

## 土壌式肥料プラントによるし尿汚泥の桑園への利用

誌名	群馬農業研究. B, 蚕業
ISSN	09104127
著者	柳沢, 靖浩 武井, 文子 小島, 暁
巻/号	5号
掲載ページ	p. 51-56
発行年月	1988年12月

## 土壌式肥料プラントによるし尿汚泥の桑園への利用

柳沢靖浩・武井文子・小島 暁\*

(農業総合試験場)

### Successive Application of Sludge From Human Wastes to Mulberry Field

Yasuhiro YANAGISAWA・Fumiko TAKEI・Satoru KOJIMA

(Gunma Agricultural Research Center)

#### 要 旨

し尿処理場からの余剰汚泥を濃縮発酵させた、スラリー状汚泥を、現地の桑園に 4 年間施用し、その肥料および有機質資材としての可能性ならびに重金属の影響を検討した。4 年間の収量は無施用区を 100 とすると、汚泥 15 t 慣行施肥区は 103 とわずかに増収し、肥料減量区では 15 t 区 92、30 t 区 106、60 t 区 115 と施用量に応じて増収した。また、土壌での炭素・窒素・リン酸の増加が認められ、特に 60 t 区では、最終年には、汚泥無施用区の 0.77%・0.085%・115.5 $\mu\text{g}$ /100 g に対して、2.02%・0.224%・274.4 $\mu\text{g}$ /100 g と 2.5 倍程度に増加した。しかし、重金属の蓄積も多く、亜鉛は無施用区の 48.7 ppm に対して 30 t 区 105.3、60 t 区 174.7 ppm と高い水準であり、多量施用の場合、汚泥中の重金属の低減が望まれた。生物性については、施用 10 日後頃に細菌濃度のピークがみられた。桑葉濃度も、肥料成分の増加と共に、亜鉛の増加(無施用区 27.2 ppm、60 t 区 52.8 ppm)がみられた。

#### 緒 言

桑園の土地生産性低下要因の一つとして、有機質資材の施用量の減少が挙げられる。繭生産費調査報告によれば、堆肥・稲わら等の粗大有機物の施用量は、1982年の 153.7 kg から 1987年の 60.6 kg/10 a と、5 年間で半分以下に減少している。一方、汚泥の緑農地への利用は、し尿消化汚泥は以前からであるが、近年食品工場等の排水処理や下水道の普及にともない増加の一途をたどっている。特殊肥料としての汚泥肥料は、1977年の 63,539 t から 1985年の 545,273 t と、8.6 倍にも増大している。

ここでは、し尿処理場の活性汚泥処理過程か

ら発生する余剰汚泥を土壌微生物を活用し濃縮発酵させ、これを液肥として農地(桑園)に還元する施設(土壌式肥料プラント)が渋川市半田地区に新設されたが、このような方式は従来例がなく、桑園への適正な施用技術が確立されていない。そこで、現地に試験ほ場を設定し、し尿汚泥の桑園肥料及び有機物資源としての可能性並びに重金属等の有害物質の影響について検討したので、その結果を報告する。

この試験の実施にあたりご協力をいただいた、渋川地区広域市町村圏環境クリーンセンター、渋川市古巻農協、および中部蚕業事務所の皆様に御礼を申し上げる。また、終始有益なご指導

\*現在、蚕業試験場

とご助言をいただいた金嶋康典元蚕業試験場蚕種飼料部長に深く感謝するとともに、試験を行うにあたり多大のご協力をいただいた旧蚕業試験場蚕桑化学課、当场蚕業分室および蚕業試験場栽桑課職員各位に厚く御礼申し上げます。

本報告の概要は日本蚕糸学会第55回学術講演会(1985)において発表した。

## 試験方法

### 1. 供試桑園の条件

(1)試験場所：渋川市半田 (2)土壌型・土性：沖積性火山灰土(褐色低地土)・砂壤土/砂壤土 (3)供試面積：1区1a計5a (4)桑品種：一ノ瀬 (5)植付距離：1.5m×0.75m (6)仕立：根刈拳式 (7)植付：1980年4月 (8)収穫形式：春蚕期 基部伐採、晩秋蚕期 中間伐採(ただし1年目は晩秋蚕期中間伐採、2年目は春切とし、初秋蚕期中間伐採) (9)施肥量(慣行)：10a当り窒素40kg、リン酸20kg、カリ20kg

### 2. 試験区の構成

第1表 試験区

区名	備考
1. 有機物無施用区	慣行施肥
2A. し尿汚泥 15t/10a区	"
2B. し尿汚泥 15t/10a区	年間施用汚泥
3. し尿汚泥 30t/10a区	半量相当量の
4. し尿汚泥 60t/10a区	化学肥料減

### 3. 施肥および汚泥

上記の施肥量を単肥配合で春肥4夏肥6の割合で施用した。ただし、植付当年はその6割とした。汚泥の施用は、春発芽前・夏切後・晩秋蚕終了後・冬期の年4回各所定量を分施(うね

第2表 供試し尿余剰汚泥化学分析値

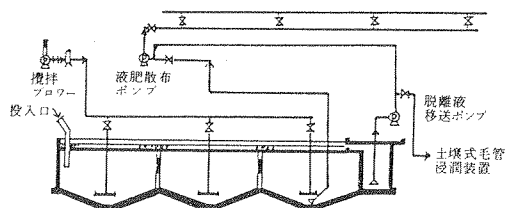
汚泥	蒸発残留物	灰分	pH	EC	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Cd	Zn	Cu
	%	%		ms/cm	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm
1980.10 平均	2.05	0.596	7.29	4.86	0.150	0.106	0.0131	0.102	0.0160	0.148	34.9	5.49
~ 最大	5.41	1.487	7.78	6.22	0.344	0.264	0.0177	0.240	0.0301	0.301	109.9	15.07
'83.10 最小	0.77	0.277	6.90	3.36	0.087	0.046	0.0087	0.043	0.0081	0.079	14.2	1.95
n=13 乾物(平均)	29.1	-	-	-	7.32	5.17	0.639	4.98	0.780	7.22	1,702	219
1984.2~ 平均	4.21	1.086	7.45	7.67	0.369	0.234	0.0253	0.124	0.0197	0.183	75.8	8.25
'84.6n=3 乾物(平均)	25.8	-	-	-	8.76	5.56	0.601	2.95	0.468	4.35	1,800	196

間に溝施用)した。なお、1980年は植付当年のため10月から施用した。また、化学肥料減量区については、年間施用汚泥の半量を有効成分と見なして三要素について減量して施用した。用いた汚泥の性状は第2表に示した。1980年10月から1983年10月までは渋川市中村の旧処理場からの余剰汚泥であり、1984年の汚泥は渋川市川島地区に新設された処理場からの汚泥である。

### 4. 施設(土壌式肥料プラント)

本施設は新見ら(1977)の考え方に基づき設計された渋川地区での2号基であるが、200m×100mの1区画の端に、第1図に示したような土壌式肥料プラントがあり、1つの槽は60m<sup>3</sup>で3槽からできている。投入口から毎日4tバキュームカー1台分のし尿余剰汚泥が投入され、順次濃縮されながら移動して行く。上澄み液は区画の両側に埋設された穴明きコルゲート管(110m長)の土壌式毛管浸潤装置から畑に還元される。濃縮された汚泥は、区画の中央に設置され30mおきに立ち上がりのある液肥散布装置で、ホースを使って施用される。

### 5. 桑葉・土壌・し尿余剰汚泥の分析



第1図 土壌式肥料プラントの構造(2号)

桑葉は収量調査時に採取し分析に供した。土壌は春蚕期もしくは晩秋蚕期収量調査終了後深さ別に採取し、風乾後分析に供した。桑葉・汚泥の重金属分析（農水省、1979）は硝酸－過塩素酸－硫酸で湿式灰化後塩酸酸性とし、原子吸光光度計で定量した。また、土壌の重金属分析（渋谷ら、1978）は可溶性（0.1M HCl）および全量（過塩素酸分解）を原子吸光光度計で定量した。土壌の一般分析は常法により行った。

## 6. 土壌の生物性

汚泥施用後経時的に表層土（0～15cm）を採取し、希釈平板法で、細菌・放線菌・糸状菌の定量をした（土壌微生物研究会編、1978）。土壌微生物の分離培養は、細菌はアルブミン寒天培地で25℃ 5～7日間・放線菌は土壤浸出液寒天培地で25℃ 7～10日間・糸状菌はローズベンガル寒天培地で25℃ 4～5日間行った。

## 結果および考察

### 1. 汚泥の成分とその施用

第2表に示したように旧処理場からの汚泥の成分は、平均値でpH7.29 とほぼ中性で、水分は97.95%と多く、あまり濃縮されていなかった。肥料成分（乾物中）は窒素・リン酸・石灰に比べて特にカリが少なかった。これは、汚泥類全般に共通した事である。重金属濃度はカドミウム・亜鉛・銅ともに比較的高い水準であった。新しい処理場からの汚泥成分は石灰・苦土、およびカドミウムが減少していた。散布時により

第3表 桑の収量（条桑量kg/10a）

成分は大きく異なり、最小値と最大値では2倍から7倍と開きが認められた。

今回の試験では汚泥の施用は、桑園での作業を考えて、晩秋蚕終了後・冬期・春発芽前・春蚕期収穫後の4回分施で行ったが、本プラントで処理された汚泥は臭気はかなり少なく、“液状コンポスト”化していると考えられた。そのため、あまり不快感を覚えなかった。また、汚泥の施用作業はホースにより比較的容易に行えるが、桑の繁茂している時期はホースの移動等が面倒であり、夏期の施用は桑収穫後に限られる。特に雨の多い時期は、汚泥がうね間に溜った状態にあり、管理作業等に支障が生ずる。

### 2. 桑の収量

桑の年間収量（条桑量）を第3表に示したが、これによると、汚泥を施用し始めて1年間経過した1981年の初秋蚕期の収量は、無施用区に対して、15t 慣行施肥区では12%、60t 区では5%増加したが、他の2区では10%程度減少した。1982年は夏に台風が通過し、晩秋蚕期の収量が一般的に減少しているが、無施用区と比べると、15t 減肥区が14%減収したほかは増収し、特に60t 区は21%増収していた。1983年は、春蚕期・晩秋蚕期ともに、汚泥施用区は無施用区と比べると増収した。特に、これまで無施用区より10%以上減収していた15t 減肥区が、3%と僅かであるが増収した。1984年は各区ともに年間収量3,000kg程度と一定の水準に達したが、15t 区は慣行施肥区・肥料減量区共に減収していた。

試験区	1981年		1982年				1983年				1984年				合計	
	初秋	指数	春	晩秋	年間	指数	春	晩秋	年間	指数	春	晩秋	年間	指数	収量	指数
1. 汚泥無施用	1,136	100	1,317	719	2,036	100	1,399	1,151	2,550	100	1,688	1,465	3,153	100	8,875	100
2A. 15 t 慣行	1,272	112	1,477	715	2,192	108	1,442	1,237	2,679	105	1,670	1,287	2,957	94	9,100	103
2B. 15 t 減肥	1,007	89	1,085	666	1,751	86	1,462	1,165	2,627	103	1,542	1,270	2,812	89	8,197	92
3. 30 t 減肥	1,028	90	1,474	781	2,255	111	1,480	1,293	2,773	109	1,877	1,462	3,339	106	9,395	106
4. 60 t 減肥	1,191	105	1,502	960	2,462	121	1,581	1,393	2,974	117	2,043	1,562	3,605	114	10,232	115

開始後の4年間の合計の収量を比較すると、15t 慣行施肥区はわずかに増収していたが、15t 減肥区は減収していた。施用汚泥成分の半量を有効と見なして化学肥料の減量を行ったが、収量の面からみると肥料成分の有効化が少なかったものと考えられる。30t 区は106と多少増収し、60t 区では115と明らかに増収していた。

### 3. 土壌への影響

試験終了時の土壌分析結果を第4表に示した。これまで、下水汚泥の施用による pH の低下が報告されているが(海老原ら、1984)、汚泥施用との関連での pH 低下は認められず、供試した汚泥中の石灰量が窒素量に対して比較的多いためと考えられる。また、有効態リン酸の蓄積が顕著であり、特に下層土までの富化がみられることが特異的である。これは、汚泥中のリン酸成分が多いことと、有機物中のリン酸であるため土壌による吸着が少なく下層土への移行が行われ易いためと考えられた。また、汚泥の施用で問題になる重金属の集積(柳沢ら、1984・

江口、1983)を土壌の可溶性(0.1M HCl)、および全量(過塩素酸分解)濃度でみると、カドミウムについてはいずれの試験区、いずれの層にもはっきりした差は認められず、60t 区の表層で可溶性が僅かに高い傾向が認められた。銅については、30t・60t 区の表層で可溶性の濃度が、無施用区に比べて僅かに高く、全量銅濃度でも60t 区の表層で明らかに増加していた。亜鉛については、汚泥無施用区が、いずれの層においても可溶性濃度は10ppm以下なのに対して、汚泥施用区では施用量に伴い表層の濃度は増加し、15t 慣行区27.1ppm、15t 減肥区36.1ppm、30t 区51.9ppm、60t 区113.9ppm であった。これは、土壌 pH が強酸性にならずに推移したため2層以下への移行が少なく、汚泥中の亜鉛の大部分が表層に蓄積されたためと考えられた。全量亜鉛についても同様な傾向がうかがわれ、汚泥無施用区がいずれの層においても50ppm程度であるに対して、表層濃度は15t 慣行施肥区78.5ppm、15t 減肥区85.5ppm、30t 区105.3ppm、60t 区174.7ppm であった。60t

第4表 試験終了時の土壌分析(1984. 10 乾土当り)

試験区	深さ cm	pH		y <sub>1</sub>	置換性塩基 mg/100g				有効態 リン酸 mg/100g	可溶性 ppm			過塩素酸分解 ppm			
		H <sub>2</sub> O	KCl		CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	
1.	0~15	6.00	5.42	3.35	149	15.3	34.2	0.3	115.5	0.1	2.0	6.0	1.6	28.8	48.7	
	汚泥無施用	15~30	5.40	4.80	7.25	112	20.4	18.4	0.6	49.5	tr.	2.4	2.5	1.7	32.6	49.9
	慣行施肥	30~45	5.65	4.90	2.25	120	25.5	30.3	0.5	31.0	tr.	2.9	2.0	1.8	35.2	48.4
		45~60	5.30	4.70	3.40	108	10.3	14.7	0.6	17.7	tr.	1.8	7.8	1.9	34.6	48.7
2A.	0~15	5.15	4.67	5.00	153	19.0	20.1	0.9	138.2	0.3	3.1	27.1	1.3	32.7	78.5	
	汚泥 15t	15~30	4.75	4.40	7.50	78	7.2	30.4	1.6	64.6	0.2	2.1	7.3	1.4	28.9	49.8
	慣行施肥	30~45	5.30	4.68	3.00	119	25.5	24.4	1.6	36.9	0.2	2.9	3.6	1.5	32.5	46.3
		45~60	4.75	4.33	9.00	73	18.5	38.2	1.1	17.6	0.1	1.9	5.2	1.6	33.7	51.2
2B.	0~15	5.46	4.87	3.25	149	17.4	19.0	1.4	157.8	0.3	3.5	36.1	1.4	32.5	85.5	
	汚泥 15t	15~30	5.10	4.56	4.00	107	12.8	19.6	4.2	88.9	0.2	2.6	7.9	1.4	30.8	56.8
	化学肥料	30~45	5.45	4.32	11.85	61	7.7	32.7	2.3	40.6	0.1	2.5	5.8	1.6	28.2	48.9
	減量	45~60	4.55	4.27	10.15	63	10.3	34.5	1.7	58.3	0.1	2.0	4.3	1.5	30.1	45.1
3.	0~15	5.75	5.00	7.10	158	30.7	35.9	0.5	157.0	0.3	4.4	51.9	1.5	35.7	105.3	
	汚泥 30t	15~30	5.00	4.40	5.75	91	18.9	20.6	1.0	124.1	0.1	2.9	8.5	1.3	33.4	56.2
	化学肥料	30~45	4.95	5.35	7.35	82	19.4	27.0	1.6	49.9	0.1	2.6	4.4	1.5	35.8	56.6
	減量	45~60	5.15	4.45	5.25	183	30.8	31.6	0.7	11.2	0.1	2.3	3.9	1.6	34.6	58.9
4.	0~15	5.27	4.80	3.35	177	28.7	30.5	0.6	274.4	0.5	5.1	113.9	1.5	49.2	174.7	
	汚泥 60t	15~30	5.25	4.75	3.00	126	25.6	27.1	1.0	120.8	0.2	3.1	26.5	1.2	31.6	73.9
	化学肥料	30~45	5.00	4.50	4.55	53	10.2	31.4	1.5	57.3	0.1	2.1	9.0	1.2	25.9	57.0
	減量	45~60	4.72	4.38	8.25	66	10.8	16.4	1.3	22.1	0.2	2.2	8.5	1.2	34.6	62.9

区では、農用地における土壤中の重金属等の蓄積防止のための管理基準（環境庁、1984）での亜鉛120ppmを実質4年間の施用で大きく越えており、15tの施用でも土壤管理が適正にされている場合、汚泥中の亜鉛濃度が現状程度であると、15年足らずで表層の亜鉛濃度は管理基準を越える危険性があり、汚泥中の重金属の低減が望まれる。また、60t区において施用汚泥中の亜鉛濃度と土壌の亜鉛濃度を見ると、全施用汚泥中の亜鉛量は10,209g/10aとなり、土壌の仮比重を1、表層10cmに全量存在すると土壌の亜鉛濃度は102ppm上昇する計算になる。これは可溶性亜鉛濃度の増加にほぼ等しく、全量濃度の増加もあまり変わらないことから、試験に用いた汚泥中の亜鉛は4年程度の期間では固定しにくいものと考えられた。

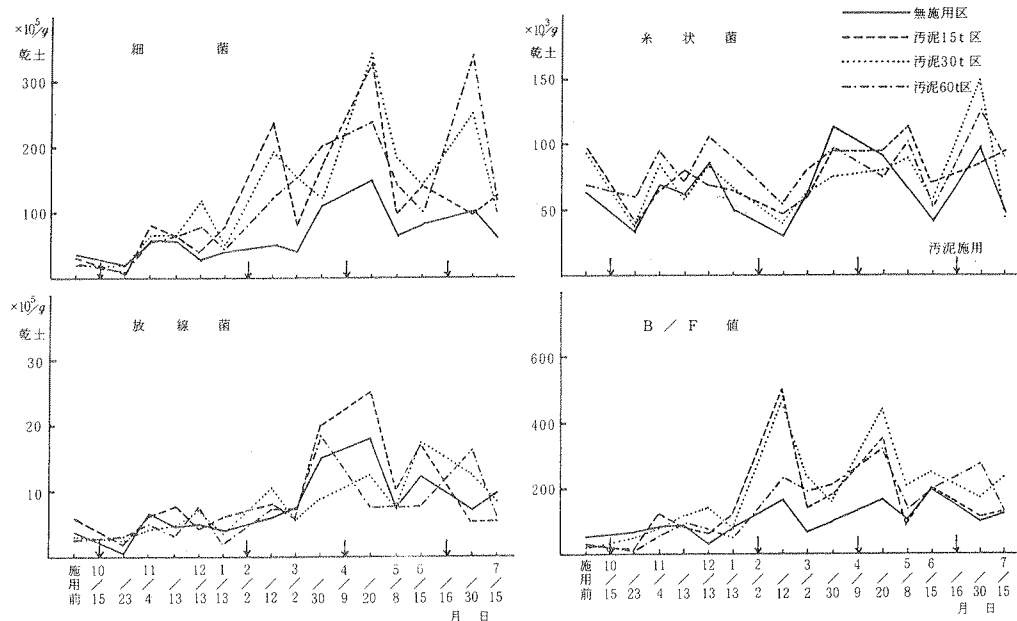
また、汚泥の有機質源としての可能性を見るために、第5表に2年目と5年目の表層の炭素量と窒素量を示したが、無施用区が最終年には炭素・窒素共に減少したのに対して、15t慣行施肥区では、ほとんど変わらなかった。しかし、15t減肥区、30t減肥区、および60t減肥区と、

汚泥施用量が増加するにしたがい、炭素・窒素ともに増加しており、有機質源としても期待できる。汚泥中の炭素分析データが無いので、施用汚泥中の窒素全量と土壌中の窒素成分とを比較すると、4年間に施用した汚泥窒素量の約3分の1が残存している。

桑園における生物性についての研究は非常に少ない。ここでは、第2図に土壌微生物の経時的变化を示す。1回施用後は変化が判然としなかったが、2回施用後の各施用区とも無施用区に比べ、細菌数が増加する傾向がみられ、特に施用後10日目頃の菌数が高い値を示した。このような傾向は、3回および4回施用後も同様であった。しかし、施用量による差は明かでない。

第5表 土壌有機物の蓄積（表層15cm）

試験区	土壌炭素量(%)		土壌窒素量(%)	
	'81.6	'84.6	'81.6	'84.6
1. 汚泥無施用	1.02	0.77	0.109	0.085
2A. 15t 慣行	1.32	1.39	0.156	0.151
2B. 15t 減肥	1.12	1.70	0.129	0.184
3. 30t 減肥	0.93	1.34	0.099	0.143
4. 60t 減肥	1.09	2.02	0.117	0.224



第2図 汚泥施用による微生物相の変化

った。また、放線菌・糸状菌については一定の傾向は見られなかったが、下水汚泥コンポストの施用により糸状菌の増加の認められた武井 (1984) の結果と異なる。これは、植物組織の分解が進んでいるため糸状菌が増加しにくい為 (茅野ら, 1987) と考えられた。次に、土壌の微生物性を示す B/F 値も、汚泥施用 10 日後頃が最も高い値を示し、その後、日数と共に区間差が少なくなり、細菌数の変化と同様な傾向を示した。

#### 4. 桑葉への影響

第 6 表に最終年の桑葉化学分析値を示した。汚泥を施用することにより土壌が変化し、その

第 6 表 桑葉の化学分析値 (1984 年 : 乾物当り)

試 験 区	T-N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO		MgO		Cd		Zn		Cu	
	春	晩秋	春	晩秋	春	晩秋	春	晩秋	春	晩秋	春	晩秋	春	晩秋	春	晩秋
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1. 汚泥無施用	4.03	3.35	0.836	0.503	3.08	3.00	2.39	3.88	0.421	0.350	tr.	tr.	36.5	27.2	6.1	7.1
2A 15 t 慣行	4.08	3.67	0.811	0.526	3.15	2.30	2.61	4.66	0.458	0.384	tr.	tr.	43.6	35.6	8.0	7.3
2B. 15 t 減肥	4.10	3.57	0.899	0.527	2.86	2.36	2.52	4.18	0.554	0.439	tr.	tr.	47.4	40.8	8.5	7.4
3. 30 t 減肥	4.31	3.71	0.944	0.576	3.29	2.67	2.67	4.48	0.594	0.449	tr.	tr.	33.5	45.5	7.5	6.8
4. 60 t 減肥	4.17	3.78	0.856	0.581	3.66	2.70	2.65	4.21	0.563	0.454	tr.	tr.	44.8	52.8	7.8	8.2

影響を最も大きく受けているのが最終年と考えられる。肥料成分としては、窒素・リン酸・カルシウム・マグネシウムは汚泥施用により増加が認められるが、施用量による差は明かでない。一方、カリウムについては一定の傾向は認められなかった。また、問題となる重金属であるが、汚泥施用の影響を受け亜鉛の増加が認められ、特に、晩秋蚕期において土壌の影響を受け、60 t 減肥区では無施用区の 2 倍程度になっていた。しかし、三好ら (1971) の提唱している、飼料中の亜鉛許容限界濃度 100 ppm の半量程度で、蚕の飼料という面では問題なかった。なお、カドミウム・銅については差は認められなかった。

#### 引 用 文 献

- 茅野野男・森忠洋 (1987) : 微生物、**3** (6)、50 ~ 55.
- 土壤微生物研究会編 (1979) : 土壤微生物実験法、pp. 21 ~ 27、養賢堂、東京。
- 海老原武久・松村蔚・山田要 (1984) : 群馬農業研究、**A 1**、44 ~ 44.
- 江口博 (1983) : 埼玉蚕試報、**56**、72 ~ 21.
- 環境庁水質保全局長 (1984) : 農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準について (通達)、環水土 149.
- 三好健勝・宮沢福寿・清水治 (1971) : 日蚕雑、**40**、323 ~ 329.
- 新見正・有水彊 (1977) : 汚水の土壌浄化法研究、pp. 48 ~ 67、毛管浄化研究会、東京。
- 農水省農蚕園芸局農産課 (1979) : 土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体分析法、pp. 176 ~ 178.
- 渋谷政夫・山田雄生・渡辺久男 (1978) : 重金属測定法 土壌汚染元素と定量法の解説、pp. 24 ~ 128、博友社、東京。
- 武井文子 (1984) : 群馬農業研究、**B 1**、49 ~ 52.
- 柳沢靖浩・武井文子 (1984) : 群馬農業研究、**B 1**、43 ~ 48.