

黒ボク土における水稻の収量に及ぼす連用施肥の影響

米川和範¹・今野 均¹・菅原慶子¹・林 久喜²・坂井直樹²

¹ 筑波大学農林技術センター, 305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

² 筑波大学農林学系, 305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

筑波大学農林技術センターの水田で1978年～1999年の22年間にわたり施肥連用試験を実施し、淡色黒ボク土における肥料の連用施肥が、水稻の収量および収量構成要素に及ぼす影響を検討した。無肥料区における収量は三要素区に対して13%と著しく低かった。要素欠乏の影響は無リン酸区で最も強く現れ、相対収量は21%で、年次間変動が最も大きかった。リン酸欠乏の影響はすべての収量構成要素に強く現れたが、決定時期の早い収量構成要素ほど影響が大きかった。無窒素区の相対収量は64%で、窒素欠乏による収量の減少は穂数の減少に起因していた。無カリ区の相対収量は109%で欠乏の影響は小さかった。窒素の倍量施用は穂数および一穂粒数を増加させ、その結果、登熟歩合は5%低下したが、玄米収量は33%増加した。リン酸の倍量施用は一穂粒数および穂数の増加を介して収量が21%増加した。カリは倍量施用しても収量構成要素および収量への影響はみられなかった。1 t/10aの堆肥の追加施用は一穂粒数の増加をもたらした。一方、ケイ酸カルシウムの施用は収量および収量構成要素には影響していなかった。

キーワード：収量，収量構成要素，水稻，淡色黒ボク土，肥料三要素，連用施肥

緒 言

水稻は無肥料で栽培しても三要素区に対して70～80%の収量が得られると一般に言われている⁶⁾。しかし、筑波大学農林技術センターの水田ではこの知見と大きく異なる様相を示し、無肥料区における生育はきわめて脆弱で、収量も三要素区の70%には遠く及ばない。

日本における農地は16の土壌群と2つの造成土壌群の計、18土壌群にまとめられている²⁾。これらの土壌群は立地条件によって異なった地域に異なった分布をしており、また、各土壌群の特性から水田、普通畑および樹園地ごとに立地比率が異なっている。火山国であるわが国では、普通畑では火山礫地、台地の黒ボク土と多湿黒ボク土が50%以上を占めているのに対し、大量の水を栽培に必要とする水田では多湿黒ボク土、黄色土など台地、丘陵地の土壌は20%で、80%は褐色低地土、灰色低地土、グライ土、黒泥土、泥炭土などの低地土である¹⁾。農林技術センターの水田は1977年に、黒ボク土の、主に畑地であった場所に造成されたもので、土壌統群は淡色黒ボク土に属しており、土壌の性質が日本における一般的な水田土壌とはやや異

なっている⁸⁾。

我が国の各試験研究機関の水田で実施されている施肥試験は、グライ土^{3-5, 12, 16)}、灰色低地土^{9, 12, 17)}などの低地土についての試験であり、黒ボク土での試験は主に畑土壌を対象にしており、黒ボク土では陸田に対する稲わらおよび堆肥の連用試験¹⁰⁾はみられたものの、水田における三要素試験の研究報告はみられない。このことが先に述べた農林技術センターにおける無肥料試験の結果と一般認識との違いとなっているものと考えられる。

農林技術センターの水田は広く研究、教育に供されており、本大学において水稻圃場試験を実施する上では土壌の性質に応じた適正な施肥設計を組むことが必要であり、それには黒ボク土水田における施肥反応を正確に把握する必要がある。そこで、本稿では農林技術センター水田の造成以来、22年にわたって同一圃場において同一の施肥設計で実施した施肥連用試験の結果を、主に収量構成要素および収量の点からとりまとめ、黒ボク土における水稻の施肥反応の特徴をとらえようとした。

材料および方法

試験は1978年から1999年の22年間にわたって筑波大学農林技術センター内実験水田で実施した。土壌は淡色黒ボク土で、表層から1～2メートル下には厚さ数メートルに及ぶ重粘土層があり、更にその下層は砂質土からなっている¹³⁻¹⁵⁾。水田は1977年に造成し、造成当年は水稻を無肥料で栽培して、均一栽培による地力の均一化を図った¹⁸⁾。1978年にコンクリート畦畔で1ブロック50m² (10m × 5m) に区画し、無肥料区、無窒素区、無リン酸区、無カリ区、三要素区、三要素+堆肥区、堆肥単用区の7試験区を割り当て、試験を開始した。その後1986年からは窒素倍量区、リン酸倍量区、カリ倍量区、三要素倍量区を加え、更に1988年からは三要素+ケイカル区を設けて、計12試験区で試験を実施してきた。

各試験区の施肥設計を表1に示す。基肥は植え代時に全層施肥し、追肥は1回目を幼穂形成期に、2回目を出穂20日前(減数分裂期)にいずれも表層施肥した。肥料には硫酸アンモニウ

表1 各試験区の施肥設計

試験区名	基 肥(kg/10a)			追肥 N(kg/10a)		追肥 K ₂ O(kg/10a)		備 考
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	1回目	2回目	1回目	2回目	
無肥料区	0	0	0	0	0	0	0	
無窒素区	0	7.5	7.5	0	0	0	0	
無燐酸区	5.0	0	7.5	1.25	1.25	0	0	
無加里区	5.0	7.5	0	1.25	1.25	0	0	
三要素区	5.0	7.5	7.5	1.25	1.25	0	0	
三要素+堆肥区	5.0	7.5	7.5	1.25	1.25	0	0	堆肥1000kg/10a
堆肥単用区	0	0	0	0	0	0	0	堆肥1000kg/10a
窒素倍量区	10.0	7.5	7.5	0	2.5	0	0	
リン酸倍量区	5.0	15.0	7.5	0	1.25	0	0	
カリ倍量区	5.0	7.5	10.0	0	1.25	2.5	2.5	
三要素倍量区	10.0	15.0	10.0	0	1.25	2.5	2.5	
三要素+ケイカル区	5.0	7.5	7.5	0	1.25	0	0	ケイカル100kg/10a

注1) 堆肥は基肥施用時に投入した。

注2) 追肥の1回目は幼穂形成期に、2回目は出穂20日前に行った。

注3) Nは硫酸アンモニウム、P₂O₅は重過リン酸石灰、K₂Oは硫酸カリを使用した。

△、重過磷酸石灰および硫酸カリを使用した。堆肥は2年間腐熟させた稲ワラ堆肥を用いた。なお、試験期間中、いずれの試験区も収穫後の稲わらは全量、圃場より搬出した。

供試品種には日本晴を使用した。1978年から1986年は5月上旬に播種し、6月中旬に25cm × 25cmの栽植密度で移植した。1987年から1999年は4月下旬に播種し、5月中旬に30cm × 15cmの栽植密度で移植した。なお、いずれの試験年も21日間育苗した稚苗を用い、1株4本植えとした。なお、殺虫剤、殺菌剤、除草剤などの栽培中の管理作業は慣行に従った。

灌漑方法は地下パイプ方式で、揚水ポンプによって汲み上げた池水を送水し、圃場に3ヵ所設けた吐出口から供給した(図1)。生育中の水管理は、原則として中干し期までは常時湛水し、それ以後は間断灌水を行い、黄熟期以後は落水した。

収量調査は、代表株法により収量構成要素を測定し、その積で玄米収量を算出した。各試験区とも成熟期に1区から50株採取し、そこから平均値に近い穂数の20株について穂重を測定し、平均穂重に最も近い5株について総穂数、登熟歩合、玄米千粒重、玄米水分含有率を測定して株当たり精玄米重を求めた。これに単位面積当たりの栽植株数を乗じて10a当たりの玄米収量を算出した。なお、登熟歩合は1.06の比重による比重選を行い、玄米収量は玄米水分含有率を一定にするため15%に換算して求めた。

結 果

各試験区における玄米収量の推移を図2、図3および図4に、試験期間中の玄米収量の平均値および変動を表2に示した。1978年～1999年の22年間の平均収量は三要素区では310kg/10a



注)圃場内の黒丸は灌漑用水の給水口

図1 試験圃場見取り図

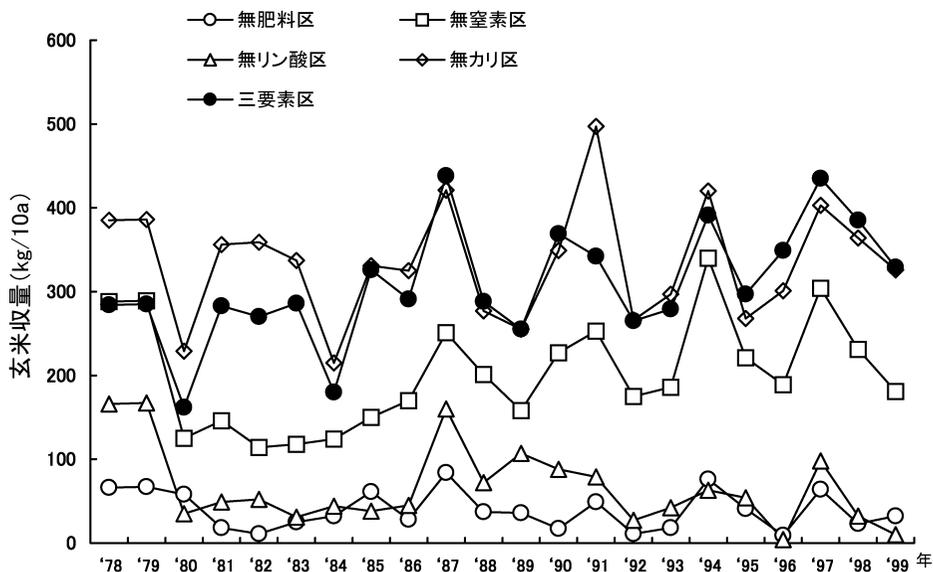


図2 要素欠乏が玄米収量に及ぼす影響

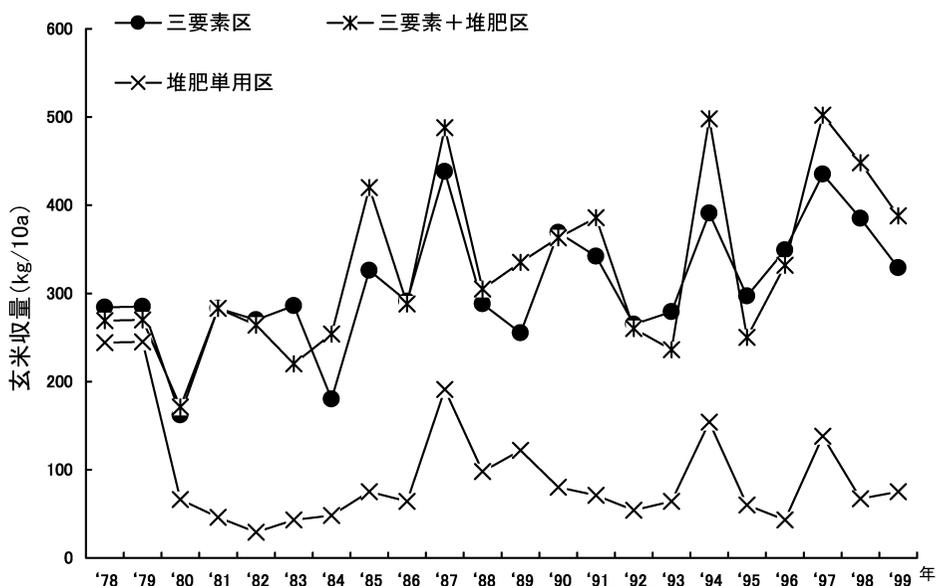


図3 堆肥投入が玄米収量に及ぼす効果

であった。三要素区に対する各試験区の相対収量は無肥料区が13%と最も少なく、次いで無リン酸区の21%であった。一方、無窒素区は64%であり、無カリ区は109%と三要素区と同程度の収量であった。玄米収量はいずれの試験区も年により変動したが、年次間変動の大きさは試験区により大きく異なっていた。三要素試験区の中で最も変動の大きかったのは無リン酸区で、その変動係数は70%にも及んだ。また、無リン酸区の最低収量は4 kg/10aで、全試験区中

黒ボク土における水稻の収量に及ぼす連用施肥の影響

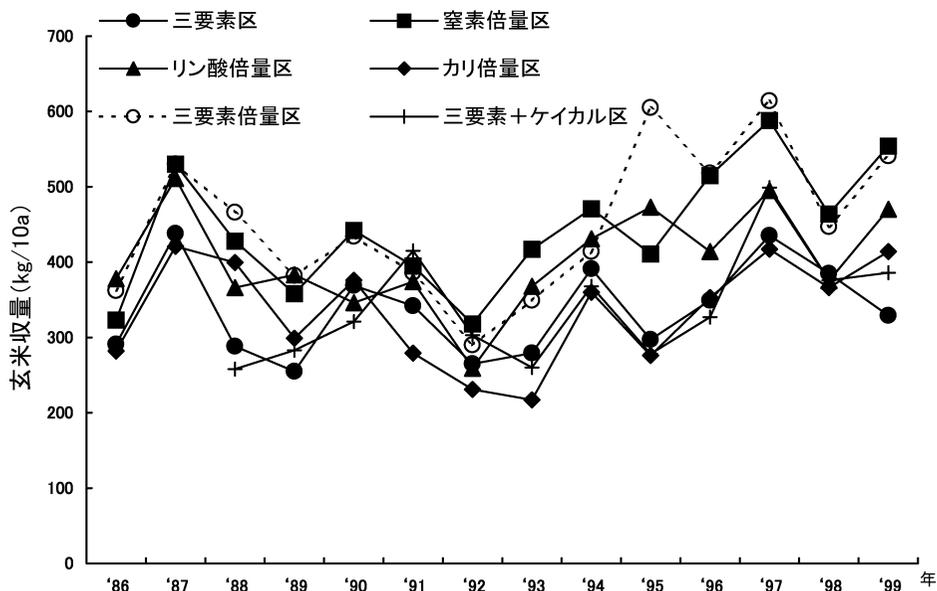


図4 要素多用が玄米収量に及ぼす効果

表2 試験期間における玄米収量の変動

試験区	試験期間	平均値		変動係数 (%)	最高収量 (kg/10a)	最低収量 (kg/10a)
		(kg/10a)	(%) ¹⁾			
無肥料区	1978～1999	40	13	58.3	84	9
無窒素区	1978～1999	200	64	31.3	340	114
無リン酸区	1978～1999	66	21	70.0	166	4
無カリ区	1978～1999	333	109	20.5	497	215
三要素区	1978～1999	310	100	22.3	438	162
三要素+堆肥区	1978～1999	332	107	28.5	502	171
堆肥単用区	1978～1999	90	29	61.1	244	29
三要素区	1986～1999	337	100	18.0	438	255
窒素倍量区	1986～1999	444	133	18.6	588	318
リン酸倍量区	1986～1999	403	121	16.8	511	259
カリ倍量区	1986～1999	335	100	20.9	421	217
三要素倍量区	1986～1999	453	136	21.6	614	290
三要素+ケイカル区	1988～1999	340	102	21.2	499	258

注) ¹⁾三要素区を100とした時の比率

最低の収量であった。無肥料区における年次間変動も大きかったものの、その変動係数は58.3%であり、無リン酸区よりも変動が小さい結果となった。無窒素区の変動係数は31.3%で無リン酸区、無肥料区より変動が小さく、一方、無カリ区は20.5%で三要素区の22.3%と同程度であった(表2)。

堆肥単用区の相対収量は29%であり、一方、三要素+堆肥区は107%で、1 t/10aの堆肥施用の効果はあまり顕著ではなかった(図3)。また、変動係数は堆肥単用区で61.1%、三要素+堆肥区で28.5%であり、1 t/10aの堆肥を投入しても収量が安定する効果はみられなかった(表2)。

三要素を倍量施肥することにより高収量が得られたが、その効果は肥料成分により異なって

いた。即ち、カリ倍量区の相対収量は100%でカリウムを倍量施肥しても収量の増加には貢献しなかったが、窒素倍量区では133%、リン酸倍量区では121%であり、いずれも大きく増収した。最も平均収量が高かったのは三要素倍量区で、三要素区に比べて36%高かった。一方、三要素+ケイカル区の相対収量は102%で、ケイ酸カルシウムの施用に増収効果は見られなかった。また、いずれの要素区も変動係数は17~22%の範囲で、倍量施肥による顕著な収量の安定化作用は認められなかった(表2)。

収量構成要素である穂数の平均値は三要素区で245本/m²であった。要素欠乏の影響は無肥料区および無リン酸区で三要素区に対してそれぞれ35%、38%と最も大きく、無窒素区では66%であった。一方、無カリ区の穂数は104%で、カリウムは穂数に影響していなかった。また、年次間変動は無リン酸区で最も大きく、無肥料区、無窒素区の順に小さくなった。堆肥単用区は三要素区に対し44%で、一方、三要素+堆肥区の値は三要素区と同じであった。要素の倍量施肥では、カリ倍量区は97%で穂数に対する効果はみられなかったが、リン酸倍量区で106%、窒素倍量区では120%と高く、三要素倍量区では130%となり年次間変動も小さくなった。ケイ酸カルシウムを施用しても穂数の増加は見られなかったが、年次間変動は最も小さくなった(表3)。

一穂粒数の平均値は三要素区で68.0個であった。要素欠乏の影響は無肥料区が三要素区に対し47%と最も大きく、次いで無リン酸区の63%で、両区とも年次間変動が大きかった。一方、無窒素区および無カリ区の一穂粒数の平均値および変動係数とも三要素区と同程度で、要素欠乏の影響が見られなかった。堆肥単用区は三要素区に対し76%で、年次間変動もやや大きく、一方、三要素+堆肥区の値は108%と大きかった。要素の倍量施肥ではカリ倍量区で三要素区に対し104%、リン酸倍量区で112%、窒素倍量区で116%、三要素倍量区で106%といずれも一穂粒数を増加させ、リン酸倍量区を除いて年次間変動も小さくなった。ケイ酸カルシウムの施用で一穂粒数は8%増加し、年次間変動は最も小さくなった(表4)。

登熟歩合の平均値は三要素区で85.8%であった。要素欠乏の影響は無肥料区および無リン酸区が三要素区に対しそれぞれ85%および86%と最も大きく、年次間変動も著しく大きかった。一方、無窒素区および無カリ区の登熟歩合はそれぞれ三要素区の99%および101%で、平均値、

表3 試験期間における穂数の変動

試験区	試験期間	平均値		変動係数 (%)	最高値 (本/m ²)	最低値 (本/m ²)
		(本/m ²)	(%) ¹⁾			
無肥料区	1978~1999	85	35	29.2	133	43
無窒素区	1978~1999	159	66	24.3	250	104
無リン酸区	1978~1999	94	38	35.0	184	53
無カリ区	1978~1999	252	104	19.7	385	186
三要素区	1978~1999	245	100	20.7	379	152
三要素+堆肥区	1978~1999	244	100	23.2	408	155
堆肥単用区	1978~1999	108	44	40.1	248	61
三要素区	1986~1999	263	100	18.3	379	205
窒素倍量区	1986~1999	314	120	16.9	445	214
リン酸倍量区	1986~1999	276	106	17.8	405	195
カリ倍量区	1986~1999	251	97	17.8	355	189
三要素倍量区	1986~1999	336	130	15.4	441	233
三要素+ケイカル区	1988~1999	245	95	11.5	314	220

注) ¹⁾三要素区を100とした時の比率

年次間変動ともに三要素区との間に差がみられなかった。堆肥単用区は三要素区に対し88%で年次間変動も大きかったが、一方、三要素+堆肥区の値は99%と堆肥の投入による登熟歩合向上効果は認められなかった。要素の倍量施肥ではリン酸、カリおよび三要素の倍量区はいずれも三要素区との間に差はみられなかったが、窒素倍量区は三要素区の95%で、登熟歩合が低下した。また、ケイ酸カルシウムを施用しても登熟歩合に変化はみられなかった(表5)。

千粒重の平均値は三要素区で22.0gであった。要素欠乏の影響は無肥料区が三要素区に対し88%と最も大きく、次いで無リン酸区の90%で、両区とも年次間変動も大きかった。一方、無窒素区および無カリ区の千粒重の平均値および変動係数とも三要素区と同程度で、要素欠乏による影響はみられなかった。堆肥単用区は三要素区に対し94%であったが、三要素+堆肥区の値は100%と三要素区との間に差がみられなかった。三要素の倍量施肥ではいずれの区も三要素区との間に差がみられなかった(表6)。

表4 試験期間における一穂初数の変動

試験区	試験期間	平均値		変動係数 (%)	最高値 (個/穂)	最低値 (個/穂)
		(個/穂)	(%) ¹⁾			
無肥料区	1978~1999	32.1	47	39.6	61.3	11.2
無窒素区	1978~1999	67.6	101	10.7	86.4	56.4
無リン酸区	1978~1999	42.4	63	37.3	66.8	9.9
無カリ区	1978~1999	69.5	103	11.2	85.5	59.2
三要素区	1978~1999	68.0	100	13.8	85.5	53.1
三要素+堆肥区	1978~1999	72.8	108	16.6	104.7	52.7
堆肥単用区	1978~1999	51.4	76	19.1	69.7	37.2
三要素区	1986~1999	65.3	100	13.3	83.8	53.1
窒素倍量区	1986~1999	75.2	116	10.6	88.8	60.6
リン酸倍量区	1986~1999	73.0	112	14.0	92.0	60.6
カリ倍量区	1986~1999	67.3	104	11.3	84.6	57.9
三要素倍量区	1986~1999	68.6	106	11.8	86.0	61.1
三要素+ケイカル区	1988~1999	69.6	108	10.5	83.3	60.0

注) ¹⁾三要素区を100とした時の比率

表5 試験期間における登熟歩合の変動

試験区	試験期間	平均値		変動係数 (%)	最高値 (%)	最低値 (%)
		(%)	(%) ¹⁾			
無肥料区	1978~1999	72.8	85	25.0	90.5	31.0
無窒素区	1978~1999	84.9	99	8.1	95.7	70.8
無リン酸区	1978~1999	73.3	86	23.7	88.4	24.5
無カリ区	1978~1999	86.6	101	5.1	93.4	77.3
三要素区	1978~1999	85.8	100	7.9	93.6	68.0
三要素+堆肥区	1978~1999	85.1	99	7.4	95.1	65.1
堆肥単用区	1978~1999	75.4	88	15.6	92.0	47.8
三要素区	1986~1999	88.2	100	5.9	93.6	76.7
窒素倍量区	1986~1999	83.9	95	4.6	92.2	77.3
リン酸倍量区	1986~1999	89.0	101	5.8	95.3	78.5
カリ倍量区	1986~1999	88.1	100	7.8	94.9	69.8
三要素倍量区	1986~1999	86.1	98	8.2	93.9	67.4
三要素+ケイカル区	1988~1999	88.4	101	5.5	94.7	75.3

注) ¹⁾三要素区を100とした時の比率

成熟期における稈長の平均値は三要素区で73cmであった。要素欠乏の影響は無肥料区および無リン酸区で三要素区に対しそれぞれ62%、71%と最も大きく、無窒素区では88%であった。一方、無カリ区は三要素区と同じであった。堆肥単用区は三要素区に対し79%と差が大きかった。一方、三要素+堆肥区は102%で三要素区と同等であった。要素の倍量施肥ではリン酸倍量区、カリ倍量区では三要素区との間に差はみられなかったが、窒素倍量区は111%、三要素倍量区では109%と三要素区に対し大きくなった。また、ケイ酸カルシウムを施用しても稈長に影響はみられなかった(表7)。

玄米収量と経過年数との相関分析を行った結果、試験区の中で玄米収量と経過年数との間に有意な正の相関関係がみられたのは三要素区、三要素+堆肥区、窒素倍量区、三要素倍量区、三要素+ケイカル区の5区であった。試験の経過年数が進んでも、無肥料区、要素欠乏区、堆肥単用区、リン酸倍量区、カリ倍量区で収量水準は変わらなかった(表8)。

表6 試験期間における千粒重の変動

試験区	試験期間	平均値		変動係数 (%)	最高値 (g/1000粒)	最低値 (g/1000粒)
		(g/1000粒)	(%) ¹⁾			
無肥料区	1978~1999	19.3	88	7.3	21.9	15.8
無窒素区	1978~1999	21.6	98	5.1	24.5	20.4
無リン酸区	1978~1999	19.8	90	8.6	22.2	14.4
無カリ区	1978~1999	22.0	100	5.0	24.6	20.3
三要素区	1978~1999	22.0	100	5.5	24.2	20.1
三要素+堆肥区	1978~1999	22.0	100	5.0	24.5	20.6
堆肥単用区	1978~1999	20.6	94	4.9	23.1	19.1
三要素区	1986~1999	22.5	100	5.3	24.2	20.9
窒素倍量区	1986~1999	22.5	100	4.4	24.0	20.3
リン酸倍量区	1986~1999	22.8	101	5.7	25.4	21.2
カリ倍量区	1986~1999	22.6	100	4.4	24.4	21.5
三要素倍量区	1986~1999	22.8	101	6.1	25.6	20.9
三要素+ケイカル区	1988~1999	22.5	99	4.9	24.9	21.1

注) ¹⁾三要素区を100とした時の比率

表7 試験期間における稈長の変動

試験区	試験期間	平均値		変動係数 (%)	最高値 (cm)	最低値 (cm)
		(cm)	(%) ¹⁾			
無肥料区	1978~1999	45	62	17.1	57.7	29.1
無窒素区	1978~1999	64	88	12.2	77.9	54.4
無リン酸区	1978~1999	52	71	23.5	72.0	28.4
無カリ区	1978~1999	73	100	10.3	87.3	60.5
三要素区	1978~1999	73	100	9.9	87.2	56.4
三要素+堆肥区	1978~1999	74	102	11.2	89.9	57.4
堆肥単用区	1978~1999	58	79	16.2	73.2	40.5
三要素区	1986~1999	75	100	10.1	87.2	62.9
窒素倍量区	1986~1999	82	111	8.9	93.3	71.0
リン酸倍量区	1986~1999	77	103	11.8	89.9	65.8
カリ倍量区	1986~1999	75	100	12.7	89.7	60.1
三要素倍量区	1986~1999	81	109	9.8	94.5	67.8
三要素+ケイカル区	1988~1999	76	101	12.6	90.3	62.9

注) ¹⁾三要素区を100とした時の比率

考 察

全国調査の結果、水稻は無肥料で栽培しても標準施肥量の約78%の収量が得られることが知られている⁶⁾。しかし、本試験の結果、農林技術センターの水田における無肥料区の玄米収量は三要素区の13%にとどまり、全国の調査結果とは大きく異なっていた。また黒ボク土と同様な台地、丘陵地の土壌である黄色土水田における無肥料区の結果である41%よりも著しく低い値であった⁷⁾。これは、無肥料栽培が m^2 当たり穂数、一穂粒数、登熟歩合、千粒重のすべての収量構成要素に影響したことが原因であった。無肥料区では必要な要素全てが欠乏し、初期生育から栄養生長が遅延し、その後の生産も停滞して収量が得られなかったものと考えられる。農林技術センター水田の灌漑用水は雨水や地下浸透水を使用しており、無肥料区における要素の供給源は地力以外には灌漑用水の養分によっている。香川らは1987年から1991年の4年間にわたり、農林技術センター水田に供給される灌漑水の水質を調査した結果、灌漑水によって供給される養分量は、1作あたり N 1.4kg/10a, K_2O 3.5kg/10a, CaO 25kg/10a, MgO 9kg/10a, SiO_2 10kg/10a 程度と推定した⁸⁾。しかし、無肥料区の平均玄米収量は40kg/10a と極めて低いことから、灌漑水の直接的な肥料効果は極めて小さいと考えられる。

無窒素区における平均玄米収量は200kg/10a で、三要素区に対して64%であった。埼玉県、青森県などの各県試験場における水稻の無窒素栽培の試験成績では水稻の玄米収量は無窒素栽培を継続しても150~250kg/10a レベルを維持しており、この収量に相当する窒素量がラン藻、光合成細菌および水稻の根圏微生物による窒素固定に依存していると考えられている¹¹⁾。本試験の結果も無窒素区の収量レベルはこれと同程度であり、同様に土壌微生物による窒素固定が無窒素区における収量確保につながったと考えられる。窒素欠乏の影響は穂数にのみ現れ、一穂粒数、登熟歩合および千粒重は影響を受けなかった。一方、窒素の倍量施肥は穂数、一穂粒数の増加に起因した収量の増加をもたらしたが、窒素過多による過繁茂から受光態勢が悪化した結果、登熟歩合は低下した。

供試した土壌は淡色黒ボク土で、開田時の土壌調査の結果、リン酸吸収係数は2340と高い値を示し¹⁹⁾、リン酸欠乏症状のでやすい土壌である。一般に水稻では無リン酸区においても三要素区の95%の収量が得られることが知られているが、淡色黒ボク土の農林技術センター水田

表8 試験年に対する玄米収量の相関

試験区名	相関係数
無肥料区	0.20 ns
無窒素区	0.32 ns
無磷酸区	0.38 ns
無加里区	0.12 ns
三要素区	0.52 *
三要素 + 堆肥区	0.49 *
堆肥単用区	0.19 ns
窒素倍量区	0.56 *
リン酸倍量区	0.17 ns
カリ倍量区	0.26 ns
三要素倍量区	0.45 *
三要素 + ケイカル区	0.52 *

注) * : 5%で有意, ns : 有意なし

においては、要素欠乏の影響はリン酸で最も顕著であり、無リン酸区の相対収量は21%と著しく低かった。リン酸欠乏の影響は決定時期の最も早い穂数に最も強く影響し、次いで一穂粒数、登熟歩合、千粒重の順に決定時期が遅い収量構成要素ほど影響が弱まった。また、いずれの収量構成要素もリン酸欠乏により年次間変動が著しく増大し、収量の変動係数は70%で、全試験区中最大であった。一方、リン酸の倍量施肥は登熟歩合および千粒重には影響しなかったものの、一穂粒数および穂数の増加をもたらした。リン酸が水稻の生育に最も関係する時期は分けつ期から最高分けつ期といわれているが、本試験もこれを裏付ける結果となった。また、リン酸施用によって藻類などの生育が旺盛となり、窒素固定が無リン酸区よりも多くなってリン酸施用が窒素施用と同様の効果を持ったものと考えられる。

カリの欠乏は玄米収量には影響がなく対照区と同等であり、また倍量においても収量への影響はなかった。これは細粒黄色土水田における無カリ区の試験結果と同様であった⁷⁾。

有機物施用の効果として、一穂粒数の増加と、登熟歩合が高く維持されることで登熟粒数が増大して増収することが多湿黒ボク土で報告されている¹⁰⁾。本試験においても三要素+堆肥区では一穂粒数の増加に起因した玄米収量の増加が認められた。このことから淡色黒ボク土においても堆肥連用によって富化した窒素が分けつ盛期以降に水稻に吸収されて生育を促進したものと考えられる。

経過年数と収量との相関を検討した結果、三要素が投入されると、堆肥投入の有無にかかわらず、経過年数の増加に伴い収量が増加する傾向がみられた。これは、当試験水田の黒ボク土の低収田においては水稻による養分の収奪がされず、投入した肥料および天然供給された養分が土壌の肥沃化となって、玄米収量に反映され、増収傾向に表れたものと考えられる。

収量の年次間変動には、変動要因としては土壌条件、有効積算地温および日射量などが大きく関係していると思われる。火山灰水田における有機物の連用効果試験で収量の変動係数は無窒素区が最も大きく、化成肥料区が最も小さいとの報告があり¹⁰⁾、要素欠乏区で年次間変動が大きいことが本報告と一致していた。しかし、年次間の収量性の差は、一穂粒数と千粒重の違いによることが明らかであるとあるが、本試験においては穂数の差が最も大きく影響していた。火山灰水田では透水係数が高く、減水深の大きいことが特徴としてあり、地温あるいは水温の低い生育初期には大きな影響を及ぼすと考えられる。地力の低い黒ボク土壌では低温寡照年には要素欠乏区では三要素区以上に、栄養生長期にリン酸欠乏症状が顕著にあらわれ、生育初期の生長が阻害され、分けつ発生の抑制により有効茎が確保できず、生殖生長期においても収量構成要素のすべてに変動があらわれるものと思われる。三要素区は連用施肥と藻類の共生作用による窒素固定などにより土壌の肥沃度が上昇したため、欠乏区に比べ影響を受けることが少なくなり、年次間変動が小さくなったものと推測される。また、三要素区、三要素+堆肥区、三要素+ケイカル区および倍量区の中に連用試験を継続することにより増収傾向が認められるが、これは連用施肥の効果として地上部の乾物生産とともに根系の発達が増進になり、土壌の肥沃に關与している可能性も考えられる。玄米収量など乾物生産における年次間変動と変動要因についての検討は今後の研究課題である。

一般に水稻に対しては窒素の肥効が最も大きく、リン酸とカリの効果は低いとされている。しかし、リン酸吸収係数の大きい黒ボク土の畑土壌ではリン酸の肥効が著しく、水田においても例外でないことが本試験の結果明らかとなった。黒ボク土水田の生産力を規制する最大の要因はリン酸欠乏であると考えられ、リン酸の増施、塩基および微量元素の補給、良質堆肥の

施用などでリン酸の不溶解性を解消し、利用率の向上を図ることにより収量を高めることができると考えられる。

謝 辞

本試験を実施するに当たり、香川邦雄前筑波大学助教授には試験区の設計および調査法でご協力いただいた。また、斉藤耕栄技官、中沢 操技官、軽部 潔技官および大宮秀昭技官には栽培・調査を補助していただきご協力いただいた。記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 足立嗣雄．1987．土壌の性格と農業．加除式 農業技術体系．土壌肥料編3．土壌の性質と活用，農山漁村文化協会，東京． 1-12．
- 2) 天野洋司．1994．日本の土壌．松坂泰明，栗原 淳監修，土壌・植物栄養・環境事典．博友社，東京．52-57．
- 3) 安西徹郎・金子文宣・松本直治．1989．グライ土水田に対する有機物の連用効果．第1報 水稻の生育収量からみた有機物の連用効果．千葉県農試研報．30：71-80．
- 4) 安西徹郎・金子文宣．1990．グライ土水田に対する有機物の連用効果．第2報 水稻の窒素吸収および土壌の窒素発現からみた有機物の連用効果．千葉県農試研報．31：9-18．
- 5) 安西徹郎．1993．グライ土水田に対する有機物の連用効果．第3報 稲わら灰の施用が水稻の生育収量，養分吸収量および土壌の化学性におよぼす影響．千葉県農試研報．34：13-21．
- 6) 平田 熙．1975．水田の施肥．野口弥吉監修，農学大事典．養賢堂，東京．1333-1342．
- 7) 井深武夫・濱田千裕・釋 一郎．水稻に対する5要素継続試験．愛知県農総試安城農技センター作物研究資料14：44-45．
- 8) 香川邦雄・今野 均・米川和範・軽部 潔．1998．農林技術センター水田の灌漑水量とその水質並びにそれに伴う養分の供給．筑波大農林研報11：31-38．
- 9) 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．静岡県農試研報38：1-10．
- 10) 加藤弘道・茂垣慶一・本田宏一・石川 実．1985．火山灰水田における有機物の連用効果に関する研究．第1報 有機物の連用が水稻の生育・収量および養分吸収におよぼす影響について．茨城県農試研報25：37-54．
- 11) 川口桂三郎．1997．土壌微生物．土壌学概論．養賢堂，東京．54-55．
- 12) 宮川 修・塩口直樹・島田義明．1994．石川県下の異なる土壌タイプの水田への有機物連用が土壌理化学性と水稻収量に及ぼす影響．石川県農総研報18：21-31．
- 13) 永塚鎮男・大羽 裕．1982．筑波台地における土壌の分布様式と成因的特徴．土肥誌53(5)：457-464．
- 14) 大羽 裕・永塚鎮男・富川昭男．1976．農林技術センター用地の土壌の現況．筑波の環境研究1：44-48．
- 15) 大羽 裕・永塚鎮男・富川昭男．1978．農林技術センター地域の土壌の理化学性．筑波の環境研究3：125-130．
- 16) 篠田正彦・安西徹郎．1998．グライ土水田に対する有機物の連用効果．第4報 有機物の施用が13年間にわたるコシヒカリの生育収量におよぼす影響．千葉県農試研報．39：59-69．
- 17) 津田和久・片山 理・小林秀臣・文屋千代・城山 豊．1995．灰色低地土水田における有機物とけいカルの連用効果．第1報 土壌の理化学性におよぼす影響．京都農研報17：51-59．
- 18) 筑波大学農林技術センター水田作業グループ．1993．センター水田の造成経過及び区画．農林技術センター水田における開田後16年間に行われた調査・研究成績．2-4．
- 19) 筑波大学農林技術センター水田作業グループ．1993．センター施肥量展示田における水稻収量の変遷(1978～1992)．農林技術センター水田における開田後16年間に行われた調査・研究成績．32-42．

The Effect of Successive Application of NPK Elements and Rice Straw Compost on Rice Yield in Ando Paddy Field

Kazunori YONEKAWA¹, Hitoshi KONNNO¹, Keiko SUGAWARA¹,
Hisayoshi HAYASHI² and Naoki SAKAI²

¹ Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai,
Tsukuba, Ibaraki 305-8577

² Institute of Agriculture and Forestry, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai,
Tsukuba, Ibaraki 305-8577

Abstract

We carried out the experiment of successive application of NPK elements and rice straw compost in the paddy field of Light-colored Andosol from 1978 to 1999 at Agricultural and Forestry Research Center, the University of Tsukuba. The results were as follows:

The brown rice yield in non-fertilizer plot was only 13% compared to NPK elements plot (the control). Non-phosphate affected yield most severely among the nutrient deficient plots and the yield decreased to 21% of control and year-to-year variation was largest. All of the yield components were affected by the lack of phosphate but the effect on the yield components was greater as the determination time of the components were earlier. The yield in non-nitrogen plot was 64% to the control and the yield reduction in the plot was resulting from the reduction of number of panicles per hill. On the other hand, the yield in non-potassium plot was 109% to the control, so the lack of potassium didn't affect the yield. Because of the increment of number panicles per hill and number of grains per head in double application of nitrogen, the yield increased 33% in spite of 5% decrease of percentage of ripened grains. Double phosphate application increased yield by 21% resulting from the increase of number of panicles per hill and number of grains per head. There were no effects on yield and yield components in the double potassium plot. Application of rice straw compost at the rate of 1t/ha/year with NPK fertilizer increased the number of grains per head and yield was 107% to the control. On the other hand, calcium silicate didn't affect yield and yield components in the paddy field of Light-colored Andosol.

Key words : Light-colored Andosol, NPK elements, paddy rice, successive application, yield, yield component