

ダイズ幼植物の重金属吸収と挙動 (第2報) Znの吸収

山本満寿夫

(信州大学繊維学部応用生物科学科)

はじめに

植物にたいして多くの重金属元素が、欠乏症と過剰症の問題で収穫量や品質の低下をもたらすが、特に近年の我が国では、前者よりも後者に対して問題が多い。

著者は、汚泥等を農耕地還元して有効利用しようとする立場から、汚泥中に相当量含有¹⁾²⁾³⁾される重金属元素の土壌-植物系における挙動について情報を求める研究の手はじめとして、前報⁴⁾で、ダイズ幼植物に比較的低濃度のCd溶液を吸収させて、体内の各器官における吸収・蓄積等の挙動について検討を行った。

本報においては、Zn単独添加の場合とZnにCuを添加した時の吸収実験を行い、今後増加が予想され問題とされる、汚泥等を実際に農耕地に施用した時に生育させた植物体分析値を評価するための知見とすることを目的に研究を行った。

実験材料および方法

1989年7月5日及び1990年5月18日、ダイズ種子(品種:コガネダイズ)200粒を水耕装置上に播種し、発芽後Hoaglandの1/2強度水耕液を与えた。前者は17日間、後者は20日間栽培して初生葉展開時に生育均一な個体を選び、1ポット(ポリエチレン製)当たり8個体をZn溶液中に移植した。Zn溶液は原子吸光分析用のZn標準液{Zn(NO₃)₂}を段階的に希釈した。その濃度区は表1のとおりで、濃度区の設定は、1)に記述した。またCu添加溶液もZn標準液と同様原子吸光分析用のCu標準液を用いた。各処理区はNaOH溶液を添加してpHを5.5に調整した。Zn処理は25°C、2000luxのコイトロン中で4日間エアポンプ(コントロールタイマーで1時間間隔で1分間)で空気を送りながら処理をした。処理後の植物体は器官別(根、茎+葉柄、初生葉、生長部)に分けて、80°Cで乾燥後分析に供した。

1) Zn溶液およびZn+Cu溶液の濃度区の設定

群馬県では、「再利用資源土壌還元影響調査に係る総合解析調査」⁵⁾の中で、汚泥の適正利用基準を設定することを目的に、汚泥連用が農地および作物に及ぼす影響を5年間にわ

表1 Zn処理区と添加Zn, Cu濃度

処理区	Zn (ppm)	Cu (ppm)
Cont	—	—
A	0.0	0.00
B	16.3	0.00
C	32.6	0.00
D	53.5	0.00
E	79.8	0.00
F	0.2	0.05
G	14.0	4.06
H	27.7	4.10
I	45.2	4.17
J	65.6	3.54
K	12.3	8.56
L	25.7	8.92
M	38.3	7.13
N	58.4	5.73

たって検討を行っている。それによると堆肥・下水汚泥を施用した跡地土壌の可溶性 Zn 濃度が、水田系列で 5 トン/ha 施用した 9 作目で約 150ppm, 次いでし尿汚泥を施用した畑系列の 5 トン/ha 施用区でおよそ 65ppm, そして汚泥施用量が減少すると可溶性重金属濃度も大体において減少し、対照区においては 5~25ppm であった。

Cu については、水田系列の堆肥・下水汚泥 5 トン/ha 施用区が約 16ppm で高く、次いで水田、畑両系列とも堆肥・下水汚泥 2 トン/ha 施用区が 8~10ppm であるのに対して、し尿汚泥区は全般的に対照区に近い値で、4 ppm 前後であった。

それらの結果をもとに、さらに環境庁の「農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係わる管理基準」の 120ppm (作土の強酸分解性 Zn 濃度) を考慮して、表 1 に示したように、A 区から E 区まで 5 段階の Zn 濃度区を設けた。また A-E 区の Zn 濃度を目安にして F-N 区の濃度区を設け、F 区以外の G 区から J 区には Zn と Cu の相互作用をみる目的で約 4 ppm の Cu を添加し、K-N 区には約 8 ppm の Cu を添加した。なお表 1 に示した数値は、各処理区に添加した Zn, Cu 濃度の実測値である。

2) 分析方法

乾燥試料を乳鉢で粉碎し、約 0.25g を精秤してビーカーにとり HNO_3 5 ml, HClO_4 5 ml を加えてホットプレート上で加熱分解を行い、内容物がシラップ状になるまで加熱を続けた後ビーカーをおろし冷却、ビーカーの壁を少量の水で洗った後再度加熱し HClO_4 の白煙が十分発生したらビーカーをおろして冷却した。その後 N-HCl を加えて溶解してろ過後 25ml に定容した。これを試料溶液として ICP 発光分光分析法で測定を行った。使用した ICP 発光分光分析装置は、セイコー電子工業株式会社製の SPS1200 シーケンシャルシステムで 3600/mm のホログラフィック平面回折格子を持ち、測定範囲は 175-500nm である。

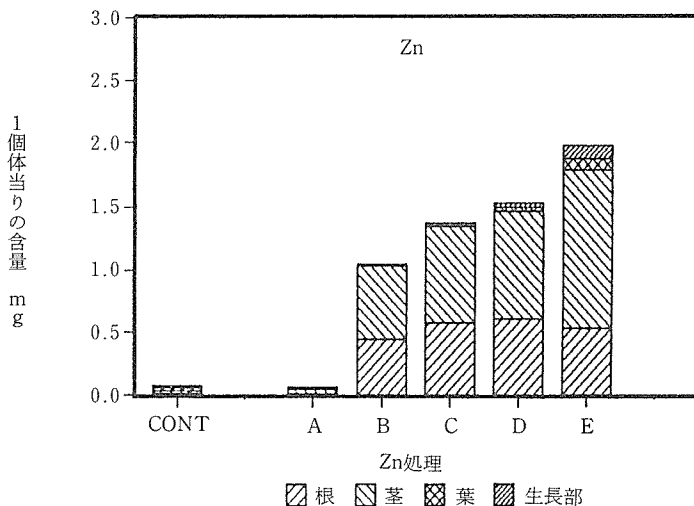


図1 ダイズ幼植物による Zn の吸収 (Zn 単独処理)

実験結果と考察

1) ダイズ幼植物による Zn の吸収 (Zn 単独処理)

図1は、1989年7月、17日間水耕栽培したダイズ幼植物に4日間Zn処理を行った結果を示した。縦軸にダイズ幼植物1個体当たりの含量、横軸に対照区とZn処理濃度区を器官別に示した。

その結果、1個体当たりのZn吸収量は、添加Zn濃度に相関して増加し、最高Zn濃度区ではおよそ2mgの吸収量を示した。各器官別にみると、根の吸収量はD区まで増加傾向を示すが、E区では減少したのに対して、茎ではE区で吸収・蓄積量が最高値

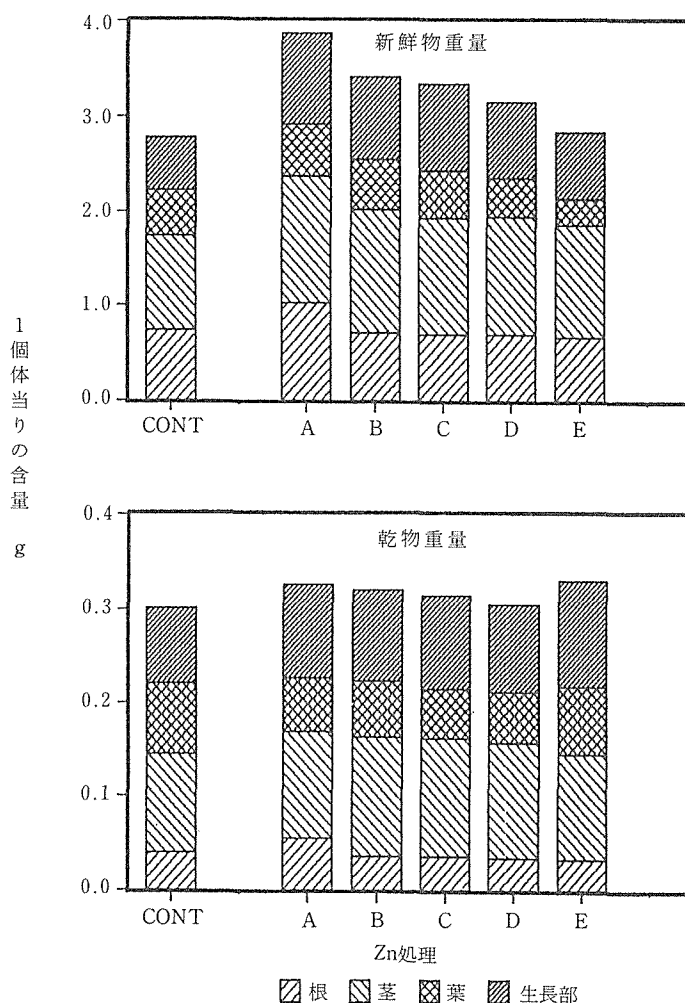


図2 Zn単独処理に伴う新鮮物重量と乾物重量

を示した。Zn 処理をした全区において茎の吸収量が高く、根即ち地下部に対して地上部の蓄積量が多い。このことは前報⁹⁾で行った Cd の吸収実験の結果とは挙動を異にしている。また A、B、C 区においては、生長部での吸収は殆どみられなかったが、その上の濃度区になると、葉および生長部へ移行する量の増加が明確であった。このように地上部への移行性は、Cd と比較して Zn の方がより高いことが推察された。

2) 新鮮物重量と乾物重量

ダイズ 1 個体当たりの新鮮物重量を図 2 に示した。縦軸にダイズ幼植物 1 個体当たりの重量、横軸に対照区と Zn 処理をした各濃度区を各器官別に示した。それによると 1 個体当たりの新鮮物重量は約 2.8 g から 3.8 g で、対照区と比較して Zn 処理区でやや重量の増加がみられた。しかし処理区 5 区において比較すると、A 区と最高濃度 E 区ではおよそ 1 g の差があり、特に葉と生長部の重量は、添加 Zn 濃度が増加するのに伴って顕著な減少傾向を示したが、茎はその両者に比べて減少が少なかった。次に根の重量についてみると、A 区に比べて他の 4 処理区では 28% ほど重量が低かった。

また、乾物重量も新鮮物重量と同様に示した。縦軸スケールは新鮮物重量の 1/10 で示されているが、重量について対照区と比較すると、Zn 処理をした各区の方がやや高いか、あるいはほぼ同じで、1 個体当たり約 0.3 g であった。また処理をした 5 区についてみると、D 区までは新鮮物重量とほぼ類似した傾向を示したが、最高濃度 E 区で葉と生長部の増加が顕著であった。

3) ダイズ幼植物による Zn 吸収と Cu の影響

図 3 は、1990 年 6 月、20 日間栽培したダイズ幼植物に対して、1) に準じて Zn 処理を施した区に、二段階の Cu 濃度すなわち 4 ppm と 8 ppm 前後の Cu を添加して吸収・蓄積をみた結果である。縦軸に 1 個体当たりの含量を示し、横軸には表 1 に示した F-N 区の Zn、Cu 添加処理区をとり、各器官別についてその挙動をみた。

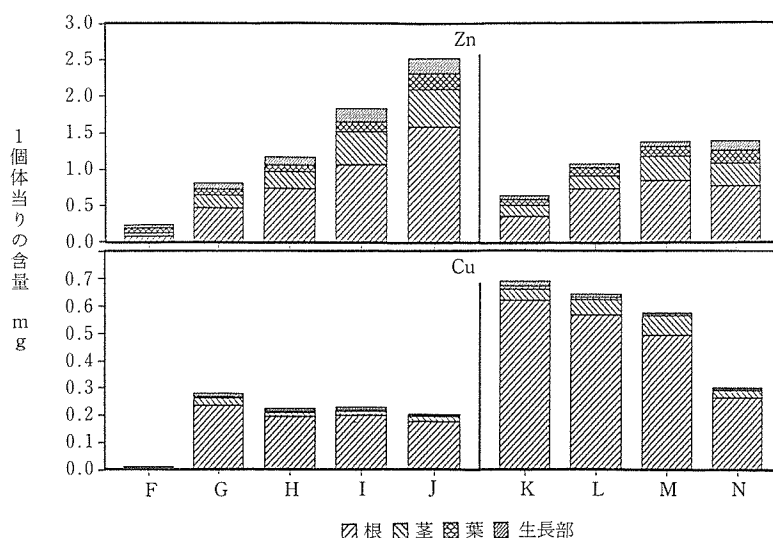


図 3 ダイズ幼植物による Zn 吸収に伴う Cu の影響

その結果、約4 ppmのCuを添加したF区からJ区についてみると、添加Zn濃度の増加に伴って1個体当たりのZn含量は増加して0.25mgから2.5mgの吸収量を示した。これは各器官別についてみてもやはり傾向は似かよっており、特に根の吸収量が大で、次いで茎、葉及び生長部は吸収量が大体同じであった。以上F区からJ区における結果は、Znを単独処理した結果とは挙動が異なり、各処理区ともより上部の器官まで移行し吸収されることが示唆された。そのときのCuの吸収量はG区からJ区にかけて漸減したが、殆どが根に蓄積して、その吸収量は0.20mg~0.27mgの範囲であった。

一方、およそ8 ppmのCuを添加したK区からN区のZn吸収量は、M区まではZn添加濃度に伴って吸収量が増加するが、最高濃度のN区において頭打ちになり、吸収量はM区とはほぼ同じ値の約1.3mgであった。この吸収量は添加Zn濃度がほぼ同じI区に比べておよそ25%の減少になり、さらに最高Zn濃度区であるJ区とN区の比較では、N区が約50%の減少になる。次ぎに、F-J区とK-N区を各器官別にみると、後者の方が根、茎の含量が激減しているが、その上部の葉、生長部に至ってはそれほどの減少がみられない。そして添加した約8 ppmのCuの吸収量は、K区が0.70mg、L区0.65mg、M区0.57mg、N区0.30mgで、Znとは逆の挙動をとり、N区ではM区の約半分に減少した。このようにCuの各器官における挙動は、Znに比較して葉、生長部まで移行する割合が極めて低かった。

この吸収実験の結果を新鮮物重量、乾物重量についてみたのが図4である。まず新鮮物重量はF、G両区が1個体当たり約6.5gであるが、H区からN区までの間で4.5gから3.2gまで減少した。これは減少率にして30%から50%となる。そしてF、G両区に比較してH-J区の器官上部の重量が減少して、葉、生長部が黄化した。このことはCu添加量の多いK-N区においても同様であるが、特に葉の重量はH-J区に比べて1/2~1/3に減少して、さらに黄化が著しく現れた。

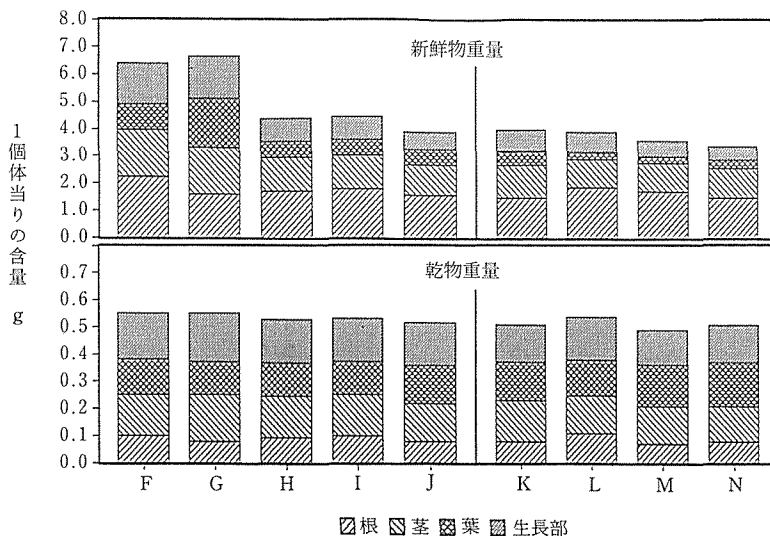


図4 Zn+Cu 添加処理に伴う新鮮物重量と乾物重量

さらに乾物重量についてみると、新鮮物重量に比べて重量の減少は小さく、0.50 g から0.55 g の範囲にあり、F、G区に比べてH-J区は約5%減少しているにすぎない。そしてK-N区についても全く同様でF、G区に比べて際立った減少はなかった。器官別にみても同様で、全区にわたってほぼ均一な分布を示しているが、F-J区とK-N区を比べて、K-N区の葉の重量がやや高い傾向を示し、新鮮物重量とはやや異なる傾向を示した。

4) Zn 処理に伴う器官別濃度

表2は、Zn 単独添加区および Zn+Cu 添加区の、A-N区について器官別に Zn 濃度を生体重当たり (ppm) で示した。その結果、Zn 単独処理区の B-E 区の根、茎の値が450~1060ppm と高い反面、葉、生長部においてはE区を除くと12~80ppm の範囲で極めて低かった。Zn は根にも茎、葉にも、また子実などの新しい部分にも比較的均一に多く分布する元素⁶⁾といわれるが、この処理方法では均一性がみられなかった。しかし処理濃度の高いE区では葉、324ppm、生長部、163ppm と高濃度になった。

次に、約4 ppm の Cu を添加した F-J 区と単独処理区を比較すると、J 区を除いて根、茎の濃度が減少して、Cu の添加が Zn の毒性を打消する方向に働いているように見えるが、葉、生長部の濃度は3~6倍高い値を示した。また、およそ8 ppm の Cu を添加した K-N 区では Zn と Cu がダイズの生育に対して F-J 区以上に拮抗~相加作用を及ぼしあっていることが推察され、根の濃度が低く、茎の値はほぼ類似しているが、葉の濃度は顕著に高く G-N 区においては、Zn と Cu との拮抗作用が示唆された。

5) Zn 処理に伴う各器官別濃縮率

図5は、Zn 濃度約12~80ppm の間の各器官別濃縮率を生体重当たりで表したものである。縦軸に生体重当たりの濃縮率、横軸に Zn 添加濃度を示した。それぞれ Zn 単独処理区、Zn+4 ppm Cu 添加区、Zn+8 ppm Cu 添加区に分けて表した。

その結果、Zn 単独処理区が他の二処理区に比して根、茎の濃縮率が2~3倍高く、その反面上部の葉、生長部においては低くなっていた。また単独処理区では、Zn 添加濃度が増加すると濃縮率が減少する傾向を示した。

次に Cu 添加処理をした二区については、根の濃縮率が9~21倍、茎では6~10倍で両者にあまり差は無いが、葉においては8 ppm Cu 添加区と4 ppm Cu 添加区では明確な差があり、前者の方がおよそ2倍高くなった。さらに生長部にいたるとほとんど差がなくなった。

以上の事から、Zn 単独添加区よりも、Zn に Cu を添加した区の方が器官上部まで Zn が移行して蓄積される

表2 Zn 溶液添加に伴う各器官別濃度 (ppm)

処理区	根	茎	葉	生長部
A	13.5	26.5	14.9	11.3
B	621	449	23.0	12.4
C	828	621	18.3	19.4
D	878	691	76.4	43.0
E	812	1,059	324	163
F	34.6	26.6	67.2	29.4
G	291	112	94.4	67.1
H	435	178	141	121
I	592	365	239	220
J	1,018	455	385	313
K	236	127	159	67.3
L	396	175	404	81.3
M	490	317	543	118
N	523	283	584	258

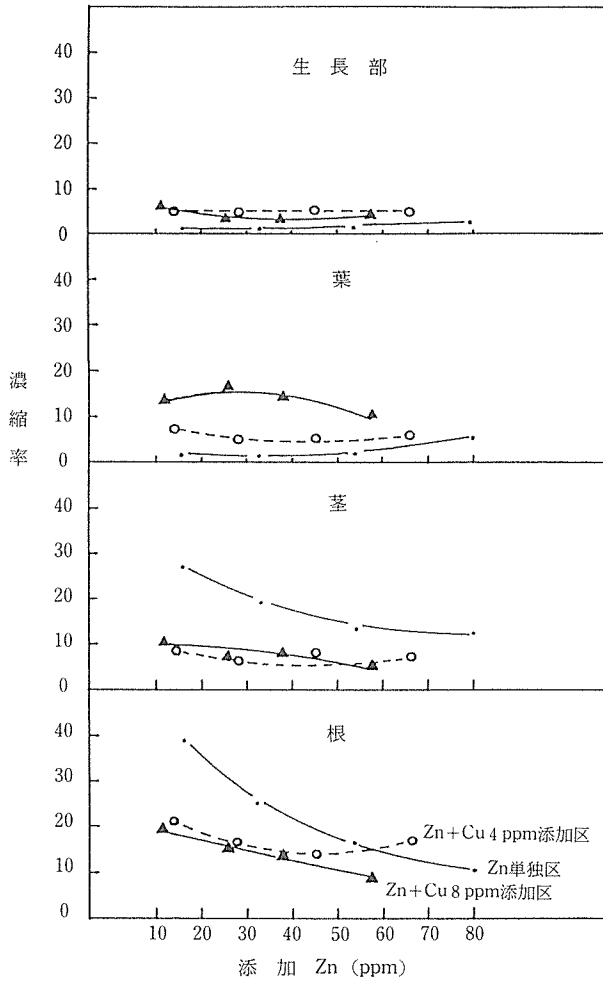


図5 Zn処理に伴う各器官別濃縮率

事が推察された。そして添加するCuの濃度によっては、葉に蓄積されるZnの量が増加し、ダイズ幼植物体内におけるZnの蓄積に対して、ZnとCuの相互作用が示唆された。

要 旨

ダイズ幼植物（品種：コガネダイズ、17～20日間水耕栽培）に約80ppm以下の比較的低レベルのZnを単独添加した区と、Zn溶液に約4ppm、8ppmのCu添加区を設けて、植物体内の各器官における移行・吸収について検討を行った。得られた知見を要約すると以下のようである。

1) Zn単独添加区においては、添加濃度の増加に伴ってダイズ幼植物体内へのZnの移行、吸収量が約80ppm区まで直線的に増加した。これを器官別についてみると、

処理区全般において根よりも茎の吸収量が高く、即ち地下部に対して地上部の吸収割合が高かった。ダイズ幼植物の1個体当たりZn吸収量は、添加濃度の低い約17ppm区において、根が0.4mg、茎が0.6mg、添加濃度約80ppm区ではそれぞれ0.5mg、1.3mgであった。

2) Zn吸収に伴うCuの影響について、二段階のCu濃度溶液を添加した結果、Cu 4 ppm添加区と8 ppm添加区では、Znの吸収量は後者が10~45%減少した。このことからCu濃度が高くなると、Znの吸収が抑制されることを推察された。

3) Zn処理に伴う各器官別に濃縮率を比較すると、Zn単独処理区では根、茎の濃縮率が高い反面上部の葉、生長部においては低い傾向を示した。約4 ppm Cu添加区と8 ppm添加区では根、茎の濃縮率はほとんど差が無いけれども、葉においては後者が2倍ほど高くなった。このことからダイズ幼植物体内におけるZnの吸収・蓄積に対してZnとCuの相互作用が示唆された。

引用文献

- 1) 日本土壤肥料学会：再利用資源土壌還元影響調査に係る総合解析調査——再利用資源の土壌還元影響等に関する参考文献調査——，昭和62年度環境庁請負調査報告書，1—24，昭和63年2月
- 2) 山本満寿夫・渡辺義人：土壌還元した家庭下水汚泥中の重金属の挙動，用水と排水，21(6)，26-33，1979.
- 3) 山本満寿夫・渡辺義人：家庭雑排水汚泥の化学的性質，日本土壤肥料学会講演要旨集，第33集 Part II，298，1987.
- 4) MASUO YAMAMOTO: Uptake and Behavior of Heavy Metals in Soybean Plant. (1) Uptake of Cd; Journal of the Faculty of Textile Science and Technology, Shinshu University No. 107, Ser. E, Agriculture and Sericulture, 11, 1-11, 1989.
- 5) 海老原武久・山田 要・松村 蔚：汚泥の農用地への利用に関する研究 第II報 汚泥連用が土壤・作物に及ぼす影響，群馬県農業試験場報告，22，49-58，1982.
- 6) 茅野充男・斎藤 寛：重金属と生物，100-102，博友社，1988.

謝 辞

本研究を行うにあたり終始指導を賜った，本学繊維学部加藤泰正教授および有益な助言を賜った本学繊維学部講師矢彦沢清允氏に感謝の意を表します。

Summary

Uptake and behavior of heavy metals in soybean plant. (2) Uptake of Zn.

Masuo YAMAMOTO

Laboratory of Applied Botany, Faculty of Textile Science and Technology, ShinShu University.

Experiments were carried out to determine if Zn was taken up by and distributed within soybean plant. Unnodulated 17~20-day-old soybean plants were supplied with solution of varying only Zn concentration and Zn added Cu one for 4 days under continuous low light intensity and constant temperature.

The results obtained are summarized as in the followings.

1) The amount of Zn in each organ of soybean plants was subjected to the solution containing only Zn tended to be increased following with an increment of the added Zn. The amount of Zn per plant was 0.4 mg in the root and 0.6 mg in the stem under the regime containing 16.3 ppm Zn. On the contrary, there were measured 0.5 mg in the former and 1.3 mg in the latter under the regime with 79.8 ppm Zn, respectively.

2) The effect of Cu to the absorption of Zn had larger difference between the solution with 4 ppm Cu and that of 8 ppm Cu. It was considered that the absorption of Zn was controlled following with increasing the solution of Cu.

3) The concentration ratio of Zn in plant parts by only Zn solution showed 10-40 in the root and 15-20 in the stem, respectively, but other parts did a little.

The ratio of leaves to external solutions containing 4 ppm and 8 ppm Cu were about 2 times higher in the latter than those of the former. It was suggested, therefore, that the solution combining Zn with Cu had in close relations with the absorption and accumulation of Zn in soybean plant.