

영산강 유역으로부터 유입되는 오염부하량에 따른 수생식물의 분포, 질산환원효소 활성 및 그 정확능

임병선 · 이점숙* · 서계홍** · 김하송

목포대학교 생물학과, 군산대학교 생물학과*, 대구대학교 생물학과**

Distribution and Nutrient Removal Capacity of Aquatic Plants in Relation to Pollutant Load from the Watershed of Youngsan River

Ihm, Byung-Sun, Jeom-Sook Lee*, KyeHong Suh** and Ha-Song Kim

Department of Biology, Mokpo National University

Department of Biology, Gunsan National University*

Department of Biology, Taegu University**

ABSTRACT

This study was conducted to investigate pollutant loading, water quality and plant distribution of 8 streams which are tributaries of the Youngsan River. The nitrate reductase activity (NRA) and nutrient removal capacity of the most frequently occurring aquatic plants on streamside were also determined. As a result, the pollutant loading appeared to be correlated with the area of watershed, while the water quality was related to the land use pattern of each stream. The aquatic plants were distributed differently among the streams: *Hydrilla verticillata* - *Potamogeton crispus*, *Nymphoides peltata* - *Hydrocharis dubia* and *Polygonum thunbergii* - *Phragmites japonica* were dominant at the Orye Chon, Jungan Chon, Whangryong River and Jiseok Chon, while *Potamogeton crispus* - *Lemna paucicostata*, *Zizania latifolia* - *Phragmites communis* were dominant at the Youngam Chon and Munpyeong Chon. *Persicaria hydropiper* and *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola* were dominant at Kwangju Chon which was polluted with domestic wastewater. From the measurement of leaf NRA for dominant species, the highest value of NRA was shown by the *Polygonum thunbergii*, followed by *Oenanthe javanica* > *Phragmites communis* > *Zizania latifolia* > *Lemna paucicostata*. The highest nitrogen and phosphorus removal capacity was found in *Phragmites communis*.

Key words: Nitrate reductase activity, Nutrient removal capacity, Plant distribution, Pollutant load, Youngsan River

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

서 론

최근 강유역의 습지는 각종 개발사업에 의하여 훼손되어 가고 있으며, 육상으로부터 유입되는 각종 유기물질과 중금속에 의하여 오염되어지고 있다 (Otte *et al.* 1991).

잘 보존된 습지는 토양과 식물이 밀접하게 연관되어 육지로부터 수계로 유입되는 각종 오염물질의 부하량을 감소시키고 인근수계를 정화하는 것으로 알려지고 있다 (Cornwell *et al.* 1977, Kadlec 1987). 특히 대형수생식물은 BOD를 감소시키고, 질소, 인 및 그 밖의 중금속 오염물질을 흡수하여 수계의 오염물질 농도를 효율적으로 감소시킨다 (Boyd 1968, Lakshman 1979, Wolverson and McDonald 1979, Reddy *et al.* 1983, Busk *et al.* 1989). 아열대 지방에서 일부 대형수생식물은 수계의 질소와 인을 각각 91%와 70% 이상까지 흡수하는 것으로 밝혀지고 있다 (Aoyama *et al.* 1986, Thripathi *et al.* 1991).

우리나라에서 수생식물의 정화능에 관한 연구는 외래종인 부레옥잠을 이용하여 폐수정화처리를 하기 위하여 실험실조건에서 활용가능성을 검토한바 있으나 (곽과 김 1992), 자연상태의 하천에서 수생식물의 분포와 자생식물의 정화능에 관한 연구는 미진한 상태이다.

따라서 본 연구는 영산강 본류로 유입되는 8개의 주요 하천에서 오염부하량에 따른 수생식물의 분포를 조사하고 주요 우점종에 대한 질산환원효소 활성과 그 정화능을 측정함으로써 자생 수생식물에 의한 수질개선 대책을 마련하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

조사지 개황

영산강 집수역은 북쪽의 노령산맥과 동쪽의 소백산맥에 둘러싸여 지형이 노령산맥의 남서, 남동방향, 소백산맥의 북서 방향으로 대부분 고도 400 m 이하로 경사가 완만한 산지가 발달되어 있다. 영산강은 담양군 용면의 용추봉에서 발원하여 담양댐을 지나 남서방향으로 흐르는데, 그 유역면적은 3,429 km²이고 이중 삼림, 경작지 및 주거지가 차지하는 비율이 각각 53, 32 및 3%이며, 유로길이가 137km로서 우리 나라 5대강중 하나이다. 특히 영산강 유역의 토지이용현황은 임야가 한강의 75%에 비하여 낮고, 경작지가 차지하는 비율이 높을뿐만 아니라 강변습지에 농경지, 축산시설, 하천정비사업 등으로 습지가 교란되어가고 있는 상태이다. 본 조사지역의 기후현황으로는 연평균기온이 광주, 함평 및 목포가 각각 13.1, 12.6 및 13.6℃ 이었다. 영산강 수질에 직접적인 영향을 미치는 연평균 강수량은 광주, 함평 및 목포가 각각 1,316, 1,321 및 1,128 mm로서 그 평균값은 1,255 mm로 풍부한 편이나 6, 7, 8월인 여름철에는 년 강수량의 약 47%에 해당하는 집중호우를 내리고 있다.

본 연구의 조사지는 영산강 본류의 수질에 영향을 미치는 8개의 주요하천으로, 상류로부터 하류에 이르는 오례천(A), 증암천(B), 광주천(C), 황룡강(D), 지석강(E), 문평천(F), 고막원천(G) 및 영암천(H)이며 (Fig. 1), 이중 증암천, 황룡강 및 지석천은 삼림면적(62~66%)이, 광주천은 주거지(16%)가, 고막원천과 영암천은 경작지(39와 42%)가 점유하는 비율이 높은 편이다 (Table 1).

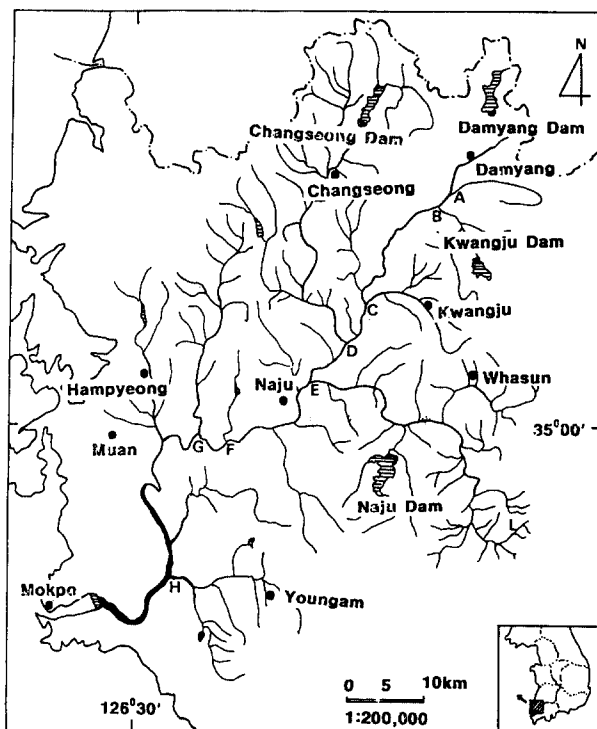


Fig. 1. The map showing investigated areas of eight streams (A-H) on the watershed of the Youngsan River. (A: Orye Chon, B: Jungam Chon, C: Kwangju Chon, D: Whangryong River, E: Jiseok Chon, F: Munpyeong Chon, G: Gomakweon Chon, H: Youngam Chon).

하여 하천 하류에 분포하는 대표적인 수생식물군락(Fig. 2)을 선정하여 우점종을 식생단면도로 표시하였다. 수생식물의 재배는 크기가 균일한 유식물을 현지에서 6월중에 배양실로 운반하여 Hoagland 용액을 포함한 수조(직경 20 cm × 높이 40 cm)에 자연상태와 유사한 밀도로 이식하

Table 1. Watershed area, land use pattern and length of eight streams which were tributaries of the Youngsan River

Stream	Watershed area (km ²)	Land use type (%)				Stream length (km)
		Paddy	Forest	Housing lot	Others	
A. Orye Chon	61.66	31	58	2	7	22
B. Jungam Chon	175.46	24	62	1	11	20
C. Kwangju Chon	120.99	16	46	15	20	22
D. Whangryong River	575.90	20	65	2	11	59
E. Jiseok Chon	679.91	23	65	1	9	50
F. Munpyeong Chon	46.49	14	63	1	20	11
G. Gomakweon Chon	216.55	38	50	2	8	39
H. Youngam Chon	253.45	41	45	2	10	24

조사방법

오염부하량 산정 및 수질측정

榮山江 수질에 미치는 오염부하량을 파악하기 위하여 각 하천별 集水域의 논, 밭 및 임야 등의 토지이용(Table 1)과 거주하는 總인구수 및 돼지, 닭 등의 가축수(Table 2)에 따라 각각 BOD, SS, T-N 및 T-P의 부하량을 산정하였다(광주 지방환경청 1990). 수질은 영산강 본류로 유입되는 8개의 하천 하류(Fig. 1)에서 2회에 걸쳐(1994년 10월과 1995년 1월) 측정하였으며, BOD는 20℃에서 5일간 BOD배양기(GCA-815)에서 배양하여 측정하였고, 부유물질과 총질소는 수질 오염공정시험법, 총인은 ascorbic acid 법으로 측정하였다.

수생식물의 분포와 재배

수생식물의 분포는 6~10월에 12회에 걸쳐 본류로 유입되는 8개 하천 하류지역을 중심으로 상관에 의

Table 2. The population and livestock on the watersheds of eight streams of the Youngsan River

Stream	Population (Person)	Livestock (Head)		
		Cattle	Hog	Chicken
A. Orye Chon	8,398	2,043	421	53,261
B. Jungam Chon	184,336	5,850	3,113	93,277
C. Kwangju Chon	399,713	1,137	1,969	36,497
D. Whangryong River	156,897	17,710	14,993	259,472
E. Jiseok Chon	237,855	10,898	40,862	617,235
F. Munpyeong Chon	4,419	1,329	879	36,882
G. Gomakweon chon	32,552	13,067	4,248	353,833
H. Youngam Chon	37,384	10,887	7,576	222,598

여 2주간 수경 재배하였다. 배양실의 조건은 명암주기를 14/10 h, 온도를 25°C±2, PAR를 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 하였다.

질산환원효소활성 (Nitrate reductase activity; NRA)

2주간 재배한 8종의 주요 우점종을 대상으로 잎의 NRA를 다음과 같은 방법으로 3회 반복 측정하였다. 생중량 300 mg을 tube에 넣고 5 ml의 phosphate buffer를 가한다. Tube내 공기를 제거하기 위하여 1~2분 동안 2~3회 진공펌프로 진공시킨후 알루미늄 호일로 싸고 25°C 수조에서 1시간 동안 반응시킨 다음 반응을 중단시키기 위하여 끓인 물에 20분 동안 담근후 실온으로 식혀 sulphanic acid 1ml와 Naphthalene ethylene diamine 1ml를 가하고 잘 섞었다. 45분 동안 발색시킨 후 540 nm(spectrophotometer)에서 흡광도를 측정하였다 (Press and Lee 1982).

수생 식물의 질소와 인의 정화능 측정

수조에 균일한 크기의 재료식물을 이식시킨 전, 후에 Hoagland 배양액에 $\text{NO}_3\text{-N}$ (카드뮴환원법), $\text{PO}_4\text{-P}$ (ascorbic acid법)의 농도를 측정하여 다음 식에 의하여 정화능을 계산하였다 (Tripathi *et al.* 1991).

$$C = \frac{I - F}{T \times D}$$

C: 식물의 정화능 F: 식물배양 용액의 최종농도
I: 식물배양 용액의 초기농도 T: 정화소요시간 D:식물체 건량

결과 및 고찰

하천별 오염부하량과 수질

8개 주요 하천별 오염부하량(Fig. 2)은 BOD와 T-N이 동일한 경향성을 보였으며, 지석천에서 이들이 각각 42.1, 5.4 ton/day로 가장 높고 다음으로 황룡강과 광주천 순이었고, 오례천과 문평천이 낮았다. SS는 황룡강이 98.6 ton/day로 가장 높고, 다음으로 고막원천, 지석천, 영암천 순이었으며, 오례천과 문평천이 전자와 같이 낮았다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 BOD와 T-N과 유사한 경향성을

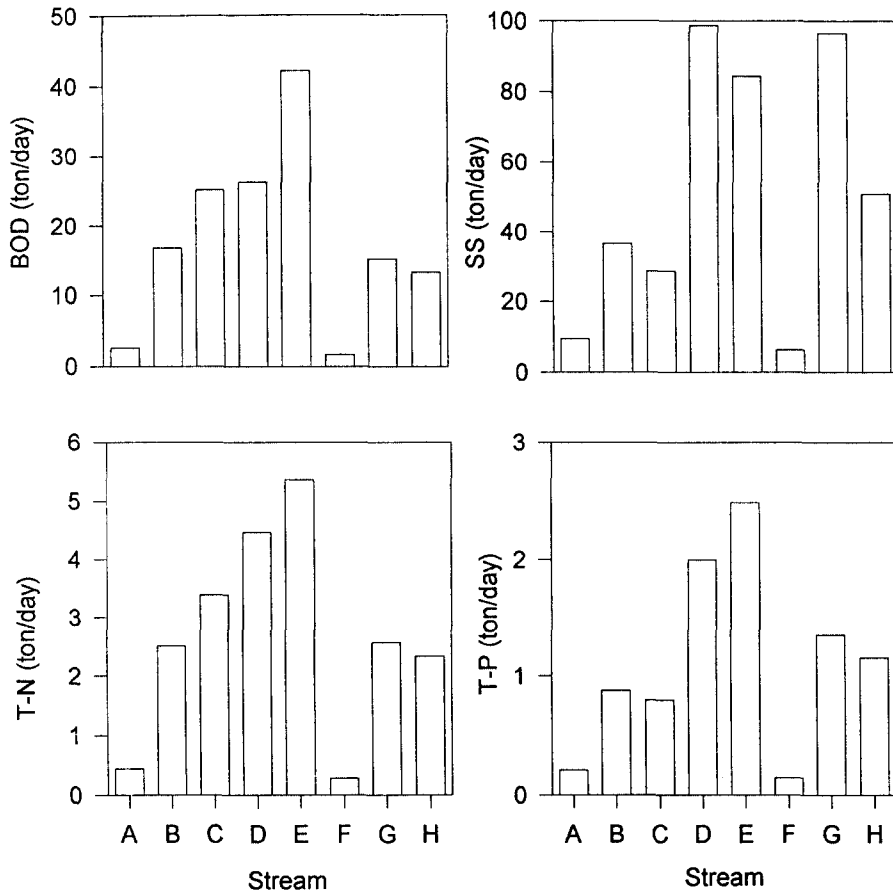


Fig. 2. The amount of pollutant loadings (BOD, SS, T-N, T-P) of eight streams (A-H) on the watershed of Youngsan River. See, Fig. 1 for names of eight streams.

보였으나, 다만 고막원천과 영암천이 증암천과 광주천보다 높았다. 이처럼 오염 부하량이 지석천과 황룡강이 높고, 오례천과 문평천이 낮은 것은 주로 집수역 면적과 연관되는 것으로 보인다.

하천수질(Fig. 3)은 영산강 상류지역인 오례천과 증암천이 BOD가 각각 3과 2 mg/l, SS가 각각 4와 3 mg/l, T-N이 각각 2.1과 1.4 mg/l, T-P가 모두 0.02 mg/l으로 낮았다. 한편 생활하수 유입이 많은 광주천은 BOD, SS, T-N 및 T-P가 각각 85, 95, 8.5 및 1.94 mg/l으로 영암천의 T-N을 제외하고 가장 높았다. 영암천이 T-N이 가장 높은 것은 농축산 폐수의 유입과 관련된 것으로 생각되며, 농경지 유입수가 많은 고막원천도 BOD, SS 및 T-P가 높았다. 이처럼 영산강 수질은 도시생활하수의 유입이 많은 광주천과 농경지로부터 유입수가 많은 영암천이 다른 하천에 비하여 BOD, SS, T-N 및 T-P가 높아 영산강 수질 악화에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 특히 황룡강과 지석강이 광주천과 영암천보다 오염부하량이 높지만 BOD, SS, T-N 및 T-P가 낮은 것은 삼림이 차지하는 비율이 65%로 높고, 강변습지가 잘 보존된 것과 관련되어 식물이 영양염류의 부하량을 감소시키고 인근수계를 정화하는 것으로 보인다 (Kadlec 1987).

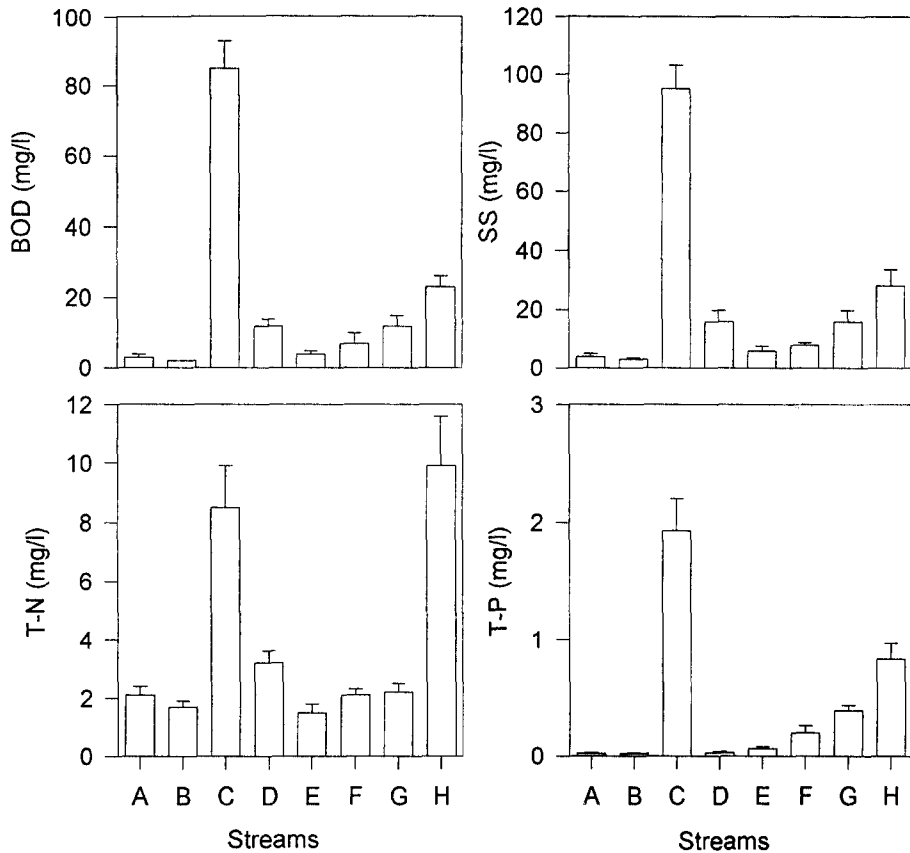


Fig. 3. Water quality (BOD, SS, T-N, T-P) of eight streams (A-H) on the watershed of the Youngsan River.

수생식물의 분포

오염부하량과 수질에 따른 수생식물 분포와의 관계를 파악하기 위하여 8개 주요 하천별 우점종의 식생 단면도를 Fig. 2에 표시하였다.

영산강 상류에 위치하여 오염부하량이 적고 수질이 비교적 양호한 오례천과 증암천 중에서 오례천(Fig. 2A)은 집수역 면적에 비하여 하천의 길이가 길고 수심이 낮아 고마리, 물참새피, 줄, 달뿌리풀, 물억새 등의 정수식물이 우점도가 높았으나, 증암천(Fig. 2B)은 유속이 느리고 수심이 1 m 내외로 검정말, 말즘 및 붕어마름, 대가래 등의 침수식물과 자라풀, 마름, 개연꽃 등의 부엽식물이 우점하였고, 천변을 중심으로 물참새피, 고마리, 달뿌리풀, 망초, 쑥 등이 나타났다. 도시생활하수의 유입이 많고 BOD, SS 및 T-P가 가장 높은 광주천(Fig. 2C)은 하상의 퇴적물이 드러난 지역을 중심으로 여뀌와 물피가 주로 분포하였고 종조성이 단순하였다. 강변 딱사면에는 인위적 간섭이 심하여 소리쟁이, 돼지풀, 환삼덩굴, 망초 등의 귀화식물이 번성하였다. 오염부하량이 많으나 수질이 양호한 황룡강(Fig. 2D)과 지석강(Fig. 2E)은 고마리, 물참새피, 줄, 달뿌리풀, 갈대 등의 정수식물과 갯버들 군락이 발달되어 있고, 강변을 중심으로 며느리배꼽, 환

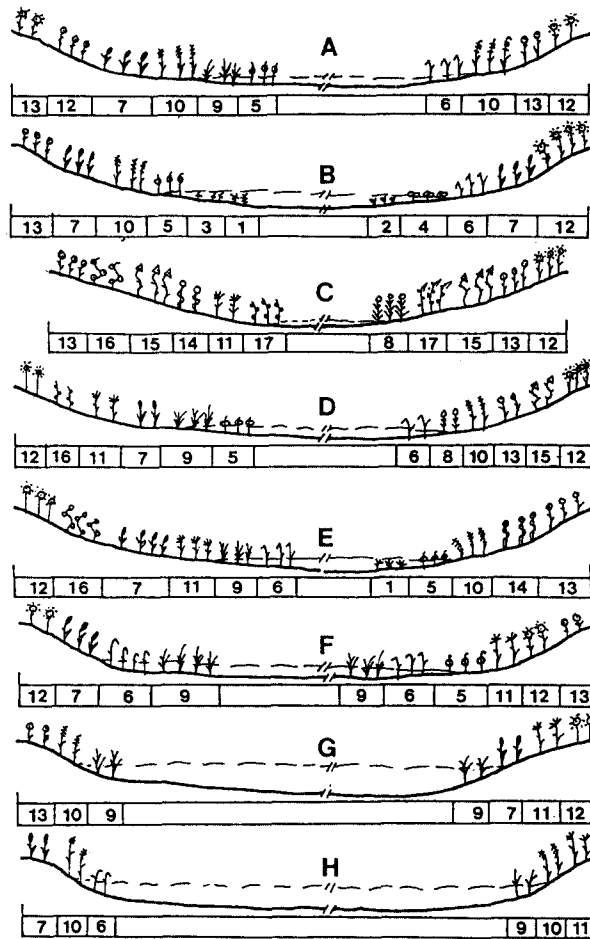


Fig. 4. Vegetation profile of eight streambanks on the watershed of the Youngsan River. (1: *Hydrilla verticillata-Ceratophyllum demersum*, 2: *Potamogeton malaianus* var. *latifolius*, 3: *Trapa japonica*, 4: *Hydrocharis dubia*, 5: *Persicaria thunbergii*, 6: *Paspalum distichum*, 7: *Miscanthus sacchariflorus*, 8: *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*, 9: *Zizania latifolia*, 10: *Phragmites japonica*, 11: *Phragmites communis*, 12: *Erigeron canadensis*, 13: *Artemisia princeps* var. *orientalis*, 14: *Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*, 15: *Persicaria perfoliata*, 16: *Humulus japonica*, 17: *Persicaria hydropiper*).

삼덩굴, 망초, 쑥 등이 나타났다. 또한 유속이 느린 곳에는 자라풀, 검정말, 붕어마름과 같은 침수 식물이 분포하였다. 집수역 면적이 가장 좁은 문평천(Fig. 2F)은 대부분 물참새피, 고마리, 줄 등의 정수식물이 우점종으로 분포하였고, 농축산폐수가 유입되는 수로 주변에는 좁개구리밥, 검정말, 말즘들이 나타났다. 또한 강변을 중심으로 물억새, 갈대, 쑥, 망초 등이 나타났다.

농경지 면적이 넓은 고막원천(Fig. 2G)과 영암천(Fig. 2H)은 줄, 갈대 및 물억새가 우점종으로 분포하였으며, 강변을 중심으로 환삼덩굴, 달뿌리풀, 망초, 쑥 등이 부분적으로 나타났다.

이상에서 영산강 유역의 각 하천에 공통적으로 나타나는 종은 달뿌리풀, 고마리, 줄, 갈대 등이었으며, 상류쪽에 달뿌리풀과 고마리가, 중하류쪽에 줄과 갈대가 우세하였다. 특히 환경부에

서 고시한 감소추세종인 자라풀은 증암천과 황룡강 수변의 물이 정체된 곳에 흔히 분포하였다. 또한 농축산폐수에 의한 오염부하량이 많은 고막원천, 문평천, 영암천에는 줄, 물참새피, 갈대, 좁개구리밥 등이 우점하였고, 생활하수에 의한 오염부하량이 많은 광주천에는 여뀌와 물피가 우점하였다. 한편 오염부하량이 많으나 산림면적이 넓고 강변습지가 잘 보존된 증암천, 황룡강 및 지석천의 하류는 수질의 BOD, SS, T-N 및 T-P가 낮고 검정말과 붕어마름 - 노랑어리연꽃, 마름, 자라풀 - 달뿌리풀, 나도겨풀 등의 수생식물이 수중으로부터 뚝사면에 이르기까지 분포하고 있었다. 수질과 관련하여 수생식물의 분포는 오염된 하류쪽에 여뀌, 소리쟁이, 미국개기장등이 우점하고, 오염되지 않은 상류하천에 달뿌리풀, 고마리, 물억새 등이 분포하는 것으로 밝혀지고 있는데(김과 임 1990, 김 등 1991) 본 조사에서도 유사한 경향성을 보였으나 고마리, 갈대, 줄 등은 넓게 분포하고 있어 수질과 수생식물의 분포와의 관계를 명확하게 규명하기는 어려운 것으로 생각된다.

수생식물의 질산환원효소 활성(NRA) 및 질소와 인의 정화능

영산강 유역의 주요 우점종을 대상으로 질소의 이용능을 파악하기 위하여 NRA를 측정된 결과, 정수식물인 고마리가 가장 높은 $7.818 \mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d.wt.}$ 이었고, 다음으로 미나리, 갈대, 줄, 좁개구리밥, 개구리밥, 물개구리밥, 생이가래, 검정말, 대가래 순으로 나타나 정수식물이 가장 높고 다음으로 부유식물, 침수식물 순이었다 (Fig. 5). 식물의 NRA가 높을수록 질소의 흡수능이 높은 것으로 평가되고 있으므로 (Scott 1989, 임과 이 1992), NRA가 높은 고마리, 미나리, 갈대, 줄, 좁개구리밥을 대상으로 질소와 함께 인의 정화능을 측정하였다 (Fig. 6). 질소의

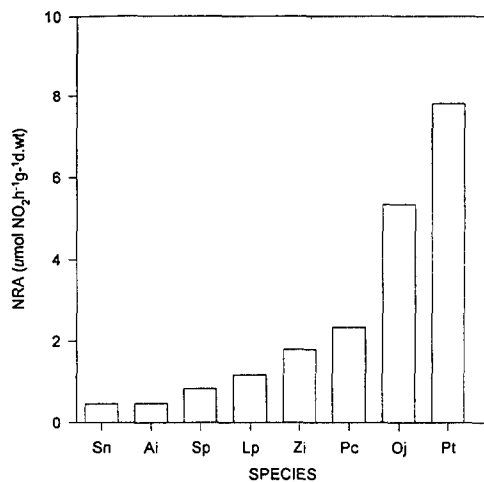


Fig. 5. Nitrate reductase activity of several species of wetland plants. (Pm: *Potamogeton malaiianus*, Hv: *Hydrilla verticillata*, Sn: *Salvinia natans*, Ai: *Azolla imbricata*, Sp: *Spirodela polyrhiza*, Lp: *Lemna pausicostata*, Zi: *Zizania latifolia*, Pc: *Phragmites communis*, Oj: *Oenanthe javanica*, Pt: *Polygonum thunbergii*).

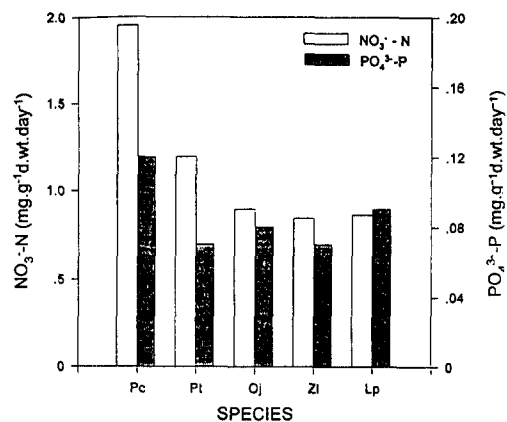


Fig. 6. Removal capacity of nitrate-N and phosphate-P in 5 aquatic plants for three weeks under water culture of Hoagland solution. (Lp: *Lemna pausicostata*, Zi: *Zizania latifolia*, Pc: *Phragmites communis*, Oj: *Oenanthe javanica*, Pt: *Polygonum thunbergii*).

정화능은 $0.85 \sim 1.95 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d} \cdot \text{wt} \cdot \text{day}^{-1}$ 범위로 갈대가 가장 높고 다음으로 고마리, 미나리, 좁개구리밥, 줄 순이었으며 인의 정화능은 $0.07 \sim 0.12 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d} \cdot \text{wt} \cdot \text{day}^{-1}$ 범위로 종간 차이가 적었으나 갈대가 가장 높고, 다음으로 좁개구리밥, 미나리, 고마리와 줄 순이었다. 이처럼 갈대는 질소와 인의 제거능이 높아, 주로 강하류와 유기폐수의 유입이 많은 곳에 분포하여 수중의 영양염류의 제거에 크게 기여할 것으로 사료된다. 아열대 지방의 경우 부레옥잠과 일부 부유식물의 질소와 인의 제거능이 각각 $0.41 \sim 0.96$ 과 $0.10 \sim 0.63 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 의 범위 (Tripathi *et al.* 1991)로 본연구 결과와 비교하여 볼 때 질소의 제거능은 낮고 인은 높았다. 갈대와 같은 대형수생식물은 소형수생식물이나 미생물에 비하여 수중의 많은 질소와 인을 제거할 수 있고 미나리는 식용으로도 가능하며 수확하기가 용이하여 농촌과 소도시의 비정점오염원에 대한 정화에 활용될 수 있을 것으로 사료된다 (Reddy *et al.* 1983, 조 1992, 임 등 1994).

적 요

영산강으로 유입되는 8개 주요 하천에서 오염부하량, 수질, 수생식물의 분포 및 주요종의 질산 환원효소활성(NRA)과 정화능을 측정하였다. 하천의 오염부하량은 집수역 면적과 비례하였으나, 수질은 토지이용현황과 밀접한 관련을 보였다. 수생식물의 분포는 오례천, 증암천, 황룡강 및 지석천에서 검정말 - 말즘, 노랑어리연꽃 - 자라풀, 달뿌리풀 - 고마리가 우점하였고, 염암천과 문평천에는 말즘, 좁개구리밥, 줄, 갈대 등이 우점하였다. 생활하수유입으로 오염된 광주천은 여뀌와 물피가 주로 분포하였다. 식물의 NRA는 고마리가 가장 높고, 다음으로 미나리, 갈대, 줄, 좁개구리밥 순이었다. 질소의 정화능은 갈대가 가장 높고 다음으로 고마리, 미나리, 줄, 좁개구리밥 순이었다. 인의 정화능은 종간 차이가 적었으나 갈대가 질소의 정화능과 함께 가장 높았다.

인용문헌

- 광주지방환경청. 1990. 영산강환경용량조사연구. 566p.
- 곽홍탁 · 김종만. 1992. 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)이 도시하수의 수질개선에 미치는 영향. 효성여자대학교 기초과학 연구논문집 6:65-70.
- 김선호 · 김성중 · 김용욱. 1991. 한강지천의 수질오염과 식생변화. 자연보존 11:131-141.
- 김용범 · 임양재. 1990. 탄천의 대형수생식물 군락의 분포와 환경. 한국생태학회지 13: 297-309.
- 김하송. 1996. 영산강 집수역에서 삼립과 수생식물의 분포 및 하천수질과의 관계. 목포대학교 박사학위 논문. 166p.
- 임병선 · 이점숙. 1992. 대기중의 산성강하물의 증가에 따른 *Ctenidium molluscum* 등 4종 선류의 질소환원효소 활성. 한국생태학회지 15:355-363.
- 임병선 · 김하송 · 이점숙 · 임현빈 · 김명화. 1994. 영산강 유역의 수생식물상과 분포에 관한 연구. 연안환경연구 11:1-14.
- 임병선 · 이점숙 · 조승원 · 양효식 · 김명화 · 곽애경. 1994. 남창천과 삼향천에 분포한 주요 수생식물의 수질정화능. 연안환경연구 12:49-58.
- 조강현. 1992. 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환. 서울대학교 박사학위 논문. pp. 165-168.

- 조도순. 1995. 경안천에서 하천변 식생의 분포에 관한 연구. 한국생태학회지 18:55-62.
- Aoyama, I., N. Hisao and S.Y. Ma. 1986. Uptake of nitrogen and phosphate, and water purification capacity by water-hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). Ber. Ohara Inst. Landw. Biol., Okayama University 19:77-89.
- Boyd, C.E. 1968. Fresh water plants: A potential source of protein. Econ. Bot. 22: 359-368.
- Busk, T.A., K.R. De Reddy, T.D. Hayes and B.R. SchWegier. 1989. Performance of a pilot-scale hyacinth-based secondary treatment system. Journal WPCF 61:1217-1224.
- Cornwell, D.A., J. Zottek, Jr, C.D. Patrinely, T. Des Furman and J.I. Kim. 1977. Nutrient removal by water-hyacinth. J. Water Pollut. Control Fed. 49:57-65.
- Kadlec, J.A. 1987. Nutrient dynamics. In K.R. Reddy and W.H. Smith (Eds.). Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery. Magnolia Pub., Inc., Orlando, Fla., 393p.
- Lakshman, G. 1979. An ecosystem approach to the treatment of wastewater. J. Environ. Qual. 8: 353-61.
- Otte, M.L., S.J. Bestebroer, J.M. van der Linden, J. Rozenma and Broekman. 1991. A Survey of zinc, copper and cadmium concentrations in salt marsh plants along the Dutch coast. Environmental Pollution 72:175-189.
- Press, M.C. and J.A. Lee. 1982. Nitrate reductase activity of *Sphagnum* species in the southern Pennine. The New Phytologist 92:487-494.
- Reddy, K.R. 1983. Fate of nitrogen and phosphorus in a wastewater retention reservoir containing aquatic macrophytes. J. Environ. Qual. 12:137-141.
- Reddy, K.R., K.L. Campbell, D.A. Craetz and K.M. Portier. 1982. Use of biological filters for agricultural drainage waste treatment. J. Environ. Qual. 11:591-595.
- Reddy, K.R., D.L. Sutton and G.E. Bowes. 1983. Biomass production of fresh water aquatic plants in Florida. Proc. Soil. Crop. Sci. Soc. 42:28-40.
- Scott, M.G., T.C. Hutchinson and M.J. Feth. 1989. A comparison of the effects on Canadian boreal forest lichens of nitric and sulphuric acids as sources of rain acidity. The New Phytologist 111:663-671.
- Tripathi, B.D., J. Srivastava and K. Misra. 1991. Nitrogen and phosphorus removal capacity of four chosen aquatic macrophytes in tropical freshwater ponds. Environment Conservation, 14:3-7.
- Wolverton, B.C. and R.C. McDonald. 1979. Water-hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) studies. Econ. Bot. 33:1-10.

(1996년 9월 10일 접수)