

6 カドミウムの土壌蓄積及び作物吸収における

汚泥肥料連用の影響(続報)

舟津正人¹, 山西正将², 阿部文浩¹

キーワード 汚泥肥料, 連用試験, カドミウム

1. はじめに

肥料の公定規格¹⁾では汚泥肥料中の含有を許されるカドミウムの最大量は 0.0005 %と定められており, 汚泥肥料はこの範囲内において流通, 施用されている. 一方, 汚泥肥料の施用により土壌に負荷された重金属が蓄積し, 更に長期に施用すると土壌の保持力を超えて農作物へ移行し, 人畜に有害な農作物が生産されることが懸念されている. このことから, 肥料の有効性及び安全の確保に必要な課題に関する調査研究として, 汚泥肥料の連用施用試験を実施している.

2009年夏から2010年冬にかけては, 汚泥肥料施用区及び標準区の2試験区に栽培前に施肥し, ニンジン, ホウレンソウ, ホウレンソウ, チンゲンサイの順で栽培し, 土壌中のカドミウム濃度の変化及び作物体へのカドミウム吸収量を確認した結果は既に肥料研究報告第4号²⁾で報告した. 2011年夏においては, カブを用いて前季と同様の試験を実施したのでその結果を報告する.

2. 材料及び方法

1) 試験圃場及び供試土壌

試験は, 汚泥肥料の施用履歴がある土壌(汚泥肥料施用区)と施用履歴がない土壌(標準区)を供試土壌でそれぞれ2試験区2反復とし, 独立行政法人農林水産消費安全技術センター岩槻圃場(埼玉県さいたま市)で行った. 供試土壌のうち汚泥肥料の施用履歴がある土壌は2004年度及び2006年度に汚泥肥料(し尿汚泥肥料及び下水汚泥肥料)を施用した. この時の汚泥肥料由来のカドミウム負荷量は, 試験区(4 m²)当たり約100 mgであった. その後2年間肥料成分のクリーニング作物としてギニアグラスを栽培し, 地上部は圃場外に持ち出した. 2009年度及び2011年度の試験開始時供試土壌の理化学性はTable 1に示した.

2) 供試肥料等

施用する汚泥肥料はし尿汚泥肥料を使用し, 補正肥料として特級試薬の硫酸アンモニウム, リン酸一アンモニウム及び塩化カリウムを使用した. 汚泥肥料及び補正肥料の各成分の分析は肥料等試験法³⁾によった. なお, 汚泥肥料中の0.1 mol/L塩酸可溶カドミウムは, 汚泥肥料1 gを0.1 mol/L塩酸50 mLで1時間振とうして抽出したカドミウムを原子吸光光度法により測定した⁴⁾. 汚泥肥料の分析結果はTable 2に, 補正肥料の成分量はTable 3に示した.

¹ 独立行政法人農林水産消費安全技術センター肥飼料安全検査部

² 独立行政法人農林水産消費安全技術センター肥飼料安全検査部 (現)神戸センター

Table 1 Characteristics of soil used in this study

	Unit	Year	AP ¹⁾ -1	AP-2	SP ²⁾ -1	SP-2
pH (H ₂ O) ³⁾		2009 ⁴⁾	6.1	6.1	6.2	6.2
		2011 ⁵⁾	6.0	6.2	6.2	6.2
EC ⁶⁾	mS/m	2009	9.98	10.31	13.96	11.56
		2011	12.75	14.66	16.66	18.74
Acid-solubility-cadmium ⁷⁾	mg/kg	2009	0.18	0.19	0.18	0.21
		2011	0.17	0.16	0.14	0.14
Kind of soil			Andosol		Andosol	
Soil texture			Light clay		Light clay	

- 1) Sludge-fertilizer-application plot
- 2) Standard plot
- 3) Soil pH determined on 1:5 (soil:water) suspensions with a glass electrode
- 4) The year when the study was designed to evaluate the effects of sludge fertilizer applications on soil intended for long-term use
- 5) The year when this study was conducted
- 6) Soil electrical conductivity determined on 1:5 (soil:water) suspensions with an electrical conductivity meter.
- 7) Content of cadmium dissolved with 0.1 mol/L hydrochloric acid in the drying soil

Table 2 Properties of sludge fertilizer

Property	Unit	Content	Property	Unit	Content
Total nitrogen	%	3.31	Total copper	mg /kg	546
Total phosphorus ¹⁾	%	5.22	Total zinc	mg /kg	1,760
Total potassium ²⁾	%	0.36	Total cadmium	mg /kg	3.64
Total calcium ³⁾	%	2.14	Acid-solubility-cadmium ⁴⁾	mg /kg	3.24
Moisture	%	26.09			

- 1) Content as P₂O₅
- 2) Content as K₂O
- 3) Content as CaO
- 4) Content of cadmium dissolved with 0.1 mol/L hydrochloric acid

Table 3 Properties of the reagent

Property	Unit	Ammonium sulfate	Ammonium dihydrogenphosphate	Potassium chloride
Total nitrogen	%	21.1	12.0	—
Total phosphorus ¹⁾	%	—	61.5	—
Total potassium ²⁾	%	—	—	63.1

- 1) Content as P₂O₅
- 2) Content as K₂O

3) 試験区の構成

汚泥肥料施用区及び標準区は、1 試験区の面積を 4 m²(縦 2 m×横 2 m)とし、縦横 2 区ずつ計 4 試験区、汚泥肥料施用区と標準区を Fig. 1 のとおり配置した。施肥量は夏作のカブの施肥基準がある栃木県の施肥基

準⁵⁾を基に決定し、一試験区当たり窒素全量 60.0 g, リン酸全量 60.0 g, 加里全量 60.0 g とした. 汚泥肥料の施用量は, 窒素全量を基準に決定し, 50 %を汚泥肥料で施用し残りの 50 %を補正肥料で施用した. リン酸及び加里についても不足分は補正肥料を用いて調製した. 標準区については, 補正肥料を用いて汚泥肥料施用区と同じの成分量になるよう調製し施用した (Table 4 参照).

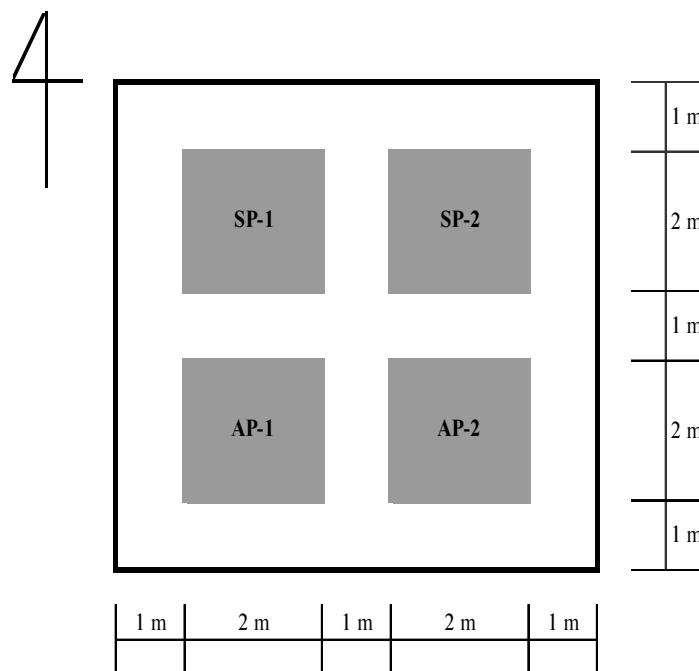


Fig.1 Plot plan of the test field

AP: Sludge-fertilizer-application plot

SP: Standard plot

Table 4 The design of the test plots

	Amount of application (g)	The applied components			
		N (g)	P ¹⁾ (g)	K ²⁾ (g)	Cd (mg)
<Sludge-fertilizer-application plot (AP)>					
Sluge fertilizer	906	30.0	47.3	3.3	3.30
Ammonium sulfate	130	27.5	—	—	—
Ammonium dihydrogenphosphate	21	2.5	12.7	—	—
Potassium chloride	90	—	—	56.7	—
Total		60.0	60.0	60.0	3.30
<Standard plot (SP)>					
Sluge fertilizer	—	—	—	—	—
Ammonium sulfate	229	48.3	—	—	—
Ammonium dihydrogenphosphate	98	11.7	60.0	—	—
Potassium chloride	95	—	—	60.0	—
Total		60.0	60.0	60.0	0.00

1) Content as P₂O₅

2) Content as K₂O

4) 栽培方法

供試作物はカブ(品種名:玉波)とした。各試験区の周辺部にはガードプランツとして供試作物を栽培した。施肥は播種11日前の2011年4月28日に、肥料と表層土約10kgを予め混合したものを試験区に均等に散布した後に耕耘機で深さ約15cmまで耕耘した。試験区内は9畝とし、播種は5月9日にシーダーテープ種子を用いて行った。間引きは5月25日及び5月30日に行い、収穫時の株間が約20cmとなるようにした。収穫は6月22日に行った。農薬散布はヨトウムシ等の害虫防除のため施肥時にダイアジノン粒剤、5月25日及び6月8日にアセフェート・クロチアニジン粒剤を散布した。雑草防除は手除草により適宜実施した。

5) 作物体のカドミウム濃度分析

収穫したカブは試験区毎に全株重量を測定して収量とした。分析用試料として試験区中央の3畝分全てを根部と葉部に切り分け、洗浄後に重量を測定し葉部は葉が重ならないように広げ、根部は薄く切り分けて自然乾燥した。その後、乾燥機により65℃で24時間乾燥を行い乾物重を測定した後、根部と葉部を別々に目開き1mmのふるいを通過するまで粉砕機で粉砕した。作物体のカドミウム含有量の分析は、試料0.5gに硝酸5mL及び過酸化水素2mLを加えマイクロ波分解装置(Multiwave 3000:Perkin Elmar製)⁶⁾で分解したものを全量フラスコ100mLに移し込んだ後、標線まで水を加えた物を試料溶液とし、ICP質量分析計(ICPM-8500:島津製作所製)により測定した。

6) 跡地土壌の分析

試験終了後、試験区の頂点から対角線を引き交点の位置を定め、更に交点と各頂点の midpoint (4点) を決定する。交点及び midpoint の5箇所から採土器(50mm×250mm:内径×長さ)を用いて表層から約15cmまでの土壌を採取し、全量を2mmのふるいを通過した後風乾し分析に供した。土壌pH及びECは風乾土壌に対して5倍量の水を加え30分間振とう後ろ過し、pHはガラス電極計(F-23:HORIBA製)により、ECは電気伝導率計(F-54:HORIBA社製)により測定した。土壌中のカドミウムは供試土壌と同様に0.1mol/L塩酸で1時間振とうして抽出したカドミウムをICP質量分析計により測定した。風乾した土壌は、乾土当たりのカドミウムを換算するためハロゲン水分計を用いて水分を測定した。

3. 結果

カブの収量及びカドミウム濃度・吸収量はTable 5に、跡地土壌の分析結果はTable 6に示した。播種から収穫までの試験期間は約2ヶ月であり、その間に異常な症状等は観察されなかった。

汚泥肥料施用区及び標準区の収量は、それぞれの平均は根部で8.900kgと9.350kg、葉部で8.725kgと9.950kgであり、根部・葉部共に標準区の収量が多くなる傾向が認められた。汚泥肥料施用区及び標準区のカドミウム濃度については、それぞれの平均が根部では両試験区とも0.084mg/kgであったが、葉部では0.160mg/kgと0.166mg/kgであり、両試験区において大きな差は認められなかった。汚泥肥料施用区及び標準区のカドミウム吸収量の平均は根部では両試験区とも0.044mg/試験区であったが、葉部では0.103mg/試験区と0.114mg/試験区となり、葉部の標準区は汚泥肥料施用区に比べて若干高くなる傾向が認められた。作物体全体のカドミウム吸収量の平均は汚泥肥料施用区で0.147mg、標準区で0.158mgとなり、両試験区間で明確な差は認められなかった。

土壌中の0.1mol/L塩酸で抽出したカドミウムは汚泥肥料施用区と標準区の違いがなく0.168~0.191

mg/kg であった。

Table 5 Absorbed amount of cadmium in the harvested turnip

	Part	Unit	Test plot-1		Test plot-2		Mean value
<Sludge-fertilizer-application plot (AP)>							
Yield	Root	kg	8.50		9.30		8.90
	Leaf	kg	8.05		9.40		8.73
Cadmium concentration ¹⁾	Root	mg/kg	0.080	0.073	0.096	0.085	0.083
	Leaf	mg/kg	0.155	0.156	0.160	0.167	0.160
The amount of cadmium absorption	Root	mg/plot	0.045	0.041	0.047	0.041	0.043
	Leaf	mg/plot	0.098	0.098	0.104	0.109	0.102
	Total	mg/plot	0.143	0.139	0.151	0.151	0.146
<Standard plot (SP)>							
Yield	Root	kg	10.00		8.70		9.35
	Leaf	kg	10.85		9.05		9.95
Cadmium concentration ¹⁾	Root	mg/kg	0.084	0.081	0.083	0.084	0.083
	Leaf	mg/kg	0.162	0.163	0.160	0.176	0.165
The amount of cadmium absorption	Root	mg/plot	0.047	0.045	0.041	0.041	0.044
	Leaf	mg/plot	0.121	0.122	0.102	0.112	0.114
	Total	mg/plot	0.168	0.167	0.143	0.153	0.158

1) Content in the dry matter

Table 6 Characteristics of soil after harvest

	Unit	Test plot-1		Test plot-2		Mean value
<Sludge-fertilizer-application plot (AP)>						
Cadmium concentration ¹⁾	mg/kg	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19
pH (H ₂ O) ²⁾		6.20		6.40		
EC ³⁾	mS/m	12.92		12.37		
<Standard plot (SP)>						
Cadmium concentration	mg/kg	0.17	0.17	0.18	0.19	0.18
pH (H ₂ O)		6.40		6.30		
EC	mS/m	14.27		13.79		

1) Content in the drying soil

2) Soil pH determined on 1:5 (soil:water) suspensions.

3) Soil electrical conductivity determined on 1:5 (soil:water) suspensions.

4. 考察

2011年度のカブで実施した試験では、作物体のカドミウム濃度及び吸収量並びに跡地土壌の0.1mol/L塩酸可溶カドミウムは両試験区間で明確な差は認められなかった。

2009年度の試験開始時からの跡地土壌の0.1mol/L塩酸可溶カドミウム濃度の推移についてはTable 7のとおりであり、両試験区を比較すると2009年夏及び2011年夏の試験では差はなかったが、他の3回の試験では汚泥肥料施用区が高い数値を示した。また、各試験での作物のカドミウム濃度及び吸収量の推移はTable 8及

び Table 9 のとおりである。2009 年度夏及び 2011 年夏のカドミウム濃度については、両試験区に差は見られなかった。他の 3 回の試験では差が認められたが、22 年夏のように必ずしも汚泥肥料施用区が高い濃度になるとは限らない結果であった。作物のカドミウムの吸収量については、これまで実施した 5 回の試験の合計は、汚泥肥料施用区で 2.338 mg、標準区で 2.742 mg であり標準区の吸収量が高くなった。このことは、無機質肥料のみを施肥している標準区の作物の生育が汚泥肥料施用区よりも良好なことにより収量が高くなったことが要因であると考えられる。これまでの各試験の結果では十分な把握ができないことから、カドミウムの吸収の傾向を確認するためには引き続き連用試験を実施していく必要があると思われる。

Table 7 Transition of Acid-solubility-cadmium¹⁾ in the soil after harvest

Year	Season	AP ²⁾ (mg/kg)	SP ³⁾ (mg/kg)
2009	Summer	0.22	0.21
2009	winter	0.18	0.15
2010	Summer	0.16	0.15
2010	winter	0.17	0.14
2011	Summer	0.18	0.19

- 1) Content of cadmium dissolved with 0.1 mol/L hydrochloric acid in the drying soil
- 2) Sludge-fertilizer-application plot
- 3) Standard plot

Table 8 Cadmium cocentration¹⁾ in the harvested crop for 2009~2011

Year	Season	Crop	Part	AP ²⁾ (mg/kg)	SP ³⁾ (mg/kg)
2009	Summer	Carrot	Root	0.02	0.02
			Leaf	0.04	0.04
2009	Winter	Spinach		0.62	0.61
2010	Summer	Spinach		1.40	1.56
2010	Winter	Qing geng cai		0.20	0.18
2011	Summer	Turnip	Root	0.08	0.08
			Leaf	0.16	0.17

- 1) Content in the dry matter
- 2) Sludge-fertilizer-application plot
- 3) Standard plot

Table 9 Absorbed amount of cadmium in the harvested crop for 2009~2011

Year	Season	Crop	AP ¹⁾		SP ²⁾	
			The applied amount (mg/kg)	Absorbed amount (mg/kg)	The applied amount (mg/kg)	Absorbed amount (mg/kg)
2009	Summer	Carrot	4.84	0.074	0	0.070
2009	Winter	Spinach	4.40	1.185	0	1.344
2010	Summer	Spinach	3.30	0.721	0	0.962
2010	Winter	Qing geng cai	2.64	0.212	0	0.208
2011	Summer	Turnip	3.30	0.146	0	0.158
Total			18.48	2.338	0	2.742

1) Sludge-fertilizer-application plot

2) Standard plot

5. まとめ

2011年夏、汚泥肥料施用区及び汚泥肥料無施用の標準区の2試験区に、カブを栽培し、土壌中のカドミウム濃度の変化及び作物体へのカドミウム吸収量を確認した。その結果、作物体のカドミウム濃度及び吸収量並びに跡地土壌の0.1mol/L塩酸可溶カドミウムは両試験区間で明確な差は認められなかった。当該試験は引き続き連用試験として実施していく予定である。

文 献

- 1) 農林水産省告示:肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件,昭和61年2月22日,農林水産省告示第284号,最終改正平成22年4月9日,農林省告示第589号(2010)
- 2) 舟津正人,阿部文浩,添田英雄:カドミウムの土壌蓄積及び作物吸収における汚泥肥料連用の影響,肥料研究報告,4,74~84,(2011)
- 3) 農林水産消費安全技術センター(FAMIC):肥料等試験法(2012)
<<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/sub9.html>>
- 4) 農林省省令:農用地土壌汚染対策地域の指定要件に係るカドミウムの量の検定の方法を定める省令,昭和46年6月24日農林省令第47号,最終改正平成12年6月1日総理府令第58号
- 5) 農林水産省ホームページ:都道府県施肥基準等,栃木県
(http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/toc01.html)
- 6) Perkin Elmer 社 マイクロ波分解装置取扱説明書:分解メソッド集 ホウレンソウ

Effect of Continuous Application of Sludge Fertilizer on Cadmium Absorption of the Crop and Accumulation of Cadmium in the Soil (Continued report)

Masato FUNATSU¹, Masayuki YAMANISHI² and Fumihiro ABE¹

¹ Food and Agricultural Materials Inspection Center, Fertilizer and Feed Inspection Department

² Food and Agricultural Materials Inspection Center, Fertilizer and Feed Inspection Department
(Now) Kobe Regional Center

In the upland fields derived from Andosol, continuous application experiments of sludge fertilizer and chemical fertilizer have performed in order to monitor the change of the cadmium which was dissolved with 0.1 mo/L hydrochloric acid (acid-solubility-Cd) from the soil and to investigate the cadmium absorption by the crop since 2009. In 2011, the turnip was cultivated in standard plot (SP) and sludge-fertilizer-application plot (AP). The amount of nitrogen, phosphorus and potassium applied to each plot was designed on The Basis of Fertilization Standard showed MAFF web site. The SP used reagents only. The AP used the reagents and the sludge fertilizer controlled the half of nitrogen content deriving from the sludge fertilizer, and another deriving from reagents. Total cadmium amount in the turnip and acid-solubility-Cd in soil after harvest were measured by a high frequency plasma mass spectrometry (ICP-MS). As a result, the cadmium content in the soil of AP was similar to that in SP.

Key words sludge fertilizer, continuous application, cadmium

(Research Report of Fertilizer, **5**, 60~67, 2012)