

水生植物을 이용한 水質汚染源除去에 關한 研究

第 1 報 부레옥잠의 有機物 除去效果 및 生長에 미치는 諸要因

卞鍾英* · 李奎承** · 李宗植**

Studies on Removal of Water Pollutants by Aquatic Plants

I. Removal of Organic Matter by Water Hyacinth and Factors Affecting It's Growth

Pyon, Jong Yeong*, Kyu Seung Lee** and Jong Sik Lee**

ABSTRACT

Water hyacinth, unused and tropical plant was examined in order to know the feasibility of application for purification of municipal drainage and industrial wastewater. This plant was effective to remove the COD from wastewater, although its removal ability was dependent on the organic sources. The effects of pH, NaCl concentration, water temperature and shading condition on the growth of water hyacinth were investigated. The optimum ranges of pH were weak acid- neutral, of water temperature were 17-21°C, and unshading condition was better. The rapid propagation of this plant was also observed during hot summer season.

Key words; water hyacinth, municipal drainage, industrial wastewater, COD, removal ability, growth, propagation.

緒 言

人口過密化로 인한 都市下水나 산업발달로 인한 工場排水 등의 급증으로 河川의 汚染度가 크게 높아지고 있다. 따라서 1977년 環境保全法을 제정하여 水質汚染源인 공장 및 사업장과 축산 시설 중 일정규모 이상의 것을 廢水排業所로 규정하고 이를 관리하고 있는데 1983년말 현재 이같은 배출업소는 전국에 5,924개에 이르는 것으로 나타났다.¹⁾

오염된 물을 농업용수로 사용하게 되면 농작물이 오염되며, 물속에 많은 량의 有機物이나 窒素, 磷酸

등의 營養鹽類가 함유되어 수중생물이 과다번식하여 물속의 산소가 부족하게 되므로 漁類의 棲息을 저해하고 또 수질이 有毒物質로 오염될 경우 이것이 순차로 먹이사슬을 거쳐 生物濃縮되면서 피해를 높이게 된다.

우리나라 주요 하천의 汚染度를 보면 流域內의 公단폐수와 隣接都市의 生活下水 및 農·畜産廢水의 流入으로 특정지역이기는 하지만 4대강 유역의 여러곳에서 工業用水 또는 農業用水 水質에도 못미치는 심각한 오염정도를 나타내고 있어 都市下水와 公營단지의 産業廢水에 대한 적절한 처리방안 수립이 시급하다고 본다. 또한 經濟成長과 生活水準向上에 따라

* 忠南大學校 農科大學 園藝學科, ** 忠南大學校 農科大學 農化學科.

* Dept. of Horticulture, ** Dept. of Agricultural Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 300-31, Korea.

1) 本 研究는 1984年度 産學協同財團의 學術研究費 支援에 의하여 遂行되었음.

용수 수요량이 계속 증가되어 河川水의 効率的 利用이 絶對히 要求되기 때문에 廢水의 淨化問題는 그 비중이 점점 높아지고 있는 실정이다.

일반적으로 汚染源 除去方法으로는 스크리닝, 沈砂池, 凝集處理, 浮上分離, 吸着, 中和, 酸化 - 還元, 黃化法 및 이온交換法 등의 物理-化學的 處理方法과 活性汚泥法과 撒水濾床法 등의 生物學的 處理施設 등이 알려져 있다.

한편 번식력이 강한 水生雜草를 利用한 廢水의 淨化 방안이 활발히 연구되어 Sutton과 Ornes¹⁰⁾는 좁개구리밭(*Lemna gibba*)을 利用하여 都市下水로부터 營養鹽類 除去를 실험하였고, Awad 등¹¹⁾은 *Salvina molesta*를 利用하여 汚染된 물로부터 營養物質을 除去하였다.

供試材料로 사용된 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)은 熱帶 아메리카 原産의 多年生草⁸⁾로서 잔뿌리와 잎이 많이 달리며 영양번식력이 旺盛한²⁾ 특징을 가지고 있다. 이 부레옥잠을 利用한 研究로는 Yount와 Crossman¹³⁾이 營養物質 흡수량이 큼을 발표하였고, 酒井⁹⁾는 畜産廢水에 적용하여 좋은 結果를 얻었으며, Wooten과 Dodd¹²⁾도 하수처리를 통해 영양원과 염소제거 능력이 있음을 보고하였다. 또한 부레옥잠을 이용한 폐수처리 효율을 높이기 위하여 生長最適條件에 관한 검토도 많이 이루어졌는데, Ito等¹¹⁾은 최적 pH에 대해, 富久^{3,4,5,6)}은 生態의 特性, 低温障礙, 種子發芽와 生育 등 全般的인 사항에 관해 보고한 바 있다.

따라서 본 실험은 未利用 植物인 열대성 수생잡초 부레옥잠을 이용하여 工場廢水 및 生活下水의 처리 가능성을 알아 보코자 실시하였으며, 性質이 서로 다른 몇 종의 現場廢水에 대한 實證試驗과 부레옥잠의 生長에 미치는 요인에 대해 실험을 실시하여 얻어진 결과를 보고하고자 한다.

材料 및 方法

材 料

부레옥잠(*Eichhornia crassipes*): 市販中인 36 ± 4g 크기의 것을 구입하여 사용하였고, 또 실험실 조건에서 계속 번식시키면서 같은 크기의 것을 供試材料로 하였다.

試 藥

α-Naphthylamine, Potassium permanganate는

Shinyo製 특급시약을, Manganous sulfate는 Wako製 특급시약을, Sodium azide는 Merk製 특급을 사용하였다.

使用機器

진탕기는 동양과학의 D 342型, Spectrophotometer는 Cecil製 CE-292型 UV/vis Double Beam Spectrophotometer, Beckman製 915 A型 Total Organic Carbon Analyzer, Vindon製 Illuminated Low Temperature Incubator와 大起理化工業社의 DIK-Z型 Soil Temperature Gradient Apparatus 등을 사용하였다.

分析方法

뿌리활성은 재배식물분석 측정법에 준하여 α-Naphthylamine법으로 실험하였고, 수질분석은 환경청의 환경오염공정시험법⁷⁾에 준하여, BOD는 20°C 항온기에서 5일간 저장하는 동안 물중의 好氣性 微生物에 의해 소비된 溶存酸素量을 정량하는 Winkler법을 이용하였고, COD는 시료를 일정량의 과망간산 칼륨과 끓는 수욕 중에서 30분간 가열반응 시킨 뒤 소모된 과망간산 칼륨량을 적정하는 100°C 황산 산성하에서 KMnO₄ 측정법을 사용하였다.

實驗方法

실험 1. 現場廢水에 대한 實證實驗

폐수를 排出하는 3個所의 現場을 選定한 후 原水와 處理水を 구분하여 시료를 採取하였으며, 處理時間에 따른 廢水淨化能을 BOD와 COD의 變化로 測定하였다.

실험 2. 부레옥잠의 生長生理에 미치는 要因實驗

본 실험에서는 pH(3~9範圍)와 鹽分濃度の 差異(0.01, 0.1 및 0.5%)에 따른 生體重과 뿌리 活性의 變化를 檢討하였으며, 水溫의 變化(13, 17, 21, 24, 27 및 30°C)와 차광(0, 14.5 및 29.0%)에 따른 부레옥잠의 生長과 포장조건에서 부레옥잠의 個體增殖을 調査하였다.

結果 및 考察

부레옥잠을 이용하여 汚染物質을 제거할 수 있는지를 알아보기 위한 예비실험을 실시하였는데, 初期濃度로 BOD가 105ppm, COD가 152ppm인 폐수를 처리 3일 후에 각각 52ppm과 56ppm으로 낮아짐

Table 1. General characteristics of the wastewater samples(ppm).

Source of wastewater	pH	BOD	COD	SS	NO ₃ -N	PO ₄ -P	TOC	Heavy metals			
								Cu	Cr	Cd	Pb
A. Original water	6.1	333	300	110	1.0	-	651	0.06	-	0.13	0.85
Final treatment water	7.1	15	16.0	40	3.9	0.6	17.3	0.01	-	0.10	0.56
B. Original water	7.9	12370	5400	88000	2.5	240	53000	0.09	-	0.09	0.65
Final treatment water	7.4	48	98	300	1.2	0.2	52.8	0.03	-	0.10	-
C. Original water	11.1	2570	1580	2800	90.0	0.2	3445	0.20	5.99	0.09	0.85
Final treatment water	7.2	52	88	30	6.5	0.5	72.6	0.10	-	0.15	0.71

A: Food processing company
 B: Municipal sanitation authority
 C: Leather manufacturing company

SS: Sustained solids
 TOC: Total organic carbon

을 확인하였으며, 동시에 이 植物을 이용한 폐수 처리의 가능성을 인정할 수 있었다.

3 個所의 現場에서 廢水原水와 處理水를 채취하여 실증실험을 실시하였는데, 이들 試料水의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

Fig. 1은 廢水A의 原水와 處理水에 부레옥잠을 處

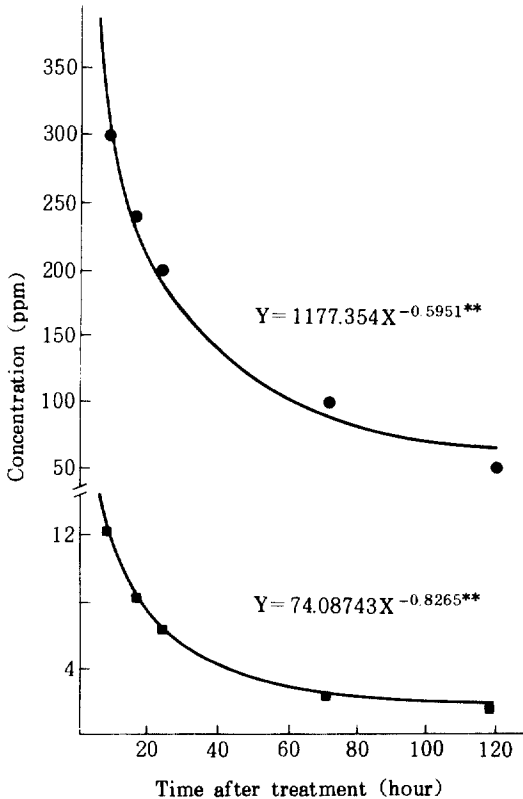


Fig. 1. Effect of water hyacinth on purification of wastewater A.

● : Original wastewater
 ■ : Final treatment water

理한 結果로서 原水의 COD는 300ppm의 初期濃度에서 처리 3일 후에는 100ppm으로, 또 5일 후에는 60ppm으로 낮아졌으며 處理水의 경우 COD 16ppm에서 3일 후에는 2ppm 水準으로 減少되었다. 이 結果는 原水의 경우 초기 3일간의 COD 除去効率が 3.86mg/g/day 이고, 3~5일 사이에서는 1.16mg/g/day 이었으며 또한 處理水는 초기 3일간 除去率이 0.268 mg/g/day 이었다.

廢水 B는 原水의 有機物 濃도가 너무 높았으므로 5 배, 10 배, 그리고 20 배 稀釋하여 實驗하였다. 5 배 稀釋液에서는 실험도중 高濃度の 有機物에 의해 공시재료가 壞死하였으나, 10 배 稀釋液에서는 COD가 540ppm에서 3日後에 460ppm으로, 또 實驗 10日後에는 240ppm으로 낮아졌으며, 20 배 稀釋液에

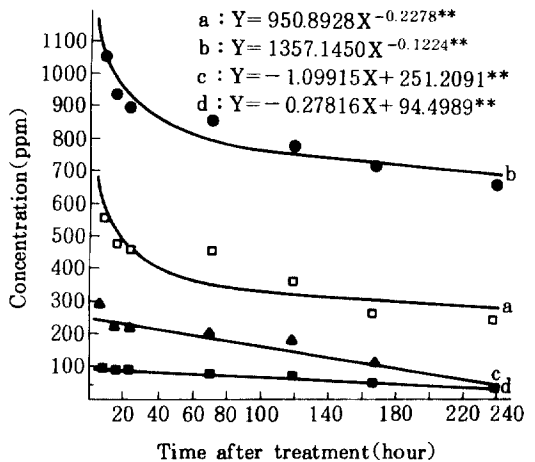


Fig. 2. Effect of water hyacinth on purification of wastewater B.

● : Diluted wastewater(5X)
 ▲ : Diluted wastewater(20X)
 □ : Diluted wastewater(10X)
 ■ : Final treatment water

서는 初期濃度 290ppm의 COD가 3日後에는 200ppm으로 7日後에는 40ppm으로 낮아졌다(Fig. 2).

10배 稀釋液의 初期 3日間の COD 除去効率は 1.58mg/g/day였으며, 20배 稀釋液에서는 1.79mg/g/day로 대체로 비슷한 水準이었다.

廢水 C에 대한 COD除去効率は Fig. 3과 같다. 原水는 高濃度의 重金屬을 含有한 强알카리성 廢水로 7일후에 부레옥잠이 壞死하였으나 COD는 1,580ppm에서 840ppm으로 낮아졌으며, 處理水의 경우는 88ppm에서 3일후 74ppm, 그리고 10일 후에는 34ppm으로 낮아졌다. 이 結果는 原水의 경우 7일간에 平均 6.56mg/g/day의 速度로, 處理水의 경우 初期 3일간은 0.47mg/g/day, 또 3일부터 10일 사이에는 平均 0.34mg/g/day의 水準으로 COD를 除去하는 것으로 나타났다.

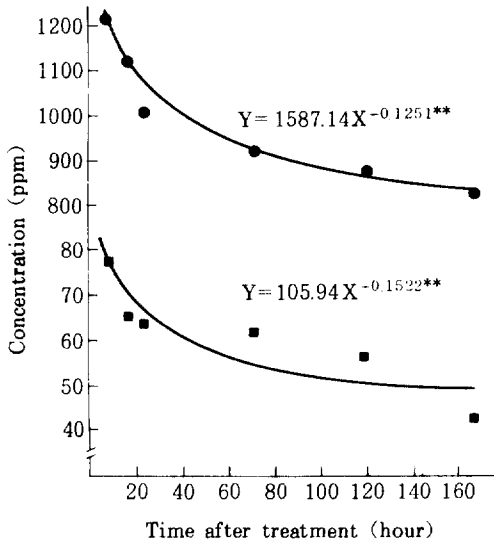


Fig. 3. Effect of water hyacinth on purification of wastewater C.

● : Original wastewater
 ■ : Final treatment water

以上的 結果로 미루어 볼 때 부레옥잠의 有機物 除去効率は 대상 有機物의 種類에 따라 다르지만 대체적으로 高濃度에서는 低濃度보다 平均 處理効률이 높은 것으로 나타났으나 高濃도에서는 生育障擧가 誘發될 可能性이 큰 것으로 보인다. 또 有機物 除去効率は 부레옥잠의 處理初期가 비교적 높은 것으로 나타났으며, 時間의 經過에 따라 그 効率は 계속 낮아지는 것으로 判斷된다.

Fig. 4는 pH를 달리했을 때 부레옥잠의 生體重의

變化를 나타낸 것으로 實驗은 pH 3~9의 範圍에서 pH 1單位로 다른 營養源의 供給없이 遂行하였다. 그림에서 볼 때 pH 6에서는 經時的으로 生體重의 큰 變化가 없었으나 pH 3과 pH 9의 산성 및 알카리성 條件에서는 生體重이 減少되었고 특히 산성보다는 알카리성에서 그 程度가 더욱 컸다.

이와 병행하여 遂行된 각 處理에서의 부레옥잠 뿌리活性 變化를 보면 중성과 산성에서는 일정 水準을 維持한 반면, 알카리성에서는 急激한 活性低下가 나타났다.

이들 結果로 볼 때 부레옥잠은 약산성~중성의 範圍(pH 5~7)에서는 生育에 큰 支障이 없는 것으로 볼 수 있으며, 이는 Ito¹¹⁾의 부레옥잠의 最適 pH는 7이라는 報告와 類似한 結果이다.

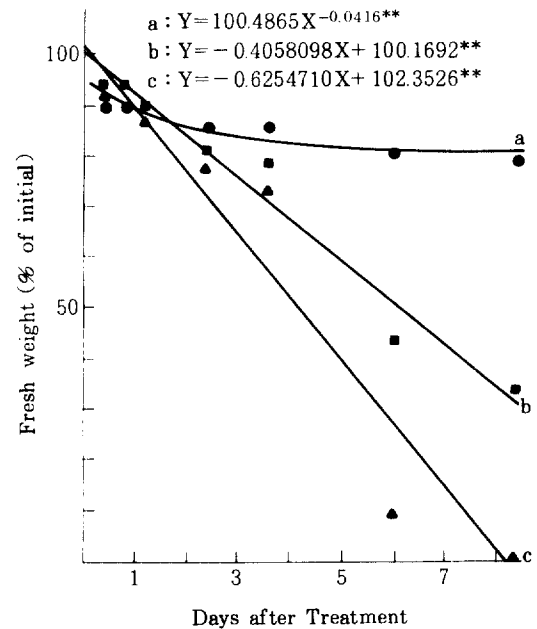


Fig. 4. Effect of pH on growth of water hyacinth.

● : pH 6 ▲ : pH 9 ■ : pH 3

NaCl濃度에 따른 부레옥잠의 相對的 뿌리活性 變化를 經時的으로 實驗하였으며, 이 實驗 역시 다른 營養源을 供給하지 않은 狀態에서 遂行되었다. 0.01%의 濃度에서는 24시간 후까지 큰 變化가 없었으나 0.1%와 0.5%處理는 뿌리活性이 急激히 낮아졌고, 0.5%濃度에서는 36시간후에 完全히 活性을 잃었다(Fig. 5). 生育狀況의 觀察을 통해본다해도 0.5% 處理區는 부레옥잠의 壞死現狀이 뚜렷하게 나타났다.

이 結果로 볼 때 부레옥잠을 一般下水處理에 適用

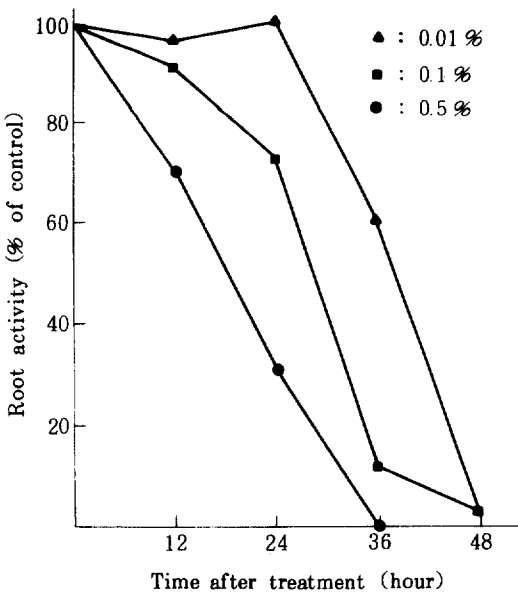


Fig. 5. Effect of NaCl concentration on root activity of water hyacinth.

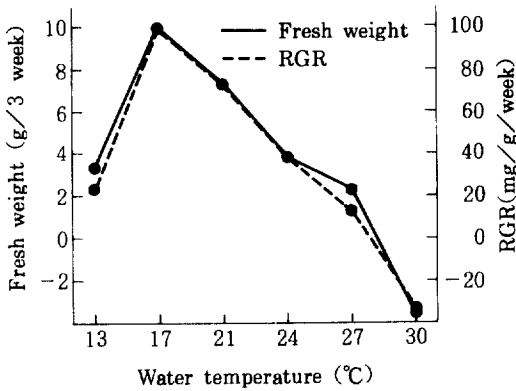


Fig. 6. Effect of water temperature on growth of water hyacinth.

하는데 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

온도구배장치를 이용하여 수온에 따른 부레옥잠의 생장효과를 室内에서 調査한 結果는 Fig. 6에서 보듯이 생체중과 比較生長率 모두 17~21°C에서 높았으며, 수온이 높아짐에 따라 생장이 抑制되어 30°C에서는 顯著히 抑制되었다. 이는 부레옥잠이 高温에서 뿌리活力이 떨어지고, 呼吸作用이 旺盛하여 순광합성량이 低下되어 생장이 抑制된 것으로 생각된다.

Fig. 7은 遮光이 부레옥잠 생장에 미치는 影響을 經時的으로 調査하여 比較生長率로 나타낸 것으로

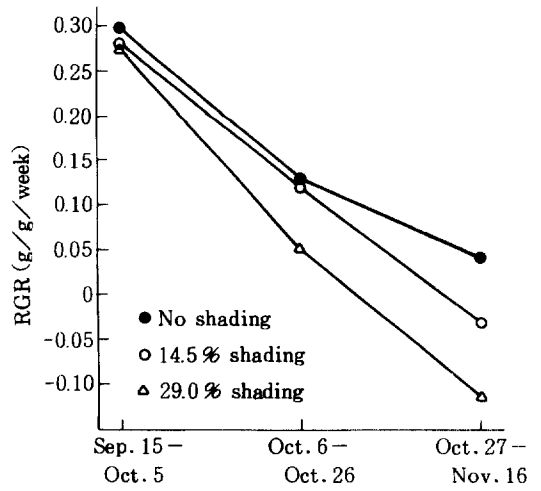


Fig. 7. Seasonal growth of water hyacinth under different shading conditions (Relative growth rate)

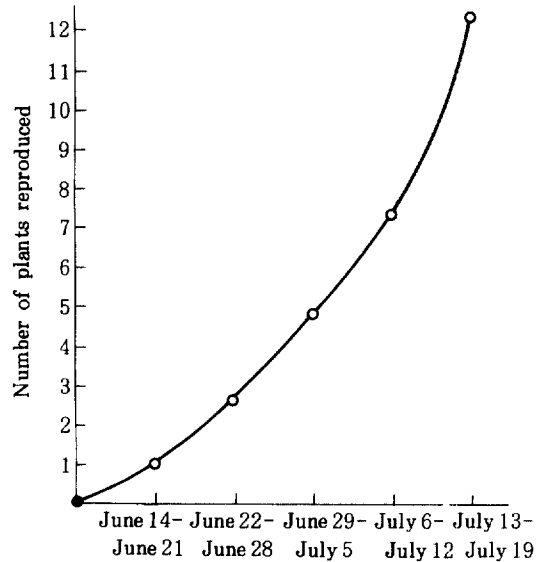


Fig. 8. Propagation of water hyacinth in pond water.

平均氣溫이 처음 3주간은 17.7°C, 다음 3주간은 13.0°C 그리고 마지막 3주간은 9.1°C였다. 結果는 遮光을 하지 않은 條件에서 생장이 가장 旺盛하였고, 차광이 됨에 따라 생장이 抑制되었으며, 그러한 경향은 氣溫이 낮아질 수록 더욱 심하였다. 따라서 遮光이 되거나 氣溫이 急激히 낮아지면 부레옥잠의 생장이 불량하므로 汚染源除去를 위하여 부레옥잠을 栽

배하려면 低溫期에 비닐피복 등의 措施가 必要할 것으로 생각된다.

圃場條件에서 부레옥잠의 個體增殖을 6월 14일부터 7월 19일까지 5주간에 걸쳐 調査한 結果인 Fig. 8은 母體에서 分離된 直後の 個體를 調査對象으로 하였으며, 每1週 간격으로 增殖된 개체수의 變化를 나타내주고 있다. 週間平均氣溫은 18.6~25.8 °C, 平均生長速度는 53.6g/week 그리고 比較生長率은 0.302g/g/week였다. 本實驗에서는 5주동안 平均 12.3개체로 增殖되었는데 이 結果는 高溫期의 5個月間 1個體가 1,000개체 以上으로 繁殖될 수 있다는 富久²⁾의 報告와 같은 傾向이라고 본다.

摘 要

未利用 植物인 부레옥잠의 都市下水나 工場排水의 淨化 可能性을 檢討하기 위하여 現場廢水에 대한 實驗實驗과 生長에 미치는 要因을 究明하고자 室內實驗을 통해 나타난 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 性質이 서로 다른 現場廢水에 적용한 결과에서 볼 때 부레옥잠의 有機物除去는 대상 유기물의 種類에 따라 效率의 차이는 있으나 대체로 高濃度에서 平均處理效率이 높으며, 初期의 除去率이 보다 높은 것으로 나타났다.

2. 부레옥잠의 生長에 대한 最適pH는 중성~약산성이었으며, pH에 따른 피해는 산성보다 알칼리성에서 더욱 컸다.

3. NaCl濃도가 0.5%인 경우는 36시간 후 부리 활성을 完全히 잃었으나, 0.01%에 있어서는 24시간 후까지는 큰 變化가 없었다.

4. 水溫에 따른 공시재료의 生長效果는 17~21 °C에서 높았으며, 水溫이 높아짐에 따라 生長이 抑制되어 30 °C의 경우는 현저히 減少되었다.

5. 遮光이 됨에 따라 부레옥잠 生長은 抑制되었으며, 그 경향은 氣溫이 낮아질 수록 심하였다.

6. 圃場條件에서 부레옥잠의 個體增殖을 6월 14일부터 7월 19일까지 5주 동안 調査한 結果, 1개체에서 12.3개체로 增殖되었으며 平均 生長 速度는

53.6g/week, 比較生長率은 0.302g/g/week였다.

引 用 文 獻

1. Awad, A. S., P. J. Milham and J. Toth. 1979. Stripping of nutrients from polluted water by *Salvinia molesta*. Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf. 241-243.
2. 富久保男. 1975. ホテイアオイの 生態觀察. 雜草研究 19: 41-45.
3. 富久保男. 1976. ホテイアオイの 生態學的 研究. 雜草研究 21: 64-67.
4. 富久保男・大森正. 1975. ホテイアオイ의 生態, 種子의 發芽. 日本雜草防除研究會講演要旨 14: 184-186.
5. 富久保男・大森正. 1975. 호テイ아오이의 生態, 種子의 發芽後의 生育. 日本雜草防除研究會講演要旨 14: 181-183.
6. 富久保男・小林正志. 1981. 호テイ아오이의 生態學的 研究. 雜草研究 26: 111-117.
7. 金鍾澤. 1982. 環境汚染公定試驗法解説 (水質分野). 新光出版社. pp.32-55.
8. 李昌福. 1980. 대한식물도감. 鄉文社. p.189.
9. 酒井英市. 1973. 호テイ아오이による豚ふん尿水의 淨化處理. 畜産의 研究 27(4): 533-538.
10. Sutton, D. L. and W. H. Ornes. 1975. Phosphorous removal from satic sewage effluent using duckweed. J. Environ. Qual. 4(3): 367-370.
11. 植木邦和・沖陽子. 1975. 水生雜草 호이아오이에 關する 研究. 日本雜草防除研究會講演要旨 14: 184-186.
12. Wooten, J. W. and J. D. Dodd. 1976. Growth of water hyacinths in treated sewage effluent. Economic Botany 30(1): 29-37.
13. Yount, J. L. and R. A. Crossan. 1970. Eutrophication control by plant harvesting. Journal of WPCF 42(5): 173-183.
14. 環境廳. 1984. 環境保全. p.291-310.