

腐植質黒ボク土における有機物の連用が作物収量及び 土壌化学性に及ぼす影響

重久綾子・上山紀代美・石森裕康・井上裕理・安藤有一

The Effect of Long-Term Application of Organic Matter on the Crop Yields and Soil Chemical Properties of Upland Fields in Humic Andisol.

Ayako SHIGEHISA, Kiyomi KAMIYAMA, Yusuke ISHIMORI, Yuri INOUE
and Yuichi ANDO

摘 要

神奈川県に広く分布する腐植質黒ボク土において、キャベツ(春どり)ースイートコーン(夏どり)の作物体系の一定栽培条件下で15年間の連作試験を行い、化学肥料区(無窒素区、無リン酸区、無カリ区、三要素区)、有機物加用区(三要素+牛ふん堆肥)、有機物単用区(牛ふん堆肥+各種有機質肥料)との間で作物収量及び土壌化学性等の変化を比較し、有機物連用がこれらに及ぼす影響について考察した。

1. キャベツ収量は三要素区と比較し、有機物加用区は増収したが、有機物単用区は15年の連用後に減収した。スイートコーン収量は全ての処理区で作付け回数が増加するにつれ低下したが、有機物加用区、同単用区いずれにおいても三要素区の収量を上回った。
2. 各養分吸収量は、いずれの作物においても有機物施用区で三要素区を上回った。一方、養分利用率については、カリ利用率が両作物とも連用後半に向上する傾向であったのに対し、窒素については有機物連用後半に利用率の大きな低下が認められた。リン酸は、三要素区と有機物を施用した区との間に利用率の大きな差はなく、また窒素やカリと異なり連用期間における利用率の大きな変化もなかった。
3. 土壌化学性については、有機物の施用により交換性塩基や可給態リン酸が著しく蓄積した。CECの上昇も有機物を施用した区で三要素区より大きかった。

以上より、有機物の連用により養分要求量以上の肥料成分の供給をしており、土壌成分の蓄積及びバランスの悪化をまねき、長期連用後の作物収量の低減につながったものと考えられた。有機物の連用にあたっては、土壌診断に基づく土壌肥沃度及び有機物中の養分供給量を十分考慮した上で施用を行うことが重要である。

キーワード：有機物連用，腐植質黒ボク土，牛ふん堆肥，土壌化学性の変化

Summary

We conducted the cultivation of cabbage in spring and maize (sweet corn) in summer for fifteen years in the humic andisol upland field in Kanagawa Prefecture, and discussed the effects of long-term application of organic matter (cattle manure compost: 4t/10a・year) on the crop yields, nutrient absorption rates and various soil chemical properties.

1. The cabbage yield increased in the organic matter plot with chemical fertilizers compared to that in the chemical fertilizer plot containing three major nutrients, while the cabbage yield decreased in the organic matter plot without chemical fertilizers after successive manure application. Although the maize yield decreased with successive cultivation in all the experimental plots, the yields in the organic matter plots with or without chemical fertilizers were higher than that in the chemical fertilizer plot.
2. The amount of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) absorbed by cabbage and maize in the organic matter plot were higher than those in the chemical fertilizer plot. The absorption rate of K in the organic matter plot tended to increase

in the latter stage of successive manure application, while the absorption rate of N in the same plot had a propensity to decrease. Regarding the absorption rate of P, the organic matter plot and the chemical fertilizer plot were about the same and there was no significant change during the long-term application experiment.

3. Exchangeable bases and available P strikingly increased by the successive application of organic matter. Increment of the cation exchange capacity in the organic matter plot with or without chemical fertilizers was more conspicuous than that in the chemical fertilizer plot.

Successive application of organic matters such as cattle manure compost results in the excessive supply of nutrients. In addition to the accumulation of nutrients and aggravation of the nutrient balance in the soil after long-term manure application seems to suppress the growth and yield of the crops. In the organic matter utilization, the amounts of nutrients supplied from the organic materials should be specially considered. Understanding of the soil fertility and various soil properties based on the soil diagnosis is also required before the successive application of organic materials.

Key words: application of organic matter, humic andisol, cattle manure compost, change in soil chemical properties

緒言

堆肥は農業生産の基盤である土壌を改良し、あわせて農作物に必要な各種養分をバランス良くかつ持続的に供給する役割を持ち(有機廃棄物資源化大辞典第7刷 1997), 昔から地力維持のために欠かせない資材として活用されてきた。近年では、持続可能な農業生産の推進(平成 23 年版食料・農業・農村白書 2011)及び肥料価格高騰による堆肥を含む未利用資源の肥料成分活用への期待の高まり、地力の維持向上等のために堆肥等の有機物の施用が勧められている。一方で各県の有機物連用試験により、有機物施用による収量向上等の利点だけでなく、土壌への各種養分の蓄積や硝酸性窒素の溶脱等悪影響についても報告されている(葉上ら 2009, 糟谷ら 2011, 山田・鎌田 1989)。また、神奈川県内農耕地の 30 年間の土壌診断データに基づく土壌化学性の推移を見ると、施設畑はもとより露地畑でもリン酸やカリが蓄積傾向であり、この原因として有機物の多量施用の影響が考えられている(藤原・岡本 2008)。このような背景から、各土壌、地域における有機物連用が土壌や作物に及ぼす影響を明らかにすることが望まれている。

本県では既に灰色低地土を用いた 15 年間の有機物連用試験が行われ、作物の増収効果が認められる一方で土壌のカリ飽和度及び可給態リン酸含量の増加等、土壌養分の偏りが生じることが報告されている(上山ら 1995)。本報告では、神奈川県に広く分布する腐植質黒ボク土における、キャベツ(春どり)ースイートコーン(夏どり)の作物体系の一定栽培条件下での 15 年間の有機物連用試験の記録を残すと共に、作物収量及び

土壌化学性等の変化を灰色低地土における結果と比較しながら、有機物連用の影響について考察した。

材料及び方法

1. 供試圃場

供試圃場は、神奈川県農業総合研究所の移転に伴い 1994 年に圃場の造成が行われた、腐植質厚層黒ボク土・非埋没腐植質・造成区である。可給態リン酸含量が少ないが塩基含量に比較的富み、腐植含量も多く地力に富む均質な圃場群である(上山ら 1996)。1995 年にスイートコーンの均一栽培試験を行い、試験後の土壌化学性を調査し(表 1), その後、本試験区を設定した。

2. 栽培概要

1996年から2010年までの15年間、春どりキャベツ‘金系201号’ー夏どりスイートコーン‘ハニーバンタム’の作物体系で栽培を行った。キャベツの播種は9月下旬から10月上旬、収穫調査は4月、スイートコーンの播種は5月中旬、収穫調査は7月下旬から8月上旬に行った。両作とも畝幅は60 cm、株間は40 cmとした。

3. 試験区

無窒素区、無リン酸区、無カリ区、三要素区、有機物加用区、有機物単用区の6区を設定し、1区9 m²(3 m×3 m)2連で試験を実施した。

化学肥料のみを施用した三要素区における窒素、リン酸、カリの施肥は、神奈川県作物別施肥基準(神奈川県環境農政部農業振興課 2010)に準じた。施用分量を表2に示した。化学肥料は硫安、重焼リン、硫酸カリを用いた。必要に応じ石灰及び苦土質肥料による土壌改良を行ったが、1998年と2006~2008年の3年間は

表1 スイートコーン均一栽培試験後の土壌化学性 (1995年8月分析)

試験区	EC		P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	CEC	塩基飽和度 %			
	pH	dS/m	mg/100gDS			meq/100gDS		CaO	MgO	K ₂ O	合計
1 無窒素区	6.59	0.07	1.7	519	60	49	37.5	49.5	8.0	2.8	60.3
2 無リン酸区	6.30	0.07	2.8	432	43	35	32.6	46.2	7.2	2.2	54.8
3 無カリ区	6.48	0.08	2.9	509	58	51	34.2	50.2	6.3	3.0	61.2
4 三要素区	6.54	0.07	1.7	500	58	46	34.5	50.6	8.2	2.8	61.5
5 有機物加用区	6.54	0.07	3.9	500	58	47	35.5	49.8	8.4	2.7	60.6
6 有機物単用区	6.57	0.07	2.3	495	57	46	36.1	49.9	7.7	2.8	60.7

表2 化学肥料施用成分量

調査年	kg/10a		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1996	24	15	22
1997~1998	24	21	24
1999~	24	24	24
スイートコーン	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1996~2000	14	14	14
2001~	20	15	20

表3 有機物加用区及び有機物単用区の有効成分量及び全施用成分量

調査年	キャベツ						スイートコーン					
	有機物加用区(kg/10a)			有機物単用区(kg/10a)			有機物加用区(kg/10a)			有機物単用区(kg/10a)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1996	28 (46)	32 (44)	48 (51)	28 (46) ^z	32 (44) ^z	48 (51) ^z	18 (34)	22 (27)	27 (28)	22 (43)	25 (27)	27 (30) ^z
1997	28 (44)	29 (34)	37 (38)	24 (49)	21 (34)	17 (18)	18 (34)	22 (27)	27 (28)	22 (43)	25 (27)	27 (30) ^z
1998	28 (44)	29 (34)	37 (38)	24 (49)	21 (34)	17 (18)	18 (34)	22 (27)	27 (28)	22 (43)	25 (27)	27 (30) ^z
1999	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	24 (25) ^z	18 (34)	22 (27)	27 (28)	14 (34)	13 (20)	15 (18)
2000	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	24 (25) ^z	18 (34)	22 (27)	27 (28)	14 (34)	13 (20)	15 (18)
2001	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	24 (25) ^z	24 (40)	23 (28)	33 (34)	20 (42)	15 (23)	20 (23)
2002	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	24 (25) ^z	24 (40)	33 (45)	33 (34)	20 (42)	15 (40)	20 (23)
2003	28 (44)	38 (47)	46 (48)	24 (49)	27 (44)	28 (28)	24 (40)	29 (38)	42 (44)	20 (42)	25 (33)	28 (30)
2004	28 (44)	38 (47)	46 (48)	24 (49)	27 (44)	28 (28)	24 (40)	29 (38)	42 (44)	20 (42)	25 (33)	28 (30)
2005	28 (44)	38 (47)	46 (48)	24 (49)	27 (44)	28 (28)	24 (40)	29 (38)	42 (44)	20 (42)	25 (33)	28 (30)
2006	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	17 (25) ^z	24 (40)	23 (28)	33 (34)	21 (40)	23 (30)	15 (16)
2007	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	17 (18)	24 (40)	23 (28)	33 (34)	21 (40)	23 (30)	15 (16)
2008	28 (44)	32 (37)	37 (38)	24 (49)	23 (34)	17 (18)	24 (40)	23 (28)	33 (34)	21 (40)	23 (30)	15 (16)
2009	34 (74)	44 (57)	74 (80)	25 (70)	34 (50)	51 (58)	30 (70)	35 (48)	70 (76)	21 (67)	27 (41)	53 (60)
2010	34 (74)	44 (57)	74 (80)	26 (70)	35 (50)	53 (58)	30 (70)	35 (48)	70 (76)	20 (65)	26 (40)	53 (59)

※括弧内数値は有機物の全施用成分量。^z: 施肥基準量に満たない成分を化学肥料で補てんした。

土壌改良が行われなかった。

各要素無施肥区は、欠如以外の成分は標準施肥した。有機物加用区及び単用区は各作前に牛ふん堆肥 2000 kg-WW/10 a 施用した。有機物加用区は化学肥料を施肥基準量施肥し有機物を上乗せ施用した。有機物単用区は牛ふん堆肥由来の三要素を計算し不足する成分量を菜種油粕、魚粕、骨粉等の有機質肥料で施用した。ただし有機物単用区で例外的に化学肥料を併用した年もあった。有機物由来の三要素は、有効化率を考慮して計算した。有機物加用区及び有機物単用区での有効化率を考慮した有効成分量及び有機物全量成分と化学肥料を合計した全施用成分量を表3に示した。なお、2006~2008年の牛ふん堆肥及び各有機質肥料の施用成分量は神奈川県作物別施肥基準の有機物成分量及び有効化率より換算し、他の年度の牛ふん堆肥は実際の分

析値を用いた。

4. 調査項目及び分析方法

(1) キャベツとスイートコーンの収量及び養分吸収量

作物収量は、キャベツは結球重、スイートコーンは雌穂部の重量とし、周囲に欠株が無く標準的な株を各区13~15株選び調査を行った。さらに、養分吸収量は各作の外葉及び茎葉を含む全ての地上部について各区3株ずつ採取して60℃で通風乾燥し、粉碎調製後、全窒素、全カリウム、全リン酸含量を測定した。全窒素はCN CORDER(ヤナコ MT-700型 Mark II)、塩基類は硝酸-過塩素酸法による湿式灰化後原子吸光法(日立 Z-2000)又はICP/AES法(ThermoFisher SCIENTIFIC iCAP6300 Duo View)、リン酸はバナドモリブデン法での比色定量(波長420nm、日立U-2000A形)又は

ICP/AES 法にて定量を行った(土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法 2001, 植物栄養実験法 1990). なお, 2006 年~2008 年は養分吸収量の調査が行われなかったため, データが欠如した.

(2) 作土の土壌化学性

各作後に直径 5 cm の採土管を用い深さ 15 cm まで, 各区から 5 点採土を行い, 混合し風乾後, 2 mm メッシュ通過物を土壌分析に供した. 分析項目は pH, 交換性石灰, 交換性苦土, 交換性カリ, 可給態リン酸, 陽イオン交換容量(CEC), 塩基飽和度とし, 分析方法は土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法(土壌肥料協会 2001)に準じた. すなわち交換性陽イオン及び CEC はセミクロ Schollenberger 法を用い, 交換性陽イオンは原子吸光法, CEC はホルモル法にて定量を行った. 可給態リン酸は, Truog 法で抽出後比色定量(波長 880 nm)した.

結果

1. 作物収量の変化

処理による収量への影響を見るために, 三要素区を 100 とした指数の経年変化を図 1, 2 に示した. また, 収量の 15 年及び連用開始 5 年間の前期 5 年(1996~2000 年)平均と 11 年目から 15 年目の後期 5 年(2006~2010 年)平均は表 4 に示した.

キャベツは年次変動が大きかったが, 三要素区と比較し無窒素区及び無リン酸区は全期間を通して低く推移した. 無カリ区は三要素区と比較し大幅な減収は認められなかったが, 連用 9 年目の 2004 年以降は三要素区より減収となる年が多かった. 有機物加用区は概ね最大収量で推移した. 有機物単用区は開始当初は三要素区より収量が多かったが連用 12 年目の 2007 年以降は減収に転じた. また, 2001 年の有機物単用区は, 植え痛みのため著しく収量が低下した(図 1). 15 年間の平均では, 有機物加用区 > 有機物単用区 > 三要素区 > 無カリ区 > 無リン酸区 > 無窒素区の順で収量が多かった. 前期, 後期の 5 年平均を比較すると, 無窒素区及び三要素区を除いて前期より後期で減少した(表 4).

スイートコーンは, 連用 10 年目の 2005 年以降各処理区で収量差が開き始め, 三要素区と比較し有機物加

用区及び有機物単用区で増収, 無窒素区, 無リン酸区及び無カリ区で減収した. また, 有機物単用区は連用 14 年目の 2009 年から三要素区より減収となった(図 2). 15 年間の平均では, 有機物加用区 > 有機物単用区 > 三要素区 > 無カリ区 > 無リン酸区 > 無窒素区の順で収量が高く, 全処理区で前期より後期で 16~35 % 収量が低下した(表 4).

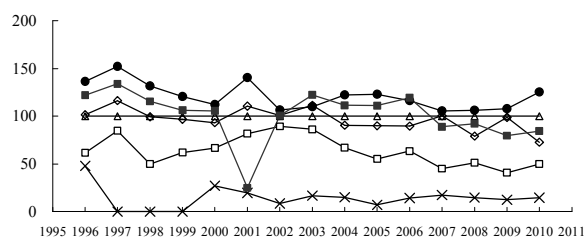


図 1 キャベツの収量の経年変化
(三要素区を 100 とした指数: 以下同じ)

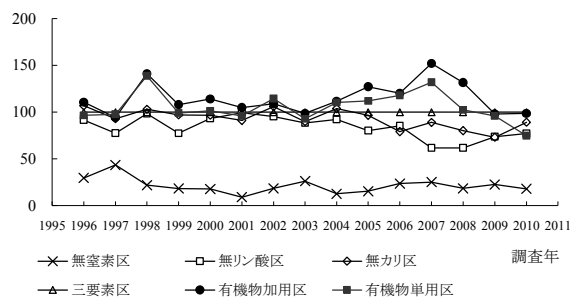


図 2 スイートコーンの収量の経年変化

2. 養分吸収量及び養分利用率

窒素, リン酸, カリの養分吸収量の経年変化は三要素区を 100 とした指数とし図 3~8 に示した. 試験を通した 15 年間と前期の 5 年間(1996~2000 年), 後期のデータが欠如した 2006~2008 年を除く 3 年間(2005 年及び 2009~2010 年)を平均し表 5 に示した. また, 各要素無施肥区の吸収量を土壌由来養分吸収量とし, 養分施用量に対する土壌由来養分吸収量を差し引いた養分吸収量の割合を養分利用率とし, 15 年, 前期, 後期の各平均について表 6 に示した.

キャベツの各養分吸収量は収量に比例する傾向だったが, 有機物を施用した区はやや多い傾向がみられた. 窒素吸収量は, 無窒素区, 無リン酸区で三要素区より低く, その他の区は大きな差は認められなかった(図 3). 全処理区で連用後半に吸収量が低下する傾向がみ

表4 各作物収量の15年、前期5年及び後期5年の平均値

キャベツ kg/10a	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区
15年平均	614(14)	2689(64)	4157(97)	4324(100)	5200(121)	4341(101)
前期5年平均	618(15)	2654(65)	4194(101)	4169(100)	5391(131)	4822(117)
後期5年平均	687(15)	2287(50)	4126(88)	4648(100)	5211(112)	4261(93)
スイートコーン	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区
15年平均	326(21)	1287(83)	1430(93)	1530(100)	1735(115)	1603(105)
前期5年平均	436(26)	1438(88)	1636(99)	1657(100)	1862(114)	1749(107)
後期5年平均	282(22)	939(72)	1070(82)	1309(100)	1555(120)	1352(105)

※括弧内は三要素区を100としたときの指数：以下同じ

られたが、その割合は三要素区及び有機物を施用した区で比較的小さかった(表5)。リン酸吸収量は他の要素より処理間差が大きく、有機物加用区及び有機物単用区で三要素区に比べ大幅に多かった(図4)。また、前期平均と比較し後期平均は各要素無施肥区を除き増加した(表5)。カリ吸収量は、無窒素区を除き大きな変化はなく推移したが、連用後期は前期より三要素区及び有機物加用区以外は低下した(図5、表5)。各養分利用率について、窒素利用率は有機物加用区及び有機物単用区で三要素区と比較して低く連用後半にさらに低下した。リン酸利用率は無窒素区を除く各区で10%前後だった。カリ利用率は連用後半で向上したが、有機物を施用した区はその程度が小さかった。リン酸及びカリ利用率は無窒素区及び無リン酸区でマイナスとなった(表7)。

スイートコーンの各養分吸収量は、キャベツと同様に有機物を施用した区で三要素区より多かった。窒素吸収量は、無窒素区を除き年次による収量変動に伴い変化し、有機物加用区及び有機物単用区で吸収量変動

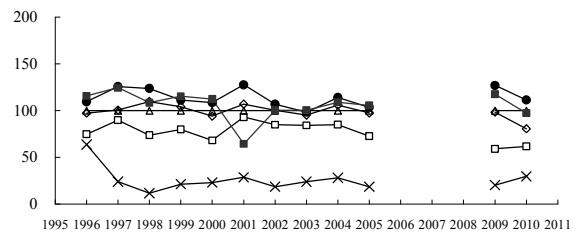


図3 キャベツの窒素吸収量の経年変化

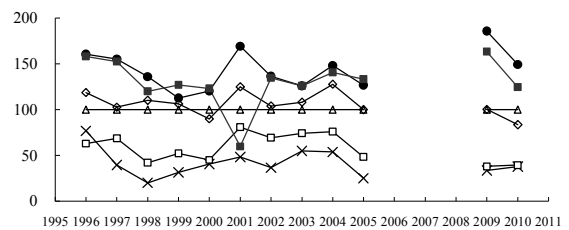


図4 キャベツのリン酸吸収量の経年変化

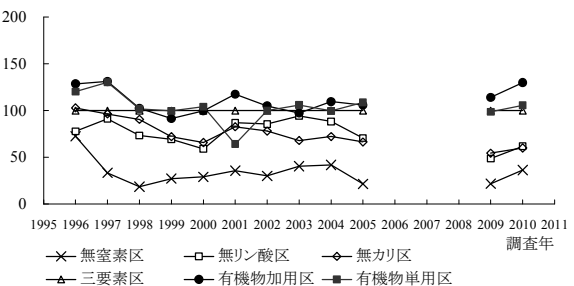


図5 キャベツのカリ吸収量の経年変化

表5 各養分吸収量の15年、前期5年及び後期3年の平均値

kg/10a	キャベツ						スイートコーン					
	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区
窒素吸収量												
15年平均	5.3(26)	15.6(77)	20.1(99)	20.2(100)	23.0(113)	21.3(105)	2.3(21)	9.2(81)	10.7(94)	11.3(100)	14.1(125)	13.9(123)
前期5年平均	5.8(30)	14.9(76)	19.6(101)	19.5(100)	22.4(115)	22.4(115)	3.1(26)	9.7(83)	12.1(104)	11.6(100)	14.0(121)	13.7(118)
後期3年平均	4.3(23)	12.4(65)	17.6(92)	19.1(100)	21.7(114)	20.4(107)	1.9(19)	6.9(70)	8.2(83)	9.9(100)	13.2(134)	12.6(128)
リン酸吸収量												
15年平均	2.2(41)	3.0(58)	5.5(106)	5.3(100)	7.5(142)	6.8(129)	1.4(47)	2.3(77)	2.9(98)	3.0(100)	4.2(139)	4.2(141)
前期5年平均	2.0(41)	2.6(52)	5.2(104)	5.0(100)	6.7(134)	6.6(134)	1.5(50)	2.4(78)	3.3(106)	3.1(100)	4.3(140)	4.3(138)
後期3年平均	1.7(32)	2.3(42)	5.1(94)	5.4(100)	8.2(150)	7.5(138)	1.2(47)	1.8(70)	2.1(84)	2.5(100)	4.0(157)	3.7(145)
カリ吸収量												
15年平均	7.7(34)	17.1(75)	17.0(75)	22.7(100)	25.0(110)	23.2(102)	4.9(34)	12.2(83)	10.7(74)	14.6(100)	19.6(134)	19.9(137)
前期5年平均	7.7(35)	15.7(73)	18.3(85)	21.6(100)	23.6(109)	23.7(110)	6.2(40)	12.8(83)	14.4(94)	15.4(100)	18.6(120)	19.3(125)
後期3年平均	5.9(26)	13.4(60)	13.4(60)	22.4(100)	26.1(116)	23.3(104)	3.8(32)	9.2(78)	6.0(50)	11.9(100)	20.5(173)	19.0(160)

表 6 各養分利用率の 15 年, 前期 5 年及び後期 3 年の平均値

%	キャベツ						スイートコーン					
	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区
窒素利用率												
15年平均	-	43	61	62	37	31	-	40	50	49	29	27
前期5年平均	-	38	57	57	37	34	-	47	65	61	32	28
後期3年平均	-	33	55	62	29	26	-	25	32	25	20	20
リン酸利用率												
15年平均	-4	-	11	10	10	9	-6	-	4	5	6	7
前期5年平均	-2	-	12	11	11	11	-6	-	6	5	7	8
後期3年平均	-2	-	12	13	11	11	-4	-	2	5	5	5
カリ利用率												
15年平均	-39	0	-	24	16	20	-37	6	-	20	21	32
前期5年平均	-45	-11	-	14	13	22	-59	-12	-	7	14	21
後期3年平均	-31	0	-	38	18	22	-11	16	-	30	23	30

※養分利用率=(各養分吸収量-土壌由来養分吸収量)÷各全施用成分量×100

が目立った(図 6). 収量の漸減に伴い窒素吸収量も全処理区で低下したが, 有機物を連用した区では三要素区と比較して全期間を通し多かった(表 5). リン酸吸収量は, キャベツと同様処理間差が認められ, 収量漸減に伴い吸収量も全処理区で低下したが, 有機物を連用した区では三要素区を 100 としたときの指数の比較で大幅に多かった(図 7, 表 5). カリ吸収量は, 三要素区と比較し無窒素区で低く, 有機物加用区及び有機物単用区で高く推移し, 無カリ区は連用 6 年目の 2001 年以降低下傾向を示した(図 8). 有機物加用区を除き前期より後期で吸収量が低下した(表 5). 養分利用率について, 窒素利用率は全処理区で連用後半に低下し, 有機物を施用した区は三要素区より低かった. リン酸利用率はキャベツと比較し低かったが, 有機物加用区及び有機物単用区は三要素区よりやや高い傾向だった. カリ利用率はキャベツと同様連用後半に利用率が向上した(表 6).

3. 土壌化学性

キャベツ栽培後土壌の経年変化は図 9~15 に示した. また, 15 年平均, 前期(1996~2000 年), 後期(2006~2010 年)の各 5 年間平均を表 7 に示した.

土壌 pH は連用 12 年目の 2007 年以降処理間差が生じ, 無窒素区及び有機物単用区を除き徐々に低下したが, 有機物加用区は他の区が最も低下した 13 年目でも低下が緩やかだった(図 9). 15 年平均は無窒素区で 6.4, 有機物加用区で 5.9, 有機物単用区で 6.2 と他区と比較し高く維持された(表 7).

石灰飽和度は, 連用 12 年目の 2007 年以降処理間差が広がり, 有機物単用区及び無窒素区が高く, 有機物

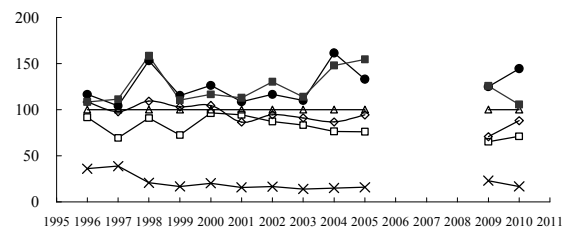


図 6 スイートコーンの窒素吸収量の経年変化

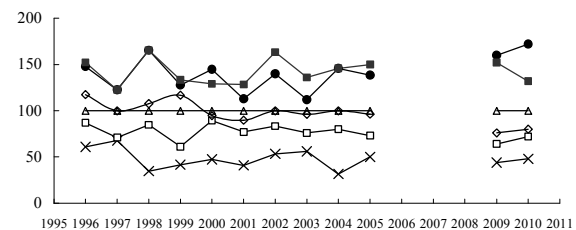


図 7 スイートコーンのリン酸吸収量の経年変化

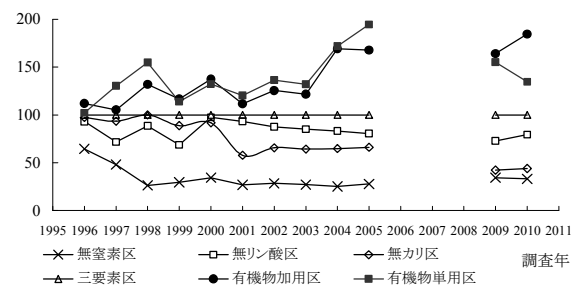


図 8 スイートコーンのカリ吸収量の経年変化

加用区がそれに続き, 他の区は石灰及び苦土肥料の施用が再開されるまで漸減した(図 10). また, 石灰量の前期, 後期 5 年平均を比較すると無窒素区, 有機物単用区, 有機物加用区で増加, 他区で減少した(表 7).

苦土飽和度は石灰飽和度と同様の傾向を示し, 苦土量は各区で前期より後期で上昇していたが無リン酸区では低下した(図 11, 表 7).

カリ飽和度は、無カリ区で低下を続け、無窒素区、有機物加用区及び有機物単用区では高めに推移し連用12年目の2007年以降大幅に上昇した。同3区では土壤中カリ量が前期より後期で約6~8割増加した(図12, 表7)。

可給態リン酸は、連用開始当初から無リン酸区を除き漸増し、有機物加用区及び有機物単用区で特に増加程度が大きく、土壤中への蓄積が顕著だった(図13)。15年平均は無窒素区、有機物加用区、有機物単用区で高く、無リン酸区を除き前期は10.9 mg/100 gDSであったものが後期には2~4倍となり、有機物加用区は88.6 mg/100 gDS、有機物単用区は75.8 mg/100 gDSと神奈川県作物別施肥基準による本県の露地野菜の診断基準値(20~50 mg/100 gDS)を超過した(表7)。

陽イオン交換容量(CEC)は、有機物加用区及び有機物単用区は年次変動の幅が大きいが経年的に増加した一方、無リン酸区は最も低く推移した(図14)。15年平均は33~43 meq/100 gDSで、前期と比較し後期では、有機物単用区及び有機物加用区で増加したが他の区での増加はわずかだった(表7)。

塩基飽和度は、石灰、苦土、カリ飽和度の増減に伴い変化し、15年平均は52~75%となり無窒素区及び有機物単用区で高かった(図15, 表7)。

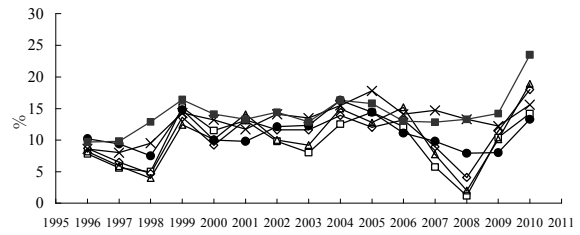


図11 土壤の苦土飽和度の経年変化

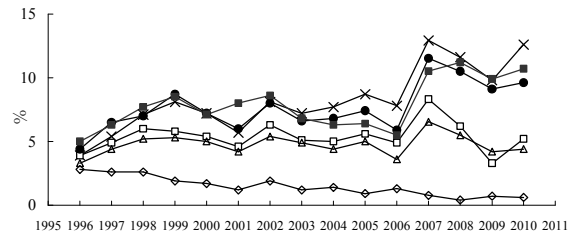


図12 土壤のカリ飽和度の経年変化

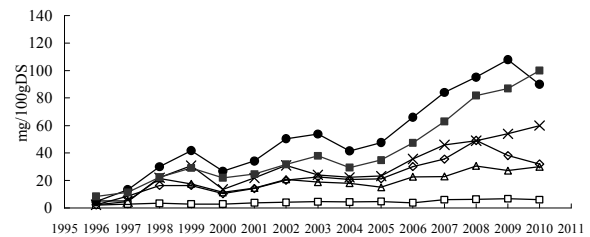


図13 土壤の可給態リン酸の経年変化

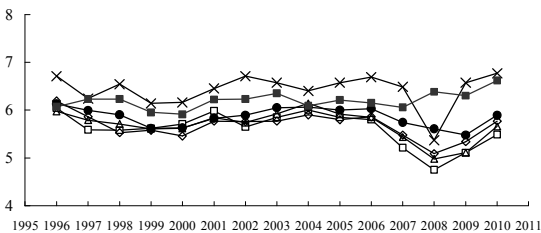


図9 土壤 pH の経年変化

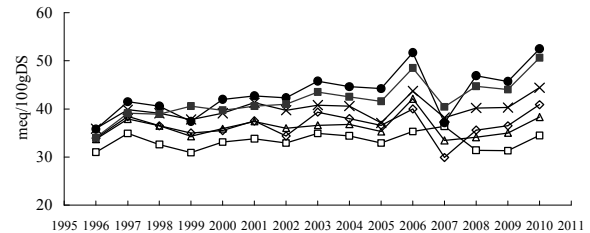


図14 土壤の陽イオン交換容量の経年変化

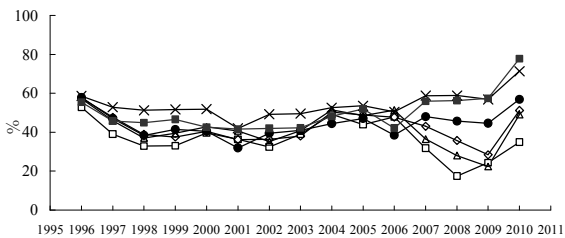


図10 土壤の石灰飽和度の経年変化

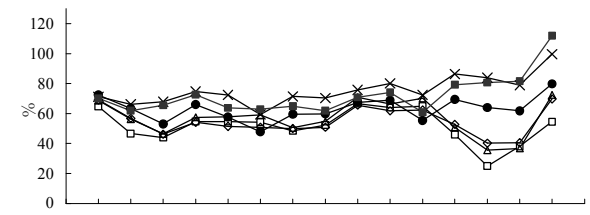


図15 土壤の塩基飽和度の経年変化

調査年
 × 無窒素区 □ 無リン酸区 ◇ 無カリ区
 △ 二要素区 ● 有機物加用区 ■ 有機物単用区

表 7 土壌化学性の 15 年、前期 5 年及び後期 5 年の平均値

pH	無窒素区	無リン酸区	無カリ区	三要素区	有機物加用区	有機物単用区
15年平均	6.4	5.6	5.7	5.7	5.9	6.2
前期5年平均	6.4	5.7	5.7	5.7	5.9	6.1
後期5年平均	6.4	5.3	5.5	5.4	5.8	6.3
CaO mg/100gDS						
15年平均	589	338	430	417	528	577
前期5年平均	572	360	446	444	495	504
後期5年平均	645	273	407	365	586	694
MgO mg/100gDS						
15年平均	102	63	76	66	95	116
前期5年平均	82	58	61	57	82	98
後期5年平均	107	51	73	71	87	127
K₂O mg/100gDS						
15年平均	154	83	25	80	157	156
前期5年平均	115	80	39	78	125	127
後期5年平均	206	83	13	80	201	199
P₂O₅ mg/100gDS						
15年平均	29.4	4.3	22.5	18.8	52.5	42.1
前期5年平均	14.7	2.8	10.9	12.2	23.3	18.7
後期5年平均	48.9	5.7	37.0	26.7	88.6	75.8
CECmeq/100gDS						
15年平均	40	33	37	36	43	42
前期5年平均	38	33	36	36	39	38
後期5年平均	41	34	37	37	47	46
塩基飽和度%						
15年平均	75	52	55	57	63	72
前期5年平均	71	53	56	57	63	67
後期5年平均	84	46	53	53	66	83

考 察

1. 各処理が作物収量に与える影響

キャベツは、15年間の平均で三要素区と比較し、有機物加用区は増加した一方で、有機物単用区は増収が認められず、連用後期は三要素区を下回った。このことから、堆肥や有機質肥料のみでのキャベツの長期間の栽培継続は収量が低下することが示された。また、各要素無施肥区及び有機物単用区は収量の年次変動が大きかったことから、土壌中の肥料成分の不均衡により生育が抑制されるとともに、気象等の栽培環境の影響を他の区より受けやすいことが考えられた。スイートコーンの収量が有機物施用の有無にかかわらず全ての処理区において前期5年平均に比べ後期5年平均が低下した原因としては、土壌化学性の変化のみならず微生物性等他の要因も関与していると考えられた。

牛ふん堆肥を年間 4000 kg/10 a を 15 年間連用した

結果、灰色低地土において化成肥料区に対しキャベツ 44%、スイートコーン 33%の増収が認められた(上山ら 1995)が、本報告の腐植質黒ボク土では三要素区比でキャベツ 21%、スイートコーン 15%と有機物加用による増収効果は低く、土壌種による有機物施用効果の違いが見られた。これは、灰色低地土と比較し黒ボク土の施用有機物の肥料効果が低かったためと考えられた。

2. 各処理が養分吸収量及び養分利用率に与える影響

両作物において窒素吸収量は 15 年間の平均で三要素区と比較し有機物施用をした両区で多く、収量においても同じ傾向だった。しかし、経年的には有機物を施用しても作物収量、窒素吸収量共に低下しており、連年施用してきた有機物により土壌に蓄積した窒素成分がどの程度寄与しているかは不明である。有機物を施用した区で窒素利用率が低かったが窒素有効化率の低い牛ふん堆肥の施用によるためと考えられた。スイ

ートコーンは全処理区で窒素利用率が低下したが、これは連用後半における窒素施肥量の増加及び吸収量の低下によると考えられた。また、灰色低地土と比較して窒素利用率は低い傾向であるが、吸収量は変わらず、施用した有機物の成分量及び土壌の窒素肥沃度の差等によるものと推察された。リン酸の吸収量が有機物を施用した区で三要素区より大幅に向上した原因として、有機態リンからのリン酸供給(犬伏ら 2006)や土壌のリン酸固定能の抑制(西尾 2008)等の有機物施用効果と考えられた。一方、吸収量増加にもかかわらずリン酸利用率が増加しないのは、施用した有機物中のリン酸含量が多いためと考えられた。また、山崎・六本木(2006)は、植物体無機リン濃度はリン酸施肥量及び土壌のリン酸含量を反映するが、植物無機リン濃度の上昇が必ずしも収量に反映しないとしており、本試験においても同様の傾向が認められた。また、カリ利用率が各処理区で連用後半に上昇する傾向だったのは、無カリ区のカリ吸収量が低下したためである。一方、三要素区と比較し有機物を施用した区で利用率が上昇しなかったのは、有機物のカリ含量が多かったためと考えられた。

3. 各処理が土壌化学性に与える影響

土壌 pH の低下は、石灰及び苦土質肥料の施用が行われなかった時期があることによるが、腐植質黒ボク土は灰色低地土と比較し土壌 pH の変化は緩やかであった。また、灰色低地土では堆肥の施用に関わらず石灰及び苦土が低下傾向にあった(上山ら 1995)が、腐植質黒ボク土は有機物を施用した区で土壌の石灰、苦土濃度が大幅に上昇した。このことは、堆肥の養分保持力よりも土壌の CEC が大きく影響したものと考えられる。無窒素区でも pH が高く推移したが、植物生育量が低く養分吸収が抑えられたこと、土壌中硝酸性窒素濃度が低く硝酸性窒素の溶脱に伴う塩基類の溶脱が他の区より抑えられたこと等により塩基類が蓄積したためと考えられた。カリ飽和度は、灰色低地土と同様に上昇は認められたが、腐植質黒ボク土では CEC、カリ飽和度共に上昇しており、蓄積は更に顕著だったと言える。可給態リン酸は、連用開始当初から灰色低地土と同様に蓄積し有機物の施用の影響が最も大きい成分だった。腐植質黒ボク土では灰色低地土と比較

して 15 年間の蓄積量が多く、灰色低地土は 4~7 年で増加が頭打ちになる(上山ら 1995)のに対し、腐植質黒ボク土では 15 年間漸増した。このことは、灰色低地土と黒ボク土の土性の違いによる影響が現れたものであり、有機物施用時には施設畑だけでなく露地畑でも有機物由来リン酸を考慮した化学肥料施肥の必要が考えられた。CEC は、灰色低地土では大幅な経時的変化は見られなかったが、腐植質黒ボク土では有機物を施用すると約 20 %の増加となった。この原因については、灰色低地土に比べ黒ボク土の有機物分解速度が遅く有機炭素の蓄積性の違いが影響したことも考えられるが、このことについては更に検討する必要がある。また、CEC 及び塩基飽和度の向上で陽イオンの土壌保持量が増加したが、過剰となった陽イオンは徐々に溶脱していく(糟谷ら 2011)ことから、塩基飽和度が高くなりすぎないよう有機物中の各塩基含量を考慮した有機物施用をすべきである。

以上より、腐植質黒ボク土において牛ふん堆肥 4000 kg/10 a/年を 15 年間連用した結果、土壌の交換性塩基及び可給態リン酸が過剰蓄積するとともに土壌養分バランスが不均衡となり、特に有機物単用区では連用を重ねることにより収量が低下した。現在流通している牛ふん堆肥は、各肥料成分濃度が上昇する傾向にあり(渡辺ら 2012)、土壌の物理性、微生物性改善の目的としてだけでなく肥料成分の供給量も考慮して基肥の施用を行うことが重要である。また、有機物に含まれる養分供給量とともに土壌診断に基づいた土壌肥沃度を考慮して化学肥料の減肥及び補てんを行い、植物の養分吸収量とのバランスをとる必要がある。

謝 辞

本研究は、神奈川県農業技術センターで行われた露地畑における有機物連用試験を取りまとめたものである。本稿を取りまとめるにあたり、明治大学特任教授藤原俊六郎博士をはじめ、神奈川県農業技術センター北相地区事務所長岡本保博士ならびに農業環境研究部の皆様には多大なご助言、ご協力を戴いた。ここに感謝の意を表す。

引用文献

- 藤原俊六郎・岡本保. 2008. 土壌診断結果からみた県内農耕地 30 年間の土壌化学性の推移. 神奈川農技セ研報.150:1-10.
- 葉上恒寿・高橋良学・佐藤喬・中野亜弓・佐藤千秋・小田島ルミ子・新毛晴夫・小野剛志・多田勝郎. 2009. 非アロフェン質黒ボク土における有機物連用効果. 岩手農研セ研報.9:1-19.
- 犬伏和之・安西徹郎・梅宮善章・後藤逸男・妹尾啓史・筒木潔・松中照夫. 2006. 土壌学概論. p.219. 朝倉書店. 東京.
- 上山紀代美・藤原俊六郎・船橋秀登. 1995. 牛ふん堆肥連用が作物収量と土壌の化学性に及ぼす影響. 神奈川農総研研報.136:31-40.
- 上山紀代美・渡部尚久・藤原俊六郎・木村覚. 1996. 神奈川県農業総合研究所試験圃場の造成後における土壌分類と理化学性. 神奈川農総研研報.137:51-60.
- 神奈川県環境農政部農業振興課. 2010. 神奈川県作物別施肥基準.
- 糟谷真宏・荻野和明・廣戸誠一郎・石川博司・鈴木良地. 2011. 牛ふん堆肥または豚ふん堆肥を連用する黄色土野菜畑における 5 年間の養分動態. 愛知農総試研報.43:137-149.
- 日本土壌協会. 2001. 土壌機能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法. p.321.
- 西尾道徳. 2008. 堆肥・有機質肥料の基礎知識. p.213. 社団法人 農山漁村文化協会. 東京.
- 農林水産省. 2011. 平成 23 年版食料・農業・農村白書.
- 植物栄養実験法編集委員会. 1990. 植物栄養実験法. p.488. 博友社. 東京.
- 渡辺和彦・後藤逸男・小川吉雄・六本木和夫. 2012. 環境・資源・健康を考えた土と施肥の新知識. p255. 社団法人 農山漁村文化協会. 東京.
- 山田裕・鎌田春海. 1989. 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 - . 神奈川農総研研報.131:1-13.
- 山崎晴民・六本木和夫. 2006. 日本土壌肥料学雑誌.77-6:691-694.
- 有機質資源化推進会議. 1997. 有機廃棄物資源化大事典 第 7 刷. p.546. 農山漁村文化協会. 東京.