

## 有機農業の技術的評価（第1報）

### —有機栽培が野菜の収量および土壌に及ぼす影響—

山田 裕・鎌田春海

Agricultural Technological Evaluation on Organic Farming and Gardening.

I. Effects of Organic Farming on Yields of Vegetables and Soil Physical and Chemical Properties.

Hiroshi YAMADA and Harumi KAMATA

#### 緒 言

有機農業に関する人々の関心は、農業者よりも、むしろ消費者でより高い。それは、量より質、とりわけ安全な食品を口にしたいという消費者の選択が、その背景になっているものと考えられる。さらに、農業者においても、化学肥料や農薬の多量使用で、土壌、生態系を悪化させたり、健康に対する危惧がある等改善すべき点も存在する。

有機農業の成立条件は、作物の栽培時期や種類、さらには同じ種類であっても、品種によって大きな違いがあることが予想される。また、一口に有機農業といっても、現実には農薬や化学肥料の使用を全面的に否定するものから、多少は容認するものまで、内容は多岐にわたっており、この問題の議論を一層複雑なものとしている。

しかし、有吉佐和子の「複合汚染」<sup>2)</sup>は、この問題に一石を投じ、これを契機に有機農業を実践する農家が増加したことも事実である。海外においても、米国農務省の研究調査班による「有機農業に関する報告と勧告」<sup>1)</sup>

（日本有機農業研究会訳：アメリカの有機農業）やEC（欧州共同体）他による有機農産物及びその生産基準が公刊される<sup>11)</sup>などして、行政を含めて関心の広いことがわかる。

著者らは、有機農業には肥料および農薬の二つの要素があると考え、有機農業の成立条件を主として土壌肥料

的な側面から評価するという観点から、1978年より9年間にわたって、この課題に取り組んできた。その内容は無機肥料および有機肥料が作物生育や地方要因に及ぼす影響、さらに農薬の散布の有無と作物生育の関係を中心に検討したものである。その結果、肥料の種類が野菜の生育や土壌の理化学性に及ぼす影響について、新たな知見を得たので、とりまとめて報告する。

本試験を実施するに当たり、日本大学農獣医学部仲山和久氏には、試料の分析などに多大な御協力をいただいた。本稿をとりまとめるに当たり、神奈川県肥飼料検査所所長松崎敏英氏には御校閲をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

#### 試 験 方 法

##### 1. 栽培方法

試験は神奈川県平塚市寺田郷の神奈川県農業総合研究所内の試験圃場で実施した。土壌は灰色低地上の藤代統（腐植含む、土性SCL）に属し、供試面積は1区53m<sup>2</sup>とした。

試験区の構成は第1表に示すように、化学肥料単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、菜種油粕単用区、牛ふん堆肥単用区の4処理とし、さらにそれぞれの処理に対し、農薬散布の有無を加えた合計8処理区とした。農薬散布は神奈川県病害虫雑草防除基準<sup>7)</sup>に準じ、適宜実施した。なお、除草剤は使用せず、手取り除草とした。

第1表 試験区の構成

No.	肥料の種類	農薬の使用
1.	化学肥料単用区	有
2.	化学肥料単用区	無
3.	化学肥料・牛ふん堆肥加用区	有
4.	化学肥料・牛ふん堆肥加用区	無
5.	菜種油粕単用区	有
6.	菜種油粕単用区	無
7.	牛ふん堆肥単用区	有
8.	牛ふん堆肥単用区	無

施肥量は作物の生育に最も関係があると考えられる窒素量で統一し、化学肥料単用区の窒素施肥量と同一とした。ただし、牛ふん堆肥単用区は窒素の肥効率を化学肥料の30%と仮定し、3.3倍量を施用した。化学肥料は複合燐加安42号(14-14-14)を使用した。化学肥料・牛ふん堆肥加用区は牛ふん堆肥の水分を60%相当量とし、10アール当たり2トンを化学肥料に乗せて施用した。

牛ふん堆肥は全量元肥として全面施用したが、化学肥料および菜種油粕は分施し、元肥を全面施用、追肥を溝施用とした。10アール当たりのN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oの施肥量は冬作キャベツが各25kg、夏作キャベツが各20kg、レタスが各24kg、タマネギが各18kgとした。また、土壌の塩基は年1回、夏作作付け前に石灰飽和度50%、苦土飽和度20%を目標にそれぞれ炭酸カルシウム、水酸化苦土肥料で補正した。栽植密度はキャベツが60×40cm、レタスが60×30cm、タマネギが60×10cmとした。作物の栽培概要は第2表に、供試有機質肥料および資材の化学性を第3表に示した。

栽培試験中に使用した農薬の種類と散布回数を第4表に示した。農薬散布は主として夏作のキャベツで実施し、冬作ではレタスで殺菌剤、タマネギの一部で殺虫剤と殺菌剤を使用した。1、5、7、11、13作の農薬散布予

第2表 年度別の作目概要

作数	冬作物	栽培期間	作数	夏作物	栽培期間
1	キャベツ <sup>1</sup>	78.11~79.5	2	キャベツ <sup>2</sup>	79.8~79.11
3	レタス <sup>3</sup>	80.3~80.5	4	キャベツ <sup>2</sup>	80.8~80.11
5	タマネギ <sup>4</sup>	80.11~81.6	6	キャベツ <sup>2</sup>	81.8~81.11
7	タマネギ <sup>4</sup>	81.11~82.6	8	キャベツ <sup>2</sup>	82.8~82.11
9	タマネギ <sup>4</sup>	82.11~83.6	10	キャベツ <sup>2</sup>	83.8~83.11
11	タマネギ <sup>4</sup>	83.11~84.6	12	キャベツ <sup>2</sup>	84.8~84.11
13	タマネギ <sup>5</sup>	84.11~85.5	14	キャベツ <sup>2</sup>	85.8~85.11
15	タマネギ <sup>4</sup>	85.11~86.6	16	キャベツ <sup>2</sup>	86.8~86.11
17	タマネギ <sup>4</sup>	86.11~87.6			

注) 品種1: 金系201, 2: 坂田中早生2号, 3: ベンレーク

4: 二宮丸 5: 湘南極早生

定区および当初からの無散布区は無農薬で栽培した。

## 2. 分析方法

### (1) 土壌分析

作物収穫後の土壌を採取し、ガラス室内で風乾し、2mmのふるいを通じた風乾細土を供試試料とした。

土壌の化学性は常法<sup>10)</sup>により分析した。ただし、有効態りん酸はトルオーグ法によった。また、交換性塩基および陽イオン交換容量(CEC)は、ショーレンパーガー法により抽出し、それぞれ原子吸光度法およびホルモール法により定量した。全炭素および全窒素は、微粉末試料を柳本CNコーダーMT600により定量した。

### (2) 可給態窒素

乾土10g相当量の風乾土を100mlのガラスびん(UMサンプルびん)にとり、最大容水量の60%相当量の水を添加し、ポリエチレンフィルムでふたをして、30℃の恒温器で4週間培養した。ただし、水添加時に試験圃場より採取した生土を水抽出し、その希釈液1mlを添加した。

培養終了後、10%塩化カリウム溶液で無機態窒素を抽

第3表 施用有機物資材の化学性(%)

資材	水分	T-C	T-N	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
牛ふん堆肥 <sup>1</sup>	70±10	28.4±6.1	1.7±0.4	15±4	2.7±0.9	1.0±0.4	3.9±0.7	1.4±0.3	0.4±0.1
菜種油粕 <sup>2</sup>			5.9±0.3		2.6±0.2	1.4±0.1	0.8±0.1	0.9±0.1	

注) 1: 乾物中, 2: 現物中

第4表 農薬散布区の薬剤使用状況

作数	作 目	使 用 薬 剤 お よ び 散 布 回 数
1	キャベツ	無散布
2	キャベツ	ランネット水和剤×3, DDVP乳剤×1, ダイセン水和剤×1
3	レタス	トップジンM水和剤×2
4	キャベツ	ランネット水和剤×3, DDVP乳剤×1, バダン水溶剤×1
5	タマネギ	無散布
6	キャベツ	ランネット水和剤×3, バダン水溶剤×1
7	タマネギ	無散布
8	キャベツ	ランネット水和剤×3, トクチオン乳剤×1, ダイセン水和剤×1
9	タマネギ	マラソン乳剤×1, ジマンダイセン水和剤×1
10	キャベツ	ランネット水和剤×3, トクチオン乳剤×2, ダイセン水和剤×1, ベンレート水和剤×1
11	タマネギ	無散布
12	キャベツ	オルトラン粒剤×1, ランネット水和剤×3, トクチオン乳剤×3
13	タマネギ	無散布
14	キャベツ	ハクサップ水和剤×3, DDVP乳剤×1
15	タマネギ	ダイアジノン粒剤×1, ダイセン水和剤×1
16	キャベツ	オルトラン粒剤×1, ハクサップ水和剤×2, ランネット水和剤×1, ダイボール水和剤×1, アクテリック乳剤×1
17	タマネギ	ダイアジノン粒剤×1, トップジンM水和剤×1, ダイセン水和剤×1

注) 1, 5, 7, 11, 13作は農薬散布予定区および無散布区とも農薬は使用しなかった。

出し、抽出液をブルムナー法<sup>10)</sup>により水蒸気蒸留して無機態窒素を定量した。風乾細土も同様に処理し、培養前後の無機態窒素の差から可給態窒素を算出した。

(3) バイオマス炭素

JENKINSON<sup>4)</sup>の提案した方法により、風乾細土を微粉碎し、その1gに0.1N水酸化バリウム10mlを添加して30分間振とうして多糖類を抽出した。抽出液は遠心分離後、アントロン法<sup>15)</sup>によりグルコースを標準液として定量し、これをもってバイオマス炭素とした。

(4) 土壌溶液

土壌溶液はセラミック製の集液カップ(大起理化工業, DIK-3900)をキャベツの株間に埋設し、手動式真空ポンプにより500ml三角フラスコを減圧する外部集液法により採取した。集液カップの埋設位置は20cmおよび40cmとし、初期の吸引圧は40cmHgに設定し、24時間継続して土壌溶液を採取した。陰イオンの分析は塩素, 硝酸, 硫酸をイオンクロマトグラフ法(島津HIC-6A), リン酸を吸光光度法, 陽イオンは原子吸光光度法により定量した。

試 験 結 果

1. 作物の生育・収量

(1) 肥料の種類と作物収量

農薬散布区における冬作のキャベツ, レタス, タマネギおよび夏作のキャベツ可食部の収量とその分散分析結果をそれぞれ第5, 6表に示した。冬作は各作とも化学肥料・牛ふん堆肥加用区が化学肥料単用区と同等かそれ以上の収量であった。一方, 菜種油粕単用区の収量についてみると, 1作目のキャベツは化学肥料単用区の50%程度にとどまったが, 3作目のレタス, 5作目と13作目を除くタマネギでは化学肥料単用区と同等の収量が得られた。また, 牛ふん堆肥単用区の収量については, キャベツおよびレタスは他区より著しく劣ったが, タマネギは6作の平均では化学肥料単用区と同等の値を示した。しかし, その収量は作付年次ごとの変動が大きく, 化学肥料単用区以上の収量が得られる場合もあれば, 逆に著しく低下する場合もあった。

第5表 冬作物(キャベツ、レタス、タマネギ、)の収量(kg/10a、農薬散布区の3地点平均)

区名	1作	3作	5作	7作	9作	11作	13作	15作	17作	平均
1.化学肥料単用区	3043 <sup>a</sup> (100)	4235 <sup>b</sup> (100)	4253 <sup>a</sup> (100)	4676 <sup>a</sup> (100)	3387 <sup>a</sup> (100)	3094 <sup>b</sup> (100)	3381 <sup>a</sup> (100)	2728 <sup>a</sup> (100)	3466 <sup>b</sup> (100)	(100)
2.化学肥料 牛ふん堆肥加用区	2949 <sup>a</sup> (97)	5105 <sup>a</sup> (121)	3930 <sup>ab</sup> (92)	4863 <sup>a</sup> (104)	3709 <sup>a</sup> (109)	4244 <sup>a</sup> (137)	3194 <sup>a</sup> (94)	2975 <sup>a</sup> (109)	4411 <sup>a</sup> (127)	(113)
3.菜種油粕単用区	1584 <sup>b</sup> (52)	4168 <sup>b</sup> (98)	3609 <sup>b</sup> (85)	4759 <sup>a</sup> (102)	3598 <sup>a</sup> (106)	3139 <sup>b</sup> (101)	2512 <sup>b</sup> (74)	2716 <sup>a</sup> (100)	3700 <sup>b</sup> (107)	(100)
4.牛ふん堆肥単用区	777 <sup>c</sup> (26)	2478 <sup>c</sup> (59)	3031 <sup>c</sup> (71)	4953 <sup>a</sup> (106)	2379 <sup>b</sup> (70)	4243 <sup>a</sup> (137)	988 <sup>c</sup> (29)	2188 <sup>b</sup> (80)	4368 <sup>a</sup> (126)	(98)

注1: 1作はキャベツ、3作はレタス、他作はタマネギ

注2: 平均は5、7、9、11、15、17作タマネギの平均値

注3: ( )内は化学肥料単用区に対する収量比

注4: a, b, cはダンカンの多重検定による処理間差

第6表 夏作物(キャベツ)の収量(kg/10a、農薬散布区の3地点平均)

区名	2作	4作	6作	8作	10作	12作	14作	16作	平均
1.化学肥料単用区	4898 <sup>ab</sup> (100)	6035 <sup>a</sup> (100)	5844 <sup>a</sup> (100)	4569 <sup>a</sup> (100)	4436 <sup>a</sup> (100)	6446 <sup>a</sup> (100)	6180 <sup>a</sup> (100)	5237 <sup>a</sup> (100)	(100)
2.化学肥料・ 牛ふん堆肥加用区	5735 <sup>a</sup> (117)	6912 <sup>a</sup> (115)	5847 <sup>a</sup> (100)	4417 <sup>a</sup> (97)	4861 <sup>a</sup> (110)	6345 <sup>a</sup> (98)	6654 <sup>a</sup> (108)	5315 <sup>a</sup> (101)	(106)
3.菜種油粕単用区	3418 <sup>c</sup> (70)	3913 <sup>b</sup> (65)	2362 <sup>c</sup> (40)	1811 <sup>c</sup> (40)	2257 <sup>b</sup> (51)	5104 <sup>b</sup> (79)	5243 <sup>b</sup> (85)	3434 <sup>b</sup> (66)	(62)
4.牛ふん堆肥単用区	4435 <sup>b</sup> (91)	4342 <sup>b</sup> (72)	3051 <sup>b</sup> (52)	2590 <sup>b</sup> (57)	2821 <sup>b</sup> (64)	5609 <sup>a</sup> (87)	5047 <sup>b</sup> (82)	3778 <sup>b</sup> (72)	(72)

注1: ( )内は化学肥料単用区に対する収量比

注2: a, b, cはダンカンの多重検定による処理間差

冬作タマネギの収量を同一品種間で比較すると、6年間の平均収量は化学肥料・牛ふん堆肥加用区が化学肥料単用区より13%増収したが、菜種油粕単用区および牛ふん堆肥単用区はこれとほぼ同等であった。

夏作キャベツの収量は各作とも化学肥料単用区と化学肥料・牛ふん堆肥加用区が同等であった。一方、菜種油粕単用区の収量は、化学肥料単用区に比較して約15~60%、また、牛ふん堆肥加用区の収量は同区より約10~50%低下した。夏作キャベツの8年間の平均収量は、化学肥料単用区に比較して、化学肥料・牛ふん堆肥加用区が約6%増収したのに対し、菜種油粕単用区は約40%、牛ふん堆肥単用区は約30%それぞれ減収した。

#### (2) 農薬散布の有無と作物収量

試験期間中の病害虫の発生状況は冬作のレタスが菌核病、タマネギがさび病とべと病および13作目以降のタネバエ、夏作のキャベツは黒腐病とコナガおよびアオムシによる食害が主なものであった。

夏作キャベツについて、それぞれの施肥処理区内における農薬散布区の収量を100とした無農薬区の収量比、および分散分析による農薬の有無による有意差を、第7表に示した。化学肥料単用区および化学肥料・牛ふん堆肥加用区の両区は、各作とも無農薬区は明らかに減収する機会が多く、農薬散布区に比較して8~40%減収した。これに対し、菜種油粕単用区および牛ふん堆肥単用区の

第7表 無農薬栽培が夏作物の収量に及ぼす影響（農薬散布区の収量を100とした）

区 名	2作	4作	6作	8作	10作	12作	14作	16作	平均
1.化学肥料単用区	64※	89	86※	86	88	74※	96	68※	81
2.化学肥料・牛ふん堆肥加用区	65※	78※	95	89	86※	60※	92※	85※	81
3.菜種油粕単用区	49※	110	122※	107	109	61※	96	111	96
4.牛ふん堆肥単用区	32※	100	111	101	104	81※	94	99	90

注：※はダンカンの多重検定により、農薬散布区に対して有意差の認められた処理区

両区は、2、12作目の無農薬は著しく減収したが、それ以外の作では無農薬でも収量に差が認められなかった。

農薬散布区に対する無農薬区の8年間の平均収量は、化学肥料単用区および化学肥料・牛ふん堆肥加用区は約20%減収したのに対し、菜種油粕単用区は約5%、牛ふん堆肥単用区は10%の減収であった。

## 2. 土壌の化学性の経年変化

### (1) 土壌pHおよび塩基の経年変化

土壌の化学性9項目の経年変化を第1図に示した。牛ふん堆肥単用区のpHは、5作目までは徐々に上昇し、以後6.8程度で大きな変化はなかった。一方、他の3区は年次ごとに変化がみられたものの、全体として徐々に低下する傾向があった。全作ともに土壌のpHは牛ふん堆肥単用区、菜種油粕単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、化学肥料単用区の順に低下した。

石灰飽和度は化学肥料単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区では試験期間を通して低下傾向にあったが、ほぼ50%内外で推移し、菜種油粕単用区は経年的に低下傾向を示した。一方、牛ふん堆肥単用区は他区と異なり、経年的に上昇傾向を示し、17作終了時には約100%となった。石灰飽和度は全作を通じてpHと同様に牛ふん堆肥単用区、菜種油粕単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、化学肥料単用区の順に低下した。

カリ飽和度は、牛ふん堆肥単用区では経年的に上昇傾向にあったが、他の3区は9作目までは年次ごとの変動が大きく、それ以降はほぼ一定となった。17作終了時のカリ飽和度は牛ふん堆肥単用区が最も高く、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、化学肥料単用区の順に低下し、菜種油粕単用区が最も低かった。

### (2) 土壌のCECの経年変化

化学肥料単用区および菜種油粕単用区のCECは同様な傾向を示し、年次推移による変化は小さくほぼ20meq内外で経過した。また、化学肥料・牛ふん堆肥加用区は

これら両区より常に2～3 meq程度高く推移し、年次変化は小さかったのに対し、牛ふん堆肥単用区は経年的に増加傾向を示し、17作終了時には30meqまで高まった。

### (3) 土壌の可給態りん酸含量の経年変化

化学肥料単用区および菜種油粕単用区の両区の可給態りん酸含量は同様な変化を示し、当初土壌100g当たり20mg程度であったが、徐々に増加し、17作終了時には約50mgとなった。また、化学肥料・牛ふん堆肥加用区は5作目までに、これら両区の2倍程度の値に上昇し、以後はほぼ一定の値で推移し、17作終了時には約75mgとなった。一方、牛ふん堆肥単用区は経年的に著しく増加し、17作終了時には約250mgとなった。

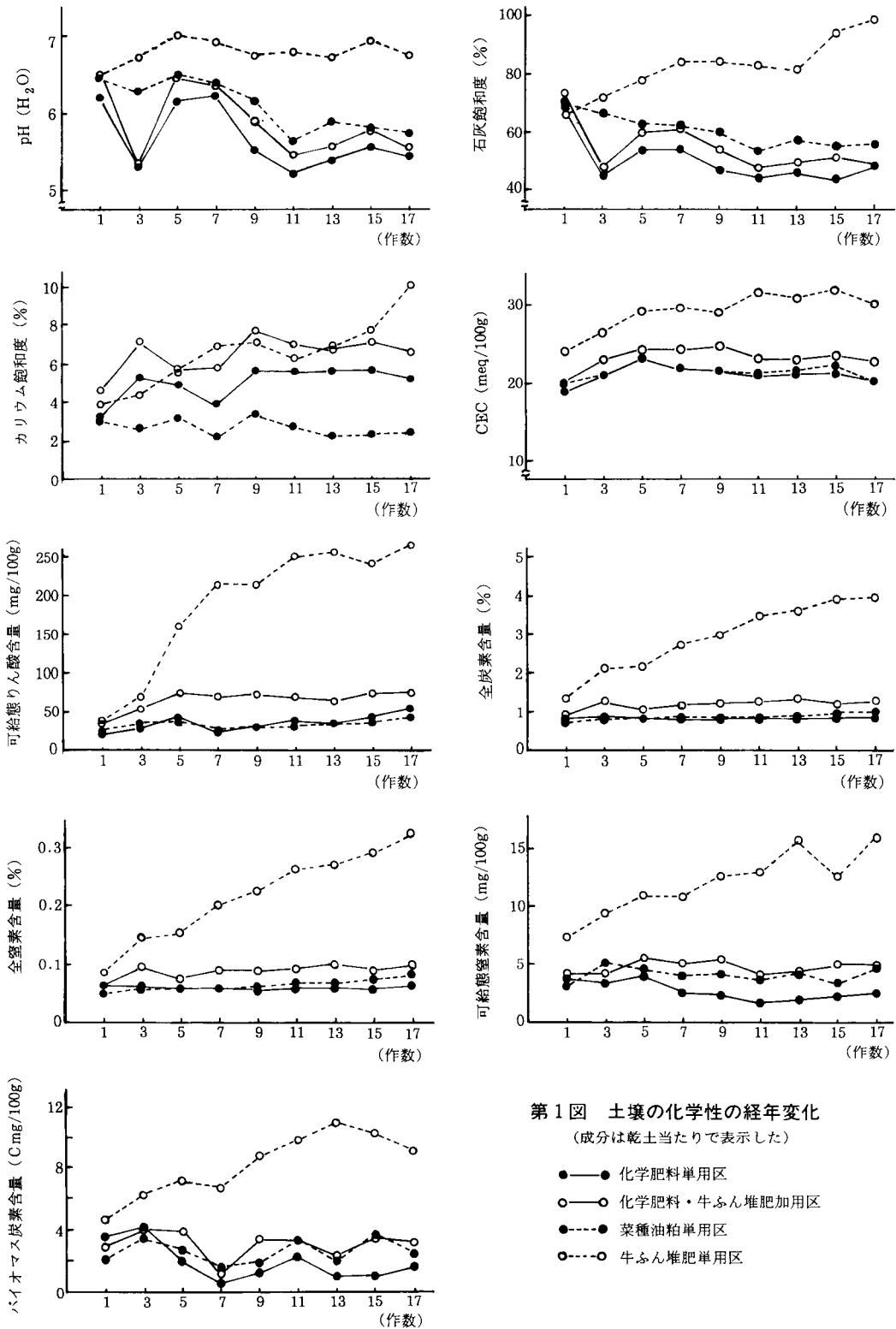
### (4) 土壌の全炭素および全窒素含量の経年変化

全炭素含量は化学肥料単用区では約0.8%で全期間を通じてほぼ一定であった。化学肥料・牛ふん堆肥加用区および菜種油粕単用区の両区は、経年的にやや増加する傾向が認められた。一方、牛ふん堆肥単用区は経年的に著しい増加傾向を示し、17作終了時には約4%となり、化学肥料単用区の4.6倍となった。17作終了時の全炭素含量の量的な関係は牛ふん堆肥単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、菜種油粕単用区、化学肥料単用区の順に低下した。

全窒素含量の経年変化は全炭素のほぼ同様の傾向が認められた。化学肥料単用区は0.06%程度で経年変化はほとんど認められなかったのに対し、化学肥料・牛ふん堆肥単用区および菜種油粕単用区は経年的にやや増加する傾向を示した。一方、牛ふん堆肥単用区は経年的に著しく増加し、17作終了時には約0.32%となり、化学肥料単用区の約5倍となった。17作終了時の全窒素含量の量的な関係は牛ふん堆肥単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、菜種油粕単用区、化学肥料単用区の順に低下した。

### (5) 土壌の可給態窒素含量の経年変化

化学肥料・牛ふん堆肥加用区および菜種油粕単用区の



第8表 土壌の物理性 (作物収穫後の作土層)

区 名	作数	現地容積重 (g/100g)	固相率 (%)	液相率 (%)	気相率 (%)	孔隙率 (%)
1.化学肥料単用区	1作	115	44.1	33.6	22.3	55.9
	15作	123	47.4	32.3	20.3	52.6
2.化学肥料・ 牛ふん堆肥加用区	1作	118	45.3	34.5	20.2	54.7
	15作	120	46.1	33.6	20.2	53.8
3.菜種油粕単用区	1作	121	46.4	34.0	19.6	53.6
	15作	117	44.8	30.7	24.4	55.1
4.牛ふん堆肥単用区	1作	109	42.1	34.2	23.7	57.9
	15作	84	32.3	38.1	29.6	67.7

両区の可給態窒素含量は、土壌100g当たり4～5mg程度で全期間を通じて大きな変化は認められず、また、化学肥料単用区は経年的にやや減少する傾向を示した。これに対し、牛ふん堆肥単用区は経年的に著しく増加し、17作終了時には約16mgとなり、化学肥料単用区のはほぼ6倍となった。17作終了時の可給態窒素の量的な関係は牛ふん堆肥単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、菜種油粕単用区、化学肥料単用区の順に低下した。

(6) 土壌のバイオマス炭素含量の経年変化

0.1N水酸化バリウムで抽出される多糖類をバイオマス炭素とし、土壌100g中の炭素量で表示した。化学肥料単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区および菜種油粕単用区の3区は年次変動が大きく、このうち、化学肥料単用区は経年的に含量が減少する傾向が認められた。一方、牛ふん堆肥単用区は経年的な増加傾向を示し、17作終了時には土壌100g当たり約9mgとなり、化学肥料単用区の5.5倍となった。17作終了時のバイオマス炭素含量の量的な関係は、牛ふん堆肥単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区、菜種油粕単用区、化学肥料単用区の順に

低下した。

3. 土壌の物理性

1作および15作収穫後の作土層の土壌の物理性を第8表に示した。牛ふん堆肥単用区は、他区に比較して1作後から現地容積重および固相率がやや低下し、孔隙率が高まる傾向にあり、15作収穫後はさらにこの傾向が顕著になった。15作後の同区の現地容積重は化学肥料単用区より35%程度低下し、逆に孔隙率は30%程度高まり、土壌は膨軟となった。これに対し、他の3処理区は試験開始初期とはほとんど差が見られなかった。このように有機資材の多量施用は、化学性だけでなく、土壌の物理性に対しても著しい変化を与えることが明らかとなった。

4. 肥料の種類と土壌溶液

1986年の16年目のキャベツにおける土壌溶液のイオン組成およびその経時変化を第2図に示した。土壌溶液中の陰イオンと陽イオンは、各処理区ともほぼ等量存在し、両者がバランスを取りながら変化した。

土壌溶液中のイオン総量は上層では経時的に減少する傾向を示したが、下層では9月2日の台風により120mm

第9表 土壌溶液のECと陰イオンの関係

目的変数	説明変数	重回帰式	重相関係数(R)	寄与率(R <sup>2</sup> )
Y (EC)	X <sub>1</sub> (NO <sub>3</sub> )	化学肥料単用区: Y=0.116X <sub>1</sub> +0.074X <sub>2</sub> +0.118	0.995	0.990
	X <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	化学肥料・牛ふん堆肥加用区: Y=0.098X <sub>1</sub> +0.112X <sub>2</sub> +0.070	0.997	0.994
	X <sub>3</sub> (Cl)	菜種油粕単用区: Y=0.119X <sub>1</sub> +0.058	0.994	0.989
		牛ふん堆肥単用区: Y=0.101X <sub>1</sub> +0.109X <sub>3</sub> +0.252	0.993	0.985

の降水量があったため、上層の養分が下層に溶脱し、9月8日または9月24日に一旦上昇した後、減少する傾向が認められた。また、イオン濃度は土壌水分との関係があるため厳密な比較は出来ないが、菜種油粕単用区は上下層ともイオン濃度が最も低かった。

つぎに、肥料の種類が土壌溶液組成に及ぼす影響を明らかにするため、土壌溶液のECと陰イオンの関係を重回帰式を用いて検討した。計算には農林水産省農業技術研究所のプログラム<sup>8)</sup>を利用した。その結果を第9表に示したが、土壌溶液ECに寄与する陰イオンとしては、化学肥料を施用した処理区は硝酸と硫酸、菜種油粕単用区は硝酸、牛ふん堆肥単用区は硝酸と塩素が上げられ、施肥の違いが土壌溶液の組成を変化させることが明らかとなった。また、土壌の可給態りん酸含量が著しく高い値を示した牛ふん堆肥単用区(第1図)は、土壌溶液中のりん酸濃度も高い傾向にあった。

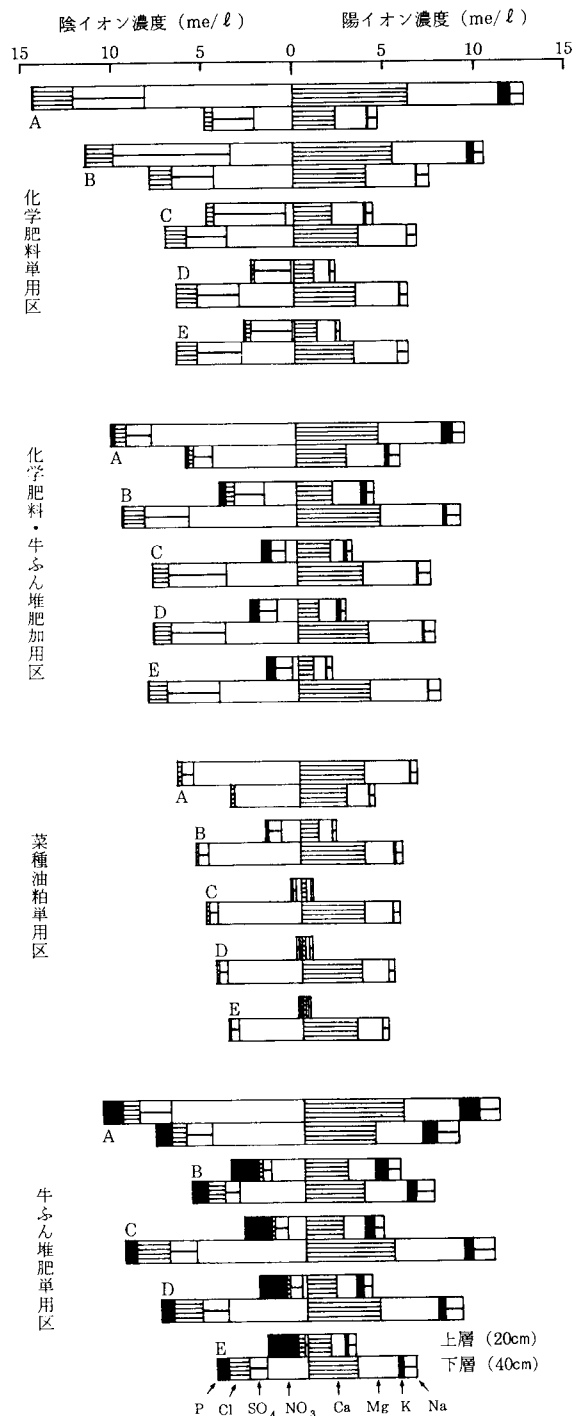
### 考 察

#### 1. 肥料の種類と作物収量

キャベツ、レタスおよびタマネギ等の露地野菜の収量は、キャベツでは化学肥料施用区が菜種油粕および牛ふん堆肥単用区より優り、菜種油粕の肥効はレタスおよびタマネギでは化学肥料と同等であり、牛ふん堆肥の肥効はレタスでは化学肥料より劣ったが、タマネギでは年度により異なることが確認された。したがって、有機質肥料や有機質資材の施用効果は作物の種類によって異なるものと考えられる。また、13作目のタマネギは菜種油粕単用区、牛ふん堆肥単用区で減収程度が大きかったが、これについては牛ふん堆肥単用区は虫害が最大の原因であるが、品種の違いも関係していると推察される。

菜種油粕の窒素の無機化率は60~80%とされている。<sup>22)</sup> そのため、菜種油粕単用区の化学肥料に対する収量比は、窒素吸収量の多いキャベツではほぼこの無機化率に相当したのに対し、窒素吸収量の少ないタマネギでは、化学肥料との収量差がなかったものと考えられる。したがって、菜種油粕でキャベツなどの窒素要求量の高い野菜を栽培する場合は、窒素の肥効率を考慮して施用すれば収量はさらに向上するものと考えられる。

有機質肥料の効果については、米澤<sup>21)</sup>が露地および施設野菜で長期間検討し、露地野菜では無機肥料に劣るものの、施設野菜では大幅に増収することを報告している。さらに、米澤<sup>21)</sup>は培養試験により有機質肥料の窒素の無機化率を検討し、土壌水分の影響は小さく、また、



第2図 土壌溶液の組成とその経時変化 (1986年)

土壌溶液採取日 A: 8月28日, B: 9月6日  
C: 9月24日, D: 10月13日  
E: 10月30日



温度の影響は8週間後になくなることも報告している。そのため、このような土壌環境要因による有機質肥料の効果の違いは、地温の差異の影響もあるが、有機質肥料は土壌溶液中のイオン濃度を高めにくいこと、また、土壌に残留する酸根の大部分が硝酸であることなどから、施設土壌では塩類集積を軽減する効果が大きいことによるためと考えられる。

一方、有機質資材の窒素の無機化率はC/N比に規制され、この値が20以上の場合に有機化が起こることが知られている<sup>4,19)</sup>。本試験で施用した牛ふん堆肥のC/N比は、第2表に示したようにはほぼ15であることから、資材の質としては問題ないものである。畑での報告例はないが、志賀<sup>16)</sup>は水田における有機物の分解を検討し、この程度のC/N比をもつ乾燥牛ふんの連用により、10年間で約80%の窒素が無機化し、さらに、堆肥の窒素の無機化量は水田より畑のほうが高いことを報告している。また、堆肥と化学肥料を少量併用した処理により、野菜の収量は初期には低下するものの、3年目以降は増収する

との報告がある<sup>6)</sup>。しかし、本試験では牛ふん堆肥の窒素の肥効率を30%としたのにもかかわらず、9年間の連用ではキャベツについては化学肥料に相当する収量を確保することは困難であった。

大森<sup>14)</sup>らは家畜ふんの多量施用の試験結果から、生牛ふんの10アール当たり100トンの連用では、作物の生育は良好であることを報告している。一方、松崎<sup>10)</sup>は土壌の理化学性から検討し、生ふんの連用は10アール当たり1作10トン、年間20トンを限界量と報告している。本試験では生ふん堆肥を利用し、施用量は毎作10トン程度であったが、化学肥料に相当する収量を確保するには、さらに施用量を増やす必要がある。しかし、これは松崎<sup>10)</sup>が指摘している施用限界量を超過する懸念があるとともに、資材の確保や施用労力が困難であるばかりでなく、堆肥であってもその多量施用は環境汚染を引き起こす危険性もある。

このようなことから、化学肥料を使用しない栽培の可能性を検討すると、家畜ふん堆肥など有機質資材を適量

第10表 発病度と植物体の窒素含量

区 名	レタス(1980年、3作目)			キャベツ(1980年、4作目)			タマネギ(1982年、7作目)		
	菌核病 <sup>1)</sup>	T-N(%) <sup>4)</sup>		黒腐れ病 <sup>2)</sup>	T-N(%) <sup>4)</sup>		さび病 <sup>3)</sup>	T-N(%) <sup>4)</sup>	
		発病度	外葉		結球	発病度		外葉	結球
1.化学肥料単用	4.0	4.03	4.63	0.3	2.90	2.71	42.7	2.10	1.67
2.〃・無農薬	5.7			2.0					
3.化学肥料・牛ふん堆肥加用	3.7	4.23	5.06	2.7	2.98	2.69	34.7	2.07	1.77
4.〃・〃・無農薬	1.3			4.7					
5.菜種油粕単用	0	3.66	4.10	15.3	2.57	2.75	14.7	2.19	1.44
6.〃・無農薬	0.3			13.7					
7.牛ふん堆肥単用	0	2.29	2.61	12.7	2.53	2.80	13.3	2.03	1.62
8.〃・無農薬	1.0			11.7					

発病度については宇田川<sup>18)</sup>の成績を利用した。

注) 1: 多; 結球部に発病(3)、中; 下葉から3~4枚上位まで発病(2)、少; 下葉のみ発病(1)、

無; 発病なし(0) 発病度 =  $\sum f/3N \times 100$

2: 重; 枯死(3)、中; 前身発病(2)、軽; 下葉等一部発病(1)、無; 発病なし(0)

発病度 =  $\sum f/3N \times 100$

3: 多; 葉全体に発病(3)、中; 葉の1/2を越える発生(2)、軽; 葉の2/1以下の発生(1)、

無; 発生なし(0) 発病度 =  $\sum f/3N \times 100$

4: 全窒素含量は乾物当たりで表示した。

施用し、窒素の肥効が高い菜種油粕などの有機質肥料を併用することが得策と考えられる。

## 2. 農業散布の有無と作物収量

無農薬による作物の減収程度は肥料の種類によって異なる傾向が認められた。窒素の肥効が高い化学肥料施用区は、無農薬では収量が低下するのに対し、肥効がやや劣る菜種油粕および牛ふん堆肥単用区では、無農薬でも減収しないものと推察された。しかし、2, 12作に見られるように、有機質肥料を施用しても無農薬では著しく減収することがあり、収量は虫害の発生程度により、大きく影響されるようであった。また、有機物の多量施用は特定の害虫の発生を促すことが認められ、タマネギでは13作目に、有機物を多量に施用した牛ふん堆肥単用区においてタネバエの発生が著しく、欠株が多くなって減収した。そのため、15, 17作では定植時に殺虫剤を使用しなければならなかった。

本試験において野菜の病害の発生状況を宇田川<sup>18)</sup>が調査しており、その結果と植物体の窒素含量の関係について、第10表に示した。キャベツ黒腐病の発生は化学肥料単用区が最も少なく菜種油粕単用区および牛ふん堆肥単用区で発生が多く、化学肥料・牛ふん堆肥加用区がその中間であった。これに対してレタス菌核病とタマネギさび病は、これとは逆に化学肥料単用区が最も多く、菜種油粕単用区および牛ふん堆肥単用区が少なく、化学肥料・牛ふん堆肥加用区がその中間的な傾向があった。

これを植物体の窒素含量との関係でみると、タマネギでは明確でないが、レタス菌核病は体内の窒素含量が高い方が発病度が高く、逆にキャベツ黒腐病は外葉の窒素含量が高い方が発病度が低い傾向にあり、肥料の種類や量との関連で興味もたれる。

しかし、病虫害の発生程度は作付け年次、作期、作物、品種等により異なるので、有機物施用との関係についてはさらに検討が必要がある。

なお、この試験では収量を主体に検討したが、無農薬ではキャベツについては食害により外観が悪く、商品性が劣ることは明らかであり、食味なども含めた品質についてはさらに検討する必要がある。

## 3. 肥料の種類と土壌の理化学性の変化

無機、有機質肥料の施用に伴う土壌の化学性の経年変化は、牛ふん堆肥単用区において顕著であった。すなわち、同区の石灰飽和度、カリ飽和度、可給態りん酸、全炭素、全窒素含量は、ともに経年的に高まることが明らかであった。これは牛ふん堆肥の施用量を窒素量で規定したことから、毎作10アール当たり約10トン程度の多量

の有機物が投入されるため、資材に由来するこれらの成分が土壌中に蓄積されたものと考えられる。

さらに、同区の土壌の物理性は、現地容積重と固相率が低下し、逆に孔隙率が高まって、土壌が膨軟となり、有機物の多量施用は土壌の物理性を短期間に改善する有力な手法と考えられる。

土壌塩基については毎年1回調整したが、菜種油粕単用区と牛ふん堆肥単用区は、試験期間中これらの資材をまったく施用する必要がなかった。それにもかかわらず、牛ふん堆肥単用区はpHの変化は小さかったものの、石灰飽和度は年々高まり、資材からの供給量の大きいことが明らかであった。菜種油粕単用区はこれと異なり、肥料からの供給量が少ないことから、それに見合った作物生育となり、養分の吸収や溶脱が少なく、アルカリ資材の補給の必要がなかったものと考えられた。一方、化学肥料を施用した両区の場合は、土壌の塩基含量が低下したため、毎年石灰、苦土の補給が必要であり、土壌管理の面では対応が異なった。

また、化学肥料・牛ふん堆肥加用区は化学肥料単用区に比較して、可給態りん酸、全炭素、全窒素および可給態窒素含量がやや高く推移し、これらの地力要因に対して牛ふん堆肥の施用効果がみられ、現在一般的に普及している栽培方法の合理性が確認された。

牛ふん堆肥単用区における土壌の可給態窒素およびバイオマス炭素含量も他の成分同様に経年的に高まる傾向があった。JENKINSON<sup>5)</sup>は、水酸化バリウムで抽出される多糖類を、土壌中のバイオマス由来のものとしているが、近年より正確なバイオマス炭素を測定する手法が紹介されている<sup>9)</sup>。本法で測定した値はそれよりかなり低い値と考えられるが、牛ふん堆肥を多量に施用した場合は土壌中の微生物量が著しく増大することを示唆している。

第11表に土壌の全炭素、全窒素、可給態窒素およびバイオマス炭素間の相関係数を示した。これらの成分間には、極めて有意性の高い正の相関関係が認められた。この点について、すでに著者らは<sup>20)</sup>、淡色黒ボク土の例で報告しているが、バイオマス炭素は、本土壌においても地力窒素の有力な指標となることが明らかとなった。しかし、この場合の直線回帰式は既報の淡色黒ボク土とはやや異なっていた。本土壌における可給態窒素と他の成分の直線回帰式は次のとおりである。

第11表 主要な成分間の相関係数 (n = 36)

項目	全炭素	全窒素	可給態窒素
全窒素	0.997 **		
可給態窒素	0.960 **	0.953 **	
バイオマス炭素	0.941 **	0.928 **	0.950 **

注：\*\*は危険率1%で有意

$$Y = 3.88X_1 + 0.15 \quad Y = \text{可給態窒素 (mg/100g)}$$

$$Y = 49.2X_2 + 0.64 \quad X_1 = \text{全炭素 (\%)}$$

$$Y = 1.31X_3 + 0.69 \quad X_2 = \text{全窒素 (\%)}$$

$$X_3 = \text{バイオマス炭素 (Cmg/100g)}$$

可給態窒素を評価する幾つかの手法が報告<sup>1,3)</sup>されているが、本法はそれらに比較しても有効性があると考えられる。そのため、水酸化バリウム抽出法で、バイオマス炭素の絶対量を計測するには問題があるが、地力窒素の推定には測定が簡便で、有効な手法であると考えられる。

以上のように、施肥が土壌の諸性質に及ぼす影響としては、牛ふん堆肥単用区が顕著であった。土壌に対する有機物の施用は地力の維持、増強に欠くことができないが、有機物の多量施用により土壌を短期間に急激に改変することについては議論が別れるところである。土壌養分、保肥力や可給態窒素などの土壌の肥沃度を向上させるには、有機物の多量施用は効果的な面もある。反面、家畜ふんの多量施用は、土壌の環境容量を超過し、環境汚染の懸念があるとともに、松崎<sup>10)</sup>は乾燥時に作物が干害を受ける危険性があることを指摘するなど、問題点が残されている。

また、岡島<sup>13)</sup>は土壌溶液の濃度は陰イオンの濃度に支配されると報告している。このことは、菜種油粕は第2図に示したように、土壌溶液の陰イオンの主体が硝酸であるため土壌に酸根を残存させない、窒素が緩効性のため土壌溶液濃度を高めにくいなど、有機質肥料の利点として上げることができる。しかし、牛ふん堆肥の多量施用は、尿に由来すると考えられる塩素が土壌中に蓄積し、特に施設では土壌溶液濃度を高める要因となる可能性があるため、注意が必要である。

有機質肥料、有機質資材の露地野菜の生育収量および土壌の理化学性に及ぼす影響等から総合的に考察すれば、作物の種類、作期等を考慮すれば、化学肥料を用いず、最少限の農薬使用での栽培が可能であると考えられる。また、有機物の種類、施用量等によっては、土壌の理化

学性に好影響をもたらすとともに、その継続性が示唆される。

したがって、肥料的要素から有機農業を実践する場合は、有機物の機能を地力の維持、増強と肥料的効果に分け、それぞれの機能に即した資材を選択あるいは併用して使用する必要があると考えられる。また、栽培年次や作物、品種および作期等により、病虫害の発生が異なると考えられるので、耕種の防除や生物的防除についても検討する必要がある。

なお、有機農業と作物の品質との関係については、最も関心の高いところであるが、この点については現在試験中であり、改めて報告する予定である。

## 摘 要

有機質肥料と無機質肥料の連用が、作物生育および地力要因に及ぼす影響を検討し、以下の知見を得た。

1. 有機、無機肥料の肥効は作物の種類により異なった。キャベツの収量は化学肥料施用区が菜種油粕および牛ふん堆肥単用区より優り、菜種油粕の肥効はレタスおよびタマネギでは化学肥料と同等であり、牛ふん堆肥の肥効はレタスでは化学肥料より劣ったが、タマネギでは年次により異なった。
2. 化学肥料施用区は無農業で減収したが、菜種油粕および牛ふん堆肥単用区では農薬散布した場合と収量に差がないことが多かった。
3. 土壌のpHは、牛ふん堆肥単用区が6.8程度で安定していたのに対し、化学肥料単用区、化学肥料・牛ふん堆肥加用区および菜種油粕単用区は、経年的に低下する傾向にあった。
4. 土壌の石灰およびカリ飽和度は、牛ふん堆肥単用区で経年的に高まった。
5. 土壌のCECと可給態りん酸含量は、牛ふん堆肥単用区で経年的に高まり、化学肥料・牛ふん堆肥加用区もやや高い水準となった。
6. 土壌の全炭素、全窒素含量は、牛ふん堆肥単用区が経年的に増加したのに対し、化学肥料単用区は、全期間を通じて変化がなかった。
7. 土壌の可給態窒素およびバイオマス炭素含量は、牛ふん堆肥単用区が、経年的に増加したのに対し、化学肥料単用区はやや減少傾向にあった。
8. 土壌の全炭素、全窒素、可給態窒素およびバイオマス炭素の間には、相互に有意性の高い正の相関関係があり、バイオマス炭素含量は地力窒素の指標と

して有効と認められた。

9. 牛ふん堆肥単用区の土壌の物理性は大きく変化し、容積重および固相率が低下し、孔隙率が高まって土壌が膨軟となった。
  10. 肥料の種類により土壌溶液の陰イオン組成は変化し、化学肥料施用区は硝酸と硫酸が、菜種油粕単用区は硝酸が、牛ふん堆肥単用区は硝酸と塩素イオンが陰イオンの主体となった。
  11. 以上より、有機農業は取量と肥料の観点からみて、有機質肥料や有機質資材を併用することによって可能になるものと考えられた。
- 10) 松崎敏英(1977)：神奈川県農総研報，118
  - 11) 中村耕三(編・訳)(1987)：欧米における有機農産物に関する基準，農林中金研究センター研究資料 No. 3, p. 1～50
  - 12) 農林水産省農産園芸局農産課編(1976)：土壌環境基礎調査における土壌，水質及び作物体分析法
  - 13) 岡島秀夫(1981)：土壌の吸着現象—基礎と応用—, p.85～128. 博友社
  - 14) 大森庄次・杉本正行・小倉 功(1977)：神奈川県農総研報，24, 69～79
  - 15) 作物分析法委員会編(1976)：栄養診断のための栽培植物分析測定法, p.289, 養賢堂
  - 16) 志賀一一(1985)：総合農業研究叢書 第5号, p. 8～28 農業研究センター
  - 17) USDA(United States Department of Agriculture)(1980) Report and recommendations on organic farming, Report of USDA Study Team No.0-310-94 4/96. Government Printing Press, Washington, DC, USA
  - 18) 宇田川 晃(1984)：昭和58年度 病害虫関係試験成績概要
  - 19) 山田 裕・鎌田春海(1980)：神奈川県農業総合研究所土壌肥料関係試験研究成績，12, 1～9
  - 20) 山田 裕・鎌田春海(1987)：神奈川県農総研報，12 9, 29～37
  - 21) 米澤茂人(1983)：全農農業技術センター特別研究報告，第1号
  - 22) 全農肥料農薬部(1988)：新有機質肥料の種類別肥効特性試験，有機シリーズ8, p.19～25,

### 引用文献

- 1) 赤塚 恵・坂柳迪夫(1964)：北海道農業試験場彙報，83, 64～70
- 2) 有吉佐和子(1979)：複合汚染，新潮社
- 3) D.K.KEENEY and J.M.BREMNER(1966)：Agronomy Journal, 58, 498～503
- 4) 広瀬春朗(1973)：土肥誌，44, 157～163
- 5) JENKINSON, D.S.(1968)：J.Sci.Fd Agric.,19, 160～168
- 6) 神奈川県農業総合研究所(1977)：昭和51年度 有機農業に関する試験成績書
- 7) 神奈川県農政部(1979)：病害虫雑草防除基準
- 8) 河内 宏・鈴木大助(1983)：土壌肥料試験研究のための統計計算用BASICプログラム，農業技術研究所化学部資料，第1号，23～34
- 9) 丸本卓哉(1984)：土壌のバイオマス—土壌生物の量と代謝—, p.115～165博友社

### SUMMARY

Effects of successive applications of organic or chemical fertilizer on the growth of vegetables and soil fertility were examined to evaluate the agriculture using organic fertilizer alone in 1978-87.

The yields of cabbage were higher in the chemical fertilizer plot than in the rapeseed meal and cow dung compost plots. The response of rapeseed meal for lettuce and onion was the same as that of chemical fertilizer. The response of cow dung compost for lettuce was inferior to that of chemical fertilizer, and the yields of onion in the cow dung compost plot were different yearly. The yields of cabbage decreased in the chemical plot without the application of agricultural chemicals, whereas the yields of cabbage in both the rapeseed meal and the cow dung compost plots did not differ, regardless of the application of agricultural chemicals.

The pH values were about 6.8 in the cow dung compost plot, whereas those in the chemical fertilizer alone plot, the chemical fertilizer plot with cow dung compost and the rapeseed meal plot decreased as time passed. The degrees of Ca- and K-saturation in cow dung compost plot gradually increased yearly. The cation exchange capacity and the amount of available phosphate in the cow dung compost plot increased as time passed. Those in the chemical fertilizer plot with cow dung compost were maintained at slightly high level. The amount of total C and N in the cow dung compost plot increased as time passed, whereas those in the chemical fertilizer plot were constant during the experimental period. The amount of available N, and biomass C extracted by barium hydroxide in the cow dung compost plot increased as time passed, whereas those in the chemical fertilizer alone plot decreased as time passed. There was a high correlation among the total C, the total N, the available N, and the biomass C, and the biomass C was regarded as an effective index for the amount of the available N.

Physical properties, especially volume weight and solid phase ratio in the cow dung compost plot decreased, whereas porosity increased. Main anions of soil solutions in the plots of chemical fertilizer, rapeseed meal, and cow dung compost were  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Cl}^-$ , respectively.

From the results obtained it is suggested that the agriculture using organic fertilizer alone is more effective by using organic fertilizer together with organic soil conditioner.

