植物における重金属の動態 (I) 水生植物による重金属の取込み

後藤 武・入江 敏勝

The Behavior of Heavy Metallic Elements in Plants (I) The Uptake of Heavy Metallic Elements by Aquatic Plants

Takeshi GOTOH and Toshikatsu IRIYE

Abstract

The experiments of uptake of heavy metallic elements in aquatic plants were carried out to elucidate the behavior of these elements in aquatic plants. Two hydroponic plants, *Eichhornia crassipes* and *Egeria densa*, were cultivated for 30 days in culture solution which contained various amounts of metallic elements such as Cd, Cr, Cu, Fe, Mn and Zn. The uptake of Cd, Cr, and Cu which occurred in low levels in plants was increased with increase of concentrations of metals in culture solution. Similar tendency was observed in the behavior of Zn, but no correlation was observed between the amount of Mn uptake and the concentration of Mn in culture solution. Ferric ions were precipitated as iron (III) hydroxide immediately after the addition. Nevertheless, the plant took in a large amount of ferric ions from culture solution. It seems that a plant has a unique mechanism in regard to the uptake and the discharge of iron. When the culture solution was exchanged every 10 days during the cultivation of *Egeria densa*, the amounts of uptake of heavy metallic elements, except iron, increased for 30 days. The uptake of iron by the plant decreased temporarily and began to increase since then.

Key words : heavy metallic elements, aquatic plants, uptake of metals.

1. 諸 言

放射性物質、微量重金属、人工有機化合物等による水圏の人為汚染が問題になって久しい。一般にこれらの物質は水圏中に放出されると圧倒的多量の水によって希釈され検出限界以下の濃度になることも多いが、そのような場合でも水中の植物、動物あるいは微生物等がそれらを体内に取込み、更に食物連鎖によって高等生物の体内にも蓄積されていって、結局人類に悪影響をもたらすことになる。こうしたことを未然に防ぐには水の分析もさることながら、水中に生息している生物中に蓄

積されているこれら汚染物質の濃度とそれらの分布の調査が重要である。これにより汚染評価をする場合、我々が知りたいのは生物体に含まれている汚染物質の全量ではなく、実際に環境汚染に由来してもたらされた量である。これは通常コントロール地点から採取した試料との比較によって求めているが、この汚染を評価するためには更に汚染物質の生物への取込み機構を知ることが非常に重要である。従来からこれに関する研究は植物生理学、農学、地球化学等様々な分野、立場で行なわれて来ているが、例えば人工環境の特殊な条件下での実験 (例えば RÖMHELD and MARSCHNER,

1986; KÖRNER *et al.*, 1987),あるいは天然における分布と環境との関連性の調査(例えば一国・GAUTAM, 1981; 多田ら, 1982; KOVALEVSKIY, 1984; 平尾ら, 1986)等が多く, 比較的長い期間にわたる取込みにおける重金属の挙動や生物種による差異等についての知見は必ずしも十分とは言えない。本研究では植物に取込まれる重金属の動態を明らかにする目的で, 2種の水生植物(ホテイアオイ *Eichhornia crassipes* とカナダモ *Egeria densa*)を試料とし, 人工環境において様々な濃度の6種の重金属イオン(カドミウム, クロム, 銅, 鉄, マンガンおよび亜鉛。以下実験6金属と言う。)を添加した水溶液中で栽培し, 重金属の添加量とその取込み量との関係および取込み量の経時変化を調べた。

2. 実 験

2-1. 水 耕 栽 培

2-1-1. ホテイアオイ

ホテイアオイを栽培している池の水3ℓを入れた5個のビーカーに, 肥料*2gとTable1に示すような濃度の実験6金属を加え, 池から採集したホテイアオイを1株ずつ入れて30日間栽培した。この間蒸発量に見合う蒸溜水を適時加え, 栽培する水量は一定になるようにした。実験は夏季と冬季の2回行なったが, 夏季は暗室で約1万ルクスの蛍光灯の光を12時間毎に12時間ずつ照射しながら, また, 冬季は温室内(気温約18°C, 明る

さは曇りの日中で6,000~7,000ルクス)で栽培した。

2-1-2. カナダモ

蒸溜水3ℓを入れた5個のビーカーに肥料2gと, Table1に示すような濃度の実験6金属を加え, 業者から購入した長さ20~30cmのカナダモ12~3本を入れて, 穴をあけたサランラップで蓋をし, 暗室でホテイアオイと同様な条件で数十日間(後述)栽培した。実験は春, 夏, 冬の3回行なったが, 夏季の実験では途中で全部枯れてしまいデータは得られなかった。また, 冬季の実験では10日目毎に栽培溶液を更新した場合と, しない場合との比較を行なった。この場合, 更新した溶液は始めに添加したと同じ濃度の実験6金属の溶液を用いた。

なお, 栽培溶液のpHの調節は特に行なわなかったが, すべてpH5~8の範囲内にあった。故に高濃度の金属溶液特に鉄イオンを加えた時には直ちに水酸化物と思われる沈澱の生成が認められた。

2-2. 分 析 方 法

2-2-1. 植物試料の分析

110°Cで乾燥した試料を硝酸一過塩素酸で湿式灰化し, 重金属の分析はアメリカIL社製モデルIL-151原子吸光分析計を用いた原子吸光光度法によった。

2-2-2. 栽培溶液の分析

栽培溶液を東洋濾紙製メンブラン・フィルター(0.45μm)でろ過し, 硫酸・硝酸・過酸化水素水

Table 1. Initial added concentrations of heavy metals in culture solution. (mg·l⁻¹)

Lot No. Metals	control	1	2	3	4
Culture solution of <i>Eichhornia crassipes</i>					
Cd, Cu	0.00	0.01	0.04	0.10	0.40
Cr, Mn, Zn	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00
Fe	0	1	4	10	40
Culture solution of <i>Egeria densa</i>					
Cd, Cr, Cu	0.00	0.05	0.10	0.20	0.50
Fe, Mn, Zn	0.0	0.5	1.0	2.0	5.0

Used salts for each metallic element :

Cd(II) : CdCl ₂	Fe(II) : Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ · 6H ₂ O
Cr(VI) : K ₂ Cr ₂ O ₇	Mn(II) : MnCl ₂ · 4H ₂ O
Cu(II) : CuCl ₂ · 2H ₂ O	Zn(II) : Zn(CH ₃ COO) ₂ · 2H ₂ O
or CuSO ₄ · 5H ₂ O	or Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O

* 肥料の主成分は, アンモニア態窒素17%, リン酸態リン19%及び可溶性カリウム10%であった。また, 肥料1g当りの可溶性の重金属量はFeが最大の870μgで, 他は数μg~数10μgであった。いずれも実験で添加した量に比べれば小さいので無視した。

を加えて加熱し有機物を分解後、上記の方法により重金属の分析を行なった。

3. 結 果

3-1. ホテイアオイ

3-1-1. 生育状況

夏季（7～8月）の実験に用いたホテイアオイは1株30～50gのもの、冬季（11～12月）のそれは1株50～80gのものであった。それぞれ30日間栽培したが、夏季にはかなりの成長を示したのに対し冬季にはほとんど成長が認められなかった。それぞれ30日間栽培後における湿重量と乾燥重量をTable 2に示す。

3-1-2. 重金属の取込み

30日間栽培後、植物を葉部、葉柄部および根部の3つに分けてそれぞれの重金属含量を測定した結果を元素毎にFigure 1に示す。重量の単位は乾燥した植物1g中に含まれる重金属の重量で示し（以下 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DM}$ と表す。）、横軸のcont, 1, 2, 3, 4はホテイアオイを栽培したロットの番号でTable 1に示した番号と対応している。

この図から、植物の根部を除き夏季の方が冬季よりも取込み量が圧倒的に多いこと、およびもともと植物中の含有量の低い元素（Cu, Cr, Cd）は栽培液への添加量が多いほど取込み量も多くなるが、もともと含有量の高い元素（Fe, Mn, Zn）ではこの傾向ははっきりしていない事が分る。そこで元の含量が低いカドミウムとクロムについてその取込み率を計算してみるとTable 3のようになり、かなり取込んでいることが分ったほか、冬季の方が取込み率が高いと言う興味ある事が分った。

3-1-3. 栽培溶液の水質変化

この水耕栽培で用いた水はホテイアオイの生育していた池の水である。この水のpHは7前後で、

栄養状態は貧栄養的であった。この水に肥料と種々の濃度の重金属を添加して栽培したわけであるが、栽培を始めて1～2週間後から水の色が黄変し始めた。栽培終了後この水を0.45 μm のメンブランフィルターでろ過し重金属を定量した。その結果をTable 4に示す。栽培期間中にカドミウム、クロム、銅および鉄は減少し、とくに鉄の減少は著しかった。この減少は植物に取込まれた以外に懸濁物等に吸着されたことも考えられるので、メンブランフィルターに保持された懸濁物（SS）中の重金属を定量した結果、Table 5に示すようにその量は僅かで、鉄のみは溶液中の濃度より高かったが、添加量に比べればかなり低いものであった。

3-2. カナダモ

3-2-1. 生育状況

春季（4～5月）に栽培したカナダモは、5つの内No. 4（Table 1参照。以下同じ）は20日目、No. 3は30日目にはすべて枯れてしまい分析できなかった。また、夏季に栽培したものは10日目に枯れてしまった。枯れたものはいずれも葉や茎が黒ずみ腐ったようになっていた。冬季の実験では30日間栽培した後でも枯れたものはなかった。

3-2-2. 添加量の違いによる重金属の取込みの日変化

取込み量の日変化をFigure 2に示す。図中各折線の傍の数字は各重金属の添加溶液の濃度（ $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ）である。実験6金属の内カドミウム、クロムおよび亜鉛の3元素はいずれも10～20日の間に急激な取込みが行なわれ、その後の濃度はほぼ一定か若干減少した。マンガンもやや似ている取込まれ方をしたが、10日目に極大値を示し、その後減少した点が前の3元素と異なっている。鉄はこれ等と異なり初めの10日間程は $5 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 添加した物を除いてほとんど取込まれないが、その後は20日

Table 2. Wet and dry weights of *Eichhornia crassipes* after cultivation for 30 days.

Season	lot No.	Wet weight (g)			Dry weight (g)		
		Leaf	Petiol	Root	Leaf	Petiol	Root
Summer	control	—	5.50	11.54	—	0.26	0.35
	1	1.94	8.51	10.20	0.12	0.20	0.34
	2	2.18	9.39	6.33	0.14	0.26	0.24
	3	8.62	17.88	19.47	0.65	0.58	0.65
	4	2.15	15.00	21.20	0.27	0.43	0.66
Winter	control	2.76	23.72	20.82	0.41	0.99	1.17
	1	4.27	33.54	32.27	0.49	1.20	1.67
	2	2.48	16.53	53.49	0.33	0.90	2.49
	3	5.15	21.80	33.52	0.64	1.20	1.50
	4	3.25	24.23	38.22	0.56	1.04	1.78

Fig. 1 The contents of six heavy metals in *Eichhornia crassipes* after cultivation for 30 days. The left and right figures indicate the results of cultivation in summer and in winter, respectively. The numbers on abscissa indicate the lot number in Table 1.

□ root, ▨ petiol, ▤ leaf.

Table 3. Amounts and ratios of uptake of Cd and Cr in *Eichhornia crassipes*.

		Added amount to water (mg)		Content in plant (mg)		Uptake ratio (%)	
		Cd	Cr	Cd	Cr	Cd	Cr
Summer	control	0.00	0.00	0.00	0.02	—	—
	1	0.03	0.15	0.01	0.01	33	7
	2	0.12	0.60	0.03	0.04	25	7
	3	0.30	1.50	0.21	0.21	70	14
	4	1.20	6.00	0.22	1.29	18	22
Winter	control	0.00	0.00	0.01	0.05	—	—
	1	0.03	0.15	0.04	0.09	133	60
	2	0.12	0.60	0.08	0.23	67	38
	3	0.30	1.50	0.27	0.72	90	48
	4	1.20	6.00	0.56	2.88	47	48

Table 4. Concentrations of heavy metals in culture solutions after cultivation for 30 days. (mg·l⁻¹)

	Summer					Winter				
	control	1	2	3	4	control	1	2	3	4
Cd	0.00	0.01	0.04	0.10	0.40	0.00	0.01	0.04	0.10	0.40
	ND	0.002	0.010	0.021	0.26	ND	ND	0.010	0.020	0.16
Cr	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00
	0.006	0.006	0.006	0.029	0.064	0.002	0.002	0.003	0.010	0.012
Cu	0.00	0.01	0.04	0.10	0.40	0.00	0.01	0.04	0.10	0.40
	0.009	0.012	0.012	0.017	0.074	0.005	0.008	0.007	0.017	0.032
Fe	0.0	1.0	4.0	10.0	40.0	0.0	1.0	4.0	10.0	40.0
	0.19	0.17	0.20	0.40	0.19	0.09	0.06	0.04	0.07	0.02
Mn	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00
	0.14	0.09	0.20	0.53	2.0	0.46	0.91	1.49	0.82	2.28
Zn	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00	0.00	0.05	0.20	0.50	2.00
	0.12	0.10	0.17	0.65	1.8	0.25	0.52	0.63	0.78	1.96

The upper and lower values indicate the load concentration and concentration after cultivation for 30 days, respectively.

Table 5. Concentrations of heavy metals in SS fraction of culture solution. (mg·l⁻¹)

Lot No.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn
control	ND	0.007	ND	0.20	0.004	0.008
1	ND	0.008	ND	0.18	0.007	0.009
2	ND	0.005	ND	0.15	0.006	0.004
3	0.002	0.016	ND	0.33	0.005	0.008
4	0.003	0.062	ND	1.34	0.011	0.024

Fig. 2 Changes of concentrations of six heavy metals in *Egeria densa* during the cultivation for 30 days. The numbers in figures indicate the concentrations of added metallic elements in ppm.

過ぎてもずっと増え続けた。銅は添加量によって様々な取込まれ方をしている一つの傾向は見られなかった。一般に添加量と取込み量（あるいは蓄積量）の間に良い相関が見られたのはカドミウム、クロム、亜鉛であった。これを栽培 10 日目における値で示すと Figure 3 の様になり、クロムが特に良い直線性を示している。これら 3 元素はいずれもカナダモ中の含量がもともと低い元素である。(Table 6 参照)

3-2-3. 栽培溶液を更新した時の重金属の取込み

Table 6 にコントロールとして重金属をまったく添加しない溶液（蒸留水に肥料のみ添加したもの）中でカナダモを栽培した時の実験 6 金属の含量の日変化を、10 日目毎に溶液を更新した時としない場合について示す。日数を経る毎に僅かながら増える元素もあったが、溶液を更新した時としない時との差は殆ど無いと言ってよい。次に $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ のカドミウム、クロム、銅および $1.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の鉄、マンガン、亜鉛を加えたものについて上と同様な実験を行なった結果を Figure 4 に示す。カドミウム、クロム、銅、マンガンおよび亜鉛は栽培溶液を更新しなかった時には 10~20 日間で取込みが見掛上止まったのに対し、更新した時はむしろ 20 日目以降に加速度的に取込みが進んだ。そして 30 日間で取込まれた量はその 5 倍の濃度の溶液中で 10 日間に取込まれた量よりも多かった。一方鉄の挙動はこれらの元素と異なり、栽培溶液を更新

する、しないにかかわらず 10 日目位に一旦取込み量が減少しその後増加して行った。しかし溶液を更新した時でも他の 5 元素の様に加速度的に取込まれると言った事はなかった。

4. 考 察

4-1. ホテイアオイ

4-1-1. 重金属の一般的取込み傾向

ホテイアオイは水中に髭根をのばし水上には葉部と丸くふくらんだ葉柄を持つ浮き草である。一般に植物中の重金属濃度は取込み部で最も高く、そこから離れるに従って低くなる傾向があるが、本実験においても全ての重金属濃度が根>葉柄>葉の順に低くなっている。また金属の取込み量は一般に蒸発量が多いほど多くなると言われているが、本実験においてもマンガンを除き蒸発量の多い夏季の方が冬季よりも多く取込まれた。但しこれは水上に出ている葉柄と葉の部分であって、根の部分における重金属濃度は夏、冬でほとんど変わらなかった。ただこの根の部分は常に水中にあるために金属元素が吸着することが考えられるので、根による取込みの中にはこの吸着による部分も含まれるであろう。これを区別するためには植物を化学的に分別抽出し、各金属元素の存在形態を調べる必要がある。本研究でもこの方法を試みたが、ホテイアオイの根の部分は試料が僅かなため分別抽出が出来なかったので、カナダモについてこれを行なった結果を続報に述べる。

Fig. 3 The relationships of Cd and Cr (a) and Mn and Zn (b) between load concentrations in culture solution and contents in *Egeria densa* after cultivation for 30 days after.

Table 6. Changes of heavy metal contents in *Egeria densa* during the cultivation for 30 days with no metal addition. ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{DM}$)

element	before cultivation	after 10 days	after 20 days	after 30 days
Cd	0.004	0.007	0.007 0.008	0.010 0.012
Cr	0.005	0.010	0.020 0.009	0.027 0.020
Cu	0.045	0.049	0.048 0.052	0.049 0.067
Fe	4.9	5.2	3.3 2.3	4.9 3.9
Mn	2.9	2.3	2.1 1.7	2.2 2.6
Zn	0.27	0.30	0.39 0.30	0.36 0.41

The upper and lower values in the columns of after 20 and 30 days are the contents without and with exchanges of the culture solution during the cultivation, respectively.

なお、鉄などの低い pH で沈殿してしまう金属イオンは、栽培液に添加すると直ぐに水酸化物として沈殿してしまうが、金属添加後入れたホテイアオイの根の表面には目につくほどの鉄水酸化物の沈殿は認められなかった。

4-1-2. 各金属元素の挙動の特徴

カドミウム、クロム、銅……これらの元素の植物体中のもとの含量は極く低いが、カドミウム以外は生物の必須元素である。実験の結果これら微量にしか存在しない元素は水中濃度にほぼ比例して取込まれることが分った (Fig. 1)。添加量に対する取込みの割合も高く、Table 3 に示した様に 30 日間で特に冬季の蒸発量の少ない時期の取込み率は高い。

亜鉛……この元素の植物中の含量は上記 3 元素よりは高いが次の鉄、マンガンよりは低い。溶液への添加量と取込み量との間には上記の様な明確な関係はないが、全く否定もできない。この金属の大きな特徴はその移行性の高さにあり (芽野, 1973), 特に蒸発量の多い夏季には水中部と水上部の間に濃度差が殆ど無くなっていた。

マンガン……この元素の挙動は非常に独特で、溶液への添加量を多くしてもその取込み量は増加せず、反対に減っていることもあった。また、このものだけが夏季より冬季の方の取込み量が多かった。ホテイアオイはこの元素に関しては特別の取込み、排出の機構を持っていて、体内濃度をコントロールしていることがうかがわれる。しかも通常の天然水中のマンガン濃度は $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ~ 数十 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ のオーダーであるので、このものの取込み機

構はかなり効率の良いことが推定される。

鉄……鉄はイオン (塩) として多量に添加しても Table 4 に示したように溶液中の濃度はかなり低くなっている。これは言うまでもなく水酸化物として沈殿してしまうためである。それにも拘らず添加量の増加に応じて取込み量も増加すると言うことは、このものの取り込みがイオンや可溶性錯体等の溶存状態のものには限らないことを意味している。

RÖMHELD と MARSCHNER (1986) は水酸化鉄からの鉄の取込みについて 2 つの方法があることを述べている。一つは還元酵素とプロトン放出に依存する方法、もう一つは 3 価の鉄と安定なキレート化合物を作る物質 (phytosiderophores) を根から放出して水酸化鉄を溶かして取込む方法である。ホテイアオイも恐らくこのような機構で水酸化鉄から鉄を取込んでいるのではないかと考えられる。

以上のように各元素それぞれに特徴ある挙動を示している。概して必須性の高い元素に対しては効果的な取込み—排出機構を持つようであるが、余り必須性の無い元素は水中濃度に応じてどんどん取込み、体内に蓄積してしまうように見受けられる。それで最も多量の重金属を添加したものは 1 ヶ月後には葉が茶色がかって、明らかに重金属の障害のあることが観察されたが、かようなことはホテイアオイが本実験に使った金属元素の内、特にカドミウム、クロム、銅等の指標植物として有用であることを示唆している。

4-2. カナダモ

4-2-1. カナダモ中の重金属含量

Fig.4 Changes of concentrations of six heavy metals in *Egeria densa* with and without exchange of culture solution.

Table 7. Heavy metal contents in *Egeria densa* before cultivation. (mg·g⁻¹DM)

	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Zn
Spring	0.004	0.006	0.32	0.88	1.01	0.27
Summer	0.003	0.004	0.032	2.6	3.9	0.33
Winter	0.004	0.005	0.045	4.9	2.9	0.27

カナダモは湖沼や河川に群生する沈水植物で、根はほとんど無く、栄養等は葉、茎から吸収している。試料は春、夏、冬の3回にわたって業者から購入したため、その重金属含量に固体差の有ることが考えられるので、購入時期毎に数本の試料を抽出して実験6元素の含量を測定した。その結果をTable 7に示す。銅含量は春に購入したものに、鉄とマンガンの含量は夏と冬に購入したものに高かった。これらの事は実験結果を考察する際に考慮しなければならない事である。

4-2-2. 重金属取込み量の日変化

Figure 2に示したように、栽培溶液に添加した重金属量が多くなるほど取込み量も多くなるが、特にカドミウム、クロムおよび亜鉛の3元素は10日～20日の間に取込みが終わってその後は一定か、場合によっては減少するものも見られた。この原因として次の三つの事が考えられる。

①栽培溶液中と植物体中のこれら元素の濃度が定常状態になった：Bariaud *et al.* (1985) はミドリムシの一種 (*Euglena gracilis*) を用いたカドミウムの蓄積の実験で、生体中のカドミウムの定常状態 (または飽和状態) は外部溶液中のカドミウム・イオン濃度と細胞壁のカドミウム・イオンに対する抵抗性に依存するということを報告している。このことは栽培溶液中の重金属濃度によって植物体へ取込まれる量が決まってくると言うことを意味している。

②栽培溶液中の重金属が取込まれて無くなった (低濃度になった)：これは栽培溶液中の重金属濃度が特に低い場合には考えられる事であり、本実験において高濃度の重金属を添加した時にはなかなか一定にならなかった。

③植物の活動低下による：30日間も同じ溶液のまま栽培していると、特に夏季には水が腐敗して来て、それに従ってカナダモの葉や茎に張りが無くなり色も少し黒ずんで来た。このため重金属の取込み活動が低下してきた事が考えられる。

銅は栽培溶液に0.10 mg·l⁻¹添加した時 (Fig. 3) 異常な挙動を示したが、この実験に使用したカナダモは春季購入のもので、前述したようにもともと高い銅含量を示していたものである。この0.32

mg·g⁻¹DM という値 (Table 7) は植物中の銅含量としては異常に高く、何らかの汚染があった疑いがある。夏、冬季購入のものを使って行なった実験ではカドミウム等と同じような挙動を示した。

マンガンの挙動は前記カドミウム等3元素と似ているが、これらの元素は20日目以降から減少し始めたのに対し、マンガンでは10日目から早くも減少し始めている。ホテイアオイの所で述べたように、植物は必須性の高い元素のコントロールについては巧みな機構を有するようなので、一度取込まれたマンガンは過剰になると排出機構が働いて減少するのもかも知れない。

鉄は以上の5元素と大きく異なり30日目まで取込みが続き減少することが無い。やはりホテイアオイの所で述べたように植物の鉄の取込みは、鉄が水酸化物として沈澱するが故に、特殊な機構を有するらしいので、カナダモについてもこのような機構が働いているのかも知れないが、ここではこれ以上の事は言えない。

次に、栽培溶液を10日目毎に取替えた時の日変化を見ると、この場合は途中で取込みが止むことなく30日目まで続き、しかもその取込み速度が段々と早くなっている (Fig. 4)。交換溶液には前と同濃度の重金属が入っているので、溶液を更新しない時に比べ植物はより多い重金属にさらされる事になり、しかも重金属元素は長時間の間には沈澱したり懸濁粒子に吸着して溶存状態のものが減ってくるが、更新すればかような事が少なくなるので、鉄を除いて重金属は新鮮な溶存状態を保っている事になる。更に栽培溶液自体も新鮮さを保ち腐敗しないので、植物の活動も阻害されることが無い。このような事が重なって取込み量の増大につながったものと思われる。但し鉄だけは他元素の傾向と少し異なり、増加してはいるものの途中で一時減少し、その後の増加も加速度的ではなかった。前にも述べたように鉄の取込みに対しては他元素とは異なる機構が働いている事がここにもうかがわれた。

摘 要

ホテイアオイとカナダモを使い, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn および Zn を種々な量添加した栽培溶液中で 30 日間水耕栽培し, これらの取込み量を調べた。その結果 Cd, Cr, Cu のように, もともと存在量の低い元素の取込み量は水中濃度の増加に従って増え, Zn にもややこうした傾向が見られたが, Mn の取込み量は添加量と全く相関が認められなかった。また Fe は添加直後に水酸化物として沈澱するにも拘らず多量取込まれた。Mn や Fe に関して植物は特別な取込みや排出機構を持っていると推定された。カナダモにおいて 10 日毎に栽培溶液を更新した所取込み量は 30 日間増え続けたが, Fe のみ途中で一時減少した増加すると言う, 他元素とは異なる挙動を示した。

文 献

- BARIAUD, A., M. BURY and J. C. MESTRE (1985) : Mechanism of Cd^{2+} resistance in *Euglena gracilis*. *Physiol. Plant.*, 63 : 382-386.
- 平尾良光, 山川 紘, 前田 勝, 松本哲一, 奈良志伸, 花見英俊, 薦田康夫, 木村 幹(1986) : 海藻における鉛の分布. 地球化学, 20 : 29-38.
- 一国雅己, M. GAUTAM(1981) : オオケタデの葉と種子の化学組成 : 土壤中の重金属の地球化学的指標としての有用性. 地球化学, 15 : 25-31.
- 多田 史, 和田由紀子, 鈴木静夫(1982) : 渡良瀬川の底質およびオオイヌタデ中の重金属. 陸水雑, 43 : 44-47.
- KOVALEVSKIY, A. L. (1984) : The cadmium informativeness of various plant species. *Geochem. Int.*, 21 : 148-157.
- KÖRNER, L. E., I. M. MØLLER and P. JENSEN (1987) : Effect of Ca^{2+} and other divalent cations on uptake of Ni^{2+} by excised Barley roots. *Physiol. Plant.*, 71 : 49-54.
- 芽野充男(1973) : 重金属の吸収時期および吸収経路と水稻玄米中への重金属取込み量との関係. 土肥誌, 44 : 204-210.
- RÖMHELD, V. and H. MARSCHNER (1986) : Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophores in roots of grasses. *Plant Physiol.*, 80 : 175-180.

(著者 : 後藤 武*・入江敏勝, 山形大学理学部, 〒990 山形市小白川町 1-4, *現在 : 島津製作所勤務 ; Takeshi GOTOH and Toshikatsu IRIYE, Department of Chemistry, Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12, Kojirakawa-machi, Yamagata 990)

1988 年 4 月 12 日 受付

1989 年 6 月 27 日 受理