

畜産廢水の 汚染物質除去를 爲한 水草選拔利用研究

金福榮* · 金奎植* · 朴永大**

Studies on the Nutrient removal potential of selected aquatic plants in the pig waste water.

Bok-Young Kim*, Kyu-Sik Kim*, Young-Dae Park**

Summary

The aquatic plants were cultivated in pots containing pig waste water, adjusted to three levels of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration 50, 100 and 200ppm. The aquatic plants were *Eichhornia crassipes solms-laub*, *Monochoria korsakowii* Regel et maack, *Zizania caduciflora*, *Typha orientalis*, *Acorus asiaticus*, *Cyperus exaltatus*, *Colocasia antiquorum* var. Yield, content and amount of nitrogen and phosphorus absorbed by plants, and growth status were investigated. The results obtained are as follows.

1. The content and removal amount of nitrogen and phosphorus by plants were the highest in *Eichhornia crassipes solms-laub*.
2. Yield of dry matter in plants in 100ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ was in the order of *Eichhornia crassipes solms-laub* > *Zizania caduciflora* > *Typha orientalis* > *Monochoria korsakowii* Regel et maack > *Acorus asiaticus*.
3. The removal amount of nitrogen by plants in the 100ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ was in the order of *Eichhornia crassipes solms-laub* > *Zizania caduciflora* > *Monochoria korsakowii* Regel et maack > *Typha orientalis* > *Acorus asiaticus* > *Colocasia antiquorum* var > *Cyperus exaltatus*. Removal amount of phosphorus was in the order of *Eichhornia crassipes solms-laub* > *Monochoria korsakowii* Regel et maack > *Zizania caduciflora* > *Typha orientalis* > *Acorus asiaticus* > *Cyperus exaltatus* > *Colocasia antiquorum* var.
4. Concentration causing growth damage was 200ppm of $\text{NH}_4\text{-N}$ in *Eichhornia crassipes solms-laub*, *Zizania caduciflora* and *Typha orientalis* and 100ppm in *Monochoria korsakowii* Regel et maack and *Acorus asiaticus*.
5. Nitrogen content was the highest in leaf and phosphorus content was the highest in float of the water hyacinth.
6. The number of panicles of the water hyacinth increased by 752 pieces and dry matters were about 5,000kg/10a during one year.

* 農業技術研究所 (Agricultural Sciences Institute, Suweon, Korea)

** 農村振興廳熱帶農業官室 (Tropical Agricultural Division, R. D. A. Korea)

序 論

우리나라에서는 農家所得増大의 일환으로 畜産을 적극 勸奨하게 되었고 畜産의 企業化로 家畜을 大量飼育하는 곳도 全國적으로 100個所以上이 되는것으로 報告되¹⁾고 있으며 畜産은 農家所得에 보탬이 되고 있으나 한편으로는 畜産에서 排出되는 放流廢水의 汚染物質로 農業灌溉水의 汚染度를 甚化시키고 있다²⁾.

이들 廢水가 農耕地에 流入될경우 作物의 生育을 크게 沮害시킬뿐만 아니라 이들 廢水가 河川에까지 流入되므로서 食水源까지도 汚染시킬 우려가 있어 社會적으로 問題視되고 있다.

畜産廢水中에는 有機物含量이 높고 窒素와 磷酸이 過多하게 들어 있으며²⁾ 이들 成分에 依한 水質汚染이 農作物栽培에 크게 問題視되고 있다. 그러나 窒素와 磷酸을 除去할 수 있는 뚜렷한 淨化方法도 없고 다만 農作物의 被害를 輕減시키기 爲한 方法으로 硅灰石, 加理增施 窒素減肥等의 一部報告가³⁾ 있으며 廢水中이들 成分을 除去하기 爲한 方法으로 窒素와 磷酸含量이 비교적 높은 廢水中에서도 生育할 수 있는 水草들을 栽培하여 廢水中이들 成分을 吸收除去^(4,5,6,7,8)시키고 生育된 水草는 飼料 또는 土壤有機物資源으로 活用하는 研究가 最近 先進國에서 活潑히 進行되고 있다.^(9,10,11,12)

따라서 水分이 많은곳에서도 비교적 잘 자라는 부레옥잠, 물옥잠, 줄, 부들, 창포, 토란등의 수초에 의한 畜産廢水의 淨化效果를 究明하기 爲하여 豚舍廢水를 使用하여 이들 水草를 栽培하고 水草의 生産量, 窒素, 磷酸含量 및 除去量등을 調査한 結果를 報告하는 바이다.

材料 및 方法

廢水는 畜産試驗場의 養豚場에서 排出되는 豚舍廢水

를 使用하였으며 그 特性은 表1과 같이 COD, NH₄-N, P₂O₅, K₂O 含量이 높고 供試土壤은 水原 西湖 底泥土를 採取使用하였으며 그 特性은 表2와 같다.

水草는 물 또는 늪地帶에서 生育하는 부레옥잠(혹옥잠), 물옥잠, 줄, 부들, 창포, 왕골, 토란을 使用하였으며 南美 브라질이 原産인 부레옥잠(*Eichhornia crassipes solms-Laub*)은 市内花園에서 構入하였고 其他植物들은 國內에서 野生하는 것을 수집하여 供試植物로 使用하였다. 豚舍廢水의 濃度는 NH₄-N로 50, 100, 200ppm이 되도록 地下水로 희석하여 使用하였다. Pot는 0.42m³(0.66m×0.64×0.32m)되는 四角型pot에 底泥土 50kg과 廢水一定量을 넣고 各植物은 4株씩 移植하여 2反覆으로 栽培하였고 植物栽培로 因하여 減少되는 廢水量은 同一濃度의 廢水를 一週日 마다 灌水 保充하였다.

水質分析은 NH₄-N는 酸化마그네슘法, COD는 重크롬산 法, P₂O₅는 모리부덴산 암모니움法을 使用³⁾하였으며 植物體分析은 窒素는 Kjeldahl法 磷酸은 모리브덴산 암모니움法 加리는 AAspectrophotometer(IL-251)을 使用하여 測定¹⁴⁾하였다.

結果 및 考察

1. 植物體收量

廢水中 NH₄-N 濃度別 各植物들의 地上部乾物生産量은 表3과 같이 各濃度모두에서 부레옥잠이 687.0, 882.5, 861.0g/0.42m³로서 가장 많았고 다음이 줄 이었으며 乾物生産量이 가장 적은 植物은 토란이었다. 廢水中 NH₄-N 濃度別로보면 부레옥잠, 줄, 부들은 100ppm에서 가장 높은 乾物收量을 나타내었고 기타 물옥잠, 창포, 왕골, 토란은 50ppm에서 높은 收量을 나타내었고, 부레옥잠은 NH₄-N 濃度가 250ppm에서도 生育은 可能하나 200

Table 1. Chemical components of the waste water used.

| unit : ppm | | | | | | |
|------------|-------|--------------------|-------------------------------|-------|-----|-----|
| pH | COD | NH ₄ -N | P ₂ O ₅ | K | Ca | Mg |
| 7.2 | 2,620 | 780 | 687 | 1,053 | 548 | 117 |

Table 2. Chemical properties of the soil (sediments) used.

| pH | OM(%) | P ₂ O ₅ (ppm) | T-N(%) | Ex. Cations (me/100g) | | |
|-----|-------|-------------------------------------|--------|-----------------------|------|------|
| | | | | K | Ca | |
| 4.9 | 1.34 | 0.21 | 29.7 | 0.46 | 3.02 | 0.79 |

Table 3. Yield (dry matter) of various plants by the different NH₄-N concentrations in waste water.
unit : g/0.42m²

| plants | Concentration of NH ₄ -N | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|
| | 50 | 100 | 200 |
| Eichhornia crassipes solms-laub. | 687.0 | 882.5 | 861.0 |
| Monochoria Korsakowii Regel et Maack. | 342.1 | 318.8 | 208.9 |
| Zizania caduciflora | 574.5 | 579.7 | 320.1 |
| Typha orientalis | 456.7 | 480.7 | 398.5 |
| Acorus asiaticus | 227.6 | 199.2 | 182.9 |
| Cyperus exaltatus | 197.6 | 184.0 | 121.3 |
| Colocasia antiquorum var. | 154.4 | 117.1 | 95.7 |

ppm이 生育限界라는 報告⁴로 보면 부레옥잠, 줄, 부들은 窒素含量이 100ppm程度로 높은 곳에서도 잘 生育함을 알 수 있으며 기타 植物은 窒素濃도가 낮은 곳에서 잘 生育함을 알 수 있었다.

2. 植物體中 窒素 및 磷酸含量

廢水中 NH₄-N濃도를 50, 100, 200ppm으로 달리하여 부레옥잠등 植物을 栽培한 結果, 植物體中の 窒素와 磷酸의 含量은 表4와같이 窒素는 부레옥잠이 가장 높았고

廢水中窒素濃度 100ppm에서 부레옥잠이나 물옥잠 모두 植物體中 磷酸含量이 가장 높았으며 其他 植物에서도 廢水中 窒素100ppm에서 植物體中 磷酸含量이 높은 것으로 나타났다. 따라서 窒素100ppm에서 生育이 가장 良好하였던 것으로 생각된다.

3. 窒素 磷酸除去量

廢水を 灌水하여 栽培한 植物體에 依하여 除去된 窒素, 磷酸의 含量은 表5와 같이 窒素의 경우 부레옥잠이

Table 4. Contents of nitrogen and phosphorus in pants by the different NH₄-N concentrations in waste water.
unit : %

| plants | concentration of NH ₄ -N (ppm) | | | | | |
|--------------------------------------|---|------|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 50 | 100 | 200 | 50 | 100 | 200 |
| | N | N | N | P ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ |
| Eichhornia crassipes solms-laub. | 2.48 | 3.10 | 3.52 | 1.62 | 2.86 | 2.18 |
| Monochoria korsakowii Regel et maack | 2.23 | 2.38 | 2.66 | 1.61 | 1.99 | 1.64 |
| Zizania caduciflora | 1.87 | 2.38 | 2.56 | 0.66 | 0.72 | 0.58 |
| Typha orientalis | 1.33 | 1.50 | 1.77 | 0.69 | 0.75 | 0.54 |
| Acorus asiaticus | 2.06 | 2.40 | 2.67 | 0.93 | 1.21 | 1.08 |
| Cyperus exaltatus | 0.59 | 0.66 | 1.13 | 0.58 | 0.72 | 0.93 |
| Colocasia antiquorum var. | 1.68 | 2.10 | 2.87 | 0.99 | 1.11 | 1.26 |

다음은 물옥잠 창포의 順이었으며 왕골이 가장 낮았다. 同一植物에서는 廢水中 窒素濃도가 높을수록 植物體中 窒素含量이 높게 나타났다. 그러나 乾物收量은 100ppm과 50ppm에서 높았으므로 廢水中에 窒素除去量은 植物體中 窒素含量과 同--하지 않았다.

植物體中 磷酸含量은 부레옥잠에서 가장 높고 다음이 물옥잠이었으며 낮은 植物은 줄 부들 및 왕골등이 있다.

가장 많고 다음이 줄이었으며 왕골이 가장 적었다. 廢水濃度別로는 역시 NH₄-N濃도가 가장 높은 200ppm에서 30.3g로 가장 많고 100ppm에서는 27.36g로 50ppm에서는 17.04g順이었다. 다음으로 많은 줄에서는 100ppm區에서 가장 많은 13.8g이었으나 부레옥잠의 半程度였고, 부레옥잠은 가장 除去量이 적은 왕골 1.37g에 비하면 22배나 현저히 많았다.

Table 5. The removal amounts of nitrogen and phosphorus by the plants in waste water.

unit : g/0.42m²

| plants | concentration of NH ₄ -N (ppm) | | | | | |
|--------------------------------------|---|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|
| | 50 | 100 | 200 | 50 | 100 | 200 |
| | N | " | " | P ₂ O ₅ | " | " |
| Eichhornia crassipes solms-laub | 17.04 | 27.36 | 30.31 | 11.13 | 25.24 | 18.77 |
| Monochoria korsakowii Regel et Maack | 7.63 | 7.59 | 5.56 | 5.51 | 6.34 | 3.43 |
| Zizania caduciflora | 10.74 | 13.80 | 8.19 | 3.79 | 4.17 | 1.86 |
| Typha orientalis | 6.07 | 7.21 | 7.05 | 3.15 | 3.61 | 2.15 |
| Acorus asiaticus | 4.67 | 4.78 | 4.88 | 2.12 | 2.41 | 1.98 |
| Cyperus exaltatus | 1.17 | 1.21 | 1.37 | 1.15 | 1.32 | 1.13 |
| Colocasia antiquorum var. | 2.59 | 2.46 | 2.75 | 1.53 | 1.30 | 1.21 |

磷酸除去量도 부레옥잠이 가장많이 除去하였으며 NH₄-N 100ppm區에서 25.24g로 가장 많이 除去되고 200 ppm區에서 18.77g, 50ppm區에서는 11.13g의 順이었 으며 다음이 물옥잠 이었으나 물옥잠은 부레옥잠에 1/4 程度인 6.34g이었다. 磷酸除去量이 가장적은 植物은 왕 골로서 1.32g이며 이는 부레옥잠의 磷酸除去量의 1/19 程度였다.

冲陽子¹⁶등의 부레옥잠은 磷酸消費量이 一般植物에 비해 4배나된다는 報告로보면 廢水中 磷酸除去에 가장 좋은 水草가 부레옥잠이라고 생각되고 酒井은⁽⁶⁾ 豚糞廢水에 NH₄-N와 P₂O₅를 減少시킨다고 報告한 것으로보면 부레옥잠의 淨化效果는 더욱 確實하다고 생각된다.

4. 부레옥잠의 生育狀況

부레옥잠의 生育日數에 따른 生體重 增加傾向을 보면 그림1과같이 NH₄-N 100ppm區가 가장 많았고 다음이 200ppm區이나 100ppm區와 類似한 傾向을 나타내고 NH₄-N 50ppm區에서는 40日까지는 같은 傾向이나 50日以後부터는 生體重의 增加速度가 100ppm區나 200 ppm區보다 둔화된 結果를 얻어 養分不足現狀에 依한 것으로 생각된다.

分蘖數增加는 그림2와같이 廢水各濃度 모두 같은 傾向이나 NH₄-N 200ppm區에서 약간 낮게 나타나고있다. 成株生育은 NH₄-N가 20ppm以上에서 良好하고 160ppm이 最大이나 子株形成 및 幼株生育量은 40ppm에서 最大이며 磷酸은 20ppm以上에서 生育이 促進되고 磷酸이 增加함에 따라 莖葉部의 磷酸의 含量이 현저히 增加되었다고 報告하고¹⁶⁾ 本材⁴⁾등은 부레옥잠은 NH₄-N가 250 ppm까지 生育이 可能하나 正常生育의 경우는 NH₄-N가 200ppm이 生育限界라고 報告하였다. 따라서 부레옥잠

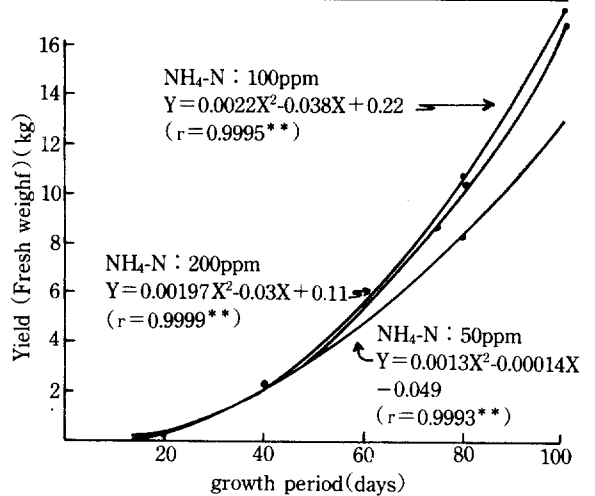


Fig. 1. Relationship between yield and growth period in the pig waste water.

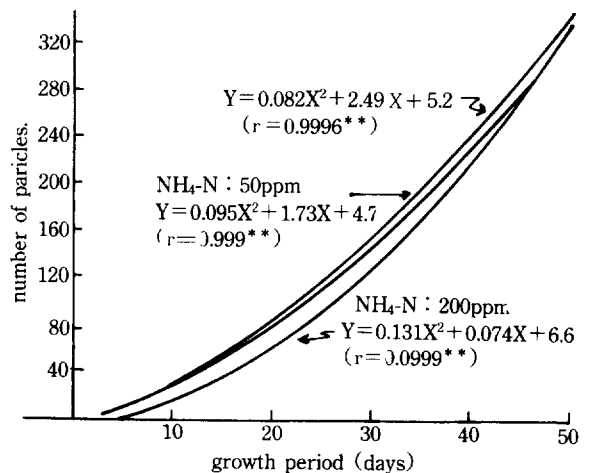


Fig. 2. Relationship between number of panicles and growth period in the pig waste water.

의 生育에 適當한 窒素濃度는 나이에 따라서 多小 着異가 있으나 成株일 경우는 150~200ppm인 것으로 推定된다. 富久는 1株1個體가 5個月동안 1000個以上 增殖된다는 報告¹⁷⁾도 있고 酒井⁶⁾은 貯溜池에 750kg의 부레옥잠을 넣어서 35日後에 16.3배나 되는 驚異的인 增加를 보였다고 報告하였다. 따라서 부레옥잠은 增殖이 매우 빠른 植物임을 알려주고 있다.

부레옥잠은 熱帶地域植物⁶⁾이므로 우리나라 水原에서는 年7個月동안 栽培가 가능하며 年間 10a當 7회를 生産할 경우 乾物生育量은 表6에서와 같이 NH₄-N 50ppm區에서 3,954kg 100ppm區에서는 5,002kg, 200ppm區에서는 4,705kg로 推定된다.

赤道에서는 10a當 乾物重으로 21.2톤까지 生産¹²⁾한 例가 있다고 하는 것으로 보아 제주도동 南部에서는 이

磷酸含量은 100ppm區에서 가장 높았으며 부레가 3.08 ppm, 뿌리가 2.49ppm, 잎이 1.96ppm으로 부레>뿌리>잎의 順位였으며 다음이 NH₄-N 200ppm이고 50ppm區가 가장 낮았다. 이들 乾物重含量과 乾物生産量을 가지고 年間 7회 生産한다고 생각할 때 廢水中 窒素 磷酸, 加里除去量은 表7과같이 窒素는 200ppm區에서 166.2kg, 磷酸은 100ppm區에서 140.6kg 加里는 200ppm區에서 148.0kg를 除去할 수 있다고 推定되며 이들을 推肥로 使用 한다면 상당한 肥料量을 代替할 수 있으리라고 생각된다.

Ammonia態 窒素는 高濃度일 경우 自然淨化는 8日間에 56ppm이고 부레옥잠을 넣었을 경우에는 143.3ppm이 低下되었다는 報告⁶⁾가 있으며 磷酸은 自然淨化가 6.8 ppm인데 反하여 부레옥잠을 넣었을 경우는 12.0ppm이

Table 6. Number of panicles, yield and removal amount of N, P₂O₅, K₂O by *Eichhornia crassipes solms-laub* grown in waste water.

| NH ₄ -N (ppm) | concentration (piece/7month) | Number of panicles (kg/7month) | Dry weight amount of removal(kg/7month) | | |
|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------|------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 50 | 840 | 3,954 | 96.0 | 67.2 | 49.2 |
| 100 | 752 | 5,002 | 151.0 | 140.6 | 98.5 |
| 200 | 1,061 | 4,765 | 166.2 | 107.8 | 148.0 |

Table 7. Content of nitrogen and phosphorus in various parts of *Eichhornia crassipes solms-laub* grown in waste water.

| concentration NH ₄ -N (ppm) | unit : % | | | | | |
|---|----------|-------|------|-------------------------------|-------|------|
| | N | | | P ₂ O ₅ | | |
| | leaf | float | root | leaf | float | root |
| 50 | 3.25 | 2.58 | 2.11 | 1.56 | 2.34 | 2.17 |
| 100 | 2.81 | 2.74 | 2.42 | 1.96 | 3.08 | 2.49 |
| 200 | 4.09 | 3.47 | 3.22 | 1.65 | 2.84 | 2.93 |

보다 많은 量인 5톤 이상을 生産할 수 있다고 생각된다.

除去되⁶⁾었다고 하여 本結果와 類似하다고 생각된다.

5. 부레옥잠의 部位別 窒素, 磷酸含量과 除去量.

要 約

부레옥잠은 葉 부레 뿌리部分으로 大別할 수 있으며 이들에 窒素含量은 NH₄-N 200ppm區에서 잎에 4.09 ppm으로 가장 높았으며 부레는 3.47ppm 뿌리는 3.22 ppm으로 잎>부레 뿌리의 순위이며 廢水中 NH₄-N含量이 낮을수록 植物體各部位別含量은 낮아지고 있다.

畜産廢水의 淨化方法의 일환으로 四角 pot에 水草인 부레옥잠, 물옥잠, 줄, 부들 창포 왕골, 토란을 이식하고 灌水하면서 栽培하고 乾物生産量, 植物體中の 窒素 및 磷酸含量, 窒素 및 磷酸吸收量, 부레옥잠의 生育狀況등을 調査하여 畜産廢水의 淨化能力을 調査한 結果는 다

음과 같다.

1. 植物別 窒素, 磷酸含量 및 除去量은 부레옥잠이 가장 높았다.

2. $\text{NH}_4\text{-N}$ 100ppm區에서 乾物收量은 부레옥잠>줄>부들>물옥잠>창포의 순이었다.

3. $\text{NH}_4\text{-N}$ 100ppm區에서 窒素除去量은 부레옥잠>줄>물옥잠>부들>창포>토란>왕골 순이었고, 磷酸은 부레옥잠>물옥잠>줄>부들>창포>왕골>토란순이었다.

4. 生育阻害 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度는 부레옥잠, 줄, 부들은 200ppm이고, 물옥잠 및 창포는 100ppm이었다.

5. 부레옥잠에서 窒素는 잎에 磷酸은 부레에 많이 함유되어 있었다.

6. 부레옥잠의 年間 栽培期間을 7個月로 보면 $\text{NH}_4\text{-N}$ 100ppm區에서 分蘖은 1個體가 752個로 增加되고 乾物收量은 10a當 5톤程度로 推定되었다.

參 考 文 獻

1. 美國穀物協會韓國支部. 1984 大規模牧場現況
2. 李敏孝, 金奎植, 金福榮. 1985, 水稻에 對한 畜産廢水 被害輕減方法研究. 農技研試驗研究報告. (화학부) : 34.
3. 李敏孝, 金福榮, 金奎植, 朴永大. 1987. 水稻의 畜産廢水被害에 對한 水管理 및 改良制施用效果, 韓國土壤肥料學會誌 20(2) : 123-129
4. 本村輝正, 立小野主信. 1978, 豚舍廢(汚)水のホテイアオイにする淨化, 畜産の研究. 32, (7) : 64~68.
5. Reddy. K.R. and W.R. Debusk. 1985. Nutrient removal potential of selected aquatic macrophytes. *J. Environ-Quality* 14(4) : 459-462.
6. 酒井英市. 1973, ホテイアオイによる 豚 おん尿 汚水の淨化處理, 畜産の研究, 27(4) : 45-50
7. 酒井英市 系瀬貞義, 武井昌二. 1976, 호テイ아오이による 豚尿 汚水 淨化處理(1). 畜産の研究 30(1) : 57~60
8. 植木邦和 1981, 호テイ아오이 바이오매스 生産と變換(上) : 195-202 學會出版 센터
9. 富久保男. 1983, 水生雜草 호テイ아오이의 防除と利用, 農業および園藝. 58.(8) : 73-78.
10. 小林登史夫, 植木邦和. 1980, 新らしいバイオマス原料の育成と利用—水生植物 호テイ아오이를例とし— 化學と生物 18(4) : 231~236
11. Rogers. H.H. and D.E. Davis. 1972. Nutrient removal by water hyacinth. *Weeds Science* 20(5) : 423-428.
12. Wolverton. B.C. and R.C. McDonald. 1978. Nutritional composition of water hyacinth grown on Domestic Sewage. *Economic Botany*. 32(4) : 363-370.
13. 三宅泰雄, 北野康. 1964, 水質化學分析法 (4版) 地人書館(東京)
14. 農業技術研究所. 1976, 土壤化學 分析法
15. 沖陽子. 1981, 水生雜草 호テイ아오이를めいる 諸問題, 農業技術 35(11) : 15-21.
16. 沖陽子, 伊藤操子, 植木邦和. 1978, 生育及び繁殖關する研究. 水中の營養鹽加生育及び繁殖に關する影響. 雜草研究 23 : 15-19.
17. 富久保男. 1975, 호テイ아오이의 生態觀察, 雜草研究, 19 : 44-45.