Studies on the Growth and Reproduction of Waterhyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

1. Effect of Nutrients on the Growth and Reproduction

Yoko OKI, Misako ITO, and Kunikazu UEKI
Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606

Summary

The purpose of this fundamental experiments was to determine the effect of nutrients on the growth and reproduction of waterhyacinth. The results obtained were as follows:

1) Plants grown in each solution with N, P or Ca deficiency depressed the growth and reproduction. Chemical analysis revealed that phosphorus content of the aerial portions was low in all above mentioned treatments.

2) As the ammonium N levels was increased from 0 to 160 ppm in culture solution, the growth of adult plant increased. While in young plant the maximum growth occurred in the 40 ppm ammonium N solution. Also they produced a greater number of new plants in the 40 ppm and the growth of new plants was maximum in this treatment. These results indicated that the optimum growth differed from the optimum reproduction in the nitrogen requirements.

3) The effect of various levels of phosphorus and calcium on the growth and reproduction was investigated. Plants grew well in water with a phosphate level over than 20 ppm. As the phosphate content of the water was increased from 0 to 40 ppm, phosphorus content of the aerial portions increased. While in calcium oxide, the minimum threshold concentration that showed normal growth was 5 ppm. Even when the content of the water was increased, calcium content of the plant was not increased except the treatment of 80 ppm.

ホテイアオイ (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) の 生育及び繁殖に関する研究

第2報 水中の窒素形態の差異が生育ならびに繁殖に及ぼす影響*

京都大学農学部 沖 陽子・伊藤操子・植木邦和

前報⁵⁾において、ホテイアオイの生育、繁殖に著しい影響を与える主要要素は、窒素、磷およびカルシウムであることを明らかにしたが、特に窒素に関しては、水の富栄養化の推進力であり、かつ、本草の吸収量が大いことが知られているので、窒素に対する反応を適確に把握することの必要を指摘した。ところで、前報の実験では、窒素についてアンモニア態のみを扱ってきたが、実際のホテイアオイの発生水域では、硝酸態の影響も無視

できない。一般に窒素源としてのアンモニア態窒素と硝酸態窒素の優劣については、古くから種々の作物について研究が行われているが、両形態に対する反応は、同一種においても、植物の内的条件及び外的条件により影響されやすいと報告されている⁷⁾。ホテイアオイの場合、大垣 (1974)⁴⁾は、硝酸態窒素を好むと報告しているが、本草が硝酸態に対して、どのような生育を呈するか、アンモニア態及びアンモニア態と硝酸態との混合の場合と

* 日本雑草学会第15回講演会 (1976年4月) において発表

比較して、どのような差を生じるか検討を加えてみた。
また、両形態が生育と繁殖及び植物体内の無機成分含量に及ぼす影響を pH の高低との関係で調べた。

1. 実験材料及び方法

供試個体は葉数 5～6 葉、生体重 40 g 前後の成株で、子株は切除した。実験は 7 月 12 日より 27 日間、ビニールハウス内で行った。窒素形態については、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のみ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の混合 (5:5) および $\text{NO}_3\text{-N}$ のみの 3 処理区とし、その各々について、さらに pH を 5, 6, 7, 8 に調節した区を設けた。また、総窒素濃度は 0, 20, 160 ppm の 3 区を設定した。アンモニア態窒素としては $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を、硝酸態窒素としては NaNO_3 を使用し、窒素以外の要素については Table 1. に準じ、ポリエチレン容器に 40 l の培

Tale 1. Composition of culture solution.

Source	Concentration	Element
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	mg/l 63.1	P_2O_5 12.5
KCl	39.9	K_2O 25.2
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	123.0	MgO 20.0
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	57.7	CaO 22.2
EDTA-Na-Fe salt	20.6	Fe_2O_3 4.3

養液を入れて一処理区とし、4 個体を供試した。液の交換は、1 週間ごとに行い、pH は隔日に 1/10 N NaOH, 1/10 N HCl で調節した。適宜、生育調査を行い、実験終了後、生体重と乾物重を測定し、親株茎葉部のみ分析試料とした。茎葉部内の N 含量はガンニング変法、P はパナドモリブデン酸アンモニウム法、K, Ca, Mg 及び Fe は原子吸光分光分析法により分析した。

2. 実験結果及び考察

(1) 生育状況

i) 各窒素形態区における pH の影響

Fig. 1. 及び Fig. 2. に実験終了

時の総生体重を示した。まず 20 ppm についてみると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 区では、pH が上昇するに伴い、生体重及び子株形成数の増加が顕著に認められた。 $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 区は、中性からやや塩基性側で生育が良く、比較的広範囲な pH でも生育良好であった。これに反して、 $\text{NO}_3\text{-N}$

Fig. 1. pH effect on fresh weight in the 20 ppm total N solution with different nitrogen forms.

Note: * $\text{NH}_4\text{-N}$ ** pH
: $\text{NO}_3\text{-N}$

Fig. 2. pH effect on fresh weight in the 160 ppm total N solution with different nitrogen forms.

Note: * $\text{NH}_4\text{-N}$ ** pH
: $\text{NO}_3\text{-N}$

区は、pH 5, 6 で生育が促進され、pH 7, 8 で抑制された。奥田ら⁶⁾は、植物の窒素供給源として両形態のいずれが優れているかは、特に培養液の pH によることを強調しており、また一般に、アンモニア態の場合は塩基性側、硝酸態の場合は酸性側で良好な生育を示すといわれている⁷⁾。本実験においても、上記と全く一致した結果が得られた。一方、160 ppm では、NO₃-N 区、NH₄-N + NO₃-N 区共 20 ppm と同様の傾向を示したが、NH₄-N 区のみは pH に関係なく葉質がかたく、褐色化した部分が目立ち、著しく生育が抑制され、0 ppm と大差ない生育量となった。また、根部における障害も大きかった。本実験の場合は、前報の窒素濃度の実験と比較して日最高水温が 40°C を越える高温条件下で行ったため、PEN-FOUND ら (1948)⁷⁾が認めている高温障害を起こし、かつ過剰窒素と相まって生育阻害をひき起こしたものと推察される。次に 0 ppm では、pH 間の差は認められず、様に生育が劣り、葉質は柔らかで葉色は黄色味を帯び、

Fig. 3. Effect of nitrogen form on the growth of new plants in nutrient solution with different pH levels.

Note: * NH₄-N : NO₃-N

茎葉部に対する根部の生育が大きく、青紫色を呈した。

ii) pH が一定の場合における各窒素形態間の生育差
生育差は、親株間ではほとんど認められなかったが、新しく形成された子株数とその生育量に影響が現れたので、これらの結果を Fig. 3. に示した。すなわち、pH 5, 6 においては NO₃-N 区が他の 2 区より著しく生育良好であり、pH 7, 8 では NH₄-N + NO₃-N 区が良好であった。また、pH 8 の 20 ppm では NH₄-N 区の生育量が NH₄-N + NO₃-N 区と同程度に達した。一方、根部の生育をみると、茎葉部の傾向と一致していることがわかった。本草の場合には、BENNETT ら (1964)¹⁾がトウモロコシで報告しているような、NH₄-N 区が NO₃-N 区に比べ根の発育が悪く、黒ずむ徴候は認められなかった。

ところで、pH 調整 2 日後の培養液の pH の変化を Fig. 4. に示したが、塩類吸収の結果、NH₄-N 区では酸性側に、NO₃-N 区では塩基性側に傾いており、特に NH₄-N + NO₃-N 区ではいずれの pH 区でも酸性側に傾いていることが認められた。両窒素源を同一溶液に含む場合、アンモニア態窒素と硝酸態窒素とが必ずしも均等に吸収されるとは限らない。本実験の場合も、混合区が NH₄-N 区と同じ傾向を示していることから、アンモ

Fig. 4. Changes in pH of the nutrient solution after two days renewed the solution.

Table 2. Mineral content of aerial portions of mother plant.

N content (% on dry matter basis)					Ca content (% on dry matter basis)				
pH	N level (ppm)	N form			pH	N level (ppm)	N form		
		NH ₄ -N	NH ₄ -N+NO ₃ -N	NO ₃ -N			NH ₄ -N	NH ₄ -N+NO ₃ -N	NO ₃ -N
5	0	0.93	.....	.....	5	0	2.20	.....	.....
	20	4.13	5.48	3.58		20	1.30	1.40	1.93
	160	5.73	6.78	5.43		160	1.16	1.03	1.56
6	0	0.90	.....	.....	6	0	2.50	.....	.....
	20	5.13	5.45	3.10		20	1.06	1.56	2.03
	160	6.58	6.15	4.95		160	1.13	1.20	1.96
7	0	1.25	.....	.....	7	0	2.40	.....	.....
	20	5.33	4.28	4.13		20	1.46	1.73	2.06
	160	6.85	5.03	4.60		160	1.06	1.46	2.00
8	0	0.98	.....	.....	8	0	2.60	.....	.....
	20	4.83	3.78	4.15		20	1.63	1.96	1.83
	160	8.08	5.63	4.58		160	1.10	1.30	2.40

P content (% on dry matter basis)					Mg content (% on dry matter basis)				
pH	N level (ppm)	N form			pH	N level (ppm)	N form		
		NH ₄ -N	NH ₄ -N+NO ₃ -N	NO ₃ -N			NH ₄ -N	NH ₄ -N+NO ₃ -N	NO ₃ -N
5	0	0.44	.....	.....	5	0	1.23	.....	.....
	20	0.64	0.77	0.39		20	0.57	0.83	1.20
	160	1.14	0.83	0.45		160	0.60	0.77	1.00
6	0	0.48	.....	.....	6	0	1.53	.....	.....
	20	0.62	0.74	0.49		20	0.57	0.87	1.30
	160	1.03	0.80	0.56		160	0.87	0.70	1.00
7	0	0.49	.....	.....	7	0	1.50	.....	.....
	20	0.68	0.53	0.55		20	0.70	1.13	1.07
	160	0.91	0.83	0.61		160	0.73	0.90	1.13
8	0	1.50	.....	.....	8	0	0.49	.....	.....
	20	1.03	1.20	1.03		20	0.91	0.62	0.40
	160	0.90	0.90	1.07		160	1.02	0.63	0.44

Fe content (% on dry matter basis)					K content (% on dry matter basis)				
pH	N level (ppm)	N form			pH	N level (ppm)	N form		
		NH ₄ -N	NH ₄ -N+NO ₃ -N	NO ₃ -N			NH ₄ -N	NH ₄ -N+NO ₃ -N	NO ₃ -N
5	0	0.078	.....	.....	5	0	5.16	.....	.....
	20	0.111	0.141	0.064		20	4.83	6.16	4.80
	160	0.172	0.093	0.068		160	4.50	3.03	3.43
6	0	0.069	.....	.....	6	0	4.73	.....	.....
	20	0.114	0.146	0.075		20	5.20	6.20	4.43
	160	0.090	0.087	0.088		160	4.26	3.06	4.20
7	0	0.069	.....	.....	7	0	4.70	.....	.....
	20	0.105	0.042	0.081		20	6.30	4.50	7.13
	160	0.076	0.074	0.057		160	3.76	3.10	5.36
8	0	0.058	.....	.....	8	0	4.36	.....	.....
	20	0.067	0.068	0.050		20	7.03	5.36	6.20
	160	0.066	0.065	0.093		160	3.66	3.06	4.33

ニア態窒素が硝酸態窒素より選択的に吸収されていると推察される。

(2) 茎葉部の無機成分含量

親株茎葉部の各無機成分含有率を Table 2. に示した。0 ppm と比較して、窒素を与えることにより増加した成分は窒素と燐で、減少した成分はカルシウムとマグネシウムであった。カリウムについては、20 ppm で増加、160 ppm で減少の傾向が認められた。

一方、個々の成分について検討すると、各形態間および pH により差が生じた。窒素含有率は、NO₃-N 区に比べ NH₄-N 区が常に高く、その傾向は pH が高くなるほど、また窒素濃度が高いほど顕著であった。特に、生育に障害が認められた 160 ppm NH₄-N 区においては、pH の上昇に伴い窒素含有率は著しく増加した。NH₄-N 区の方が窒素含有率が高いという結果は、トマト、タバコ、その他多くの野菜で認められているが、本草のように体内で高い含有率を示しているものは、どのような形態で蓄積されているのか、今後検討を要する。同じ増加

の傾向を示す燐に関しても、NH₄-N 区の含有率が高い。おそらく NO₃ イオンと P イオンとの間に陰イオン間の拮抗が生じたためか、あるいは NH₄-N 区の根の吸収面の pH が低く、燐を有効状態に保っていることが関係しているのではないかと考えられる。また、いずれの区も含有率は pH に影響されず、一般に他の野菜類と比較して、やや高い値を示している。

次に、カリウム含有率は、pH および窒素濃度による各形態間の差が大きい。一般にカリウムは条件により変化を受けやすいとされているが、NaNO₃ を使用した場合、Na イオンが拮抗的に働き、カリウム含有率に影響を与えるといわれる³⁾。一方、無窒素区と比べ減少の傾向を示すカルシウム、マグネシウムに関しては、いずれの pH 区でも NO₃-N 区が NH₄-N 区より顕著に高い含有率を示している。このことは、吸収において NH₄ イオンと Ca 及び Mg イオンとの間に強い拮抗作用があるためと考えられる。さらに、20 ppm NH₄-N 区は両成分共 pH 上昇に伴い含有率が高くなっており、生育量

増加の傾向と一致していることから、両成分は窒素の正常な同化に好影響を及ぼしていると考えられる。カルシウムは、窒素濃度による含有率の変動の幅が他の成分と比較して大きい、EASLEY ら (1974)²⁾ が水生植物のカルシウム含有量は陸生植物より高いと指摘する通り、本草のカルシウム含有率は高かった。総じて、各窒素間および pH 間で無機成分含有率の増減が大きく影響されたのは $\text{NH}_4\text{-N}$ 区であった。

一般に、比較的新しい汚染水域ではアンモニア態窒素が多く、古くなるにつれて硝酸態窒素が増加する傾向がある。著者らが、本草繁茂地の水質調査を行った結果、アンモニア態窒素は 0.25~4 ppm、硝酸態窒素は 0.2~0.4 ppm の範囲で、pH は 6.6~7.2 であった⁹⁾。本実験は、高濃度で行ったが、窒素両形態と pH に対する本草の反応を把握したことは、今後、繁茂が懸念される水域の一指標になると考えられる。現在、本草の防除手段は種々試みられているが、いずれの場合も、本草の生育ならびに繁殖特性に関する基礎資料を踏まえて検討を加えなければならない。従って、早急にこの種の基礎研究を固める必要性を痛感する。

3. 摘 要

水中の窒素形態の差異がホテイアオイの生育ならびに繁殖に及ぼす影響を、種々の pH 条件下で調べた。

(1) 各窒素形態区における pH の影響を調べた結果、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 区および $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 区は中性から塩基性側で、一方、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 区は酸性側で、生育や繁殖が促進された。

(2) pH が一定の場合の各窒素形態間の生育差を、新しく形成された子株の生育量で調べると、pH 5, 6 で $\text{NO}_3\text{-N}$ 区が著しく生育良好で、pH 7, 8 で $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ 区が良好であった。

(3) 調整後の培養液の pH 変化から、アンモニア態窒素が硝酸態窒素より選択的に吸収されていることが推察された。

(4) 親株茎葉部の無機成分含有率を測定すると、pH に関係なく、窒素含量と燐含量は $\text{NO}_3\text{-N}$ 区より $\text{NH}_4\text{-N}$ 区で高く、カルシウム含量はその逆の傾向を示した。

引用文献

- 1) BENNETT, W.F., J. PESEK and R.D. BLACKBURN: Effect of Nitrate and Ammonium on Growth of Corn in Nutrient Solution Sand Culture. *Agronomy Journal* **56**, 342~345 (1964).
- 2) EASLEY, J.F. and R.L. SHIRLEY: Nutrient elements for livestock in aquatic plants. *Hyacinth Control Journal* **12** (May), 82~85 (1974).
- 3) 岩田正利: 窒素形態の差異と蔬菜の生育 (第3報). *園芸学会雑誌* **31** (1), 39~52 (1962).
- 4) 大垣健吉: ホテイアオイのメカニズムと、その特性に関する研究報告書, 19 (1974).
- 5) 沖 陽子・伊藤操子・植木邦和: ホテイアオイ (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) の生育及び繁殖に関する研究. *雑草研究* **23** (3), 15~20 (1978).
- 6) 奥田 東・下瀬 昇: 作物の窒素代謝に関する研究. *日土肥雑* **22** (2), 6~8 (1951).
- 7) PENFOUND WM. T. and T.T. EARLE: The Biology of the Water Hyacinth. *Ecological Monographs* **18** (4), 447~472 (1948).
- 8) 高橋英一: 「作物栄養学」第四章, 朝倉書店, (1972).
- 9) UEKI, K., M. ITO and Y. OKI: Waterhyacinth and Its Habitats in Japan. *Proceedings of the fifth Asian-Pacific Weed Science Society Conference*, Tokyo, 424~428 (1976).

(1978年5月8日受理)

Studies on the Growth and Reproduction of Waterhyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

2. Effect of Nitrogen Sources on the Growth and Reproduction

Yoko OKI, Misako ITO, and Kunikazu UEKI

Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606

Summary

An experiment was designed to study the influence of the sources of nitrogen supplied on the growth. The sources of nitrogen were ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) and the two ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$).

1) Maximum growth of both $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ plants occurred in neutral or slightly basic water, while the growth of $\text{NO}_3\text{-N}$ plants were greater in acidic water than those in neutral or

slightly basic water.

2) The new plants grew well in the $\text{NO}_3\text{-N}$ at pH 5 and pH 6, but they reached maximum growth in the $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$ at pH 7 and pH 8.

3) Measurements of the initial and final pH levels of the culture waters indicated that ammonium was absorbed more selectively than nitrate by the plants in the nutrient with $\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$.

4) Both total nitrogen content and total phosphorus content of the $\text{NH}_4\text{-N}$ plants were higher than those of the plants in $\text{NO}_3\text{-N}$, while the calcium content of $\text{NH}_4\text{-N}$ plants was low.

生育初期におけるイネとノビエの生理的特性の比較*

京都大学農学部 一前宣正**・植木邦和

イネとノビエの間に選択殺草性を示す除草剤として、プロパニル (3,4-dichloropropionanilide)¹⁰⁾、ベンチオカーブ [*S*-(4-chlorobenzyl)-*N,N*-diethylthiolcarbamate]¹²⁾、モリネート (*S*-ethyl-hexahydro-1*H*-azepin-1-carbothioate) などが知られているが、プロパニルを除く他の除草剤では選択殺草性の機構が十分に解明されていないように考えられる。

一般に除草剤に対する植物の感受性の差異は、薬剤の吸収量、移行量、代謝能力の差異によって生じるもので、その起因は対象とする植物の形態的、生理的、生態的、生化学的な特性に求めることができる¹⁹⁾。

もとよりイネは人類の食糧源として極めて重要な作物で、これに関する研究は膨大である。一方、ノビエは古くからイネの強害草として知られている。しかしながら、現在までにイネとノビエの特性を比較した文献は比較的少なく、種子の大きさ⁵⁾、発芽と初期生育の様相^{1,3,13)}、葉部組織^{2,7,14,18)}ならびに根系²⁾などに差異のあることが報告されているにすぎない。

本報は、以上の観点から、生育初期のイネとノビエにおいて除草剤に対する感受性の差異に関与すると考えられる2,3の生理的特性を比較したものである。

1. 実験材料ならびに方法

供試植物は、1976年宇都宮で採種したタイヌビエとケイヌビエ、イネとして金南風と日本晴 (Japonica 型) ならびに台中在来1号と統一 (Indica 型) である。

植物の育成は、温度28℃、照度10,000ルクスの条件下で行った。供試植物は、あらかじめ16メッシュの

ふるい (篩) を通した白川砂を入れた植物育成器に播種し、1葉期に根を痛めないように抜き取った。その後は、木村氏B水耕液を入れたバットに2cm間隔で直径1cmの穴をあけた発泡スチロールの薄板を浮かべ、この穴に根部を通して葉鞘基部をウレタンで固定の後、4葉期まで生育させた。

乾物重量と水分含量は1葉期から4葉期の各植物について測定した。重量測定は10個体ごとに行い、5連制とした。水分含量は{(生体重-乾重物)/生体重×100}から算出した。

気孔数と葉緑素含量は2葉期の各植物について測定した。実験は、第1本葉葉鞘と第2本葉葉身のスンプ標本¹⁵⁾を作成し、葉面積0.64mm²当たりの気孔数を測定した。葉緑素含量は、各植物の茎葉部をガラスホモジナイザーに入れ、80%アセトンを加えて葉緑素を抽出し、645, 663nmの吸光度で測定し、計算式から求めた⁹⁾。実験は5連制とした。

蒸散量は常法¹⁶⁾に準拠して測定した。供試植物は1葉期から4葉期までの植物で、葉鞘基部をゴム栓で固定し、蒸留水を入れた三角フラスコに立て、温度28℃、照度10,000ルクスの条件下に置いた。その後は、1時間ごとに5回にわたってフラスコの重量を測定し、測定前後の重量差から蒸散量を求めた。実験は5連制とした。

根の浸透圧、呼吸、TTC還元力は2葉期の植物について測定した。浸透圧は、直径0.02~0.03mmの毛細根を20℃で40分間所定のNaCl溶液に浸漬の後、原形質分離の有無を検鏡し、初発原形質分離の濃度から算出した。呼吸量は種子根の切片における酸素吸収量を酸素

* 大要は日本雑草学会第17回講演会 (1978年4月) において発表した。

** 京都大学研修員。現在、宇都宮大学農学部雑草防除研究施設