

부레옥잠(水草)을 이용한 灌溉水中 有害重金屬 除去研究

蘇奎鎬 · 金福榮

Studies on Removal of Heavy Metals in Irrigation Water by Water Hyacinth

Kyu-ho So, Bok-Young Kim

Abstract

Removal of heavy metals by water hyacinth, *Eichhornia crassipes* Solms-Laub, was examined with two heavy metals Cd, Cu under laboratory conditions.

Cd in culture solution was reduced to 0.116, 0.873, 2.015, 3.755 and 4.747 mg/L from 1, 2, 3, 4 and 5 mg/L for 24 hrs, after cultivating of water hyacinth respectively. And, Cu was reduced to 0.086, 0.600, 2.174, 3.473, and 4.365 mg/L from 1, 2, 3, 4, and 5 mg/L for 24 hrs, after the cultivation, respectively.

Cu was removed faster than Cd and airtight cultivation was effected higher than fixing cultivation. Removal effect of heavy metals by water hyacinth was higher in low a heavy metal concentration than in high concentration.

緒 論

南美 부라질이 原産인 부레옥잠(*Eichhornia Crassipes* Solms-Laub)은 熱帶地方에서는 湖沼나 河川의 水路를 閉鎖하며, 有用植物의 生育을 阻害하는 雜草로 알려져 있으나¹⁾, 窒素, 磷酸의 吸收가 旺盛하여 최근 水域의 富營養化를 防止하는데 利用하고^{2,3,4)} 畜産廢水 및 生活汚水를 淨化하는데 利用하고자 하는 研究가 行하여 지고 있고⁵⁻¹¹⁾, 희수한 부레옥잠은 家畜의 飼料내지는 有機質肥料로 活用하는 試驗이 行하여지고 있다^{12,13)}.

한편 鑛山이나 製鍊所, 鍍金工場의 廢水中에 汚染源이 되는 각종 重金屬이 水質汚染源으로 주목을 받고 있으며 이들이 混合된 灌溉用水를 사용할 경우 農作物 汚染이 豫想되어 부레옥잠을 利用한 生物學的 重金屬 除去方法에 관심이 모아지고 있다^{14,15)}.

筆者들은 1990년 重金屬인 Cd, Cu를 處理한 灌溉用水에 부레옥잠을 栽培하여 重金屬 除去效果를 實驗한결과 몇가지 試驗的 效果를 얻었기에 그 結果를 報告하는 바이다.

* 農村振興廳 農業技術研究所 Agricultural Science Institute, RDA, Suwon, Korea.

材料 및 方法

부레옥잠(*Fichhornia Crassipes* Solms-Laub)을 栽培農家로부터 購入하여 비닐하우스내에서 增殖適應시킨후 生育條件에 따른 試驗誤차를 줄이기 위하여 株當 50±5g의 均一한 것을 選擇供試하였다.

부레옥잠 栽培 pot(5L, 30L)에 카드뮴(Cd) (NO₃)₂ · 4H₂O)과 구리(Cu(NO₃)₂ · 3H₂O)를 濃度別로 各各 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0mg/L로 處

理한 灌溉用水를 넣고 부레옥잠을 浮遊시키면서 Cd 및 Cu除去效果를 輕視적으로 確認하였다. 이때 사용한 灌溉用水는 地下水區, 畜産廢水添加區, 人工培養液區등으로 하였으며 그 組成은 表1과 같고 本 試驗期間中('90.5.28-7.15) 溫室內 溫度는 17.5-35.6°C로 平均 26.6°C이었다.

Cd 및 Cu 分析은 原子吸光 光度法으로 分析하였다(표 1).

Table. 1. Components of various culture solution

Unit : mg/L

Classification	pH	NH ₄ -N	NO ₃ -N	K	PO ₄	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄
Ground water	6.5	-	6.0	1.2	0.04	14.7	2.4	9.7	18.4	15.9
Nutrient Solution*	6.8	-	210	40.6	34.9	13.5	9.9	77.9	47.7	39.0
Pig-waste water	7.6	50	-	14.0	8.88	9.0	3.8	1.6	24.4	-

* : Nutrient Solution : NaNO₃ · CaCl₂ · 6H₂O, KH₂PO₄, MgSO₄ · 7HO, and KCl

結果 및 考察

1. 부레옥잠에의 한 관개수중 Cd 除去效果

카드뮴을 灌溉用水에 濃度別로 1-5mg/L까지 處理한 후 부레옥잠을 浮遊시켜 24時間 間隔으로 4일 까지 灌溉用水중 Cd殘存量을 調査한 結果는 그림 1과 같이 1mg/L 處理時는 하루만에 88.4%의 Cd가 부레옥잠에 吸收除去되어 0.116mg/L이 pot에 殘存하였고, 2mg/L 處理時는 하루만에 56.4%, 3

mg/L 처리시는 32.8%가 吸收除去되어 Cd 處理濃度가 增加함에 따라 除去效率는 減少하였으며 4 ppm이상에서는 가드뮴에 의한 被害症狀이 發生하였고, Cd吸收率도 愈激히 低下되었다. 따라서 3 ppm까지는 Cd吸收除去效果를 認定할 수 있었으며 이는 10ppm濃度로 處理實驗한 達山和紀등의 報告^{14,15)}와는 實驗條件, 生育狀態 등에 의한 차이를 고려하고도 부레옥잠 生育限界濃度에 다소차이를 보였었다(그림 1).

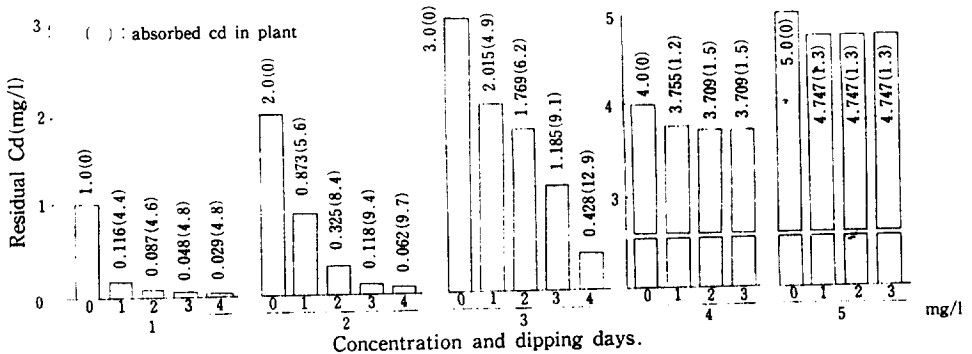


Fig. 1. Changes in Residual Cd concentration in solution after cultivation water hyacinth

2. 부레옥잠에의 한 관개수중 Cu除去效果

그림 2는 구리를 灌溉用水에 1-5mg/L까지 處理하여 부레옥잠을 浮遊시킨후 24時間間隔으로 4일까지, 灌溉水中 Cu殘存量과 부레옥잠에 의한 Cu吸收량을 나타낸 것으로서 부유후 24시간만에 1ppm處理時 91.4%의 Cu가 부레옥잠에 의해 吸收除去되

어 0.086mg/L이 殘存하였고, 2gm/L처리시는 70% 吸收除去로 0.6mg/L, 3mg/L處理時는 27.5% 除去로 2.174mg/l, 4mg/L處理時는 13.2% 제거로 3.477 ppm, 그리고 5mg/L 處理時는 12.7% 제거로 4.365 ppm이 잔존하였다. 구리의 處理濃度가 增加함에 따라 Cu除去率은 Cd에서와 마찬가지로 점차 減少하였으나, Cd에서 보다 吸收除去效果는 더 컸다(그림 2).

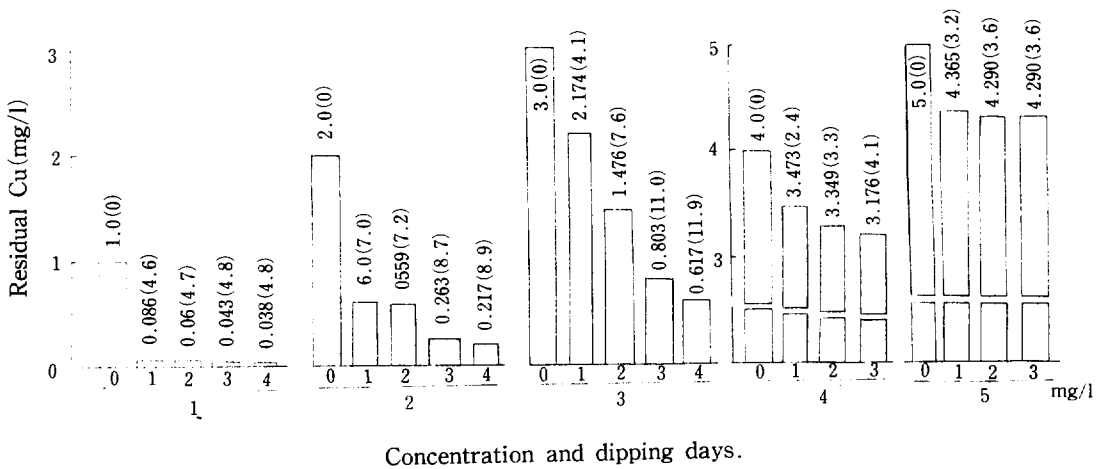


Fig. 2. Changes in Residual Cu concentration in solution after cultivation water hyacinth

5mg/L이상의 濃度에서는 Cu에 의한 被害症狀이 發生하였고, Cu吸收率도 같이 低下되었다. 4mg/L 處理濃度까지 그 제거效果는 認定할 수 있었으며, 環境保全法상 廢水 排出許容基準이 Cd 0.1mg/L, Cu 3mg/L인것을 고려할 때 부레옥잠에 必要한 營養分등 2차적인 問題點을 만족시켜주면 부레옥잠에 의한 重金屬 제거 效果를 灌溉水中 重金屬淨化에 活用할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 부레옥잠 再 利用과 輕時的 重金屬 吸收 제거 效果

그림 3은 카드뮴을 灌溉用水에 0.5, 1.0ppm 處理하고 靜置區와 曝氣區로 하여 각각 부레옥잠을 浮遊시켜 카드뮴 殘存量을 5분 간격으로 30분간 輕

時的으로 確認하고 1차 사용한 부레옥잠을 새로운 카드뮴 溶液에 다시 浮遊시키는 방법으로 4차에 걸쳐 그 效率를 確認한 結果이다(그림 3).

Cd 0.5mg/L 처리시 부레옥잠 1차 浮遊로 5분만에 靜置區에서는 14.8%, 曝氣區의 경우는 18%의 카드뮴을 吸收하였으며, 30분후에는 靜置區의 경우 33.8%, 曝氣區의 경우 38.8%의 카드뮴을 吸收除去하였다.

이어서 부레옥잠을 2차 投入으로 30분후 靜置區의 경우 15.2%, 曝氣區의 경우 18.4%, 3차 投入으로 靜置區의 경우 15.2%, 曝氣區의 경우 14.4%, 4차 投入으로 靜置區 3.2%, 曝氣區 4.0%로 나타나 부레옥잠의 再 利用回收가 增加함에 따라서 Cd吸收 除去 效果는 漸次 減少하였고, 灌溉用水를 曝氣시켜줄 경우 초기에 다소 效果가 인정되었는데

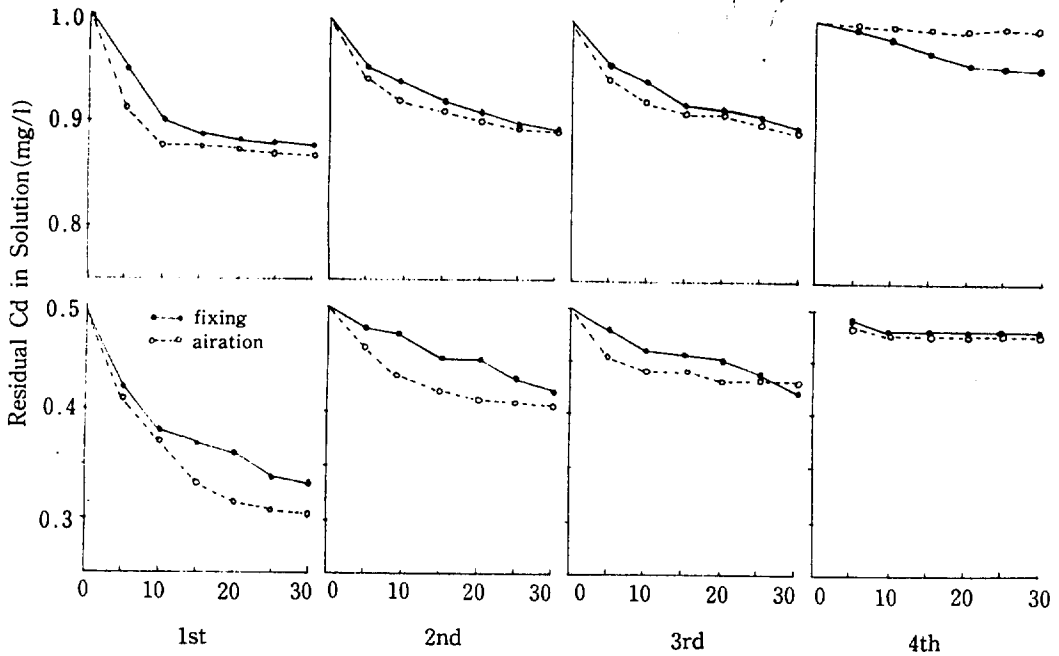


Fig. 3. Effect of sequential floating of water hyacinth on the removal of residual Cd in solution.

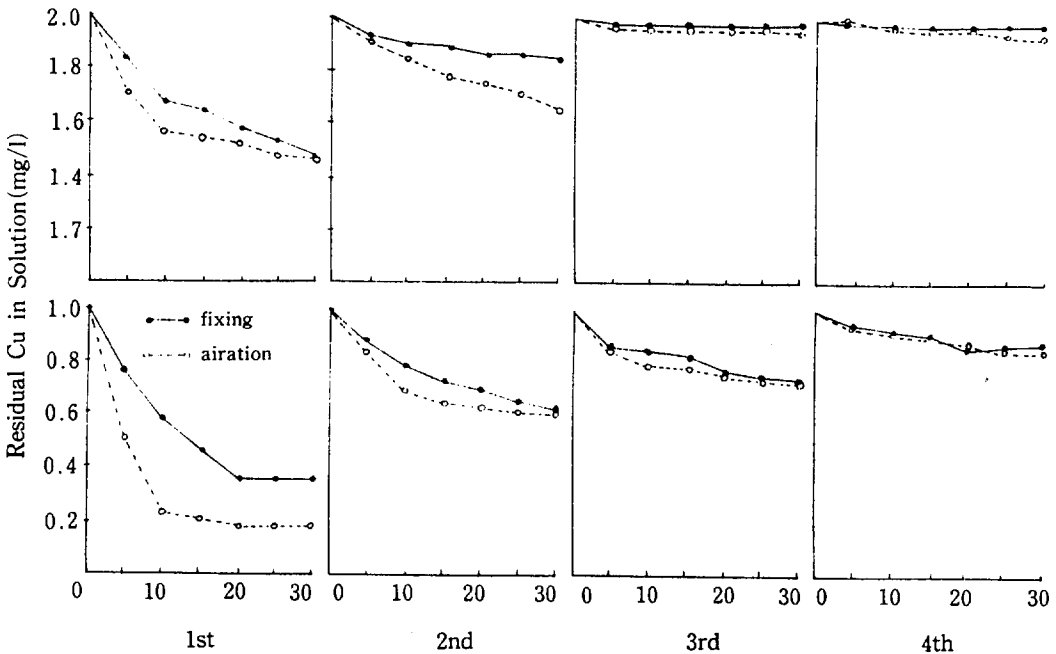


Fig. 4. Effect of sequential floating of water hyacinth on the removal of residual Cu in solution.

이는 爆氣로 인하여 부레옥잠뿌리와 카드뮴 接觸이 많았기 때문에 생각된다.

Cd 1.0mg/L 處理의 경우도 0.5mg/L의 경우와 같은 경향이나 0.5ppm 處理시 보다도 그 效率이 全體的으로 낮았으며 역시 處理 濃도가 낮을 수록 重金屬에 대한 부레옥잠의 吸收效果가 優秀함을 알 수 있었다.

그림 4는 구리를 灌溉用水에 1.0, 2.0mg/L 處理하고 靜置區와 爆氣區로 구분하여 각각 부레옥잠을 浮遊시켜 Cu 殘存量을 5분간격으로 輕時的으로 確認하고 1차 利用한 부레옥잠을 계속 4차에 걸쳐 Cu水溶液에 再 投入 浮遊시킴으로서 灌溉水中 Cu 殘存量을 確認한 結果이다(그림 4).

Cu 1.0mg/L 處理時 부레옥잠 1차 投入으로 5분만에 靜置區의 경우 24%, 爆氣區의 경우 52%의 Cu를 흡수하였으며 30분후에는 靜置區 69.5%, 爆記區 80.5%를 吸收除去하였다. 이어 부레옥잠의 2차 投入으로 30분후에 靜置區 37.5%, 爆氣區 38.4%, 3차 投入으로 靜置區 26.2%, 爆氣區 28.3%, 4차 投入으로 靜置區 12.6% 爆氣區 13.4%를 吸收除去하여 부레옥잠의 再 利用 回收가 增加함에 따라 Cu 吸收除去效果는 Cd에서와 마찬가지로 漸次 減少하였고, 爆氣시킬 경우에도 초기 吸收가 좋았으나 시간이 經過함에 따라 靜置한 경우와 큰 차이가 없었다.

Cu 2.0mg/L 處理의 경우도 1.0mg/L의 경우와 같은 경향이나 그 效率은 全體的으로 다소 낮아서 處理 濃도가 낮을 수록 부레옥잠의 cu 吸收能이 優秀함을 알 수 있었다.

4. 畜産廢水가 混入된 重金屬溶液에서의 부레옥잠의 重金屬除去效果

한편 부레옥잠은 多肥性植物로 窒素, 磷酸을 多量吸收하여 畜産廢水淨化에 利用코자하는 研究가²⁻¹⁰⁾ 이미 많은 進歩를 보여 鑛山, 工場 등에서 發生된 重金屬廢水와 畜産廢水を 並行淨化시키도록 할 경우 부레옥잠의 生育에 必要한 營養分 問題까지를 동시에 解決할 수 있을 것으로 생각된다.

표 2는 重金屬 廢水와 産業廢水가 混入된 廢水中에서 부레옥잠을 營養的으로 缺乏되지 않게 하여 重金屬과 함께 窒素, 磷酸을 같이 除去시킬 目的으로 試驗 해본 結果이다. Cd 1.0mg/L, Cu 5mg/L을 蒸溜水, 표 1의 營養液, 畜産廢水에 造製하여 부레옥잠을 浮遊시켜 栽培한 결과 蒸溜水에 處理한 구에서는 Cd, Cu 모두 부레옥잠의 生育이 어려워 重金屬 除去效果를 볼 수 없었을 뿐만아니라 Cd, Cu 모두 부레옥잠의 生育이 어려워 重金屬 除去效果를 볼 수 없었다. Cu에서는 오히려 Cu의 농도가 증가되었는데 이는 시일이 경과함에 따라 용액이 증발되었기 때문에 생각되며 營養液에 處理한 구에서는 時日이 經過함에 따라 9일까지 持續的인 重金屬 除去效果를 얻었다.

한편 畜産廢水에 處理한 구에서는 浮遊초부터 Cd, Cu 모두 큰 除去效果를 보였는데 초기의 除去效果에 비하여 후기의 持續的인 除去效果는 뚜렷하지 않았으며, 이는 重金屬除去에 부레옥잠이외의

Table. 2. Residual concentration of Cd and Cu in various culture solution after cultivation of water hyacinth. Unit : mg/L

Heavy metal Treatment	Culture	Dipping time (days)			
		0	3	6	9
Cd 1.0ppm	Distilled water	1.05	0.95	0.90	1.05
	Nutrient solution	1.05	0.95	0.90	0.64
	Pig waste water	0.59	0.33	0.32	0.29
Cu 5.0ppm	Distilled water	4.59	4.60	4.65	5.05
	Nutrient solution	5.3	5.03	5.18	5.01
	Pig waste water	2.68	2.23	2.22	2.19

影響이 있는 것으로 判斷되어 重金屬을 添加한 畜產廢水에 부레옥잠을 浮遊시킨 區와 함께 대조로 부레옥잠을 浮遊시키지 않고 重金屬 殘存量을 調査 結果 부레옥잠이 없이도 Cd, Cu 모두 殘存量이 적어지고 水溶性 Cd, Cu가 적어졌는데 그 結果는 표 3과 같이 24시간후에 調査한 成績은 부레옥잠을 넣지 않은 區가 總量은 오히려 더적게 殘存되고 48시

간후에 調査한 成績은 모든 區에서 부레옥잠을 넣은 區에서 殘存量이 더적었다. 이는 處理한 Cd, Cu가 畜產廢水中에 混在해 있는 각종 有期成分들과 킬레이트 등에 의한 不溶化, 沈澱등이 일어나는 것으로 생각되며 이에 대한 調査研究가 더 이루어져야 할 것으로 判斷된다.

Table. 3. Changes in Residual concentration of Cd and Cu in pig waste water after cultivation of water hyacinth. Unit : mg/L

Treatment			time(hours)		
			0	24	48
Cd 5 ppm	Total	Non cultivation	5.0	4.67	4.58
		Cultivation	5.0	4.79	4.55
	water-soluble	Non cultivation	5.0	4.48	4.40
		Cultivation	5.0	4.48	4.28
Cd 5 ppm	Total	Non cultivation	5.0	4.63	4.33
		Cultivation	5.0	4.91	4.18
	water-soluble	Non cultivation	5.0	4.30	4.30
		Cultivation	5.0	4.05	3.84

要 約

灌漑水中에 有害重金屬인 Cd 및 Cu의 生物學的 除去方法의 一環으로 부레옥잠을 Cd와 Cu를 一定 濃度處理한 pot에 栽培하여 부레옥잠에 의하여 吸收除去되고 남은 량과 부레옥잠 生育 事項을 調査한 結果는 다음과 같다.

1. 부레옥잠에 의한 灌漑水中 카드뮴 吸收除去는 3mg/L까지는 可能하고 2mg/L에서 최대의 吸收效果를 보였으며, 4mg/L이상에서는 被害症狀이 發生되었다.

2. 구리는 4mg/l까지 吸收除去 效果가 있었고 2 mg/l에서 최대의 效果를 보였으며 5mg/l이상에서는 被害症狀이 發生되었다.

3. 부레옥잠의 再 利用 回收가 增加함에 따라 Cd, Cu 吸收除去效果는 靜置 및 曝氣處理 모두에서 減少하였다.

4. 重金屬處理 濃도가 낮을수록 吸收除去가 용이

하였으며 Cd보다는 Cu의 吸收除去 效果가 크게 나타났다.

5. 畜產廢水와 重金屬을 함께 處理한 경우 重金屬 除去效果가 높았다.

引用文獻

1. 富久保男, 1983. 水生植物 ホイアオイの防除と利用 農業および園藝, 58(8) : 74-78.
2. 金奎植, 金福榮, 趙日煥, 禹基大, 朴永大, 1988. 畜產廢水淨화를 위한 부레옥잠(水草) 利用研究. 農試論文集(土壤肥料編). 30(3) : 39-45.
3. Rogers, H.H. and D.e.Davis, 1972, Nutrient Removal by water hyacinth, Weed Sci. 20(5) : 423-428.
4. 酒井英市, 1973, ホテイアオイによる豚ふん尿汚水の淨化處理. 畜産と研究. 27(4) : 533-538.

5. 歌崎秀夫, 19, ホイアオイを用いた水質淨化, 公害と對策, 17(2):16-20.
6. 金奎植 趙日煥, 禹基大, 1988, 부레옥잠에 의한 축산폐수정화 농가실증시험, 농업기술연구소시험연구보고서(화학부편):30-38.
7. 酒井英市, 絲瀨貞義, 武井昌二, 1976, ホイアオイにとる豚尿汚水の淨化處理(1), 畜産の研究. 30(1):57-60.
8. 酒井英市, 絲瀨貞義, 武井昌二, 1976, ホイアオイにとる豚尿汚水の淨化處理(2), 畜産の研究. 30(2):74-76
9. 本村輝正, 立小野主信, 1978, 豚舎廢(汚)水のホイアオイによる淨化, 畜産の研究, 32.(7):64-68.
10. 金福榮, 金奎植, 朴永大, 1988. 畜産廢水の汚染物質除去를 위한水草選拔 利用研究, 한국환경농학회지, 7(2):111-116.
11. 金福榮, 李相奎, 權章軾, 蘇奎鎬, 尹銀鎬, 1991, 부레옥잠에 의한 生活污水의 淨化效果, 한국환경농학회지. 10(1):51-57.
12. _____, _____ 1978, ホイアオイの飼料化, 畜産の研究. 32(10):61-64.
13. 김규식, 조일환, 우기대, 1989. 축산폐수정화용 수초번식 및 활용법 연구 농업기술연구소 시험연구보고서(화학부편):47-54.
14. 達山和紀, 江川宏, 山岸建文, 1977, ホイアオイによる重金屬の吸着について, 雜草研究, 22:151-156.
15. _____, _____, _____, 中村美彌子, 1979, 雜草研究, 24:260-263.