ホテイアオイの生長と無機栄養元素の貯蔵

徳永 隆司・北 喜代志・北 直子・森本 昌宏
福岡県衛生公害センター

Growth of *Eichhornia crassipes* Solms
and accumulation of nutrients

Takashi TOKUNAGA, Kiyoshi KITA, Naoko KITA
and Masahiro MORIMOTO
Fukuoka Environmental Research Center

緒 言

河川、湖沼の富栄養化の進行に伴って発生する問題として、藻類やプランクトンの異常増殖や水生植物の繁殖などがあげられる。

インド、イスラエル、アメリカなどの広大なかんがい水路を有する国々において、水生植物の繁殖は水路の閉塞や蒸散作用による貴重な水の損失などの問題を引き起こしている (Holm ら, 1969)。日本においても、富栄養化の進行とあいまって、琵琶湖でのカナダモの繁殖や南九州のダムでのホテイアオイの繁殖 (森下, 1975) などが報告されている。

著者らは、これらの水生植物に無機栄養元素を吸収、蓄積させ、一定期間ごとに河川、湖沼からこれらを除くことにより、淡水域の富栄養化防止が可能であると考え、ホテイアオイ (*Eichhornia Crassipes* Solms) について無機元素の代謝に関するいくつかの基礎的実験を行なうとともに、自然条件下におけるその生長率の季節変化および無機元素の含有濃度を測定し、それらの結果からホテイアオイの無機元素の貯蔵量を算出したので、その結果を報告する。

実 験 の 部

1. 無機元素の代謝に関する実験方法

1・1 栽培原液の調製 生育に及ぼす無機元素の欠乏の影響実験およびホテイアオイ中の無機元素の含有濃度と栽培液の無機元素濃度の関係についての実験を行なうため2種の栽培原液を調製した。

無機元素の欠乏実験に用いる栽培原液は田口ら(1973)の方法に従って調製した。また、ホテイアオイ中の無機元素の含有濃度と栽培液の無機元素濃度の関係についての実験用の栽培原液は、本邦の河川平均水質 (Ca : 8.8, Mg : 1.9, K : 1.19, S : 3.53, Fe : 0.24, P : 0.007, N O₃-N : 0.26, NH₃-N : 0.05, 単位は ppm, 小林, 1971)

にし尿が流入したと仮定し、し尿の成分比 (P : 1.0, N : 10.9, K : 4.6, Ca : 0.1, Mg : 0.8, S : 0.3, 石関, 1961) から算出して次のように調製した。すなわち、KCl 0.254 M, MgSO₄ · 7H₂O 0.082 M, CaCl₂ · 2H₂O 0.24 M, Na₂SO₄ 0.042 M, NaNO₃ 0.068 M, (NH₂)₂CO 0.053 M, NaH₂PO₄ 0.018 M, FeCl₃ 0.017 M をそれぞれ水に溶かして1 liter とした。微量元素液は田口ら (1973) のものを用いた。

1・2 栽培水草および容器 本実験に用いた栽培水草は、あらかじめ人工栽培液を用いて10日間ほど栽培したものである。実験に用いた栽培容器は20 literのガラス製円筒形のもので、雨水の流入を防ぐために塩化ビニールシートでおおった。

1・3 実験法 生育に及ぼす無機元素の欠乏の影響実験は田口ら (1973) の方法に従って、必須元素が欠乏した9種の栽培液10 literを調整し、水酸化ナトリウムでpH 6.6—6.9としたのち、各容器に湿重で54.7—60.0 gのホテイアオイを入れて14日間栽培した。その間、蒸散水量に見合うだけの水を加えて水量を一定に保った。観察項目は pH, 生長量および生育状態とした。

ホテイアオイ中の無機元素の含有濃度と栽培液の無機元素濃度の関係についての実験は、Table 1. に従って栽培原液を水に加えて、無機元素濃度が異った6種の栽培液 10 liter を調製し、水酸化ナトリウムで pH 5.5—5.6 としたのち、湿重で 29.2—46.1 g のホテイアオイを入れて15日間栽培した。その間、電気伝導度を測定し、同一組成の栽培原液を微量追加して一定濃度を保つようにした (武川, 1973)。なお、Table 1. における実験区 No. 1 は日本の平均河川水質を有する栽培液として、No. 2—6 の栽培液はし尿による汚染を受けたと想定して調製したものである。この実験の観察項目は pH, 生長量およびホテイアオイの無機元素の含有濃度とした。

Table 1. Preparation of culture solutions

Stock solution	Run number					
	1	2	3	4	5	6
KCl	0.10	0.12	0.14	0.33	0.56	1.02
MgSO ₄	1.00	1.00	1.00	1.20	1.40	1.80
CaCl ₂	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02
Na ₂ SO ₄	1.00	1.00	1.00	0.69	0.45	0.00
NaNO ₃	0.12	0.34	0.52	2.32	4.44	8.80
(NH ₂) ₂ CO	0.12	0.34	0.52	2.32	4.44	8.80
NaH ₂ PO ₄	0.02	0.10	0.20	1.00	2.00	4.00
FeCl ₃	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Minor element	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

The number in this table represents volume of stock solution per liter of water, ml.

Table 2. Chemical parameters of inflowing water at experimental pool

Parameter	Concentration ^{a)} (ppm)	Parameter	Concentration (ppm)
pH	7.3 ± 0.3	NO ₂ - N	0.02 ± 0.01
Cl	16.7 ± 10.3	NO ₃ - N	0.11 ± 0.10
Ca	9.97 ± 2.56	T - N	1.46 ± 0.63
Mg	2.02 ± 0.97	COD	8.9 ± 3.5
K	1.94 ± 0.36	EC ^{b)}	0.207 ± 0.065
Fe	0.27 ± 0.07	ABS	0.32 ± 0.22
PO ₄ -P	1.04 ± 0.38		

a) n : 12

b) mV/cm

3. 実験池と河川の間の生長率の比較 河川水として人工河川水を用いて、河川と実験池の間のホテイアオイの生長率を比較した。

生長率の測定を行なっている実験池の横に100 liter(表面積 0.24 m²)の硬質ポリエチレン製円筒容器3槽をならべ、これに人工河川水 80 liter を満たしてホテイアオイを栽培した。同時に、生長率の測定に用いられていない他の1槽の実験池をポリ製容器の表面積と同じになるように0.24 m²ずつ区切って3区画を作り、ホテイアオイを栽培して、人工河川の場合と生長率を比較した。

実験は密生による生長の抑制を防ぐために実験開始時のホテイアオイの株の大きさをできるだけ小さくし、湿重で17.1—21.3 gを有するものを各実験槽に1株ずつ浮かべ、実験終了時まで間引きはしなかった。また、人工河川水の場合には、無機元素が不足しないように1日おきに人工河川水を全量作りかえた。実験期間は雨水の影

2. 実験池における生長率の測定法 栽培は Table 2.

に示す水質をもつ研究所の雑排水(有害、有毒物質およびし尿汚水を含まないもの)が流入する実験池(2 m², 3槽)で行なった。実験池は 200 m²の散水式酸化池に併設されており、排水はこの両池に均等に流入する。

この実験池の1槽を3等分して0.7 m²ずつ3区画とし、その各区に越冬した芽状のホテイアオイ1株を5月1日に浮べ、その後、数日おきにホテイアオイの全湿重を測定して、その増加状況を観察した。つぎに、各区の全面がホテイアオイでおおわれたとき、全株数を成株、子株、芽株に分けて計数したのち、その半量を収穫し成株、子株、芽株に分けて乾燥重量を測定した。なお、実験期間中はホテイアオイの密生生長による生長の抑制をできるだけ避けるようにつとめた。

響を避けるために晴天が続く7日間とし、8月と9月に各1回ずつ実験した。

人工河川水は Table 1. の槽No. 1に従って調製し、pH 6.5—7.2としたものを用いた。この人工河川水の組成はCa : 10, Mg : 2, K : 1, N : 0.3, P : 0.01, Fe : 0.3 (単位はppm)となり、小林(1971)が報告している本邦の河川平均水質にほぼ合致する。

4. 実験池および河川に生育したホテイアオイ中の無機元素含有濃度の調査法

4・1 ホテイアオイの採集 実験池および河川(用水路も含む)におけるホテイアオイの無機元素の貯蔵量を算出する際には、ホテイアオイ中の無機元素の含有濃度が必要であるが、この分析用ホテイアオイは次のように採集した。

実験池に生育するホテイアオイの採集は6, 8, 10月の3回とし、河川のそれは10月に1回とした。採集した

ホテアオイは N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn を分析した。

4・2 無機元素の含有濃度の測定法 ホテアオイを水でよく洗浄したのち、恒量になるまで乾燥し乳鉢で粉碎した。これを保存試料とし以下の分析に用いた。

Fe と Mn の分析は保存試料の約0.5g を精秤し、硝酸と硫酸で分解したのち、ろ過して一定容量としたものを適度に希釈して原子吸光分析装置で直接噴霧して、その濃度を求めた。

Ca, Mg, K の分析は保存試料の約0.1g を精秤し、硝酸と過酸化水素で分解したのち、前記の Fe, Mn と同様にして、その濃度を求めた。

P の分析は Ca などの分析用の分解液の残液を用い、その適量にモリブデン酸アンモニウムを加え P をヘテロポリ化合物とし、さらに還元したのち、n-ブチルアルコールに抽出して比色定量した。

N の分析は保存試料の約 0.1g を精秤し、硫酸銅、硫酸カリウムの分解助剤を加えて硫酸分解を行ないアンモ

ニア化合物としたのち、さらにアルカリ性で水蒸気蒸留を行ない、留液の適量をネスラー法で比色定量した。

結 果 の 部

1. 無機元素の代謝に関する実験結果

1・1 生育に及ぼす無機元素の欠乏の影響 実験の部 1・3 の前段に述べた方法に従って実験を行ない Table 3. の結果を得た。これから欠乏元素と生育阻害の程度との関係を見ると、Ca の欠乏が最も生育を阻害し、ついで N, Fe, K, P, S, Mg, 微量元素の順であった。また Ca, K 欠乏区ではネクロシスが見られ、Mg, N, Fe, 微量元素欠乏区ではクロロシスが見られた。とくに Ca の欠乏によるネクロシスと Fe の欠乏によるクロロシスがひどく、Ca の欠乏区ではほとんど生育不能であったし、Fe の欠乏区では葉は白黄色を呈した。また、完全区にくらべ、すべての欠乏区において実験終了時のホテアオイの大きさが小型化しているのが認められた。

Table 3. Effect of deficient elements on growth *E. crassipes*

		Perfection	Dist. water	Imperfection, Deficient element							
				Ca	S	Mg	K	N	P	Fe	Minor element
Wet weight of <i>E. crassipes</i> (g)	Initial	16.9	18.2	14.7	13.8	16.6	13.2	16.3	18.4	18.3	16.3
	Final	105.3	26.1	25.0	68.3	83.4	54.7	55.2	76.8	74.1	82.5
Characters observed	Miniaturization	None	Slight	None	Heavy	Slight	Slight	Slight	Slight	None	Slight
	Necrosis	None	Heavy	Heavy	None	None	Slight	None	None	None	None
	Crisping	None	Heavy	None	None	None	None	None	None	None	None
	Chlorosis	None	Heavy	None	None	Slight	None	Slight	None	Heavy	Slight

1・2 ホテアオイ中の無機元素の含有濃度と栽培液の無機元素濃度の関係 実験の部 1・3 の後段に述べた方法に従って実験を行ない Table 4. の結果を得た。Table 4. の No. 1 は本邦の河川水中に含まれる無機元素の平均濃度を有する栽培液であり、No. 2—No. 6 は No. 1 がし尿で汚染を受けたと想定して調整した栽培液である。

これらの No. 1—No. 6 の栽培液では N, P, K の濃度は No. 1 の 10.2—200 倍まで段階的に高くなっており、ホテアオイ中の N, P, K の含有濃度も、根における K の場合を除いて、栽培液中のそれらの濃度が高くなると、高くなる傾向が見られた。とくに N の場合その傾向がよく現われており、N 濃度が 0.3ppm (No. 1) および 22.0

ppm (No. 6) の栽培液で生育させたホテアオイの葉中の N 濃度は、それぞれ 15500ppm と 45800ppm で、その割合は 1 : 2.95 であった。

Mg については、No. 1—No. 6 のうち No. 4—No. 6 について No. 1—No. 3 の 1.8 倍まで段階的に濃度を高くしたが、ホテアオイ中の Mg 濃度は No. 3—No. 6 において葉中では高く、根中では低くなる傾向を示した。

Ca, Fe, Mn では No. 1—No. 6 の栽培液中の濃度はほぼ一定であるが、ホテアオイ中の Mn の含有濃度は No. 1—No. 6 にかけて葉と根において高くなる傾向を示し、N, P などの他の無機元素の代謝に関連して変化するものと思われる。

Table 4. Nutrient contents of *E. crassipes* grown in several culture solutions

Run no.		Content (ppm) of							
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	
In culture solution	1	0.3	0.01	1.0	10	2.0	0.3	0.4	
	2	0.7	0.05	1.2	10	2.0	0.3	0.4	
	3	1.3	0.10	1.4	10	2.0	0.3	0.4	
	4	5.8	0.50	3.3	10	2.4	0.3	0.4	
	5	11.1	1.00	5.6	10	2.8	0.3	0.4	
	6	22.0	2.00	10.2	10	3.6	0.3	0.4	
In <i>E. crassipes</i>	1	{L ^{a)}	15500 ^{c)}	2720	26300	13000	4790	237	1520
		{R ^{b)}	10700	2020	11200	2280	5650	2530	1730
	2	{L	16800	2370	23800	12200	4610	255	1550
		{R	11300	1910	9900	2020	5810	2250	1860
	3	{L	18500	2700	28200	15100	5460	235	1830
		{R	11500	1710	8560	1930	4770	1970	1960
	4	{L	24800	3070	28100	17900	6480	211	2590
		{R	17100	2170	9640	2330	3770	2430	2430
	5	{L	29500	3010	25700	16800	6050	193	2720
		{R	17800	2160	10200	3280	3040	1970	2390
	6	{L	45800	4140	43700	16800	7340	194	3360
		{R	26000	3720	11800	5230	3140	2250	5060

a) leaf b) root c) dry matter basis

2. 実験池におけるホテイアオイの生長率

実験の部 2. に述べた方法に従って実験を行なった。

実験槽No. 2区におけるホテイアオイの重量の変化を Fig. 1. に示した。芽状のホテイアオイを5月1日に実験槽に浮かべたところ、7月3日には槽の水面をすべておおうようになったので、その約半量を採取した。この操作を繰り返し行ない、12月16日以降にはホテイアオイの重量は、むしろ減少したので1月11日でこの実験を終了した。

その間、ホテイアオイの成株の1株の乾燥重量は、7月には平均 4.6 g であったものが9月には平均14.3 g に達し、11月には再び減少して平均 9.8 g となった。このため実験池における単位面積あたりのホテイアオイの存在量も変化し、Fig. 1. に見られるような変化となった。

Fig. 1. の結果に基づきホテイアオイの生長率を次の式を用いて算出した。

$$Y_t = Y_0 (1 + X)^t$$

Y_0 : 残存したホテイアオイの重量, Y_t : t 日後のホテイアオイの重量, t : Y_0 から Y_t になるまでの日数, X : 生長率

例えば、Fig. 1. において5月1日に5.2 g であったホテイアオイが5月23日には16.1 g になった場合は、 Y_0 : 5.2, Y_t : 16.1, t : 22として、生長率の計算式から X : 0.052 を得る。すなわち、この期間ではホテイアオイの重量は 5.2%の率で増加して行くということになる。

ここで得られた生育率 0.052を5月1日—5月23日の中間日である5月12日にプロットする方法で、実験期間中の生長率の変化を求めFig. 2. に示した。Fig. 2. には実験池に流入する雑排水の平均水温も同時に示した。

ホテイアオイは5月から6月にかけての水温の上昇に伴って生長をはじめ、その生長率は7月中旬から8月中旬の間に最大に達したのち、徐々に小さくなり、12月中旬以降には生長はとまった。

Fig. 1. Change of dry weight per unit area
●—● : growth ●---● : harvest

Fig. 2. Growth rate of *E. crassipes* and water temperature at experimental pool
—●— : growth rate —○— : temperature

3. 実験池水と河川水間の生長率の比較 実験の部3.に基づき実験を行なったところ、本邦の平均河川水質に合致する人工河川水を用いて栽培したときの生長率は、8月では0.205, 0.203, 0.246, であり、9月では0.105, 0.111, 0.114であった。また、同条件で行なった実験池における生長率は、8月では0.189, 0.209, 0.208であり、9月では0.102, 0.095, 0.091であった。

これらの結果から、人工河川水と実験池水でのホテイアオイの生長率を比較すると、人工河川水の方が単純平均では約10%実験池水より大きい、この両者の平均値には、有意水準5%では差はなかった。

4. 実験池および河川に生育したホテイアオイ中の無機元素の含有濃度 実験池に生育したホテイアオイ中の無

機元素の含有濃度を Table 5. に、また河川（用水路を含む）に生育したものの含有濃度を Table 6. に示した。

実験池のホテイアオイについては葉中の N, Ca, Mg の含有濃度と根中のN含有濃度は比較的変動が小さく、葉中のN, Ca, Mg の変動係数(%)はそれぞれ ± 5.7 , ± 9.4 , ± 4.7 根中のNのそれは ± 2.7 であった。一方、葉中のFeと根中のFe, Mnの変動は比較的大きく、葉中のFeの変動係数(%)は ± 85.3 根中のFe, Mnはそれぞれ ± 41.5 , ± 34.5 であった。

Table 6. に示した河川に生育したホテイアオイ中の無機元素の含有濃度についても、実験池の場合と同様の傾向を示し、含有濃度の変動が比較的小さいものは葉中のN, Ca, Mg と根中のNであった。その変動係数(%)は葉中のN, Ca, Mg について、それぞれ ± 12.3 , ± 15.5 , ± 16.2 根中のNについて ± 14.8 であった。一方、比較的大きな変動を示したものは、実験池の場合といくらか異っており、葉中のKと根中のFe, Mnであった。その変動係数(%)は葉中のKについて ± 73.2 根中のFe, Mnについて、それぞれ ± 56.6 , ± 58.7 であった。

Table 5. に示した実験池のものと Table 6. に示した河川のものについて、含有濃度の平均値を比較すると、実験池のホテイアオイの方がP, Caの含有濃度が高く、K, Mnは低かった。

Table 5. Concentrations of nutrients incorporated into *E. crassipes* grown in experimental pool

Date (1974)		Element ($\mu\text{g} / \text{g dry}$)						
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
6/ 6	L ^{a)}	34300	6140	40700	15000	3680	226	839
	R ^{b)}	31000	6880	21200	8240	3070	6370	2950
8/21	L	38600	9120	28100	16800	3810	1880	413
	R	29300	5130	10600	6890	1750	2800	1500
10/23	L	39000	6420	25200	18900	3400	460	566
	R	31100	5680	13700	9990	2890	8900	1490
Average	L	37300	7220	31300	16900	3630	855	606
	R	30400	5890	15100	8370	2570	6020	1980

a) leaf

b) root

Table 6. Concentrations of nutrients incorporated into *E. crassipes*
taken from rivers and irrigation canals

Station of collection		Element ($\mu\text{g/g}$ dry)						
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
The river of Chikugo	a	{L ^a)	40300	4890	76900	15600	6260	190
		{R ^b)	16100	2470	43200	5520	3100	6720
	b	{L	39700	4780	89600	13700	6030	217
		{R	18200	2180	48200	3800	2920	6150
The river of Naka	a	{L	43600	3450	60200	13900	4420	149
		{R	17700	2160	30200	1810	4360	9110
	b	{L	40000	3870	55500	14100	4520	320
		{R	18400	1950	36300	3540	4330	3680
	c	{L	50200	6040	70700	12600	6420	256
		{R	21000	2100	45800	4360	3710	3900
Irrigation canal (Chikugo district)	a	{L	47100	7870	89700	12500	4970	126
		{R	18900	2750	48200	6240	2790	3590
	b	{L	33900	5180	73200	18700	6180	132
		{R	15200	3060	47900	5900	3220	2590
	c	{L	41900	8940	78800	14900	5830	140
		{R	16000	3700	40500	4330	2860	9340
	d	{L	33700	7570	98700	10100	3780	93
		{R	24500	5300	20000	7690	1220	17400
	e	{L	36900	4740	54800	16100	5160	144
		{R	15800	1900	36500	4540	6010	2970
Average	{L		40700	5730	74800	14200	5350	176
		{R	18100	2750	39600	4770	3450	6540

a) leaf

b) root

考 察 の 部

1. ホテイアオイ中の無機元素の含有濃度

Table 5., 6. に示した無機元素の含有濃度の平均値と Bowen (1966) が示した被子植物の平均値である N : 30 000, P : 2300, K : 14000, Ca : 18000, Mg : 3200, Fe : 140, Mn : 630 (単位はppm) と比較すると, Caはホテイアオイの方が葉, 根のいずれにおいても低かった (26—93%)。また, P (120—313%), K (107—534%), Fe (125—4670%) はホテイアオイの方が葉, 根のいずれにおいても高かった。Feの含有濃度については, とくに根中濃度が高く, Table 6. に示した用水路 d の根については異常に高い値 (17400 ppm) がみられた。Kの含有濃度が高いことについては, Experiment Station Record (1919) によると, Finlow らもホテイアオイ中のKの含有濃度は8%であり, 有機質肥料のK供給原として重要であることを述べている。

Pire (1960) はホテイアオイを家畜の蛋白飼料として利用しようとする研究を行なっているが, その際に問題となるN含有濃度について, 本実験における葉中濃度はTable 5., 6. に示すとおりで, Bowen (1966) が示した被子植物についての平均値よりも24—35%高い値であった。また, 結果の部1・2で述べたように葉中のN濃度は栽培液中のN濃度が高くなるに従って高くなり, Table 4. で認められるように最高45800ppmとなった。このよ

うに葉中のN濃度と栽培液中のN濃度の間に, なんらかの関係があることは Allenby (1968) もウキクサについて報告している。

Culley ら (1973) はウキクサの飼料化に関して報告しており, その中でウキクサの粗蛋白含有率と現在使用されている飼料のそれを比較している。そこで彼らの報告を参考として, ホテイアオイについて考えると, 本実験で得られた葉中のN濃度の最高値は前述のように45800 ppmであり, この値を粗蛋白含有率 (乾量基準) に換算すると28.6% (N濃度 $\times$ 6.25) となり, この含有率はアルファルファ (ムラサキウマゴヤシ草) の20.0%と大豆の37.0%の間の値となる。ホテイアオイは豚舎汚水の処理に用いられ (酒井, 1973) N : 204ppm, PO₄ : 45ppm のような高栄養濃度で栽培されており, このようなホテイアオイはさらに粗蛋白含有率が高くなることが期待できる。

2. 生長率 ホテイアオイは一般に18°C以上の水温で活発に生長するが, Fig. 2. において, 生長率とともに示した実験池の水温は5月中旬以降, 10月中旬の間で18°C以上になっている。したがって, この期間は, ホテイアオイが最もよく生長する期間で, 生長率の変化曲線は水温が最も高い8月上旬を頂点とした山形の曲線になると思われる。しかし, Fig. 2. に示した生長曲線では, 生長率は6月下旬から7月初旬の間に梅雨による日射量の

減少のために一時的に低下した。また、春季の5月中旬—6月中旬と秋季の9月中旬—10月中旬の生長率を比較すると、水温は同じか、いくぶん秋季の方が高いにもかかわらず、生長率は春季の方が大きくなっている。この原因の一つとして春季と秋季のホテイアオイの生育状態の違いが考えられる。すなわち、春季のホテイアオイは、その特徴である球形の浮子（フロート）がじゅうぶん球形をおびており、水面に位置してホテイアオイを浮遊させる役割をなしている。しかし春季から夏季にかけて、日射量が増加するとともに、いくぶん密生状態になって浮子がなくなり、植物体の全長も春季の3—5倍に達する。この状態は秋季の10月下旬まで続く。したがって、春季のホテイアオイの方が、葉の全面に日光を受けやすく、光合成にあずかる葉部の割合が大きくなる。

3. ホテイアオイの無機元素貯蔵量の算出 Fig. 2. に示した生長率を月別に平均すると、その値は5月 0.052, 6月0.058, 7月0.078, 8月 0.074, 9月 0.054, 10月 0.029, 11月0.014, 12月 0.008となった。

この値を用いて実験池におけるホテイアオイの無機元素の貯蔵量を算出する。5月1日に乾重量で1g（湿重量では16.6g）のホテイアオイを実験池に浮かべて、全く除去せずに生育可能最終日の12月15日（Fig. 2. から推定）まで生長させる。結果の部2. の生長率の計算式を用いて生長量を算出すると、5月1日に1gであったホテイアオイは12月15日には49.0kgまで生長することになる。さらに、ホテイアオイの葉と根の乾燥重量比は平均3.2対1.0（ $n=20$ ）であること、およびTable 5. の平均含有濃度から1gのホテイアオイがこの期間に貯蔵する各元素量を計算すると、N：1.7, P：0.34, K：1.3, Ca：0.37, Mg：0.17, Fe：0.1, Mn：0.046（単位はkg）となる。

つぎに、実験池の場合と同様に河川（用水路を含む）におけるホテイアオイの無機元素の貯蔵量を算出する。結果の部3. の実験池と河川の間で生長率の比較実験の結果から、5月1日から12月15日の間のホテイアオイの生長量は前に算出した実験池における生長量49.0kgを用いる。また、無機元素の含有濃度は、Table 6. の平均含有濃度を用い、葉と根の乾燥重量比はTable 6. のものについて平均4.3対1.0（ $n=20$ ）であったことから、河川においてホテイアオイがこの期間に貯蔵する各元素量はN：1.8, P：0.25, K：3.3, Ca：0.61, Mg：0.24, Fe：0.067, Mn：0.094（単位はkg）となる。

これらの河川についての算出値と前に算出した実験池についての値を比較すると、KとMnの貯蔵量について大きな差が認められ、河川の方がKで2.5倍、Mnで2.0倍

大きかった。また、河川における貯蔵量を日本の平均河川水質を有する河川水の水量に換算すると、N：5800, P：36000, K：2800, Ca：69, Mg：130, Fe：280（単位は m^3 ）中に含まれる各元素量に相当すると計算され、河川水中からのホテイアオイの元素の吸収、濃縮率はPが最も大きいことが分る。

なお、5月1日に乾重で1g（湿重では16.6g）のホテイアオイが12月15日に49kgになったときに占める河川水表面積は、この期間の平均存在量が1 m^2 あたり乾重で251gであったことから、約200 m^2 と計算される。

Penfound ら（1948）はホテイアオイの生態に関する報告の中で、その生育量について簡単な測定値を述べているので、その値と著者らの測定値とを比較する。彼らは、ルイジアナ州ニューオリンズにおいて、ホテイアオイは平均2週間で株数は2倍になり、8ヶ月間に1株が65536株になるだろうと報告している。株数が2倍になるというこの報告を、重量も2倍になるものと考えて、本報告の生長率の計算式から生長率を算出すると0.048となる。いっぽうFig. 2. に示したホテイアオイの生長率の値をすべて平均すると0.054（ $n=49$ ）となり、Penfound らの値と同程度の値となる。なお、この生長率は測定された地方の気候によって異なるものであるが、Penfound らの測定地のニューオリンズと本実験地の福岡との気候は年間をとおしてよく似ており、5月から12月の平均気温差は約3℃である。

要 約

日本において、ホテイアオイは主要な水生の雑草として、その被害が報告されている。

このホテイアオイを河川、湖沼などの富栄養化の防止に利用するという目的で、無機元素の代謝に関する基礎的実験と無機元素の貯蔵量を算出するための実験を行った。

ホテイアオイを家畜の飼料として利用する際には、高いN含有濃度が要求されるが、ホテイアオイ中のN含有濃度は栽培液中のN濃度が高くなるに従って2.95倍まで高くなり、葉中濃度は15500ppmから45800ppmとなった。ホテイアオイの生長率の季節変化および無機元素の含有濃度を求め、それらの結果から無機元素の貯蔵量を算出した。河川（用水路を含む）では5月1日に乾重で1gのホテイアオイは12月15日までに49kgに生長し、その間にN：1.8, P：0.25, K：3.3, Ca：0.61, Mg：0.24, Fe：0.067, Mn：0.094（単位はkg）を貯蔵するという結果が得られた。また、この貯蔵量を河川水の水量に換算するとN：5800, P：36000, K：2800, Ca：69, Mg：130, Fe：280（単位は m^3 ）に相当した。

謝 辞

本研究に際し、御鞭撻を賜った当センターの木藤壽正環境科学部長、高橋克己副所長、猿田南海雄所長に深謝いたします。また、有益な御意見を賜った九州大学医学部衛生学教室、石西 伸教授に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- 1) Allenby, K. G. : Some analyses of aquatic plants and waters. *Hydrobiologia*, **32**, 486 (1968)
- 2) Bowen, H. J. M. : Trace element in biochemistry. Academic Press Inc., London, 68 (1966)
- 3) Culley, D. D., Jr., and E. A. Eppes : Use of duckweed for waste treatment and animal feed. *Journal W. P. C. F.*, **45**, 337 (1973)
- 4) Experiment Station Record, 39, Government Printing Office, Washington, 523 (1919)
- 5) Holm, L. G., L. W. Weldon, and R. D. Blackburn : Aquatic weeds. *Science*, **166**, 699 (1969)
- 6) 石関秀穂：尿尿浄化槽設計資料集。相模書房，東京，9 (1961)
- 7) 小林純：水の健康診断。岩波書店，東京，16付 (1971)
- 8) 森下郁子：ホテイアオイの繁茂する湖をめぐって。日本水処理生物学会誌，**11**，2，6 (1975)
- 9) Penfound, W. T. and T. T. Earle : The biology of the water hyacinth. *Ecol. Monogr.*, **18**, 447 (1948)
- 10) Pirie, N. W. : Water hyacinth, a curse or crop?. *Nature*, **185**, 116 (1960)
- 11) 酒井英市：ホテイアオイによる豚ふん尿汚水の浄化処理。畜産の研究，**27**，533 (1973)
- 12) 田口亮平，田崎忠良：植物生理生態学実習。養賢堂，東京，65 (1973)
- 13) 武川満夫：養液栽培。農業図書，東京，25 (1973)