

黒ボク土水田における有機物の長期連用効果

武田容子¹⁾・柴田和幸²⁾・橋本秀司³⁾

摘要：農試本場黒ボク土水田において、有機物(稲わら堆肥, 稲わら)を14年間連続施用し、水稻の生育収量及び土壌の理化学性への影響を調査した。その結果、有機物を長期連用して栽培することにより、物理性では土壌の膨軟性を維持する効果が確認され、化学性では、腐植(全炭素)の集積、地力窒素(窒素の供給量)の増大や塩基類の集積が認められた。また、有機物の施用が収量におよぼす影響は施用初期では判然としないが、連用6年目から三要素区より増収した。特に稲わら区(稲わらの秋すき込み)は連用期間が長くなるとともに収量指数が増加する傾向を示し、連用11年以降、堆肥より窒素供給量を高める効果が顕著となった。これらの結果は、本県において推進している、稲わらの秋すき込みおよび堆肥施用による水田土壌への還元が、黒ボク土水田の地力維持および収量の安定確保に大きく寄与できることを裏付けた。

キーワード：黒ボク土水田, 有機物, 長期連用, 稲わら

Effect of long-term application of organic matter to Andosol paddy fields on the yield

Yoko TAKEDA, Kazuyuki SIBATA, Shuji HASIMOTO

Summary : We studied the effect of successive application of organic matter (rice straw compost and rice straw) in an Andosol paddy field on the growth and yield of rice and on the physical and chemical properties of the soil. Long-term continuous application of organic matter resulted in maintenance of the porosity of the soil, an accumulation of humus (total carbon), an increase in soil nitrogen (nitrogen-supplying potentiality of soil), and deposition of bases. The rice yield increased in the compared plot that had received 6-year successive application of organic matter, to non-organic matter plot. Although the beneficial effect of organic matter on rice yield was not clear less than 6 years. In the rice straw plot, showed a trend of increasing in rice yield every year. After 11 years of successive application the nitrogen supply from soil in the rice straw plot comparison with the non-organic matter plot.

Our prefecture recommends the method of application rice straw or rice straw compost to farmers. Based on these results, it was confirmed that the methods are effective for the maintenance of the fertility, and resulting in better yields of rice in rice fields on Andosol paddy fields.

Key words : Ando paddy field, organic substance, long-term successive application

I 緒言

安定した農業生産を維持するためには、地力（土壌の生産力）を高めることが不可欠であり、その手段として有機物の施用があげられる。有機物の施用効果は、①肥料成分による土壌の化学性の向上、②有機物施用に伴う土壌の物理性の改善、③土壌の生物相を豊富にする生物性の改善の3点が知られている。日本は古くから水稲栽培を営み、有機物（堆肥など）を積極的に施用したことにより地力を維持してきた。しかし、化学肥料は、堆肥に比べて成分量が安定して速効性なため、栽培者にとって取り扱いが楽で、なおかつ水稲の単収も上昇した。このため、その導入後は、化学肥料に重点を置いた施肥が行われるようになった。水稲に吸収される窒素のうち、60～70%は土壌中の有機物から出てくる土壌窒素である¹⁰⁾。したがって化学肥料のみの連用は、長期的に見ると、地力の消耗を招き、窒素供給力が低下し、収量が低下するものと予想される。近年、環境保全の観点から有機物の施用が見直され、有機物による土づくりを基本とした水稲生産力の向上と安定が求められ、全国的に関連した試験が実施されている。

以上のことから、水田土壌として県内に広く分布している多湿黒ボク土を対象に、一毛作水田における有機物（稲わら堆肥および稲わら）の長期連用試験を行い、土

壌の理化学性と水稲の生育、収量に及ぼす影響について検討した。なお、本報告は1984年から1998年までの14年間の成績をとりまとめたものであり、有機物の長期連用効果を明らかにすることを目的とした土壌保全対策事業「土壌環境基礎調査・基準点調査」の中で実施されたものである。

II 試験方法

1. 土壌条件

調査圃場は、栃木県農業試験場内の水田圃場で、表層多腐植質多湿黒ボク土（猪倉統）、第3層まで腐植含量が極めて多く、その下80cmから七本桜および今市浮石層が出現する土壌である。試験開始前年度の1983年は、圃場の均一性を確認するため同一施肥管理で栽培を行い、有機物を施用しなかった。1984年から有機物連用試験を開始し、1997年までの14年間にわたり水稲単作栽培を行った。試験開始初年（以下、試験開始時）である1984年の土壌の主な理化学性を第1表に示した。土性はLで、ち密度および透水性が中程度である。全炭素、全窒素、陽イオン交換容量（CEC）およびりん酸吸収係数は高い。また、交換性塩基類はほぼ適正範囲内にあるが、可給態りん酸含量は低い。

2. 試験区の構成

第2表に有機物の成分含有率を、第3表に試験区の処

第1表 試験開始時（1984年）の土壌理化学性

層位	細 土 無 機 物 中 %					土性
	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	
1 (0~20cm)	23.0	29.1	52.1	38.8	9.2	L
2 (20~40cm)	29.7	27.6	57.3	30.1	12.7	L
3 (40~80cm)	39.5	21.4	60.9	28.7	10.5	L

層位	三相分布 %			孔隙率 %	仮比重
	固相	液相	気相		
1	30.9	65.5	3.6	69.1	0.75
2	32.2	65.0	2.8	67.8	0.78
3	33.0	57.0	10.0	67.0	0.79

層位	pH	T-C	T-N	C/N	CEC	可給態りん酸	交換性塩基(mg/100g)			りん酸
	(H ₂ O)	%	%		me/100g	mg/100g	CaO	MgO	K ₂ O	吸収係数
1	6.5	8.21	0.58	14.2	44.3	3.4	572	123	13	2240
2	6.2	7.10	0.50	14.2	41.5	1.3	398	71	10	2260
3	6.1	8.31	0.50	16.6	41.7	2.5	365	48	12	2330

注 可給態りん酸量が低いため、試験開始時の1984年によりりんを600kg/10a施用した。

(1984年の跡地可給態りん酸量は、7.3~9.7mg/100gであった。)

第2表 有機物の現物中成分含有率 (%)

有機物	乾物	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
堆肥	19.4~54.6	0.33~0.95	0.10~0.58	0.20~1.77	0.21~1.20	0.07~0.27
稲わら	85.5	0.48~0.64	0.13~0.39	1.63~2.59	0.20~0.35	0.09~0.31

第3表 試験区の処理内容

(kg/10a)

処理区	有機物施用量		化学肥料量						有機物				
	堆肥	稲わら	基肥			追肥 I			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O	N					
無窒素区	—	—	0	15	10	0	2	0					
三要素区	—	—	4	15	10	2	2	2					
堆肥区	1500	—	4	15	10	2	2	2	9.86	5.56	13.8	7.94	2.30
稲わら区	—	500	4	15	10	2	2	2	2.86	0.89	10.5	1.42	0.88

- 注 1. 堆肥は稲わら堆肥とし、毎年春の代かき時に施用。稲わらは毎年秋耕時に施用。
 2. 追肥 I は7月25日頃、追肥 II は8月15日頃施用。
 3. 有機物の成分別施用量は、14年間の平均。

理内容を示した。試験は三要素区（窒素，りん酸，加里を施用），無窒素区（窒素を除く施肥量が三要素区と同じ），肥区（稲わら堆肥1500kg/10a施用），稲わら区（稲わら500kg/10a施用）を設置し，1区の面積を0.4aとして2連制で行った。肥料は，窒素を塩安，りん酸をようりん，加里を塩加で施用した。各区とも県の施肥基準量を施用し，堆肥区および稲わら区は三要素区の施肥量に上乘せをして施用した。また，試験開始前年度である1983年の可給態りん酸量が低かったため，1984年3月に全区にようりんを600kg/10a施用した。堆肥区は，水稻作付け前の4月に稲わら堆肥1500kg/10aを施用した。稲わら区は，収穫後の10月～11月に10～15cm程度に切断した稲わら500kg/10aを作土層にすきこんだ。

3. 耕種概要

供試品種はコシヒカリを用い，慣行に準じて箱育苗した。移植は5月10日前後に手植えにより行った。栽植密度は30×15cm (22.2株/m² 1株4本植)とし，9月10日～20日に収穫した。施肥は，堆肥を荒代かき時，基肥を植え代かき時に行い，穂肥を7月25日頃（追肥 I）と8月15日頃（追肥 II）の2回おこなった。病虫害防除などの一般管理は当地域における慣行栽培に準じて行った。なお，各試験区は，コンクリート枠で仕切り，施用した有機物や肥料が移動しないようにした。

4. 試料採取及び分析法

水稻収穫後に作土層を採取し，理化学性を測定した。作物体は，分けつ初期，最高分けつ期，幼穂形成期，出穂期，成熟期にそれぞれ各区から抜き取り，養分

吸収量を調査した。

土壌，作物体，堆肥などの分析は，「土壌環境基礎調査における土壌，水質及び作物体分析法」により実施した。

III 試験結果および考察

1. 土壌物理性の変化

有機物を14年間連用した跡地土壌の物理性を第4表に示した。試験開始時の作土は，固相率30.9%，気相率3.6%であった。これに対し，有機物を無施用で14年間栽培した無窒素区や三要素区は，固相率が34.0～34.3%に増加し，気相率は1.3～1.4%に減少し，膨軟性が低下する傾向を示した。一方，堆肥区や稲わら区は，固相率が30.8～32.3%，気相率が3.1～6.4%となり，14年間経過しても土壌の膨軟性が維持された。このことから，気相率および孔隙率を維持するためには，堆肥や稲わらの連用が必要であることが示された。また，本試験の供試土壌，黒ボク土と同様に，細粒黄色土や中粗粒灰色低地土においても有機物を連用することにより，固相率の減少や孔隙率の増加が認められたとの報告がある^{1,3,5)}。したがって，ほとんどの土壌が有機物連用により孔隙率の維持もしくは増加といった物理性改善効果があると思われる。

2. 土壌化学性の変化

跡地土壌の化学性を第5表に示した。試験開始時の値と比較すると，pHは6.4～6.5で各区とも同程度，CECは43～45me/100gでありやはり各区とも同程度で

あった。全炭素は試験開始前に8.21%であったものが8.93~9.55%に増加し、全窒素も0.58%であったものが0.61~0.67%となりやや増加した。可給態りん酸は、無窒素区および三要素区がそれぞれ3.3, 3.8mg/100gで同程度であったのに対し、堆肥区および稲わら区では4.4, 5.7mg/100gとなり増加した。交換性カルシウムは830~929mg/100gで全区で増加した。マグネシウムは稲わら区で117mg/100gとやや減少したが他の区は135~157mg/100gとなり増加した。加里は堆肥区が26mg/100g, 無窒素区及び稲わら区が17mg/100gと増加し、三要素区は同程度であった。跡地の可給態りん酸含量は、有機物を施用しない無窒素区や三要素区に比べて堆肥区および稲わら区がわずかに多く、14年間の有機物連用効果が認められた。しかし、試験開始時の1984年3月によりんを600kg/10a施用しており、初年度の跡地では、可給態りん酸が7.3~9.7mg/100gであった。したがって、有機物を投入してもこの値は減少する傾向であり、このことから、多湿黒ボク土では、有機物の慣行的な施用では、可給態りん酸の富化や維持がほとんど期待できず、より

ん等のりん酸質資材の積極的施用の必要性が示唆された。以上から、多湿黒ボク土における有機物連用の影響は、りん酸の施用が必要であるものの、腐植および塩基の集積が認められた。

3. 水稻の生育・収量に及ぼす影響

14作目の草丈および茎数の推移を第6表に示した。草丈は、無窒素区を除けば出穂期までの差が小さかったが、成熟期には稈長・穂長とも堆肥区・稲わら区が長くなった。茎数は、分けつ初期で堆肥区が420本/m²と他の区を大きく上回り、それ以降も他の処理区より茎数が多く、成熟期の穂数を多く確保した。分けつ初期の稲わら区は、三要素区よりやや少なかった(茎数378本/m²)ものの、それ以後茎数が多くなり、成熟期では三要素区より穂数を多く確保した。この生育量の差は、有機物の窒素発現量の違いである。一般に、堆肥は窒素放出型、稲わらは窒素取込型といわれており、稲わらのような窒素取込型は、土壌中の残留年数が長くなるにつれて窒素放出型へと変化していく。したがって、本試験においても、堆肥区では窒素の放出が生育初期から行われたため、水稻の

第4表 作土の物理性の変化(14作後)

処 理 区	三相分布 %			孔隙率 %	仮比重
	固相	液相	気相		
無窒素区	34.3	64.3	1.4	65.7	0.80
三要素区	34.0	64.7	1.3	66.0	0.80
堆 肥 区	32.3	64.6	3.1	67.7	0.76
稲わら区	30.8	62.9	6.4	69.3	0.75

第5表 作土の化学性の変化(14作後)

処 理 区	pH	T-C	T-N	C/N	CEC	可給態りん酸	交換性塩基 (mg/100g)		
	(H ₂ O)	%	%		me/100g	mg/100g	CaO	MgO	K ₂ O
無窒素区	6.5	8.93	0.61	14.6	43	3.3	865	147	17
三要素区	6.4	8.92	0.65	13.7	44	3.8	844	135	12
堆 肥 区	6.4	9.55	0.67	14.3	45	5.7	929	157	26
稲わら区	6.4	9.52	0.66	14.4	43	4.4	830	117	17

第6表 1997年(連用14年目)の草丈および茎数の推移

処 理 区	分けつ初期		最高分けつ期		穂肥前		出穂期		成熟期		
	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	草丈	茎数	稈長	穂長	穂数
	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	本/m ²	cm	cm	本/m ²
無窒素区	28	226	54	364	72	276	87	238	76.9	17.5	230
三要素区	34	382	61	629	79	379	100	355	85.2	17.8	332
堆 肥 区	33	420	61	734	83	411	103	381	89.0	18.4	375
稲わら区	31	378	61	672	79	412	101	373	88.7	18.5	363

生育が分げつ初期から旺盛であったと考えられる。一方、稲わら区は水稻の生育初期に土壤窒素発現量がやや抑えられ、水稻の生育中～後期から生育旺盛になったと考えられる。

初年度から14年間の収量指数の年次経過を第1図および第7表に、12～14作目の平均収量及び収量構成要素を第8表に示した。14年間のうち精玄米重が540kg/10a以上得られた回数は、無窒素区で0回、三要素区で4回、堆肥区及び稲わら区で9回となり、堆肥区及び稲わら区が高い収量性を示した。また12～14作目の平均収量は、無窒素区345kg/10a、三要素区531kg/10a、堆肥区566kg/10aおよび稲わら区594kg/10aとなり、有機物を連用することにより三要素区より30～60kg/10a増収した。有機物を施用した区の収量は年次により変動するものの、三要素区の収量レベルに対する収量指数が高く、増収傾向がみられた。したがって、本試験では、施用初年目に有機物の効果が確認されなかったものの、2年目以降、堆肥区の収量指数は101～120、稲わら区も97～116であり、三要素区と同等もしくは増収した。

本試験と同様に、堆肥や稲わらの施用により水稻が増収したとの報告がされている。堆肥施用は、初期生育か

ら生育旺盛となり増収、一方稲わら施用は、連用当初では窒素飢餓による減収が認められたが、連用3年後からは水稻の生育が旺盛になり増収した⁸⁾。また、堆肥施用は生育中期以降に土壤窒素を多く発現させ、籾数を増加させ、稲わら施用は生育中～後期に土壤窒素を多く発現させ、籾数の増加や登熟歩合を向上させた。これらの理由により水稻は増収した⁵⁾。これらの報告は、いずれも水稻の生育がやや小さかった。しかし、篠田・安西⁷⁾の試験では、有機物の施用効果が低く、増収効果は認められなかった。彼らの試験では、三要素区の平均収量が571kg/10aであり、収量が高かった。このため、有機物の施用により富化した窒素を稲が急激に吸収したため、籾数および茎数が増加し、過繁茂な生育状態となった。このことにより、登熟不良を引き起こし、収量の増加が見込まれなかったのである。したがって、有機物を連用する注意として、通常生育量が中程度～やや小さい場合は、有機物施用による増収効果が期待されるが、収量が多い場合は、施肥窒素や有機物投入量を減らすなどの方策が必要と思われる。

本試験では、堆肥区および稲わら区は三要素区と同等もしくは増収であるが、生育量をみると、三要素区の総

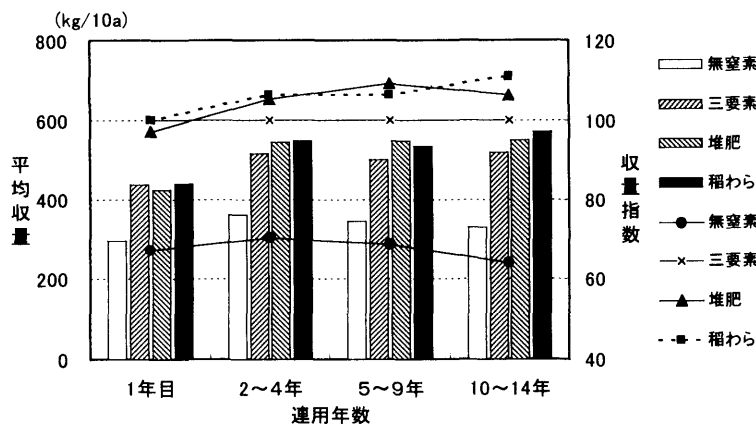
第7表 収量指数の推移

処 理 区	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
無窒素区	67	65	71	75	65	66	76	70	67	60	64	62	67	67
三要素区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	(437)	(540)	(542)	(467)	(489)	(465)	(489)	(542)	(520)	(462)	(537)	(522)	(563)	(507)
堆 肥 区	97	106	102	108	104	101	120	113	108	104	107	105	102	114
稲わら区	100	102	103	114	107	97	111	110	106	109	111	111	110	116

台風 低温 台風 冷害

注1. 太文字は540kg/10a以上の収量を得た時の収量指数。

2. () はkg/10aで三要素区の収量。



第1図 連用年数毎の平均収量と収量指数の推移

第8表 1995～1997年の収量及び収量構成要素（平均値）

処 理 区	わら重 kg/10a	精玄米重(指数) kg/10a	収量構成要素				
			穂数 本/m ² × 100/m ²	総籾数	一穂籾数	登熟歩合 %	千粒重 g
無窒素区	474	345 (65)	223	189	84.5	91.5	21.4
三要素区	662	530 (100)	330	286	86.6	91.5	21.7
堆肥区	726	566 (107)	358	311	86.9	90.3	21.6
稲わら区	721	594 (112)	343	326	95.0	89.8	21.6

第9表 1993年（冷害年）の収量及び収量構成要素

処 理 区	わら重 kg/10a	精玄米重(指数) kg/10a	収量構成要素				
			穂数 本/m ² × 100/m ²	総籾数	一穂籾数	登熟歩合 %	千粒重 g
無窒素区	551	276 (60)	269	182	67.6	81.6	18.7
三要素区	786	462 (100)	373	274	73.5	87.7	19.3
堆肥区	836	483 (104)	375	298	79.5	84.9	19.1
稲わら区	821	503 (109)	373	308	82.6	85.9	19.0

第10表 1995～1997年の窒素の時期別含有率と吸収量（平均値）

処 理 区	含 有 率 %						吸 収 量 kg/10a					
	分けつ		最高	追肥前	出穂期		分けつ		最高	追肥前	出穂期	
	初期	分けつ期			わら	もみ	初期	分けつ期			わら	もみ
無窒素区	3.41	1.80	1.23	0.93	0.74	1.12	0.69	2.34	3.23	4.68	3.26	4.72
三要素区	4.15	1.87	1.23	1.07	0.68	1.23	1.97	4.98	5.52	8.37	3.64	7.72
堆肥区	3.97	1.94	1.31	1.05	0.66	1.32	1.91	4.95	6.03	9.00	4.08	9.38
稲わら区	3.68	1.98	1.29	1.17	0.68	1.32	1.49	5.36	6.18	9.65	4.14	9.54

籾数が286、一番多い稲わら区でも326であり、全体的に生育量が小さく、収量が平均より低かった。

したがって、黒ボク土水田の有機物の効果が生育量の高い圃場にも適合できるのかを別に検討する必要がある。したがって、黒ボク土水田の有機物効果は初年度には判然としないが、連用により増収するといえる。また稲わらの秋すき込みは、連用7年目以降三要素区の収量を、また連用10年目から堆肥区の収量を上回り、連用により徐々に増収効果が発現することが示された。

14年間のうち、冷害のため各区とも最も収量が低かった1993年の収量結果を第9表に示した。収量構成要素は、第7表と比較して、わら重や穂数が高いものの、一穂籾数が少なく、登熟歩合も低く、千粒重が小さかったため、減収となった。これは、水稻が出穂期から成熟期までの期間が通常より長く（16日遅れ）、この期間の気象が低温、寡照で経過したためである。したがって、冷害により不稔籾の発生が生じ、登熟期間の低温により千粒重が

小さくなってしまった。しかし、冷害年でも堆肥区及び稲わら区は穂数が三要素区と同程度でも、籾数でやや多く、結果、三要素区の収量を上回った。しかし、第8表の収量指数と比較すると、堆肥区及び稲わら区の指数は減少するため、冷害年には有機物の連用効果が小さくなることが確認された。

4. 水稻の各成分吸収量の推移および品質調査

12～14作目の窒素含有率および窒素吸収量を生育時期別に第10表に示した。窒素含有率は、分けつ初期に、三要素区では4.15%と高かったが、堆肥区や稲わら区では最高分けつ期で1.94、1.98%と高まり、成熟期のもみで高い含有率であった。窒素吸収量は、分けつ初期に、三要素区や堆肥区がそれぞれ1.97、1.91kg/10aと高い値を示したものの、最高分けつ期に稲わら区の吸収量が5.36kg/10aと最も高い値を示した。さらに生育が進むにつれて堆肥区及び稲わら区の窒素吸収量が無窒素区や三要素区より増大していき、成熟期では堆肥区及び稲わら区の

わらがそれぞれ4.08, 4.14kg/10a, もみが9.38, 9.54kg/10aとなり, 三要素区の吸収量(わら3.64kg/10a, もみ7.72kg/10a)を大きく上回った。これは, 三要素区の窒素供給が生育前期に多かったのに対し, 有機物とくに稲わら区の水稲は, 生育後半に多くの窒素を吸収したためと思われる。上野ら⁹⁾は, 前期吸収量がやや少なく, 穂肥期以降吸収量が増加する経緯をとることが水稲を増収させる窒素の吸収パターンであると報告している。本試験では, 稲わら区の窒素吸収が生育初期に抑制され, 生育中~後期にかけて高まった。この窒素吸収パターンが, 三要素区や堆肥区よりも増収する要因になったと思われる。

12~14作目のリン吸収量を生育時期別に第11表に示した。リン含有率は, 生育初期から成熟期まで各区間の差が小さく, 吸収量は, 各区とも乾物重の増加にしたがって増加した。本谷²⁾は, 分けつ期の水稲のリンを0.20%以上にすることにより分けつを促進, 旺盛になるとしており, また中野ら⁴⁾は, リンを0.26%以下で分けつが劣ると報告している。本試験は, 分けつ初期から追肥前まで各区ともリン含有率が0.26%以上であり, 分けつに対するリン欠乏の影響はなかったものと考えられる。しかし, 出穂期ではいずれの区もリン含有率が減少してしまい, 成熟期の穂数が県のコシヒカリ平均穂数388本/m²に達しなかった。これは, 土壌中の可給態りん酸量が低か

ったため, 生育後期まで作物に必要な量を供給できなかったためと思われる。したがって多湿黒ボク土水田では, 成熟期の穂数確保のためにもりん酸質資材を積極的に施用する必要がある。

成熟期の窒素吸収量を第12表に示した。施用初年度は, 堆肥区および稲わら区とも三要素区との差が小さく, 有機物の施用効果が明瞭ではなかった。しかし堆肥区の窒素吸収量は, 連用2年目以降継続的に三要素区より高い傾向であった。一方稲わら区は, 連用6年目まで三要素区より低めであったものの, 連用9年目以降は三要素区に比べて高く推移した。また, 稲わら区の窒素吸収量は連用11年目以降堆肥区よりも常に多くなる傾向がみられた。これらのことから, 有機物の連用が窒素供給量を高める効果は, 堆肥では連用2年目から, 稲わらの秋すき込みは連用6年目から発現し, 連用11年目以降には, 稲わらの施用効果が堆肥より高くなることが示され, この傾向は, 収量の推移と同様であった。

成熟期におけるリン, カリウム, カルシウムおよびマグネシウムの吸収量を第13表~16表に示した。リンは初年度に三要素区や堆肥区, 稲わら区と明瞭な差を認められなかった。カリウムは堆肥区及び稲わら区で施用当初から吸収量が若干高まる傾向を示し, カルシウム, マグネシウムは年による変動はあるものの, 連用11年目に堆肥区および稲わら区の吸収量が三要素区より若干高まる

第11表 12~14作目のリンの時期別含有率と吸収量(平均値)

処 理 区	含 有 率 %						吸 収 量 kg/10a					
	分けつ 初期	最高 分けつ期	追肥前	出穂期		成熟期	分けつ 初期	最高 分けつ期	追肥前	出穂期		成熟期
				わら	もみ					わら	もみ	
無窒素区	0.31	0.37	0.31	0.21	0.10	0.27	0.06	0.47	0.82	1.07	0.42	1.16
三要素区	0.31	0.36	0.32	0.23	0.11	0.27	0.15	0.96	1.43	1.81	0.60	1.71
堆 肥 区	0.33	0.36	0.31	0.22	0.09	0.29	0.16	0.93	1.41	1.93	0.54	2.04
稲わら区	0.28	0.35	0.31	0.24	0.09	0.29	0.11	0.96	1.48	1.99	0.58	2.07

第12表 成熟期の窒素吸収量 (kg/10a)

処 理 区	初年度	2年目	6年目	9年目	11年目	14年目
無窒素区	8.74	5.29	5.19	6.00	6.04	7.98
三要素区	14.36	10.26	8.47	10.31	11.01	11.36
堆 肥 区	14.59	11.86	8.98	11.63	11.29	13.46
稲わら区	14.16	10.02	8.81	11.55	12.24	13.68

第13表 成熟期のリン吸収量 (kg/10a)

処 理 区	初年度	2年目	6年目	9年目	11年目	14年目
無窒素区	4.29	2.59	3.52	1.39	1.62	1.58
三要素区	6.46	6.16	4.53	2.04	1.59	2.31
堆 肥 区	6.45	6.74	5.48	2.24	2.80	2.58
稲わら区	6.34	6.34	4.43	2.21	2.70	2.65

第14表 成熟期のカリウム吸収量 (kg/10a)

処 理 区	初年度	2年目	6年目	9年目	11年目	14年目
無窒素区	11.64	7.06	9.30	10.01	8.75	8.69
三要素区	16.80	13.23	13.13	14.41	13.07	10.86
堆肥区	17.74	15.87	15.01	16.96	15.95	14.67
稲わら区	18.97	14.35	14.65	16.21	14.57	15.48

第15表 成熟期のカルシウム吸収量 (kg/10a)

処 理 区	初年度	2年目	6年目	9年目	11年目	14年目
無窒素区	1.81	1.23	1.15	1.15	1.08	1.19
三要素区	2.63	2.14	1.50	1.70	1.80	1.51
堆肥区	2.66	2.03	1.49	1.63	2.00	1.60
稲わら区	2.55	1.92	1.32	1.80	1.80	1.74

第16表 成熟期のマグネシウム吸収量 (kg/10a)

処 理 区	初年度	2年目	6年目	9年目	11年目	14年目
無窒素区	2.04	1.21	1.49	0.97	1.21	1.07
三要素区	3.05	2.26	2.03	1.48	1.95	1.58
堆肥区	3.23	2.76	2.22	1.58	2.12	1.80
稲わら区	2.64	2.40	1.81	1.45	1.94	1.73

傾向を示した。

リンは他の成分吸収量と比較して、14年間で低下した割合が最も高かった。連用2年目以降の吸収量は、堆肥や稲わらのような有機物を施用した区でも減少した。第1表および第5表に示したとおり、作土中の可給態りん酸は試験期間をとおして変化しないか、やや上昇する傾向であった。これに対し、第11表のとおりリンの吸収量は徐々に低下する傾向であり、黒ボク土水田におけるりん酸の動きについては、今後さらに検討する必要がある。

5. 品質

14作目の玄米品質調査を第17表に示した。玄米の窒素含有率を三要素区と比較すると、堆肥区及び稲わら区は同程度であり、無窒素区では低かった。外観品質は、三要素区と堆肥区が同程度、無窒素区と稲わら区が他の区よりやや劣る品質項目もあったが、その差は小さかった。したがって、堆肥区及び稲わら区は三要素区の品質と大差ないことが明らかとなった。

第17表 品質調査 (14作目)

処 理 区	外 観 品 質						玄米窒素 含有率%
	品質	等級	腹白	乳白	光沢	粒張	
無窒素区	上下	1下	微	無	中	中	1.12
三要素区	上下	1下	微	無	中	やや大	1.44
堆肥区	上下	1下	微	無	中	やや大	1.48
稲わら区	上中	1中	少	無	中	やや大	1.45

注1. 外観品質は食糧事務所調べ

2. 品質：上上～下下の9段階 等級：1上～3下の9段階

3. 腹白・乳白：無・微・少・やや少・中・やや多・多の7段階 光沢：良・やや良・中・やや否・否の5段階

粒張：小・やや小・中・やや大・大の5段階

第18表 14作後跡地土壌の窒素無機化量および乾土効果

処 理 区	無機化量		乾土効果 (mg/100g)
	乾土	生土	
試験開始時の土壌	—	—	8.70
無窒素区	8.87	1.74	7.52
三要素区	11.09	1.42	10.27
堆肥区	13.67	2.03	12.27
稲わら区	13.62	1.89	12.41

6. 土壌窒素発現量

14作後の跡地土壌を30℃で4週間室内培養し、土壌窒素無機化量および乾土効果について第18表に示した。乾土では各無機化量が無窒素区8.87mg/100g、三要素区11.09mg/100g、堆肥区13.67mg/100g、稲わら区13.62mg/100gとなり、各区により差が生じた。乾土効果は、試験開始時の土壌が8.70mg/100gであったのに対し、14作後の跡地で、無窒素区が7.52mg/100g、三要素区10.27mg/100g、堆肥区12.27mg/100g、稲わら区12.41mg/100gとなり、堆肥区や稲わら区は、三要素区に対し、約2mg/100g程度上回る結果となった。水田における窒素肥沃度が、水稻の収量に大きな影響を持っており、有機物の施用は、土壌中に窒素および炭素を集積させ、地力窒素を増大し、土壌を肥沃化することが周知されている。したがって、無機化量および乾土効果が示すように、有機物を施用した区（堆肥区、稲わら区）は、有機物を施用しなかった区（無窒素区、三要素区）に比べ、窒素供給力が大きく、そのため生育が良好で、収量も増加したと考えられる。

IV 総合考察

多湿黒ボク土水田圃場における、有機物（稲わら堆肥、稲わら）施用による水稻の生育、収量および土壌の理化学性への影響を調査した。有機物施用による連用効果は、①土壌の膨軟性維持、②腐植や塩基の集積、③水稻の安定増収することが確認された。これら多様な効果は、化学肥料では代替できないものである。1993年度のような冷害年では増収効果がやや劣るものの、有機物施用区が三要素区より増収しており、有機物の投入効果がみられた。また、稲わら500kg/10aの連用は、堆肥1500kg/10aの連用より増収効果が確認された。以上のことから、本県において推進している堆肥の施用および稲わらの秋すき込みが、水田土壌の地力維持および水稻の安定増収に大きく寄与していることを裏付ける結果となった。しかし、本試験で行われた水稻は全体的に生育量が小さく、収量水準が低かった。したがって、生育量が大きい場合

は、その生育に合わせた肥培管理をすることが重要になると思われる。また、黒ボク土水田におけるりん酸の動きについては、今後さらに検討する必要がある。

謝辞

研究を遂行するにあたり、土壌肥料部部長（現土壌作物栄養研究室長）岩崎秀穂氏にはご指導、ご助言いただいた。高崎恭子技術員には分析に協力いただいた。大貫悟技術員には試験ほ場の管理並びに調査等の補助に協力いただいた。また、環境技術部長、大村裕顕氏には校閲をしていただいた。また、多くの方々にご多大なるご支援をいただいた、ここに心から感謝の意を表す。

引用文献

1. 平野 繁・田辺 猛(1996)堆肥施用による水稻収量の増加要因の解析。土壌の物理性 73:31-35.
2. 本谷耕一(1961):東北における火山灰水田の稲作改良における土壌肥料科学的研究。東北農試研報 21:1-143.
3. 神谷径明・大石達明・嶋田昭史・水本順敏・堀 兼明(1994)中粗粒灰色低地土水田における有機物及び珪カルの連用が土壌及び水稻に与える影響。静岡農試研報 38:1-10.
4. 中野政行・橋本俊一・土山 豊(1970):開田地の生産力増強に関する研究 磷酸施用量とその持続性。栃木農試研報 24:19-31.
5. 野地良久・藤谷信二(1993)有機物の長期連用が土壌の理化学性と水稻の生育に及ぼす影響。大分県農技センター研報 23:1-12.
6. 佐藤紀男・川島 寛・菅野義忠(1983)土壌中における有機物と土壌改良資材の施用効果に関する研究。福島農試研報 22:43-54.
7. 篠田正彦・安西徹郎(1998)グライ土水田の水稻に対する有機物の連用効果 第4報。千葉農試研報 39:59-69.
8. 上野正夫・斉藤昭四郎・小南 力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木 正(1978)水稻に対する有機物および土壌改良資材の施用効果。山形県農試研報 12:57-86.
9. 上野正夫・安藤 豊・藤井弘志・佐藤俊夫(1988)水稻の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化量の関係。土肥誌 59:316-319.
10. 山田良三・塩田悠賀里・今泉諒俊(1985)堆肥連用土壌におけるセルラーゼ活性及びプロティナーゼ活性について。愛知農総試研報 17:126-132.

