. 질소의 증류 및 적정은 Bray and Kurtz (1945)에 의거하였고, 인 농도는 동일 시료를 이용하여 ascorbic acid법(APHA 1989)에 따라 비색정량하였다.

단위면적당 질소와 인의 연총제거량은 각 식물체의 단위면적당 생산력과 각 기관별 무게비 및 기관의 농도를 이용하여 계산하였다. 2차 실험시 갈대의 연총제거량은 1차년도에 분석된 질소와 인의 농도를 적용하여 계산하였다.

3. 통계처리

지상부제거의 처리효과는 분산분석 (analysis of variance, ANOVA)으로, 평균간의 비교는 Fisher's Least-Significant-Difference (LSD) test를 이용하였는데 이를 위하여 사용한 프로그램은 SYSTAT 7.0 (SPSS, Inc 1997)이다.

결 과

1. 연총생산력에 미치는 지상부 제거의 효과

1차 실험 결과 생육기 중 추가적인 지상부 제거는 대조구와 비교할 때 갈대, 줄 및 애기부들의 연총생산력을 증가시켰다 (Table 1). 그러나 이러한 처리효과는 종 별로 차이를 보여서 갈대와 줄은 처리효과가 유의하였고 ($p < 0.05$), 애기부들에서는 유의하지 않았다.

즉, 갈대는 6월 제거구의 연총생산력이 $1,014 \text{ g/m}^2$ 로 가장 높아서 대조구의 1.9배에 달하였고 6월과 8월의 3회 제거구는 873 g/m^2 로서 6월 제거구보다 적었으나 그 차이가 유의하지는 않았다. 8월 제거구는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았으므로 갈대는 2회~3회 제거로서 생산력을 증가시킬 수 있으며 시기는 갈대가 개화 전에 추가적인 제거를 하는 것이 효과적이었다.

줄은 8월 제거구의 연총생산력이 $1,386 \text{ g/m}^2$ 로서 대조구의 1.2배이었고 그 차이가 유의하게 높았다. 갈대와 달리 6월 제거구는 유의하지는 않았으나 대조구보다 생산력이 낮았고 6월과 8월의 3회 제거구도 대조구보다는 높았지만 8월 제거구보다는 낮았다. 그러므로 줄은 8월에 추가적인 지상부 제거를 하는 것이 효과적이었다.

애기부들은 6월과 8월의 3회 제거구에서 연총생산력이 $1,656 \text{ g/m}^2$ 으로 가장 높아서 대조구의 1.2배이었지만 대조구와의 차이가 유의하지는 않았다. 뿐만 아니라 6월의 2회 제거구에서는 오히려 대조구보다 생산력이 낮았다. 그러므로 애기부들은 생산력면에 있어서 지상부 제거 효과가 유의하게 나타나지 않았다.

2차 실험결과 갈대의 처리구 별 연 총생산력은 7월 제거구를 제외하면 모두 대조구 보다 높았다 (Table 2). 10월에 1회 수확한 대조구는 $1,132 \text{ g/m}^2$ 이고, 5월 제거구, 6월 제거구 및 7월 제거구가 각각 $1,479$, $1,494$, 966 g/m^2 로서 5월과 6월 제거구는 대조구보다 생산력이 약 1.3배 높았다. 5월과 7월의 3회 제거구도 $1,237 \text{ g/m}^2$ 으로 대조구 보다 높았다. 이와같은 처리효과를 분산분석한 결과, 지상부 제거처리가 총생산력에 미친 영향은 매우 유의하였다 ($p < 0.001$). 지상부 제거횟수는 2회 제거

Table 1. Shoot cutting effects on the aboveground productivities in *Phragmites communis*, *Zizania latifolia* and *Typha angustifolia* stands. Mean and s.e. was shown

Treatment	Aboveground productivity (g dry wt./m ² /yr)		
	<i>Phragmites</i>	<i>Zizania</i>	<i>Typha</i>
Control	549 ± 52.2	1,200 ± 157.2	1,516 ± 141.9
June cutting	1,014 ± 245.5	1,058 ± 151.3	1,267 ± 135.6
August cutting	598 ± 55.1	1,385 ± 146.3	1,621 ± 138.9
June/August cutting	873 ± 114.3	1,197 ± 115.7	1,656 ± 139.2

구 (5월 제거구와 6월 제거구)가 3회 제거구와 1회 제거구보다 효과적이었다. 또한 5월과 6월 제거구는 차이를 보이지 않았지만 7월 제거구와는 유의한 차이를 보임으로써 전체적으로 2회 제거구 내에서 시기의 효과가 유의하였다. 이같은 결과는 1차 실험과 같은 결과로서 갈대는 생육기 전반인 5~6월에 1회 지상부를 제거하고 10월에 최종 수확을 하는 것이 생산력을 증가한다는 사실을 제시하였다.

2. 영양염류 제거량에 미치는 지상부 제거의 효과

1차 실험 결과 생육기 중의 추가적인 지상부 제거는 대조구와 비교할 때 갈대, 줄 및 애기부들의 연 총질소 흡수량을 증가시켰으며 (Fig. 1), 처리효과가 세 종 모두에서 매우 유의하였다 (갈대 $p < 0.05$, 줄과 애기부들 각각 $p < 0.001$).

갈대는 3회 제거구의 총흡수량이 18.1 g/m^2 으로서 가장 많았고 이는 대조구보다 2배 많은 값이었다. 6월의 2회 제거구도 17.7 g/m^2 으로서 많은 양을 흡수하였으나 3회 제거구 보다는 유의하게 적은 양이었다. 줄의 질소 흡수량은 8월 제거구의 흡수량이 가장 높아 25.1 g/m^2 이었는데 이는 대조구의 2.4배이었다. 애기부들의 질소 흡수량은 3회 제거구에서 31.9 g/m^2 으로 가장 많았고 이는 대조구의 1.8배로서 유의하게 높은 값이었다.

처리구별 인의 흡수량도 질소에서의 경향과 동일하여 지상부 제거효과로서 인의 흡수량이 증가하였으며, 처리효과가 세 종 모두에서 매우 유의하였다 (갈대 $p < 0.05$, 줄과 애기부들 각각 $p < 0.001$). 인의 흡수량은 세 종 모두 3회 제거구에서 가장 많았는데 이를 갈대, 줄 및 애기부들의 대조구와 비교할 때 각각 1.8, 1.7 및 1.9배이었다.

2차 실험에서 갈대의 질소 흡수량을 계산한 결과 질소 제거량은 대조구가 18.3 g/m^2 인데 비하여, 지상부 제거구인 5월, 6월 및 5월/7월 제거구는 각각 25.8, 26.0 및

Table 2. Shoot cutting effects on the aboveground productivity and nutrient removal rate in a *Phragmites* stand community. This is the result of the second year experiment for *Phragmites* only. ANOVA table was shown below. Refer to Table 1 for other legends

Treatment	Productivity (g dry wt./m ² /yr)	Total annual removal (g/m ² /yr)	
		Nitrogen	Phosphorus
Control	1,132 ± 89.0 ^a	18.3 ± 1.44 ^a	3.3 ± 0.00 ^a
May cutting	1,479 ± 50.4 ^b	25.8 ± 0.88 ^b	4.5 ± 0.15 ^b
June cutting	1,494 ± 139.1 ^b	26.0 ± 2.42 ^b	4.5 ± 0.42 ^b
July cutting	966 ± 73.9 ^a	19.3 ± 1.48 ^a	2.8 ± 0.22 ^a
May/July cutting,	1,237 ± 73.3 ^a	25.8 ± 1.74 ^b	4.0 ± 0.27 ^a

Source			
Treatment	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.001
Frequency	P < 0.05	P < 0.01	P < 0.01
Time	P < 0.001	P < 0.05	P < 0.001

25.9 g/m²로서 대조구와 큰 차이를 보이며 더 많은 질소를 수계로부터 흡수하였다(Table 2). 한편 7월 제거구는 19.3 g/m²으로서 다른 제거구와 달리 대조구와 큰 차이를 보이지 않았다. 이 결과를 토대로 지상부 제거의 효과, 지상부 제거 횟수의 효과 그리고 시기의 효과를 분석하였다. 전체적으로 지상부 제거는 질소 제거량에 유의한 영향을 미쳤음이 입증되었다(p < 0.001). 횟수의 효과를 비교하면, 대조구인 1회 제거구에 비하여 2회 제거구와 3회 제거구는 각각 25.9 g/m²와 25.9 g/m²로서 동일한 값을 보였다. 따라서 횟수의 효과도 전체적으로 유의하였는데(p < 0.01), 그 차이는 1회 제거구와 2회, 3회 제거구의 차이에서 기인하였음을 알 수 있었다. 여기에서 2회 제거구는 5월 제거구와 6월 제거구의 자료만을 이용하였다. 그것은 생산력에서 7월 제거구가 대조구보다 낮은 수준으로 7월에 제거하는 것은 효과적이지 않기 때문이었다.

총 인의 흡수량을 계산한 결과, 인 제거량은 대조구가 3.3 g/m²인데 비하여 지상부 제거구인 5월, 6월 및 5월/7월 제거구는 각각 4.5, 4.5 및 4.0 g/m²로서 대조구와 큰 차이를 보이며 더 많은 인을 수계로부터 흡수하였다(Table 2). 한편 7월 제거구는 2.8 g/m²으로서 다른 제거구와 달리 대조구보다 적은 양의 인을 흡수하였다. 이 결과를 토대로 지상부 제거의 효과, 지상부 제거 횟수의 효과 그리고 시기의 효과를 분석하였는데, 전체적으로 지상부 제거는 인 제거량에 유의한 영향을 미쳤음이 입증되었다(p < 0.001). 횟수의 효과면에서 비교하면, 대조구인 1회 제거구에 비하여 2회 제거구와 3회 제거구는 각각 4.5 g/m²와 4.0 g/m²로서 대조구 보다 월등히 많

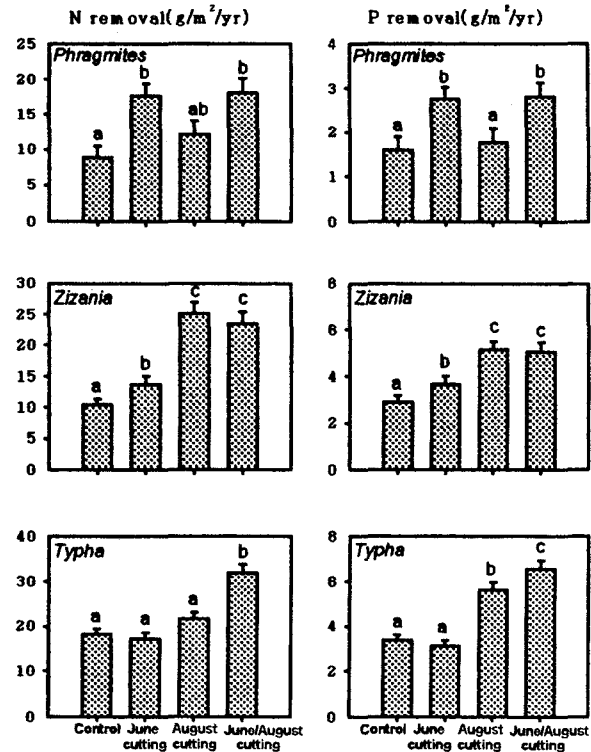


Fig. 1. Shoot cutting effects on the annual total nitrogen and phosphorus removal rate of three experimental species. Mean with different letters are significantly different at P < 0.05 determined by LDS test. Each bar indicates mean and s.e.

은 인을 흡수하였고(p < 0.01), 특히 5월 또는 6월에 부가적인 제거를 하는 2회 제거구가 3회 제거구보다 많은 인을 흡수하였다. 이는 2회 제거구와 3회 제거구의 제거 효과가 거의 동일하였던 질소의 경우와 다른 결과이다. 7월 제거구의 값이 2.8 g/m²로서 매우 낮음으로써 2회 제거구 내의 시기효과도 매우 유의하였다(p < 0.001).

고 찰

본 연구 결과, 자연습지에서 생산력이 높고 인공습지의 조성시 가장 빈번하게 이용되는 갈대, 줄 및 애기부들의 세 종 모두에서 수확기 이전의 생육기 중에 지상부를 부가적으로 제거함으로써 생산력을 증대시키고 결과적으로 질소 및 인을 더 많이 제거할 수 있음이 증명되었다.

그러나 지상부 제거에 관한 기존의 연구는 수로나 배수구 주변에 형성되어 물의 흐름을 막고 있거나 저수지에서 번성하여 낚싯배의 진로를 방해하는 식생의 제거를 위한 목적이 대부분이었다. 예를 들어 Sharma와

Rajasthan (1990)은 실험수조에서 애기부들 (*Typha angustifolia*)을 연속으로 세 번 이상 제거하여 지상부와 지하부의 생산을 현저히 감소시켰으며, Sale과 Wetzel (1983)도 *Typha angustifolia*와 *Typha latifolia* 두 종의 지상부를 수중에서 잘라 산소의 공급을 차단함으로써 지상부 및 지하부의 생물량을 감소시킬 수 있다고 제안하였다. 이와 유사하게 Plasencia-Fraga와 Kvet (1984)도 *Typha domingensis*를 지상부 기저부 수준에서 잘랐을 때 지상부 제거의 횟수에 상관없이 이 종의 생물량을 감소할 수 있다고 하였다. 한편 Husak (1978)은 6월과 7월 갈대와 애기부들의 지상부를 연속으로 제거하여 생산력의 변화를 추적한 결과 생육기말에 1.1배만 증가하였다고 보고한 바 있다. 한편 Husak (1978)은 연못에서 갈대와 애기부들의 꽃이 피어 물로 떨어지는 것을 막기 위하여 갈대 지상부를 120 cm 높이에서, 애기부들을 80 cm 높이에서 각각 잘라준 후 생육기 말에 수확한 결과, 갈대는 처리구의 생산력이 1.1배, 애기부들은 1.5배 증가하여서 본 연구와 목적은 비록 다르지만 지상부 제거에 의하여 생산력이 증가되었음을 알 수 있다.

지상부의 제거 후 새로운 지상부가 높은 밀도로 재생산되는 것은 세 종이 지하경 생장식물이기 때문이다. 일반적으로 지하경 생장식물은 지하경으로 연결된 지상부가 라메트간 경쟁을 줄이기 위하여 밀도가 조절되는 것으로 알려져 있다(정과 김 1989). 그러므로 일정기간 생장 후 지상부가 제거되면 지하부 조직 중 잠재분열조직이 활성화되면서 새로운 지상부의 생산이 가능하게 되는 것이다. 그 결과 1차실험시 갈대밭에서 6월에 지상부를 제거한 후 새로 자란 지상부의 8월의 밀도는 6월의 75%에 이르렀고, 줄은 8월의 지상부 밀도가 79개/m²이었으나 10월에는 150개/m²로서 1.9배 증가하였던 것이다. 그러나 두 종과 달리 애기부들은 지상부 제거후 재생되는 지상부의 밀도가 다른 종에 비하여 상대적으로 낮았다. 즉 2회 제거구의 경우 6월에 지상부를 제거한 후 8월에 계수하여 그 비를 계산하면 40%에 불과하였다. 애기부들 지상부의 재생산 밀도가 낮은 것은 갈대와 줄의 경우 지상부가 1년생으로서 지하부의 잠재분열조직으로부터 지상부가 다시 발생하는데 비하여, 애기부들의 지상부는 다년생이어서 지상부의 제거시 지상부의 기부로부터 다시 성장하는 특징을 갖고 있기 때문이다(정 1996). 즉, 지표면의 2~4 cm 높이에서 지상부를 잘랐기 때문에 분열조직이 손상되었거나 또는 영양물질의 저장조직이 잘려나가서 재생에 영향을 받은 것으로 보인다.

생산력을 증대시키기 위하여, 생육기 말에 지상부를 제거하는 것 외에 부가적인 제거시기로서 갈대는 5~6

월이, 그리고 줄과 애기부들은 8월이 효과적이었다. 5~6월은 우리나라의 계절에서 상대적으로 생육기 초기인데도 불구하고 갈대를 부가적으로 제거하기 적합한 시기가 이때인 것은 갈대의 초기 성장속도가 빠르기 때문이다. 갈대는 첫 번째 실험시기인 6월 중순의 생산력이 10월에 수확한 대조구의 97%에 달하였으며 두 번째 실험에서는 5월말에 대조구의 65%, 6월말에 80%에 달하였다. 그러므로 갈대는 상대적으로 빠른 시기에 최대 현존량에 근접하고 지상부의 밀도가 조절되는 시기에 지상부를 제거함으로써 밀도제한효과가 사라져서 지하부 분열조직이 활성화하여 지하부로부터 빠른 재생산이 일어나는 것으로 보인다. 갈대는 라메트의 생산이 초봄과 개화 후 년중 2회에 걸쳐 이루어지므로(정과 김 1989), 개화 전의 지상부제거는 오히려 개화에 투자할 에너지를 생산력을 증대시키는 것으로 전환할 수 있을 것이다.

지상부의 제거는 세 종의 생산력을 증대시켰을 뿐만 아니라, 조직의 영양염류의 농도를 증가시켰다. 이는 재생산된 어린 조직의 질소와 인 농도가 높기 때문이다. 결과적으로 생산력과 농도의 자료로 계산한 질소와 인의 단위면적당 연 총흡수량은 지상부 제거의 효과를 보다 뚜렷이 나타내었다. 즉, 생산력에 미치는 지상부의 제거효과가 유의하지 않았던 애기부들의 경우도 질소와 인의 흡수량이 3회 제거시에 뚜렷하게 증가된 것이다.

이와 같은 연구를 토대로, 자연습지와 인공습지를 유지, 관리함에 있어서 생육기 말 뿐만 아니라, 생육기 중에 부가적으로 지상부를 제거하는 것이 영양염류의 제거를 통하여 수질정화의 효과를 증대하는 것으로 보인다. 질소와 인의 흡수량 측면에서 볼 때, 세 종 식물은 생육기간중 3회 제거하는 것이 보다 효과적인 경우도 있었지만 대체로 2회와 3회의 값 차이가 크지 않으므로 관리의 경제적인 측면을 고려하면 갈대는 5~6월과 10월, 줄과 애기부들은 8월과 10월의 2회 제거가 바람직한 것으로 종합할 수 있다.

참 고 문 헌

- 공동수(1997) 대형수생생물을 이용한 수질개선 기법의 현황과 전망. 한국과학재단 학연산연구교류 제198회. pp. 1-51.
- 국립환경연구원 호소수질연구소(1991) 호소 만입부에서의 조류 대량 증식억제 기술개발. 과학기술처.
- 김도선(1998) 군부대 오수처리 효율성 향상을 위한 인공습지의 이용방안. 강원대학교 이학석사학위논문. 138p.
- 이남희(1993) 수생식물(부레옥잠)을 이용한 돈사폐수의 처리. 부산수산대학교 공학석사학위논문. 89p.
- 전만식, 김범철(1994) 영양염류농도에 따른 부레옥잠의 성장

- 특성에 관한 연구. *J. KSWQ*. pp. 128-135.
- 정연숙, 김준호(1989) 간척지 갈대의 영양생장과 지상부 모듈의 개체군 동태. *한국생태학회지*. **12** : 171-182.
- 정연숙(1996) 양어장 배출수의 정화를 위한 수생관속식물의 적용가능성. 미발표.
- 조강현(1992) 인공호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 서울대 대학원 박사학위 논문. pp. 1-233.
- Allen SE, HM Grimshaw & AP Rowland (1986) Chemical Analysis. In *Methods in Plant Ecology* (PD Moore & SB Chapman eds) Blackwell Scientific Publications. pp. 285-344.
- APHA (1989) Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA. 1482p.
- Bray P & LT Kurtz (1945) Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*. **59** : 39-45.
- Brix H & H Schierup (1989) The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. *AMBIO*. **18** : 100-107.
- Husak S (1978) Control of reed and reed mace stands by cutting. In *Pond littoral ecosystems* (D Dykyjova & J Kvet eds) Springer-Verlag. pp. 404-409.
- Kim B, K Kim & Y Park (1988) Studies on the nutrient removal potential of selected aquatic plants in the pig waste water. *Korean J. Environ. Agric.* **7** : 111-135.
- Mitchell DS (1978) The potential for wastewater treatment by aquatic plants in Australia. *Water*. **5** : 5-17.
- Plasencia-Fraga JM & J Kvet (1984) The effect of cutting upon of *Typha domingensis*. *CIENC. BIOL.* **12** : 49-60.
- Sale PJM & RG Wetzel (1983) Growth and metabolism of *Typha* species in relation to cutting treatments. *Aquatic Botany*. **15** : 321-334.
- Sharma KP & Rajasthan SPS (1990) Effect of aboveground organs of *Typha angustata* Bory and Chaub on its growth and total chlorophyll content. *Aquatic Botany*. **36** : 291-296.
- SPSS Incorporation (1997) SYSTAT 7.0. SPSS Incorporation.
- Wilson RF & WJ Mitsch (1996) Functional assesment of five wetlands constructed to mitigate wetland loss in Ohio, USA. *Wetlands*. **16** : 436-451.

Shoot Cutting Effects on the Productivity and Nutrient Removal of Some Wetland Plants

Yeonsook Choung, Hyun-Kyoung Oh, Chan-Ho Roh and Gilson Hwang¹

(Division of Life Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea)

¹Rural Research Institute, Rural Development Corporation, Ansan 425-170, Korea)

Abstract – This work focused on the effects of the timing and the frequency of shoot cutting to maximize the productivity and the nutrient removal of three emergent macrophytes, *Phragmites communis*, *Zizania latifolia* and *Typha angustifolia* in natural wetlands. Shoot cutting significantly enhanced biomass production and resulted in more nitrogen and phosphorus removal from water in these three experimental species, compared to those of control. However, the frequency and the timing of shoot cutting, and the enhancement ratio were different among three species. For *Phragmites* stands, the highest productivity was 1.9 times of control in June treatment of the first year experiment, while 1.3 times in May treatment of the second year experiment. *Zizania* and *Typha* stands were both 1.2 times of control in August treatment and June and August treatment. Calculating the total annual removal rate of nitrogen and phosphorus based on the highest productivities among treatments, in *Phragmites* stands, 2.0 times of nitrogen and 1.8 times of phosphorus were removed in the first year, and both 1.4 times in the second year experiment. Likewise, for nitrogen and phosphorus; 2.4 and 1.8 times in *Zizania* stands, and 1.8 and 1.9 times in *Typha* stands were removed. Overall, these results suggested that cutting treatment of shoots be effective. Thus, shoot cutting of two times during a growing season were recommended to maximize the effects: that is, in May or June, and October for *Phragmites* stands, and in August and October for *Zizania* and *Typha* stands. [Shoot cutting, Productivity, Nitrogen, Phosphorus, Wetland, *Phragmites communis*, *Zizania latifolia*, *Typha angustifolia*, Emergent macrophytes, Water quality].