

中海干拓地農業への都市下水利用 に関する基礎的研究 V

トマトの収穫量を左右する土壌化学成分

松井 佳久*・小林 裕明*・寺田 俊郎**

Yoshihisa MATSUI, Hiroaki KOBAYASHI, and Toshiro TERADA
Basic Research on the Application of Municipal Sewage to
the Agriculture at the Reclaimed Lands of Nakanoumi Area.
V. Soil Chemical Components Influencing the Yield of Tomato

著者らはこれまで、中海干拓地揖屋工区内に広く分布する酸性硫酸塩土壌の物理的・化学的諸性質を調べるとともに、土壌改良を目的として投与した都市下水処理汚泥が畑作物の成育に及ぼす影響を明らかにするため、一連の研究を行ってきた^{1~5)}。その結果、適量の汚泥投与は、酸性化しやすい干拓地土壌を中性ないし微アルカリ性に保つことに役立ち、かつ欠乏しがちな可給態リン酸の補給にも寄与することが明らかとなった^{3,4)}。本研究ではこの点を更に詳しく検討するため、1980年5月から8月にかけて干拓地試験圃場において加工用トマトを栽培し、試験区内に均一に設定した45地点においてトマト果実の収穫量と土壌化学成分とを調査分析し、両者の関係を統計学的手法により解析した。

実験方法

1. 試験圃場

加工用トマトの栽培試験を行った圃場は、既報³⁾のと同じである。約 20a の圃場を3区画に分け、それぞれ異なった土壌改良処理を行い、南側から順に汚泥半量区、石灰区および汚泥全量区と呼んだ^{***}。作物栽培試験では各区を更に東西に2分割し、2種類の試験を同時並行的に実施できるようにした。本研究では、このうち西側

半分を用いた。試験区内に南北方向の畝を9列設け、西側から順にA, B, ... I 畝と名付けた。

2. 加工用トマト栽培の概要

試験に供した加工用トマトの品種は Kagome-70 および Super Roma VF である。前者をAからG畝(7列)、後者をH, Iの2畝に作付けした。附属農場において育苗(50日)した苗を、1980年5月20日に機械定植した。畝間 120cm, 株間 40cm である。定植に先立って行った土壌調査の結果、石灰区と汚泥半量区の一部で土壌 pH の低下が観測されたので、両区にはあらかじめ 10a 当り 100kg の炭酸カルシウムを散布した。汚泥全量区には炭酸カルシウムを加えなかった。施肥は各区均一になるよう行った。施肥量を第1表に示す。5月下旬から7月中旬にかけて、7回の薬剤散布(ビスダイセン, ダコニール, 石灰硫黄剤等)を行うとともに、鳥害(主としてカラス)を避けるため防鳥網を張った。トマト果実の収穫量調査は7月28日と8月25日の2回行った。調査地点としてA~Iの各畝にそれぞれ汚泥半量区2地点(地点番号1および2)、石灰区1地点(地点番号

第1表 肥料施用量 (kg/10 a)

肥料	元肥	追肥		総量	N	P	K
		I	II				
堆肥	2,000	—	—	2,000	—	—	—
硫酸 ¹⁾	40	10	10	60	12.6	—	—
溶リン ²⁾	100	—	—	100	—	20	—
硫酸 ³⁾	20	5	5	30	—	—	15

1) N : 21%, 2) P : 20%, 3) K : 50%

* 土壌物理化学研究室

** 附属農場

*** 文献3, 4において、これらの区をそれぞれ5%汚泥区, 1%石灰区および10%汚泥区と呼んだが、その数値表現が必ずしも適当といえないので、呼び方をこのように変える。実際の汚泥または石灰投与量は文献5に示されている。

号3) および汚泥全量区2地点(地点番号4および5)を設け、合計45地点で調査した。それぞれの地点において最近接する加工トマト2株を選び、赤く完熟した果実を採取秤量した。

3. 土壌試料の採取と分析

土壌試料は上記45の調査地点において、表面から5~15cm層のものを採取し、風乾後2mmのふるいを通し、分析に供した。土壌の採取は、苗の定植後約1ヶ月(1~5)を経過した6月25日に行った。化学分析法はすべて既報と同じである。

実験結果および考察

1. 加工トマトの収穫量

各調査地点に最近接する加工トマト2株当りの完熟果収穫量を第2表に示す。またこの結果に基づいて、単位面積当りの平均収穫量その他を計算した結果を第3表に示す。第3表の結果は、前年度に行った同様な試験結果と比べ、著しく異なっていた。すなわち今年度のKagome-70の株当り果実数や10a当り収穫量は、前年度の約4分の1程度の値しか示さなかった。植物体の見掛上の成育状況は、前年度と比較してそれ程悪くなかったので、収穫量の大きな低下の主な理由は、収穫量調査を7月28日と8月25日の2回しか行わなかったことにあるものと思われる。事実、8月25日の調査では多数の落果、腐敗果および虫食い果が見受けられた。しかしこれらは収穫量には算入されていない。したがって第2、3表の数値は完熟果総量を正しく表わしているとは言い

第2表 加工トマト2株当りの完熟果収穫量(kg)

地点 畝	汚泥半量区		石灰区	汚泥全量区		合計	比 (R)
	1	2	3	4	5		
(Kagome-70)							
A	1.78	1.71	1.45	1.71	2.05	8.70	1.6
B	1.76	2.48	1.84	2.61	2.48	11.17	2.1
C	1.73	1.81	1.90	3.54	4.76	13.74	2.6
D	2.43	1.74	1.16	2.29	2.61	10.23	1.9
E	1.28	1.51	0.93	1.24	0.64	5.60	1.1
F	1.14	0.97	0.70	1.24	1.25	5.30	1.0
G	1.41	1.38	1.51	1.38	1.88	7.56	1.4
合計	11.53	11.60	9.49	14.01	15.67	62.30	—
比	1.2	1.2	1.0	1.5	1.7	—	—
(Super Roma VF)							
H	4.31	4.40	2.16	3.41	4.02	18.30	3.5
I	2.47	1.72	1.78	2.34	3.79	12.10	2.3
合計	6.78	6.12	3.94	5.75	7.81	30.40	—
比	1.7	1.6	1.0	1.5	2.0	—	—

難く、これを評価する際にはこの点を十分に留意しておく必要がある。しかしそれでもなお、2品種とも汚泥全量区の収穫量が最大で、汚泥半量区、石灰区の順に収穫量が低下している点では、前年度の傾向と同じであった。

第2表の結果で特に注目されるのは、同一の土壌改良処理区内においても、畝により著しい収量差が生じていたことである。すなわち畝E、Fの収穫量はどの処理区においても極めて低く、畝B、Cの収穫量の半分にも満たなかった。畝による収穫量の差は、これまでにも当圃場³⁾でのチューリップ栽培試験において観察されていたが、このように数字として明確に表わされたのは、本試験が最初である。しかし本試験の翌年、すなわち1981年の6月から8月にかけて同じ圃場で行った飼料用トウモロコシ(デントコーン)の栽培試験においても、やはり同様な畝による収穫量の差異が観察されており⁶⁾、何らかの土壌要因が強く関与しているものと思われる。なお試験に用いた2品種のうちでは、Kagome-70よりSuper Roma VFの方が株当り平均果実数、10a当り³⁾収穫量ともかなり多かった。この傾向は前年度の試験成績とはかなり異なっていた。また果実の色から品質を評価すると、Kagome-70の方がSuper Roma VFよりすぐれていた。すなわち前者が濃い赤色を呈していたのに対し、後者は黄褐色部がかなり残っていた。

トマトの収穫量(Y)と汚泥投与量(S)との関係を、Kagome-70栽培区の35地点について回帰分析した結果、次式をえた。

$$Y = 1.31 + 0.79S \quad (1)$$

$$n = 35, \quad r = 0.376, \quad s = 0.75$$

ただしSの値としては、石灰区が0.0、汚泥半量区が0.5、汚泥全量区が1.0であるとした。t-検定、F-検定の結果、この式は5%水準で一応有意であったが、相関係数は非常に低い。これは畝の違いによる収穫量の差が考慮されていないためであろうと思われる。この点を

第3表 加工トマトの土壌処理区別平均収穫量

土壌処理区	株当り 平均果実数	1果平均重 (g)	10a当り 平均収穫量(kg)	収量比
(Kagome-70)				
石灰区	9.8	69.3	1,410	1.0
汚泥半量区	12.2	67.6	1,720	1.2
汚泥全量区	14.8	71.5	2,210	1.6
(Super Roma VF)				
石灰区	23.0	42.8	2,050	1.0
汚泥半量区	39.5	40.8	3,360	1.6
汚泥全量区	38.9	43.6	3,530	1.7

考慮するため、各畝の総収穫量の相対比 R (第2表) を回帰分析の中に取り込んだ結果、次式をえた。

$$Y=1.69+0.79S+1.09R \quad (2)$$

$$n=35, \quad r=0.812, \quad s=0.48$$

t -検定, F -検定の結果, 5%水準で上式は有意であり, しかも相関係数もかなり大きな値となった。つまりトマトの収穫量は, 汚泥投与量と畝の違いにより大きく左右されているといえる。そこで以下の研究では, 汚泥投与量および畝の違いが, どのような土壌化学成分の違いに対応しているかを解明しようと試みた。

2. 土壌化学成分

定植後約1ヶ月を経過した6月28日に, 45の調査地点の表層土壌を採取し, 以下の項目の分析を行った。

- 1) pH: 0.5M硫酸ナトリウムおよび1M塩化カリウム浸出液について測定。
- 2) 窒素: 0.5M硫酸ナトリウムで浸出された硝酸態およびアンモニア態窒素を測定。
- 3) リン酸: 0.5M硫酸ナトリウム, 2.5%酢酸および熱塩酸浸出液について測定。
- 4) 置換性塩基: 1N酢酸アンモニウム (pH 7) で浸出された Na^+ , K^+ , Mg^{2+} および Ca^{2+} 。さらにそれらを合計した置換性全塩基 (TEC)。
- 5) 陰イオン: 0.5M硫酸ナトリウムで浸出された Cl^- 。
- 6) その他: 置換性および熱塩酸可溶性の鉄およびマンガン, 置換性アルミニウム, 塩基置換容量 (CEC), および土壌有機物。

複雑さを避けるため, えられたデータを各土壌処理区毎に分けて, 平均値と標準偏差値とを求めた結果のみを示す (第4表)。この表を見て直ちに気付くことは, トマト果実の収穫量の高かった汚泥全量区の pH が他の処理区と比較して高くしかも安定しており, また窒素, リン酸, カリウム, カルシウムといった栄養塩類の濃度も高く, さらに CEC や有機物含量も若干大きな値を示していることである。いま45の調査地点についてえられたデータのうちに, 汚泥投与量と高い相関を示した化学成分をまとめたところ, 第5表をえた。この結果からも, 汚泥を投与することにより土壌中のリン酸, カリウム, カルシウム, 有機物, CEC 等が増加していることがわかる。特に熱塩酸可溶性のリン酸は汚泥投与量と高い相関を示した。そこで(1), (2)式の汚泥投与量 S の代わりに, 熱塩酸可溶性リン酸量 (P) のデータを入力して, 回帰分析を行ったところ次の2式をえた。

$$Y=0.79+0.23P \quad (3)$$

$$n=35, \quad r=0.481, \quad s=0.71$$

$$Y=-0.79+0.20P+1.01R \quad (4)$$

$$n=35, \quad r=0.832, \quad s=0.46$$

t -および F -検定の結果, 両式とも5%水準で有意であった。汚泥投与量の代わりに熱塩酸可溶性リン酸量を用いることにより, 相関係数は若干向上した。ついで, 畝の違いによる収穫量の差 R と相関の高い化学成分を, 相関マトリックスの中から捜してみた。 R と最も相関の高かったのは pH であり (KCl 浸出液: $r=0.428$, Na_2SO_4 浸出液: $r=0.406$), ついで $\log[\text{Mn}^{2+}]$ が一応5%水準で有意な相関を示した ($r=-0.398$)。しかしいずれの項目も, 相関係数はかなり小さかった。また

第4表 土壌化学成分の処理区別平均値および標準偏差 (カッコ内)

項目	石灰区	汚泥半量区	汚泥全量区
試料数	9	18	18
pH (Na_2SO_4)	6.0(1.1)	6.0(1.2)	7.5(0.6)
pH (KCl)	5.1(1.1)	5.1(1.1)	6.5(0.6)
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/100g)	5 (3)	12 (20)	15 (10)
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/100g)	0.9(1.2)	1.0(0.3)	1.1(0.5)
$\text{H}_2\text{O-sol. P}_2\text{O}_5$ (mg/100g)	0.3(0.2)	0.6(0.3)	2.4(0.5)
$\text{AcOH-sol. P}_2\text{O}_5$ (mg/g)	0.4(0.2)	0.7(0.4)	0.9(0.3)
$\text{HCl-sol. P}_2\text{O}_5$ (mg/g)	1.6(0.4)	4.1(0.6)	5.9(0.9)
Na^+ (me/100g)	0.7(0.3)	0.6(0.2)	0.4(0.2)
K^+ (me/100g)	1.3(0.3)	1.3(0.3)	2.7(0.7)
Mg^{2+} (me/100g)	2.1(0.8)	2.6(0.5)	2.2(0.6)
Ca^{2+} (me/100g)	22 (6)	32 (10)	43 (10)
TEC (me/100g)	26 (5)	37 (10)	49 (10)
CEC (me/100g)	27 (1)	32 (3)	34 (3)
Cl^- (mg/100g)	12 (9)	9 (3)	12 (7)
Exch.-Mn (mg/100g)	2.4(1.9)	2.2(1.8)	0.4(0.4)
HCl-sol. Mn (mg/g)	0.4(0.1)	0.4(0.1)	0.4(0.1)
Exch.-Fe (mg/g)	5.4(0.6)	5.6(0.3)	5.7(0.6)
HCl-sol. Fe (mg/g)	43 (4)	43 (2)	44 (2)
Exch.-Al (me/100g)	0.4(0.8)	0.6(1.2)	0.0(0.0)
Org. Matter (%)	3.8(0.5)	4.7(0.6)	5.2(0.4)

第5表 汚泥投与量と高い相関を示した土壌化学成分 (試料数=45)

項目	相関係数
$\text{HCl-sol. P}_2\text{O}_5$	0.912
$\text{H}_2\text{O-sol. P}_2\text{O}_5$	0.864
Organic Matter	0.715
K^+	0.705
TEC	0.681
CEC	0.673
Ca^{2+}	0.654

リン酸は、いずれの浸出液においても、 R と有意な相関を示さなかった。(4)式の R 項の代りに Na_2SO_4 浸出液の pH 値を入れて回帰分析を行ったところ、一応次式がえられた。

$$Y = -0.37 + 0.15P + 0.22\text{pH} \quad (5)$$

$n=35, r=0.537, s=0.69$

しかし相関係数は R を用いた時より著しく低下した。したがって畝の違いによる収穫量の差は、これまでに調べた化学成分以外のものが関与しているか、あるいは地下水位の高さ、透水性の良否等の物理的要因が関与しているものと推定される。この点に関しては、なお今後の検討が必要である。

45の調査地点で採取した土壌試料について、各種化学成分の量的関係を相関係数の比較から調べ、相関係数の絶対値が0.7以上を示した成分間の関係を第1図にまとめた。汚泥の主要成分はリン酸カルシウムであり、汚泥投与量とリン酸含量との間に高い相関関係があるのは当然のこととして、カリウムのような栄養塩や有機物もこれらの項目とかなり強い関係を示したことは興味深い。汚泥の投与が土壌の化学性を直接的に改良するだけでなく、土壌中の生物活動を活性化させることによって、2次的・間接的な改良効果も誘起していることを推定させる。汚泥投与量とカルシウム含量との間には、それほど高い相関関係はみられなかった。これは汚泥無添加区や汚泥半量区にも、土壌の酸性化防止のため、炭酸カルシウムを加えたためであろう。カルシウムは土壌の置換性塩基の大部分を占めるため、全置換性塩基 TEC と高い相関関係をもつのは当然であり、またこれらの塩基成分が多い土壌の pH が高くなったのも当然の結果である。これに対して、置換性マンガン濃度の対数值 $\log[\text{Mn}^{2+}]$ が土壌 pH と高い相関関係にあることは興味深い結果と思われる。松井・寄藤は、当圃場の表層から 85cm までの各層に分布する置換性マンガンの濃度が、土壌の pH

および Eh によって指数関数的に支配されていることをすでに示した⁵⁾。今回の調査では、土壌はすべて表層部から採取しており、したがって Eh はほぼ一定と思われる。したがって $\log[\text{Mn}^{2+}]$ はもっぱら pH に依存することになるはずである。両者の関係を回帰分析した結果、次の2式をえた。

$$\log[\text{Mn}^{2+}] = 2.65 - 0.43 \text{ pH} \quad (6)$$

$n=45, r=0.939, s=0.19$

$$\log[\text{Mn}^{2+}] = 2.45 - 0.46 \text{ pH} \quad (7)$$

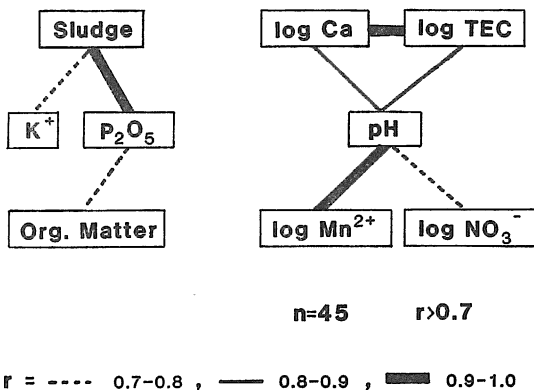
$n=45, r=0.964, s=0.15$

(6) 式の pH は 0.5M Na_2SO_4 浸出液の値であり、(7)式では 1N KCl 浸出液の値を用いている。また Mn^{2+} の濃度単位としては mg/100g 土壌を用いた。いずれの pH を用いても、 $\log[\text{Mn}^{2+}]$ との間に高い相関関係のあることが確かめられた。土壌中の MnO_2 の Mn^{2+} への還元反応が、Eh 一定下では pH によって左右され、土壌 pH の低下にともない Mn^{2+} 濃度が指数関数的に増加することが分る。その他、土壌中の硝酸イオン濃度の対数值も pH とある程度の相関をもつことも明らかとなった。この事は以前の研究でも定性的に示されていたが、今回の調査で再確認されたことになる。恐らく土壌中の硝化菌の活動が pH に大きく依存していることを反映したものと思われる。

ま と め

1978年に都市下水処理汚泥の投与によって土壌改良がなされた中海干拓揖屋工区内の圃場において、1980年5月から8月にかけて加工トマトの栽培試験を行った。汚泥の十分投与された区では、表層土壌の酸性化は全く起こらず、トマト果実の収穫量も石灰で土壌改良された区と比べてかなり高かった。土壌中の各種化学成分を分析した結果、汚泥の投与は単に土壌の酸性化防止やリン酸の供給に役立つだけでなく、多面的に土壌の肥沃化に寄与することが分った。他方、トマトの収穫量は、同一土壌処理区内でも畝によって大きく変動することも観測されたが、その原因については十分な解明ができなかった。

謝辞 本研究の実施に際して、農林水産省中海干拓事務所および島根県農林水産部の深い理解と協力をえた。原子吸光分析装置の利用に関しては、本学部耕地環境保全学の達山和紀教授、山本広基助手の協力をえた。揖屋干拓地におけるトマト栽培作業はすべて、石原満雄技官をはじめとする附属農場の教職員の方力によった。ここに心からの謝意を表する。



第1図 土壌化学成分間の相関関係

引用文献

1. 松井佳久・帯刀奈津子・寺田俊郎・吉野蕃人・福田晟：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・福田晟・津本潔：島根大農研報 **12**：121-130, 1978.
3. 松井佳久・鍋島浩・加藤とし子・寺田俊郎・吉野蕃人・福田晟：島根大農研報 **13**：116-123, 1979.
4. 松井佳久・小林裕明・寄藤信明・大森和彦・加藤とし子・寺田俊郎：島根大農研報 **14**：81-85, 1980.
5. 松井佳久・寄藤信明：土肥誌 **53**：183-189, 1982.
6. 松井佳久・森下具行・寺田俊郎：未発表論文.

Summary

Tomatoes for processing were cultivated from March to August of 1980 at a farm-land in the reclaimed land of Nakanoumi, the surface soil of the farm-land having been improved by the addition of municipal sewage sludge in 1978. No appreciable acidification of the surface soil occurred during the experimental period in a field to which a sufficient amount of the sludge had been added, and the yield of tomato fruits in the field was considerably higher than that in a field to which calcium carbonate had been added in the place of the sludge. The results of analyses of various chemical components in soil indicated that the addition of the sludge contributed not only to the retardation of soil acidification and the supply of phosphate but also to the multiphasic fertilization of soil. On the other hand, the yield of tomatoes markedly varied from one ridge to another, even when the ridges belonged to the same field in regard to soil improvement. The cause of the variation remained to be elucidated.