

# 黄色土水田における牛糞オガクズ堆肥, 石灰窒素の連用が 水稲, キャベツの生育と土壤理化学性に及ぼす影響

東 卓弥・垣内 仁・林 恭弘<sup>1</sup>

農林水産総合技術センター 農業試験場

Effect of Successive Application of Manure added Sawdust and Calcium Cyanamide, to Paddy Field in Yellow Soils  
on Growth and Yield of Rice Plant, Cabbage Plant and on Soil Properties

Takaya Azuma, Jin Kakiuchi and Yasuhiro Hayashi<sup>1</sup>

*Agricultural Experiment Station  
Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries*

## 結 言

水田は、水稲・野菜等の栽培を通じ、農家の重要な生産基盤として維持管理されてきた。水田は県内の大小河川流域を中心に広がり、水稲-野菜の二毛作体系の推進により野菜産地形成の柱となっている。しかし水田面積は、農家の高齢化と農産物価格の低迷、生産調整等により、1980年には17,000haあった水田が、2000年には12,200ha、2004年には全耕地面積の32.7%の11,900haと減少している。

また近年、消費者の農産物に対する安全安心意識の高まりの中、水稲、野菜等、特別栽培農産物生産等環境保全型農業に取り組む農家も増加している。このため、水田での有機物施用による土作りが重要となり、有機物施用を中心とした土作りによる水稲・野菜の安定生産が求められている。

一方、水田裏作野菜の中心品目であるハクサイ・キャベツをはじめとするアブラナ科野菜産地では連作による根こぶ病の発病抑制のため、石灰窒素や石灰資材の施用による土壌pHの矯正が行われている。このことにより、野菜跡水田における水稲作で高pH土壌での水稲生育に対する影響が懸念される。

本研究は県内の河川台地に分布する黄色土水田土壌を対象として、石灰窒素の多量施用と、牛糞オガクズ堆肥の連用が水稲・キャベツの生育・収量におよぼす影響を明らかにするために、いくつかの知見が得られたので報告する。

## 材料及び方法

### 1 供試ほ場の条件

供試ほ場は県北部紀ノ川中流域の支流・貴志川下流河岸段丘の水田地帯で、階段状の棚田を造成・表面処理し、平坦な水田に造成したほ場である。土壌は紀ノ川流域を中心とした台地水田に分布する洪積土壌で細粒黄色土・黄褐色系(蓼沼統 1014)に分類され、減水深の少ないほ場である。作土層は15cm程度で土性はCLである。下層土はLiCで70cm以下に腐朽礫を含むC層が出現する(和歌山県農業試験場, 1995)。気象条件(農試平年値)は年平均最高気温20.4℃, 最低気温10.0℃, 平均気温15.1℃で、やや涼しい地域となる。年

1) 現在, 和歌山県農林水産部エコ農業推進室

降水量は1,386mmと県下では平均的な降水量で年日照時間は1,865時間と比較的長い。

2 試験区

試験区の構成と処理内容は第1表のとおりである。1998年より水稲・キャベツ作付体系で、化学肥料区(3要素施用)、堆肥区(3要素+牛糞オガクズ堆肥3t/10a)、石灰窒素区(3要素+石灰窒素200kg/10a)、併用区(3要素+牛糞オガクズ堆肥3t・石灰窒素200kg/10a)を設置し、2004年まで試験を行った。

水稲作は箱育苗-機械移植で、施肥は育苗箱内全量施肥を行った。また、2004年には試験区の一部を使用し、慣行育苗-機械移植で無施肥栽培を行った。

キャベツ作では各試験区で苦土石灰100kg/10aを施用し酸度矯正を行った。

処理資材の牛糞オガクズ堆肥、石灰窒素は年1回、11月上旬のキャベツ作の耕起畝立て時に全面散布し、栽培を行った。牛糞オガクズ堆肥の組成は、第2表のとおりである。

試験規模は1区100m<sup>2</sup>、1連制で、土壌の移動を防ぐため水田の代かきは畦シートで囲って行った。また、わら及びキャベツの収穫残渣は全量ほ場外へ持ち出した。

試験開始時の土壌化学性は第3表のとおりである。

3 試験区の前歴

試験区の前歴は第4表のとおりである。本水田は1967年に新規造成され、水稲の均一栽培を行った後、1968年より土壌処理別に分割し、試験を開始した。無改良区、稲わら区(堆肥区(稲わら600kg/10a))、無機改良区(石灰窒素区(ケイカル300kg/10a、熔リン100kg/10a))、総合改善区(併用区(稲わら300kg/10a、ケイカル150kg/10a、熔リン50kg/10a))を設置した。

1974年まで水稲単作栽培を行い、この間年1回秋に稲わら、ケイカル、熔リンの施用を行った。また、無改良区と稲わら区は石灰資材による酸度矯正を行わなかった。

1975年から無改良区の一部を化学肥料区(3要素施用)とし、水稲・タマネギの二毛作体系で1997年まで栽培を行った。この間稲わらは年1回秋に、ケイカル、熔リンは各作付ごとに半量ずつ施用した。各試験区ともタマネギ作前に土壌pH(H<sub>2</sub>O)の状態に応じて石灰資材で酸度矯正を行った。

1968年~1997年の間、稲わら区、無機改良区、総合改善区には各作付時に3要素も施用した。

第1表 試験区の構成

試験区名	処理内容		備考
	水稲・キャベツ作付体系(1998~2004)		
	水稲作	キャベツ作	
化学肥料区	窒素のみ施用	なし	3要素施用(キャベツ作)
堆肥区	(育苗箱内全量施肥)	牛糞オガクズ堆肥3t/10a施用	3要素施用(キャベツ作)
石灰窒素区		石灰窒素200kg/10a施用	3要素施用(キャベツ作)
併用区		牛糞オガクズ堆肥3t+石灰窒素200kg/10a施用	3要素施用(キャベツ作)

注) 苦土石灰100kg/10aをキャベツ作付け時に施用

第2表 施用した牛糞オガクズ堆肥の養分組成(単位:現物%)

	N	P2O5	K2O	C/N比
平均値	0.69	1.13	1.28	25.6

第3表 試験開始時の土壌化学性(1998)

試験区名	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C (%)	T-N (%)	交換性塩基(mg)			可給態リン酸 (mg)	可給態窒素 (mg)	可給態ケイ酸 (mg)
				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O			
化学肥料区	6.1	0.90	0.10	94	17	19	55	4.7	13
堆肥区	6.4	1.12	0.12	124	21	31	48	9.0	12
石灰窒素区	7.3	0.77	0.09	248	47	21	247	4.7	211
併用区	7.3	0.90	0.10	210	37	22	136	8.5	133

注) 可給態窒素:キャベツ作後に調査,可給態ケイ酸:リン酸緩衝液法により測定

東・垣内・林：黄色土水田における牛糞オガクズ堆肥、石灰窒素の連用が水稻、キャベツと土壤理化学性に及ぼす影響

第4表 試験区における土壤改良処理の前歴

試験区名	処理内容		備考
	水稻単作(1968~1974)	水稻・タマネギ作付体系(1975~1997)	
化学肥料区	3要素施用(無改良)	3要素施用	
稲わら区	稲わら600kg/10a, 3要素		堆肥区(1998~)
無機改良区	ケイカル300kg, 燐リン100kg/10a, 3要素		石灰窒素区(1998~)
総合改善区	稲わら300kg/10a, ケイカル150kg, 燐リン50kg/10a, 3要素		併用区(1998~)

注) 石灰資材による酸度矯正：1975~1997年まで秋冬作前に実施

#### 4 耕種概要

作付は水稻・キャベツの二毛作とし、水稻は品種「キヌヒカリ」を用いて、播種を5月下旬、移植を6月中旬、収穫を9月中旬に行った。播種時に箱当たり「苗箱まかせ N400-100(40-0-0)」625gを育苗箱内施肥し10a当たり20箱移植するため、10a当たり5kgの窒素のみの施肥とした。

キャベツは品種「来陽」を用いて、播種を9月下旬に128穴セルトレイに行い、移植を11月上旬に行った。

施肥量は第5表に示すとおり概ね県の基準に従った。栽植密度はうね幅150cm、株間35cm、千鳥植え、3800株/10aとした。

水稻・キャベツ共に病虫害防除等の一般管理は慣行栽培に準じて行った。

#### 5 生育収量調査

水稻の生育調査は1区につき2ヶ所で20株を調査した。最高分けつ期と収穫期に調査を行った。収量調査は2~3m<sup>2</sup>の2~3反復とした。水稻の収量構成要素は成熟期に平均的な株を抜き取り、調査を行った。

キャベツの収量調査は、収穫期間中に数回に分け収穫適期の株を1区につき4ヶ所で40株調査した。

#### 6 土壤の理化学性、作物体の分析方法

土壤、作物体の採取と分析は常法(土壤、水質及び植物体分析法：財団法人 日本土壤協会編)に準じて実施した。

##### 1) 土壤

土壤の物理性はキャベツ作終了後に実容積法による三相分布と仮比重を測定した。

土壤の化学性は水稻及びキャベツ作終了後作土層の土壤を各区3ヶ所から採取し、風乾粉碎後に2mmの篩にかけ分析に供した。pH(H<sub>2</sub>O)はガラス電極法、全炭素(TC)と全窒素(TN)はCNコーダー法、交換性塩基の石灰、苦土は原子吸光法、加里は炎光法、有効態リン酸はトルオーグ法で測定した。キャベツ作終了後の土壤に対して可給態窒素を保温静置培養法(水田状態)で、可給態ケイ酸を湛水保温静置法で測定した。但し、試験開始時土壤の可給態ケイ酸含量は酢酸緩衝液法で測定を行った。

##### 2) 作物体

水稻は成熟期(収穫期)に1区当たり平均的な作物体10株程度を抜き取り乾燥粉碎後分析に供した。キャベツは収穫期に5株程度の地上部を採取し、外葉部と結球部に分離し、2cm角程度の大きさに細断後、乾燥粉碎して分析に供した。

水稻は硝酸・過塩素酸法により湿式分解後、リンは比色法、カリは炎光法で定量し、窒素はCNコーダー法により定量した。玄米タンパク質は玄米を乾燥粉碎後CNコーダー法により窒素を定量し、タンパク換算係数(5.95)を掛けて算出した。

キャベツはサリチル硫酸・過酸化水素水法による湿式分解後、窒素は蒸留法、リンは比色法、カリは炎光法により定量した。硝酸含量は乾燥粉碎後、40℃水抽出を行い、イオンクロマト法で測定した。

水稻・キャベツの窒素吸収量は乾物生産量と作物体乾物の窒素含量より算出した。

第5表 品目別の耕種概要と3要素の施肥量

栽培品目	栽植密度	施肥量(kg/10a)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
水稻	20.8株/m <sup>2</sup>	5	0	0
キャベツ	3800株/10a	33.2	29.4	31

注) 水稻：育苗箱内施肥(苗箱まかせN400-100)、  
キャベツ：うね幅150cm、株間35cm、2条千鳥植え、  
基肥(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)：8.4-10.2-7.8、追肥1：12.8-8-11.2、追肥2：  
12-11.2-12、施肥量に石灰窒素は含まない

## 結 果

### 1 水稻の生育と収量

第6表に水稻の最高分けつ期の生育を示した。草丈は、併用区、石灰窒素区、堆肥区が化学肥料区よりも長くなった。茎数は併用区、堆肥区が、石灰窒素区、化学肥料区より多くなった。化学肥料区を100とする茎数の指数は牛糞オガクズ堆肥を施用した併用区では2000年(処理3年目)より、堆肥区では2001年(処理4年目)より大きくなる傾向が認められた(第1図)。

第7表に成熟期の生育を示した。稈長は、併用区、石灰窒素区、堆肥区が化学肥料区よりも長くなった。穂長は併用区、堆肥区、石灰窒素区が化学肥料区より長くなった。穂数は堆肥区、併用区が石灰窒素区、化学肥料区より多くなった。化学肥料区を100とした穂数の指数は、2001年(処理4年目)から牛糞オガクズ堆肥を施用した堆肥区、併用区で大きくなる傾向が認められ、石灰窒素区では100以下で横ばい傾向であった(第2図)。

第8表に水稻の収量構成要素を示した。わら、もみ、玄米重は、堆肥区、石灰窒素区、併用区が化学肥料区より重く、併用区は石灰窒素区より重くなった。1穂もみ数は石灰窒素区、併用区が化学肥料区より多くなった。登熟歩合は石灰窒素区が高い傾向が認められた。千粒重は堆肥区、併用区が化学肥料区、石灰窒素区より小さくなった。

化学肥料区を100とする収量の指数は堆肥区、石灰窒素区、併用区ともに初期は差が見られたものの、試験開始後その差は小さくなり、2000年以降3区とも同様の傾向で推移した(第3図)。化学肥料区を100とする1穂もみ数の指数は、堆肥区、併用区で2001年以降石灰窒素区よりも低く推移した(第4図)。化学肥料区を100とする千粒重の指数は試験開始時より石灰窒素区が大きく、堆肥区、併用区が小さく推移した(第5図)。

第9表に2004年時(連用7年目)に各試験区で行った無施肥栽培での生育量と、施肥栽培での生育量を100とした無施肥栽培での生育量の指数を示した。最高分けつ期では、草丈、茎数ともに堆肥区、併用区が他区に比べて大きくなり、草丈の指数が堆肥区で大きくなった。成熟期には、全ての項目で堆肥区、併用区が化学肥料区、石灰窒素区より大きくなり、指数が大きくなった。

### 2 水稻の無機養分含有量と窒素吸収量及び品質

第10表に水稻の「わら」と「もみ」における無機養分含有量の平均値(1998~2004)を示した。もみの窒素含有率は堆肥区、併用区が化学肥料区、石灰窒素区よりも高くなった。わらの成分含有率には差が認められなかった。

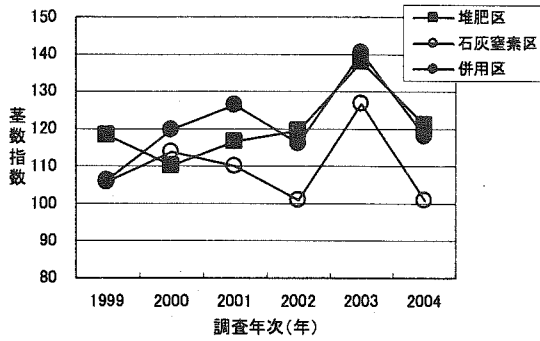
窒素吸収量は、堆肥区、併用区、石灰窒素区が化学肥料区より多くなった(第11表)。

第6表 土壤改良法が水稻の最高分けつ期の生育に与える影響

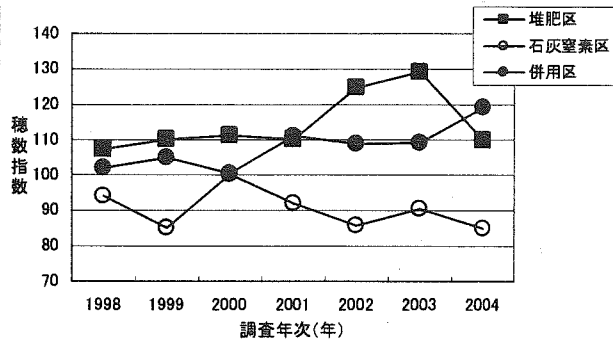
試験区名	草丈 (cm)	茎数 (本/m <sup>2</sup> )
化学肥料区	1998	48.2
	1999~2000	59.5
	2001~2002	65.8
	2003~2004	58.1
堆肥区	1998	49.9
	1999~2000	63.0
	2001~2002	72.8
	2003~2004	62.0
石灰窒素区	1998	52.1
	1999~2000	63.6
	2001~2002	70.0
	2003~2004	64.3
併用区	1998	51.9
	1999~2000	63.8
	2001~2002	73.8
	2003~2004	65.7

第7表 土壤改良法が水稻の成熟期の育成に与える影響

試験区名	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )
化学肥料区	1998	73.4	17.6
	1999~2000	73.4	17.0
	2001~2002	77.7	17.0
	2003~2004	74.6	16.5
堆肥区	1998	76.5	17.2
	1999~2000	79.1	17.6
	2001~2002	83.0	17.2
	2003~2004	78.5	17.2
石灰窒素区	1998	79.6	17.7
	1999~2000	79.3	17.2
	2001~2002	84.4	17.2
	2003~2004	82.1	17.3
併用区	1998	78.5	17.9
	1999~2000	80.1	17.6
	2001~2002	86.1	17.4
	2003~2004	83.4	17.3



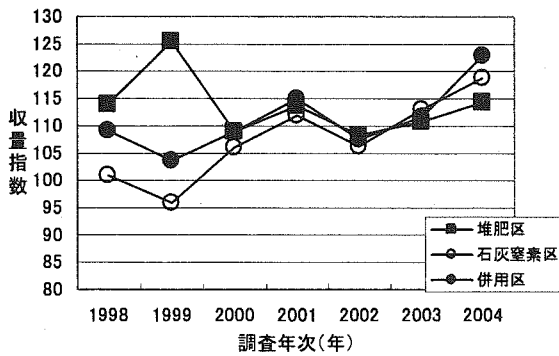
第1図 化学肥料区に対する最高分けつ期の茎数指数の年次変動



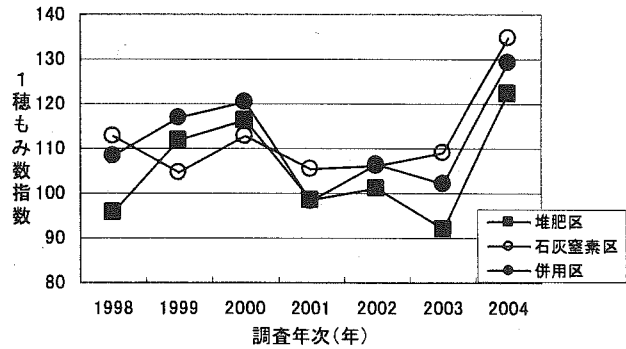
第2図 化学肥料区に対する穂数指数の年次変動

第3表 土壤改良法が水稻の収量構成要素に与える影響

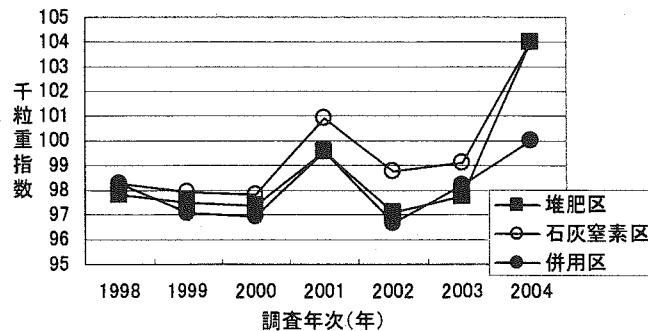
試験区名	調査年次	わら重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	1穂もみ数 (粒/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
化学肥料区	1998	470	548	455	80.4	92.5	22.9
	1999~2000	566	640	533	72.9	82.6	23.3
	2001~2002	615	661	548	83.3	80.1	23.2
	2003~2004	558	588	497	87.7	78.0	23.6
堆肥区	1998	571	629	518	76.9	92.7	22.4
	1999~2000	720	752	621	83.1	85.7	22.7
	2001~2002	743	748	608	82.9	76.7	22.8
	2003~2004	629	666	559	88.7	78.8	23.9
石灰窒素区	1998	573	565	459	90.6	93.0	22.5
	1999~2000	671	665	539	79.2	88.4	22.8
	2001~2002	724	732	597	88.0	83.1	23.2
	2003~2004	660	684	576	94.1	78.2	24.0
併用区	1998	574	607	496	87.1	90.6	22.5
	1999~2000	687	691	567	79.2	83.1	22.6
	2001~2002	759	760	609	84.6	77.7	22.8
	2003~2004	686	702	582	91.6	79.9	23.4



第3図 化学肥料区に対する収量指数の年次変動



第4図 化学肥料区に対する1穂もみ数指数の年次変動



第5図 化学肥料区に対する千粒重指数の年次変動

第9表 土壌管理と施肥が水稻の生育に与える影響

試験区名	最高分けつ期		成熟期					
	草丈 (cm)	茎数 (本/m <sup>2</sup> )	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	ワラ重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)
化学肥料区	48.5(87)	255(72)	60.6(83)	16.1(98)	248(74)	420(72)	378(71)	350(71)
堆肥区	55.5(92)	325(75)	69.5(90)	16.9(99)	324(88)	638(96)	557(91)	504(90)
石灰窒素区	52.3(87)	268(75)	67.8(86)	16.6(96)	246(78)	564(84)	466(74)	428(73)
併用区	56.2(88)	307(73)	75.5(91)	17.0(99)	306(82)	651(88)	561(84)	515(85)

注) 調査年次: 2004, 数値は無施肥栽培での調査値, ( ) 内: 施肥区を100としたときの指数値

第10表 土壌改良法が水稻の無機養分含有率に与える影響  
(単位: 乾物%)

試験区名	N	P	K
わら 化学肥料区	0.64	0.15	1.82
堆肥区	0.70	0.15	2.04
石灰窒素区	0.61	0.09	1.83
併用区	0.64	0.11	1.94
もみ 化学肥料区	1.07	0.28	0.34
堆肥区	1.14 <sup>aa</sup>	0.33	0.37
石灰窒素区	1.10 <sup>d</sup>	0.33	0.34
併用区	1.18 <sup>aa</sup>	0.33	0.34

注) 1988~2004年平均値

aaは1%水準で化学肥料区に対して有意差があることを示す。

Cは5%水準で石灰窒素区に対して有意差があることを示す。

Dは5%水準で併用区に対して有意差があることを示す。

第12表 土壌改良法が玄米タンパク質含有率に与える影響

試験区名	2001	2002	2003	2004	平均値
化学肥料区	6.48	7.74	8.11	8.45	7.70
堆肥区	7.33	8.87	8.98	8.85	8.51 <sup>aa cc</sup>
石灰窒素区	6.88	8.45	8.61	8.61	8.14 <sup>a bb</sup>
併用区	7.35	8.45	8.67	8.88	8.34 <sup>aa</sup>

注) タンパク質含有率: 窒素含有率×タンパク換算計数(5.95)

aaは1%, 5%水準で化学肥料区に対して有意差があることを示す。

bbは1%水準で堆肥区に対して有意差があることを示す。

ccは1%水準で石灰窒素区に対して有意差があることを示す。

第11表 土壌改良法が水稻の窒素吸収量に与える影響 (単位: kg/10a)

試験区名	窒素吸収量
化学肥料区	9.84
堆肥区	12.7 <sup>aa</sup>
石灰窒素区	11.6 <sup>aa</sup>
併用区	12.2 <sup>aa</sup>

注) 1988~2004年平均値

aaは1%水準で化学肥料区に対して有意差があることを示す。

第13表 土壌改良法が水稻のマンガン含有量に与える影響 (単位: 乾物ppm)

試験区名	Mn
わら 化学肥料区	1511
堆肥区	1157
石灰窒素区	642
併用区	957
もみ 化学肥料区	56
堆肥区	36
石灰窒素区	23
併用区	33

注) 2001年

2001年~2003年の玄米タンパク含有率は、堆肥区、併用区、石灰窒素区が化学肥料区より高く、堆肥区は石灰窒素区より高くなった(第12表)。2001年の水稻のマンガン含有率は「わら」が「もみ」より高く、各部位で化学肥料区が最も高く、堆肥区、併用区、石灰窒素区の順に低くなった(第13表)。

### 3 キャベツの生育と収量

第14表にキャベツの収量と平均収穫日を示した。併用区、石灰窒素区、堆肥区の全重は化学肥料区よりも大きくなった。堆肥区、併用区の結球部重は化学肥料区より大きく、併用区は石灰窒素区より大きかった。平均収穫日は年度によるバラつきが大きかったが、2000年以降堆肥区で生育が早くなる傾向が認められた。平均収穫日を化学肥料区と比較すると堆肥区だけが生育が早くなり、試験開始時に収穫の早かった石灰窒素区、併用区は晩生化し、化学肥料区と同程度の収穫となった(第6図)。

第7図に化学肥料区に対するキャベツの収量指数を示した。併用区と堆肥区の指数は施用初期から上昇傾向が認められ、処理年数と共に高くなる傾向が認められた。石灰窒素区の収量指数はバラつきが大きく横ばい傾向であった。

### 4 キャベツの無機養分含有量と窒素吸収量及び品質

第15表、第8図にキャベツの無機養分含有率の平均値(1998~2002)と年次推移を示した。平均値に差は認められなかったが、堆肥区の外葉及び結球部の窒素含有率は2000年頃から高くなる傾向が認められた。

東・垣内・林：黄色土水田における牛糞オガクズ堆肥、石灰窒素の連用が水稻、キャベツと土壤理化学性に及ぼす影響

キャベツの窒素吸収量（1998～2002 平均値）は、石灰窒素区と併用区が化学肥料区より多くなった（第16表）。

キャベツの硝酸含量は外葉部、結球部共に石灰窒素を施用した石灰窒素区、併用区が高い傾向が認められた（第17表）。

第14表 土壤改良法がキャベツの収量と平均収穫日に与える影響

試験区名		全重 (kg/10a)	結球部重 (kg/10a)	平均収穫日 (日)
化学肥料区	1998～1999	4987	2487	5月16日
	2000～2001	6992	4275	4月24日
	2002～2003	5700	3572	4月27日
堆肥区	1998～1999	5885	3009	5月18日
	2000～2001	6802	4598	4月27日
	2002～2003	7315	4484	4月17日
石灰窒素区	1998～1999	7151	3513	5月5日
	2000～2001	8018	4560	4月21日
	2002～2003	6707	3363	4月21日
併用区	1998～1999	7799	4149	5月7日
	2000～2001	7980	4921	4月21日
	2002～2003	7923	4066	4月27日

注) 平均収穫日(1998～1999)は1999年のみの数値

第15表 土壤改良法がキャベツの無機養分含有率に与える影響 (単位: 乾物%)

試験区名	N	P	K	
外葉	化学肥料区	3.33	0.45	3.86
	堆肥区	3.43	0.49	3.61
	石灰窒素区	3.57 <sup>a</sup>	0.46	2.91
	併用区	3.41	0.45	3.31
結球部	化学肥料区	3.44	0.66	3.70
	堆肥区	3.37	0.66	3.64
	石灰窒素区	3.81 <sup>a</sup>	0.70	3.45
	併用区	3.74 <sup>a</sup>	0.70	3.58

注) 1988～2004年平均値  
aは5%水準で化学肥料区に対して有意差があることを示す。

第16表 土壤改良法がキャベツの窒素吸収量に与える影響 (単位: kg/10a)

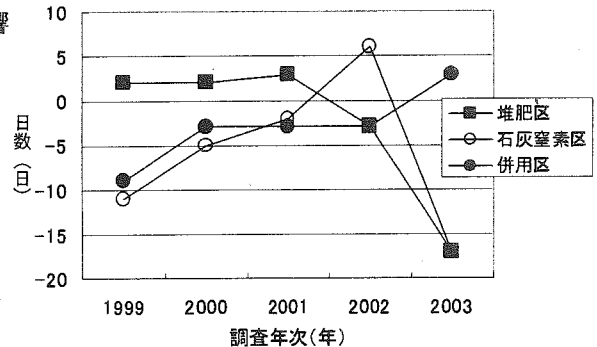
試験区名	窒素吸収量
化学肥料区	16.9
堆肥区	19.2
石灰窒素区	21.9 <sup>a</sup>
併用区	22.7 <sup>aa</sup>

注) 1988～2003年平均値  
aa, aは1%, 5%水準で化学肥料区に対して有意差があることを示す。

第17表 土壤改良法がキャベツの硝酸含量に与える影響 (単位: kg/10a)

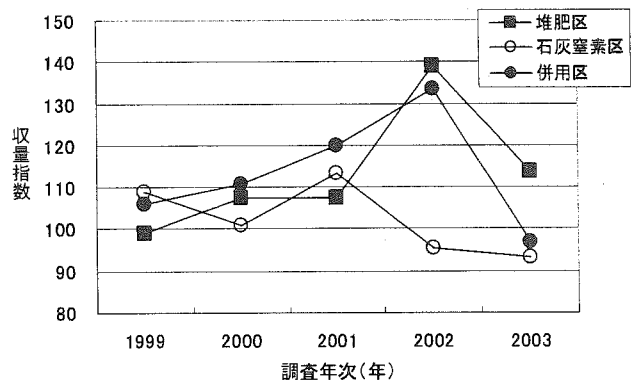
試験区名	外葉	結球部
化学肥料区	1471	573
堆肥区	1672	621
石灰窒素区	2525	987
併用区	2607	905

注) 2002, 2003年平均値

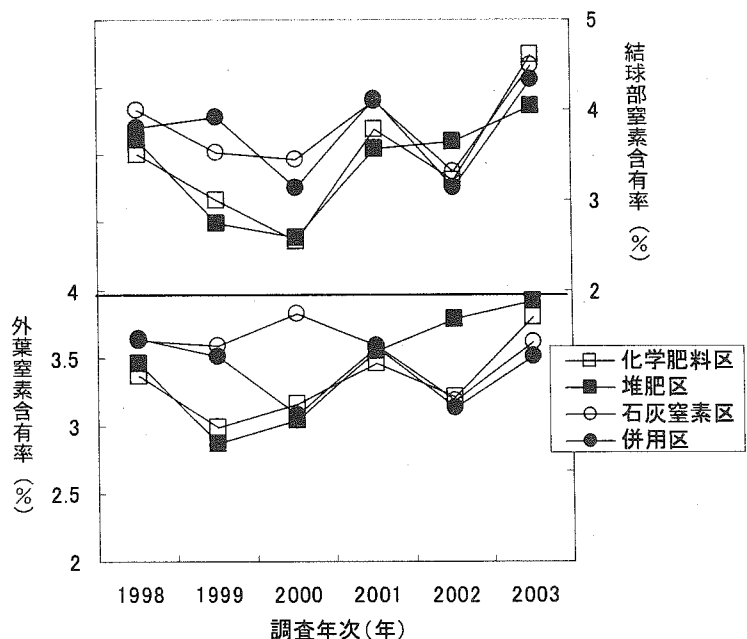


第6図 化学肥料区と比較したキャベツの早晩化

注) 化学肥料区に対する平均収穫日の差を表示



第7図 化学肥料区に対するキャベツ収量指数の年次推移



第8図 キャベツ作物体の窒素含有率の年次推移(乾物当り)

## 5 土壌の理化学性と物理性

第18表に試験開始時の土壌理化学性及び土壌改良による年次変動を、第9図に全炭素(T-C)の年次推移を、第10図に可給態窒素量の年次推移を、第11図に土壌pHの年次推移を示した。

1968年から1997年間の土壌改良により石灰、可給態リン酸、可給態ケイ酸含量は石灰窒素区、併用区が化学肥料区、堆肥区より高く、pHは石灰窒素区、併用区では7.3と当県の水田土壌改良目標値よりも高かった。全炭素、全窒素(T-N)は堆肥区、併用区が高く可給態窒素も高かった。

1998年からの牛糞オガクズ堆肥の連用により堆肥区、併用区は全炭素、全窒素、可給態窒素の増加が認められたが、pH、交換性塩基、可給態リン酸の変化は認められなかった。石灰窒素区、化学肥料区は全炭素、全窒素、可給態窒素は変化が認められなかった。

また、石灰含量はキャベツ作付毎に苦土石灰の施用を行ったが、化学肥料区、堆肥区での増減は認められなかった。石灰窒素を連用した石灰窒素区、併用区においても石灰含量の変化は認められず、pHも7.0以上で維持された。

第19表に2001年～2003年のキャベツ作終了後土壌の土壌物理性の年次推移を示した。牛糞オガクズ堆肥を連用した堆肥区、併用区が最も固相率が低く、孔げき率が大きくなった。仮比重は堆肥区が最も小さくなった。化学肥料区、石灰窒素区では孔げき率、仮比重の変化は認められなかった。

第18表 土壌改良法が水稻栽培後の土壌化学性に与える影響(乾土100g当り)

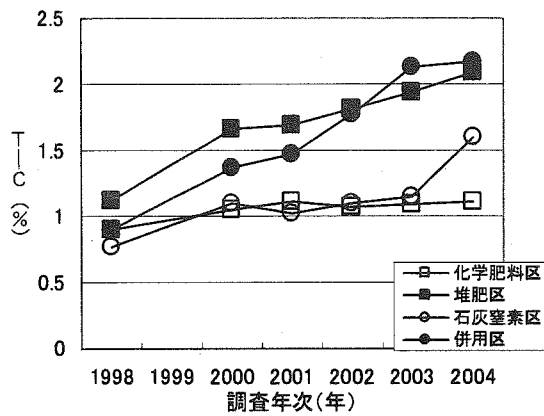
試験区名	pH (H <sub>2</sub> O)	T-C (%)	T-N (%)	交換性塩基(mg)			可給態リン 酸(mg)	可給態窒素 (mg)	可給態ケイ 酸(mg)	
				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O				
化学肥料区	試験開始時	6.1	0.90	0.10	94	17	19	55	4.7	13
	1999～2000	6.15	1.05	0.11	94	21	17	43	6.4	4.0
	2001～2002	6.45	1.09	0.12	103	25	16	33	4.4	4.3
	2003～2004	5.95	1.10	0.12	92	21	13	40	6.3	3.9
堆肥区	試験開始時	6.4	1.12	0.12	124	21	31	48	9.0	12
	1999～2000	6.55	1.66	0.16	140	29	27	49	9.1	5.1
	2001～2002	6.8	1.75	0.18	136	38	31	41	12.7	5.3
	2003～2004	6.2	2.02	0.18	130	32	26	47	14.0	5.0
石灰窒素区	試験開始時	7.3	0.77	0.09	248	47	21	247	4.7	211
	1999～2000	7.2	1.10	0.11	232	37	24	171	5.9	8.3
	2001～2002	7.45	1.06	0.11	205	35	21	108	4.1	8.7
	2003～2004	6.75	1.38	0.14	218	27	17	115	7.0	7.0
併用区	試験開始時	7.3	0.90	0.10	210	37	22	136	8.5	133
	1999～2000	7.1	1.37	0.12	212	31	22	124	7.3	6.7
	2001～2002	7.25	1.62	0.15	193	35	31	79	11.0	7.2
	2003～2004	6.7	2.15	0.19	218	29	22	104	11.7	6.6

注) 可給態窒素：キャベツ作後に調査, 可給態ケイ酸：試験開始時(1998)はリン酸緩衝液法により測定, 2000年以降湛水保温静置法により測定, T-C：全炭素, T-N：全窒素

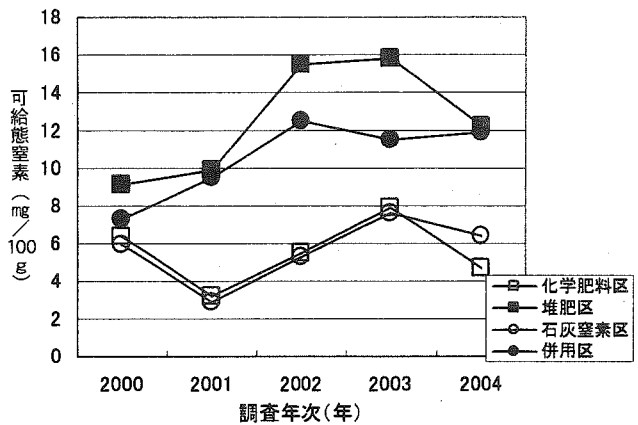
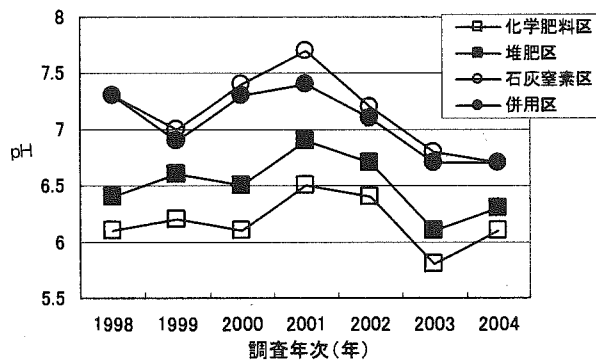
第19表 土壌改良法がキャベツ栽培後の土壌物理性に与える影響

処理区	固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	孔隙率 (%)	仮比重	
化学肥料区	2001～2002	38.2	16.2	45.7	61.9	1.00
	2003～2004	40.2	26.8	33.1	59.9	1.09
堆肥区	2001～2002	36.8	20.6	42.6	63.2	0.97
	2003～2004	32.2	25.3	42.6	67.8	0.87
石灰窒素区	2001～2002	39.6	17.9	42.6	60.5	1.04
	2003～2004	37.9	27.1	35.1	62.1	1.06
併用区	2001～2002	40.1	18.3	41.6	59.9	1.06
	2003～2004	35.3	28.3	36.5	64.7	0.94





第9図 土壤中全炭素(T-C)含有率の年次推移

第10図 土壤中可給態窒素含量の年次推移  
注)採土時期:各年度ともキャベツ作跡

第11図 土壌 pH の年次推移

## 考 察

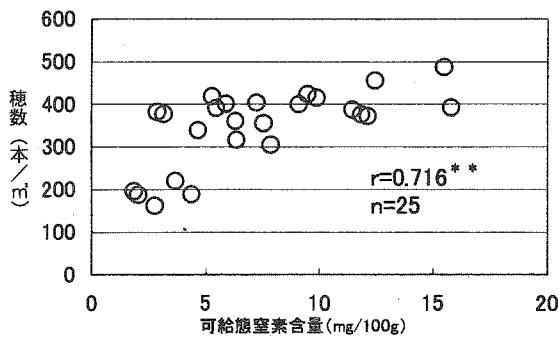
### 1 有機物、石灰窒素の連用が水稻の生育と収量に及ぼす影響

本研究は30年に及ぶ稲わら・ケイカル・熔リンによる土壤改良を行った水田で試験を開始した。

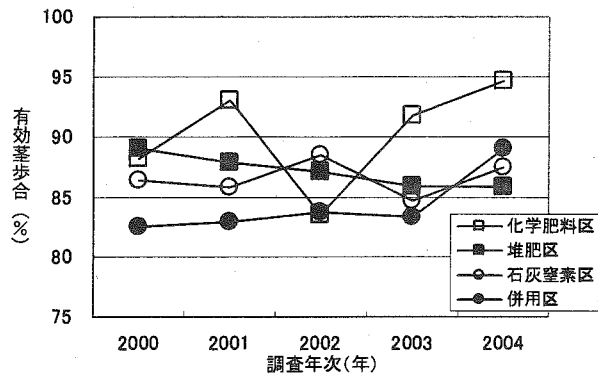
2001年(処理3年目)以降、有機物(牛糞オガクズ堆肥3t/10a)を施用した堆肥区、併用区の最高分けつ期の茎数、成熟期の穂数の指数が増加した。第12図に示すように、水稻の生育量は、土壤中可給態窒素含量との相関が高く、わら重が堆肥区、併用区で重いことから、牛糞オガクズ堆肥の施用は、特に水稻茎葉の増加に効果が高いことが認められる。有効茎歩合は併用区、石灰窒素区、化学肥料区で横這い傾向であるのに対して堆肥区では、試験年数の経過に伴い低下傾向が認められ、有機物の施用により水稻は過繁茂傾向が強くなると考えられる(第13図)。また、牛糞オガクズ堆肥の連用により、1穂もみ数が減少、千粒重が低下、玄米タンパク質含量が高くなる等、弊害も認められた。細粒黄色土においても牛糞オガクズ堆肥を連用することで窒素放出率が増加(農業研究センター, 1985)すると考えられ、水稻に対する影響が試験後半で大きいのは、各年度に施用された牛糞オガクズ堆肥からの窒素放出が累積し、水稻への窒素供給量が増加することによると考えられる。

‘箱苗まかせ N400-100’の箱内施肥における窒素溶出は幼穂形成期までに約80%、出穂期までにほぼ全量が溶出(林・森下, 2001)する。玄米タンパク質含量は水稻栽培時の施肥窒素量に大きく影響を受けることがわかっている(吉田ら, 1973. 大谷ら, 2003)ことから、牛糞オガクズ堆肥を連用することで水稻は、生育期間を通じて土壤から窒素供給を受けることが考えられる。

収量指数は2001年以降、堆肥区、石灰窒素区、併用区が同じ水準で同傾向で推移している。堆肥区は、牛



第12図 可給態窒素が水稻の穂数に与える影響  
注)2000~2004, 可給態窒素はキャベツ栽培終了後土壌で水田状態で測定, \*\* : t-検定 1%水準で有意



第13図 土壌改良が有効茎歩合に与える影響

糞オガクズ堆肥の連用により有機物由来の窒素供給量が増加し収量が高水準で維持されたと考える。石灰窒素区では、1穂もみ数、登熟歩合が高くなったことで堆肥区と同程度の収量となっていると考えられる。石灰窒素区の土壌はその前歴として珪カルと熔リンを連用していることから可給態ケイ酸含量が高く、試験期間を通じて最も高く推移した(第3表, 第18表)。ケイ酸含量の高い土壌では1穂もみ数と登熟歩合が高くなる(林・森下, 2000, 2001)ことから、石灰窒素区が堆肥区と同程度に増収しているのは土壌中のケイ酸含量の高さによるものと考えられる。しかし、併用区は、ケイ酸含量、可給態窒素含量がともに高いが収量は堆肥区、石灰窒素区と同程度である。このことから、牛糞オガクズ堆肥の連用により水稻の収量は一定の水準までは増加するが、それ以上の連用はむしろ過剰な窒素供給源となることが推察される。2004年に実施した無施肥栽培からも牛糞オガクズ堆肥を連用した場合の減肥の必要性が示唆された。

水稻のマンガン含有量は石灰窒素区、併用区が低く、pHの低い化学肥料区、堆肥区では高くなった。これは、高pH土壌ではマンガン、鉄、亜鉛等の微量元素や重金属元素は不溶化し、これら微量元素の吸収量が少なくなるためである。石灰窒素区、併用区の土壌は、試験開始時から既にpHが高く、本試験開始後も7.2前後で推移していることから、ほ場の前歴に大きく影響を受けていると考えられる。今回の試験範囲では欠乏症の発生にまでは至らなかったが、石灰窒素には55%のアルカリ分が含まれることから、多量の施用が更にpHを上げることも考えられ、欠乏症の発生が懸念される。

以上より、牛糞オガクズ堆肥 3t/10a を連用することで比較的短期間で土壌から有機物由来の窒素供給量が増加し、水稻茎葉の生育を促進する。しかし、有機物蓄積量の多い土壌では、過剰に供給される窒素分によって玄米品質が低下し、無施肥でも高水準で栽培できることから、減肥が必要である。高pH土壌での栽培はマンガンの吸収を抑制し、欠乏症の発生が懸念された。

## 2 有機物、石灰窒素の連用がキャベツの生育と収量に及ぼす影響

石灰窒素は20%の窒素を含み、石灰窒素 200kg/10a は通常施肥と併せて40kgの窒素を追加施用している。ハクサイ栽培における基肥として施用した石灰窒素の窒素利用率は約20%(平田・薮野, 1997)であるが、本試験の石灰窒素区の収量、窒素吸収量が多いことは、この石灰窒素の肥効によるものと考えられる。また、軟弱野菜の硝酸含有量は窒素施肥量の増加に比例して増加する(永井ら, 2001)ことは既に知られているが、本試験のキャベツにおいても結球部の硝酸含有量が高く、石灰窒素施用による多施肥により硝酸含量が増加することが認められた。

一方、牛糞オガクズ堆肥を連用した堆肥区、併用区で収量指数、窒素含有量が施用初期より増加傾向にあり、堆肥区では収穫日が早くなる傾向が強いことから有機物の施用によりキャベツの生育が促進されることが認められる。牛糞オガクズ堆肥のキャベツに対する肥効は、牛糞オガクズ堆肥単用では化学肥料単用より劣るが、化学肥料と併用することで増収する(山田・鎌田, 1989)ことが知られており、本試験でも同様の結果が得られた。更に試験年数の経過と共に堆肥区の収量の指数が大きくなり、作物体の窒素含有率も高ま

っていることから、牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a を連用することでその肥効が年々高くなることが考えられる。また、堆肥区の硝酸含量は化学肥料区よりも高いが、石灰窒素区、併用区の 63~69%程度と低く抑えられ、牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a の施用は、作物体の硝酸増加に対して影響が少なく、増収することが考えられた。

併用区では、キャベツの収量、窒素吸収量は石灰窒素区より多く、収穫時期、作物体の硝酸含量は石灰窒素区とほぼ同じである。このことから、石灰窒素と牛糞オガクズ堆肥の併用では、キャベツは両資材の影響を受け、その影響は石灰窒素が大きいことが認められる。

以上より、通常施肥と併せて行う石灰窒素と牛糞オガクズ堆肥の施用には共に増収効果が認められる。しかし、それぞれのキャベツに対する影響は異なり、石灰窒素は施肥効果が高く増収するが、同時に硝酸含量を増加させる。一方、牛糞オガクズ堆肥は通常施肥とあわせることで増収し、硝酸含量の増加は少ないと考えられた。

### 3 有機物、石灰窒素の連用が土壤理化学性に及ぼす影響

土壤の化学性は各処理区の前歴を反映して試験開始前から差が認められた。pH、石灰、リン酸含量は石灰窒素区、併用区が高く、全炭素、全窒素、可給態窒素含量は堆肥区、併用区が高かった。本試験期間中の土壤化学性は全炭素、全窒素、可給態窒素含量の変化が認められたが、他の要素は現状を維持するに留まった。

牛糞オガクズ堆肥の連用により堆肥区、併用区では全炭素、全窒素、可給態窒素の増加が認められ、全炭素は和歌山県の水田土壤の腐植目標値 3% (全炭素:1.74%, 腐植換算係数:1.724 (和歌山県農林水産部, 2000)) を 2002 年 (連用 5 年目) に上回り、併用区でも 2003 年には目標値以上となった。水稻の化学肥料区を 100 とした 1 穂もみ数の指数は、可給態窒素 9.1mg/100g 以上 (2001 年) で堆肥区、併用区が石灰窒素区より小さくなり 100 前後に低下した。堆肥区の有効茎歩合は試験期間をとおして低下傾向であり、可給態窒素 12.7mg 以上 (2002 年) で石灰窒素区と同等、もしくは小さくなっていた。2001 年頃から調査を行った玄米タンパク質含量は試験期間中を通じて堆肥区が高い傾向であった。これらのことから、育苗箱内施肥 (N: 5kg/10a) で当地域の細粒黄色土水田で水稻を栽培する場合、可給態窒素は 9mg/100g 程度までが適当で、9mg 以上の場合は減肥が必要であることが示唆された。

一方、石灰窒素 200kg/10a の連用は pH の上昇が予想されたが本試験期間中の pH 上昇及び石灰の蓄積は認められず、水稻-キャベツ体系での石灰窒素の施用は土壤化学性への影響が少ないことが認められた。

土壤の物理性に対して牛糞オガクズ堆肥の連用は、固相率及び仮比重の低下、孔げき率が増加し、物理性改善効果が認められたが、石灰窒素の土壤物理性改善効果は認められないため、石灰窒素施用時は同時に有機物の施用が必要であると考えられる。

以上よりキャベツ作時の牛糞オガクズ堆肥の連用は土壤中に全炭素、全窒素を蓄積し、可給態窒素を増加させ、キャベツ作時の石灰窒素 200kg/10a の施用は水稻-キャベツ体系において水稻栽培後の土壤化学性への影響は少なく、pH、石灰含量等を維持すると考えられる。

環境保全型農業に取り組み牛糞オガクズ堆肥の施用による土作りを行う場合、黄色土水田での牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a の連用は、キャベツ・水稻の収量を増加させるが、可給態窒素の増加に伴い土壤から供給される窒素量が増加し、水稻の過繁茂や玄米中タンパク質含量の増加が認められる。そのため、可給態窒素含量の多い水田では減肥が必要である。また、アブラナ科野菜の栽培に多量施用される石灰窒素は、その成分として窒素分とアルカリ分を多量に含むため、野菜に対する施肥効果が高く増収するが、高 pH 土壤での多量施用は、更に土壤 pH が上昇し水稻栽培に悪影響を及ぼすことが懸念される。石灰窒素の施用量の決定にあたっては、土壤診断に基づき、根こぶ病発病抑制効果の高い土壤 pH (吉本, 2003) とするのに必要な量のみとし、適切に行うべきである。

## 摘 要

1998 年から 2004 年までの 7 年間、黄色土水田において 3 要素、牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a (3 要素施用)、石灰窒素 200kg/10a (3 要素施用)、牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a・石灰窒素 200kg/10a (3 要素施用) の各連用

試験を行い、水稻とキャベツの生育、窒素吸収量と品質、跡地土壌の変化について検討した。

1. 牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a の連用により水稻は増収する。その効果は最高分けつ期の茎数及び成熟期の穂数の増加であったが、増収すると同時に、一穂もみ数、千粒重が減少し、玄米タンパク含量が増加した。
2. 水稻は、可給態窒素の多小により生育量が増減し、施肥量が多いと余分な窒素が水稻に悪影響を及ぼす。育苗箱内施肥 (N: 5kg/10a) 栽培では、可給態窒素は 9mg/100g 程度までが適当で、9mg 以上の場合は玄米品質が低下するため、減肥が必要である。
3. 高 pH 土壌で水稻を栽培すると水稻のマンガン含有率が低下した。高 pH 土壌での石灰窒素の施用にあたっては土壌診断に基づき、根こぶ病発病抑制効果の高い土壌 pH とするのに必要な量のみの施用とすることが重要である。
4. キャベツ作での石灰窒素 200kg/10a、牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a の連用は、増収効果が高いが、それぞれのキャベツに与える影響は異なる。石灰窒素 200kg/10a の施用は、キャベツの硝酸含量を増加させ、牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a の連用は、キャベツの生育を促進させ収穫日が早くなると共に、硝酸含量の増加を少なく抑えた。
5. 牛糞オガクズ堆肥 3 t/10a の施用は、土壌中の可給態窒素を増加させると共に土壌物理性が改善し、石灰窒素 200kg/10a の連用は、水田土壌の土壌化学性、土壌物理性への影響は小さかった。水田土壌の持続生産力を維持、向上させるには、石灰窒素施用時は同時に有機物の施用も必要である。

## 引用文献

- 大谷和彦・薄井雅夫・青木純子・山口正篤・福島敏和・佐藤圭一・星一好. 2003. 栃木県産米の食味変動要因と肥培管理による改善法. 栃木県農業試験場研究報告 No50. p. 1-18. 栃木県農業試験場. 栃木財団法人 日本土壌協会編. 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. 東京永井耕介・桑名建夫・吉倉淳一郎. 2001. 肥料の形態と量が軟弱野菜 (コマツナ) の硝酸含有量に及ぼす影響. 平成 12 年度近畿中国農業研究成果情報. p. 107-108. 近畿中国四国農業研究センター農業研究センター. 1985. 農耕地における有機物施用技術. p8-28. 茨城県林恭弘・森下年起. 2000. 黄色土水田における稲わら、ケイカルと熔リンの連用が水稻、タマネギと土壌に及ぼす影響. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告第 2 報. 99-114. 林恭弘・森下年起. 2001. 黄色土水田における稲わら、ケイカルと熔リンの連用が土壌と水稻の生育に及ぼす影響. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告第 3 報. 57-66 林恭弘・森下年起. 2001. 温暖地二毛作水田における水稻のリン酸・カリ無施用栽培. 平成 13 年度近畿中国四国農業研究成果情報. p. 187-188. 近畿中国四国農業研究センター 平田滋・藪野佳寿郎. 1997. 根こぶ病予防に施用される石灰窒素の施用時期と窒素利用率. 平成 8 年度試験研究成績概要書. p. 153-154. 和歌山県農業試験場. 和歌山 山田祐・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及び土壌に及ぼす影響. 神奈川県農業総合研究所研究報告第 131 号. p. 1-13. 神奈川県農業総合研究所. 神奈川 吉田浩・山崎栄蔵・芳賀静雄・青柳栄助. 1973. 米の品質向上に関する研究. 第 1 報 窒素追肥が米の品質に与える影響. 山形県農業試験場研究報告. 山形県農業試験場. 山形 吉本均. 2003. シアゾファミゾ水和剤の灌注処理を用いたハクサイ根こぶ病の総合防除. 植物防疫第 57 巻第 7 号. p. 1-4. 日本植物防疫協会 和歌山県農業試験場. 1995. 基準点一般調査成績書 (中間とりまとめ). p. 40. 和歌山県農業試験場. 和歌山. 和歌山県農林水産部. 2000. 土壌肥料対策指針. 和歌山県農林水産部. 和歌山