

## カドミウム汚染土壌で栽培したダイコン2品種の生育初期における地上部と根部的カドミウム, 亜鉛, マンガンおよび銅の濃度

高橋秀子・青山裕二・河合成直\*

(修紅短期大学, \* 岩手大学農学部)

原稿受付 平成 21 年 8 月 17 日; 原稿受理 平成 21 年 11 月 7 日

## Comparison of the Cadmium, Zinc, Manganese and Copper Concentrations in Shoots and Roots during the Early Growth Period of two Cultivars of Japanese Radish Grown on Cadmium-Contaminated Soil

Hideko TAKAHASHI<sup>1</sup>, Yuji AOYAMA<sup>1</sup> and Shigenao KAWAI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Shuko Junior College, Iwate 021-0902, Japan

<sup>2</sup> Faculty of Agriculture, Iwate University, Iwate 020-8550, Japan

A pot culture experiment was conducted to investigate the cadmium, zinc, manganese and copper concentrations of two Japanese radish cultivars (*Raphanus sativus* L. cv. Harunomegumi and *Raphanus sativus* L. cv. Akibutai) grown for 9 weeks in soil whose respective cadmium and zinc concentrations were 3.3 and 68 mg/kg of dried soil. Both of the Japanese radish cultivars grew normally throughout the growth period, the weight of the shoots being 2.8 times that of the roots. The cadmium concentrations in the shoots of both cultivars initially increased for 6 weeks after sowing and then slowed. The cadmium concentrations in the shoots after 9 weeks of growth were respectively 2.4 and 1.5 mg/kg for Harunomegumi and Akibutai, this 0.9 mg/kg difference indicating cultivar dependence. The cadmium concentrations in the roots of both cultivars were about one fourth of those of the shoots. The zinc, manganese and copper concentrations varied similarly for both of the cultivars. The zinc concentrations in the shoots did not fluctuate greatly at between 20 and 50 mg/kg, this being similar to the zinc concentrations in the roots throughout the growth period. The manganese concentrations in the shoots increased from around 2 to 12 mg/kg during the growth period, while those in the roots remained almost constant at around 1.5 mg/kg. The copper concentrations in the shoots tended to be higher than those in the roots throughout the growth period. The copper concentration in the shoots after 9 weeks of growth was around 1.2 mg/kg, being 1.4 times that in the roots.

**Keywords:** cadmium concentration カドミウム濃度, cadmium-contaminated soil カドミウム汚染土壌, cultivar 栽培品種, Japanese radish ダイコン, shoot 地上部, zinc concentration 亜鉛濃度.

### 1. 緒言

カドミウムは生物にとって有害である<sup>1)</sup>ので、コーデックス食品規格委員会では1995年より食品中のカドミウム濃度の最大許容量の制定に取り組み、葉菜と根菜の最大許容量はそれぞれ0.2と0.1 mg/kgに決定した<sup>2)</sup>。農林水産省は、日本国内の農産物中に含まれるカドミウム濃度を調査し、コーデックス食品規格委員会の最大許容量(2002年当時は原案)を超過している農産物があった(ニンニク, オクラ, サトイモ, ナス等)と報告した<sup>3)</sup>。ダイコンについては、調査試料107点中にカドミウム濃度0.1 mg/kgを超過したものはないと報告された。その後、農林水産省の国内産農産物中のカドミウム濃度の調査の報告を受け

て、農産物中のカドミウム濃度の低減化に関する研究が活発になった<sup>4)</sup>。

Kashem *et al.*<sup>5)</sup>は、サトイモ、ダイコンとクウシンサイをカドミウム添加の培養液で水耕栽培したところ、サトイモはダイコンとクウシンサイに比較し、全体の生育量が大きいことと高いカドミウム濃度の栽培条件に耐えられるために多くのカドミウムを集積すると報告した。著者ら<sup>6)</sup>は、サトイモ、ダイコンおよびジャガイモをカドミウム汚染土壌で露地栽培したところ、植物全体のカドミウム濃度はサトイモが高くジャガイモおよびダイコンが低いこと、それぞれの可食部はカドミウム濃度が低い部位であること、およびダイコン根部とジャガイモ塊茎部は十分肥大するとカ

ドミウム濃度が低くなることを報告した。また、他の研究者の論文においても、ダイコンについては、カドミウムを高濃度に吸収するという報告例は見当たらない。しかし、著者ら<sup>6)</sup>は、ダイコンの葉のカドミウム濃度は、根部に比較し生育初期（播種6週）から高い値を示すことを指摘した。ダイコンは、生育初期は葉が旺盛に生育し葉菜類と類似した養分吸収が起こり、生育後期は根部が著しく肥大することが知られている<sup>7)</sup>。このことから、ダイコンにおいては、生育初期にはカドミウムが根から吸収され葉へ移行することが推測される。ダイコンの葉は食用として、栽培初期に間引きを行ないその間引き菜を利用する場合がある。食品として安全な間引き菜の供給をするために、生育初期のダイコンの葉のカドミウム吸収に関する詳細な調査を行う必要がある。

ダイコンには多くの栽培品種がある。王ら<sup>8)</sup>は、アブラナ科植物の23品種をカドミウム濃度  $25 \mu \text{ mol/L}$  の水耕培地で栽培した結果、茎葉部のカドミウム濃度（80°Cで乾燥した重量あたり）は183から1157 mg/kgと約6倍の差があったと報告した。このことから、ダイコンの栽培品種の違いによって葉のカドミウム濃度に差がある可能性がある。

また、カドミウムを地上部に多く集積する植物として *Arabidopsis halleri* ssp. *gemmifera*（和名ハクサンハタザオ）が報告されたが、その植物はカドミウムと共に亜鉛の吸収も高い値を示した<sup>9)</sup>。そして、亜鉛吸収能の高い *Sedum alfredii* Hance（和名シナマンネングサ）は、カドミウムを高濃度に含有する土壌における栽培に対し高い耐性があると報告された<sup>10)</sup>。このように、植物の亜鉛吸収とカドミウム吸収の関連性が指摘されていることから、ダイコンのカドミウム吸収には亜鉛が関与している可能性がある。

本研究は、以上のような背景から、ダイコンの2栽培品種について、カドミウム汚染土壌を用いてポット栽培し、生育前半におけるカドミウムおよび亜鉛の吸収過程を明らかにすることを目的とした。あわせて、マンガンおよび銅元素の地上部と根部の濃度を分析し検討した。ダイコンの葉の生育初期のカドミウム吸収に関する報告の例はなく、食品の重金属汚染防止に関する研究の進展に資すると考える。

## 2. 材料と方法

### (1) 栽培土壌

栽培土壌は、宮城県細倉鉱山（現在は採掘中止）から約10 km 離れ今までに利用されなかったことのない非農地の表土2cmを取り除き、深さ20 cmまでの土壌を採取し栽培に供試した。

土壌の金属類の濃度の定量分析を  $0.1 \text{ mol/L}$  塩酸抽出

法<sup>11)</sup>で行なった。栽培土壌を採取した非農地の5地点から分析のために土壌を採取した。採取した土壌を室内で自然に乾燥させ2 mm径の篩を通し、風乾土壌とした。風乾土壌2 gを50 ml容のふた付き遠沈管に入れ、 $0.1 \text{ mol/L}$  塩酸10 mlを添加し1時間振とう（100回/分）後ろろ（ろ紙No. 5B）し、ろ液のカドミウム、亜鉛、マンガンおよび銅の濃度をフレーム原子吸光分光光度計（日立、AA170-30）で測定した。また、風乾土壌は105°Cで24時間乾燥させて乾土重量を測定した。金属類の濃度は、乾土重量あたりで5地点の平均値を示した。

### (2) 栽培植物

ダイコンは、春に播種して栽培するダイコンの「春のめぐみ」（*Raphanus sativus* L. cv. Harunomegumi）と初夏から秋にかけて播種して栽培するダイコンの「秋舞台」（*Raphanus sativus* L. cv. Akibutai）（いずれも例トーホク）の2品種を供試した。「春のめぐみ」は秋でも生育することを確認した後に実験を行なった。

### (3) 栽培

実験区は「春のめぐみ」区と「秋舞台」区の2通りとし、1区あたり3ポットを実施した。

採取土壌を5 mm格子の篩を通した後に消石灰（アルカリ度68）を1 L当り1.2 g添加混合し、その後、化成肥料（N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 10:10:10）を1 L当り1 g添加し混合した。プラスチック製縦長ポット（面積200 cm<sup>2</sup>、半径8 cm、高さ19 cm）に混合土壌を3 L充填（深さ15 cm、乾土として1845 g）し、開閉天窓付きガラス温室（宮城県栗原市）の棚に設置した。栽培において、新たなカドミウムの添加は行なわなかった。

ダイコンの播種は2006年10月9日に1ポットにつき20粒播種し、発芽後間引きを行い14個体とし、その後の栽培実験に供試した。水道水を適宜散布し、9週間栽培した。

### (4) 試料の採取と分析

1ポットあたり14個体を栽培し、各ポットそれぞれについて、播種から2週間後に10個体、4週後に2個体、6と9週後に1個体を採取し分析試料とした。採取試料は純水で洗浄後水分をふき取り、葉と茎の部位を地上部、胚軸と主根を根部とし包丁で切り分け、重量を測定した。その後、試料は70°Cで72時間通風乾燥させた。乾燥試料を乳鉢およびミル（東芝、TFP-101P）で3 mm以下に粉碎したものに、60%硝酸10 mLと60%過塩素酸2 mLを加えホットプレート上で加熱して湿式分解した。播種から2と4週後に採取した試料の根部は少量であったため、それぞれの区の3ポット分を合わせて1試料として湿式分解を行なった。分解液のカドミウム、亜鉛、マンガンおよび銅の濃度をフレーム原子吸光分光光度計で測定し、採

取試料の濃度を求めた。金属類の濃度は、1個体の重量あたりで示した。測定計算後のそれぞれの値の有意差検定は、統計ソフト SAS/STAT<sup>®</sup> ver. 9.1<sup>12)</sup> を用い、Tukey の多重比較検定により実施した。検定結果は、図中にアルファベットで示した。アルファベットが異なっているデータ間において有意な差があることを示す。なお、2と4週目の根部のデータについては、1点のみの分析のため有意差検定は実施していない。

### 3. 結果および考察

#### (1) 土壌のカドミウム、亜鉛、マンガンおよび銅濃度

供試土壌の 0.1 mol/L 塩酸抽出のカドミウム、亜鉛、マンガンおよび銅濃度 (Table 1.) は、地球化学図<sup>13)</sup> に示さ

Table 1. Cadmium, zinc, manganese and copper concentrations of soil extracted by 0.1 mol/L hydrochloric acid

| Metal               | Cd                    | Zn         | Mn     | Cu          |
|---------------------|-----------------------|------------|--------|-------------|
|                     | (mg / kg in dry soil) |            |        |             |
| Tested soil *       | 3.26 ± 0.16           | 67.9 ± 1.5 | 37 ± 3 | 7.80 ± 0.33 |
| Average of Japan ** | 0.09                  | 21.0       | 178    | 7.13        |

\* Data are the mean ± standard deviation (n=5).

\*\* The data of soil extracted by 0.1 mol/L hydrochloric acid are cited from "Geochemical map of Japan"<sup>13)</sup>.

れた 0.1 mol/L 塩酸抽出の日本の土壌平均値を比較し、カドミウムは 36 倍、亜鉛は 3 倍の高濃度で、マンガンは 5 分の 1 の低濃度であることがわかった。柳澤ら<sup>14)</sup> は、富山県神通川流域のカドミウム汚染地域 (1971 から 1974 年に調査, 1249 地点) の修復前の 0.1 mol/L 塩酸抽出のカドミウム濃度は平均 1.37 mg/kg であると報告している。本研究の土壌採取地のカドミウム濃度は 3.26 mg/kg を示し、修復前の富山県神通川流域よりも高いことから高濃度汚染土壌とわかった。

#### (2) ダイコンの生育

2 品種ともダイコンの生育に異常な兆候は現れなかった。栽培期間をとおして地上部の生育量が根部を上回り、9 週目で 2.8 倍であった (Figure 1.)。また、9 週目で「春のめぐみ」の地上部の 1 個体の生育量は 23.0 g で、「秋舞台」の地上部の 15.7 g の 1.5 倍となった。著者ら<sup>6)</sup> の報告に比較し 2 品種の生育量は 2 分の 1 以下であった。生育量が少なかった理由には、栽培地の宮城県栗原市の日平均気温<sup>15)</sup> は 14 °C で、ダイコンの生育適温 17 ~ 20 °C<sup>16)</sup> を下回ったためと考えられる。

#### (3) ダイコンのカドミウム濃度

地上部のカドミウム濃度 (Figure 2.) は 2 品種とも栽培期間中は増加し続け、9 週目で「春のめぐみ」は 2.37 mg/kg、「秋舞台」は 1.45 mg/kg になった。増加量が

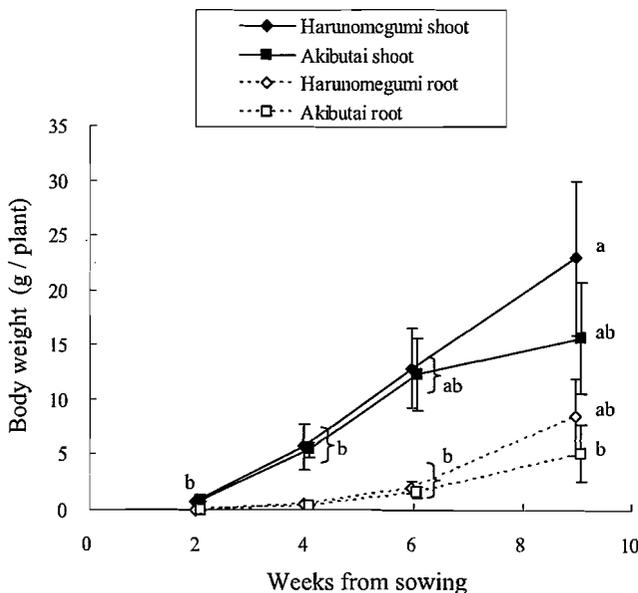


Figure 1. Shoot and root weights of Japanese radishes (Harunomegumi and Akibutai) cultivated in cadmium-contaminated soil.

Data represent the mean ± standard deviation of 3 replicates, but the data of roots at 2 and 4 weeks represent no replicate. The same letter do not differ significantly ( $p < 0.05$ , Tukey multiple range test).

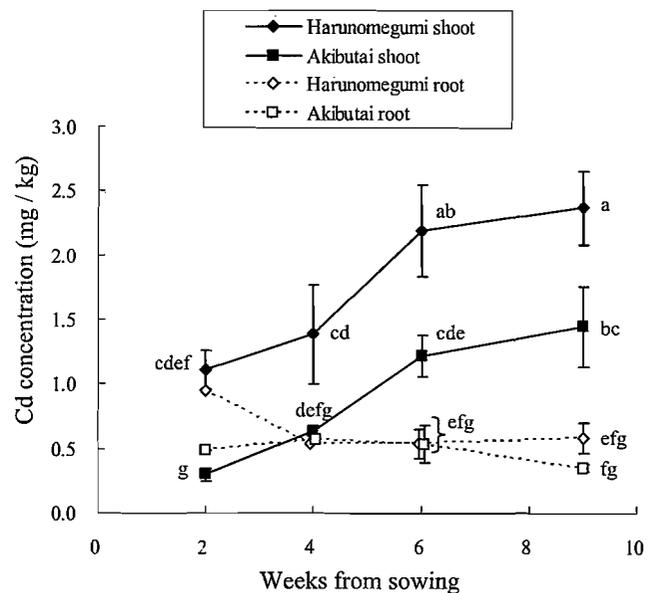


Figure 2. Cadmium concentrations of Japanese radishes (Harunomegumi and Akibutai) cultivated in cadmium-contaminated soil.

Data are analyzed in the same method as figure 1.

きい時期は2品種とも4から6週目で、6から9週目の間の増加量は2分の1になった。

著者ら<sup>6)</sup>は、ダイコン地上部の播種後6週から11週目までのカドミウム濃度は、6週が高くそれ以降は生育の進行に伴い低下傾向であると報告した。本研究で、播種後2週から6週目までの生育初期のカドミウム濃度がはじめて明らかにされ、その期間の地上部のカドミウム濃度は増加することがわかった。このことから、ダイコン地上部のカドミウム濃度を低くするためには、播種から6週目までの生育初期のカドミウム吸収を抑制することが重要であると推測される。

栽培期間中の地上部のカドミウム濃度は「春のめぐみ」が高く「秋舞台」が低かったが、その差は栽培期間中一定で、ほぼ0.9 mg/kgであった。この差が生じた理由には、「春のめぐみ」のカドミウム吸収力が高く「秋舞台」が低いという品種の違いが考えられるが、詳細説明には更なる多くの品種のカドミウム吸収に関する調査が必要と考える。

2品種の根部的カドミウム濃度 (Figure 2.) は、2週目ではそれぞれの地上部と同程度の値であったが、4週目以降は2品種とも増加はみられず、「春のめぐみ」は0.59 mg/kg、「秋舞台」は0.35 mg/kgでそれぞれの地上部の4分の1であった。これらの根部カドミウム濃度の結果は、著者ら<sup>6)</sup>の報告を支持するものであった。

(4) ダイコンの亜鉛濃度

2品種の地上部の亜鉛濃度 (Figure 3.) は、栽培2週目から高く、その後の栽培期間中有意な変動はなく、9週で「春のめぐみ」は42.7 mg/kgで、「秋舞台」は36.1 mg/kgになった。地上部のカドミウム濃度は栽培期間中増加し続けたが、亜鉛濃度は2品種とも有意な増加はみられず、亜鉛とカドミウムの地上部濃度の変動は異なっていた。

Kubota and Takenaka<sup>9)</sup>は、カドミウム濃度が高いハクサンハタザオの亜鉛濃度は18200 mg/kg (乾燥重量あたり)であったと報告している。本研究でのダイコンは40mg/kg前後を示し、ハクサンハタザオに比較し低値といえる。しかし、「五訂増補日本食品標準成分表」<sup>17)</sup>に示されたダイコンの葉の成分量から計算した亜鉛濃度は3 mg/kgであることから、本研究のダイコン地上部の亜鉛濃度は、通常の13倍の高濃度を示した。この理由のひとつに、栽培土壌中の亜鉛濃度が高いこと (Table 1.) が考えられる。

根部的亜鉛濃度は2品種とも、2週から4週目にかけて増加がみられ、以降は変動が少なかった。9週で「春のめぐみ」は38.3 mg/kg、「秋舞台」は46.0 mg/kgになったが2品種間の差は有意ではなかった。「秋舞台」の亜鉛濃度は、有意な差ではなかったが地上部より根部が1.3倍

になった。これらの根部的の亜鉛濃度の挙動は、根部的のカドミウム濃度の挙動 (Figure 2.) と異なるものであった。

ダイコン地上部と根部的の両方において、亜鉛とカドミウム濃度の挙動は異なっていることから、ダイコンの地上部と根部的におけるカドミウムと亜鉛の吸収と移動は異なっていることが考えられる。植物の根はカドミウムを亜鉛と共通の機構で吸収することが示唆されている<sup>18)</sup>が、ダイコンにおいては、カドミウムを亜鉛と共通の機構では吸収していないことを示唆するものであるかもしれない。

(5) ダイコンのマンガン濃度

ダイコン2品種の地上部のマンガン濃度 (Figure 4.) は、4週以降増加し9週目で「春のめぐみ」は11.85 mg/kg、「秋舞台」は8.89 mg/kgであった。また、9週における2品種間の地上部のマンガン濃度の差は有意でなかった。根部的のマンガン濃度は2品種とも栽培期間中に有意な変動はなく9週目で「春のめぐみ」は1.60 mg/kg、「秋舞台」は1.41 mg/kgを示した。地上部では4週から9週にかけてマンガン濃度が4.5倍に増加したが、根部では1.6 mg/kg以下で推移した。これはマンガンが地上部での光合成における水の分解酵素や活性酸素を除去する酵素の成分であることによるとみられる<sup>19)</sup>。ダイコン根部では、地上部で要求される量に比較しマンガン要求量は少ないことが推定された。マンガンとカドミウム濃度の推移とで共通していたことは根部での濃度の変動が少ないことであった。

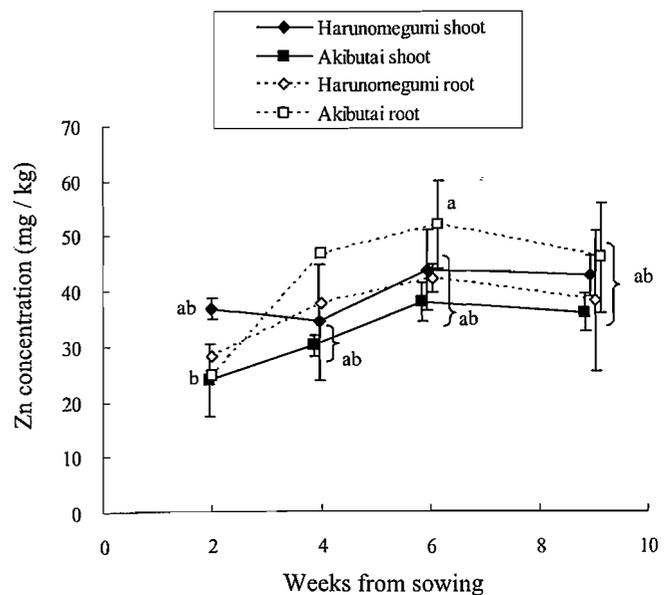


Figure 3. Zinc concentrations of Japanese radishes (Harunomegumi and Akibutai) cultivated in cadmium-contaminated soil.

Data are analyzed in the same method as figure 1.

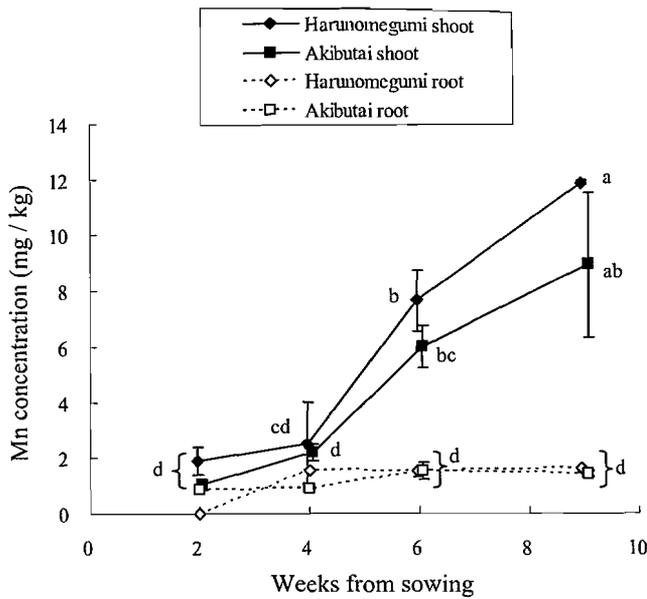


Figure 4. Manganese concentrations of Japanese radishes (Harunomegumi and Akibutai) cultivated in cadmium-contaminated soil.

Data are analyzed in the same method as figure 1.

9週目の地上部のマンガン濃度は、根部の7.4倍（「春のめぐみ」と6.3倍（「秋舞台」）であった。

#### (6) ダイコンの銅濃度

ダイコン2品種の地上部銅濃度（Figure 5.）は栽培期間中に増加がみられ、9週目で「春のめぐみ」は1.09 mg/kg、「秋舞台」は1.26 mg/kgになった。根部の銅濃度は、2週目で「秋舞台」が高い値を示したが4週目で低下し以降の栽培期間は2品種とも少しずつ増加し、9週目で「春のめぐみ」は0.86 mg/kg、「秋舞台」は0.79 mg/kgになった。9週目の銅濃度は地上部が根部の1.4倍であった。地上部のカドミウム濃度の推移と比較し、地上部の銅濃度の栽培期間中の推移は類似していた。

#### 4. 要約

ダイコンのカドミウム、亜鉛、マンガンおよび銅吸収を調査するために、2品種「春のめぐみ」と「秋舞台」についてカドミウムと亜鉛を、それぞれ3.26と67.9 mg/kg(乾土重量当たり)含む土壌で9週間ポット栽培した。

いずれのダイコンも生育に異常な兆候はみられず、地上部が根部より生育量が大きかった。9週目での「春のめぐみ」の生育量は「秋舞台」の2.8倍であった。

ダイコン地上部のカドミウム濃度は2週から6週目にかけて増加がみられ、以降の栽培期間での増加は少なかった。9週目で「春のめぐみ」は2.37 mg/kg、「秋舞台」は1.45 mg/kgになった。ダイコン地上部のカドミウム濃度の低

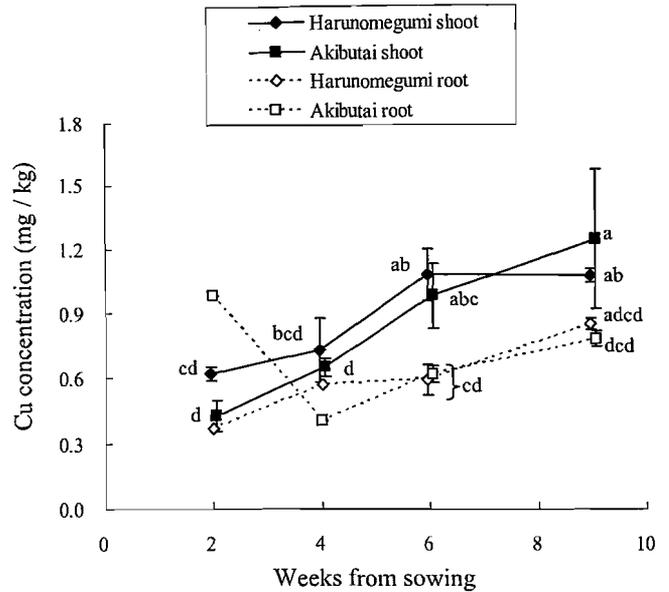


Figure 5. Copper concentrations of Japanese radishes (Harunomegumi and Akibutai) cultivated in cadmium-contaminated soil.

Data are analyzed in the same method as figure 1.

減のためには、播種から6週以前の生育初期のカドミウム吸収の抑制が重要であることが示唆された。また、栽培期間を通して、地上部カドミウム濃度は「春のめぐみ」が「秋舞台」より0.9 mg/kg高い値を示し、品種による地上部のカドミウム濃度の差があることが示唆された。

ダイコン根部のカドミウム濃度は9週目で「春のめぐみ」は2.37 mg/kg、「秋舞台」は1.45 mg/kgになった。栽培期間を通して変動が少なく、また、地上部の4分の1であった。また、品種間の差はなかった。

ダイコン地上部の亜鉛濃度は、2週目から高くその後有意な変動なく9週目で「春のめぐみ」は42.7 mg/kg、「秋舞台」は36.1 mg/kgになった。根部亜鉛濃度は、9週で「春のめぐみ」は38.3 mg/kg、「秋舞台」は46.1 mg/kgになった。

栽培期間中のカドミウム濃度と亜鉛濃度の推移を比較するとその傾向は異なることがわかった。栽培期間中の地上部のカドミウム濃度は増加するが、亜鉛濃度は播種2週目から高くその後の有意な増加はないこと、根部のカドミウム濃度は増加がなく低濃度で推移するが、亜鉛濃度は地上部とほぼ同じ濃度であることがわかった。

ダイコン地上部のマンガン濃度は、2品種とも栽培期間中増加し9週目で「春のめぐみ」は11.85 mg/kg、「秋舞台」は8.89 mg/kgになった。根部濃度は1.6 mg/kg以下で推移した。銅濃度は、地上部および根部とも栽培期間中増加した。9週目で「春のめぐみ」の地上部と根部はそれぞれ1.09と0.86 mg/kg、「秋舞台」ではそれぞれ1.26と0.79

mg/kg になった。9 週における銅濃度は、地上部が根部の 1.4 倍であった。

本研究の実施にあたり、㈱フジタの北島信行氏および菅原玲子氏、㈱後藤農園の後藤國夫氏にご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 萩野昇, 吉岡金市. イタイイタイ病の原因に関する研究について. 日整外会誌. 1961, 35, p. 812-815.
- 2) Codex Alimentarius Commission. Maximum Levels for Cadmium in Wheat Grain; Potato; Stem and Root Vegetables; Leafy Vegetables; and, Other Vegetables at Step 8 (ALINORM 05/28/12). *Twenty-Eighth Session*. 2005, p. 184.
- 3) 農林水産省プレスリリース. 農作物等に含まれるカドミウムの実態調査結果の提出について. 2002, [http://www.maff.go.jp/www/press/cont2/20021202press\\_4.html](http://www.maff.go.jp/www/press/cont2/20021202press_4.html).
- 4) 菊地直, 山崎浩道, 木村武, 宮地直道, 村上弘治. 野菜のカドミウム濃度に対するカドミウム吸収抑制技術の効果. 野菜茶業研究所研究報告. 2006, 5, p. 25-32.
- 5) Kashem, A., Singh, B.R., Huq, S.M.I., and Kawai, S. Cadmium Phytoextraction Efficiency of Arum (*Colocasia antiquorum*), Radish (*Raphanus sativus* L.) and Water Spinach (*Ipomoea aquatica*) Grown in Hydroponics. *Water Air Soil Pollut.* 2008, 192, p. 273-279.
- 6) 高橋秀子, 青山裕二, 菅原玲子, 北島信行, 河合成直. サトイモ, ダイコンおよびジャガイモのカドミウム吸収の特性. 家政誌. 2009, 60, p. 869-876.
- 7) 川合貴雄, 大熊靖. 蒜山地方におけるミノワセダイコンの生育相の特徴. 岡山農試研報. 1970, 65, 98-110.
- 8) 王莉, 東照雄, 藤村達人. 水耕栽培下でのアブラナ科 (*Brassica*) 植物によるカドミウムと無機養分の吸収特性. 日本土壌肥科学雑誌. 2004, 75, p. 329-337.
- 9) Kubota, H., Takenaka, C. *Arabis gemmifera* is a Hyperaccumulator of Cd and Zn, *International J. of Phytoremediation*. 2003, 5, p. 197-201.
- 10) Yang, X.E., Long, X.X., Ye, H.B., He, Z.L., Calvert, D.V., and Stoffella, P.J. Cadmium Tolerance and Hyperaccumulation in a New Zn-Hyperaccumulating Plant Species (*Sedum alfredii* Hance). *Plant Soil*. 2004, 259, p. 181-189.
- 11) 岡崎正規, 山田秀和, 久保田正亜. “微量元素”. 土壤環境分析法. 土壤環境分析法編集委員会編. 東京, 博友社, 1997, p. 318-371.
- 12) SAS Institute. SAS/STAT<sup>®</sup> 9.1 User's Guide. North Carolina, SAS Institute Inc., 2004. p. 1-204.
- 13) 地質調査総合センター. “日本の地球化学図”. [http://riodb02.ibase.aist.go.jp/geochemmap/zenkoku/periodic\\_table\\_zenkoku\\_san.htm](http://riodb02.ibase.aist.go.jp/geochemmap/zenkoku/periodic_table_zenkoku_san.htm), 入手 2009-08-01.
- 14) 柳澤宗男, 新村善男, 山田信明, 瀬川篤忠, 喜田健治. 神通川流域における重金属汚染の実態調査と土壌還元工法に関する研究. 富山県農業研究所研究報告. 1984, 15, p. 1-110.
- 15) 気象庁. “気象統計情報” <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, 入手 2009-08-01.
- 16) 斎藤隆. “肥大根の発育・肥大と外的要因”. 野菜の生理・生態. 東京, 農文協, 2008, p. 138-139.
- 17) 文部科学省科学技術・学術審議会・資源調査分科会. 五訂増補日本食品標準成分表第 2 章野菜類. 平成 17 年 1 月 24 日報告書. 2005, p. 10.
- 18) Weber, M., Harada, E., Vess, C., Roepenack-Lahaye, E., and Clemens, S. Comparative microarray analysis of *Arabidopsis thaliana* and *Arabidopsis halleri* roots identifies nicotianamine synthase, a ZIP transporter and other genes as potential metal hyperaccumulation factors. *The Plant J.* 2004, 37, 269-281.
- 19) 高橋英一. “必須元素”. 植物栄養・肥料学. 東京, 朝倉書店, 1993, p. 73-101.