

## ●論文

# 家畜ふんコンポストを施用した各種畑土壌における コマツナによる亜鉛, クロムおよびマンガンの吸収 —中性子放射化分析を用いた解析—

鈴木弘行<sup>1</sup>・荻山慎一<sup>2</sup>・  
熊谷 宏<sup>1</sup>・野川憲夫<sup>3</sup>・  
牛尾進吾<sup>4</sup>・安西徹郎<sup>4</sup>・  
坂本一憲<sup>5</sup>・犬伏和之<sup>5</sup>

<sup>1</sup>千葉大学大学院薬学研究院

<sup>2</sup>放射線医学総合研究所

<sup>3</sup>東京大学アイソトープ総合センター

<sup>4</sup>千葉県農業総合研究センター

<sup>5</sup>千葉大学大学院園芸学研究科

## Absorption of Zn, Cr and Mn by *Brassica campestris* L. cultivated in arable fields after animal manure applications —Measurement by neutron activation analysis—

Hiroyuki Suzuki<sup>1</sup>, Shinichi Ogiyama<sup>2</sup>

Hiroshi Kumagai<sup>1</sup>, Norio Nogawa<sup>3</sup>

Shingo Ushio<sup>4</sup>, Tetsuo Anzai<sup>4</sup>

Kazunori Sakamoto<sup>5</sup>, Kazuyuki Inubushi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Pharmaceutical Sciences, Chiba University

<sup>2</sup>National Institute of Radiological Sciences

<sup>3</sup>Radioisotope Center, The University of Tokyo

<sup>4</sup>Chiba Prefectural Agriculture Research Center

<sup>5</sup>Graduate School of Horticulture, Chiba University

We examined the absorption of Zn, Cr and Mn into *Brassica campestris* L. cultivated in Brown Lowland soil (BL soil), Andosol and Brown Forest soil (BF soil) after five years' applications of chemical fertilizer (CHF), cattle farmyard manure (CFM) and pig farmyard manure (PFM). The effects of animal manure applications on the absorption of Zn, Cr and Mn by *B. campestris* were estimated by comparing the result in the CFM- and PFM-applied plots with that in CHF-applied plot. Zinc, Cr and Mn in *B. campestris* were measured by the instrumental neutron activation analysis (INAA) to perform total simultaneous analysis at a high sensitivity. The results obtained in this study were summarized as follows:

- 1) For Zn and Cr in *B. campestris*, the results obtained from INAA were compared with a nitric acid-digestion method (NADM). Results obtained from the INAA and NADM were fully in agreement for Zn, but not in agreement for Cr. The Cr concentration in *B. campestris* determined using NADM was only 13-27% of that determined by INAA. From the results above, it is suggested that INAA could be used to analyze the correct amounts of trace elements removed by *B. campestris*.
- 2) CFM application increased Cr concentration in *B. campestris* cultivated in BL soil and Zn concentration cultivated in BF soil, while decreased Cr and Mn concentrations cultivated in Andsol and Cr and Mn cultivated in BF soil. PFM application led to a significant increase on the Zn concentration in *B. campestris* cultivated in BL soil, Zn and Mn cultivated in Andsol and Zn, Cr and Mn cultivated in BF soil. In BL soil, PFM application tended to decrease the Cr concentration in *B. campestris*. For Zn, Cr and Mn in CFM-applied plot of BF soil, Cr and Mn in CFM-applied plot of Andsol and Cr in CFM- and PFM-applied plots of BL soil, the change of availability by *B. campestris* of Zn, Cr and Mn in animal manure may provide an important influence on the uptakes of these elements by *B. campestris*.
- 3) For Zn, Cr and Mn, the removed amounts by cropping were smaller than their amounts added by the animal manure. Since the 5-year application of animal manure did not result in a considerable increase in Cr and Mn concentrations in soils, we have to continue soil survey to collect data on the soil accumulation of Cr and Mn contained in animal manure.

### 1. 緒 言

近年, 循環型社会の確立を目指し様々な分野で未利用資源の有効利用が検討されている。そのような方法の一つに家畜ふんや下水汚泥のような有機性未利用資源のコンポスト化

および農地への還元がある。しかし, 家畜ふんコンポストや下水汚泥コンポストには亜鉛, 銅, マンガンなどの重金属が含まれているため [1-6], 長期の施用による重金属の土壌蓄積が懸念されている [7-13]。

重金属を含む家畜ふんコンポストや下水汚泥コンポストの長期施用は農作物や食物連鎖にも影響を及ぼすため, この

ようなコンポストを施用するためには土壌とそこで栽培された農作物の重金属含量を調査し土壌蓄積性および作物移行性について把握する必要がある。しかし、コンポスト由来の重金属の作物移行性については亜鉛や銅に関する報告が多く、その他の元素についての報告は少ない傾向にある [10, 13-17]。また、重金属の土壌蓄積性に関する報告では過塩素酸等の強酸で土壌を分解後に分析した測定値が用いられるが、強酸による分解後の測定値は分解を要しない機器中性子放射化分析 (INAA) による測定値よりも低くなる場合がある [18]。このため、強酸による分解が不完全である場合には家畜ふんコンポストや下水汚泥コンポストの施用が重金属の土壌への蓄積や作物への移行性に及ぼす影響について異なった結論を導く危険性がある。

INAAには1) 全量分析が非破壊で可能であり灰化の必要がない、2) 多元素同時分析が可能、3) 測定のための試料が少量で済む利点があるので、有機性未利用資源に含まれる様々な重金属の土壌への蓄積や作物への移行性を検討する上で非常に有用であると考えられる [19]。

本研究では、まず強酸による灰化が容易な植物試料にINAAを用いることの有用性を明らかにするため、コマツナの分析をINAAと一般的な硝酸分解を伴う分析法との間で比較した。2つの分析法による測定値の比較は家畜ふんコンポストに多く含まれている元素の一つである亜鉛とOgiyama et al. [18] において土壌のINAAと過塩素酸分解を伴う分析法との間で測定値に違いが認められたクロムについて行った。次に、亜鉛とクロム、そして亜鉛と同様に家畜ふんコンポストに多く含まれているマンガンのコマツナによる吸収について、家畜ふんコンポストや3種類の測定法による土壌中のこれらの元素含有量 (INAAによる全含有量、過塩素酸分解法による含有量、0.1M塩酸可溶性含有量) が及ぼす影響を調べたのでその結果を報告する。

## 2. 試料および方法

### 1) 試験区の履歴

千葉県農業総合研究センター (千葉市緑区) 内に設置された褐色低地土、多腐植質黒ボク土、褐色森林土を充填したライシメーター (2m×2m×1m: 縦×横×深さ) の牛ふんコンポスト施用区、豚ふんコンポスト施用区、化学肥料施用区を本実験に使用した。牛ふんコンポストおよび豚ふんコンポストは千葉県内の業者から購入したものを使用した。各土壌の理化学性はOgiyama et al. [7] に示した。

本実験を開始する2003年5月以前に牛ふんコンポスト施用区と豚ふんコンポスト施用区には1年間に現物あたり33Mg ha<sup>-1</sup>の牛ふんコンポストまたは豚ふんコンポストが1998年から施用された。また化学肥料施用区には硫酸アンモニウム

(N: 0.36 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), 過磷酸石灰 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0.36 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>), 硫酸カリウム (K<sub>2</sub>O: 0.44 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) が施用された。牛ふんコンポスト施用区, 豚ふんコンポスト施用区, 化学肥料施用区では1998年から2003年5月までに馬鈴薯, ブロッコリー, カブ, ニンジンなどが1年に2作栽培された。

### 2) 栽培条件

2003年5~6月に化学肥料施用区には硫酸アンモニウム, 過磷酸石灰, 硫酸カリウムをそれぞれ1haあたり0.60Mg, 0.71Mg, 0.30Mgの割合で施用した。牛ふんコンポスト施用区には牛ふんコンポスト, 硫酸アンモニウム, 過磷酸石灰, 硫酸カリウムをそれぞれ1haあたり8.50Mg (乾物換算), 0.55Mg, 0.71Mg, 0.30Mgの割合で施用した。豚ふんコンポスト施用区には豚ふんコンポストを1haあたり10.35Mg (乾物換算) の割合で施用した。実験に用いた硫酸アンモニウム, 硫酸カリウム, 過磷酸石灰, 牛ふんコンポスト, 豚ふんコンポストの亜鉛, クロム, マンガンの含有量を「第1表」に示した。家畜ふんコンポストと肥料は耕耘機を用いて作土層に均一に鋤込んだ。この後, 1試験区あたり300株のコマツナ (*Brassica campestris* L., 品種名: 楽天) を1ヶ月間栽培した。コマツナは30株を収穫し, 地上部と根部を分離し, 付着した土壌を除くため超音波槽で蒸留水を用いて洗浄し, 70°Cで3日間乾燥した。

### 3) 測定

土壌試料については風乾細土を用いて0.1M塩酸可溶性含有量, 土壌分析で全量分析に代わるものとして用いられる過塩素酸分解法による含有量, INAAによる含有量を亜鉛, クロム, マンガンについて測定した。0.1M塩酸可溶性含有量と過塩素酸分解法による含有量の抽出操作と原子吸光法による定量についての詳細はOgiyama et al. [7] に示した。コマツナについては乾燥後に地上部を粉碎し, 硝酸分解法によって湿式分解し亜鉛とクロムの含有率を測定した。硝酸分解したコマツナの亜鉛とクロムの定量は原子吸光法 (フレイム原子吸光分光光度計: 日立社製Z-6100およびZ-5010, クロムについてはフレイムレス原子吸光法) を用いた。また, INAA

第1表 化学肥料と家畜ふんコンポストの亜鉛, クロム, マンガンの含有量 (mg kg<sup>-1</sup> D.W)<sup>\*1)</sup>

	亜鉛	クロム	マンガン
硫酸アンモニウム	<0.01	0.58	<0.01
過磷酸石灰	100	40.6	36.1
硫酸カリウム	<0.01	0.60	12.4
牛ふんコンポスト	321	54.8	828
豚ふんコンポスト	1.17×10 <sup>3</sup>	24.6	549

\*1) 機器中性子放射化分析法 (INAA) によって測定した。

のために粉碎したコマツナ地上部，土壌試料，標準試料（National Institute of Standards and Technologyの Peach Leaves SRM1547，China National Analysis Center for Iron and Steelの Stream Sediment NCS DC 73317）は約50mgをポリエチレン製の小袋に二重に封入した。試料は日本原子力研究所東海研究所の原子炉（JRR-4）において熱中性子を照射し放射化を行った。試料の照射条件と測定核種の詳細は「第2表」に示した。測定はゲルマニウム半導体検出器を用いて行い， $\gamma$ 線エネルギーと半減期を基に放射化された核種の同定を行った。そして，コマツナ地上部や土壌試料中の放射化された核種の放射能を標準試料中の放射化された核種の放射能と比較して定量を行った。

#### 4) 統計処理

解析ソフトStatcel [20] を用いて，分散分析と多重検定（Bonferroni/Dunn法）を行った。

### 3. 結果および考察

#### 1) コマツナにおけるINAAによる全量分析値と硝酸分解を伴う分析法による測定値との比較

各土壌の化学肥料施用区，牛ふんコンポスト施用区，豚ふんコンポスト施用区におけるコマツナ地上部のINAAによる亜鉛とクロムの含有率およびINAAと硝酸分解を伴う分析法による測定値との比較をまとめ「第3表」に示した。

亜鉛の場合，硝酸分解法による測定値はINAAによる測定値を100とすると9試験区の平均値で101となりほぼ同じであった。しかし，硝酸分解法によるクロム含有率はINAAによる測定値を100とすると9試験区の平均値で23となった。亜鉛に比べ硝酸分解法によるクロム含有率がINAAによる測定値よりも低くなった原因としては，植物体の灰化においてクロムが十分に可溶化されなかった可能性が考えられる。また，原子吸光法によるクロム測定ではカルシウムによる干渉

第2表 照射条件と測定核種

照射原子炉（照射設備）	最大熱中性子束 ( $m^{-2} \cdot s^{-1}$ )	照射時間	冷却時間	測定元素（測定核種，半減期，測定した $\gamma$ 線エネルギー）
JRR-4（気送管）	$3.2 \times 10^{17}$	20秒	3分	マンガン ( $^{56}Mn$ , 2.579時間, 1811keV)
JRR-4（TパイプA）	$5.3 \times 10^{17}$	10分	1週間	亜鉛 ( $^{65}Zn$ , 244日, 1115keV) クロム ( $^{51}Cr$ , 27.7日, 320keV)

第3表 INAAを用いて測定したコマツナ地上部の亜鉛，クロム，マンガンの含有率および硝酸分解法で測定したコマツナ地上部の亜鉛とクロムの含有率のINAAによる測定値に対する比率<sup>\*)</sup>

	亜鉛 $mg\ kg^{-1}\ D.W.$		クロム $mg\ kg^{-1}\ D.W.$		マンガン $mg\ kg^{-1}\ D.W.$	
褐色低地土						
化学肥料施用区	40.8±2.1	a (110)	32.0±5.9	a (13)	193±24	ab
牛ふんコンポスト施用区	50.7±0.4	ab (85)	83.9±9.2	b (26)	257±42	b
豚ふんコンポスト施用区	51.6±5.2	b (99)	17.5±1.4	a (16)	112±23	a
多腐植質黒ボク土						
化学肥料施用区	40.8±1.9	a (101)	7.11±0.58	b (23)	80.7±6.3	b
牛ふんコンポスト施用区	39.7±1.0	a (103)	4.62±0.15	a (26)	59.9±5.8	a
豚ふんコンポスト施用区	63.5±1.2	b (97)	6.78±0.25	b (27)	108±3	c
褐色森林土						
化学肥料施用区	43.8±2.3	a (113)	5.04±0.47	b (27)	63.6±0.6	b
牛ふんコンポスト施用区	52.4±1.7	b (112)	3.62±0.10	a (27)	50.7±2.4	a
豚ふんコンポスト施用区	100±1	c (91)	6.29±0.39	c (20)	86.7±6.3	c
硝酸分解法で測定した含有率のINAAによる測定値に対する比率の9試験区の平均値		(101)		(23)		

<sup>\*)</sup> 表中の元素含有率は3連の平均値と標準偏差を示す。表中の同一英文字はBonferroni/Dunn法において各土壌の試験区間で危険率5%水準で有意差が認められないことを示す。また表中の( )はINAAによる測定値を100とした場合の硝酸分解法による測定値の比率を示す。

作用によって定量値が低くなることも報告されているため [21], 植物試料中のカルシウムによる影響を受けている可能性もある。このため、コンポストから作物への元素の取奪量を正確に把握するためには、植物試料についてもINAAによる全量分析が有用であると考えられる。

## 2) 家畜ふんコンポストの施用がコマツナの亜鉛、クロム、マンガンの含有率に及ぼす影響

亜鉛の場合、各土壌におけるコマツナ地上部の含有率は豚ふんコンポスト施用区で最も高くなった (第3表)。しかし、前報 [15] とは異なりINAAによる測定では褐色森林土の牛ふんコンポストの施用区においてもコマツナ地上部の亜鉛含有率が化学肥料施用区の約1.2倍高くなった。

豚ふんコンポスト施用区におけるコマツナ地上部の亜鉛含有率が高い原因として、前報 [15] において豚ふんコンポスト施用区の土壌では0.1M塩酸可溶性亜鉛含有量が高かったことを指摘した。また前報 [15] では豚ふんコンポスト施用区では亜鉛が豚ふんコンポストと土壌蓄積分の両方からコマツナ地上部に移行する傾向があることも指摘されている。しかし、褐色森林土の牛ふんコンポスト施用区と化学肥料施用区の土壌中の亜鉛含有量は0.1M塩酸可溶性含有量、過塩素酸分解法による含有量、INAAによる全含有量とも2つの施用区間で違いはほとんど認められなかった (第4表)。このため、褐色森林土においては何らかの原因によって牛ふんコンポスト中の亜鉛の利用性が高まったために、コマツナの亜鉛含有率が増加した可能性がある。

クロムの場合、コマツナ地上部の含有率が化学肥料施用区を上回ったのは、褐色低地土における牛ふんコンポスト施用区と褐色森林土における豚ふんコンポスト施用区のみであった (第3表)。褐色森林土の豚ふんコンポスト施用区土壌では過塩素酸分解法による含有量が化学肥料施用区よりも高かったことから (第4表)、褐色森林土の豚ふんコンポスト施用区におけるコマツナ地上部のクロム含有率の増加には土壌中の過塩素酸分解法によるクロム含有量が関係している可能性がある。多腐植質黒ボク土や褐色森林土では牛ふんコンポスト施用区におけるコマツナ地上部のクロム含有率が化学肥料施用区よりも低くなった。また、統計的な有意差は認められなかったが褐色低地土の豚ふんコンポスト施用区においても同様の傾向が認められ、コマツナ地上部のクロム含有率は化学肥料施用区よりも約50%低下した (第3表)。褐色低地土における牛ふんコンポスト施用区や化学肥料施用区よりもコマツナ地上部のクロム含有率が低くなったコンポスト施用区では、土壌のクロム含有量は分析法が異なっても化学肥料施用区とほぼ同じであったため (第4表)、これらの試験区においては土壌中のクロム含有量はコマツナ地上部のクロム含有率にほとんど影響を及ぼしてい

ないと考えられる。このため、褐色低地土における牛ふんコンポスト施用区や化学肥料施用区よりもコマツナ地上部のクロム含有率が低くなったコンポスト施用区では、コンポスト中のクロムのコマツナによる利用性の変化がコマツナ地上部のクロム含有率に影響を及ぼしていると考えられる。

褐色低地土におけるコマツナ地上部のマンガン含有率は牛ふんコンポスト施用区で最も高くなり、その値は豚ふんコンポスト施用区の2倍以上になった (第3表)。また逆に、多腐植質黒ボク土と褐色森林土においては、豚ふんコンポスト施用区におけるコマツナ地上部のマンガン含有率が牛ふんコンポスト施用区よりも約1.7倍高くなった。化学肥料施用区におけるコマツナ地上部のマンガン含有率は3土壌とも牛ふんコンポスト施用区と豚ふんコンポスト施用区の間的な値を示した。多腐植質黒ボク土および褐色森林土の豚ふんコンポスト施用区の場合には、0.1M塩酸可溶性マンガン含有量も化学肥料施用区を上回っていたことから (第4表)、0.1M塩酸可溶性マンガン含有量がコマツナ地上部のマンガン含有率が高かったことに影響を及ぼしている可能性がある。しかし、化学肥料施用区のコマツナ地上部のマンガン含有率が3土壌とも牛ふんコンポスト施用区と豚ふんコンポスト施用区の場合の間的な値を示したことなどは土壌中のマンガン量からは説明できない。このため、コマツナ地上部のマンガン含有率が化学肥料施用区よりも低くなった試験区ではコンポスト中のマンガンのコマツナによる利用性が低下している可能性が考えられる。蔡・茅野 [22] は土壌中のマンガンや鉄の可溶性濃度は根圏において高く、その原因として根圏近傍でのpHの低下や分泌物による根の直接的な作用や微生物活性の変化の関与を指摘している。本研究に用いた3つの土壌におけるコマツナの根圏での微生物活性や根圏土壌のpHあるいは分泌物による根の直接的な作用が牛ふんコンポストと豚ふんコンポストを施用した試験区間で異なった可能性は不明であるため、今後このような面からコマツナのマンガン吸収と施用した家畜ふんコンポスト間差との関係について調査する必要がある。

## 3) 家畜ふんコンポストによって投入された亜鉛、クロム、マンガンの蓄積性

亜鉛、クロム、マンガンの蓄積性について、ライシメーターで栽培した300株の全コマツナによる吸収量 (以下、300株吸収量と表記) と吸収率 (栽培直前の元素投入量に対する300株吸収量の割合) を「第5表」に示した。

3土壌の牛ふんコンポスト施用区や豚ふんコンポスト施用区における亜鉛、クロム、マンガンの吸収率は亜鉛で1~6%、クロムで2~55%、マンガンで2~12%であり、コマツナ栽培後の土壌環境中には褐色低地土における牛ふんコンポスト施用区のクロムを除き、投入された亜鉛、クロム、

第4表 INAA, 過塩素酸分解法, 0.1M塩酸抽出による各試験区の土壌中の亜鉛, クロム, マンガンの含有量 (mg kg<sup>-1</sup> D.W.)<sup>\*1)</sup>

	亜鉛		クロム		マンガン	
褐色低地土						
INAA						
化学肥料施用区	198±26	A	136±23	A	2.86×10 <sup>3</sup> ±0.25×10 <sup>3</sup>	A
牛ふんコンポスト施用区	206±2	A	119±17	A	2.97×10 <sup>3</sup> ±0.14×10 <sup>3</sup>	A
豚ふんコンポスト施用区	247±12	B	126±18	A	2.99×10 <sup>3</sup> ±0.25×10 <sup>3</sup>	A
過塩素酸分解法						
化学肥料施用区	38.3±1.7	a	13.6±1.5	a	256±25	ab
牛ふんコンポスト施用区	42.2±2.7	a	12.5±1.8	a	242±17	a
豚ふんコンポスト施用区	71.6±6.4	b	14.4±0.8	a	287±11	b
0.1M塩酸抽出						
化学肥料施用区	4.00±0.16	X	1.11±0.18	X	39.2±2.4	X
牛ふんコンポスト施用区	7.22±0.52	X	1.22±0.04	X	62.5±6.1	Y
豚ふんコンポスト施用区	43.2±7.1	Y	1.25±0.16	X	91.3±4.6	Z
多腐植質黒ボク土						
INAA						
化学肥料施用区	164±2	A	81.4±3.7	B	1.68×10 <sup>3</sup> ±0.06×10 <sup>3</sup>	A
牛ふんコンポスト施用区	154±4	A	71.8±4.6	A	1.52×10 <sup>3</sup> ±0.13×10 <sup>3</sup>	A
豚ふんコンポスト施用区	238±14	B	71.6±3.0	A	1.70×10 <sup>3</sup> ±0.07×10 <sup>3</sup>	A
過塩素酸分解法						
化学肥料施用区	79.6±5.5	a	26.2±1.1	a	1.08×10 <sup>3</sup> ±0.06×10 <sup>3</sup>	a
牛ふんコンポスト施用区	91.6±1.5	a	25.8±0.6	a	1.08×10 <sup>3</sup> ±0.03×10 <sup>3</sup>	a
豚ふんコンポスト施用区	153±16	b	24.6±2.2	a	1.05×10 <sup>3</sup> ±0.04×10 <sup>3</sup>	a
0.1M塩酸抽出						
化学肥料施用区	14.0±1.2	X	0.33±0.03	X	149±2	X
牛ふんコンポスト施用区	20.3±1.5	X	0.34±0.04	X	168±5	Y
豚ふんコンポスト施用区	87.0±8.2	Y	0.32±0.06	X	187±6	Z
褐色森林土						
INAA						
化学肥料施用区	144±4	A	71.6±6.6	A	719±45	A
牛ふんコンポスト施用区	154±3	A	65.5±2.0	A	710±16	A
豚ふんコンポスト施用区	227±10	B	69.2±11.3	A	680±110	A
過塩素酸分解法						
化学肥料施用区	90.6±13.0	a	23.7±1.9	a	532±38	ab
牛ふんコンポスト施用区	106±2	a	26.2±1.9	ab	497±26	a
豚ふんコンポスト施用区	170±10	b	28.0±1.1	b	562±27	b
0.1M塩酸抽出						
化学肥料施用区	12.2±1.5	X	0.63±0.09	XY	93.1±3.3	X
牛ふんコンポスト施用区	18.1±1.2	X	0.70±0.02	Y	113±7	Y
豚ふんコンポスト施用区	84.7±7.6	Y	0.58±0.03	X	158±2	Z

\*1) 表中の値は5連の平均値と標準偏差を示す., 表中の同一英文字はBonferroni/Dunn法において各土壌の試験区間で危険率5%水準で有意差が認められないことを示す., また, 表中のINAAと過塩素酸分解法による亜鉛, クロム, マンガンの含有量はOgiyama et al.[18], 0.1M塩酸抽出による亜鉛の含有量はOgiyama et al.[7]よりそれぞれ引用した.

マンガンの約9割が存在すると考えられる. このため, 牛ふんコンポストや豚ふんコンポストの長期施用においては亜鉛以外のクロムやマンガンについても土壌の蓄積性に注意する必要があると思われる. コマツナ栽培前の牛ふんコンポスト施用区や豚ふんコンポスト施用区には5年間の施用歴

があるにもかかわらず土壌中のクロムやマンガンの含有量は亜鉛と異なり化学肥料施用区を上回らなかったことは, 下層土へのクロムやマンガンの移動や他の作物による収奪量が異なることが影響しているかもしれない. 今後, 家畜ふんコンポストの施用がクロムやマンガンの土壌蓄積性に及ぼ

第5表 亜鉛, クロム, マンガンの各試験区におけるライシメーターへの元素投入量, 300株吸収量<sup>\*1)</sup>, 吸収率<sup>\*2)</sup>

	亜鉛	クロム	マンガン
ライシメーターへの元素投入量 (mg)			
化学肥料施用区	28.4	11.7	11.7
牛ふんコンポスト施用区	1.12×10 <sup>3</sup>	198	2.83×10 <sup>3</sup>
豚ふんコンポスト施用区	4.84×10 <sup>3</sup>	102	2.27×10 <sup>3</sup>
300株吸収量 (mg) と吸収率			
褐色低地土			
化学肥料施用区	37.9 (134%)	29.8 (254%)	179 (1529%)
牛ふんコンポスト施用区	65.4 ( 6%)	108 ( 55%)	332 ( 12%)
豚ふんコンポスト施用区	41.8 ( 1%)	14.2 ( 14%)	90.7 ( 4%)
多腐植質黒ボク土			
化学肥料施用区	49.0 (172%)	8.53 ( 73%)	96.8 (825%)
牛ふんコンポスト施用区	39.3 ( 4%)	4.57 ( 2%)	59.3 ( 2%)
豚ふんコンポスト施用区	76.2 ( 2%)	8.14 ( 8%)	130 ( 6%)
褐色森林土			
化学肥料施用区	47.3 (167%)	5.44 ( 46%)	68.7 (585%)
牛ふんコンポスト施用区	47.2 ( 4%)	3.26 ( 2%)	45.6 ( 2%)
豚ふんコンポスト施用区	129 ( 3%)	8.11 ( 8%)	112 ( 5%)

\*1) INAAによる各元素の含有率×コマツナの1株当たりの乾物重×300, コマツナの1株当たりの乾物重は萩山ら [15] のデータを使用した。

\*2) 元素投入量に対する300株吸収量の百分率で示した。

す影響を明らかにするためには下層土の土壤調査や他の作物による吸収についての知見を得る必要がある。

### 和文抄録

牛ふんコンポスト, 豚ふんコンポストおよび化学肥料を各種畑土壌(褐色低地土, 多腐植質黒ボク土, 褐色森林土)にそれぞれ5年間連用した場合に栽培されたコマツナについて地上部の亜鉛, クロム, マンガンの含有率について調べた。亜鉛, クロム, マンガンの測定には, 高感度な全量同時分析を行うために機器中性子放射化分析法 (INAA) を用いた。その結果, 以下の知見が得られた。

1) INAAによるコマツナ地上部の亜鉛とクロムの含有率を硝酸分解法による測定値と比較した結果, 亜鉛では硝酸分解法による測定値はINAAによる測定値とほぼ同じであったが, 硝酸分解法によるコマツナ地上部のクロム含有率はINAAの場合の13~27%であった。このため, INAAによる全量分析は作物による吸収量を正確に把握するために有用であると考えられた。

2) 牛ふんコンポスト施用によって, 褐色低地土で栽培したコマツナの地上部のクロムの含有率, 褐色森林土で栽培したコマツナの地上部の亜鉛含有率が増加した。しかし, 多腐植質黒ボク土で栽培したコマツナの地上部のクロムとマンガンの含有率や褐色森林土で栽培したコマツナの地上部の

クロムとマンガンの含有率は牛ふんコンポストの施用によって低下した。一方, 豚ふんコンポスト施用によって, 褐色低地土で栽培したコマツナの地上部の亜鉛含有率, 黒ボク土で栽培したコマツナの地上部の亜鉛とマンガンの含有率, 褐色森林土で栽培したコマツナの地上部の亜鉛, クロム, マンガンの含有率が増加した。しかし, 褐色低地土で栽培したコマツナの地上部のクロム含有率は豚ふんコンポストの施用によって低下する傾向を示した。褐色低地土の牛ふんコンポスト施用区と豚ふんコンポスト施用区のクロム, 多腐植質黒ボク土の牛ふんコンポスト施用区のクロムとマンガン, 褐色森林土の牛ふんコンポスト施用区の亜鉛, クロム, マンガンについては, 家畜ふんコンポスト中の亜鉛, クロム, マンガンのコマツナによる利用性の変化がコマツナによるこれらの元素の吸収に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

3) 3土壌の家畜ふんコンポスト施用区における亜鉛, クロム, マンガンのコマツナ地上部の吸収率は亜鉛で1~6%, クロムで2~55%, マンガンで2~12%であった。家畜ふんコンポスト施用区では5年間の施用歴があるにもかかわらず土壌中のクロムやマンガンの含有量は亜鉛と異なり化学肥料施用区を上回らなかった。従って, クロムやマンガンの土壌蓄積性を明らかにするためには今後更にデータを蓄積していくことが重要であり, 土壤調査を継続して行う必要がある。

文 献

- [1] 三島慎一郎・川崎晃・駒田充生 (2006)：下水汚泥コンポストの重金属含有率の傾向と利用における問題点の評価，土肥誌，77，83～86
- [2] 折原健太郎・上山紀代美・藤原俊六郎 (2002)：家畜堆肥の重金属含有量の特性，土肥誌，73，403～409
- [3] 小山 太・福田憲和・山本富三 (2002)：豚ふん堆肥および採卵鶏ふん堆肥の微量元素含量，九州農業研究，64，51
- [4] 磯部等・関本均 (1999)：栃木県における豚用飼料，豚ふんおよび豚ふん堆肥の重金属含量の実態，土肥誌，70，39～44
- [5] Nicholson, F.A., Chambers, B.J., Williams, R.J. and Unwin, R.J. (1999): Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales, *Bioresource Technol.*, 70, 23～31
- [6] Kawasaki, K., Kimura, R. and Arai, S. (1998)：Rare earth elements and other trace elements in wastewater treatment sludge, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44, 433-441
- [7] Ogiyama, S., Sakamoto, K., Suzuki, H., Ushio, S., Anzai, T., and Inubushi, K. (2005): Accumulation of zinc and copper in an arable field after animal manure applications, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51, 801～808
- [8] 森昭憲・寶示戸雅之・近藤熙・松波寿弥 (2004)：我が国の草地飼料畑における微量重金属の堆肥による投入量と牧草および飼料作物による収奪量，土肥誌，75，651～658
- [9] Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C. and Chambers, B.J. (2003): An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales, *Sci. Total Environ.*, 311, 205～219
- [10] 岡本保 (2000)：石灰系下水汚泥の長期連用により土壌に蓄積する重金属の存在形態と挙動，土肥誌，71，231～242
- [11] 後藤茂子・茅野充男・山岸順子・熊澤喜久雄 (1997)：下水汚泥コンポストの長期連用に伴う重金属の土壌への蓄積，土肥誌，68，156～162
- [12] Chino, M., Goto, S., Kumazawa, K., Owa, N., Yoshioka, O., Takechi, N., Inanaga, S., Inou, H., Cai, D.-L. and Youssef, R.A. (1992): Behavior of zinc and copper in soil with long term application of sewage sludges, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38, 159-167
- [13] 深田久成・安倍世紀・野地良久 (1991)：汚泥類の連用が畑土壌および作物に及ぼす影響 (第2報) 長期連用に伴う理化学性の変化，重金属の土壌集積と作物吸収，大分農技セ研報，21，43～60
- [14] Suzuki, H., Suzuki, Y., Kumagai, H., Nogawa, N., Kawate, M., Sawahata, H., Sakamoto, K. and Inubushi, K. (2006): Influence of sewage sludge compost applications on uptake of element by cultivated crops in a brown forest soil—measurement by the neutron activation analysis—, *Radioisotopes*, 55, 135-145
- [15] 萩山慎一・坂本一憲・鈴木弘行・牛尾進吾・安西徹郎・犬伏和之 (2005)：家畜ふんコンポストを施用した各種畑土壌におけるコマツナによる亜鉛と銅の吸収，土肥誌，76，293～297
- [16] 樋口恭子・岩渕大・吉羽雅昭・但野利秋 (2004)：有機質肥料の施用によるコマツナ鉄含量の増加，土肥誌，75，87～89
- [17] 早川修・渡辺紀元 (1990)：下水汚泥焼却灰の多量施用が作物の生育と重金属吸収に及ぼす影響，土肥誌，61，557～564
- [18] Ogiyama, S., Sakamoto, K., Suzuki, H., Ushio, S., Anzai, T., and Inubushi, K. (2006): Measurement of concentrations of trace metals in arable soils with animal manure application using instrumental neutron activation analysis and the concentrated acid digestion method, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 114～121
- [19] 高松武次郎・小山陸夫 (1991)：放射化分析法 (植物栄養実験法，植物栄養実験法編集委員会編)，博友社，東京，168～173
- [20] 柳井久江 (1998)：4 Stepエクセル統計，オーエムエス出版，所沢，110～162
- [21] 渡辺久雄・渋谷政夫 (1978)：フレイムレス原子吸光法による土壌中全クロムの定量法について，土肥誌，49，331～334
- [22] 蔡徳龍・茅野充男 (1990)：根圏における微量元素肥料の挙動およびそれに及ぼす窒素添加の影響，土肥誌，61，614～621

(受付：2007年5月16日 受理：2007年8月28日)