

緑農地還元時における下水汚泥中の有害物質の挙動(その2)

—ポット試験における重金属の挙動—

福岡大学 正 員 ○後藤 久美子
正 員 花嶋 正孝
正 員 松藤 康司
学生員 香川 智紀

1. はじめに

わが国の下水道普及率は、昭和60年度末で36%に達し、下水汚泥の発生量は全国で年間約230万tとなっており、昭和63年~72年までの10年間で2,500万tにも達することが明らかになっている。現在、下水汚泥の発生量の76%が陸上もしくは海面埋立処分されており、有効利用は16%にすぎない。下水汚泥の最終処分方法として、長期展望から緑農地還元は有効であると考えられているにもかかわらず、汚泥中に含まれる重金属の挙動について十分な解明がなされていないために普及の大きな障害となっている。そこで水田への下水汚泥の施用による土壌中の重金属の挙動について、ポットを用いた小規模な模型水田で施用試験を行ない、主に重金属の土壌中での挙動について調査を行い若干の知見を得たので報告する。

2. 調査方法

I. 調査場所

福岡大学工学部水理衛生工学実験室屋外実験場

II. 汚泥肥料施用量(汚泥肥料とは下水汚泥を堆肥化したものを呼ぶ)

区	対 照 区	施用区(I)	施用区(II)
施 用 量	0t/10a	0.3t/10a	3.0t/10a

(常量施用は0.3t/10aである。)

III. 調査方法

○ 1年目

10mmフルイでふるった非汚染真砂土を1/2000aのワゲネルポットに詰め、9ポットを水槽(1m×1m×0.45m)に入れて模型水田とした。汚泥肥料はポットの上部1/2の上に施用量に相当する量を混合して充填した。施用区は0t/10a, 0.3t/10a, 3t/10aの3区を設け、各施用区の1ポットに0t/10aを置き、対照区の0t/10aのポットと比較できるようにした。

○ 2年目

1年目の3区の模型水田のポットの上部1/2の上に、再び施用量に相当する量の汚泥肥料を混合して充填した。
1年、2年目共に、流入水は水道水を用い、圃場で実測した灌漑水流量と同じになるように流量を設定した。

3. 土壌中の重金属の挙動

2年に亘るポットの土壌中の重金属含有量を表1~表3に示す。また、ポットに使用した土壌の重金属含有量(表1)を1とした時の汚泥肥料施用後の上部・下部、収穫期の上部と下部の重金属含有量をそれぞれ試験区別に計算し、重金属濃度指数とした。

$$\text{重金属濃度指数} = \frac{\text{施用後(収穫期)重金属含有量}}{\text{施用前重金属含有量}}$$

対照区の施用前の重金属濃度をベースとした各重金属濃度指数の増減量を図1に示す。

各重金属の挙動を追ってみると、①土壌中の重金属濃度に変化のない重金属、②対照区・施用区(I)では蓄積はなく、施用区(II)では蓄積するが下部での増加はみられない金属、③重金属の増加量のほとんどが下部へ蓄積され上部での増加がみられない重金属、④増加量の一部が下部へも移行し、上部・下部の両方で蓄積する重金属の

表 1 ポット試験に使用した土壌中重金属含有量

(乾量当りmg/kg)											
As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Ca	K
0.10	0.012	ND	2.4	0.98	1.8	41	13,000	550	ND	12	2,500

表 2 土壌(1年目)の重金属含有量

(乾量当りmg/kg)											
	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	K
対 照 区	0.10	0.012	ND	2.4	0.98	1.8	41	13,000	550	ND	2,500
上 部	0.25 (0.12)	0.020 (0.015)	ND (*)	3.2 (3.4)	0.37 (0.48)	2.1 (1.8)	30 (39)	8,500 (10,000)	500 (550)	0.59 (ND)	3,000 (3,000)
下 部	0.10 (0.10)	0.011 (0.015)	ND (*)	1.9 (1.2)	0.78 (0.80)	1.5 (1.8)	43 (39)	11,000 (10,000)	570 (550)	ND (*)	2,600 (2,700)
上 部	0.29 (0.11)	0.050 (0.016)	ND (*)	4.0 (2.9)	0.8 (0.69)	5.4 (2.0)	44 (30)	10,000 (9,200)	540 (550)	1.2 (0.29)	200 (32)
下 部	0.11 (0.11)	0.012 (0.015)	ND (*)	2.1 (1.6)	1.1 (1.0)	1.7 (2.0)	42 (44)	12,000 (9,200)	560 (550)	ND (*)	12 (17)
対 照 区	0.027	0.006	ND	1.2	1.1	1.6	53	11,000	570	0.92	130
上 部	0.033	0.008	ND	0.72	1.1	1.5	49	11,000	560	0.98	84
下 部	0.13 (0.030)	0.009 (0.007)	ND (*)	3.4 (3.4)	0.74 (0.076)	2.3 (2.2)	56 (48)	12,000 (8,900)	500 (460)	1.4 (0.12)	3,400 (76)
上 部	0.072 (ND)	0.007 (0.007)	ND (*)	2.8 (1.5)	0.77 (0.094)	1.8 (1.5)	45 (43)	10,000 (11,000)	550 (570)	1.4 (0.70)	2,900 (44)
下 部	0.19 (0.042)	0.026 (0.008)	ND (*)	4.6 (3.6)	0.8 (ND)	4.1 (1.7)	64 (47)	10,000 (11,000)	500 (580)	1.8 (ND)	410 (45)
対 照 区	0.13	0.007	ND	3.3	1.1	1.8	47	10,000	570	2.5	900
上 部	0.039 (0.039)	0.007 (0.007)	ND (*)	3.3 (3.3)	1.1 (0.076)	1.6 (1.6)	43 (43)	10,000 (10,000)	570 (570)	ND (ND)	410 (410)

(*) 内は各水田中の0t/10a施用ポットによるブランク値

4つに分けることができる。

①に分類できる重金属はFe、Mn、Kで、②に分類できる重金属はHg、Cr、Zn、Gaであり、③にAs、④にPbと分類できる。

4. 周辺土壌への影響

各試験区に設置しているブランクポットの結果より、重金属が周辺に及ぼす影響をみると、対照区と比較して、施用区(I)、施用区(II)のブランクポットでPbとFeの濃度が上昇している(図2)。

また、水槽内・外に堆積した土壌の重金属含有量を表4に、さらに各試験区のポット土壌濃度を100としたときの堆積土中の濃度を濃縮率と定義し表5に示す。この表からAs、Hg、Ga以外の重金属は、堆積土中に著しく濃縮されていることがわかる。この堆積土の重金属濃度は、汚泥肥料の性状(表6)とも異っており、単に汚泥肥料の流出ではなく、重金属種の流出特性によるものである。堆積土中の濃縮率は、施用区(I)が最も大きく、次いで施用区(II)、対照区の順になっている。

5. まとめ

汚泥肥料によって土壌中に投与される重金属はその種類によって、いくつかの異なるパターンを示す。しかしほとんどの重金属は、大量施用区である施用区(II)においては確実に土壌中に蓄積され、増加傾向を示し、常量施用区である施用区(I)では無施用区、対照区と比較し、顕著な差は認められなかった。しかし、現在蓄積が見られない重金属の3年4年と連用による影響や、実圃場での調査結果と比較など、今後、長期連用や、実圃場との土壌の差等を含め、圃場との整合性を検討していく予定である。

表4 堆積土の重金属含有量

	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Ca	K
対照区	0.022	0.009	1.5	11	6.2	18	340	20,000	690	1.6	1.1	5,600
施用区(I)	0.098	0.023	5.4	2.9	18	43	7,700	32,000	1,000	50	68	8,900
施用区(II)	0.12	0.078	3.4	30	16	36	980	15,000	1,200	49	140	5,700

表5 堆積土の重金属濃縮率

	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Ca	K
対照区	4.2	69	300	320	680	1,100	6,500	430	130	8,000	10	220
施用区(I)	29	160	1,100	620	2,600	1,800	14,000	940	190	250,000	280	390
施用区(II)	34	100	680	450	890	530	1,200	500	210	240,000	29	210

表6 汚泥肥料の重金属濃度(年間平均)

	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Ca	K
	2.2	0.72	1.7	22	31	150	820	39,000	550	19	110,000	1,800

表3 土壌(2年目)の重金属含有量

		(乾量当りmg/kg)											
		As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Ca	
施用 肥料	対照区	0.15	0.004	N/D	4.2	0.36	1.7	46	9,800	510	2.5	12	2,700
	施用区 上部	0.2	0.007	N/D	3.2	0.48	2.2	34	9,100	560	2.5	10	2,400
	施用区 下部	0.08 (0.13)	0.008 (0.006)	N/D (*)	4.4 (*)	0.51 (0.97)	1.7 (1.5)	55 (34)	9,500 (9,700)	560 (520)	2.9 (2.6)	12 (11)	2,800 (2,700)
	施用区 (I)	0.28	0.007	N/D	3.2	0.39	1.6	34	9,500	520	2.6	10	2,400
	施用区 (II)	0.13	0.006	(*)	(3.2)	(0.97)	(1.5)	(34)	(9,700)	(520)	(2.6)	(11)	(2,800)
	施用区 (I)	0.28	0.007	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 (II)	0.13	0.006	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 (I)	0.28	0.007	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 (II)	0.13	0.006	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 下部	0.15	0.004	N/D	4.2	0.36	1.7	46	9,800	510	2.5	12	2,700
施用 堆肥	対照区	0.02	0.007	N/D	3.2	0.48	2.2	34	8,100	560	2.5	10	2,400
	施用区 上部	0.13	0.009	N/D	3.9	0.33	2.1	48	11,000	550	3.1	20	2,600
	施用区 下部	0.13	0.006	(*)	(3.2)	(0.97)	(1.5)	(34)	(9,700)	(520)	(2.6)	(11)	(2,800)
	施用区 (I)	0.28	0.007	N/D	3.2	0.39	1.6	34	9,500	520	2.6	10	2,400
	施用区 (II)	0.13	0.006	(*)	(3.2)	(0.97)	(1.5)	(34)	(9,700)	(520)	(2.6)	(11)	(2,800)
	施用区 (I)	0.28	0.007	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 (II)	0.13	0.006	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 (I)	0.28	0.007	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 (II)	0.13	0.006	(*)	(4.1)	(0.84)	(2.3)	(36)	(11,000)	(560)	(2.7)	(350)	(3,000)
	施用区 下部	0.52	0.013	N/D	3.4	0.91	1.7	52	4,700	550	N/D	11	2,600
収穫 後	対照区	0.30	0.010	N/D	3.5	0.62	1.9	46	3,300	520	N/D	12	2,700
	施用区 上部	0.34	0.014	N/D	4.7	0.70	2.4	56	3,400	520	N/D	24	2,300
	施用区 下部	0.41	0.012	(*)	~5.0	(0.86)	(2.1)	(52)	(4,700)	(520)	(*)	(21)	(2,600)
	施用区 (I)	0.45	0.011	N/D	5.7	0.72	2.2	48	4,200	520	N/D	30	2,700
	施用区 (II)	0.28	0.014	(*)	(3.9)	(0.30)	(1.5)	(47)	(4,700)	(520)	(*)	(21)	(2,600)
	施用区 (I)	0.45	0.011	N/D	5.7	0.67	2.1	79	3,900	560	N/D	48	2,700
	施用区 (II)	0.41	0.014	(*)	(4.5)	(0.48)	(1.2)	(45)	(3,600)	(520)	(*)	(26)	(2,700)
	施用区 (I)	0.33	0.016	N/D	5.6	0.88	2.6	52	2,700	550	N/D	80	2,700
	施用区 下部	0.52	0.014	(*)	(5.2)	(0.43)	(1.5)	(47)	(2,000)	(450)	(*)	(31)	(3,200)