

中海干拓地農業への都市下水利用に関する基礎的研究 III

都市下水処理汚泥による土壌改良と作物栽培

松井 佳久[※]・鍋島 浩[※]・加藤とし子[※]

寺田 俊郎^{※※}・吉野 蕃人^{※※}・福田 晟^{※※}

Yoshihisa MATSUI, Hiroshi NABESHIMA, Toshiko KATO,
Toshiro TERADA, Shigeto YOSHINO, and Akira FUKUDA

Basic Research on the Application of Municipal Sewage to the
Agriculture at the Reclaimed Lands of Nakanoumi Area. III.
Improvement of Soil with Municipal Sewage Sludges and the
Cultivation of Crops.

筆者らはこれまで、ライシメーターやポットを用いた試験を通して、中海干拓地土壌の物理的・化学的性質を調べるとともに、干拓地土壌の改良に都市下水処理水や汚泥を利用する可能性の有無をさぐってきた^{1,2)}。その結果、中海干拓地掛屋工区に広く分布する酸性硫酸塩土壌の改良には、松江地区環境衛生組合川向処理場において産出される汚泥（凝集汚泥脱水乾燥ケーキ）の投与が非常に効果的であることが示された。その後、この結果を干拓の現地で規模を大きくして確かめるために、中海干拓地掛屋工区内に約20aの試験圃場を借り受け、1978年4月以来、ここで汚泥による土壌改良と作物栽培の試験を実施してきた。本報では、1979年8月末までに得られた試験結果を述べる。

実験方法

装置

本研究において使用したイオンメーター、分光光度計および原子吸光度計は既報と同じものである^{1,2)}。

分析法

土壌 pH の測定および土壌中に含まれる塩化物イオン (Cl⁻)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、易溶性のリン酸態リン (PO₄-P) の定量は、風乾土壌 30g に 150ml の 0.5M Na₂SO₄ 水溶液を加え、1 hr の攪拌後濾過し、濾液について既報の方

法を適用して行った。土壌中の鉄 (Fe²⁺, Fe³⁺) および Cd²⁺ の含量は、6N の塩酸 (d=1.1) による加熱浸出³⁾を行った後、既報の方法で測定した。この浸出液についてはさらに PO₄-P と Ca²⁺ の定量も行った。PO₄-P の定量は既報¹⁾と同じである。Ca²⁺ の定量は LaCl₃ 共存下における原子吸光法を用いて行った⁴⁾。土壌中の Ca 型リン酸 (Ca-P)、Fe 型リン酸 (Fe-P) および Al 型リン酸 (Al-P) の分別定量は、関谷の方法で行った。都市下水処理汚泥

土壌改良に用いた汚泥は、松江環境衛生組合川向処理場において1978年4月から6月にわたって産出された凝集汚泥脱水乾燥ケーキである。当処理場より提供された資料によれば、その化学成分は N, 0.15%; P₂O₅, 11.3%; K₂O, 0.15%; CaO, 15.3%; Fe₂O₃, 12.2% であり、pH は 9.3 である。成分として Ca²⁺ とリンに富むため肥効が期待でき、またアルカリ性であるから酸性土壌を中和する効果も期待できる。筆者らの分析では、0.5 M Na₂SO₄ 抽出液の pH は 8.6 ± 0.1、この抽出液に可溶の成分として、Cl⁻ が 31 ± 10 mg/g、NH₄-N が 23 ± 7 mg/g、NO₃-N が 7.6 ± 0.9 mg/g、PO₄-P が 8.2 ± 2.0 mg/g であり、熱塩酸で浸出する Cd²⁺ は 2.02 ppm であった²⁾。汚泥の含水率は 35 ± 3% であった。

掛屋干拓地試験圃場の概要

土壌改良試験および作物栽培試験を行った圃場は、中海干拓地掛屋工区内の南部に位置する。その平面図を第

※ 農芸化学工学研究室

※※ 附属農場

1 図に示す。この圃場の周囲 3 方（東、西、南）は小排水路で囲まれ、北側は幅約 1 m の水路に面している。圃場地下約 1 m には南北方向に 2 本の暗渠排水溝が設けられているほか、東西方向に弾丸暗渠排水溝がかなりの数設定されている。スプリンクラーも南北方向 2 列に約 12 m 間隔で設置されているが、今回の試験では使用しなかった。圃場全面積は約 23a (23.5m×97m) であるが、今回の試験では図示したように全体を A, B, C の 3 区画に分け、それぞれ 5% 汚泥区、石灰区、10% 汚泥区と名付けた。5 および 10% 汚泥区とは、深さ 15cm までの土壤重量 ($d=2.72$) のそれぞれ 5 および 10% に当たる量の都市下水処理汚泥を投与し、トラクター攪拌した区であり、石灰区とは深さ 15cm までの土壤重量の 1% にあたる量の炭カルを投与攪拌した区である。作物栽培試験では、A-C の各区をさらに東西に 2 分割し、2 種類の試験を同時に並行して実施できるようにした。

実験結果および考察

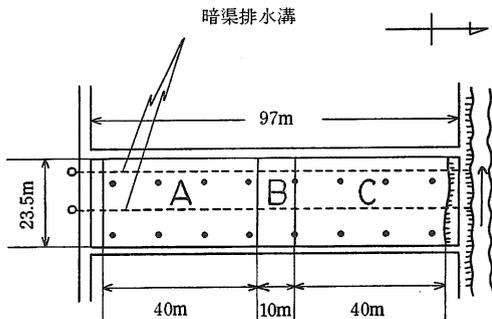
1. 都市下水処理汚泥による土壤改良

既報^{1,2)}において述べたように、当試験圃場の土壤は多量の pyrite (FeS_2) を含んでおり、その酸化によって生成する硫酸が土壤を強く酸性化する。そのため何らかの土壤改良を施さねば、畑地として使用することはできない。筆者らは、土壤中和剤として普通用いられている炭カルのほかに、都市下水処理汚泥を投与することによる土壤改良効果を調べた。第 1 表に土壤改良作業の経過を、また第 2 表にはそれともなう土壤 pH の変化を示す。

土壤改良のためには、 FeS_2 を積極的に酸化させたのち、生成した酸を石灰で中和すれば良いといわれている⁶⁾。筆者らもこの指針に従い、圃場をトラクターで充分

に耕起し、 FeS_2 の酸化を促進する作業から始めた。耕起に先立って行った土壤分析では、深さ 0—15cm の上層土壤の pH は 4.2—4.7 であり、深さ 15—30cm の下層部の pH はそれより幾分高かった。長期間の自然放置状態で、土壤の酸性化が上層からゆっくり進行していたことを示している。これに対して耕起後 2 週間目の土壤は、上下層とも pH 4 よりかなり低くなり（平均 pH 3.6 ± 0.1 ）、約 1 ヶ月後ではさらに pH が低下する傾向（平均 pH 3.4 ± 0.1 ）がみられた。前報で述べた耕起作業の有用さが、ここでも明らかに現われている。酸性化がかなり進行したと思われる 5 月下旬から土壤改良作業を開始した。石灰および汚泥の添加量は実験方法の部で述べた通りであり、主として上層 15cm までの土壤に混和するよう作業した。これによる上層土壤 pH の上昇は著しく、pH 8 へ近づいた。しかもその後約 3 ヶ月間、ほぼ中性が維持されていることも確かめられた。これに対し、中和剤の充分に行き渡らない下層土では、酸性を示すことが多かった。

土壤 pH の測定と並行して、その他の化学成分の分析も行った。第 3 表に、土壤改良剤添加前後における土壤中の Na_2SO_4 溶液可溶成分量を比較したものを示す。窒素・リンの無機栄養塩が汚泥の投与によって非常に増加しているが、汚泥中に含まれているものであるから当然である。しかしながら、これらの無機栄養塩を本来含まない炭カルの投与区においても、無機栄養塩の増加が観察された。土壤の中和によって土壤微生物の活動が促進されたものと推定される。事実、pH の比較的低い下層部土壤では、 NO_3-N 、 PO_4-P ともに上層部ほどの増加は示さなかった。汚泥の投与は、単にそれに含まれている化学物質の直接的な効果を示すだけでなく、土壤微生物の活動を促進するという点で、多重の効果を示すと判断される。他方、有害成分である Cl^- も汚泥投与に



第 1 図 揖屋干拓地試験圃場の概略

A, 5% 汚泥区; B, 石灰区;

C, 10% 汚泥区

●, スプリンクラー

第 1 表 試験圃場における土壤改良作業経過 (1978年)

月 日	作 業 内 容
4-24	土壤試料採取
28	トラクターによる耕起 (深さ約 15cm)
5-12	土壤試料採取
29	土壤試料採取
5-31~6-2	C区へ10%の汚泥を添加
6-9	土壤試料採取
7-6~7	A区へ5%の汚泥を、B区へ1%の炭カルを添加
7-18	土壤試料採取
10-2	土壤試料採取

ともない急増した。しかし、その濃度は作物栽培に障害となる程度ではなく、また月日の経過につれて徐々に減少していった。

2. イタリアン・ライグラス栽培試験

上述の土壤改良を行った圃場の東側半分の約 12 a において、1978年9月末から飼料作物のイタリアン・ライグラスの栽培試験を行った。すなわち9月27日に 10a 当り 33kg (N 4.6kg, P 3.3kg, K 4.3kg) の元肥を散布したのち、均一に播種した。播種量は 10 a 当り 5kg である。石灰区、汚泥区ともに順調な発芽・生育が観察された。中でも10%汚泥区における生育は、一見して良好であった。12月1日に坪刈りによる収量調査を行い、12月4日に第1回の全面刈り取り (草丈 10cm 以上) を行った。ついで1979年4月10日に第2回の坪刈り調査と全面刈り取りを行った。その間、約1ヶ月間隔で生育調査を行うとともに、適時土壤分析も行った。これらの結果を第4、5表と第2図に整理した。

総収量は石灰区に比較して5%汚泥区が約1.5倍、10%汚泥区では約2倍となった (第4表)。草丈の伸長

速度も、ほぼこの順に増加していた (第2図)。10%汚泥区における収穫量 (10 a 当り約 8 t) は、通常の畑地での栽培と比較しても見劣りするものでない。5%汚泥区においては、第1期収穫量は10%汚泥区に匹敵する値であったにもかかわらず、第2期収穫量が低下し、石灰区と変らなかつた。栽培期間中の土壤状態を調べたところ、10%汚泥区では常に pH は中性が保たれていたのに対し、5%汚泥区および石灰区では冬期に pH の低下傾向が見受けられた。pH は土壤採取個所によって変動したが、時には pH が5以下に低下している地点もあった。イタリアン・ライグラスの栽培に好適な土壤 pH は、6.0—6.5といわれており、pH が5以下となれば当然障害が起るであろう。栄養塩のうちでは、5%汚泥区の熱塩酸可溶 $PO_4\text{-P}$ の減少が目立った。冬期から春期に至る3ヶ月間に半減していた。このような結果からみると、安定した土壤改良には5%汚泥投与では不十分であり、10%程度の汚泥投与が望ましいと判断される。

第4表 イタリアン・ライグラス^{a)}の収穫量比較

区 画	収 穫 量 (kg/10a)			
	第1期 ^{b)}	第2期 ^{c)}	合 計	比 率
石 灰 区	1790	2210	4000	1.00
5%汚泥区	3480	2270	5750	1.44
10%汚泥区	3810	4000	7810	1.95

a) 1978年9月27日播種 (5kg/10a).
 b) 1978年12月1日刈取り.
 c) 1979年4月10日刈取り.

第2表 土壤改良作業期間中における試験圃場土壤の pH 変化^{a)} (1978年)

月 日	石 灰 区		5%汚泥区		10%汚泥区	
	上層 ^{b)}	下層 ^{c)}	上層	下層	上層	下層
4-24	4.2	5.0	4.3	7.9	4.7	4.8
5-12	3.4	3.9	3.4	3.7	3.7	3.5
29	3.5	3.2	3.7	3.4	3.5	3.3
6-9	3.6	3.5	3.7	3.7	7.9 ^{d)}	7.9
7-18	8.0 ^{d)}	3.5	7.7 ^{d)}	4.1	7.5	5.0
10-2	7.9	4.0	7.1	3.9	8.0	6.2

a) 0.5 M Na_2SO_4 抽出液の pH (各区数地点の平均).
 b) 深さ 0—15cmの土壤
 c) 深さ 15—30cm の土壤.
 d) 土壤中和剤添加済み.

第3表 土壤改良剤添加前および添加後の土壤中の 0.5 M Na_2SO_4 可溶成分

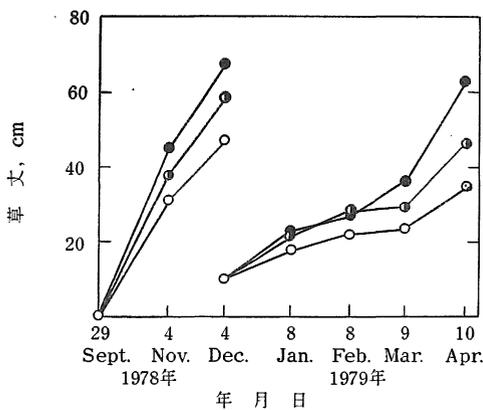
試 験 区	乾土 1g 中の含有量 (mg)			
	Cl ⁻	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
(添加前, 5月12日)				
石 灰 区	0.041	0.0048	0.0035	0.00046
5%汚泥区	0.053	0.0044	0.0047	0.00059
10%汚泥区	0.19	0.010	0.011	0.00022
(添加後, 10月2日)				
石 灰 区	0.46	0.015	0.44	0.0042
5%汚泥区	1.10	0.070	0.30	0.0054
10%汚泥区	0.73	0.052	1.30	0.0085

3. チューリップ栽培試験

圃場の西側半分の約 8 a において、1978年11月から1979年6月まで、チューリップの栽培試験を行った。第6表に栽培作業経過を整理して示す。この試験に際して、圃場の排水を良くするため、南北方向に6列の畝を作った。1978年11月8日に肥料 (元肥) を散布した。肥料としては、ごこく配合 (N, 8%; P, 9%; K, 10%) を 10 a 当り 67kg, 過石 (P, 15%) を 10 a 当り 11kg およびミネラル宝素 (微量元素類) を 10 a 当り 67kg 使用した。肥料散布の翌日、直径 10cm 球根 (品種: アペルドールン) を約 5,000個/a の密度で植付けた。1979年2月5日に追肥として、上記のごこく配合とミネラル宝素とを各々 10 a 当り 67kg 散布したほか、硫加 (K, 48.5%) も 10 a 当り 22kg 散布した。また1979年1—2月に行った土壤調査の結果、石灰区と5%汚泥区において pH の低下が観察された (石灰区で pH 4.2—5.0, 5%汚泥区で pH 3.8—4.5)。そのため2月後半に石灰区へ 10 a 当り 200kg の炭カルを、5%汚泥区へ10a

当り 5,000kg の汚泥を土壌表面に散布した。施肥・薬剤散布等の作業は、通常の畑地栽培法とほぼ同様であり、摘花日（4月17日）および球根掘取り日（6月1日）も正常である。

第7表に各区別の収穫状況と販売球根（直径 10cm 以上の球根）についての価格評価をまとめた。栽培を通じて球根個数は各区とも 2 倍を越える増加率を示した。中でも 10%汚泥区の増加率（2.5倍）が高かった。この区の販売球根個数は石灰区の約 1.3倍であり、またその価格評価では石灰区の約 1.5倍の収穫をえた。販売球根数



第2図 イタリアン・ライグラスの生育経過 (20個体平均草丈)

1978年12月4日 草丈 10cm 以上刈り取り。
○, 石灰区; ●, 5%汚泥区; ⊙, 10%汚泥区

第5表 イタリアン・ライグラスの生育期間中の上層土壌の pH および熱塩酸可溶性 PO₄-P

区画	地点No.	1978	1979	1979
		10-2	1-10	4-10
pH				
石灰区	9	7.8	7.9	7.3
	10	7.9	4.4	—
5%汚泥区	7	7.9	4.5	7.7
	8	7.4	7.3	—
10%汚泥区	11	8.0	5.8	7.9
	12	8.1	7.9	—
PO ₄ -P (mg/g)				
石灰区	9	0.7	1.1	0.3
	10	0.5	1.3	—
5%汚泥区	7	3.5	4.2	1.8
	8	2.6	3.4	—
10%汚泥区	11	3.3	6.7	5.3
	12	3.7	3.9	—

より価格評価に両区間の差が大きいのは、両区の球根の直径分布に差があるためである。各区の収穫球根を篩い分けし、直径分布を調べた結果を第8表に示す。球径 9cm 以下では各区の間にほとんど分布の差はないが、9cm 以上の球根では明瞭な差がみられる。石灰区、5%汚泥区、10%汚泥区の順に、直径の大きな球根の割合が増加している。それにとまって球根の価格も当然高くなる。

5%汚泥区の収穫量は10%汚泥区ほど良くなく、石灰区とほとんど変らなかった。すでに述べたように、この区では冬期に土壌 pH の顕著な低下が観察された。すなわち1979年1月から2月にかけて、10%汚泥区の土壌が常に pH 7 以上を保持していたのに対し、石灰区では pH 4.2—5.0、5%汚泥区では pH 3.8—4.5 まで低下していた。チューリップの生育には pH 6.8—7.0 が好適であり、pH 5.0 以下になると根の先端が褐色になり、生育が著しく悪くなるといわれている。2月後半になって、石灰区および5%汚泥区にそれぞれ炭カルと汚泥を追加し、それによって pH はかなり改良されたものの、やはり冬期における pH 低下がその後の生育に悪影響を及ぼしたとみなさざるをえない。

チューリップの生育は、同一区内でも畝の位置によって非常に異なっていた。最も東側の畝は、どの区も生育が良かった。東側から2番目の畝では、5%汚泥区の北

第6表 チューリップの栽培作業経過

年月日	作業内容
1978-10-24	球根粉衣 (トップジンM)
11-8	肥料散布 (ごこく配合, 過石, ミネラル宝素)
9	球根植付 (品種, アペルドールン)
12-18	除草剤散布 (クロロIPC, グロモキソン)
1979-2-5	肥料散布 (ごこく配合, 硫加, ミネラル宝素)
16	除草剤散布 (クロロIPC)
23	5%汚泥区へ汚泥投与 (5,000kg/10a)
26	石灰区へ炭カル投与 (200kg/10a)
3-26	薬剤散布 (トリアジン600倍液)
4-3	同上 (同上)
17	摘花
20	薬剤散布 (トリアジン600倍液)
23	摘花 (遅れ花)
5-10	薬剤散布 (トリアジン600倍液)
22	生石灰液散布 (20g/l)
6-1~2	掘り取り, 直ちに乾燥

部と、それに隣接する石灰区南部での生育が悪かった。この部分は降雨降雪後の水はけが悪く、その周囲の畦は長く滞水状態が続いていた。東から3～5列目の畝は比較的生育が良かったが、最も西側の畝はいずれの区も極めて生育が悪かった。この畝の水はけは非常に良好であったので、生育の悪い理由は他に求めねばならない。

チューリップの生育と土壌成分との関係を知るため、4月から5月にかけて、各区の生育良好地と生育不良地の土壌を別々に採取し、分析した結果を第9表に示す。分析項目としては、表にあげたもの以外に Cl^- 、 Fe^{3+} および Fe^{2+} も試みたが、生育とほとんど関連がみられなかったので省略する。生育の良・不良と pH の高低の間には密接な関連がみられた。東畝の生育良好地での pH は低くても 5.4、大半は7以上であった。これに対し西畝の生育不良地の pH は 3.7—4.5 と非常に低かった。石灰ないしは汚泥を土壌へ散布する際、場所によって不均一となり、特に西側への散布量が少なかったものと思われる。他方、東側畝の生育不良地の pH は必ずしも低いといえず、むしろ先に述べたように排水不良が原因していると思われる。

土壌 pH と窒素成分の酸化還元状態との間に興味ある関係が見出された。すなわち pH が中性からそれ以上の土壌中には NO_3-N が多量 (数百～数万 ppm) あるのに対し、 NH_4-N は非常に少ない (数 ppm 以下)。こ

れに対して、pH 5.0 以下の土壌中には NO_3-N が比較的少なく (数十 ppm 以下)、逆に NH_4-N が比較的多かった (数十 ppm 以上)。土壌 pH がそこに住む微生物の活動に大きな影響を及ぼし、その結果として NO_3-N と NH_4-N の濃度比が大きく変化することは当然予測できる事柄であるが、今回の調査において非常に顕著に現われたので、特に書き留めておく。これに対して熱塩酸可溶 PO_4-P 濃度と土壌 pH との間には、明白な関係は見出されなかった。10%汚泥区で生育の悪かった西側畝の土壌は、pH が低く PO_4-P も少なかったが、恐らく汚泥が充分に行き渡っていないかと思われ。pH が高く生育の良好な地点において各区の土壌中の栄養塩濃度を比較すると、窒素分には大差なく、 PO_4-P で明瞭な差がみられた。pH とともに PO_4-P 濃度も、チューリップ球根の生長に大きな影響を及ぼす因子として無視できない。

4. 加工トマト栽培試験

1979年5月中旬より試験圃場東側半分において、加工トマトの栽培試験を行った。その作業経過を第10表に整理して示す。前年以来栽培してきたイタリアン・ライグラスを4月10日に刈り取った後、土壌表層約15cmをトラクターで耕起し(4月18日)、ついで碎土作業を行った(5月11日)。この畑地土壌中にはライグラスの根が縦横に伸長しており、そのためチューリップ栽培地と比べるとはるかに固く締った土質となっていた。5月18日に堆肥と肥料とを全面に散布した。まず堆肥を10a当り2t加え、ついで肥料として尿素を25kg/10a、溶リンを100kg/10a、硫加を30kg/10a加えた。またこの

第7表 チューリップ球根の収量比較

試験区	球根数 ^{a)} (個/a)	球根重 (kg/a)	販売球数 ^{b)} (個/a)	販売球価格 ^{c)} (千円/10a)
石灰区	11,200	106	2,570	287
5%汚泥区	10,200	105	2,580	301
10%汚泥区	12,400	141	3,430	426

- a) 植付球根数約5,000個/a.
- b) 直径10cm以上の球根数.
- c) 10cm球を10.5円/個, 11cm球を12.6円/個, 12cm以上球を14.0円/個として計算.

第8表 チューリップ収穫球根の球径分布 (%)

球直径(cm)	石灰区	5%汚泥区	10%汚泥区
<7	42.3	43.2	42.2
7—8	14.5	14.0	13.4
8—9	10.7	9.2	10.3
9—10	9.6	8.5	6.4
10—11	15.4	12.8	7.7
11—12	7.1	9.8	12.4
12—13	0.4	2.2	5.6
13—14	0.0	0.3	1.9
14<	0.0	0.0	0.2

第9表 チューリップの生育良好地と不良地の土壌成分比較 (4月10日～5月12日採取土壌の平均)

試験区	pH ^{a)}	乾土 1g 中の含有量 (mg)		
		NH_4-N ^{a)}	NO_3-N ^{a)}	PO_4-P ^{b)}
(東畝・生育良好)				
石灰区	6.8	0.008	5.5	0.5
5%汚泥区	6.6	0.060	0.37	2.8
10%汚泥区	7.5	0.001	0.57	3.5
(東畝・生育不良)				
石灰区	5.7	0.014	0.12	0.6
5%汚泥区	6.8	0.0001	1.1	2.0
(西畝・生育不良)				
石灰区	3.8	0.077	0.004	0.5
5%汚泥区	4.2	0.23	0.037	1.1
10%汚泥区	4.0	0.064	0.013	0.9

- a) 0.5 M Na_2SO_4 抽出.
- b) 熱塩酸抽出.

日、堆肥・肥料の散布に先立って採取した表層土壌の分析を行ったところ、石灰区と5%汚泥区のpHが4.1—4.5へ低下していたので、5月21日に両区へ10a当り2tの炭カルを加え、土壌中和を行った。なお10%汚泥区のpHは7.9~8.0であったので、この区には炭カルを加えなかった。5月22日に2品種の加工トマト苗(Kagome-70 および Super Roma VF)を10a当り2,750本、畦間90cm、株間40cmで機械定植した。その後時期をみて薬剤散布・除草を行い、8月2日から収穫を始めた。収量の調査結果を第11表にまとめて示す。

トマト果の収量はいずれの区においてもKagome-70の方がSuper Roma VFより高かった。5%および10%汚泥区のKagome-70の収量は、それぞれ10a当り約7.3および8.3tと非常に高いものであった。日本における加工トマトの10a当り平均収量は、この10年間で6.5—7.0tといわれており、両汚泥区の収量ともこれを上回っている。Super Roma VFの場合は、10%汚泥区において平均的な収量をえたが、5%汚泥区の収量はかなり低く、石灰区は特に低かった。石灰区を基準として10%汚泥区の収量をみると、Kagome-70で2.6倍、Super Roma VFで4.7倍と大きな差が認められた。このように大きな収量差は、一株当りの果実個数に大差が生

第11表 加工トマトの収穫量

試験区	株当り 平均果実数	1果平均重 (g)	10a当り 収量(kg)	収量比
(Kagome-70)				
石灰区	23.3	48.7	3,140	1.00
5%汚泥区	42.7	55.5	7,280	2.32
10%汚泥区	57.3	52.5	8,280	2.64
(Super Roma VF)				
石灰区	13.5	38.7	1,440	1.00
5%汚泥区	38.9	38.0	4,030	2.80
10%汚泥区	63.6	38.9	6,810	4.73

じていたためであり、一果当りの平均重にはほとんど差がみられなかった。

加工トマトの収量と土壌成分との関連を調べるため、栽培期間中に2回(6月20日と7月31日)土壌試料を採取し、分析を行った。6月20日採取土壌の分析結果を第12表に示す。土壌pHは7.9—8.1で、7月31日採取土壌でもpH6.7—8.0と、ほぼ中性から弱アルカリ性に各区とも保持されていた。トマトの生育にはpH5.5—6.8の土壌が好適であるといわれている⁹⁾。各区の土壌は若干アルカリ側にずれていたが、これがトマトの生育に

第10表 加工トマトの栽培作業経過
(1979年)

月日	作業内容
4-10	イタリアン・ライグラス刈取り
18	耕起
5-11	砕土
18	堆肥および肥料(尿素・溶リン・硫加)を全面散布
19	耕起
21	砕土、石灰区と5%汚泥区へ炭カル散布
22	定植(Kagome-70, Super Roma VF)
31	薬剤散布(トリアジン)
6-11	中耕除草(耕うん機)
15	薬剤散布(ビスダイセン水和剤)
26	同上(トリアジン)
7-2	同上(ダコニール)
4	同上(ボルドー液)
5	除草、敷わら
6	薬剤散布(トリアジン)
13	同上(ポリオキシシン、スミチオン)
16	同上(ダコニール)
25	同上(ダコニール)
8-2	収穫開始
31	収穫終了

第12表 トマト畑の上層土壌中に含まれる化学成分量(1979年6月20日採取)

A. 0.5 M Na₂SO₄ 可溶成分

試験区	pH	乾土 1g 中の含有量 (mg)		
		NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P
石灰区	7.9	0.0022	51	0.012
5%汚泥区	8.1	0.0014	49	0.053
10%汚泥区	8.0	0.0004	52	0.112

B. 熱塩酸可溶成分

試験区	乾土 1g 中の含有量 (mg)			
	PO ₄ -P	Ca ²⁺	Fe ²⁺ +Fe ³⁺	Cd ²⁺
石灰区	0.6	31	39	0.00014
5%汚泥区	1.5	21	42	0.00019
10%汚泥区	3.4	19	45	0.00024

C. リン酸分別定量

試験区	乾土 1g 中の含有量 (mg)		
	Ca-P	Al-P	Fe-P
石灰区	0.06	0.16	1.23
5%汚泥区	0.25	0.46	1.35
10%汚泥区	0.90	0.50	2.30

悪い影響を及ぼした形跡は見当たらない。NH₄-N, NO₃-N等の無機窒素類も、各区の間に目立った差異はみられなかった。これに対して PO₄-P においては、0.5M Na₂SO₄ 抽出の場合でも熱塩酸抽出の場合でも、顕著な区間差が認められた。PO₄-P 濃度は、加工トマトの収量が最小であった石灰区で最も低く、収量が最大であった10%汚泥区で最も高かった。汚泥中に含まれているリンがトマトの生育に好ましい影響を及ぼしていることは、ほぼ間違いなからう。また土壤中のリンの分別定量を行ったところ、肥効の高いCa-Pの濃度が石灰区では非常に低く、5%汚泥区、10%汚泥区の順序でCa-Pは急増していた。これに対して肥効が比較的低いFe-PやAl-Pでは、Ca-Pでみられた大きな区間差は観察されなかった。石灰区における加工トマトの収量が低かったことの原因として、土壤中のリン酸の絶対量が少ないことと共に、リン酸の固定化が進み、リン酸自体の肥効が減少している点もあげられる。Ca, Fe, Cd等の金属イオンに関しては、目立った区間差は観察されなかった。

ま と め

1978年4月から1979年8月にかけて、中海干拓地揖屋工区内の圃場において、都市下水処理汚泥の投与による土壌改良試験と、イタリアン・ライグラス、チューリップ、加工トマト(2品種)の栽培試験とを行った。深さ15cmまでの土壌に、重量百分率で5および10%の汚泥を加えた2つの区画のほかに、標準区として1%の炭カルを加えた区(石灰区)を設けた。

各区の土壌とも1978年中は中性から弱アルカル性を保持した。しかしながら1979年1月から2月にかけて、石灰区と5%汚泥区においてpH5以下の酸性化が観察された。これに対して10%汚泥区の土壌は、試験期間を通じてほぼ中性を保持していた。

栽培試験においても、10%汚泥区は石灰区と比較して顕著な収量増加がみられた。すなわちイタリアン・ライグラスで約2倍、チューリップで約1.3倍、加工トマ

トにおいてはKagome-70で2.6倍、Super Roma VFで4.7倍の収穫増加であった。干拓地における作物栽培に影響を及ぼす土壌因子としては、pHとともにリン酸塩の種類と濃度とが重要であると推定された。

謝辞 本研究の実施に際して、農林省中海干拓事務所、島根県農林水産部、松江市環境部、および松江地区環境衛生組合の深い理解と協力をえた。原子吸光装置の利用に関しては、本学部耕地環境保全学研究室の達山和紀教授、山本広基助手の協力をえた。揖屋干拓地における作物栽培作業はすべて附属農場の教職員の力によった。またリン酸の分別定量に関しては、本学部農芸化学工学研究室専攻生の大森和彦君の協力をえた。ここから心からの謝意を表する。

引用文献

1. 松井佳久・帯刀奈津子・寺田俊郎・吉野蕃人・福田晨：島根大農研報11：81-86, 1977.
2. 松井佳久・帯刀奈津子・鍋島浩・寺田俊郎・吉野蕃人・福田晨・津本潔：島根大農研報12：121-130, 1978.
3. 日本分析化学会(編)：分析化学便覧 丸善 東京 1971, p. 1468.
4. 伊藤秀文：栄養診断のための栽培植物分析測定法 作物分析法委員会編 養賢堂 東京 1975, p. 76.
5. 関谷宏三：肥沃度測定のための土壌養分分析法 土壌養分測定法委員会編 養賢堂 東京 1970, p. 235.
6. 村上英行：酸性硫酸塩土壌の特性と改良法に関する研究 京大文学学位論文 京都 1965, p. 123.
7. 江原薫：飼料作物大要 養賢堂 東京 1970, p. 218.
8. 吉野蕃人：チューリップとアイリスの球根栽培技術 島根県花卉園芸農業協同組合 島根県 1973, p. 1-25.
9. 杉山直儀：蔬菜総論 養賢堂 東京 1969, p. 163.

Summary

Large scale experiments on the improvement of soil with municipal sewage sludges and on the cultivation of crops such as Italian ryegrass, tulip, and tomato for processing (two varieties of Kagome-70 and Super Roma VF) were carried out at a farm-land in the reclaimed land of Iya from April of 1978 to August of 1979. The farm-land was divided into three parts : In each division, soil above a depth of 15 cm was neutralized by the addition of 5 or 10 wt.% of municipal sewage sludge or 1 wt.% of calcium carbonate. Although the soil retained around neutral or weakly alkaline pH throughout 1978, significant acidification was observed at the lime and 5% sludge divisions from January to February of 1979. No appreciable acidification occurred during the experimental period at the 10% sludge division. The 10% sludge division was markedly superior to the lime division in cultivation experiments, too. That is to say, the yield of crops in the 10% sludge division was higher than that in the lime division by a factor of *ca.* 2.0 for Italian ryegrass, 1.3 for tulip, 2.6 for tomato (Kagome-70), or 4.7 for tomato (Super Roma VF). It was presumed that the kind and concentration of phosphate salts in soil, as well as pH of soil, are important factors which affect the growth of crops in the reclaimed land.