

水-土壌系における有機廃棄物のフェイト

On the fate of organic wastes in water-soil system

- | | | |
|-------|---|---------|
| 代表研究者 | 東京農業大学農学部教授
Prof., Faculty of Agriculture, Tokyo Univ. of Agriculture
Yasuo TAKAI | 高井 康 雄 |
| 協同研究者 | 東京農業大学短期大学学長
President, Nodai Junior College of Agriculture
Kunio ISHIMARU | 石 丸 圀 雄 |
| | 東京農業大学農学部構師
Lecturer, Faculty of Agriculture, Tokyo Univ. of Agriculture
Akikuni USHIKUBO | 牛久保 明 邦 |
| | 東京農業大学農学部助教授
Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Univ. of Tokyo
Jiro HARADA | 原 田 二 郎 |
| | 名古屋大学農学部助教授
Assoc. Prof., Faculty of Agriculture, Nagoya Univ.
Makoto KIMURA | 木 村 真 人 |
| | 新潟大学農学部助手
Instructor, Faculty of Agriculture, Niigata Univ.
Masanori NONAKA | 野 中 昌 法 |

This research aimed firstly to assess BOD loading of home garbage and estimate the appropriate treatment technique, secondly to explore a rapid method to evaluate the nitrogen supply of organic wastes, thirdly to elucidate microbiological processes on organic wastes' decomposition in water and soil systems, fourthly to know effects of organic wastes' application on VA mycorrhiza and crop root system and finally to investigate effects of organic wastes' application on soil properties and crop growth.

The results from 1986 to 1988 are summarized as follows:

- 1) The biological oxygen demand (BOD) of home garbage was directly related to their respective sugar, starch, protein and organic acid content. The BOD removal rates of home garbage by anaerobic treatment system were 93-99%, indicating that the treatment might be an adequate measures for the wastes.
- 2) For three organic wastes, the content of glucose dissolved by autoclave treatment was significantly correlated with nitrogen mineralization under incubation.
- 3) Organic wastes' decomposition took place much smoothly under soil system than under water system, since the water system did not provide with high buffering capacity for pH.
- 4) Organic wastes' application enhanced spore formation and hyphal growth of VA mycorrhiza under soybean cultivation.
- 5) The application of organic wastes stimulated rice root growth, increasing the number and the rate of the morphologically well developed primary roots.
- 6) The mass application of organic wastes into a heavy clay upland soil improved the poor soil physical properties, but dropped the yield and quality of root crops.

研究目的

本研究は、従来ばらばらに評価されていた各種有機性廃棄物の性状と水系および土壌系において受ける生物過程ならびに生物生産に与える影響を評価し、これに基づき各有機物の処理・処分と再利用を適切に行える環境保全と資源管理の方策を確立するための基礎的知見を得ることを目的としている。このために、1) 各種有機廃棄物の性状、とくに家庭廃棄物の負荷量および廃棄物の土壌改良材としての評価、2) これら有機物の水系、土壌系における挙動、また 3) これらの生物生産に及ぼす影響を明らかにしようとしたものである。

研究経過と成果

1. 家庭廃棄物の負荷量に関する研究

(研究者 石丸圀雄・牛久保明邦)

生活系廃棄物は、台所のゴミ、紙類、プラスチック類、繊維類、木竹類、金属類、ゴム・皮革類およびその他に大別される。その中で、特に台所のゴミである厨芥の処理・処分は、焼却と埋め立てが主流であるが、焼却処分は水分含量が高く発熱量が低くなるため燃料代がかさみ経済的に不利であり、埋め立て処理においては、埋立地確保が困難となっており各地で大きな問題となっている。

一方、家庭から排出される排水は、「雑排水」とし尿に大別される。雑排水とは風呂、炊事、洗濯および洗面などの排水を総称したものである。雑排水の排水源別有機物負荷量の割合は、炊事が約 59% で最も大きく、次いで風呂 (27%)、洗濯 (12%)、その他 (2%) の順であった。このような現状の中で下水道の普及と台所の近代化から、ディスポーザー (厨芥粉碎機) を導入することにより粗大厨芥を粉碎し、微粒子として他の家庭雑排水とともに下水処理場において排水処理の対象にしようという考えがある。これは家庭からの排水・廃棄物の構成組成は有機性物質が主であり、さらにディスポーザーの導入により、排水中の特に炊事由来の有機物負荷量を増大させる結果となり、下水処理上問題となる。したがって、そのようなケースを想定し厨芥中で質量的に有機物負荷に多大な影響を及ぼす各種の野菜・果実類の食品原料

を対象に有機物負荷量を測定し、食品原料の BOD 原単位を算出した (Table 1)。野菜類を葉茎菜類、果菜類、根菜類およびいも類に分類して各々の BOD 原単位を比較したが、顕著な有意差は見られなかった。しかし、淡黄色野菜と緑黄色野菜での比較では、後者の値が大きい傾向にあった。また、果実類は野菜類よりも比較的糖分含有量が多く、それに伴って BOD 値も大きい値を示している。次に、BOD (COD) 値を構成する有機酸、全糖、全窒素の 3 項目について上記同様の試料について常法により測定した。その測定値から、有機酸は酢酸に、全糖はグルコースに、全窒素をグリシンに換算し、さらにその各々が完全に酸化されたと仮定した場合の理論的酸素消費量を算出した。

Fig. 1 は、BOD 中の 3 成分の構成比を見たものである。BOD を構成している 3 成分の構成割合は、野菜類、果実類ともに、糖類の占める割合が圧倒的に大きい物が多く、ついで全窒素の順となっている。

排水処理における嫌気性消化法は、通常高濃度有機性排水の処理に用いられる。野菜類及び果実類の搾汁をデスポーザー導入に伴う高濃度有機物排水と想定し、排水処理の可能性について追求した。試料としてキャベツ、キュウリ、だいこん、ミカンの各々をミキサーにて搾汁し、さらにグルコースを対照として各試料の BOD 濃度を一定の濃度 (15000 mg/l) に希釈した試料溶液を、あらかじめ種汚泥で駆養し 35°C に調節された嫌気性消化槽 (有効容積 4 l Fig. 2 に毎日 133 ml (BOD 容積負荷: 0.5 kg/m³/day) を流入させ各試料共に 30 日間にわたり処理実験を実施した。また、副次的に発生するガス発生量も同時に測定した。その結果、各試料の処理水の pH 値は、全期間を通じてほぼ中性に推移した。このことは、嫌気性消化による汚水処理が順調であったことを意味している。処理期間中の BOD 値の推移を Fig. 3 に示す。特にだいこんにおいては、20 日過ぎ頃から他の試料溶液の場合と異なり、処理水中の BOD 値が上昇する傾向となった。しかしながら、得られた処理水の平均 BOD 値は、キャベツ 670 mg/l

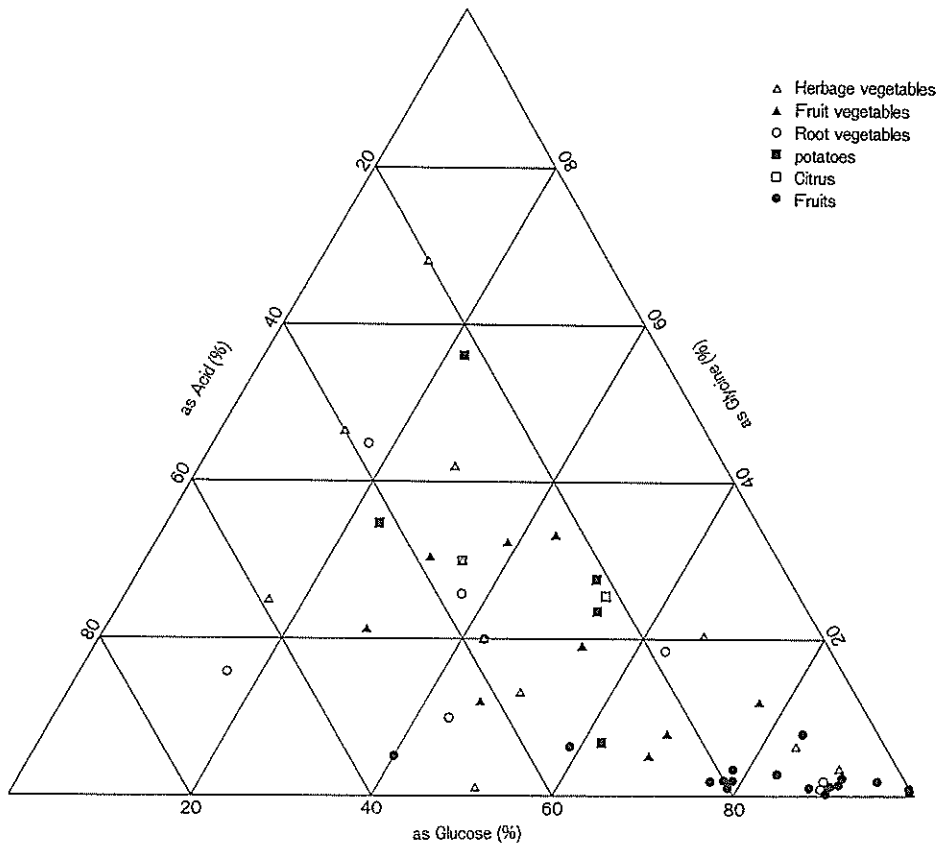


Fig. 1. The component ratio of organic acid, sugar and total nitrogen in BOD.

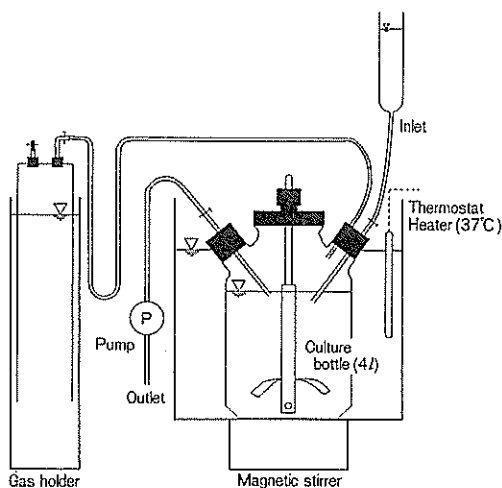


Fig. 2. Schematic figure of anaerobic treatment system.

(平均除去率 99.5%), キウリ 640 mg/l (平均除去率 95.7%), だいこん 1070 mg/l (平均除去率 92.9%), ミカン 650 mg/l (平均除去率 95.6%) およびグルコース 620 mg/l (平均除去率 95.9%) であり, だいこんの除去率が他の試料に比べやや劣ってはいるものの各試料共非常に良好な処理結果を得た。

生物処理法による排水処理においては, 好気性, 嫌気性を問わず排水処理行程において余剰汚泥が生成される。特に農水産, 畜肉魚類を原料とする食品工場から排出される余剰汚泥の肥料成分について分析した。汚泥は, 菌体はその主体を成すため平均全炭素は 40% であるが, 炭素率 (C/N) が小さく窒素に富み, 土壤中でよく分解し, 容易に窒素が無機化した。また, 一般に含有される重金属も少なく, 植物の生育に対する効果も高

く、有機物肥料として十分有効である。このように汚泥の農業利用を前提とした場合、余剰汚泥を脱水する際に脱水効率を上げるために添加する凝集剤の種類によって汚泥の品質に大きく影響する。硫酸アルミニウムや塩化第二鉄のような金属塩凝集剤は、土壌中に投入した場合リン酸吸収係数を大きくする傾向を示した。しかし、水酸化カルシウムを添加して脱水した場合は、土壌のリン酸吸収係数を小さくする傾向を示し、リン酸吸収係数の大きい我が国の火山灰土において有効であるばかりでなく、酸性土壌の改良資材としても有用であり、その農業的価値が高いことが認められた。

2. 有機廃棄物の地力窒素供給力の評価

(研究者 高井康雄, 協力者 竹島征二(玉川大学農学部助教授))

本研究は、有機性廃棄物の土壌還元のために、ヨシ・わらを材料として製造した推肥および家畜糞尿余剰汚泥の土壌改良効果、とくに窒素供給力を簡易に判定する手段を検討することを目的としている。

土壌中における窒素供給力、すなわち地力窒素の評価法として、インキュベーション法は、古くから広く採用されている。これは、一定期間培養後、生成する無機化窒素量によって地力窒素を評価する方法であり、この無機化窒素量は、作物が吸収する窒素量と密接な関係があることが知られている。しかし、この手法はインキュベーションおよび分析に通常3~4週間と、時間がかかりすぎるという欠点が指摘されている。

近年、地力窒素の簡易評価法として、熱水抽出法(Kenney and Bremner 1966)、化学試薬による抽出法(Kenney and Bremner 1966, Stanford and Smith 1978, Jenkinson 1968)、およびオートクレーブ法(Stanford and Demer 1970, Smith and Stanford 1971, 石井和夫・杉原進 1979)など、比較的迅速な手法が提案されている。また、杉原進・金野隆光(1979)は、有機性汚泥中の窒素の畑土壌中における肥効評価に、オートクレーブ法可容窒素が有効であることを見いだしている。

Table 1. BOD loading of fruits and vegetables

No.	Name	BOD loading (g/kg)
Herbage vegetables		
1	Shallot	58.4
2	Asparagus	34.5
3	Welsh onion	71.5
4	Perilla	64.0
5	Broccoli	42.0
6	Cauliflower	41.4
7	Cabbage	34.5
8	Celery	23.7
9	Chinese cabbage	17.6
10	Garland chrysanthemum	16.6
Fruit vegetables		
11	Pumpkin	166.9
12	Corn	137.8
13	Greensoybean	82.5
14	Immature	39.0
15	Sweet pepper	31.6
16	Eggplant	28.5
17	Tomato	22.6
Root vegetables		
18	Edible burdock	90.5
19	Japanese radish	5.4
20	Carrot	46.8
21	East Indian lotus	38.2
22	Radish	36.1
23	Ginger	15.6
Potatoes		
24	Sweet potato	50.9
25	Potato	20.3
26	Japanese yam	18.7
27	Taro	16.1
Citrus		
28	Mandarin	160.0
29	Kumquat	97.3
30	Iyokan	128.1
31	Japanese summer orange	105.8
32	Grapefruit	90.2
33	Ponkan	71.9
Fruit		
34	Kyoho	131.7
35	Muscat	128.7
36	Delaware	90.0
37	Japanese persimmon	93.6
38	Pear	78.0
39	Peach	66.5
40	Cherry	52.3
41	Strawberry	53.0

本研究では、水田土壌および畑土壌における稲わら堆肥、アシ堆肥および家畜糞尿余剰汚泥の3種類の有機物資材について、インキュベーション法によって無機化される窒素量とオートクレーブ法によって可溶化される窒素量と糖類量の関係を調べ、土壌改良材としての簡易的な評価方法の検討を行うこととした。

研究経過および成果

実験に供試した土壌は、埼玉県農業試験場の水田および畑地の作土層である。稲わら堆肥は農林水産省農業研究センター、ヨシ堆肥は日立精機(株)でそれぞれ製造したものであり、家畜糞尿余剰汚泥は農大厚木農場で産出したものである。これらの理化学性は Table 1 に示した。

実験方法は次のごとくである。

オートクレーブ法：風乾粉碎した稲わら堆肥、ヨシ堆肥及び家畜糞尿余剰汚泥の 1 g をねじ付三

角フラスコに秤取し、これに 1N KCl 溶液 100 ml を加えて密栓し、60 分間 121°C、1.1 kg/cm² のオートクレーブ処理を行い、可溶化する全 N 量およびアンスロン発色物(糖類)量を測定した。

インキュベーション法：稲わら堆肥、ヨシ堆肥および家畜糞尿余剰汚泥を水田土壌および畑土壌に 0.5%、1.5%、4.5% および 13.5% 量添加し、水田状態では表面水 1 cm の湛水下、畑状態では飽和容水量の 60% の水分量で、30°C 4 週間ビーカー培養し、生成した無機態窒素を測定した。

これらインキュベーションの結果とオートクレーブ法によって可溶化した全 N 量および糖類量との関係を比較検討した。

Fig. 3 に水田状態下生成された NH₄-N 量とオートクレーブ法によって可溶化した全 N 量との関係を示した。両パラメーター間には $r=0.681$ の相関係数が得られた。

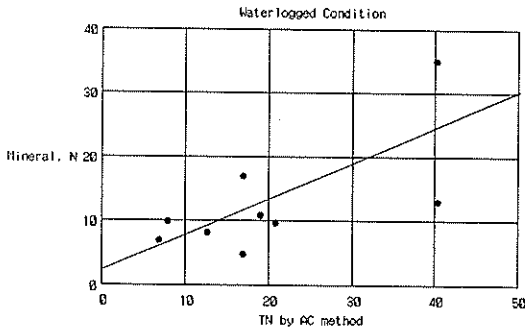


Fig. 3. Total N extracted by autoclave method and mineralized N under water logged condition.

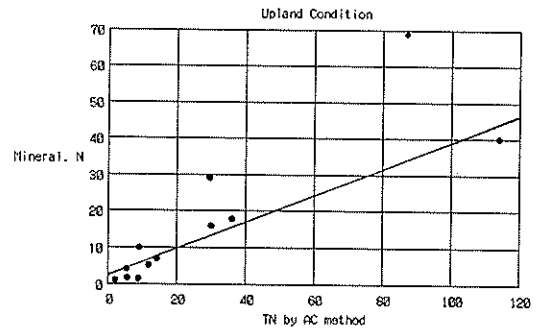


Fig. 5. Total N extracted by autoclave method and mineralized N under upland condition.

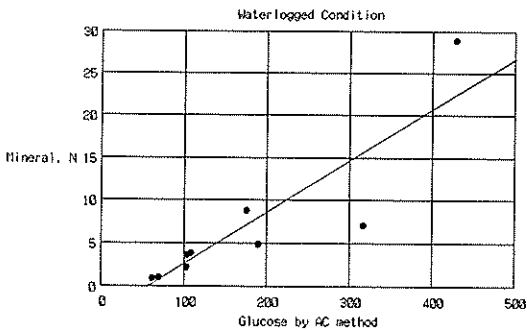


Fig. 4. Glucose extracted by autoclave method and mineralized N under water logged condition. $r=0.886$

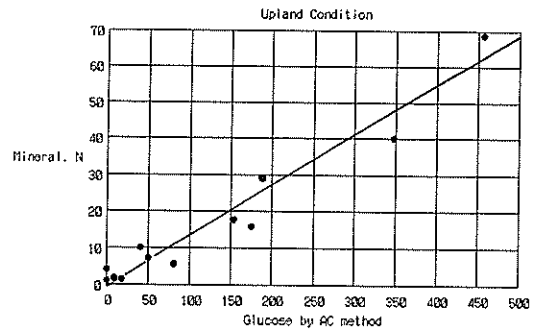


Fig. 6. Glucose extracted by autoclave method and mineralized N under upland condition.

Fig. 4 に水田状態下生成された $\text{NH}_4\text{-N}$ 量とオートクレーブ法によって可溶化した糖類量の関係を示した。両パラメーター間には $r=0.886$ の相関係数が得られた。

Fig. 5 に畑状態下生成された無機態窒素量とオートクレーブ法によって可溶化した全窒素量との関係を示した。両パラメーター間には $r=0.868$ の相関係数が得られた。

Fig. 6 に畑状態下生成された無機態窒素量とオートクレーブ法によって可溶化した糖類量との関係を示した。両パラメーター間には $r=0.973$ の高い相関係数が得られた。

以上の実験と統計検定から、各種堆肥および家畜糞尿余剰汚泥中の窒素の肥効評価に、オートクレーブ法によって可溶化した糖類量の測定が、全窒素量の測定より有効であることを認めた。

3. 汚水処理における有機物分解の微生物過程 (研究者 木村真人, 協力者 和田秀徳 (東京大学農学部教授))

排水処理においては、沈殿・分解槽を通過するに伴い、原水→1次処理水→2次処理水→→→と、その有機物負荷量は低下し、また分解微生物に対する水質も変化する。しかしこれまで、SS, BOD, COD などと各段階の処理水の関係は詳細に究明されてきたが、その処理水の有機物特性、関与する微生物の性質に関する知見はあまり多くない。

そこで本研究においては、糖、アミノ酸、酵母エキスを主成分とする人工汚水およびその処理水中での光合成細菌 (*Rhodospseudomonas* sp., 2次処理微生物群の一つ) の生育を調査し、汚水の分解程度と2次処理微生物の生育の関係を明らかにすることを試みた。その結果、

1) 酵母エキスと糖またはアミノ酸を主成分とする原水に少量の土壌を添加後嫌気・明条件で分解させたところ、pHは著しく低下(5以下、糖添加)または上昇(8以上、アミノ酸添加)した。この際pHを6.0-7.5の範囲に制御した場合には、糖添加ではpH6.0を維持した後上昇に、またアミノ酸では7.5を維持した後下降に転じた。

2) 嫌気・明条件下において、いずれの場合も原水の分解処理中光合成細菌の増殖は認められな

かった。特に培養開始時光合成細菌を接種しても増殖は観察されなかった。

3) 他方、pH制御条件下で得られた処理水に光合成細菌を接種したところ、顕著な増殖がみられた。しかし、pHを制御しない場合には酵母エキスとアミノ酸を主成分とする原水から得られた処理水においてのみ、長時間のlag timeの後光合成細菌の増殖が認められた。

以上の結果より、2次処理微生物は、1次処理水の分解に関与する微生物とは異なった微生物群であり、1次処理水の分解過程で死滅すること、1次処理が中性付近で行われた場合にのみ活発に2次処理水を分解することが明らかとなった。またpH制御条件下でのpHの“折り返し”現象は、処理水中の有機物分解過程が有機酸やアンモニアの生成から、消費・利用に移行したことを示唆するものであり、1次処理水と2次処理水を区別する判定基準の一つとなるとともに、さまざまな有機汚水の処理過程を統一的に理解する一助になると考えられた。

4. 汚水処理過程における水-土壌系の安定性 (研究者 木村真人)

汚水処理における有機物分解の微生物過程を土壌系と水系で対比し、両者の特徴の解明に努めた。

すなわち、湛水土壌(安城水田土壌湿潤土, $C=1.25\%$, $\text{pH}=6.0$) 5gあるいは返送汚泥(固形分0.48%, 有機物含量75-80%, $\text{pH}=5.5-6.0$) 5mlを三角フラスコに採取し、①対照区: 無添加, ②糖添加区: グルコース 25 mg 添加, ③タンパク添加区: ペプトン 25 mg 添加, ④糖, タンパク添加区: グルコース 12.5 mg およびペプトン 12.5 mg 添加, の4区を設けた。フラスコは2重ゴム栓で密閉し、気相を改めて空気またはアルゴンガスで置換した後、30℃の恒温室に保温静置した。10日目に①区はそのまま、②区にはペプトン 25 mg, ③区にはグルコース 25 mg, ④区にはグルコース 12.5 mg およびペプトン 12.5 mg をそれぞれ再度添加した後、新たに気相を空気またはアルゴンガスで置換し保温静置した。

保温静置 5, 10, 15, 20 日目に発生した CO_2 量

Table 2. Changes of pH and CO₂ production by organic matter application [μ M/g soil (ml activated sludge)]

Aerobic decomposition													
		5 day			10 day			15 day			20 day		
		pH	CO ₂	Index	pH	CO ₂	Index	pH	CO ₂	Index	pH	CO ₂	Index
Soil	①	6.0	2.1	7	6.0	4.5	15	6.0	2.4	8	6.0	5.5	21
	②	5.5	31.2	101	6.2	26.5	90	6.5	31.0	104	6.5	24.8	96
	③	6.5	27.7	90	6.5	24.2	82	6.6	37.9	128	6.5	26.1	101
	④	6.2	30.9	100	6.2	29.4	100	6.2	29.7	100	6.5	25.8	100
Activated sludge	①	6.0	1.3	5	6.0	1.1	5	6.0	0.8	3	6.0	1.1	5
	②	3.5	15.9	66	4.0	26.6	115	6.0	24.4	89	6.0	18.3	82
	③	7.5	20.0	83	7.5	16.4	71	5.5	35.8	131	5.6	31.4	141
	④	5.8	24.2	100	6.0	23.1	100	6.1	27.4	100	6.0	22.2	100

Anaerobic decomposition													
		pH	CO ₂	Index	pH	CO ₂	Index	pH	CO ₂	Index	pH	CO ₂	Index
Soil	①	6.0	1.8	14 (6)	6.0	2.6	19 (9)	6.0	2.1	11 (7)			
	②	5.2	16.8	133 (54)	5.8	14.6	104 (50)	6.4	13.8	72 (46)			
	③	6.3	11.5	91 (37)	6.7	13.7	98 (47)	6.5	18.8	98 (63)			
	④	6.0	12.6	100 (41)	6.2	14.0	100 (48)	6.5	19.1	100 (64)			
Activated sludge	①	6.0	0.83	7 (3)	6.0	1.0	10 (4)	6.0	0.76	7 (3)			
	②	3.5	13.6	110 (56)	3.6	15.7	154 (68)	4.0	3.7	35 (14)			
	③	6.2	7.6	61 (56)	6.0	7.3	72 (68)	5.0	14.2	134 (52)			
	④	4.6	12.4	100 (51)	4.8	10.2	100 (44)	5.0	10.6	100 (39)			

Treatment ① Check

② Sugar 5000 ppm

③ Peptone 5000 ppm

④ Sugar 2500 ppm + Peptone 25000 ppm

Index: Relative CO₂ production when that of Treatment ④ is 100

Figures in parentheses are the index when aerobic CO₂ production from Treatment ④ is 100

On 10th day, peptone (500 ppm), sugar (5000 ppm), and sugar (2500 ppm) plus peptone (2500 ppm) were added to ②, ③, and ④, respectively.

および pH を測定し、土壌系と水系における各種有機物分解に対する差異を考察した (Table 2)。

1) CO₂ 発生量, pH いずれに関しても土壌系は水系に比べ緩衝力が大きく, pH の大幅な上昇や下降がみられず, CO₂ 発生の停滞もほとんど認められなかった。

2) 他方, 活性汚泥の場合には, 糖添加により大幅な pH の低下, ペプトン添加による pH 上昇が観測された。CO₂ 発生に関しても, 土壌に比べ活性汚泥では, 糖, ペプトンを別々に添加した場合, 十分な分解が認められず, 両者の混合添加の場合に比べ低い値を示した。

3) このような土壌系, 水系における有機物分

解の特徴は好氣的条件, 嫌氣的条件いずれの場合にも認められた。なお, 嫌氣的条件の場合には有機物分解が十分進行せず, 有機酸などの中間代謝産物が集積するためか好氣的条件下での場合に比べ pH はより酸性的であった。

4) 以上の結果より, 水系において有機物分解を行う場合には, 水系の緩衝力が小さいことに留意し, 有機物の C/N 比や, pH の異常に絶えず注意する必要があることが明らかとなった。

5. 有機性廃棄物が我が国の VA 菌根菌の増殖に及ぼす影響

(研究者 野中昌法, 協力者 吉田富雄 (千葉大学園芸学部教授))

VA 菌根菌はその存在が古くから知られているが, 近年, VA 菌根菌が作物と共生関係を有し, 養分吸収 (無機成分の吸収) を高める事実が明らかになり, 注目されてきた。

ところが, 現在の多肥農業による化学肥料 (リン酸肥料) の大量施用は, 土壤中の可給態リン含量の一次的増加をもたらす作物の VA 菌根菌依存性 (共生関係) を低下させ, VA 菌根菌の増殖を抑制することも分かってきた。

そこで, リン酸資源の有効利用および再利用の観点から, この VA 菌根菌の作物に対する有用機能を維持させるか, 高めることができる施肥資材が重要となってきた。

本研究では, 化学肥料に変わる施肥資材としての有機廃棄物が VA 菌根菌の増殖に与える影響が全く分かっていないことから, 我が国の土壌を用い, 化学肥料と有機廃棄物が VA 菌根菌の増殖に及ぼす影響を比較検討した。

第 1 年度は我が国淡色黒ボク土 (筑波大学農林

技術センター) 由来の VA 菌根菌 (*Gigaspora margarita* G. *gregaria*, *Glomus* sp.) の増殖 (大豆播種 90 日後の胞子の増加) に及ぼす化学肥料 (リン酸第一カリウム) と有機廃棄物 (都市ゴミコンポスト, 下水汚泥コンポスト, パーク堆肥, 牛ふん堆肥) の影響をポット試験を用いて調べた。

第 2・第 3 年度は第 1 年度の成果を仔細に検討するために, 化学肥料 (リン酸第一カリウム), 有機廃棄物 (都市ゴミコンポスト, 下水汚泥コンポスト) を施用した殺菌土壌 [淡色黒ボク土 (同上), 砂丘未熟土壌 (新潟大学農場)] を用い, 我が国土壌から採取・同定した *G. gregaria* と *Glomus* sp. の胞子接種 (100 個) 後, 大豆播種 40 日後 (開花期) と 90 日後 (子実形成期) の VA 菌根菌の大豆根への感染率, 胞子数の増加, 菌糸量 (Chitin 含量) をポット試験を用いて調べた。

また, この実験を行うに当たり, 各 VA 菌根菌胞子の発芽条件を同じくするために VA 菌根菌胞子の活性化法を検討し確立した。

(1) 第 1 年度成果

各種有機廃棄物と化学肥料の施用に伴う VA 菌根菌 (*G. gregaria*) の胞子数の変化を Fig. 7 に示した。

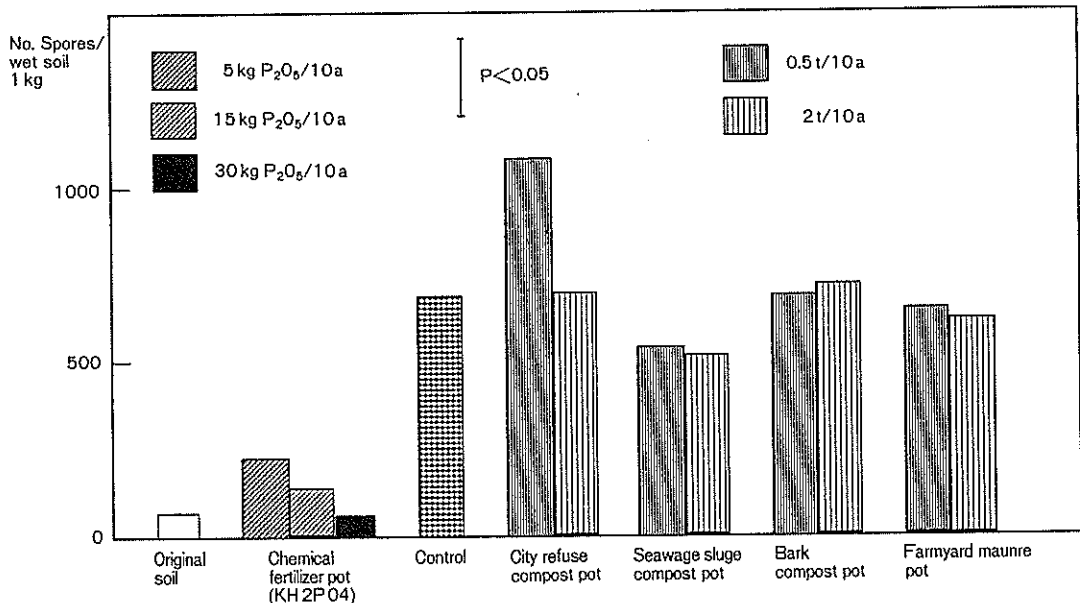


Fig. 7. Effect of some organic wastes and chemical fertilizer on VAM (*G. gregaria*) spore number.

Table 3. Effect of city refuse compost, sewage sludge compost and KH_2PO_4 on VAM infection

		Infection of <i>G. gregaria</i> (%)		Infection of <i>Glomus</i> sp. (%)	
		40 日	90 日	40 日	90 日
Light-colored andosol	Control	20.2	19.8	19.3	21.4
	City refuse compost (5 t/10 a)	15.8	17.2	18.1	21.2
	Sewage sludge compost (5 t/10 a)	18.6	21.3	16.4	20.8
Sand-dune regosol	Control	10.5	23.1	21.9	22.4
	Chemical fertilizer (15 kg/10 a)	0.8	11.6	20.1	23.1
	City refuse compost (5 t/10 a)	20.0	24.7	14.0	26.8
	Sewage sludge compost (5 t/10 a)	7.1	14.7	8.3	8.6

この結果、各種有機廃棄物の施行は化学肥料の施用と比べて、対照区（無施用区）に対する胞子数の有意な減少を生じない。一方、都市ゴミコンポスト (0.5 t/10 a) 区においては対照区と比べ胞子数の有意な増加を示した。また、有機廃棄物は施用量の増加に伴う胞子数の減少は都市ゴミコンポスト区以外生じなかった。

以上の事実は、有機廃棄物は化学肥料（リン酸肥料）と異なり VA 菌根菌の増殖を抑制しないことが示唆された。つまり、有機廃棄物は VA 菌根菌の population を維持することができると考えられた。

(2) 第 2・3 年度成果

殺菌処理した淡色黒ボク土と砂丘未熟土へ大豆播種後、40 日（開花期以降）と 90 日後（子実形成期以降）の大豆根の VA 菌根菌感染率を Table 3 に示した。

淡色黒ボク土の場合、都市ゴミコンポスト区、下水汚泥コンポスト区、対照区（無施用区）において、*G. gregaria*, *Glomus* sp. を接種した 40 日、90 日後の VA 菌根菌の感染率の間には有意な差が見られなかった。また、この際感染率は約 16～21%前後で一定していた。

ところが、砂丘未熟土の場合、感染率が VA 菌根菌の種と有機廃棄物、化学肥料の施用の違いにより 40 日後、90 日後で変化した。

つまり、化学肥料施用区は 40 日後、*G. gregaria* の感染率が対照区、有機廃棄物施用区と比べて極めて低く、90 日後、感染率は高まったが対照区、都市ゴミコンポスト区と比べ、なお有意な低さを示した。ところが、*Glomus* sp. の感染率は化

学肥料区が他の区と比べて低い値を示さなかった。

40 日・90 日後の淡色黒ボク土と砂丘未熟土に接種した *G. gregaria* と *Glomus* sp. の胞子数の変化を Fig. 8, 9 に示した。

淡色黒ボク土に接種した 100 個の *G. gregaria* 胞子は 40 日後、すべての区において約 2～3 倍に増加した。ところが、90 日後、接種した 100 個の胞子が都市ゴミコンポスト区では約 15 倍、下水汚泥コンポスト区では約 20 倍、対照区では約 30 倍と大幅に増加した (Fig. 8)。

淡色黒ボク土に接種した 100 個の *Glomus* sp. 胞子は 40 日後、都市ゴミコンポスト区、下水汚泥コンポスト区では約 20 倍に増加し、対照区において約 100 倍に増加した。一方、90 日後、都市ゴミコンポスト区、下水汚泥コンポスト区の胞子数は増加し、約 60～80 倍になり、無施用区は約 200 倍に高まった (Fig. 9)。

砂丘未熟土に接種した 100 個の *G. gregaria* 胞子は 40 日後と 90 日後では化学肥料区で約 2 倍、約 5 倍に、対照区で約 2 倍、約 4 倍に、下水汚泥コンポスト区で約 3 倍、6 倍に、都市ゴミコンポスト区約 5 倍に増加した (Fig. 8)。

砂丘未熟土に接種した 100 個の *Glomus* sp. 胞子は 40 日後には全く増加せず、90 日後に下水汚泥コンポスト区で約 5 倍に、化学肥料区で約 11 倍に、対照区で約 13 倍に、都市ゴミコンポスト区で約 200 倍に増加した (Fig. 9)。

淡色黒ボク土と砂丘未熟土において栽培した大豆根の根内・根面の VA 菌根菌の菌糸量 (Chitin 含量) は淡色黒ボク土が砂丘未熟土と比べ多い

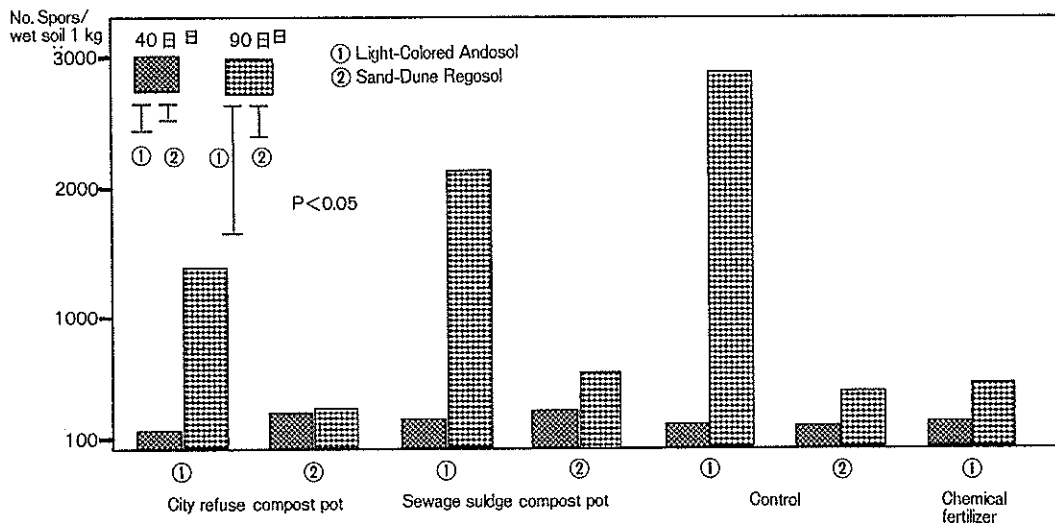


Fig. 8. Effect of city refuse compost, sewage sludge compost and chemical fertilizer (KH₂PO₄) on VAM (*G. gregaria*) inoculum soils spore production.

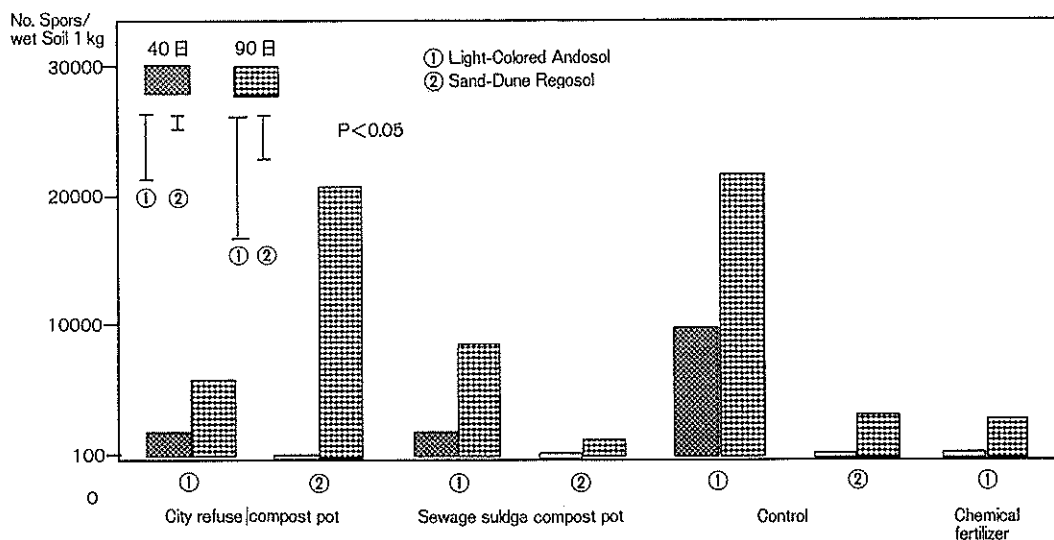


Fig. 9. Effect of city refuse compost, sewage sludge compost and chemical fertilizer (KH₂PO₄) on VAM (*G. gregaria*) inoculum soils spore production.

が、90日後、菌糸量は大幅に高まった。これは孢子量の増加と一致した。

以上の結果は、淡色黒ボク土、砂丘未熟土に接種したVA菌根菌(*G. gregaria*, *Glomus* sp.)は有機廃棄物の施用によりその増殖が抑制されず、大豆の開花期以降、VA菌根菌の菌糸量の増加と

もにその増殖が高められることが分かった。

特に、都市ゴミコンポストの砂丘未熟土への施用は *Glomus* sp. の増殖に有効であった。

このことは、リン含量が少ない砂丘未熟土のような土壌においても、有機廃棄物を利用することでVA菌根菌の有用機能を高めることができる

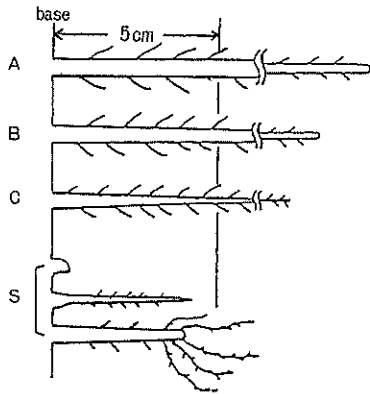


Fig. 10. Schematic expression of the four morphologically different types of primary roots. A; type A root, B; type B root, C; type C root, S; stunted root.

と考えられる。

6. 有機廃棄物施用が水稻根の発育に及ぼす影響

(研究者 原田二郎, 協力者 山崎耕宇(東京大学農学部教授))

有機廃棄物はその多くの部分が耕地で生産された有機物に由来しており, これを有効に利用するには耕地に還元するのが最も望ましいと考えられる。そのためには, 有機廃棄物資材を耕地の土壤に施用した場合に作物の生育に及ぼす影響を, 種々の角度から詳細に知る必要がある。本研究では, その一側面として, 土壤の諸条件と密接に関係する根の発育を中心に検討を行った。

対象作物としては水稻を用いた。根の発育の旺盛さを示す指標としては, 発育を終了した1次根を形態の相違によって4種の類型 (Fig. 10) に分級し, 根群中における類型別1次根の数および構成率を比較する方法を用いた。個々の1次根の発育の旺盛さはA型根, B型根, C型根, いじけ根の順に劣っていたと考えられる。なお, A型根, B型根およびC型根を合わせたすべての5 cm以上に伸長した1次根を総称して伸長根とし, 伸長根といじけ根を合わせたすべての1次根を総称して総1次根と呼ぶ。また必要に応じて, 根群を各1次根の茎軸上における出根位置に着目して要素別に区分した。この場合, 高位の要素の1次

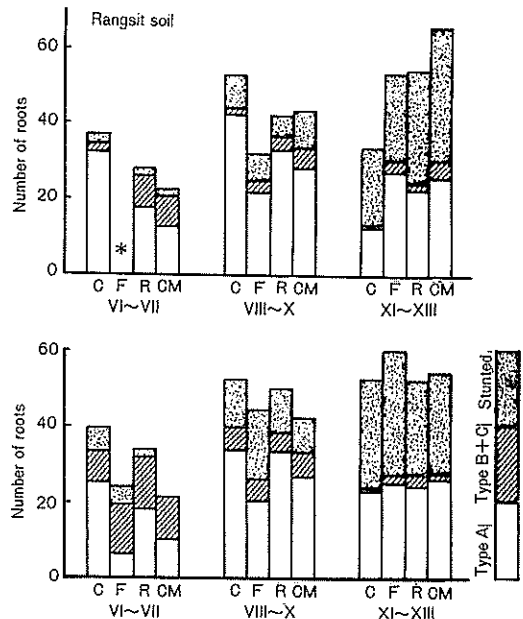


Fig. 11. Numerical composition of root types formed on the main stems of pot experiment in Thailand. VI-VII; Roots of 6th to 7th shoot units (SUs) formed in early stage of plant growth, VIII-X; Roots of 8th to 10th SUs formed in middle stage, XI-XIII; Roots of 11th to 13th SUs formed in late stage. C; No fertilizer application, F; Chemical fertilizer application, R; Rice straw compost application, CM; Castor meal application.

根の分級を行うことにより, 生育時期別の根の発育の様相を推定した。

1) 熱帯, 亜熱帯地域の土壤は一般に土壤有機物の蓄積量が少ないため, 有機質資材の施用効果は大きいと予想された。そこで, タイ国において, 2種類の問題水田土壤(酸性硫酸塩土壤-Rangsit土壤, 低腐植質グライ土壤-Surin土壤)を用い, 稲わら堆肥(390.5 g/pot)およびキャストール(ひまし油搾油残渣, 23.5 g/pot)を施用してポットに生育させた水稻(品種RD23)を幼穂形成期に採取し, 生育時期別の変化を無施肥および化学肥料施用(N 1.6 g/pot)の場合と比較した。

1次根の類型別構成よりみる (Fig. 11) と, 有機廃棄物資材を施用した場合には, 無施肥の場合と比較して, 総根数, A型根数のいずれも, 生育初

期には減少したが、中期には回復し、後期に至ると増加した。すなわち、根の発育は有機廃棄物資材の施用により、生育の比較的初期に形成された根において抑制されたが、後期に形成された根においては回復ないし促進される傾向が認められた。化学肥料を施用した場合の1次根数も同様の傾向を示したが、生育初中期の1次根数の減少は有機廃棄物施用の場合より顕著であった。茎葉部の生育においても有機質資材の施用により一時的な停滞が認められたが、生育の後期には出葉速度、草丈、茎数のいずれも回復し、無施肥区のそれを上回った。有機物資材を施用した場合、化学肥料施用の場合と比較してみると、出葉、草丈はほぼ類似した生育時期別の推移を示したが、茎数はやや少なくなった。このため、有機物施用の場合には一穂当たりの収量は無施肥の場合より増加し、化学肥料を施用した場合と同程度かこれを上回る程度となったが、1株当たりの収量で見ると化学肥料施用の場合と同程度かややこれを下回った。有機質資材の施用による以上のような傾向は、とくに有機廃棄物資材としてキャストミールを施用した場合に顕著であった。

2) 有機質資材施用の効果を水田条件下で確認するため、タイ国ラチブリ水稲試験地の実験水田において、いなわら堆肥施用 (12 t/ha)、化学肥料施用 (NPK 各要素 50, 25, 25 kg/ha)、いなわら堆肥化学肥料混用 (肥料分前2区の合計) および無施肥の4区を設けて生育させた水稲 (品種 RD7) について、1次根の種類および伸長方向別構成を観察した。なお、この試験においては、根群の要素別区分は行わず、幼穂分化期および登熟期の2回に採取した材料について比較した。

その結果 (Fig. 12), 1株当たりの総1次根数および伸長根数は堆肥、化学肥料のいずれであっても肥料を施用した場合において、幼穂形成期から登熟期までの生育後期の期間に著しく増加した。ただし、いなわら堆肥を施用した場合には化学肥料を施用した場合と比較していじけ根の構成率が低く、いじけ根に比較して5 cm以上に伸長した伸長根の増加が旺盛であったことを示している。1株当たりの土壤中深く伸長した伸長根の構成率

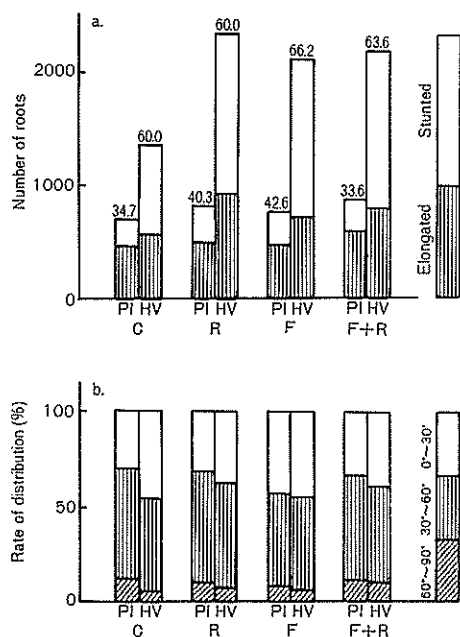


Fig. 12. Composition of roots belonging to different root types and growth direction. Samples per hill of paddy field experiment in Thailand. a; Root types, numbers on each column indicate the percentage of stunted roots; b; Growth directions from soil surface, PI; Panicle initiation stage, HV; Ripening stage. F+R indicates duplicate application of F and R.

は、とくに登熟期において堆肥施用により無施肥および化学肥料を施用した場合より多くなる傾向が認められた。

以上のように、タイ国水田で生育させた水稲においても、生育後期に形成される根は、堆肥の施用により発育が旺盛となり、しかも土壤の深い層にまで伸長する傾向を示した。

3) 気象および土壤条件の異なる我が国において有機質資材施用の影響がどのように現れるかを知るため、東京において、東京都田無市在の畑土壤を充てんしたポットで生育させたタイ国水稲品種 RD7 について観察した。試験区は、いなわら堆肥施用区 (240 g/pot)、化学肥料施用区 (NPK 各要素 1, 1, 1 g/pot)、いなわら堆肥化学肥料混用区 (肥料分前2区の合計) および無施肥区の4区とし、材料は出穂約1週間前の時期に採取し

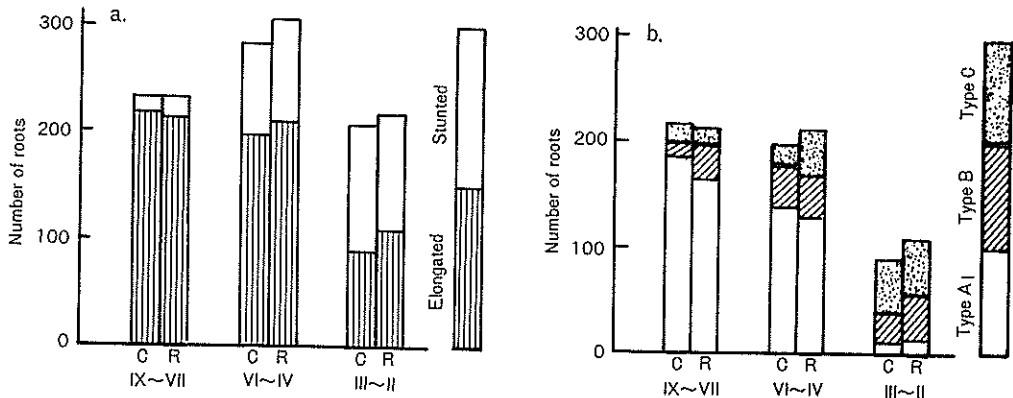


Fig. 13. Composition of root types on the main stems of paddy field experiment in Japan. a; Composition of elongated and stunted roots, b; Composition of type A, B and C roots, IX-VII; Roots of 9th to 7th SUs from uppermost root bearing SU, VI-IV; Roots of 6th to 4th SUs, III-II; Roots of 3rd and 2nd SUs.

た。

その結果、有効茎1本当たりの総1次根数は肥料を施した場合に増加したが、その場合の増加は堆肥を施用した場合には伸長根、化学肥料を施用した場合にはいじけ根の増加によっていた。1株当たりの土壤中深く伸長した伸長根の割合は堆肥施用により増加したが化学肥料を施用した場合には無施肥の場合とほとんど差異がなかった。1株の稲体において地上部と根系の占める割合をSR比でみた結果、いなら堆肥のみを施用した場合には化学肥料施用の場合に比較して根系の発育が旺盛となり、地上部の発育が相対的に抑制されることが明らかとなった。

以上のように、東京におけるポット試験においても、有機質資材の施用は化学肥料と同様に1茎当たりの根数を増加させたが、とくに、発育が旺盛で土壤中深く伸長する根を増加させる傾向を示した。

4) 日本の圃場条件において有機質資材施用の影響をみるため、千葉県印旛郡本埜村在の水田土壤を充てんした小型コンクリート水田(1.5×1.8 m)を用いてさらに検討した(品種RD7)。設けた試験区は、いなら堆肥施用(1.2 kg/m²)および無施肥の2区であった。

この場合の根の発育(Fig. 13)は、有機物の施用により、生育初期には抑制、後期には促進される傾向を示したが、その傾向は、タイ国における

ポットおよび水田試験の場合、あるいは日本の畑土壤ポット試験で認められたほど明白なものではなかった。

以上の結果を総合してみると、有機質資材の施用は水稻の地上部のみでなく地下部の発育を、とくに生育の比較の後期において、旺盛にするものと考えられる。その場合の根の発育は、化学肥料施用の場合と比較しても、より旺盛であり、土壤中に深く伸長する根を増加させる傾向があることが示唆された。このような有機物資材の施用が根の発育に及ぼす影響はタイ国の水田土壤や我が国の畑土壤のような土壤有機物の消耗の著しい土壤において顕著に認められた。A型根に代表されるような発育が旺盛で土壤の深層の方向へ伸長する1次根は、その根軸上に形成される分枝根を含めると、総表面積など、養水分吸収と密接に関係する量の拡大に寄与しているとされている。さらに、このような1次根が多数にのぼる水稻個体においては、玄米収量もまた増加する傾向にあることが指摘されている。したがって、本研究の結果は有機廃棄物を耕地に還元することの積極的な意義を示すものと考えられる。今後さらに詳細な研究の遂行が望まれるところである。根の発育および形態の変化を観察することは、有機廃棄物の品質を的確に検定し、作物生産へのより有効な利用をはかるための一方法となりうると考えられる。

Table 4. Effect of FYM application on radish production (Nov. 11, 1987)

	"SOBUTORI"			"OFUKURO"		
	①	②	③	①	②	③
Total (g/ind)	1120	1770	1685	1612	1528	1673
Top (g/ind)	549	564	561	1112	833	1011
Root (g/ind)	571	1206	1124	500	697	662
Root length (cm)	24.7	40.2	38.0	24.1	29.4	29.9
Root above ground (cm)	7.2	16.5	15.1			
Strength for pull-out (kg)	10.6	17.8	19.3			
Abnormal root (%)	45	0	5	65	45	30

Treatment ①: FYM mass application
 ②: FYM ordinary application
 ③: Chemical fertilizer

Table 5. Effect of FYM application on potato production (June 22, 1988)

a. Potato production

	Top (g FW/ind)	Potatoes (pieces/ind)	Potatoes (g/ind)	Potatoes top (dry wt.)
I FYM mass	224.8	8.2	687.5	25.3
II FYM ordinary	165.2	8.8	603.3	38.9
III CF	190.6	6.1	614.2	29.1

b. Potato quality

Class	3L	2L	L	M	S	2S	
Dry weight ratio (%)	I	17.5	16.7	17.0	17.3	16.5	15.6
	II	18.8	17.8	19.3	19.8	19.5	18.0
	III	18.4	17.7	17.5	17.2	17.9	17.9
Starch content (%)	I	11.7	11.0	11.2	11.5	10.8	9.8
	II	13.0	12.0	13.5	14.0	13.8	12.3
	III	12.6	11.9	11.8	11.5	12.2	12.2

Class: 3l > 260 g M 110-60 g
 2l 260-170 g S 60-40 g
 l 170-110 g 2S 40-20 g

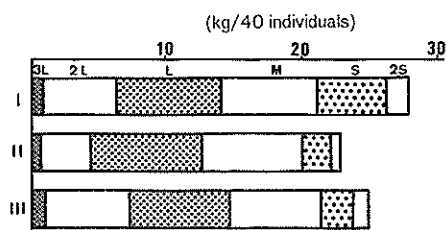


Fig. 14. Production of potatoes.

7. 厩肥の施用が赤黄色土の理化学性、作物の収量に及ぼす影響

(研究者 木村真人)

東海地方に広く分布する赤黄色土は、極めて粘質であり透水性が不良であるとともに、養分に乏しい不良土壌である。そこで厩肥の連用による赤黄色土の改良を目的として、1987年6月より、厩肥多量区(厩肥20t/10アール/作)、厩肥慣行量区(厩肥2t/10アール/作+化肥)、化学肥料単用区を名古屋大学農学部附属東郷農場に開設し土壌の改良と作物収量・品質に及ぼす厩肥の効果を

長期に渡って追跡することとした。調査年はその1-2年目に対応し、開設初期の影響に関するものである。

これまでに栽培した作物はスイートコーン(87/6-8月)-ダイコン(同9-11月)-パレイショ(88/3-6月)-ダイコン(同7-11月)である。以下、試験区開設時および1年経過後の土壌の理化学性と、ダイコン、パレイショの生育結果について述べる。

1) 厩肥施用が土壌の理化学性に及ぼす影響

厩肥の多量施用は、試験区開設1年後の土壌の全炭素、全窒素、CEC、交換性塩基量、有効態リン酸量を顕著に増加させた。また慣行量の厩肥施用区でも、全炭素、全窒素、交換性塩基量は化学肥料区に比べ増加していたが、有効態リン酸量には差異が認められなかった。

2) 厩肥施用が作物の収量・品質に及ぼす影響 (Table 4, 5, Fig. 14)

厩肥の多量施用は、ダイコン(87/9-11月)の地上部の増大に主に作用し、ダイコン収量は低く品質(異常根発生率増大)も劣っていた。他方引抜き強度の低下(抽出根部長)/ (全根長)の比が厩肥多量区で小さく、土壌の物理性の改善がうかがわれた。

ついで栽培したパレイショのイモ重は厩肥多量区が厩肥慣行量区、化肥区に比べ大きくまた地上部新鮮重も厩肥多量区>化肥区>厩肥慣行量区の順であった。しかし、厩肥多量区のイモの乾物率、デンプン価はいずれも低く、しかもイモ重の増加が主にS、2Sなどの小粒のイモに由来していた。このように厩肥の多量施用は、イモ生産効率の低下、品質の劣悪化をもたらしていたが、慣行量の厩肥施用は収量増加にはつながらないものの、乾物率、デンプン価を改善していた。

以上の結果より厩肥の多量施用は、①土壌の物理性を改善し、作業労働を軽減する。②根菜類の収量への寄与は少なく、おもに茎葉の繁茂をもたらす。③ダイコンの岐根、裂根を増加させるとともに、パレイショのS、2Sを主に増大させ、品質は厩肥慣行量区、化肥区に比べ不良となる。④以上のことから、厩肥の多量施用は試験圃場開設初

期、土壌と多量の厩肥が十分に混和していないことにより、作物、特に根菜類に悪影響を及ぼす可能性のあることが明らかとなった。したがって、開設初期には茎葉収穫を目的とする作物を選択することが賢明であろう。

今後の課題と発展

本研究のねらうところは、大きく分けて、1)各種有機廃棄物の性状、とくに家庭廃棄物の負荷量とその排水処理、並びに廃棄物の土壌改良材としての評価、2)これら有機物の水系、土壌系における挙動および3)生物生産に与える影響を明らかにし、有機廃棄物土壌還元による環境汚染の防止並びに土壌肥沃度の増強の両者を共役させる方策に関する基礎知識を得ることにある。本研究に対する昭和61、62、63年度の3年間にわたる、日産科学振興財団による学術研究助成金によって、次の諸点が明らかになった。

1) 家庭廃棄物の負荷量を組成別に明らかにしてその嫌氣的消化法を検討し、嫌氣的消化によりそれら廃棄物のBODの93-99%に相当する平均除去率を得た。

2) 有機廃棄物資材の地力窒素供給力を評価するのに、労力と日数のかかるインキュベーション法に変わるものとして、資材オートクレーブ法によって可溶化した糖類量の測定が迅速簡易で精度の高い方法であることを示した。

3) 汚水処理における有機物分解の微生物過程を水系と土壌系で比較し、土壌系がより安定して分解されること、水系においてはその緩衝力が小さいことから有機物のC/N比や、pHの異常に絶えず留意する必要があることを指摘した。

4) 都市ゴミコンポスト、下水汚泥コンポストが、大豆栽培下VA菌根菌の増殖を促進することを明らかにした。

5) 我が国および熱帯において、ポットおよび圃場条件で有機廃棄物資材施用が水稻の生育に及ぼす影響を根系の発育に着目して検討し、とくにタイ国水田や我が国の畑のような土壌有機物の消耗の激しい土壌において、本資材施用は生育後期の根の発育を旺盛にし、土壌中深く伸長させることを示した。

6) 圃場レベルで、厩肥の施用が物理性の悪い赤黄色土の理化学性および作物生育に及ぼす影響を2年間にわたり追跡し、厩肥の施用は土壌の物理性を改善して作業労働を軽減するが、これの多量施用は根菜類の生育、収量へ悪影響を及ぼし、例えば大根の分かれ根を増やし、品質を低下させることを明らかにした。

以上の研究成果は、家庭廃棄物の処理のための基礎知見、廃棄物の土壌改良材としての迅速簡易な方法の確立、廃棄物の水系における有機物分解の問題点の指摘、土壌生物を利用しての肥沃度向上技術であるVA菌根菌の増殖に有機廃棄物の併用が有効であること、タイの水田などにおいて有機物資材の施用により水稻根の発育を促進すること、物理性の悪い土壌で本資材の施用がその改良に寄与したが根茎作物の品質を悪化させることなどを明らかにした。

これらの成果は、それぞれの分野でさらに研究を発展させ、知見を拡充することが必要である。しかしながら、個々の現在までの知見によっても、有機廃棄物の排出後における処理技術の改良、これら資材の土壌還元のための迅速な評価、

土壌生物技術としてのVA菌根菌の利用の促進、有機物の消耗の激しい熱帯土壌でのこれら資材の土壌還元の意義、本資材多量施用に際し根菜類の品質が低下することから、茎葉作物の栽培を選ぶことが賢明であることなどが明らかにされた。本研究においては、これらの各分野を具体的につなげて統合することができなかったが、今後このような方向に努力したいと考える。

発表論文

- 1) Yoshida, T. and Takai, Y.: Land application of municipal organic wastes and its potential use for the sustained soil fertility, Int. Seminar on tropical biological resources under development, Manila (1988).
- 2) 野中昌法, 永井 淳, 吉田富雄: VA菌根菌休眠胞子の活性化法, 日本土壌肥料学会誌, 59, 496-498 (1988).
- 3) 野中昌法, 嶋本真由美, 吉田富雄: 各種有機性廃棄物がVA菌根菌の増殖に及ぼす影響, 日本土壌肥料学会神戸大会口頭発表 (1988).
- 4) Abe, J., Vacharotayan, S., Yamazaki, K., Chanchareonsook, J., Harada, J., and Sasanarakkit, S.: Effect of some organic waste materials on the growth of a Tai rice variety (*Oryza sativa* L. c.v. RD23). *Japan J. Crop Sci.*, 57 (Extra issue 2), 9-10 (1988).