

9 汚泥肥料の連用によるカドミウム等の土壌への

蓄積, 作物への吸収試験(継続)

青山恵介¹, 松尾信吾², 小塚健志², 村山和晃², 八木寿治³

齋藤晴文², 佐久間健太³, 阿部文浩²

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(以下,「含有許容値」という.)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. 2009年3月に農林水産省から発表された「汚泥肥料の規制のあり方に関する懇談会報告書」²⁾において, 「3 将来実施することが必要な調査研究課題」として, カドミウム含有許容値の科学的知見を集積するため, 「汚泥肥料の連用により通常に比べカドミウムの蓄積が進んでいる土壌を活用し, カドミウムを吸収しやすい農作物を栽培し, 植物への吸収の有無, 程度を調べる必要がある」と記載された. 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, カドミウムの土壌への蓄積及び作物体の吸収量を確認する.

2009年夏作³⁾から2017⁴⁾年夏作まで調査した結果, カドミウム濃度が比較的高い汚泥肥料を連用した試験区(汚泥肥料施用区)においては土壌中の全カドミウム濃度は上昇傾向を示したが, 作物体については, 今のところカドミウム濃度の上昇傾向は認められない. これは, 汚泥肥料中のカドミウムは主に 0.1 mol/L 塩酸可溶の形態で存在しているが, 土壌に施肥した後は不溶化されることにより, 作物体が吸収しにくい状態で存在していることによると考えられた. 今後も不溶化が進めば作物体へのカドミウム濃度に影響しないと考えられるが, 不溶化が臨界点に達した場合はその影響が懸念される. そのため, 土壌が保持できる塩酸不溶カドミウムの最大量(臨界点)を把握することが重要と考える.

よって, 2017年冬作及び2018年夏作についても引き続き調査を行うとともに, 臨界点を調査するために実験を行ったのでその概要を報告する.

2. 材料及び方法

(1) 供試肥料等

供試肥料は市販されているし尿汚泥肥料を使用した. 成分分析結果は Table 1 のとおり. 標準区に施肥する肥料及び汚泥肥料施用区で補正肥料として特級試薬の尿素, 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⁵⁾によった(補正肥料の成分量

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(現)神戸センター

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

³ 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)名古屋センター

は Table 2 に示した).

Table 1 Properties of sludge fertilizer

Item	Unit	Content	Item	Unit	Content
Total nitrogen	% ^{a)}	3.3	Total copper	mg /kg	546
Total phosphorus (P ₂ O ₅)	%	5.2	Total zinc	mg /kg	1760
Total potassium (K ₂ O)	%	0.4	Carbon to nitrogen ratio	—	7.1
Total calcium (CaO)	%	2.1	Total cadmium ^{b)}	mg /kg	3.6 ^{c)}
Organic carbon	%	23.6	Acid-solubility-cadmium ^{d)}	mg /kg	3.2
Moisture	%	26.1			

a) Mass fraction

b) 4.9 mg /kg in the dry matter

c) 4.9 mg/kg in the dry matter

d) Content of cadmium dissolved with 0.1 mol/L hydrochloric acid

Table 2 Properties of reagents

Item	Unit	Urea	Ammonium dihydrogen phosphate	Potassium chloride
Total nitrogen	% ^{a)}	46.2	12.0	—
Total phosphorus (P ₂ O ₅)	%	—	61.5	—
Total potassium (K ₂ O)	%	—	—	63.1

a) Mass fraction

(2) 供試土壌

本試験は当センター岩槻圃場(埼玉県さいたま市)で実施した。土壌の種類は黒ボク土であり、土性は軽しょく土である。2009年夏作から2018年夏作までの土壌の理化学性(pH, EC, CEC, TN, TC, 有効態りん酸, 交換性加里, 交換性石灰及び交換性苦土)を Fig.1 に示す。

pH は、土壌中の Cd 蓄積量に与える影響が大きいため、pH6~pH7 になるように、試験開始から3年目、5年目、6年目及び7年目に炭酸苦土石灰及び消石灰を用いて pH 調整を行った。7年目の冬作以降は pH6.4 程度に安定している。

EC は、試験開始以降、0.1 mS/cm~0.2 mS/cm の範囲で上昇傾向を示していたことから、6年目の夏作以降、窒素肥料として使用していた硫酸アンモニウムを尿素に変更した結果、上昇傾向から転じて0.1前後で安定した推移を示している。

有効態りん酸は、地力増進基本指針において黒ボク土における有効態りん酸含有量の目標値が乾土 100 g 当たり 10 mg 以上 100 mg 以下と定められているのに対して、試験開始時から 10 mg 以下で推移していたことから、りん酸肥料の施肥量を調整したところ、8年目の冬作以降は 10 mg 以上を推移している。

他の指標については、その指標を調整することを目的とした施肥設計の調整は行わなかった。

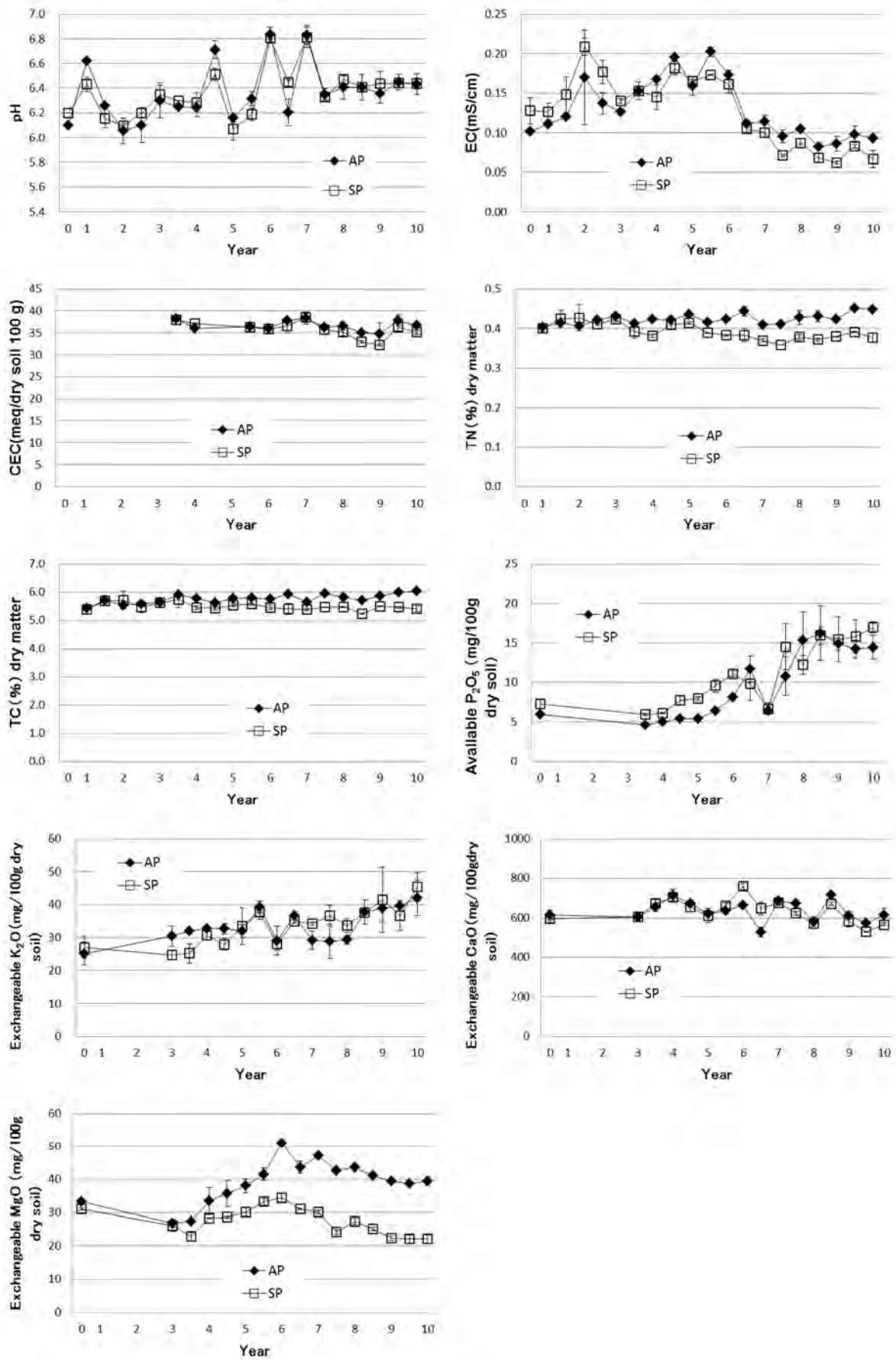


Fig.1 Transition of the characteristics of the soil

(3) 試験区の構成

試験区は Fig.2 のとおり 1 試験区の面積を 4 m^2 (縦 $2 \text{ m} \times$ 横 2 m) とし、汚泥肥料施用区及び標準区それぞれ 2 反復の計 4 試験区を配置した。

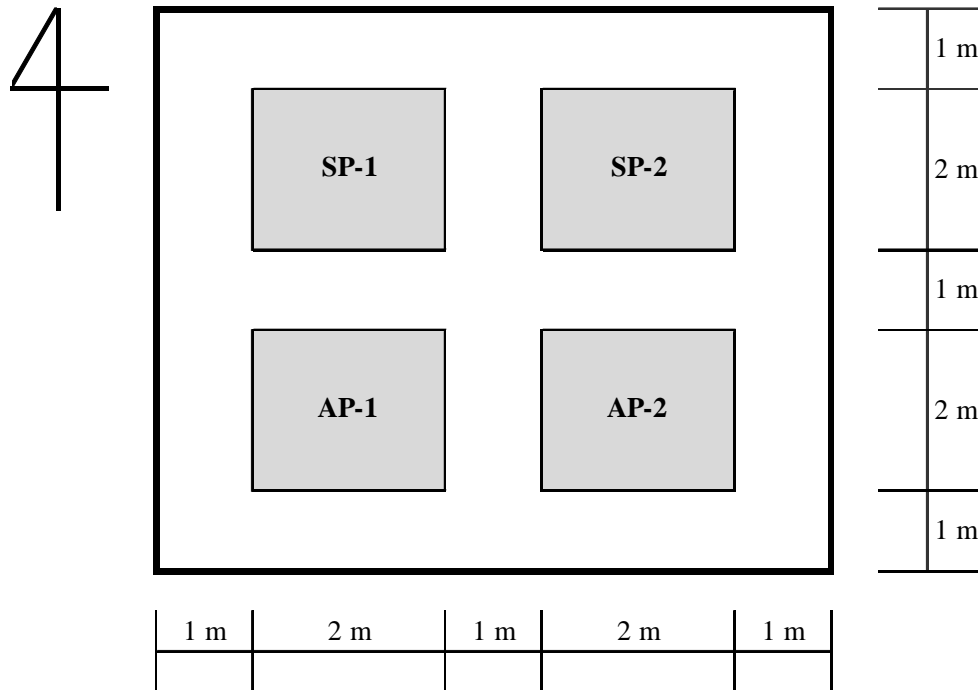


Fig.2 Plots plan of the test field

(4) 施肥設計

2017 年冬作ホウレンソウ及び 2018 年夏作ニンジン⁶⁾の施肥設計を Table 3-1 及び Table 3-2 に示した。施肥設計は、主要農作物施肥基準(埼玉県)⁶⁾を参考に設計した。

汚泥肥料は、汚泥肥料中の重金属の農地への蓄積を抑制するために、施用量の上限の目安を年間 $500 \sim 1000 \text{ kg}/10 \text{ a}$ としている^{7~9)}自治体があり、一般的に 1 作当たり $500 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 程度施用されている¹⁰⁾。また、高分子凝集剤を使用した汚泥肥料を連用した場合、土壌の pH が低下する¹¹⁾。よって、本試験においても 1 作あたりの汚泥肥料の施用量を $500 \text{ kg}/\text{a}$ とした。汚泥肥料の窒素の無機化率は、前作までの収量を考慮して冬作は 20%，夏作は 50%として窒素の分量を算出し、不足分については尿素を用いて補正した。

りん酸については、地力増進基本指針¹²⁾における有効態りん酸の改善目標下限値($10 \text{ mg}/100\text{g}$ 乾土)を満たすように、前作と同様に主要農作物施肥基準よりも多めに設計した。

加里については、主要農作物施肥基準のとおり設計した。

Table 3-1 The fertilization amount for spinach cultivation in winter 2017

	Components (g/4 m ²)					
	Amounts	N	20 % (mineralization rate of organic nitrogen)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cd
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(mg)
Standard fertilization of spinach		80	—	88	72	—
<Sludge-fertilizer-application plot (AP)>						
Sludge fertilizer	2000	66	(13)	104	7.2	7.3
Urea	145	67	67	—	—	—
Potassium chloride	103	—	—	—	65	—
Total		133	(80)	104	72	7.3
<Standard plot (SP)>						
Urea	129	59	—	—	—	—
Ammonium dihydrogen phosphate	171	21	—	104	—	—
Potassium chloride	114	—	—	—	72	—
Total		80	—	104	72	—

Table 3-2 The fertilization amount for carrot cultivation in summer 2018

	Components (g/4 m ²)					
	Amounts	N	50 % (mineralization rate of organic nitrogen)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cd
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(mg)
Standard fertilization of carrot		76	—	84	64	—
<Sludge-fertilizer-application plot (AP)>						
Sludge fertilizer	2000	66	(33)	104	7	7.3
Urea	93	43	43	—	—	—
Potassium chloride	90	—	—	—	57	—
Total		109	76	104	64	7.3
<Standard plot (SP)>						
Urea	120	55	—	—	—	—
Ammonium dihydrogen phosphate	171	21	—	104	—	—
Potassium chloride	101	—	—	—	64	—
Total		76	—	104	64	—

(5) 栽培方法

栽培の概要は Table 4 のとおり。施肥は、各試験区の表層土約 12 kg を袋に取り、Table 3-1 及び Table 3-2 の施肥設計にしたがって肥料を加えて混合し、各試験区表層に均等に散布した。なお、各試験区の周辺 1 m の部分(ガードプランツ)には、標準区の施肥設計と同じ割合で施肥した。その後、耕耘機を用いて深さ約 15 cm まで耕耘した。

農薬は播種する前に行った。ヨトウムシ等の害虫防除を目的としたダイアジノン粒剤を散布し、深さ約 15 cm まで耕耘して表面を平らにならした後、試験区内を 9 条(条間約 20 cm)間隔でシーダーテープ種子を用いて播種した。

播種から収穫までの期間、ハウレンソウについては異常が認められなかったが、ニンジンについては 9 月 30 日に通過した台風の影響により、茎が折れ曲がり収穫時には葉がほとんどなくなる事態が発生した。

Table 4 Cultivation summary

	Spinach	Carrot
Fertilization	November 10, 2017	June 15 2018
Pesticide application	November 16 (Diazinon)	June 19 (Diazinon)
Seeding	November 17	June 19
Species	New Anna R4	Koigokoro
Thinning (first)	December 8	August 1
Thinning (second)	December 22	August 15
Harvest	March 23, 2018	October 10
Cultivation period	133 days	117 days

(6) 作物体の前処理

ホウレンソウを収穫した後、直ちに作物体の重量を試験区毎に測定した。さらに、分析用試料として試験区中央の1 m²分全てを、水道水、イオン交換水の順に洗浄し、ガラス室で自然乾燥した後に通風乾燥器にて65 °Cで一昼夜乾燥した。

ニンジンについては、セラミック製包丁を用いて葉部と根部に切断し、それぞれの重量を試験区毎に測定した。さらに分析用試料として試験区中央の1 m²分全てを、水道水、イオン交換水の順に洗浄し、葉部はガラス室で自然乾燥した後に通風乾燥器にて65 °Cで一昼夜乾燥した。根部はセラミック製包丁を用いて細かく切断した後、通風乾燥器にて65 °Cで一昼夜乾燥した。

乾燥した試料を目開き500 µmのふるいを通すまで粉砕機(ZM200:Retsch ローター回転数6000 rpm)で粉砕し分析試料とした。

(7) 作物体のカドミウム分析

分析試料0.5 gに硝酸5 mL及び過酸化水素水2 mLを加え、マイクロ波分解装置(Multiwave 3000:Perkin Elmer)で分解¹³⁾したものを50 mLに定容し、ICP質量分析装置(UltiMate 3000 :Thermo Fisher Scientific)を用いて測定した。

(8) 跡地土壌の分析

収穫後、跡地土壌を対角線採土法¹⁴⁾により採取した。各試験区の作物体の分析用試料を収穫した場所と同じ試験区中央1 m²の四隅及び中央の計5か所より、採土器(内径50 mm×長さ250 mm)を用いて表層から約15 cmまで採取、混合した。通風乾燥器を用いて35 °Cで一昼夜乾燥後、目開き2 mmのふるいを通したものを分析用試料とした。

土壌中の全カドミウムは、分析試料0.5 gに、硝酸約10 mL、過酸化水素水3 mL、及びフッ化水素酸5 mLを加え、マイクロ波分解装置(Multiwave 3000:Perkin Elmer)により分解し試料溶液とした。測定はICP質量分析装置(UltiMate 3000 :Thermo Fisher Scientific)により行った。

塩酸可溶カドミウムは、土壌10 gに対し0.1 mol/L塩酸50 mLを加え、約30 °Cに保ちながら1時間振とうして抽出した試料液についてICP質量分析装置(UltiMate 3000 :Thermo Fisher Scientific)を用いて測定した¹⁵⁾。

(9) カドミウム塩酸不溶化の臨界点の推定

ガードプランツ区から採取した土壌を風乾した後, 目開き 2 mm のふるいを通した土壌を用いて, 乾土 50 g あたり汚泥肥料 1 g~50 g (1 g は 3 年分の施肥量に相当) を混合して 100 mL 容チューブに入れ, 最大容水量の 60 % 相当量の水を加えてインキュベーターで 30 °C, 77 日間静置した. その間, 水分が減少した場合は, 適宜水を加えた. 風乾した後, 全カドミウム及び塩酸可溶カドミウムを分析した. また, 全カドミウム濃度から塩酸可溶カドミウム濃度を差し引いて, 塩酸不溶カドミウム濃度を算出した.

3. 結果及び考察

1) 作物体の収量, カドミウム濃度及びカドミウム吸収量

(1) 冬作ホウレンソウ

2017 年冬作ホウレンソウの結果を Table 5 に示す.

収量は, 汚泥肥料区で 10.7 kg, 標準区で 14.1 kg であり, 標準区に対する汚泥肥料区の収量指数は 76 であった. カドミウム濃度は, 汚泥肥料区で 0.047 mg/kg, 標準区で 0.028 mg/kg であり, 汚泥肥料区の方が有意に高い結果であった ($p=0.015$). カドミウム吸収量は収量とカドミウム濃度を乗じて算出した結果, 汚泥肥料区は 0.51 mg, 標準区は 0.38 mg であった.

2009 年から 2017 年 (1 年目から 9 年目) の冬作の収量の推移を Fig.3, 作物体のカドミウム濃度及びカドミウム吸収量の推移を Fig.4 に示す. 2016 年は汚泥肥料区と標準区の収量は同程度であったが, 2017 年は標準区の収量が増加したことから, 収量指数はやや低い 76 であった. 作物体のカドミウム濃度は Codex 基準値¹⁶⁾ (0.2 mg/kg) に対して低い濃度で推移しており, 汚泥肥料の連用によるカドミウム濃度の上昇は今のところ認められない.

Table 5 Cd concentration and quantity of Cd uptake in spinach (in winter 2017)

Test crops	Test plot	Part	Yield		Yield index ^{b)}	Cd concentration		Cd uptake	
			Mean ^{a)} (kg)	σ (kg)		Mean ^{a)} (mg/kg)	σ (mg/kg)	Mean ^{a)} (mg)	σ (mg)
Spinach	AP ^{c)}	Edible part	10.7	0.9	76	0.047	0.003	0.51	0.01
	SP ^{d)}	Edible part	14.1	1.2	100	0.028	0.001	0.38	0.06

a) Mean ($n=2$)

b) Yield of standard plot was indexed as 100

c) Sludge-fertilizer-application plot

d) Standard plot

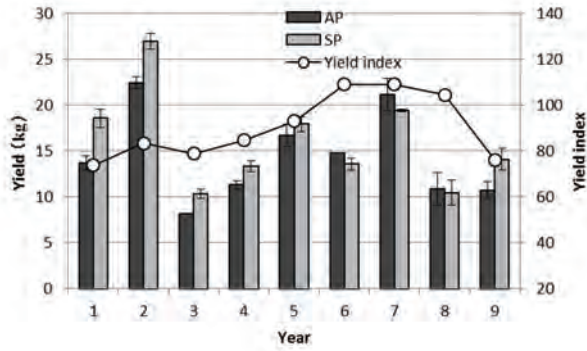


Fig.3 The yield of the spinach in winter
(Note: 2nd year (qinggengcai))

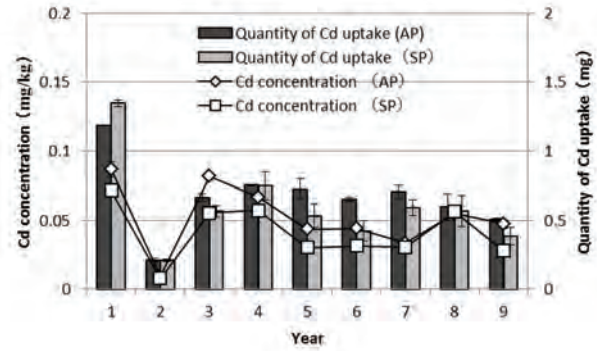


Fig.4 Cd concentration and quantity of Cd uptake in spinach (Note: 2nd year (qinggengcai))

(2) 夏作ニンジン

2018年夏作ニンジンの結果を Table 6 に示す。

収量は、汚泥肥料区で 13.1 kg (葉部 5.0 kg, 根部 8.1 kg), 標準区で 10.9 kg (葉部 3.6 kg, 根部 7.3 kg) であり、収量指数は 120 (葉部 139, 根部 111) であった。カドミウム濃度は、汚泥肥料区で葉部 0.032 mg/kg, 根部 0.021 mg/kg, 標準区で葉部 0.026 mg/kg, 根部 0.014 mg/kg であった。カドミウム吸収量は収量とカドミウム濃度を乗じて算出した結果、汚泥肥料区は 0.33 mg (葉部 0.16 mg, 根部 0.17 mg), 標準区は 0.20 mg (葉部 0.10 mg, 根部 0.10 mg) であった。葉部は有意差が認められなかった ($p=0.26$) が、根部については有意差が認められた ($p=0.04$)。

2009年から2018年(1年目から10年目)の夏作の収量の推移を Fig.5, 作物体のカドミウム濃度及びカドミウム吸収量の推移を Fig.6 に示す。2018年は台風の影響により、葉に被害が生じたことから根部の生育もやや悪く、全体として2017年よりも収量が少ない結果となった。ニンジンのカドミウム濃度は Codex 基準値¹⁶⁾ (0.1 mg/kg) に対して低い濃度で推移しており、汚泥肥料の連用によるカドミウム濃度の上昇は今のところ認められない。

Table 6 Cd concentration and quantity of Cd uptake (carrot in summer 2018)

Test crops	Test plot	Part	Yield		Yield index ^{b)}	Cd concentration		Cd uptake	
			Mean ^{a)} (kg)	σ (kg)		Mean ^{a)} (mg/kg)	σ (mg/kg)	Mean ^{a)} (mg)	σ (mg)
Carrot	AP ^{c)}	Leaf	5.0	0.8	139	0.032	0.005	0.16	0.00
		Root	8.1	0.1	111	0.021	0.002	0.17	0.02
		Total	13.1	0.7	120	—	—	0.33	0.02
	SP ^{d)}	Leaf	3.6	0.4	100	0.026	0.003	0.10	0.00
		Root	7.3	1.6	100	0.014	0.001	0.10	0.02
		Total	10.9	1.9	100	—	—	0.20	0.02

a) Mean ($n=2$)

b) Yield of standard plot was indexed as 100

c) Sludge-fertilizer-application plot

d) Standard plot

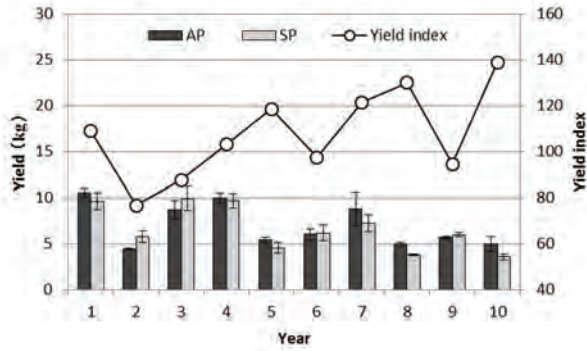


Fig.5-1 The yield of the carrot (leaf) in summer
(Note: 2nd year (spinach), 3rd year (trunip))

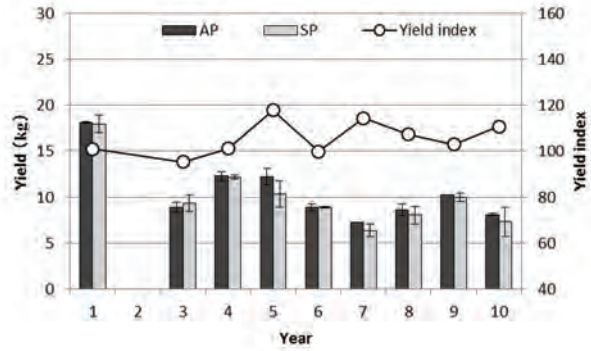


Fig.5-2 The yield of the carrot (root) in summer
(Note: 2nd year (spinach), 3rd year (trunip))

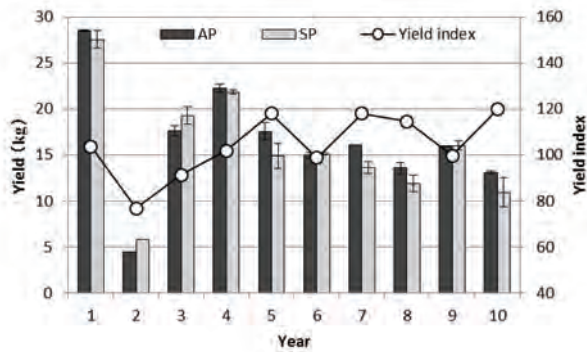


Fig.5-3 The yield of the carrot (total) in summer
(Note: 2nd year (spinach), 3rd year (trunip))

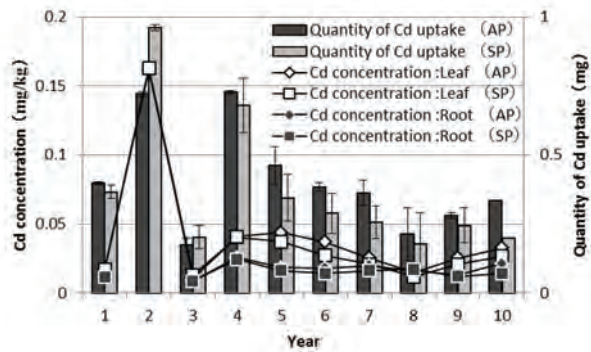


Fig.6 Cd concentration and quantity of Cd uptake
in carrot (Note: 2nd year (spinach), 3rd year (trunip))

2) 跡地土壌のカドミウム

2017年冬作の跡地土壌を分析した結果、塩酸可溶カドミウムの濃度は、汚泥肥料区で0.27 mg/kg、標準区で0.17 mg/kgであった。

2018年夏作の跡地土壌を分析した結果、全カドミウムの濃度は、汚泥肥料区で0.58 mg/kg、標準区で0.41 mg/kgであり、塩酸可溶カドミウムは汚泥肥料区で0.27 mg/kg、標準区で0.17 mg/kgであった。また、塩酸不溶カドミウムを算出した結果、汚泥肥料区は0.31 mg/kg、標準区は0.25 mg/kgであった。なお、塩酸不溶カドミウムについては、全カドミウムの値から塩酸可溶カドミウムの値を差し引いて算出した。これらの結果をTable 7に示す。

また、2009年夏作から2018年夏作(1年目から10年目)の全カドミウム、塩酸可溶カドミウム及び塩酸不溶カドミウムの推移をFig.7に示す。

汚泥肥料区のカドミウム濃度は増加傾向($p=0.001$)を示しており、汚泥肥料に含有するカドミウムが土壌に蓄積していることが示された。一方で、汚泥肥料区の塩酸可溶カドミウムは、汚泥肥料から塩酸可溶カドミウムが供給されているにもかかわらず、一定に推移する傾向($p=0.30$)を示しており、塩酸可溶カドミウムの状態では蓄積しにくいことが示された。塩酸可溶カドミウムとして存在しにくい要因の一つとして、汚泥肥料に含有するカドミウムは土壌中では有機物等と結合¹⁷⁾することにより不溶化していると考えられる。よって、現状ではカドミウムが試験区に供給されたとしても、作物体に吸収されにくい状態であることから、Codex 基準値を超えることはない

考えられる。しかし、不溶化が臨界点に達した場合は注視する必要がある。

標準区の全カドミウム濃度は減少傾向 ($p=0.005$) であり、塩酸可溶カドミウムについても減少傾向 ($p=0.04$) を示しているが、塩酸不溶カドミウムは一定に推移 ($p=0.91$) している。これは施肥によるカドミウムの供給がなく、また、作物は塩酸可溶カドミウムを持ち出している結果であると考えられる。

Table 7 Cd concentration of cultivated soil (in winter 2017 and summer 2018)

	Test plot	Total Cd		Hydrochloric acid soluble Cd ^{b)}		Hydrochloric acid insoluble Cd ^{c)}
		Mean ^{a)}	σ	Mean ^{a)}	σ	
		(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	
Spinach	AP ^{d)}	—	—	0.27	0.004	—
Winter 2017	SP ^{e)}	—	—	0.17	0.004	—
Carrot	AP ^{d)}	0.58	0.02	0.27	0.01	0.31
Summer 2018	SP ^{e)}	0.41	0.005	0.17	0.00	0.25

a) Mean ($n=2$)

b) Content of Ca dissolved with 0.1 mol/L by hydrochloric acid in the drying soil

c) (Total Cd)-(Hydrochloric acid soluble Cd)

d) Sludge-fertilizer-application plot

e) Standard plot

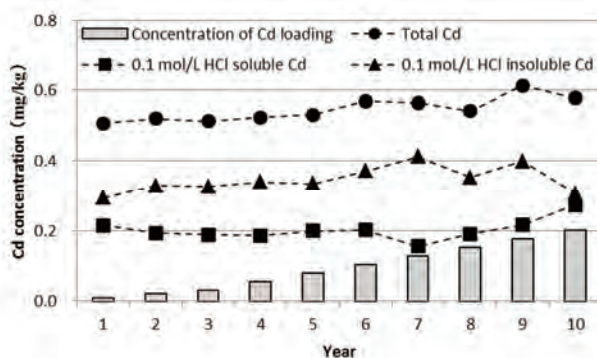


Fig.7-1 Cd concentration of cultivated soil
(AP: Sludge-fertilizer-application plot)

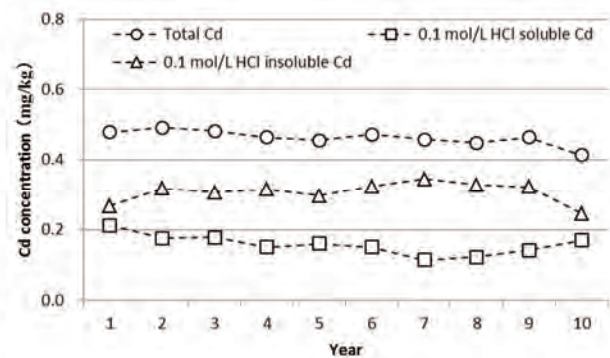


Fig.7-2 Cd concentration of cultivated soil
(SP: Standard plot)

3) カドミウム塩酸不溶化の臨界点

2. (9) に示した分析結果を Fig.8 に示す。施肥量 0 g においては、塩酸可溶カドミウムが塩酸不溶カドミウムよりも低い値を示したが、施肥量を 5 g とした段階で塩酸可溶カドミウムの方が高い値を示し、施肥量を 30 g とした段階で 1.0 mg/kg となり、その後一定に推移した。塩酸不溶カドミウムは施肥量 5 g までは一定に推移しているが、10 g とした段階で上昇し、50 g の時に約 1.0 mg/kg を示した。この結果は、汚泥肥料施用区が示している傾向とは異なる結果であった。原因を調査するため、pH を分析した結果、Fig.8 に示したとおり pH が 4.9~5.8 の範囲で推移していた。pH の推移は、有機態窒素の微生物による無機化により硝酸性窒素が蓄積した結果が反映していると考えられる。試験区では硝酸性窒素は作物による吸収や、降雨による流出のため蓄積されにくく、また土壌の pH が 6.0~7.0 になるように栽培管理していることから、試験区と実験で異なる傾向を示したと考えられ

る。

この検討については、想定外の結果となったが、土壌の pH が 4.9～5.8 の範囲では、汚泥肥料中の塩酸可溶カドミウムは不溶化が進みにくいことがわかった。

再度検討する際は、土壌中の pH を考慮して検討する必要がある。

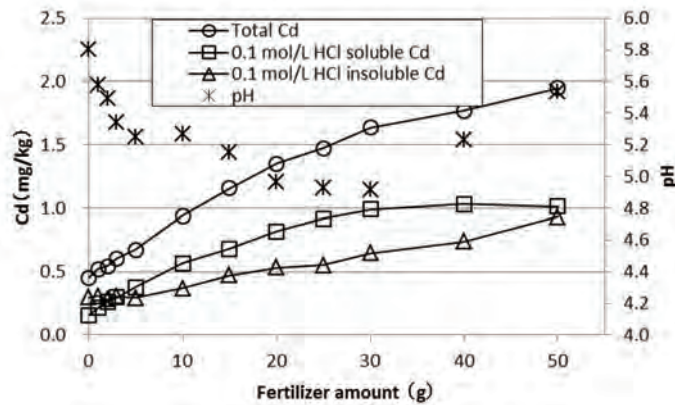


Fig.8 Form of cadmium in the soil by the quantity of fertilization

4. まとめ

2017年冬作ホウレンソウのカドミウムを分析した結果、汚泥肥料施用区 0.047 mg/kg、標準区 0.028 mg/kg であった。汚泥肥料施用区の方が有意に高い ($p=0.015$) 値を示したが、Codex 基準値 (0.2 mg/kg) に対しては低い結果であった。

2018年夏作のニンジンのカドミウムを分析した結果、汚泥肥料施用区は葉部 0.032 mg/kg、根部 0.021 mg/kg であり、標準区は葉部 0.026 mg/kg、根部 0.014 mg/kg であった。根部は汚泥肥料施用区の方が有意に高い ($p=0.04$) 値を示したが、Codex 基準値 (0.1 mg/kg) に対しては低い結果であった。

ホウレンソウの跡地土壌の塩酸可溶カドミウムを分析した結果、汚泥肥料施用区 0.27 mg/kg、標準区 0.17 mg/kg であった。

ニンジンの跡地土壌の塩酸可溶カドミウムを分析した結果、汚泥肥料施用区 0.27 mg/kg、標準区 0.17 mg/kg であった。また、全カドミウムについては、汚泥肥料区 0.58 mg/kg、標準区 0.41 mg/kg であった。

2009年夏作～2018年夏作までの土壌中のカドミウムを解析したところ、汚泥肥料施用区的全カドミウムは増加傾向 ($p=0.001$) を示し、土壌にカドミウムが蓄積していることが確認された。しかし、塩酸可溶カドミウムについては一定に推移する傾向 ($p=0.30$) を示していることから、汚泥肥料中の塩酸可溶カドミウムは土壌においては不溶化していることが考えられる。

標準区的全カドミウム濃度は減少傾向 ($p=0.005$) であり、塩酸可溶カドミウムについても減少傾向 ($p=0.04$) を示しているが、塩酸不溶カドミウムは一定に推移 ($p=0.91$) している。これは施肥によるカドミウムの供給がなく、また、作物体が塩酸可溶カドミウムを持ち出している結果であると考えられる。

土壌注のカドミウム塩酸不溶化の臨界点の推定については、pH の条件がほ場とは異なる結果となったことから、pH の影響を排除した検討が必要である。

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 31 年 4 月 26 日, 農林省告示第 807 号 (2019)
- 2) 農林水産省 消費・安全局 農産安全管理課 肥料企画班:汚泥肥料の規制のあり方に関する懇談会報告書 平成 21 年 3 月, (2009)
< http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryo/odei_hiryo/pdf/honnbun.pdf >
- 3) 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)
- 4) 青山恵介, 八木寿治, 齋藤晴文, 佐久間健太, 鈴木時也, 田中雄大, 橋本良美, 阿部文浩: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)―2016 年冬作・2017 年夏作―, 肥料研究報告, 9, 106~128, (2018)
- 5) 独立行政法人農林水産消費安全技術センター (FAMIC):肥料等試験法(2018)
< http://www.famic.go.jp/ffis/fert/obj/shikengo_2018.pdf >
- 6) 埼玉県ホームページ:主要農作物施肥基準 平成 25 年 3 月
< <http://www.pref.saitama.lg.jp/a0903/sehikijun.html> >
- 7) 千葉県 農林水産技術推進会議農林部会:肥料価格高騰に伴う土壌管理・施肥適正化指導指針 平成 20 年 9 月, 20, (2008)
< <http://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/network/h21-fukyuu/documents/kakakukoutou.pdf> >
- 8) 栃木県 農作物施肥基準―環境と調和のとれた土づくり・施肥設計の手引き 平成 18 年 1 月, 110, (2006)
< <http://www.pref.tochigi.lg.jp/g04/work/nougyou/keiei-gijyutsu/sehikijun.html> >
- 9) 群馬県 作物別施肥基準及び土壌診断基準 おでい肥料と土壌の重金属
< <http://www.aic.pref.gunma.jp/agricultural/management/technology/soil/01/index.html> >
- 10) 農林水産省 消費・安全局 農産安全管理課 肥料企画班:汚泥肥料の施用に係る指導実態等に関するアンケート結果(抜粋), (2008)
< http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_hiryo/odei_hiryo/pdf/03_data1.pdf >
- 11) 有機性汚泥の緑農地利用委員会:有機性汚泥の緑農地利用, 183, 博友社, 東京(1991)
- 12) 農林水産省:地力増進基本指針, 平成 20 年 10 月 16 日
< http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_dozyo/pdf/chi4.pdf >
- 13) 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
- 14) 財団法人日本土壌協会:土壌, 水質及び植物体分析法, 東京(2001)
- 15) 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 24 年 8 月 6 日環境省令第 22 号(2012)
- 16) 農林水産省ホームページ:コーデックス委員会が策定した国際基準値
< http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/kizyunti/ >
- 17) 独立行政法人 農業環境技術研究所:農作物中のカドミウム低減対策技術集, 平成 23 年 3 月, p49, (2011)

**Effect of Continuous Application of Sludge Fertilizer on Cadmium Absorption of the Crop
and Accumulation of Cadmium in the Soil (Continued Report)
-Winter 2017 and Summer 2018-**

Keisuke AOYAMA¹, Shingo MATSUO², Kenji KOZUKA², Kazuaki MURAYAMA²,
Toshiharu YAGI³, Harufumi SAITO², Kenta SAKUMA³, Fumihiko ABE²

¹ Food and Agricultural Materials Inspection Center(FAMIC), Fertilizer and Feed Inspection Department
(Now)FAMIC, Kobe Regional Center

² FAMIC, Fertilizer and Feed Inspection Department

³ FAMIC, Fertilizer and Feed Inspection Department (Now) FAMIC, Nagoya Regional Center

We have been researching Cd absorption of the crop and accumulation in the soil used sludge fertilizer since 2009. The soil is composed of the Andosol. We cultivated spinach in winter 2017 and carrot in summer 2018. Those crops were cultivated in the standard plot (SP) and the sludge-fertilizer-application plot (AP). In the SP, we used only chemical reagents for the crops. In the AP, we used 500 kg/10 a (fresh weight) of the sludge fertilizer and chemical reagents for the crops. The amount of nitrogen, phosphorus and potassium applied to each plot was designed on the basis of the fertilization standard shown on the Saitama prefecture's web site. The concentration of total cadmium in the crop, 0.1 mol/L HCl soluble-Cd in the soil after each of the harvests were measured by the inductivity coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). As a result, the soil in the AP after the harvests has indicated a high concentration of the total-Cd compared with the soil in the SP since winter 2011. The concentration of total-Cd in the soil (from summer 2009 to summer 2018) showed significant increasing trend in the AP. But the concentration of 0.1mol/L HCl soluble-Cd changed constantly. We thought that it was because cadmium was changed into the 0.1 mol/L HCl insoluble-Cd in the soil. The concentrations of cadmium in spinach (winter in 2017) and carrot (summer in 2018) were less than that of the CODEX standard. Probably, the concentrations of cadmium in crops will keep low until the amount of the 0.1 mol/L HCl insoluble-Cd in the soil arrives at the critical point. We consider that it is necessary to be conducted further monitoring of the transition of Cd in the soil until that point.

Key words sludge fertilizer, continuous application, cadmium

(Research Report of Fertilizer, 12, 123~135, 2019)