

黒ボク土畑における各種有機物の20年間連用が作物生育 ならびに土壤理化学性に及ぼす影響

片峯美幸・亀和田國彦・鈴木康夫¹⁾・伊藤良治²⁾・中山喜一³⁾・内田文雄⁴⁾

摘要: 県内の代表的な土壌である黒ボク土畑地において、20年間各種有機物連用試験を行った。その結果に基づき、作付け体系および有機物の種類の違いが作物生産性ならびに土壌の性質に及ぼす影響を明らかにし、適切な土壌管理を行うための有機物施用法について検討した。作付け体系は穀類-麦ならびに野菜-麦で行い、有機物は稲わら堆肥、牛ふん、豚ふん、デントコーン、麦わらを用いた。

作物生産性は、窒素施用量、土壌中可給態リン酸および可給態窒素含有量に大きく影響され、可給態窒素含有量は有機態窒素施用量とほぼ正比例の関係であることが明らかになった。このことから稲わら堆肥、牛ふん、豚ふんおよび麦わらは、同等の効果が期待できると考えられたが、稲わら堆肥は塩基類過剰、牛ふんはリン酸不足等の若干の問題を補う必要がある。またデントコーンは、収量性、吸収-施用比および養分の圃場外への流亡の可能性の点から他の有機物よりやや劣ることが明らかになった。

キーワード: 黒ボク土、有機物、作付け体系、土壌の理化学性

Effect of twenty year-continuous applications of organic materials on the growth of crops and physicochemical properties of soil on Andsol upland fields

Miyuki KATAMINE, Kunihiko KAMEWADA, Yasuo SUZUKI, Yoshiharu ITO, Kiichi NAKAYAMA, Fumio UCHIDA

Summary: This study was conducted for twenty years in Andsol upland fields, which cover over half of arable land in Tochigi pref. The cropping systems were cereals-barley and vegetables-wheat. The effect of application of organic materials (rice straw compost, cattle feces, pig manure, stem and leaf of dentocone, and wheat straw) on the yields of crops and the physicochemical properties of the soil were investigated.

The available nitrogen content in the soil was significantly correlated with the amount of organic nitrogen applied, leading to increases in the yields of crops. The amount of nitrogen applied and the available phosphate in the soil showed similar effects. Therefore, the yields of crops from the plots treated with rice straw compost, cattle feces, pig manure and wheat straw were almost the same. However, the exchangeable cation content in the soil treated with rice straw compost was markedly higher than that for these other plots. The available phosphate content was lowest in the soil treated with cattle feces.

Key words: Andsol, organic materials, cropping systems, physicochemical properties of soil

1)現 栃木県下都賀農業振興事務所, 2)現 栃木県農業環境指導センター, 3)現 栃木県農務部経営技術課, 4)現 栃木県河内町在住

I 緒言

堆肥を主とした有機物の施用は、地力の増進を図ることを目的として幅広く行われてきた。しかし有機物は、原料や製造方法の違いにより肥効も様ではないため、現在までに有機物の特性および機能¹⁾ならびに圃場への連用が土壤に及ぼす影響について多数研究されてきた。一般に行われている有機物の連用には、作物収量の増加および地力増進の効果が認められている^{6, 7, 10, 11, 17, 18)}が、土壤の塩基バランスを適正化するためには連用年数に応じて減肥の必要性があること⁵⁾や、有機物の特性を効果的に発揮するためには複合的施用技術が必要であると報告されている²⁾。しかし、これらの多数ある報告がすべて本県の畑作に適用するとは限らない。それは第一に、作付け体系が異なることにより施肥量や栽培期間および養分吸収量が異なり、有機物施用が土壤の状態や作物生育に及ぼす影響も異なるものと考えられるからである。また第二に、本県の代表的な畑地土壤である黒ボク土は、アルミニウムの活性が高く、作物を良好に生育させるためには塩基類やリン酸を多量に施用することが必要であり、また施用した有機物の分解速度が他の土壤に比べて遅く¹³⁾、土壤への有機物蓄積パターンにも特殊性があると考えられるからである。

これらのことから本試験では、本県の代表的な畑地の作付け体系として穀類-麦ならびに野菜-麦の二つを選択し、各種有機物連用の影響について比較を行った。有機物は、本県内で流通が多い¹⁵⁾堆肥および家畜ふんの他に青刈りデントコーンと麦わらを使用した。

20年間における有機物連用試験結果から、作付け体系および有機物の種類の違いが作物生産性ならびに土壤の性質に及ぼす影響を明らかにし、併せて適切な土壤管理を行うための有機物施用法について検討した。

II 方法

1. 供試圃場および試験区の構成

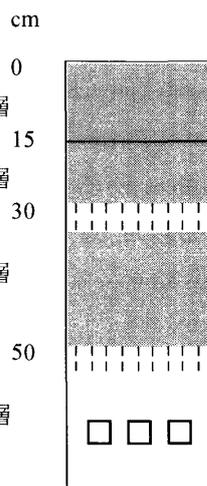
試験は、宇都宮市の栃木県農業試験場内畑圃場で行った。本圃場は標高170mの台地上にあり、非固結火成岩を母材とした風積土壤で、排水は良く侵食には弱い。試験開始前年である1976年の年間降水量は1418mm、年平均気温は13.4℃であった。気象は、宇都宮地方気象台観測値を用いた。土壤類型は表層多腐植質黒ボク土(III f II dn)で、試験圃場の断面形態を第1図

および第1表に示した。I層は作土層で0~15cm、II層は耕盤層で30cmまで、III層は50cmまでで、IV層は腐朽細小浮石礫層(今市浮石層)であった。試験開始時の1977年9月に採土したIII層までの土壤の化学性を第2表に示した。リン酸吸収係数は、100gの乾土が吸収できるリン酸をmg単位により示した値であり、1500以上は黒ボク土特有の値である。本試験土壤は、リン酸吸収係数が各層2200以上と高く、I層の陽イオン交換容量(CEC)は29.3me/100gであった。

各試験区の処理内容を第3表に示した。冬作に麦、夏作に穀類を栽培する穀類導入系と、冬作は同様に麦、夏作に野菜を栽培する野菜導入系の二系統を設けた。夏作は、穀類導入系ではダイズまたは陸稲を隔年で栽培し、野菜導入系では1984年作までハクサイを栽培したがその後はレタスを栽培した。冬作は、各系統とも二条大麦を栽培した。

穀類導入系は、堆肥、牛ふんまたは豚ふん連用区を設けた。また対照として三要素(化学肥料)区または無窒素区を設けた。有機物は、各作毎に化学肥料に上乗せで施用した。堆肥区は、稲わら牛ふん堆肥を現物で1500kg/10a施用した。牛ふん区または豚ふん区は、乾物に対して稲わら牛ふん堆肥施用相当量、牛ふんは現物で約2400kg/10a、豚ふんは現物で約1700kg/10aを施用した。牛ふんは、乳牛の糞尿を固液分離器により分離した固体を敷料なしで用い、豚ふんはもみがらを敷料としたものを用いた。また野菜導入系は、堆肥、青刈りデントコーンまたは麦わら連用区を設けた。対照として三要素(化学肥料)区を設けた。堆肥区は、穀類導入系同様の稲わら牛ふん堆肥を現物で1500kg/10aを毎作施用した。青刈り用デントコーン区は、夏作前に栽培し夏作栽培時に収穫全量を施用した。麦わら区は、夏作時に前冬作の収穫全量を施用した。また青刈りデントコーン区および麦わら区は、冬作時にはそれらの資材が入手困難なため、堆肥区と同様の稲わら牛ふん堆肥1500kg/10aを施用した。各有機物における成分含有率の20年間の平均値ならびに

標準偏差を第4表に示した。化学肥料は、栃木県農作物施肥基準¹⁴⁾に基づき、硫酸アンモニア、硫酸加里、過りん酸石灰を施用した。各作目の施用量は第5表に示した。また作土のpH矯正のため、試験開始時に炭酸カルシウム肥料を240kg/10a施用した。さらに1977年~1985年まで穀類導入系は冬作時、野菜導入系は夏作時にそれぞれ炭酸カルシウム肥料120kg/10a、1988年は冬作時に全処理区290kg/10aを施用した。pHの矯正に使用した炭酸カルシウム肥料は全層施肥で行ったが、それ以外は全て畝施肥で行った。試験は、1977年冬作を第1作として開始し1997年冬作まで継続した。



第1図 試験開始時の土壤断面

第1表 試験開始時の土壌形態

層位	深さ cm	土色	土性	構造	ち密度 mm
I	0~15	7.5YR 1.7/1	L	細粒状	14
II	15~30	7.5YR 1/1	SiL	連結状	17
III	30~50	7.5YR 1/1	SiCL	連結状	20
IV	50~115	7.5YR 3/6	腐朽細小浮石礫層		-
IV以下	115以下	7.5YR 4/5	SiL	ローム層	-

第2表 試験開始時の土壌の化学性

層位	pH	全炭素 %	全窒素 %	C/N	CEC me	交換性塩基			塩基飽和度 %	リン酸吸収 係数	可給態 リン酸 mg/100g 乾土
						CaO mg/100g 乾土	MgO mg/100g 乾土	K ₂ O mg/100g 乾土			
I	6.0	9.32	0.52	17.9	29.3	304	84	19	53	2250	4.1
II	5.4	9.42	0.53	17.8	28.8	196	26	21	30	2360	4.8
III	5.9	6.67	0.35	19.1	28.7	286	25	13	41	2370	0.0

注. 1977年9月採土

第3表 試験区の構成および処理内容

処理区名	各種有機物の施用量 kg/10a				
	稲わら堆肥	牛ふん	豚ふん	青刈りデントコーン	麦わら
穀類導入系					
無窒素区					
三要素区					
堆肥区	1500				
牛ふん区		注1)2400			
豚ふん区			注1)1700		
野菜導入系					
三要素区					
堆肥区	1500				
青刈りデントコーン区		注2)(1500)		収穫全量	
麦わら区		注2)(1500)			収穫全量

注1. 牛ふんまたは豚ふんは、稲わら堆肥1500 kg/10a相当量を施用し、平均投入量を示した。

注2. 青刈りデントコーン区および麦わら区は、冬作時に稲わら堆肥1500 kg/10a施用し、夏作時に青刈りデントコーンまたは麦わらを処理区収穫全量施用した。

第4表 各種有機物の成分含有率

有機物	現物当たりの成分含有率 %							
	含水率	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg
堆肥	66.3 (6.6)	0.65 (0.17)	8.93	13.8	0.18 (0.14)	0.81 (0.38)	0.87 (0.63)	0.16 (0.10)
牛ふん	78.9 (7.9)	0.36 (0.21)	5.29	14.7	0.09 (0.09)	0.30 (0.19)	0.21 (0.15)	0.08 (0.07)
豚ふん	69.9 (5.7)	0.72 (0.27)	12.99	18.1	0.28 (0.21)	0.27 (0.18)	0.45 (0.19)	0.15 (0.09)
デントコーン	86.3 (4.3)	0.25 (0.07)	5.17	20.7	0.03 (0.02)	0.48 (0.17)	0.04 (0.02)	0.02 (0.01)
麦わら	11.5 (2.8)	0.86 (0.27)	35.04	40.7	0.06 (0.03)	2.21 (0.59)	0.42 (0.09)	0.08 (0.02)

注. 炭素は代表値. それ以外の成分は、平均値を示し、()は標準偏差を示した。

第5表 化学肥料の施用量

作付け時期	作付け体系	栽培作物	化学肥料施用量 kg/10a		
			N	P	K
夏作	注1) 穀類導入系	ダイズ	3.0	5.2	8.3
		陸稲	7.0	2.6	5.0
	注2) 野菜導入系	ハクサイ	20.0	8.7	16.7
		レタス	20.0	8.7	16.7
冬作	(青刈り用)	デントコーン	10.0	2.6	5.0
	各導入系共通	二条大麦	6.0	3.9	6.7

注1. 穀類導入系は、ダイズと陸稲を隔年栽培した。

注2. 野菜導入系は試験開始時から1984年作までハクサイを、その後はレタスを栽培した。

2. 収量および乾物収量

ハクサイおよびレタスは、外葉と結球に分けて生重を測定し、結球部重を収量とした。通風乾燥機により 80℃で 48 時間乾燥したものを乾物収量とした。ダイズは主幹、分枝、莢および子実に分け子実重を収量とし、また各部位をレタスと同様に処理し乾物収量とした。陸稲および二条大麦は、地上部刈取後、脱穀、精米または精麦後、精米重または精麦重を収量とし、各部位をレタス同様に処理したものを乾物収量とした。

3. 分析方法

作物体および土壌の化学性の分析は、「土壌環境基礎調査における土壌、水質および作物体分析法」⁹⁾に基づき以下の方法で行った。

1) 作物体

作物体は、地上部を収穫後各部位に分けて乾燥し、粉碎したものを分析に供した。ハクサイおよびレタスは外葉と結球部に、陸稲および二条大麦はわらと穂に、ダイズは主幹、分枝、莢および子実に、デントコーンは茎葉と子実に分けて測定した。

窒素は、ケルダール法により分解し、水蒸気蒸留法により測定した。

リンは、硝酸-過塩素酸分解後、バナドモリブデン酸比色法で定量した。

カリウム、カルシウムおよびマグネシウムは、リンと同様に硝酸-過塩素酸分解後、希釈し原子吸光度計により測定した。

2) 土壌

土壌は、毎年冬作終了時に各処理区から採取し、風乾後 2mm のふるいを通し分析に供した。

pH は、蒸留水を用いガラス電極-pH メータにより測定した。

全窒素および全炭素は、乾式燃焼法 (NC-Analyzer Sumigraph NC-A80) により分析した。

全リンは、作物体と同様に硝酸-過塩素酸分解後、バナドモリブデン酸比色法で定量した。

CEC は、セミクロ SCHOLLENBERGER 法-水蒸気蒸留法により測定した。

交換性カリウム、カルシウム、マグネシウムは、セミクロ SCHOLLENBERGER 法-原子吸光度計により測定した。

可給態窒素は、保温静置培養法-水蒸気蒸留法により測定した。

可給態リン酸は、トルオ-グ法により測定した。

さらに物理性測定のため、試験終了時の 1997 年 6 月に作土、耕盤層および耕盤下層の土壌を 100ml 容物理性測定用採土管に採取した。固相率は、砂柱法による pF1.5 の保水性ならびに pF1.5 の実容積を分析し算出した。

III 結果

1. 各作物の収量

各栽培作物の収量の推移を第2～4図に示した。夏作物は3年間、冬作物は5年間の移動平均値により示した。また20年間の収量の平均値を第6表に示した。

1) 夏作物

(1) 穀類導入系

穀類導入系夏作物の収量の推移を第2図に示した。品種を変更した年を表中の矢印で、また栃木県農作物施肥基準¹⁴⁾による目標収量を点線で示した。

ダイズは、試験開始から1986年まではタチスズナリ、以降スズユタカを栽培した。目標収量は 300kg/10aであった。ダイズの収量は、作付け約10年以降は徐々に低下する傾向を示した。試験終了時は、最も多収の年に対して豚ふん区 47.6%、牛ふん区 22.8%、三要素区 22.4%、無窒素区 12.6%、堆肥区 12.3%まで減収した。また20年間の平均収量は、無窒素区 145kg/10 a、三要素区 180kg/10 a、堆肥区 226kg/10 a、牛ふん区 239 kg/10 a、豚ふん区 273kg/10 a であった。

陸稲は、試験開始から1991年までヤシユウハタモチを栽培し、以降トヨハタモチを栽培した。目標収量は 240kg/10a であった。陸稲は、各処理区とも1作目が最も多収で、その後緩やかに減収した。減収の程度は、三要素区が最大で無窒素区は変化が少なかった。また20年間の平均収量は、無窒素区 67kg/10 a、三要素区 155kg/10 a、堆肥区 182kg/10 a、牛ふん区 185 kg/10 a、豚ふん区 195kg/10 a であった。

穀類導入系夏作は、ダイズおよび陸稲とも有機物の施用による増収効果が認められた。有機物の種類による収量への影響は、ダイズでは認められたが陸稲では認められなかった。

(2) 野菜導入系

野菜導入系夏作物の収量の推移を第3図に示した。品種を変更した年を表中の矢印で、また栃木県農作物施肥基準¹⁴⁾による目標収量を点線で示した。

試験開始から1984年までハクサイを栽培した。目標収量は 6000kg/10a であった。1作目が最も多収で、その後は徐々に減収した。また栽培期間の平均収量は、三要素区 5734kg/10a、堆肥区 6007kg/10a、青刈りデントコーン区 6002kg/10a、麦わら区 5902kg/10a であった。

ハクサイは病害が多く発生したため、1985年以降レタスを栽培した。目標収量は 2500kg/10a であった。レタスは、2作目が最も多収で2作目以降は徐々に減収する傾向を示した。また栽培期間の平均収量は、三要素区 1297kg/10a、堆肥

区 1987kg/10a, 青刈リデントコーン区 1341kg/10a, 麦わら区 1597kg/10aであった。

野菜導入系夏作物は、栽培作物に関わらず有機物の種類による収量への影響がほとんど認められなかった。また、連用するほど減収する傾向を示した。

2)冬作

二条大麦の収量の推移を第4図に示した。品種を変更した年を表中の矢印で、また栃木県農作物施肥基準¹⁴⁾による目標収量を点線で示した。

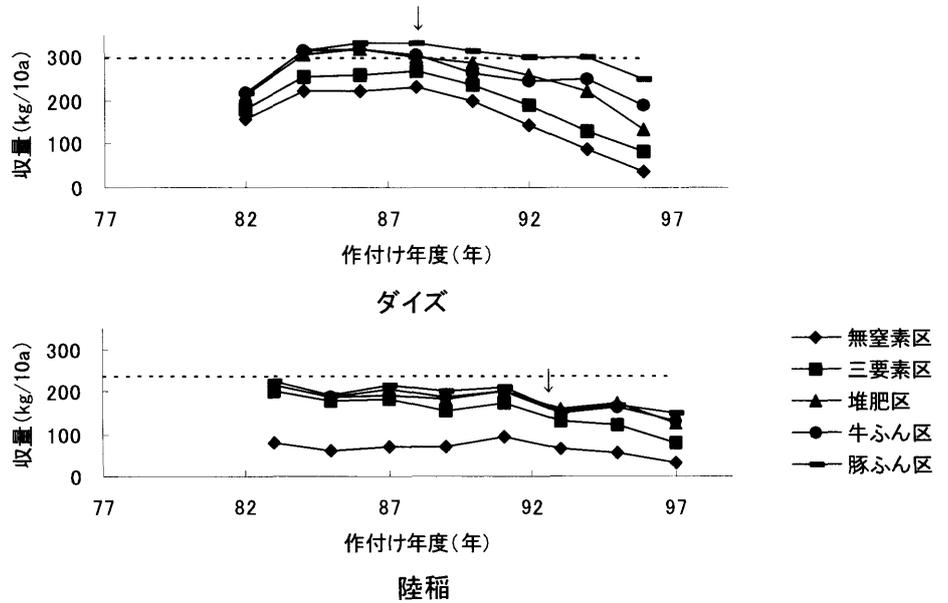
二条大麦は、試験開始から1985年までニューゴールデンを栽培し、以降ミサトゴールデンを栽培した。目標収量は 400kg/10aであった。二条大麦の収量は、栽培期間全般ならだかに推移した。20年間の収量平均値は、穀類導入系では無窒素区 136kg/10a, 三要素区 332kg/10 a, 堆肥区 435kg/10 a, 牛ふん区 438kg/10 a, 豚ふん区 429kg/10 a であり、野菜導入系では三要素区 391kg/10 a, 堆肥区 471kg/10 a, 青刈リデントコーン区 446kg/10 a, 麦わら区 447kg/10 a であった。野菜導入系は、穀類導入系よりも多収の傾向を示した。

2. 土壤の化学性および物理性

作土における化学性の推移を5年間の移動平均値により第5～10図に、試験終了時の作土の化学性および作土から耕盤下層までの物理性を第7, 8表に示した。

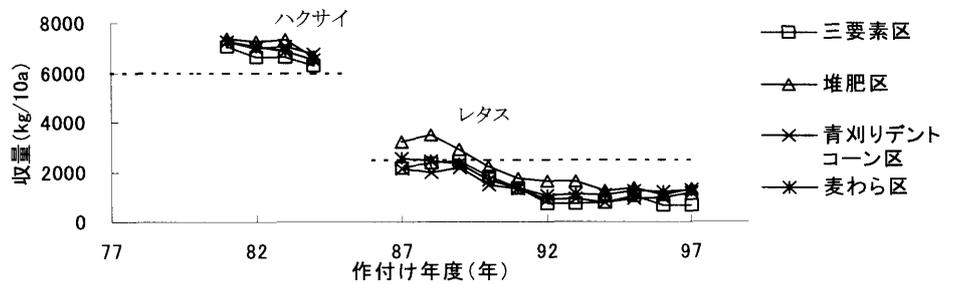
1)化学性

pHの推移を第5図に示した。穀類導入系のpHは、試験期間を通して徐々に上昇傾向にあり、連用15年目ごろからは上昇の程度が大きくなった。一方野菜導入系は、連用10年目以降緩やかに上昇し



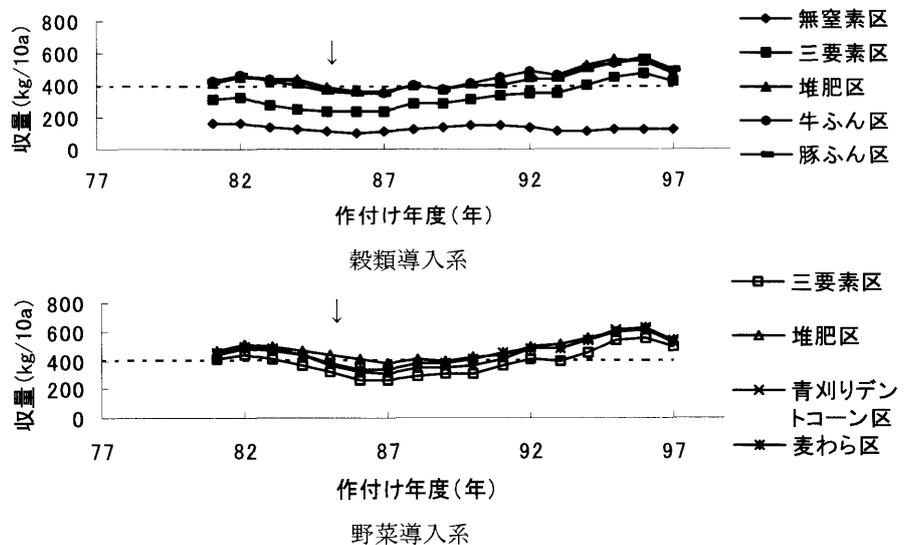
第2図 穀類導入系夏作物における収量の推移(3年間の移動平均値)

注. 各作物における品種の変更を矢印, 目標収量を点線で示した。



第3図 野菜導入系夏作物における収量の推移(3年間の移動平均値)

注. 各作物における目標収量を点線で示した。



第4図 冬作収量の推移(5年間の移動平均値)

注. 品種の変更を矢印, 目標収量を点線で示した。

第6表 各栽培作物の収量平均値

処理区	夏作 kg/10a				冬作 kg/10a
	ダイズ	陸稲	ハクサイ	レタス	二条大麦
穀類導入系 無窒素区	145(81)	67(43)	—	—	136(41)
三要素区	180(100)	155(100)	—	—	332(100)
堆肥区	226(126)	182(117)	—	—	435(131)
牛ふん区	239(133)	185(120)	—	—	438(132)
豚ふん区	273(152)	195(126)	—	—	429(129)
野菜導入系 三要素区	—	—	5734(100)	1297(100)	391(100)
堆肥区	—	—	6007(105)	1987(153)	471(120)
青刈リデントコーン区	—	—	6002(105)	1341(103)	446(114)
麦わら区	—	—	5902(103)	1597(123)	447(114)

注。()は各系列の三要素区を対照とした指数

た。試験終了時のpHは、穀類導入系無窒素区が6.8と最も高く、次いで各導入系堆肥区での6.7であった。その他の処理区は6.1~6.4であった。

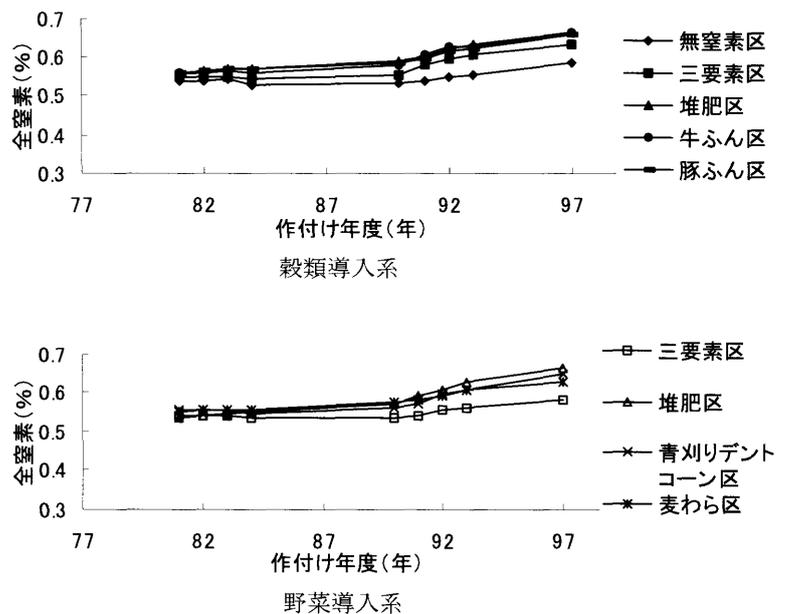
全窒素の推移を第6図に示した。試験終了時には、全ての処理区で試験開始時より増加した。各導入系の有機物を施用した区は、三要素区よりも高く推移した。試験終了時の土壌のC/N比は、穀類導入系は14.2以下であるのに対し、野菜導入系では全ての処理区で14.2以上であり、野菜導入系三要素区は15.8と高い値を示した。また有機物を施用した区の試験終了時の可給態窒素は、野菜導入系よりも穀類導入系の方が高い傾向にあった。

可給態リン酸の推移を第7図に示した。穀類導入系は豚ふん区以外は変化が少なく、野菜導入系は全ての処理区で増加傾向にあった。穀類導入系豚ふん区は、試験開始前から終了時まで20.2mg/100gも増加し、また全リンも483mg/100gと最も高い値を示した。

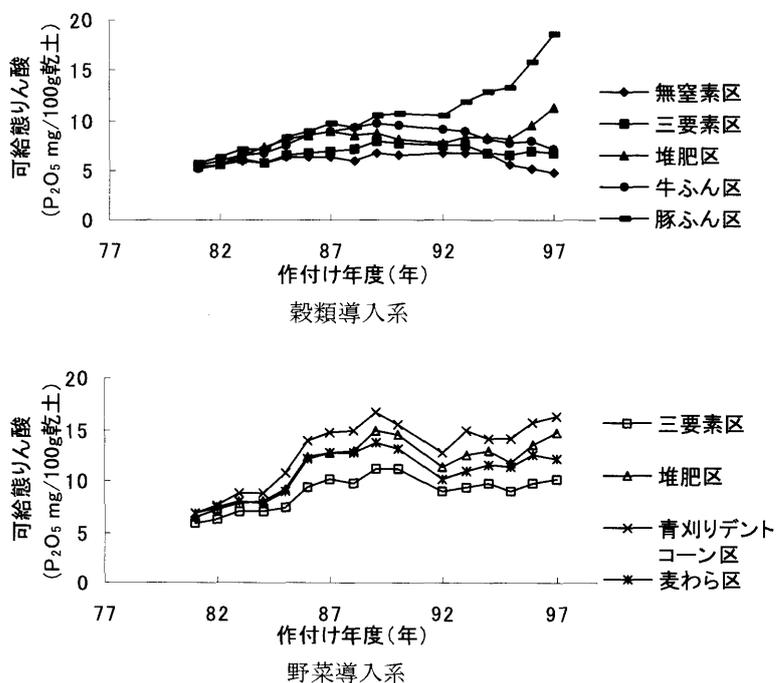
交換性カリウムの推移を第8図に示した。穀類導入系は、堆肥区は常に他の処理区より高く推移し、野菜導入系は有機物を施用した区は三要素区よりも常に高く推移したが、有機物の種類による影響は認められなかった。

交換性カルシウムの推移を第9図に示した。試験期間を通して全ての処理区で増加傾向にあった。穀類導入系は連用10年目以降、野菜導入系では連用15年目以降から増加の程度が大きくなった。各導入系堆肥区は、常に他の処理区よりも高く推移した。

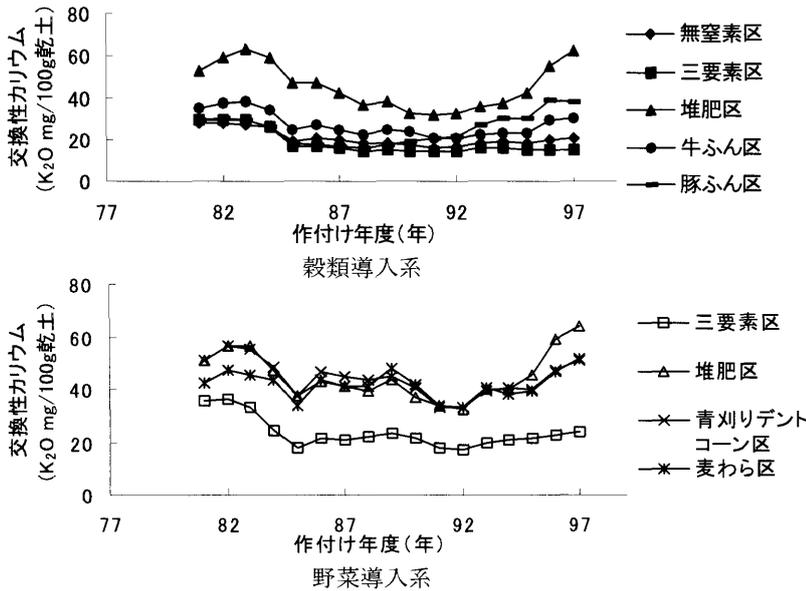
交換性マグネシウムの推移を第10図に示した。連用15年目以降緩やかに増加する傾向を示した。



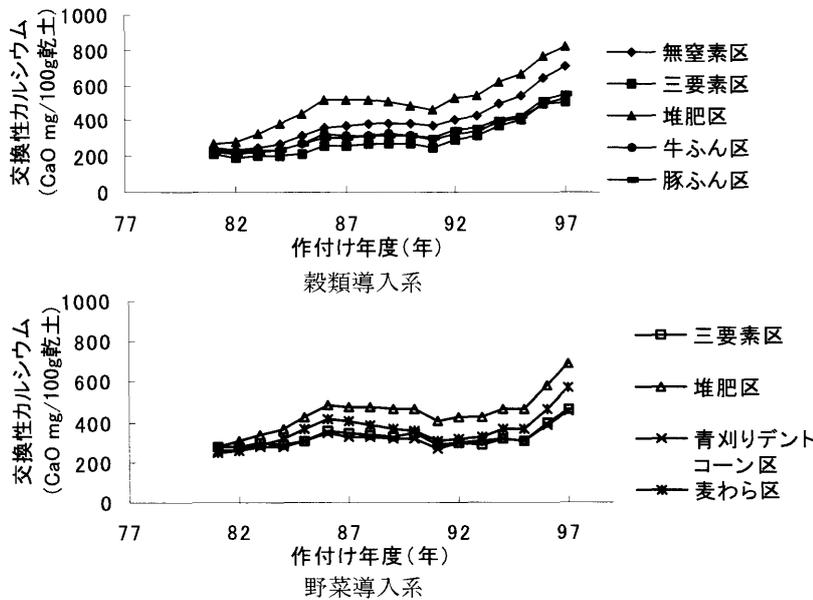
第6図 作土における全窒素含有量の推移(5年間の移動平均値)



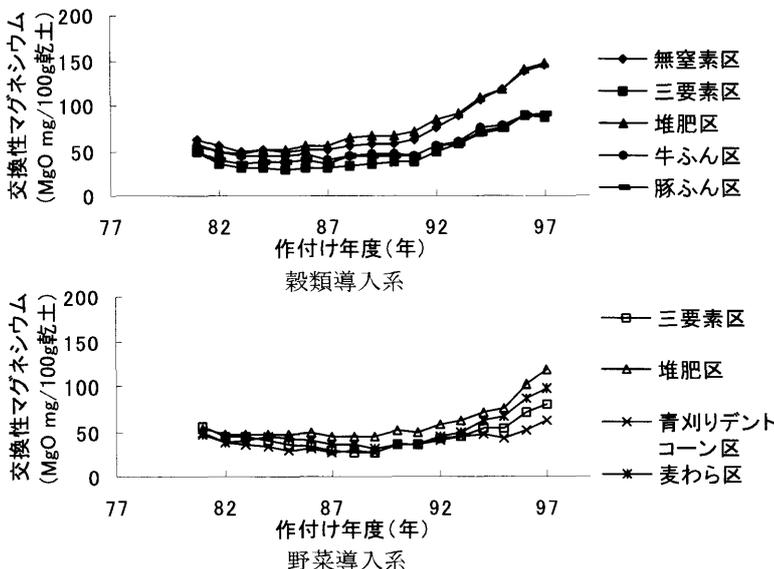
第7図 作土における可給態リン酸含有量の推移(5年間の移動平均値)



第8図 作土における交換性カリウム含有量の推移(5年間の移動平均値)



第9図 作土における交換性カルシウム含有量の推移(5年間の移動平均値)



第10図 作土における交換性マグネシウム含有量の推移(5年間の移動平均値)

試験終了時のCECは各導入系とも有機物を施用した区は三要素区よりも高い値を示した。各導入系無窒素区および三要素区が43以下であるのに対して、有機物を施用した区は48～55であった。

2)物理性

試験終了時の土壤の物理性を第8表に示した。作土深は、試験開始前が15cmであったのに対して全ての処理区で深くなる傾向を示した。

作土の固相率および仮比重は、有機物施用による影響はほとんど認められなかった。

IV 考察

1. 収量および土壤の理化学性の推移

各作物の栽培適正 pH は、陸稲が 5.5～6.0、ダイズ、ハクサイ、レタスならびに二条大麦が 6.0～6.5 である。穀類導入系牛ふん区および豚ふん区の pH は、試験期間を通して pH5.8～6.0 程度で推移し、比較的栽培作物に適した pH を保持していたことが高収の一因と考えられる。これに対し穀類導入系堆肥区は、牛ふん区および豚ふん区より常に高い pH で推移し、特に連用 15 年目程度からの上昇が大きく試験終了時は pH6.7 であった。これは、堆肥中のカルシウムおよびカリウム等塩基類の含有率が高いために施用量が多く、土壤の塩基含有量が高まると共に pH も上昇したと考えられる。しかし野菜導入系の有機物を施用した区では、堆肥区が最も多収を示した。これは、野菜導入系の栽培作物における栽培適正 pH は 6.0 以上であるのに対し、連用 15 年目程度まで野菜導入系の全処理区が pH6.0 以下であり、堆肥区が最も適正 pH に近く推移したことが原因の一つと考えられる。野菜導入系は、穀類導入系と比較して土壤のカルシウムおよびマグネシウム含有量ならびに pH はやや低く推移していた。

土壤の物理性は、有機物施用による影響がほとんど認められず、収量への影響も認められなかった。

試験期間の気象を第9表に示した。各作物の収量と気象の変化の傾向に対して直接

第7表 試験終了時の作土の化学性

処理区名	pH	全炭素 %	全窒素 %	C/N	全リン mg/ 100g	CEC me/ 100g	交換性陽イオン類			可給態 窒素	可給態 リン酸 P ₂ O ₅	
							CaO	MgO	K ₂ O			
							mg / 100 g 乾土					
穀類	無窒素区	6.8	8.7	0.65	13.3	349	43.0	837	146	23	5.3	4.9
導	三要素区	6.4	8.8	0.65	13.6	341	42.8	528	65	16	7.1	5.2
入	堆肥区	6.7	10.4	0.77	13.6	436	54.5	1031	139	65	12.5	15.5
系	牛ふん区	6.2	10.5	0.74	14.2	375	51.3	613	66	25	12.5	6.7
	豚ふん区	6.3	10.5	0.76	13.9	483	54.3	663	81	17	16.9	24.3
野	三要素区	6.3	9.5	0.60	15.8	380	42.9	615	83	24	5.5	10.0
菜	堆肥区	6.7	10.6	0.72	14.7	430	52.5	1013	133	59	9.4	15.2
導	青刈りデント	6.1	10.1	0.72	14.9	454	48.3	745	93	55	11.7	15.0
入	コーン区											
系	麦わら区	6.4	9.8	0.67	14.7	398	51.3	872	113	54	8.0	9.3

第8表 試験終了時の土壌の物理性

処理区名	作土深 cm	固相率 %			作土の仮比重	
		作土	耕盤層	耕盤層以下		
		穀類	無窒素区	16		29.1
導	三要素区	17	27.6	18.3	16.3	0.72
入	堆肥区	21	28.7	21.0	18.1	0.69
系	牛ふん区	19	30.4	25.1	23.8	0.71
	豚ふん区	22	29.5	25.1	20.8	0.68
野	三要素区	16	32.4	34.3	30.5	0.82
菜	堆肥区	20	27.4	31.4	36.2	0.68
導	青刈りデントコーン区	17	28.3	34.1	35.6	0.71
入	麦わら区	18	34.2	24.5	20.1	0.80

第9表 試験期間の気象

年	夏作 7~10月			冬作 11~6月		
	気温 °C	降水量 mm	日照時間 h	気温 °C	降水量 mm	日照時間 h
1977~1978	-	-	-	14.0	111.8	191.8
1978~1979	21.9	111.3	191.3	14.0	113.3	180.2
1979~1980	22.0	156.9	146.7	14.0	113.3	180.2
1980~1981	20.3	216.0	118.5	13.1	133.3	168.6
1981~1982	20.9	213.4	147.6	14.3	132.3	198.7
1982~1983	20.6	220.8	133.1	14.0	127.3	188.7
1983~1984	21.0	178.0	123.7	12.3	78.3	178.6
1984~1985	21.6	94.3	176.0	13.6	175.8	157.0
1985~1986	21.8	135.3	165.8	13.2	128.4	156.0
1986~1987	20.8	181.3	124.3	14.3	97.6	189.3
1987~1988	22.1	192.4	133.9	13.6	154.2	158.6
1988~1989	20.6	247.3	91.9	13.7	213.5	158.7
1989~1990	21.6	236.5	125.9	15.0	104.5	169.8
1990~1991	22.7	210.2	141.1	15.1	125.3	158.0
1991~1992	21.8	284.9	96.4	13.7	152.1	134.0
1992~1993	21.5	137.7	139.5	13.3	111.7	169.4
1993~1994	20.0	206.0	85.1	14.5	93.4	182.9
1994~1995	23.7	137.4	138.7	13.8	183.4	124.0
1995~1996	22.6	181.5	154.2	13.3	85.5	168.2
1996~1997	21.4	141.1	140.7	14.9	181.9	167.6
1997~1998	21.7	155.0	148.4	15.1	168.0	130.4

注. 気温は日平均の平均値, 降水量および日照時間は合計値を示した.

的な影響は認められなかった。またダイズ、陸稲およびレタスの収量が減少傾向にある原因として、土壤病害や他感物質または微量元素状態の悪化等の連作障害による可能性もあるが、明確な原因は不明である。

2. 養分の吸収-施用比

窒素、リン、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの施用量、地上部吸収量およびその比(以下吸収-施用比とする)を各栽培作物別に第10表に示した。施用量は、化学肥

第10表 栽培作物別の養分施用量、作物吸収量および吸収-施用比

ダイズ

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)					
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
穀類	無窒素区	72	44	75	124	0	108	9	48	16	10	1.49	0.20	0.64	0.13	-
導	三要素区	113	44	75	124	0	131	10	58	20	13	1.16	0.23	0.77	0.16	-
入	堆肥区	249	75	216	300	27	170	14	86	24	15	0.68	0.18	0.40	0.08	0.56
系	牛ふん区	227	61	135	165	15	187	15	85	23	16	0.82	0.24	0.63	0.14	1.06
	豚ふん区	292	89	128	205	26	210	17	91	27	19	0.72	0.19	0.71	0.13	0.74

陸稲

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)					
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
穀類	無窒素区	0	30	50	84	0	20	3	19	4	3	-	0.09	0.38	0.05	-
導	三要素区	68	30	50	84	0	45	6	47	10	7	0.66	0.19	0.94	0.12	-
入	堆肥区	158	51	157	332	19	58	7	68	11	8	0.37	0.14	0.44	0.03	0.43
系	牛ふん区	141	45	108	122	14	59	7	64	11	9	0.42	0.17	0.60	0.09	0.64
	豚ふん区	178	80	89	159	21	71	8	81	13	12	0.40	0.11	0.91	0.08	0.55

ハクサイ

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)					
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
野菜導	三要素区	140	61	117	365	76	102	13	125	49	8	0.73	0.21	1.07	0.13	0.10
入	堆肥区	199	71	178	615	87	108	15	156	49	7	0.54	0.21	0.87	0.08	0.09
系	青刈デントコーン区	247	75	331	377	85	105	13	155	48	7	0.42	0.18	0.47	0.13	0.08
	麦わら区	158	62	192	379	79	103	13	145	43	7	0.65	0.21	0.76	0.11	0.09

レタス

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)					
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
野菜導	三要素区	235	114	196	349	11	49	4	84	15	5	0.21	0.04	0.43	0.04	0.42
入	堆肥区	374	155	378	518	46	70	7	134	19	6	0.19	0.04	0.35	0.04	0.12
系	青刈デントコーン区	483	144	656	386	26	49	5	95	14	4	0.10	0.03	0.14	0.04	0.15
	麦わら区	321	120	385	382	18	54	5	109	15	4	0.17	0.04	0.28	0.04	0.23

デントコーン

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
青刈デントコーン区	210	84	143	237	0	355	43	674	49	24	1.69	0.52	4.70	0.21	-

二条大麦

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)					
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
穀類	無窒素区	0	97	140	653	150	54	11	75	11	6	-	0.11	0.53	0.02	0.04
導	三要素区	126	97	140	653	150	161	22	164	32	14	1.28	0.23	1.17	0.05	0.09
入	堆肥区	327	155	396	915	203	243	35	314	48	19	0.74	0.22	0.79	0.05	0.09
系	牛ふん区	311	144	295	761	202	243	30	276	47	20	0.78	0.21	0.94	0.06	0.10
	豚ふん区	385	197	230	806	209	278	35	258	58	24	0.72	0.18	1.12	0.07	0.12
野菜導	三要素区	126	97	140	461	74	226	27	226	48	17	1.79	0.28	1.62	0.10	0.23
入	堆肥区	327	155	396	723	127	301	38	382	66	22	0.92	0.25	0.97	0.09	0.17
系	青刈デントコーン区	327	155	396	723	127	263	35	318	55	19	0.80	0.23	0.80	0.08	0.15
	麦わら区	327	155	396	723	127	276	35	333	56	20	0.84	0.22	0.84	0.08	0.16

料および有機物由来の各成分量を副成分まで含めて算出した。またダイズの窒素固定量を、星・桑原の報告¹²⁾に基づき吸収量の0.67倍として窒素施用量に上乘せした。

ダイズにおける窒素の吸収-施用比は、穀類導入系無窒素区および三要素区で1.0を超えていた。この不足分は、窒素固定量の見積もりが実際よりも小さいか、その他の微生物による固定または地力窒素からの供給と考えられる。また有機物を施用した各区でも、窒素は0.6以上と高い吸収-施用比であった。カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの吸収-施用比は、堆肥区でそれぞれ0.40、0.08、0.56と他の処理区と比べて低い値を示した。これは、堆肥中の成分含有率が高く施用量多くなることが原因と考えられる。

陸稲における窒素の吸収-施用比は、三要素区が0.66であるのに対し、有機物を施用した区は牛ふん区0.42、豚ふん区0.40、堆肥区0.37と比較的低い吸収-施用比を示した。これは吸収量に対して施用量の多いことが原因と考えられる。また豚ふん区は、カリウムの吸収-施用比が0.91と高く、これは有機物中のカリウム含有率が少ないためと考えられる。

ハクサイは、有機物を施用した各区における窒素の吸収-施用比が0.42~0.65であった。レタスは、窒素の吸収-施用比が0.10~0.21と低い値を示した。ハクサイとレタスに共通して、青刈りデントコーン区のカリウムの吸収-施用比は他の処理区と比較して低く、これは施用するデントコーンのカリウム含有率が高いためと考えられる。

二条大麦は、各成分の吸収量が栽培作物中で最も多い作物であった。窒素の吸収-施用比は、各導入系三要素区で1.0を越えていた。この不足分は、地力窒素や夏作物の余剰窒素により補われていたと考えられる。またカリウムの吸収-施用比も、穀類導入系三要素区および豚ふん区で1.0を越え、窒素と同様に夏作の余剰分により補われていたと考えられる。豚ふん区は、豚ふん中のカリウム含有率が低く、施用量の少ないことが吸収-施用比が高い原因と考えられる。また有機物を施用した各区の窒素、リン、カルシウムおよびマグネシウムの吸収-施用比は、野菜導入系の方が穀類導入系より高い吸収-施用比を示した。これは、野菜導入系は穀

類導入系と比べて多収であり、そのため吸収量も多くなったことが原因と考えられる。無窒素区は、窒素不足のために作物が生育不良となり、各成分の吸収量が抑制されたものと考えられる。

試験期間中の施用量および吸収量の合計値ならびに吸収-施用比を第 11 表に示した。試験期間全体では、穀類導入系三要素区は窒素およびカリウムの吸収-施用比が 1.0 を越えていた。窒素はダイズおよび二条大麦で、カリウムはいずれの作物でも吸収-施用比が高いためと考えられる。また全ての処理区のカリウムならびにマグネシウムの吸収-施用比は、0.04~0.10、0.13~0.23 と低い値であった。これは、作物収量に対し土壌の pH を維持するために必要な量が大きく上回っていることが原因である。

吸収-施用比は、土壌中の養分含有量と作物への養分供給を適正な状態に維持するために重要であり、この値は施用する有機物の養分含有率に大きく影響されることから、有機物の成分バランスが重要であることが示された。

3. 収量に及ぼす養分施用量および土壌の化学性の影響

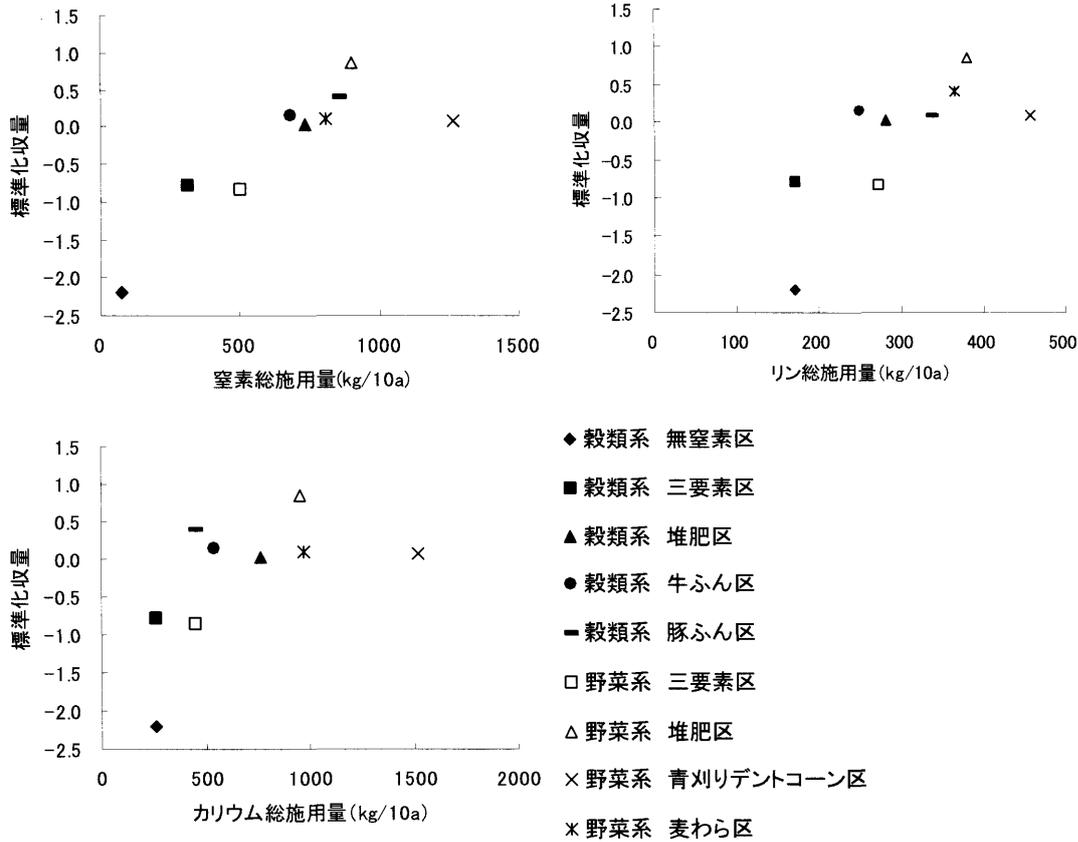
本試験は、穀類導入系と野菜導入系では作付け作物が異なるため、両導入系の収量の比較ができない。そこで、以下の手順により収量の標準化を行った。まず作物別の試験期間中における収量の平均値に対して、式(1)により処理区間での標準化を行った。さらにその作物別に計算した標準値を、処理区毎に平均したものを標準化収量とした。ただし穀類導入系無窒素区は、穀類導入系のみを設定され、また収量水準が特に低いことから、収量の標準化にこの値を使用すると穀類導入系の他の処理区の標準値を著しく引き上げるので、各作目の平均値および標準偏差を求める際には除外した。

$$\text{標準値} = (\text{標本値} - \text{平均値}) / \text{標準偏差} \quad \text{式(1)}$$

標準化収量と窒素、リンおよびカリウムの施用量との関係を第 11 図に示した。標準化収量は、有機物を施用した各区では 0 以上であり、無窒素区ならびに各導入系三要素区は負の値を示した。窒素施用量に対する標準化収量は、野菜導入系青刈りデントコーン区を除いてほぼ正比例の関係とな

第 11 表 試験期間の養分施用量および作物吸収量の合計値ならびに吸収-施用比

処理区名	施用量 kg/10a (A)					吸収量 kg/10a (B)					吸収-施用比 (B/A)					
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
穀類導入系	無窒素区	72	171	265	860	150	183	22	142	32	19	2.52	0.13	0.54	0.04	0.13
	三要素区	307	171	265	860	150	337	38	269	61	34	1.10	0.22	1.01	0.07	0.23
	堆肥区	735	281	769	1546	249	471	55	468	83	42	0.64	0.20	0.61	0.05	0.17
	牛ふん区	680	249	539	1048	232	489	52	426	81	45	0.72	0.21	0.79	0.08	0.20
	豚ふん区	855	366	447	1170	256	560	60	430	99	55	0.65	0.16	0.96	0.08	0.22
野菜導入系	三要素区	501	271	453	1175	161	377	44	435	111	30	0.75	0.16	0.96	0.09	0.18
	堆肥区	900	381	952	1855	259	479	60	671	134	35	0.53	0.16	0.71	0.07	0.13
	青刈りデントコーン区	1268	457	1526	1723	238	772	97	1242	165	54	0.61	0.21	0.81	0.10	0.23
	麦わら区	807	338	973	1484	223	433	53	586	113	31	0.54	0.16	0.60	0.08	0.14



第 11 図 収量と窒素, リンおよびカリウム施用量の関係

った。カリウムおよびリンの施用量と収量の関係は、正の比例関係を示したが窒素よりもばらつきが大きく見られた。また各養分施用量に対する収量の割合は、各養分の単位施用量に対する作物生産効率と評価できる。リンでは、穀類導入系堆肥区ならびに牛ふん区で標準化収量が施用量に対して他の処理区より相対的に高いことから、それら有機物に含まれるリンの作物生産性が高いと考えられる。またカリウムは、穀類導入系牛ふん区、豚ふん区および野菜導入系堆肥区の標準化収量が相対的に高く、それら有機物中カリウムの作物生産性が高いと考えられる。また各養分に共通して、野菜導入系青刈リデントコーン区では、各養分投入量が多いが標準化収量は相対的に低く作物生産性は低い傾向が認められた。これは、青刈リデントコーン栽培のため施用量が多くなるのが原因と考えられる。また野菜導入系麦わら区においても、カリウムの作物生産性は低い傾向にあった。以上の様な作物生産性における傾向は、吸収-施用比同様各有機物の養分含有バランスの違いにより生じているものと考えられる。

各養分施用量の収量に対する影響力を検討するため、重回帰分析を行った。重回帰分析は、標準化収量を従属変数、窒素、リンおよびカリウム施用量を独立変数として行った。この重回帰分析の結果を第 12 表に示す。収量に対する各

養分施用量の影響の大小を、標準回帰係数により比較する⁴⁾と、窒素が 1.07 と三成分中唯一の正の値で絶対値でも最も高く、収量に対する影響力が最も大きいことが示された。リンとカリウムの係数が負の値を示したのは、おそらく青刈リデントコーン区におけるリンおよびカリウムの施用量が他の処理区と比較して多いのに対し、収量の低いことが大きく影響したものと考えられる。

また土壌の主な化学性と収量間でも重回帰分析を行った。重回帰分析は、前分析と同様に標準化収量を従属変数とし、作土の交換性カルシウム、可給態窒素および可給態リン酸含有量を独立変数として行った。土壌の理化学性は、全ての項目において適正範囲内の値であったので、ここでは有機物の連用により徐々に変化し、且つ安定的な性質と考えられる 3 項目を対象に行った。その結果を第 13 表に示す。収量に対する影響力を表す標準回帰係数は、可給態リン酸が最も高く 0.34、可給態窒素が 0.26 であり差がほとんどなく、この二つ要素が収量に大きく影響することが示された。

前述の二つの重回帰分析結果から、作物収量は窒素施用量、土壌中可給態リン酸および可給態窒素含有量に大きく影響されると推測できる。そこで互いに関連していると考えられる窒素施用量と可給態窒素含有量の関係をみると、可給態窒素含有量は同一の作付け体系では窒素施用量の多

第 12 表 収量と窒素、リンおよびカリウムの施用量における重回帰分析結果

定数項		偏回帰係数	標準回帰係数
窒素	kg/10a	0.05	1.07
リン	"	-0.02	-0.11
カリウム	"	-0.02	-0.40

注. 決定係数 $R^2 = 0.47$, 有意 $F=4.56E-25$

第 13 表 収量と土壌の化学性における重回帰分析結果

定数項		偏回帰係数	標準回帰係数
交換性カルシウム	mg/100g 乾土	-0.0003	-0.06
可給態窒素	"	0.08	0.26
可給態リン酸	"	0.05	0.34

注. 決定係数 $R^2 = 0.21$, 有意 $F=0.003$

い処理区ほど高い傾向を示したが、窒素施用量が同一水準の場合野菜導入系よりも穀類導入系の方が高い傾向であった。

そこで、施肥有機物由来とダイズ根粒菌による窒素固定推定量の合計値を有機態窒素施用量とみなし、可給態窒素含有量との関係を第 12 図に示した。穀類導入系は野菜導入系よりやや可給態窒素含有量が高いもののおおむね正比例の関係にあった。このことから可給態窒素は、有機物の違いに関わらず有機物窒素施用量に大きく影響されていることが示された。しかしこの結果は 20 年間の連用結果に基づくものであり、有機態窒素施用が土壌の可給態窒素の増加に影響する時間的要因については不明である。短期間内に多量の有機物を施用することは、無機態ならびに有機態の各種成分の流亡⁸⁾を招くと考えられ、環境面から妥当ではないと思われる。

4. 黒ボク土における有機物施用法

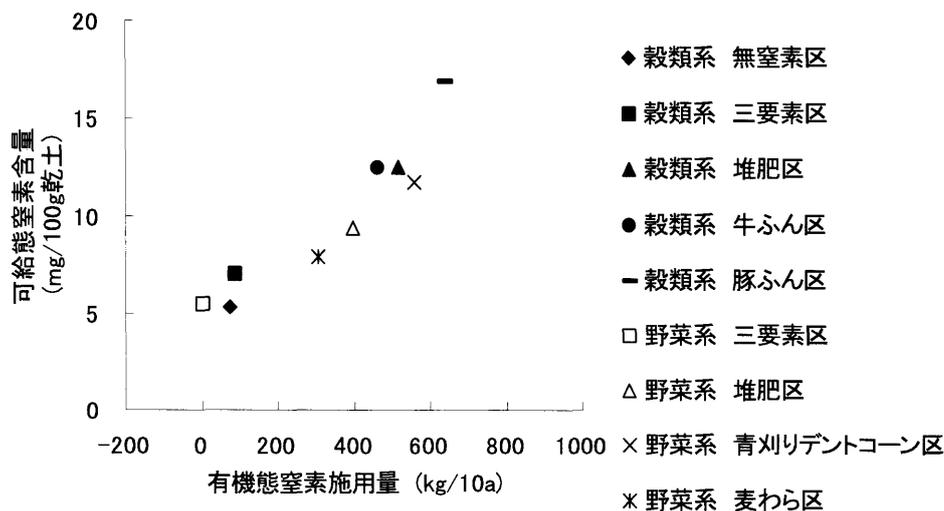
上沢は¹⁶⁾、地力を「土壌の物理・化学的および生物的性質が良好で、物質循環機能が高く、投入した養分、特に窒素の作物による高い回収率をもたらす土壌環境」と再定義している。このような地力を増進するためには有機物の施用が不可欠であり、各有機物の特徴を整理すると以下のとおりである。

稲わら堆肥は、窒素およびリン含有量が高く、土壌中可給態窒素や、リン酸含有量の増加が期待される。しかしカリウム、カルシウムおよびマグネシウム等

の塩基類含有量が高く、塩基類が土壌に蓄積し、それに伴い pH も上昇する。牛ふんは、窒素施用量に対する増収効果が高く、塩基類の土壌中含有量も比較的少ない。しかしリン含有量が低いいため、黒ボク土においてはややリン不足になる傾向にある。豚ふんは、窒素含有量が高く、可給態窒素等も増加し、増収効果大きい。またリン含有量も高く、連用により土壌中にリン酸が蓄積されるが、カリウム含有量が少ないため土壌中カリウム含有量は低水準で推移する。カルシウム等の塩基バランスは良好である。青刈りデントコーンは、青刈りで鋤き込むため、窒素の吸収-施用比が低く増収効果が小さくなる。吸収-施用比は低いが土壌中の塩基バランスは適正であり、集積も少ないことから圃場外へ塩基類が流亡³⁾している可能性がある。麦わらは、カリウム含有量が高いため、土壌中カリウム含有量がやや上昇する傾向にあり、また他の塩基類についても集積傾向にある。

以上のとおり有機物施用の影響は、その種類により収量や土壌の理化学性に及ぼす影響が異なっている。特に有機物の養分バランスの違いが吸収-施用比や塩類の集積に影響を及ぼしていることが明らかになった。

また作物生産性は、有機物の施用により有機物由来の窒素ならびにリンが土壌中可給態窒素および可給態リン酸を増加させることにより高まると考えられる。この結果から青刈りデントコーン以外の有機物は、稲わら堆肥の塩基類過剰や牛ふんのリン酸不足等の若干の問題を補えば同等の効果が期待できるものと考えられる。しかし青刈りデントコーンは、収量性、吸収-施用比および養分の圃場外への流亡等の点から、明らかに他の有機物から劣ることが示された。



第 12 図 有機態窒素施用量と可給態窒素含有量の関係

作付け体系は、吸収-施用比、土壤のpHおよび可給態窒素含有量において影響が認められたが、共通する有機物が稲わら堆肥のみであることから他の有機物についても同様の影響を及ぼすかどうかは不明である。

黒ボク土における有機物の20年間連用は、作物の収量や土壤に各種の影響を与えていた。今後有機物を用いた環境保全的持続農業を推進する上で、圃場内での養分収支ならびに下層への流亡量等を明らかにすることが、重要な手がかりになると考えられる。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、栃木県農業大学校 大村顕裕教授をはじめ栃木県農業試験場 岩崎秀穂 環境技術部長ならびに土壤作物栄養研究室の皆様にはご助言、ご協力頂いた。ここに記して、心から感謝の意を表する。

引用文献

- 藤原俊六郎(1998)有機物と微生物. 農業及び園芸 73:122-120
- 二見敬三・吉倉惇一郎・桑名健夫・青山喜典・入江和己・足立年一・相野公孝・宗林正・北川芳雄・堀本圭一・平田滋・吉本均・栗山雅夫(1995)有機物の多面的な特性と複合的施用技術. 土肥誌 66:65-703.
- 後藤忍・江口洋(1997)圃場条件における緑肥および有機質肥料からの塩基類の溶出. 土肥誌 68:640-644
- 池田三雄(1983)農学における統計学概論, 財団法人農林統計協会
- 上山紀代美・藤原俊六郎・船橋秀登(1995)牛ふん堆肥の連用が作物収量と土壤の化学性に及ぼす影響. 神奈川農総研研報 136:31-42
- 北村明久・久保田増栄(1985)鉍質畑土壤の地力に対する有機物連用の影響 第1報, 土壤中における各有機物の分解と集積ならびに土壤理化学性の変化と作物生育. 高知農林技研報 17:63-77
- 香西清弘・平木孝典(1997)牛ふん堆肥の連用が土壤の理化学性に及ぼす影響. 香川農試研報 49:61-67
- 久野智香子(1997)牛ふん堆肥連用における下層土への肥料成分・有機物の移動. 愛知研農総試研報 29:135-140
- 農林水産省農産園芸局農産課(1979)土壤環境基礎調査における土壤, 水質及び作物体分析法
- 六本木和夫(1995)沖積畑土壤における稲わら堆肥連用に関する研究. 埼玉園試特研報 4号
- 斉藤研二・榎本優(1987)野菜畑における土壤管理と施肥改善に関する研究 第3報, 稲わら堆肥多施用と基肥窒素施用量が夏秋作キュウリの生育, 収量及び土壤の性質に及ぼす影響. 福島農試研報 26:42-54
12. 社団法人 農山漁村文化協会(1999)農業技術体系 土壤施肥編 1:87-89
13. 社団法人 農山漁村文化協会(1999)農業技術体系 土壤施肥編 3:13-16
14. 栃木県(1992)農作物施肥基準
15. 栃木県農務部(1994)栃木県における肥料の流通調査結果
16. 上沢正志(1998)有機物施用の許容限界と地力維持. 農及園 73:211-215
17. 若澤秀幸・河合徹・神谷径明・堀田柏・青島洋一・鈴木則夫・中神敏・山田金一・堀兼明・堀内正美・高橋和彦・水本順敏・松本昌直(1994)堆きゅう肥の連用が黄色土及び黒ボク土畑土壤に及ぼす影響 第1報, 土壤の理化学性の変化とキャベツ, カンショの収量. 静岡農試研報 38:85-98
18. 山田良三・沖野英男(1991)土壤の水分環境と作物生育 第2報, 堆肥連用畑土壤における水分特性と窒素吸収. 愛知農総試研報 23:281-288