

# 大豆中の銅について（第2報） 大豆栽培の条件設定および栽培初期における銅吸収

富田 健二郎

A Study of the Copper Contents in Soybeans (No.2)  
: On the Setting of Conditions for the Culture of Soybeans  
and the Copper Absorption in the Early Stage of the Culture

Kenjiro TOMITA

## 序

銅は有史以前から利用されている金属の1つで、現在でも銅のもつ圧延性、伸展性、融合性、電気伝導性、耐腐食性などの優れた物理的、化学的性質を大いに活用して実生活に利用されており、特に電線としての用途が大きい。銅のクラーク数は0.01、地球表面に存在する元素では25位で、日本では年間80万トン前後が消費されている<sup>1)</sup>。

人間の身体における銅の存在量は1.7mg/kgといわれ<sup>2)</sup>、特に生体内では造血作用にし、また銅タンパク質としても存在しており、肝臓、脾臓、腎臓の銅含有量が高いといわれている。しかし、空気中の水分や二酸化炭素の作用によって金属銅の表面に出来る塩基性炭酸第二銅は、通称「緑青」といわれ有毒であるし、銅の採鉱、精練に従事する人に銅中毒があるといわれている<sup>3)4)5)</sup>。

前報<sup>6)</sup>において、銅代謝異常のウィルソン氏病患者に対して利用する食品のうち、豆類中の銅含有量を調べた結果、一般豆類中の銅含有量が0.01~0.69mg%程度なのに、大豆中の銅量は0.79~1.70mg%と比較的含有量が高いことがわかった。また他文献値でも同程度の値を示

しており、大分県内47か所の自家生産大豆（主に秋大豆）を分析した結果、平均1.25mg%の銅が検出された。大豆中の銅の研究も作物、食品の面からかなり行われているが<sup>6)7)</sup>、大豆中の銅含有量が高くなる要因としては、I) もともと土壤中の銅含有量が高い、II) 農薬として銅系のものを使用している、III) 土壤への金属片の混入などが考えられる。田中らの研究<sup>9)</sup>でも大豆は銅に対して適応性があるとしているので、大豆の中へどのように銅が取り込まれていくかを追究する手始めとして、土壤への銅添加量および栽培用土の種類と大豆の幼芽期の銅含有量を調べたので、その結果を報告する。

## 実験方法

### 1. 試料<sup>10)</sup>

大豆の品種は非常に多いが、今回の実験では、北海道産の改良早生緑枝豆を使用し、条件設定用に大分市坂の市産の秋大豆を使用した。

### 2. 栽培用土<sup>11)12)13)</sup>

- 1) 腐葉土（別府大学構内自然林の土を径1.5mmの園芸用ふるいを用いて選別したもの）
- 2) 赤玉土（市販品：山口県産）
- 3) 川砂（大分県大野郡犬飼町津留の川砂を径1.5mmの園芸用ふるいで選別したもの）

### 3. 栽培条件<sup>14)15)</sup>

発芽温度は20℃を越す必要があるので条件を一定にするために恒温器を用い、銅添加量は培養土壌中に硫酸銅 (CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O) を土壌重量に対して0.05%、0.10%を添加したものの、全く銅を加えないものの3種類で実験を行った。なお硫酸銅だけを使用するとpHが低下するので、大豆は酸性にやや強い性質ではあるが、pH低下防止のため中性に近くなるように硫酸銅の3/4量の消石灰を加えて、土壌のpHを中性から微アルカリ性として栽培した。なお灌水は土壌表面が乾燥しない程度とし、施肥は行っていない。

### 4. 分析方法<sup>16)17)</sup>

前報<sup>5)</sup>と同様、大豆および発芽大豆の銅の定量は湿式分解法によって得た試料溶液をジエチルジチオカルバミン酸を用いる比色定量法で測定し、総銅量を求めた。また栽培土壌については硫酸・硝酸分解法では添加した銅の定量が不完全なので、希硝酸による分解法で試料を調整した。

### 実験結果および考察

まず硫酸銅濃度が土壌重量に対して何%で発芽するかを中和しない状態で調べてみた結果、土壌に対して0.10%、0.50%硫酸銅濃度では全く発芽せず、0.25%添加でも発芽率は5%を割ってしまった。そこで今回の目的である大豆中へ銅の取り込みを調べるために設定した培養土壌中の硫酸銅の濃度は、土壌重量に対して0.05% (発芽率95%程度)、0.10% (発芽率88%程度) の2種類の硫酸銅添加によって、大豆中への銅の取り込みを調べてみることにした。この濃度であれば、中和をしたときに水酸化第二銅の浮遊物も多く見られなかった。

図 I に発芽初期の大豆中の水分含有量を示す。

種子に使用した大豆は北海道産の枝豆用のものであるが、腐葉土中に植えたものは1日後に66.6%の水分を示したが、川砂では49.5%で

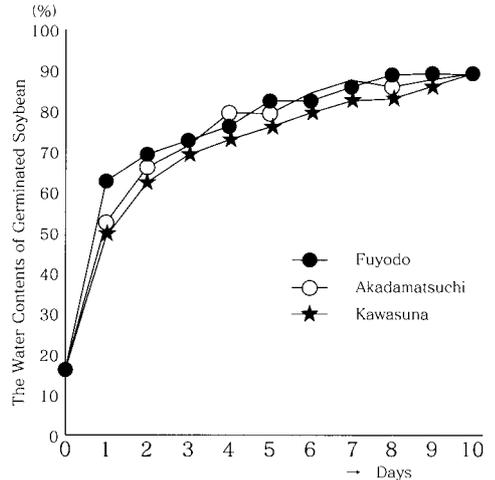


Figure 1 The Water Contents of Germination by Difference of Soils

あり17.2%もの差が認められた。2日目にはその差は7.7%となり、3日目以降に大きな差が認められなくなった。この初期の大豆中の水分の相違は土壌の保水状態の差によるものと思われる。大豆は100%の発芽を示し、3日目には土壌中から子葉を持ち上げ、6日目には本葉が認められ、10日目のものは全部本葉が出た。また根のほうは5日目くらいには幼根があらわれ、10日目には4 cm程度の根に多数の幼根が出ていた。

表 I に培養土中の銅含有量を示す。

銅の吸収状態をみるための培養土は腐葉土、赤玉土、川砂の3種を用いた。今回分析した結果では、添加銅量の3~10%程度しか土壌中の銅が検出されなかったが、栽培容器は角型プラスチック30×21×5 cmを用いており、銅が培養容器の外に出ない状態で大豆の発芽を行った。土壌中の銅の分析では、硝酸単独による方法で分解、抽出を行い試料溶液としたが、無機の形態の銅、有機の形態の銅が混在しており、また水溶液の状態に土壌に散布しているため、一旦は土壌中にしみ込むが、土壌表面から水分が蒸発する時に銅イオンは土壌表面に凝集することも考えられ、試料採取は均一に行ったが抽出が十分行えなかったのかもしれない。この点については今後検討したい。

Table I The Copper Content of the Cultured Soils

| Conditions of Culture |   | Fuyodo | Akadamatsuchi | Kawasuna |
|-----------------------|---|--------|---------------|----------|
| Before Sowing         | non-Addition                                      | 2.9    | 13.0          | 12.5     |
|                       | 0.05%CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O Addition | 16.0   | 38.0          | 44.0     |
|                       | 0.10%CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O Addition | 38.5   | 46.0          | 95.0     |

μg/g

次に表IIに水栽培による発芽初期の銅吸収を示す。

Table II The Copper Contents of the Germinated Soybean (In Case of Water Culture)

| Days | Cu % | dry weight μg/g                                 |   |   |
|------|------|---|---|---|
|      |      | 0.00% CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O/Water | 0.05% CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O/Water | 0.10% CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O/Water |
| 0    |      | Sowing Soybeans 15.9 μg/g                       |   |   |
| 1    | 16.0 | 455.9   |   | 605.9   |
| 2    | 16.4 | 732.0   |   | 991.2   |
| 3    | 23.0 | 777.8   |   | 1755.0  |
| 4    | 19.0 | 1331.4  |   | 2414.2  |
| 5    | 18.7 | 1161.8  |   | 3051.8  |
| 6    | 20.0 | 1520.0  |   | 3458.8  |
| 7    | 20.8 | 1827.5  |   | 4807.5  |
| 8    | 20.0 | 2372.8  |   | 5181.4  |
| 9    | 21.3 | 2050.0  |   | —   |
| 10   | 20.7 | 2212.8  |   | —   |

※ Germination on Absorbent Cotton impregnated with Water Content Copper in the Petri Dish

※ 25°C Constant Temperature

※ Cu % : Percentage of added CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O in Soil

条件は直径15cm深さ3cmのシャーレに脱脂綿を1cm程度敷き、0.05%、0.10%CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>Oの水溶液を脱脂綿がつかるほど入れ、坂の市産の秋大豆を50粒植え付け、定温器の中で25°Cで発芽させた。銅含有量の分析結果はすべて乾燥重量あたりで示したが、無添加のものが植え付け大豆より少し高い値を示した。これは発芽させるために用いた定温器のバイメタルの影響と考えられる。硫酸銅添加のものは、日数経過とともに銅を吸収しているが、0.10%添加の7日目、8日目のものは発芽状態も悪く、9日目、10日目の分析結果がないのは、大豆のほうが発芽しておらず、今回は発芽の過程を調べたので分析しなかった。これは、もともと大豆に発芽能力がなかったか、または

銅イオンの影響で発芽を抑制されたかのどちらかと考えられる。

水栽培の結果より腐葉土、赤玉土、川砂の3種の土壌を用いて60×18×18cmのプランターに各土壌を12cmの深さに入れ、どの種類の土壌が栽培に適合するかを調べてみた結果を表IIIに示す。

表IIIでは土壌の選定のために行った実験で、30日間の成長をみたのであるが、毎日の分析ではなく、植え付け後5日おきに成長しているものを採取し、根、茎、葉すべてを湿式分解して、成育中大豆全体の銅の吸収を調べた。成長は割合に良く、30日目で無添加は35cm程度、0.05%添加が25cm程度、0.10%添加は15cm程度まで成長した。これは自然状態にせず、雨

Table III Absorption Copper on the Growing Process by Difference Soils

| Soils |      | Fuyodo At the Campus of Beppu University |       |       | Akadamatsuchi on the Market |       |       | Kawasuna Tsuru, Inukai T. Ono-gun, Oita |        |        |
|-------|------|--|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|---|--------|--------|
| Cu %  | Days | 0.00%                                    | 0.05% | 0.10% | 0.00%                       | 0.05% | 0.10% | 0.00%                                   | 0.05%  | 0.10%  |
| 0     |      | Sowing Soybean                           |       |       |                             |       |       | 10.9 µg/g                               |        |        |
| 5     |      | 15.1                                     | 158.6 | 336.1 | 19.0                        | 83.5  | 195.5 | 14.3                                    | 735.0  | 1102.5 |
| 10    |      | 16.7                                     | 186.7 | 438.9 | 16.7                        | 172.2 | 397.8 | 14.9                                    | 1472.2 | 2396.7 |
| 15    |      | 15.5                                     | 188.5 | 415.3 | 14.4                        | 165.6 | 375.6 | 14.4                                    | 1311.1 | 2244.4 |
| 20    |      | 14.4                                     | 198.9 | 420.0 | 14.4                        | 121.1 | 455.6 | 15.3                                    | 1200.0 | 2134.4 |
| 25    |      | 14.1                                     | 213.6 | 438.1 | 11.1                        | 110.0 | 476.7 | 14.4                                    | 1062.2 | 1904.4 |
| 30    |      | 13.3                                     | 265.6 | 482.2 | 11.1                        | 77.8  | 254.4 | 16.7                                    | 951.2  | —      |

※ Cu % : Percentage of added CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O in Soil

水のかからない場所で栽培したため、太陽光の当たり方が少なく、茎が徒長したためと考えられる。その結果、腐葉土においては0.05%CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>Oの添加で150~260µg/g、0.10%で340~480µg/gと大豆中への銅の取り込みの増加がみられた。

また赤玉土では5日目の取り込みは少なかったが、10日目以降に取り込みは増加した。0.05%添加では20日目以降に銅の取り込みの減少がみられたし、0.10%添加では30日目のものの銅含有量が減少した。

最後に川砂を用いたものでは、初期における銅の取り込みが多く、15日目以降は減少の傾向を示した。以上のことより大豆への銅の取り込みは初期、特に大豆が吸水して発芽準備を整え、発芽を始め、本葉が出るくらいまでの間に盛んに行われるようである。

また土壌の種類別に銅の取り込みを述べてみると、腐葉土、赤玉土では徐々に吸収される傾向がみられるが、これは土壌自身が吸着する量が多いため大豆に対する吸収が悪いのではないかと考えられる。そして赤玉土では、特に30日目においては5日目より減少となったが、発芽した大豆の根の張りぐあいとも関係があるのかもしれない。

川砂においては、他の土壌に比べ大豆への銅の取り込みは高くなり、5日目では0.05%添加で赤玉土の約9倍、腐葉土の5倍、0.10%添加で赤玉土の6倍、腐葉土の3倍と、銅を大

豆のほうに与えやすいことがわかった。これは腐葉土、赤玉土よりも銅の吸着状態が弱く、かつ均等に吸着する傾向があるものと考えられる。ただ川砂の30日目の分析値が無いが、これは発芽したもののうち同じ程度の大きさのものを順次、採取、分析したため、30日目の分析用の試料が得られなかったためである。

以上より、川砂を用いた時が、成長過程での大豆への銅の吸収が最も良好であることがわかったので、川砂による初期の銅吸収を調べてみることにした。また表Ⅲより、銅の大豆への取り込みは10~15日目くらいまでで、その後は減少する傾向がみられたが、この点は今後検討する必要がある。

最後に、表Ⅳに発芽初期10日間の川砂培養による銅吸収の結果を示す。

この実験で、短期間の銅吸収過程を同一方法で3回調べた結果の平均であるが、水溶液で栽培した時と同様に、恒温状態で発芽をさせた結果である。銅の無添加においては10日目で30.2µg/gと割合高くなったが、もともと川砂の中に存在した銅の影響と思われる。

次に0.05%添加では1日目で347.6µg/gと高くなり、その後は2日で100µg/g程度ずつ上昇を示し、10日目の大豆は804.3µg/gの銅吸収がみられた。また、0.10%添加では1日目は0.05%添加とあまり変化がなかったが、2日目には0.05%の倍の856µg/gを示し、その後1日につき200µg/g程度ずつの吸収を示し、

Table IV The Copper Contents of the Germinated Soybean (In Case of Kawasuna Culture)

| Days | dry weight $\mu\text{g/g}$                                 |  |  |
|------|--|--|--|
|      | Cu %<br>0.00% CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O/Kawasuna | 0.05% CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O/Kawasuna | 0.10% CuSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O/Kawasuna |
| 0    | Sowing Soybean   |  | 10.9 $\mu\text{g/g}$                               |
| 1    | 11.6   | 347.6  | 398.4  |
| 2    | 11.1   | 462.3  | 856.5  |
| 3    | 13.4   | 452.6  | 1222.7   |
| 4    | 15.6   | 569.7  | 1425.6   |
| 5    | 16.5   | 566.5  | 1580.0   |
| 6    | 18.7   | 611.8  | 1859.7   |
| 7    | 21.6   | 684.2  | 1902.2   |
| 8    | 26.3   | 725.5  | 1918.8   |
| 9    | 32.1   | 726.4  | 2134.3   |
| 10   | 30.2   | 804.3  | 2248.5   |

※ Germination in Kawasuna Content Copper in the Petri Dish  
 ※ 25°C Constant Temperature  
 ※ Cu % : Percentage of added CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O in Soil

10日目では2248.5 $\mu\text{g/g}$ と1日目の5.6倍の銅を吸収したことになる。発芽初期の銅の吸収状態を調べてみたが、発芽初期、特に1日目、2日目の吸収が非常に高かった。これは大豆が吸水して2倍くらいに膨らみ、発芽の準備を整える時に銅イオンも同時に取り込むものと考えられる。またこの時点で、成長可能な大豆は3日目以降、大豆の成長に従って銅が取り込まれて行くことが判明した。

今後は、栽培・管理に適していると考えられる川砂を用いて、特に発育部位（根、莖、葉）の銅含有量や発芽後、結実するまでの期間における各部位の銅吸収を調べると同時に、土壌での銅の存在状態、大豆に吸収される機構などについて調べてみたい。

## 要約

大豆中の銅含有量について、湿式分解法で分解した試料溶液をジエチルジチオカルバミン酸比色定量法で分析を行った。今回は、栽培条件の設定および発芽初期の大豆中への銅の取り込みを調べて、次の結論を得た。

1. 発芽初期の大豆中の水分含量は、土壌により初期は差が認められるが、3日（72時

間）経過で同程度となり、10日目ではほぼ一定となった。

2. 大豆の水栽培では、銅吸収は非常に顕著であるが、日数の経過で成長は悪くなる。
3. 発芽大豆中の銅含有量は栽培土壌が川砂の場合が高く、腐葉土、赤玉土の場合は低かった。
4. 植え付け後、1日から2日での銅吸収が非常に高く、その後は一定の割合で増加し、本葉が1～2枚のときに銅含有量が最大となり、その後は減少する傾向が認められた。

## 参考文献

- 1) 玉川大学出版部：玉川新百科4（化学1），p.347，誠文堂新光社，東京（1970）
- 2) 日本聖化学会編：生化学データブック [I] p.1536，東京化学同人，東京（1979）
- 3) 日本化学会編：微量元素，p.57，丸善，東京（1978）
- 4) 木村・荒木他：環境汚染物の生体への影響—銅・鉄—，p.5，東京化学同人，東京（1981）
- 5) 小坂治男：実務表面技術，Vol.28，p.26～31，東京（1981）
- 6) 姫野・富田：別府大学紀要，Vol.21，p101，大分（1980）

- 7) 田中涼・田中ゆ・池辺・榎本：大阪府立公衆衛生研究所研究報告，食品衛生編 [9]，p.47～50，大阪 (1978)
- 8) 吉田・田中・榎本：大阪府立公衆衛生研究所研究報告，食品衛生編 [10]，p.97～104大阪 (1979)
- 9) 田中・但野・三浦：日本土壌肥科学雑誌，Vol.49，p.361～366，東京 (1978)
- 10) 渡辺篤二他：大豆食品，p.3，光琳，東京 (1980)
- 11) 藤田幸男：用水と排水，Vol.22，p.694～700，東京 (1980)
- 12) 渡辺紀元・早川修：用水と排水，Vol.22，p.667～671，東京 (1980)
- 13) 渡辺紀元・早川修：用水と排水，Vol.23，p.918～970，東京 (1981)
- 14) 横木清太郎：やさしい野菜づくり，p.58，池田書店，東京 (1977)
- 15) 高嶋・二井内・渡辺：原色日本野菜図鑑，p.70，保育社，東京 (1974)
- 16) 富田・中津：生化学41，p.1，東京 (1969)
- 17) 田代・鹿島・久保：実験化学講座15，分析化学(下)，p.209，丸善，東京 (1958)