

水田における堆肥連用が土壌化学性と水稻収量に与える影響

有吉 真知子・河野 竜雄・原田 夏子*

Continuous use of compost on soil chemistry and rice yield in paddy fields

ARIYOSHI Machiko, KAWANO Tatsuo and HARADA Natsuko

Abstract: We investigated 46 years of application of rice straw cow manure compost and 24 years of cow manure bark compost on soil chemistry and rice yield in skeletal fluvial alluvial soil widely distributed in the prefecture. It was observed that humus, CEC, exchangeable bases and available nutrient increased by the amount applied and its components. Yield was about 10% higher in area continuously applied with rice straw cow manure at 0.5 t/10a/year from the sixth year and 1.5 t/10a/year from the first year than the chemical fertilizer applied area. But in the area where 1.5 t/10a was continuously applied, excess spikelet number was recorded, resulting in a decrease in thousand-kernel weight and yield. Based on the results obtained, it is desirable to apply 0.5 t/10a of compost every year in order to maintain soil fertility and stabilize yield. In the case of short-term fertility enhancement, it is recommended to apply 1.5 t/10a for several years and followed by continuous application of 0.5 t/10a.

Key words: organic matter applications, cow manure compost, spikelet number, percentage of ripeness, fertilizer reduction

キーワード：有機質資材、牛糞堆肥、籾数、登熟歩合、減肥

緒言

2021年5月に策定されたみどりの食料システム戦略では、2050年までに炭素排出量ゼロを目指す取り組みや化学肥料使用量を3割削減することが目標に掲げられている。その中において、農地土壌は有機物を腐植成分として蓄積する炭素吸収源であることから、地球温暖化対策の観点からも注目され、炭素蓄積の推移などの調査が進んでいる。また、水田では、地力が作物に与える影響が大きいことから、地力（土壌生産力）の維持が不可欠であり、有機物施用による養分供給に加えて、土壌の物理性、化学性の改善が、生産性の向上に有効であることが古くから知られている。しかし、

近年は、高齢化や大規模経営に伴う省力化に伴い、労力のかかる有機物施用が敬遠され、本県においても、堆肥の施用量減少による地力低下が懸念される状況にある。一方で、化学肥料が高騰し、生産者の肥料代の増加も深刻な問題となっている。

そこで、堆肥由来の養分を活用することで、化学肥料の使用量削減、更には肥料代軽減にも寄与できることから、改めて有機物の施用効果について考えてみたい。

本県では1976年より有機物連用試験を開始し、稲わら牛糞堆肥を46年、牛糞バーク堆肥を24年にわたり連年施用してきた。これまで、稲わら堆肥3t(1.5t×2回)を14年連用した土壌において無窒素で栽培した場合、移植後から窒素の発現が始まり、収量で

* 現 山口農林水産事務所

64.7 kg/a を得るだけの窒素供給力がある一方で、生育後半の窒素供給が不足して登熟歩合が低下すること（久保・福田，1990）が報告された。また、堆肥の連用により過繁茂、籾数過剰となるため、基肥を減量した方が良いとの報告もある（望月ら，2006）（住居・徳永，2009）。このため、本県においても、稲わら牛糞堆肥については、連用12年目となる1987年から基肥窒素を4割程度減量、牛糞バーク堆肥については、施用開始当初から基肥を施用しない条件で、作付体系や品種を変更しながら、水稻栽培を継続してきた。

有機物資材の連用については、数年から十数年程度の連用による作物の生育・収量や土壌に及ぼす影響に関する研究は見られるものの、長期にわたる試験は数が少ない。この度、当センターの移転に伴い、栽培を終了することとなった堆肥連用ほ場の試験結果には、数多くの研究者とそれを支える関係者が収集した貴重なデータが潜んでいる。そこで、県内に広く分布する河成沖積の礫質土壌水田を対象に、長期の堆肥連用が土壌の化学性に与える影響について整理し、それと水稻の収量や品質との関係を明らかにする視点からデータ解析を試みたので、ここに報告する。

材料および方法

1 耕種概要

試験は山口県農林総合技術センター（山口県山口市）の水田ほ場91号田（礫質灰色化低地水田土、粘礫質）において、1976年から2021年の46年間実施した。1998年までは水稻の裏作として麦を栽培し、わらはは全量持ち出した。1999年以降、水稻のみを栽培し、稲わらを全量還元する管理に変更した。品種と管理方法の推移は第1表に示した。

2 処理区の設置

試験開始当初は、10aほ場を5区画に仕切り、無窒素区、化学肥料区、堆肥施用区、堆肥多量区および冬期休閑区を設けた。堆肥施用区および堆肥多量区では、

稲わら牛糞堆肥を水稻および麦作付前の年2回施用した。その他の区では堆肥無施用とし、冬期休閑区では、麦は栽培しなかった。

1999年以降は、堆肥施用区と堆肥多量区では、稲わら牛糞堆肥を水稻作付前の年1回施用し、その他の区では施用しなかった。また、冬期休閑区を堆肥のみ区に切り替え、水稻作付前に牛糞バーク堆肥3t/10aおよびミネラルG100kg/10aを施用した。各試験区の構成と堆肥施用量は第2表に示した。

化学肥料については、窒素として硫酸、リン酸としてよう磷、カリとして塩化カリを施用し、施用量は品種や生育によって調整した（第3表）。各試験区を3分割し、1区あたり3カ所において調査を行った。各調査区の面積は60.3～96.6㎡であった。

3 調査方法

供試堆肥の各成分は、施用前に堆積から数カ所採取し、風乾後、「堆肥等有機物分析法」（財団法人日本土壤協会，2000）に記載された手法に基づいて測定した。

成熟期の調査は、各区連続10株の2条分、合計20株の穂数を調査した。総籾数（以下、籾数）は、この20株の中から穂数が中庸な代表株3株について全籾を計測して一穂籾数を算出し、一穂籾数に成熟期の穂数を乗じて求めた。登熟歩合は、前述の全籾を籾摺りし、1.85mmの篩上に残った粒数の割合から算出した。

成熟期調査付近の60株を刈り取り、風乾後に脱穀、籾摺りした後、玄米を1.85mmの篩で選別し、収量と千粒重を求めた。玄米を粉碎した後、NCアナライザー（SUMIGRAPH NC-22F、住化分析センター）による乾式燃焼法で窒素含有率を測定し、変換係数5.95を乗じて玄米タンパク質含有率を算出した。

稲体の養分吸収量を算出するため、代表株3株を除いた17株の中から、穂数が中庸な3株を刈取り、分析用サンプルとした。同サンプルを穂軸から穂とわらに分離したのち、75℃で72時間以上通風乾燥させ、乾物率を算出した。各サンプルの養分含有率を「土壤機

第1表 供試ほ場の品種と管理方法の推移

年次	1976～1998	1999～2000	2001～2006	2007～2021
連用年数	1～23	24～25	26～31	32～46
作付品種	水稻	日本晴	日本晴	コシヒカリ
	麦	二条大麦	無し	無し
わらの処理	全量持出	全量還元	全量還元	全量還元

第2表 試験区の構成と堆肥施用量 (t)

試験区	23年間 1976~1998	23年間 1999~2021	総堆肥 投入量
1 無窒素区	なし	なし	0
2 化学肥料区	なし	なし	0
3 堆肥施用区	1 (0.5×2回)	0.5 (0.5×1回)	35
4 堆肥多量区	3 (1.5×2回)	1.5 (1.5×1回)	104
5 冬期休閑区 →堆肥のみ区	なし	3 (3×1回)	69

堆肥施用区と堆肥多量区では、稲わら牛糞堆肥を施用

堆肥のみ区 (1999 年以降) では、牛糞パーク堆肥 3 t に加え、ミネラルG を 100 kg/10a 施用

第3表 供試ほ場 (91 号田) の化学肥料施用量 (kg/10a) の推移

試験区	成分 (kg /10a)	品種 年度	日本晴 (1976~2000)			コシヒカリ (2001~2006)		ひとめぼれ (2007~2021)	
			1976~1982	1983~1986	1987~1998	1999~2000	2001~2004	2005~2008	2009~2021
無窒素区	P ₂ O ₅ K ₂ O	基肥		8			6		
		基肥		3			3		
		穂肥		6			3		
化学肥料区	N	基肥	8~12	3	3	2		2.5	
		穂肥		5~7	6	3		3	
	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		穂肥		3			3		
	K ₂ O	基肥		6			3		
		穂肥							
堆肥施用区	N	基肥	8~12	3	3	1	2	1	
		穂肥		5~7	6	3	3	3	
	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		穂肥		3			3		
	K ₂ O	基肥		6			3		
		穂肥							
堆肥多量区	N	基肥	8~12	3	0	1	2	1	
		穂肥		5~7	6	2	3	3	
	P ₂ O ₅	基肥		8			6		
		穂肥		3			3		
	K ₂ O	基肥		6			3		
		穂肥							
冬期休閑区 →堆肥のみ区	N	基肥	8~12	3	3				
		穂肥		5~7	6		0		
	P ₂ O ₅	基肥		8			0		
		穂肥		3					
	K ₂ O	基肥		6			0		
		穂肥							

化学肥料は、窒素として硫酸、リン酸としてよう燐、カリとして塩化カリを用い、品種や生育に応じて施用量を調整した
上記の他に、第2表のとおり堆肥施用区、堆肥多量区では稲わら牛糞堆肥を施用、堆肥のみ区 (1999 年以降) では、牛糞
パーク堆肥およびミネラルG を 100 kg/10a 施用

能モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析」(財団法人 日本土壌協会, 2001) に記載された手法に従って分析した。わらの養分吸収量は、収量調査のわら重に乾物率とわらの養分含有率を乗じ、穂の養分吸収量は、収量調査の粗粒重に乾物率と穂の養分含有率を乗じて算出した。わらと穂の養分吸収量を加えて、稲全体の養分吸収量とした。

土壌の化学性については、水稻を収穫した後、耕起前に各調査区の 5 カ所から地表下 0~15cm の作土を採取し、「土壌環境分析法」(土壌環境分析法編集委員会, 1997) に記載された手法に従って分析した。

気象データは、農研機構メッシュ農業気象データ(大野ら, 2016) に、供試ほ場の緯度、経度を入力して取

得した。

4 統計処理

データ解析は、統計ソフト JMP5.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を用いた。各試験区について、一元配置分散分析で平均値を比較し、5%水準で有意であった項目については、Tukey-Kramer の HSD 法によって多重検定を行った。2 変数の関係にはノンパラメトリック検定を適用し、スピアマンの順位相関係数を求めた。

結果

第4表 供試堆肥の成分

種 類	水分 (%)	pH (1:10)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	SiO ₂ (%)
稲わら牛糞堆肥	65.9	9.0	29.6	1.9	15.5	1.0	3.9	2.5	0.74	25.2
(±標準偏差)	10.3	0.2	3.0	0.12	1.8	0.19	0.90	0.50	0.18	5.1
牛糞パーク堆肥	69.1	8.4	42.7	1.9	23.2	0.78	2.3	2.3	0.59	6.5
(±標準偏差)	1.7	0.3	1.0	0.19	2.4	0.12	0.60	0.49	0.14	0.95

直近10年(2012~2021年)に供試した堆肥の平均値

pHは堆肥:水の重量比1:10で計測

T-C、T-N、P、K、Ca、Mg、SiO₂は乾物当り%

稲わら牛糞堆肥は堆肥施用区と堆肥多量区に供試、牛糞パーク堆肥は堆肥のみ区に供試

1 供試堆肥の成分

本試験で供試した堆肥の成分について、直近10年間の平均値を第4表に示す。稲わら牛糞堆肥はケイ酸含有率(SiO₂)が25.2%と高く、牛糞パーク堆肥は全炭素含有率(T-C)が42.7%と高かった。

2 土壤養分の推移

(1) 腐植、全窒素および塩基置換容量(CEC)

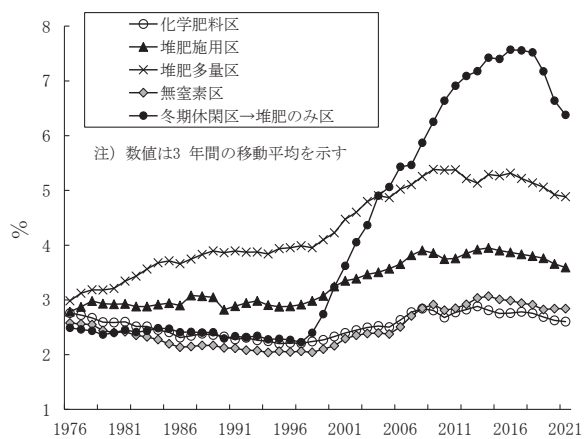
試験期間中の腐植、全窒素、CECの推移を第1図、第2図および第3図に示す。各項目とも、わらを持ち出した試験開始年から1998年までは、無窒素区、化学肥料区および冬期休閑区では減少したのに対し、堆肥施用区では増加後一定レベルを維持し、堆肥多量区では増加した。稲わら全量還元を開始した1999年からはいずれの区においても増加傾向となったが、2008年以降はそれぞれの水準を維持した。また、1999年から牛糞パーク堆肥を施用した堆肥のみ区では、連用開始直後から腐植、全窒素およびCECが急増して最も高くなったが、2015年以降は減少した。いずれの項

目も、2010年頃から試験終了年には堆肥のみ区、堆肥多量区、堆肥施用区の順となり、化学肥料区、無窒素区より高く推移した。

(2) 交換性塩基

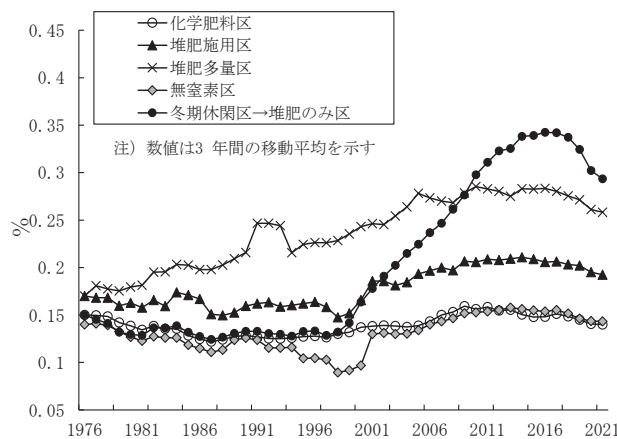
交換性塩基の推移を第4図に示す。土壤中交換性カルシウムおよびマグネシウムは、わらを持ち出した1998年までの期間は、すべての区で増加した後、堆肥多量区で高い水準を維持した。堆肥施用区は、連用11年目をピークにやや減少したが、化学肥料区より常に高い水準を維持した。稲わら還元を開始した1999年からは、牛糞パーク堆肥の施用を開始した堆肥のみ区で急激に増加し、その他の区ではそれぞれの水準を維持した。土壤中交換性カリウムは、試験開始当初から堆肥多量区で高く推移し、堆肥施用区は化学肥料区より高い水準で推移した。1999年以降、堆肥のみ区は急増し、その後横ばい傾向となったため、試験終了年は堆肥多量区、堆肥のみ区、堆肥施用区の順となり、化学肥料区、無窒素区より高かった。

(3) 可給態養分(リン酸、ケイ酸、窒素)



第1図 堆肥連用による腐植の推移

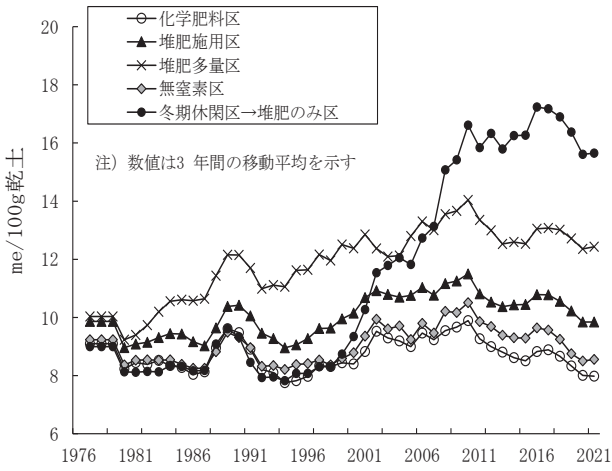
乾式燃焼法で全炭素を測定し、全炭素に1.724を乗じて腐植とした



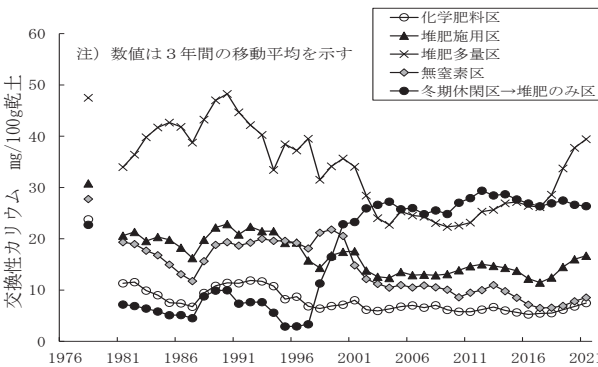
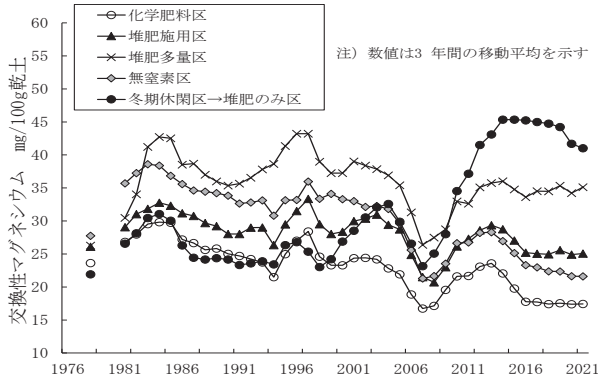
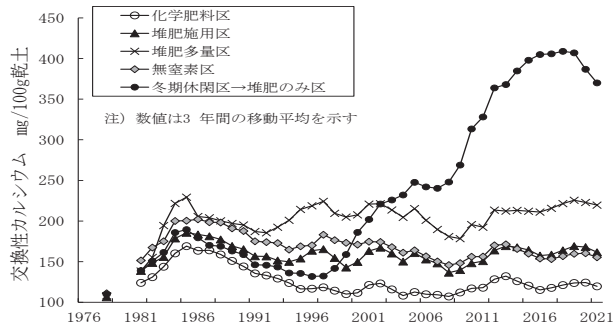
第2図 堆肥連用による全窒素の推移

乾式燃焼法で測定

水田における堆肥連用が土壌化学性と水稻収量に与える影響

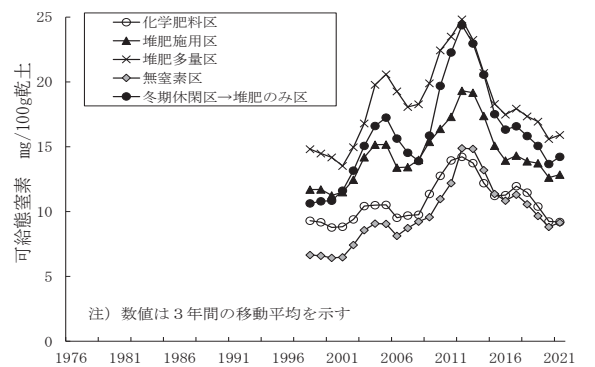
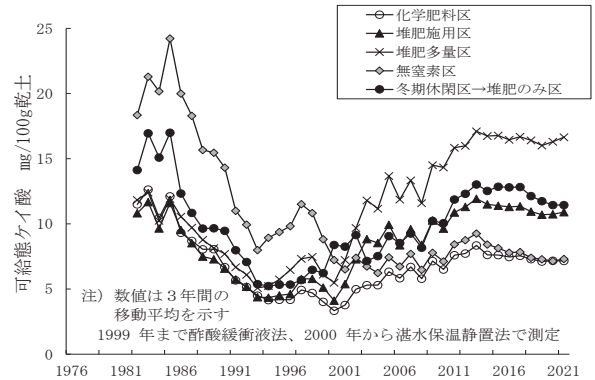
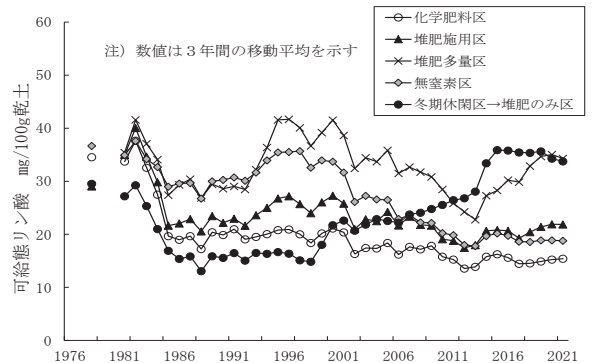


第3図 塩基置換容量 (CEC) の推移

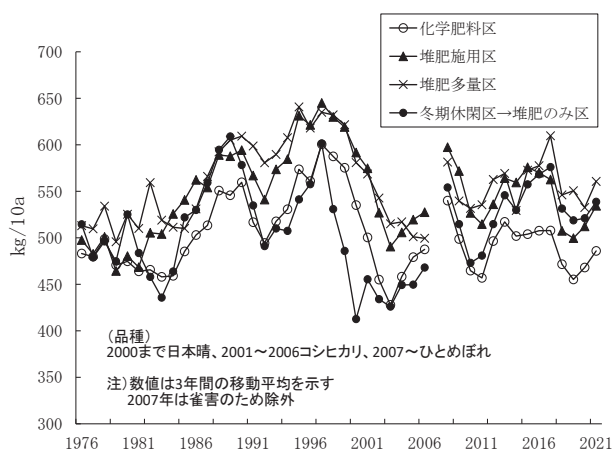


第4図 交換性塩基の推移

可給態養分の推移を第5図に示す。可給態リン酸は、堆肥多量区では試験開始年の水準を維持したが、その他の区は減少傾向となった後、それぞれの水準を維持した。堆肥のみ区は、牛糞バーク堆肥の連用を開始した1999年以降に増加し、2015年には最も高くなり、その後も高い水準を維持した。試験終了年は、堆肥多量区と堆肥のみ区で高く、次いで堆肥施用区の順となり、化学肥料区、無窒素区より高かった。可給態ケイ酸は、試験開始から1999年までは酢酸緩衝液法により、2000年からは湛水保温静置法により測定した。試験終了年は、堆肥多量区で最も高く、次いで堆肥のみ区と堆肥施用区となり、化学肥料区、無窒素区より高かった。酢酸緩衝液法により測定していた期間は、無窒素区で最も高く推移したが、湛水静置法によ



第5図 可給態養分の推移



第6図 収量の推移

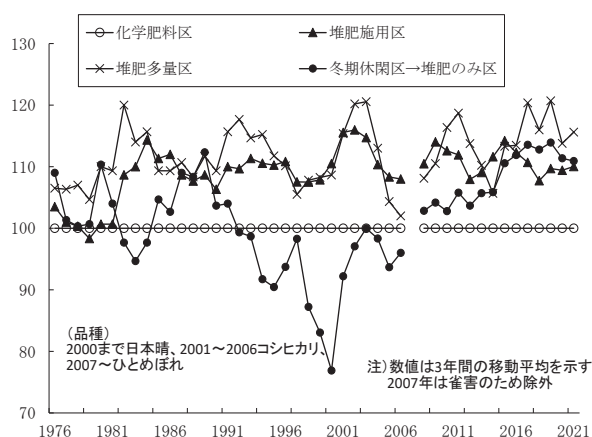
り測定した期間は、稲わら牛糞堆肥を施用した堆肥多量区で最も高く推移した。可給態窒素は、稲わら全量還元を開始した1999年から全区で増加傾向であったが、2012年以降は減少傾向に転じた。堆肥を施用した区では、化学肥料区、無窒素区より高く推移した。

3 水稻の収量、品質への影響

収量および収量指数の推移を第6図、第7図に示す。水稻収量は、堆肥多量区では試験開始後間もなくから、堆肥施用区では6年目以降に化学肥料区よりも多収の傾向を示し、年次変動はあるものの毎年1割程度の増収を継続した。堆肥のみ区は、初めて牛糞パーク堆肥を施用した1999年は無窒素区並の低収であったが、その後増収傾向となり、連用4年目には化学肥料区よりも多収となった。その後は年次差があるものの、連用から10年以降は化学肥料区よりも多収を維持した。

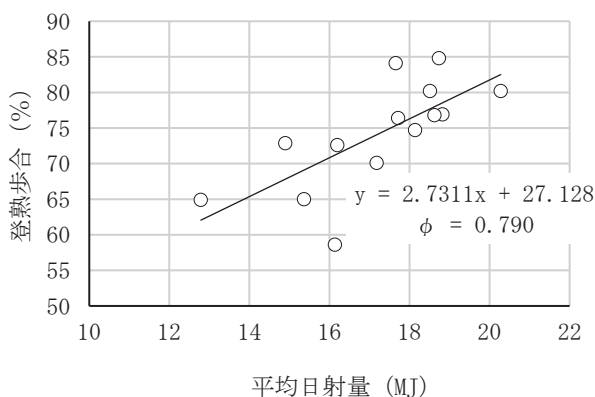
2008年以降、土壌養分が概ね平衡状態に達した条件で栽培した「ひとめぼれ」について、各区の収量、収量構成要素および品質に関する各年平均値を第5表に示す。収量は、堆肥施用区および堆肥多量区は化学肥料区と比較して有意に高く、堆肥のみ区は高い傾向となった。籾数は、堆肥多量区で最も多く、次いで堆肥のみ区と堆肥施用区となり、いずれの区も化学肥料区よりも有意に多かった。千粒重は、堆肥施用区は化学肥料区と比較して有意差はなかったが、堆肥多量区、堆肥のみ区では有意に低かった。登熟歩合は、堆肥施用区、堆肥のみ区は化学肥料区と比較して有意差はなかったが、堆肥多量区では有意に低かった。玄米タンパク質含有率は、無窒素区以外では有意差はなく、検査等級はいずれの区でも有意差はなかった。

それぞれの区において、気象条件と収量および収量



第7図 収量指数の推移

構成要素の相関関係を確認したところ、出穂から収穫期にあたる7月26日から9月5日の平均日射量と登熟歩合との間に、堆肥多量区では0.1%水準で相関関係が見られた(第8図)。同期間の積算日照時間と登熟歩合については、堆肥多量区について1%水準で相関関係が見られた。しかし、平均気温については、いずれの期間においても、収量および収量構成要素との相関関係は認められなかった(データ省略)。



第8図 堆肥多量区における平均日射量と登熟歩合の関係

4 養分吸収量と収量構成要素との関係

前述の「ひとめぼれ」について、各区の養分吸収量の各年平均値を第6表に示す。窒素吸収量は、堆肥多量区、堆肥施用区の順に高い傾向があり、これらと比べて化学肥料区は有意に低かった。リン吸収量は、堆肥多量区で最も高く、化学肥料区との間に有意差が認められたが、堆肥施用区、堆肥のみ区と化学肥料区との間には有意差はなかった。カリウム吸収量は、堆肥多量区で最も高く、次いで堆肥のみ区と堆肥施用区と

水田における堆肥連用が土壌化学性と水稻収量に与える影響

第5表 堆肥連用が「ひとめぼれ」の収量品質に及ぼす影響 (2008年～2021年)

調査項目	無窒素区	化学肥料区	堆肥施用区	堆肥多量区	堆肥のみ区
収量 ^{注1)}	384.7 ^c	491.7 ^b	545.9 ^a	556.0 ^a	530.8 ^{ab}
穂数	256.5 ^d	306.9 ^c	339.5 ^{bc}	391.4 ^a	543.3 ^b
籾数 (×100/m ²)	189.0 ^d	229.4 ^c	277.0 ^b	333.9 ^a	283.0 ^b
千粒重 ^{注1)}	22.7 ^b	23.9 ^a	23.3 ^{ab}	22.4 ^b	22.5 ^b
登熟歩合 ^{注1)}	86.6 ^a	85.9 ^a	82.2 ^a	74.2 ^b	81.4 ^a
玄米タンパク質含有率 ^{注1)}	6.34 ^c	6.94 ^{ab}	7.13 ^a	7.28 ^a	6.57 ^{bc}
検査等級	1.67 ^a	1.54 ^a	1.58 ^a	1.83 ^a	1.58 ^a

年次を反復として、一元配置分散分析で平均値を比較

それぞれの項目について、異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり (Tukey法)

注1) 1.85mm以上、収量(精玄米重)、千粒重、玄米タンパク質含有率は水分14.5%に補正

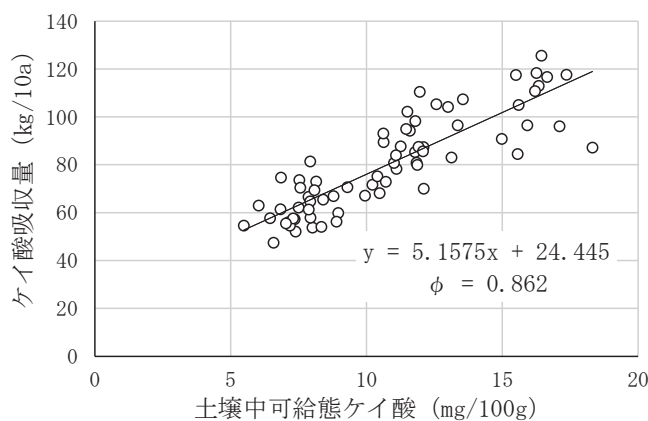
第6表 堆肥連用が「ひとめぼれ」の養分吸収量に及ぼす影響 (2008年～2021年)

養分吸収量(kg/10a)	無窒素区	化学肥料区	堆肥施用区	堆肥多量区	堆肥のみ区
窒素吸収量	6.71 ^d	9.19 ^c	10.7 ^{ab}	12.0 ^a	9.64 ^{bc}
リン吸収量	1.87 ^c	2.39 ^b	2.59 ^{ab}	2.75 ^a	2.33 ^b
カリウム吸収量	8.72 ^d	11.0 ^c	14.2 ^b	17.8 ^a	14.3 ^b
カルシウム吸収量	1.74 ^b	2.05 ^{ab}	2.06 ^a	2.07 ^a	2.19 ^a
マグネシウム吸収量	0.98 ^b	1.18 ^a	1.27 ^a	1.35 ^a	1.29 ^a
ケイ酸吸収量	62.3 ^c	60.2 ^c	80.2 ^b	104.6 ^a	94.0 ^a

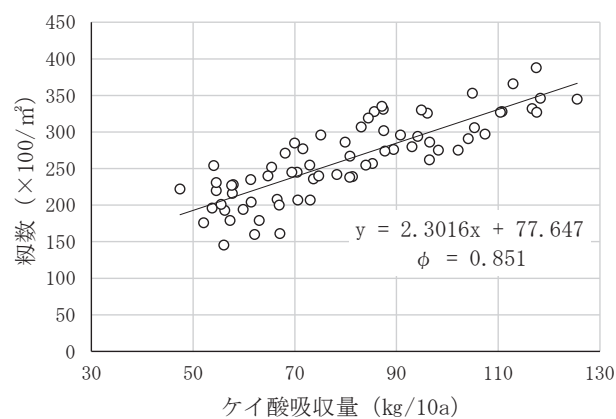
年次を反復として、一元配置分散分析で平均値を比較

それぞれの項目について、異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり (Tukey法)

いずれも乾物換算し、わらと穂の含有率に乾物重を乗じて算出した



第9図 土壤中可給態ケイ酸と稲体のケイ酸吸収量の関係



第10図 籾数と稲体のケイ酸吸収量の関係

なり、これらと比べて化学肥料区は有意に低かった。カルシウム吸収量とマグネシウム吸収量は、堆肥を施用した各区と化学肥料区との間に有意差は認められなかった。ケイ酸吸収量は、堆肥多量区、堆肥のみ区で有意に高く、次に堆肥施用区が高く、これらと比べて化学肥料区は有意に低かった。

土壌中養分と稲体の各養分吸収量の関係を見ると、窒素、カリウム、ケイ酸について0.1%水準、リン、マグネシウムについて5%水準で正の相関関係が認められ、中でも土壤中可給態ケイ酸と稲体のケイ酸吸収量の相関係数は0.862と高かった(第9図)。また、各養分吸収量と収量構成要素については、いずれの養分

も収量及び籾数と 0.1%水準で正の相関関係が認められ、中でも、籾数とケイ酸吸収量の相関係数が 0.851、籾数とカリウム吸収量の相関係数が 0.888 と高かった (第 10 図)。

考 察

本試験において、土壌中の腐植や全窒素は稲わら還元により維持され、加えて堆肥を施用すると、施用量に応じて高まることが明らかとなった。しかし、連用を継続していくと増加量は停滞し、稲わら牛糞堆肥では連用 33 年頃、牛糞バーク堆肥では連用 16 年頃に平衡状態に達したことが推察される。有機物連用の場合の炭素集積率、毎年の窒素放出率の内田の式による予測値によると、炭素集積率は稲わら堆肥に比べてバーク堆肥で高く推移すること、10 年目では毎年施用する堆肥中窒素の約 50%、20 年後では約 70%、50 年後では約 90%が放出されることが示されている (志賀, 1984)。また、施用する有機物の種類や量の違いにより平衡に達する土壌全炭素含量が異なることが知られる (加藤, 2003)。本試験では、牛糞バーク堆肥の連用を始めた時期は稲わら牛糞堆肥より遅かったが、全炭素含量が高いことに加え、施用量が多かったため、短期間で腐植が増加したものと考えられる。

土壌中の養分については、当初の養分量に関わらず、堆肥無施用で栽培を継続すると、一定濃度まで徐々に低下するが、堆肥を連用すると、その量に応じて高まる傾向にあることが明らかとなった。また、交換性カルシウムについては、堆肥のみ区で他の区より高く推移しているが、これは、堆肥から供給されるカルシウムに加えて、堆肥のみ区にのみ施用したミネラルGも影響したことがうかがえる。一方で、可給態ケイ酸については堆肥多量区で最も高く推移したが、これは、牛糞バーク堆肥に比べて、稲わら牛糞堆肥のケイ酸含有率が高いためと考えられる。

これらの土壌中養分の蓄積により、堆肥を施用した各区では、稲体の養分吸収量も多い傾向となったが、カルシウム吸収量およびマグネシウム吸収量は、堆肥を施用した各区と化学肥料区との間に有意差は認められなかった。一般に CaO、MgO は土壌中に多量に存在しても吸収に差が出にくいとされており、栃木県の灰色低地土水田における有機物連用試験においても、同様の報告がされている (小林ら, 2007)。

収量については、稲わら牛糞堆肥 0.5 t の施用では

6 年目から、1.5 t では初年度、牛糞バーク堆肥 3 t の施用では 4 年目から増収効果が確認され、年次変動はあるものの毎年 1 割程度の増収が継続した。窒素については、過繁茂を回避するため、堆肥施用区では連用 26 年後、堆肥多量区では連用 12 年後から基肥を削減したが、その条件下でも増収効果は継続した。しかし、愛知県の洪積土壌で報告された堆肥連用効果が年次経過につれ増加する (籾井・井澤, 2007) 現象は認められなかった。これは、土壌条件や施用量、供試品種の違いによるものと推察される。

気象条件については、収量と 7-8 月の平均気温および 8-9 月の日照時間との間に強い正の相関があると報告されている (望月ら, 2006)。本試験では、気温と収量の関係については判然としなかったが、登熟期の日射量および日照時間と堆肥多量区の登熟歩合に相関関係が認められた。この区は籾数が多いため、登熟を進めるためには日照条件が重要となる。梅本ら (1999) も、堆肥の連用により、籾数が増加して収量が増加する半面、登熟期が低温・寡日照年の場合は登熟に不利な条件となると報告している。このような気象条件の場合、高品質米を安定的に生産する観点からは、更なる施肥削減や堆肥の中断などの対処が必要となる。なお、堆肥連用を停止した場合、2 年間 (4 作) の T-C 含量の減少率は、稲わら堆肥の連用を開始後、土壌が平衡に達するまでの 1 作あたりの平均増加率の 1/2~1/3 で、減少率の方が小さい (加藤, 2003) ことから、短期的な堆肥施用の中断により地力が低下する可能性は低いと考えられる。

土壌中の可給態ケイ酸と稲体のケイ酸吸収量には正の相関関係が認められ、稲体のケイ酸吸収量と収量、籾数にも正の相関関係が認められた。これまでに、ケイ酸質肥料の施用により、追肥窒素利用率が高まり、窒素吸収量が多くなることで総籾数が向上し、また光合成活性が高く維持されることで収量が向上することが報告されている (森・藤井, 2009)。本試験ではケイ酸質肥料は施用していないが、稲わら還元に加えて、堆肥からケイ酸が供給された区において、同様の効果があったことが推察される。

以上のことから、水稻へ稲わら牛糞堆肥を利用する場合、効果の発現まで年数を要するものの、堆肥施用区と同様に 0.5 t 程度を連年施用する方法が望ましい。短期的に地力を高める場合は、堆肥多量区と同様に 1.5 t 程度の施用を数年継続し、以降 0.5 t 程度を連用する方法が良いと考えられる。なお、窒素肥料に

については、堆肥 1.5 t 施用では、品種や地力によっては連用当初から減肥する必要があるが、0.5 t 程度の連用では直ちに過繁茂や倒伏等が問題となる可能性は低い。一方、堆肥に含まれるリン酸およびカリの大部分は作物が直ちに利用できる形態で存在しており、リン酸の代替量は 80%、カリの代替量は 90% であると推定される（渡辺，2007）。本試験で供試した稲わら牛糞堆肥の場合、0.5 t 施用では、リン 1.4 kg/10a、カリ 6 kg/10a、また、1.5 t 施用ではその 3 倍が供給されるため、リン、カリ肥料の削減や L 型肥料（低 PK）の利用により、肥料代を低減することが可能となる。

本試験では、稲わら牛糞堆肥と牛糞パーク堆肥を使用してきたが、近年稲わら牛糞堆肥の製造は減少し、牛糞パーク堆肥など木質を副資材に使用した堆肥が増加している。しかし、本試験では牛糞パーク堆肥と化学肥料と併用した試験区を設置していない。このため、稲わら牛糞堆肥を牛糞パーク堆肥に置き換えた時に同様の効果が得られるのか検証する必要がある。また、労力軽減や効率的な作業体系の観点からも効果的な施用方法を確立する必要があり、エリアを分けて数年に一度ローテーション散布したり、可給態ケイ酸の低いほ場に優先的にケイ酸資材を施用したりするなど、実現可能な方法で土づくりを行うことも望まれる。地域ぐるみで畜産農家と耕種農家の連携が進めば、輸送コストや袋詰め作業の削減につながり、堆肥をより身近に利用することが可能となるため、これらの取組を推進することも重要であると考えられる。

摘 要

県内に広く分布する河成沖積の礫質土壌水田において、稲わら牛糞堆肥 46 年、牛糞パーク堆肥 24 年の施用が、土壌化学性や水稻の収量に与える影響を調査した。堆肥の連用により、腐植や CEC、交換性塩基や可給態養分は、施用量や成分量に応じて高まることが認められた。収量については、稲わら牛糞堆肥を連用すると、0.5 t/10a/年では 6 年目、1.5 t/10a/年では初年目から、化学肥料区より 1 割程度高く推移したが、1.5 t/10a を連用した区では籾数過多となり、千粒重と登熟歩合が低下した。以上のことから、地力の維持および収量の安定化を図るためには、0.5 t/10a 程度の堆肥を連年施用する方法が望ましく、短期的に地力を高める場合は、1.5 t/10a 程度を数年継続し、以降 0.5 t 程度を連用する方法が良いと考えられる。

引用文献

- 土壌環境分析法編集委員会. 1997. 第 V 章 土壌化学. 土壌環境分析法 編集委員会編. 土壌環境分析法. 博友社. 東京. 195-278.
- 加藤保. 2003. 有機物施用を中心とした土壌管理による土壌への炭素蓄積—愛知県における調査成績から—. 土肥誌. 74: 99-104.
- 小林靖夫・鈴木聡・渡邊修孝・吉沢崇・植木与四郎・鈴木智久・金田晋平. 2007. 栃木県の二毛作水田における有機物連用が土壌および作物生育に及ぼす影響. 栃木農試研報. 59: 11-23.
- 久保喜昭・福田和正. 1990. 有機物連用水田における土壌窒素発現が水稻の生育収量に及ぼす影響. 山口農試研報. 42: 20-27.
- 望月証・青山喜典・津高壽和. 2006. 気象要因が堆肥連用水田の水稻収量に及ぼす影響. 兵庫農技総研報（農業）. 54: 1-8.
- 初井隆志・井澤敏彦. 2007. 77 年間継続した四要素無施用区と堆肥施用区にみられる水稻玄米収量の経年推移と各要素の施用効果. 日作紀. 76: 288-294.
- 森静香・藤井弘志. 2009. 水稻におけるケイ酸資材の幼穂形成期施用の有効性. 土肥誌. 80: 136-142.
- 大野宏之・佐々木華織・大原源二・中園江. 2016. 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象. 16: 71-79.
- 志賀一一. 1984. 水田の有機物施用基準について. 土肥誌. 55: 374-380.
- 住居丈嗣・徳永哲夫. 2009. 水稻の堆肥連用栽培における化学肥料の削減. 山口農試研報. 57: 43-49.
- 梅本英之・宮川修・島田義明・塩口直樹. 1999. 有機物連用圃場における水稻の変動要因の解析. 石川農研研報. 22: 27-33.
- 渡辺卓弘. 2007. 山口県で生産される堆肥の肥料成分的特徴およびその代替量の推定方法. 山口農試研報. 56: 100-108.
- 財団法人 日本土壌協会. 2000. II 成分分析法. 堆肥等有機物分析法. 大雄社. 東京. 18-171.
- 財団法人 日本土壌協会. 2001. III 作物体分析法. 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. 大雄社. 東京. 245-266.