

## 정수식물의 내염성 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 흡수제거능 평가

이 총 일 · 광 영 세

포항산업과학연구원 환경에너지연구센터 환경보전연구팀

**적 요:** 부들, 갈대, 줄, 물고랭이 등의 정수식물을 이용하여 5개월 동안 용기재배로 산업폐수 정화용 정수식물을 선발하였다. 전기전도도가 3.0 dS/m이고, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 130 ppm인 산업폐수를 관수하였을 때 증발산량(ETc)이 감소하지 않는 정수식물은 부들과 줄로서 내염성이 강하였고, 갈대는 폐수처리에 의하여 배양액재배시 보다 증발산량이 30% 감소하였으나 증발산량의 절대치가 가장 높아 수분요구량이 매우 높은 식물로 판명되었다. 부들과 줄의 건물생산량은 증발산량의 경우에서와 같이 배양액 관수구보다 오히려 산업폐수 관수구에서 높았고, 갈대는 폐수처리에 의하여 건물생산량이 14% 감소하였음에도 불구하고 4종식물중에 건물생산량이 가장 높았다. 물고랭이는 산업폐수를 관수하였을 때 건물생산량이 71.3% 감소하여 내염성과 고농도 암모니아성 질소에 대한 내성이 극히 불량한 것으로 나타났다. 줄과 갈대는 산업폐수 관수시에 총건물중과 조직내 질소 축적물이 부들이나 물고랭이 보다 훨씬 높아 단위면적당 질소 흡수제거량이 큰 정수식물로 판명되었다.

**검색어:** 관수, 식물량, 인공습지, 정수식물, 폐수

### 서 론

자연습지를 이용한 생활오폐수 처리는 100여년 전에 영국에서 시작되었고(Cooper and Boon 1987), 자연습지를 모방하여 인공습지를 이용한 폐수처리 방법에 대한 연구는 최근 유럽과 미국에서 활발히 진행되고 있다 (Gray 1989, Reed 1990, Moshiri 1993). 국내에서도 토양처리와 인공습지 시스템을 이용하여 130 ppm인 공장폐수의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도를 60 ppm 이하로 저감시킬 수 있다고 보고하였다 (곽 등 1998, 이 등 1997). 습지에 의한 수질오염물질 제거는 정수식물의 지상부와 지하부의 조직, 미생물, 토양매체, 수중에 용해된 영양염류 등이 서로 공생관계를 유지하면서 생물 이화학적인 작용을 통하여 이루어지므로 습지시스템에서 정수식물의 역할은 대단히 중요하다 (Gersberg, et al. 1986). 정수식물의 뿌리조직은 호기성 미생물들이 서식 공간을 제공하여 미생물활동을 촉진시키는 O<sub>2</sub>를 근권에 공급한다. 근권으로의 O<sub>2</sub>공급은 뿌리와 토양 사이에 산화층을 형성하여 산화환원 전위차(redox potential)를 높히므로 질화미생물의 질산화반응을 촉진하고, 산화반응에서 생성된 질산성질소는 O<sub>2</sub>가 부족한 토양으로 침투하는 과정에서 탈질작용을 통하여 N<sub>2</sub>로 변하여 제거된다 (Conley et al. 1991).

또한 정수식물은 N, P 등의 영양염과 중금속류의 용해물질을 직접 흡수 축적하므로써 수질오염물질을 제거하기도 한다 (Gray 1989, Cooper and Boon 1987, Shutes et al. 1993). 따라서 정수식물이 수질오염물질을 효과적으로 제거하기 위한 요건으로는 많은 식물량과 근권의 발달 및 폐수의 성상특성인 높은 전기전도도와 고농도 특징이내에 내성이 강해야 된다. 인공습지에서 일반적으로 많이 사용되는

정수식물은 갈대, 고랭이, 매자기, 부들 등으로 알려져 있다 (Nichols 1983, Hammer 1996). 특히, 큰고랭이(*Scirpus validus*)가 질소, 인, 칼륨, 나트륨, 염소 등의 흡수능이 매우 높다고 보고되었고(Finlayson and Chick 1983, Gray 1989), 폐수중에 암모니아성 질소가 24.7 ppm 일 때 큰고랭이는 94%, 갈대는 78.5%, 그리고 부들은 28.3%를 제거한다고 보고되었다 (Gersberg et al. 1986). 그러나 부들이 고랭이나 갈대보다도 질소 흡수량과 축적량이 높고, 부들은 증발산과 엽면적지수(Leaf area index, LAI)가 높은 C<sub>4</sub> 식물이어서 광합성효율이 높으며, 특히 근권에 질소고정 미생물과의 공생관계를 유지하고 있어서 N 뿐만 아니라 P 흡수율도 높다고 하였다 (Reddy and Debusk 1986, Gunten-spergen and Kadlec 1989). 그러나 갈대의 영양염 제거효율이 큰고랭이 만큼 높고(De Jong 1976), 갈대가 인공습지용 폐수처리 식물로 가장 효과적인 이유는 각종 수질오염물질에 강한 내성과 지하경(rhizome)의 발달로 근권 토양에 O<sub>2</sub> 공급을 많이 함으로써 미생물에 의한 질산화와 탈질화 작용에 의한 질소 제거율이 높다 (Cooper and Boon 1987). 실제 인공습지에서 정수식물이 질소를 포함하는 영양염의 정화작용은 식물 자체의 흡수축적 보다도 근권에서 활동하는 미생물에 의한 제거효과가 훨씬 높다 (Cooper and Boon 1987). 정수식물의 수질 정화능에 대한 연구결과가 연구자들에 따라 서로 차이가 큰 것은 실험에 사용한 식물종(species)이 동일하지 않기 때문일 것이다. 예를 들어 외국종인 큰고랭이(*Scirpus validus*)와 캘리포니아 고랭이(*Scirpus californicus*)는 질소와 인의 흡수 제거능이 높은 것으로 알려져 있으나 종이 다른 물고랭이(*Scirpus nipponicus*)와 매자기(*Scirpus fluviatilis*) 등은 수질정화능이 상대적으로 낮으며 이러한 종간의 차이는 갈대 속과 부들 속의 경우도 마찬가지이다 (Finlayson and Chick 1983, Gray

1989). 국내에는 고랭이속(*Scirpus*)에 16종, 갈대속(*Phragmites*)에 3종, 부들속(*Typha*)에 2종 등 다수의 정수식물이 있다. 따라서 본 연구는 인공습지시스템을 이용하여 전기전도도가 3.0 dS/m이고,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  농도가 130 ppm인 산업폐수처리에 적용할 정수식물의 선발에 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

본 실험에 이용된 정수식물은 전라남도 광양시 인근지역에 자생하는 갈대(*Phragmites communis*), 줄(*Zizania latifolia*), 부들(*Typha orientalis*) 및 물고랭이(*Scirpus nipponicus*)였고, 정수식물을 재배한 플라스틱 재질의 용기는 38 cm×36 cm×35 cm(윗지름×아랫지름×높이)로 표면적 0.1 m<sup>2</sup>와 용량 28l 였으며, 용기 하단부에 배수울 조절을 위한 valve를 장착하였다. 용기에는 농경지 토양 16 kg을 충전하고, 관수한 물이 용기 내에 정체하지 않게 하기 위하여 용기 하단부까지 배수 valve를 부착하였으며, 배수율은 5 ml/min로 조절하였다. 대조구와 실험구의 5반복 용기당 정수식물은 7~10주이었고, 이식한 정수식물의 뿌리가 용기 하단부까지 성장하기 전에는 1/2X Hoagland 배양액(곽 등 1998)을 관수하였고, 그 후 부터는 실험구에 산업폐수를 관수하였다. 용기에 충전한 토양내 영양소원의 차이를 없애기 위해 1/2X Hoagland 배양액으로 수차례 배수시켜 토양 배수액의 전기전도도를 1.0 mS/cm로 조절하였고, 관수시기는 용기 내의 물이 완전히 배수 되기 전에 하였으며, 관수량은 19l 이었다. 1/2X Hoagland 배양액과 산업폐수의 성상은 다음과 같다 (Table 1).

식물량은 산업폐수를 관수하여 5개월 동안 온실에서 용기재배한 후 수확하여 지상부 건물량과 지하부 건물량을 측정하여 총 건물생산량을 산정하였고, 정수식물 조직내의 질소함량은 Kjeldahl 방법으로 측정하였다 (Moore and Chapman 1986). 산업폐수를 관수하여 재배한 정수식물의 증발산량(ETc)은 폐수처리후 1, 2, 3, 5 개월 째에 배수 valve를 잠그고 관수후 용기내의 수위와 24시간 후의 수위를 측정하여 수분흡수율을 평가하여 산정하였다.

**Table 1.** Irrigation water quality analysis of 1/2X Hoagland's solution and industrial wastewater used in this study

Analysis	Irrigation water	
	1/2X Hoag. Sol.	Wastewater
pH	5.7	7.6
EC (dS/m)	1.0	3.0
$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mc/l)	0.46	9.29
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (mc/l)	6.2	8.4
$\text{Na}^+$ (mc/l)	0.4	5.2
$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mc/l)	7.14	0.14
$\text{Cl}^-$ (mc/l)	0.6	13.7
Sodium adsorption ratio (SAR)	0.23	2.5

## 결과 및 고찰

본 실험에 사용한 산업폐수의 전기전도도(EC, electrical conductivity)는 3.0 dS/m이고  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도는 130 ppm 이었고, 이러한 성상의 폐수를 관수하여 5개월 재배기간 동안 정수식물을 재배하였을 때 정수식물의 평균 증산증발량(ETc, evapotranspiration rate of crop)은 Table 2에 제시하였다. 양액으로 재배하였을 때 갈대의 ETc는 2.50 cm/day로서 가장 높았고, 물고랭이의 ETc는 1.32 cm/day로 가장 낮았다. EC가 높은 산업폐수로 관수하였을 때 부들과 줄의 ETc는 오히려 증가하였지만 갈대와 물고랭이의 경우에는 각각 30~40% 가량 감소하였다. 본 실험결과 내염성이 가장 높은 식물은 부들로 판명되었고, 갈대의 경우에는 폐수 관수에 의하여 ETc가 감소되었어도 다른 정수식물의 ETc보다 높았다. 식물은 토양액(soil solution) 또는 관개수의 전기전도도(ECw)가 높아 근권의 삼투압이 낮아지게 되면 수분흡수가 어려워져 생장이 감소하게 되고, 염(salt)에 민감한 식물은 관개수의 전기전도도가 1.0 dS/m 이상이 되면 10% 이상의 생장감소가 나타난다 (Mass 1986). 따라서 본 실험에 사용한 폐수의 전기전도도는 3.0 dS/m이고, 삼투압은 -1.08 bar가 되므로 내염성이 강한 정수식물이어야 정상적으로 수분을 흡수하여 생장피해를 회피할 수 있다. 일반적으로 폐수는 전기전도도가 1.0 dS/m 이상이므로 수질정화용 정수식물의 우선적인 요건을 내염성이라고 할 수 있다.

폐수와 배양액으로 5개월간 재배한 정수식물의 지상부와 지하부건물량을 합친 총건물량이 가장 높은 경우는 1/2X Hoagland's 양액으로 재배한 갈대였고, 총건물량은 1,190 g/0.1 m<sup>2</sup>이였으며, 그 다음은 줄과 부들이었다 (Table 3). 물고랭이의 건물량은 갈대의 36% 수준으로 건물생산량이 극히 작은 식물이었다. 정수식물의 폐수에 대한 반응을 보면 부들과 줄은 폐수에서 오히려 생장이 증가되었고, 특히 뿌리 생장촉진효과가 뚜렷하였다. 갈대의 경우는 건물절대량은 다른 정수식물보다 높았으나 폐수에 의하여 건물생장이 약 14% 감소되었으며 물고랭이는 71% 이상 격감되어 폐수에 가장 민감한 생장반응을 보였다. 수질에 따른 정수식물의 건물생장량은 ETc의 반응과 일치하였다. 즉, 부들이

**Table 2.** Average evapotranspiration (ETc) rate of aquatic plants grown in container for 5 months irrigated with 1/2X Hoagland's solution or industrial wastewater

Plant	ETc (cm/day)		B/A
	1/2X Hoag. Sol. (A)	Wastewater (B)	
	<i>Typha orientalis</i>	1.45±0.23	
<i>Zizania latifolia</i>	1.40±0.13	1.50±0.13	1.07
<i>Phragmites communis</i>	2.50±0.11	1.76±0.19	0.70
<i>Scirpus nipponicus</i>	1.32±0.08	0.82±0.04	0.61

나 줄과 같이 폐수로 재배하였을 때 ETc가 배양액으로 재배하였을 때보다 높은 식물은 건물생산량 역시 높았다. 본 실험결과 EC와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 높은 폐수에 내성이 강한 정수식물은 부들, 줄, 갈대 순이었고, 물고랭이는 내성이 약한 것으로 나타났다.

본 실험에 사용한 폐수의 수질 중에서 식물생장에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 항목은 EC와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 이다 (FAO 1976). 관개수의 ECw가 높으면 뿌리주위의 삼투압이 낮아져 수분흡수가 장애를 받게 되는데 Table 2에 제시한 바와 같이 부들과 줄은 내염성이 강한 식물이었다. 관개수에 특정 이온의 농도가 과다하게 높으면 특정이온피해 (specific ion toxicity)가 나타나는데 본 실험에 사용한 폐수의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도는 일반 식물생장에 적합한 권장치(2 me/l) 보다 4.6배가 높다 (FAO 1976). 폐수 사용시 ETc와 건물량이 배양액 관수의 경우보다 오히려 높은 부들과 줄은 내염성과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 대한 내성이 모두 높은 것으로 나타났다. 갈대는 건물생산량 감소폭(14%)이 ETc 감소폭(30%) 보다 낮으므로 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 보다는 염에 대한 내성이 부들이나 줄보다 약하고, 물고랭이의 경우는 폐수 사용시 건물생산량 감소폭(71%)이 ETc 감소폭(39%) 보다 훨씬 높아 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 대한 내성이 극히 약한 것으로 판단된다.

**Table 3.** Dry weight of aquatic plants grown with 1/2X Hoagland's solution or industrial wastewater in container for 5 months

Plant	Irrigation water	Dry weight (g/0.1 m <sup>2</sup> )			B/A of total dry wt.
		Shoot	Root	Total	
<i>Typha orientalis</i>	1/2X Hoag. (A)	211±12	140±11	351	2.10
	Wastewater (B)	365±19	373±18	738	
<i>Zizania latifolia</i>	1/2X Hoag. (A)	376±27	445±25	821	1.08
	Wastewater (B)	364±15	519±24	883	
<i>Phragmites communis</i>	1/2X Hoag. (A)	787±35	403±17	1190	0.86
	Wastewater (B)	631±28	395±26	1026	
<i>Scirpus nipponicus</i>	1/2X Hoag. (A)	224±14	204±15	428	0.29
	Wastewater (B)	84±11	39±10	123	

**Table 4.** Total nitrogen concentration in tissues of aquatic plants grown with 1/2X Hoagland's solution or industrial wastewater in container for 5 months

Plant	Irrigation water	T-N concentration (%)	
		Shoots	Roots
<i>Typha orientalis</i>	1/2X Hoag. Sol.	2.05±0.12	2.28±0.14
	Wastewater	1.24±0.08	1.18±0.09
<i>Zizania latifolia</i>	1/2X Hoag. Sol.	3.05±0.13	2.75±0.14
	Wastewater	2.82±0.08	3.61±0.06
<i>Phragmites communis</i>	1/2X Hoag. Sol.	2.48±0.11	2.18±0.09
	Wastewater	3.07±0.05	2.36±0.11
<i>Scirpus nipponicus</i>	1/2X Hoag. Sol.	1.79±0.10	1.98±0.08
	Wastewater	2.07±0.13	1.03±0.09

Surrency(1993)는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 160 ppm 이상되는 축산폐수를 인공습지를 통하여 정화할 때 가장 적합한 정수식물은 부들, 줄, 큰고랭이, 칼리포니아고랭이 등이며 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 내성이 특히 강한 식물은 칼리포니아고랭이 (*Scirpus californicus*)와 큰고랭이(*Scirpus validus*)라고 발표하였다. 부들과 줄의 높은 정화능에 대한 결과는 본 연구결과와 일치하였으나 고랭이의 경우는 속은 같아도 종이 동일하지 않아 상이한 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

배양액으로 재배한 정수식물의 잎, 줄기, 뿌리 조직체내의 질소 농도는 줄의 지상부위 잎과 줄기가 3.05%로서 가장 높았고, 물고랭이가 1.79%로 가장 낮았다 (Table 4). 지하부의 경우에도 N을 가장 많이 축적하는 정수식물은 줄이었고, 가장 적게 축적하는 식물은 물고랭이였다. 한편 고농도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 함유한 폐수를 관수하여 재배하였을 경우에는 갈대의 지상부위 조직과 줄의 지하부위 조직의 N 농도가 크게 증가하였으며, 부들의 경우에는 ETc와 건물생산량의 반응과는 달리 오히려 감소하였다. 그러므로 폐수의 암모니아성 질소 제거용 정수식물로 적합한 수생식물은 N 축적율이 높은 줄과 갈대임을 알 수 있었다.

재배기간 동안 질소를 가장 많이 흡수 제거하는 정수식물은 총건물 생산량이 많고 조직체내에 축적된 질소 농도가 높은 줄과 갈대였다 (Table 5). 줄의 경우 폐수관수시 5개월 재배기간 동안 29.0 g N/0.1 m<sup>2</sup>을 흡수하였고, 갈대도 28.69 g N/0.1 m<sup>2</sup>을 흡수하였다. 부들은 8.92 g N/0.1 m<sup>2</sup> 흡수하여 줄이나 갈대보다 낮았고, 물고랭이는 14 g N/0.1 m<sup>2</sup>로서 흡수제거량이 극히 저조하였다. 물고랭이는 큰고랭이와는 달리 건물생산량이 많지 않고 고농도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 내성이 약한 수생식물임을 알 수 있었다. 부들의 질소 흡수제거율이 낮은 것은 공급되는 질소 형태가 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N일 때 조직체내 N 축적농도가 낮기 때문으로 사료된다. Gersberg 등(1986)과 Surrency(1993)도 부들이 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 흡수율은 높으나 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 농도가 높은 수계에서는 N 흡수제거율이 낮다고 하였다.

본 실험의 결과를 종합해 보면 수질정화능에 대한 정수

**Table 5.** Removal nitrogen amounts by aquatic plants for 5 months with irrigation of 1/2X Hoagland's solution or industrial wastewater

Plant	Irrigation water	N removed (g · 0.1 m <sup>-2</sup> · 5 month <sup>-1</sup> )		
		Shoot	Root	Total
<i>Typha orientalis</i>	1/2X Hoag. Sol.	4.33	3.19	7.52
	Wastewater	4.52	4.40	8.92
<i>Zizania latifolia</i>	1/2X Hoag. Sol.	11.47	12.24	23.71
	Wastewater	10.26	18.74	29.00
<i>Phragmites communis</i>	1/2X Hoag. Sol.	19.52	8.79	28.31
	Wastewater	19.37	9.32	28.69
<i>Scirpus nipponicus</i>	1/2X Hoag. Sol.	4.01	4.04	8.05
	Wastewater	1.74	0.40	2.14

식물들 간에 차이가 많은 것을 알 수 있었다. 즉 내염성과  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  농도에 내성이 강한 정수식물은 줄과 부들이었고, 갈대는 폐수처리에 의하여 건물생산량이 다소 감소되었으나 절대량이 높아 단위면적당 N 흡수제거량은 줄과 함께 가장 높았다.

### 인용문헌

- 광영세, 이충일, 최만영, 김대윤, 허용균, 김종택. 1998. 인공 습지와 토양처리법을 이용한 배출수 중수화 연구 (2). 포항산업과학연구원, 108 p.
- 이충일, 광영세, 허용균, 김종택. 1997. 인공습지와 토양처리법을 이용한 배출수 중수화 연구 (1). 포항산업과학연구원, 61 p.
- Conley, L.M., R.I. Dick, and L.W. Lion. 1991. An assessment of the root zone method of wastewater treatment. Res. Jour. WPCF 63: 239-247.
- Cooper, P.F. and A.G. Boon. 1987. The use of *Phragmites* for wastewater treatment by the root zone method: The UK approach. In K.R. Reddy and W. H. Smith (eds.), Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. Magnolia Pub. Inc., Orlando. Florida. pp 153-174.
- De Jong, I. 1976. The purification of wastewater with the aid of rush or reed pond. In J. Tourier, R.W. Pierson and E.W. Furia (eds.), Biological Control of Water Pollution. Univ. of Pennsylvania Press, pp. 133-139.
- Finlayson, C.M. and A.I. Chick. 1983. Testing the potential of aquatic plants to treat abattoir effluent. Water Res. 17: 415-422.
- FAO. 1976. Water quality for agriculture. FAO, Rome. Italy. 97 p.
- Gersberg, R.M., B.V. Elkins, S.R. Lyon, and C.R. Goldman. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water. Res. 20: 363-368.
- Gray, N.F. 1989. Biology of wastewater treatment. Oxford Univ. Press, 828 p.
- Guntenspergen, G.R. and J.A. Kadlec. 1989. Wetland vegetation. In D.A. Hammer (ed.), Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Lewis Publishers, Chelsea. Michigan. pp. 73-88.
- Hammer, D.A. 1996. Creating freshwater wetlands. Lewis Publishers, New York. 406 p.
- Moore, P.D. and S.B. Chapman. 1986. Methods in plant ecology. Blackwell Scientific Publications, London. 589 p.
- Moshiri, G.A. 1993. Constructed wetlands for water quality improvement. Lewis Publishers, New York. 632 p.
- Nichols, D.S. 1983. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. Res. Jour. WPCF 55: 495-505.
- Reddy, K.R. and W.F. Debusk. 1987. Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. In K.R. Reddy and W.H. Smith (eds.), Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. Lewis Publishers, Chelsea. Michigan. pp. 337-357.
- Reed, S.C. 1990. Natural systems for wastewater treatment. Water Pollution Control Fed. Alexandria. VA. 270 p.
- Shutes, R.B., J.B. Ellis, D.M. Revitt and T.T. Zhang. 1993. The use of *Typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban wetlands. In G.A. Moshiri (ed.), Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, New York. pp. 407-425.
- Surrency, D. 1993. Evaluation of aquatic plants for constructed wetlands. In G.A. Moshiri (ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, New York. pp. 349-357.

(1999년 7월 12일 접수)

---

## Salt and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ Tolerance of Emergent Plants for Constructed Wetlands

Lee, Choong-II and Young-Se Kwak

*Environmental Conservation Research Team,*

*Pohang Research Institute of Industrial Science and Technology*

**ABSTRACT:** Tolerances of aquatic plants (emergent plants) of cattail (*Typha orientalis*), water oats (*Zizania latifolia*), reed (*Phragmites communis*), and bulrush (*Scirpus nipponicus*) to salts and high  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  conc. of industrial wastewater were evaluated. Evapotranspiration of cattail and water oats plants was not affected when the wastewater containing 130 ppm  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  with electrical conductivity of 3.0 dS/m was supplied for 5 months. Shoot and root dry wt. of cattail and water oats were rather increased by irrigation of the wastewater while the biomass production of bulrush was greatly reduced. Storage nitrogen concentration in tissues of water oats and reed plants were higher than those in cattail and bulrush. Thus, water oats and reed plants were found to be the better aquatic plants to use in constructed wetlands for treating industrial wastewater of high salt and  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ .

**Key words:** Biomass, Constructed wetlands, Emergent plants, Irrigation, Wastewater

---