

堆肥および化学肥料の施用法の違いが作物収量 および作土からの窒素の溶脱に及ぼす影響

柿内俊輔・三角正俊・古賀 進*

Effects of Application of Fertilizers and Organic Compost on Yields and Nitrate Leaching
in Ando Soil Cropped with Cabbage, Radish, Forage Crops and Carrot
Shunsuke KAKIUCHI, Masatoshi MISUMI and Susumu KOGA

I 緒言

従来、農業は環境と最も調和した産業として自然生態系の一翼を担ってきた¹⁾と考えられていた。しかし、近年、農業の集約化に伴う化学肥料や農薬の多投入や家畜ふん尿の不適切な処理が環境へ悪影響を及ぼす場合も生じてきている。このため、一般的な環境意識の高まりとともに農業の環境への負荷が大きくクローズアップされるようになってきている。このような農業に関連する環境問題としては農業活動に伴う亜酸化窒素の発生による地球の温暖化やオゾン層の破壊などに加えて、地下水の硝酸汚染もある。

地下水の硝酸汚染は地下水への依存度の高い欧米では早くから注目され、1980年代の中頃から有効な対策がとられている。すなわちアメリカ合衆国では慣行農法から新農法への転換を図るいわゆるLISA農業の推進が行われ、ヨーロッパではイギリスなどにおいて補助金による施肥量削減や農地利用法の転換等の施策がとられている²⁾。日本でも地下水中の硝酸態窒素濃度について調査が行われ、実態が明らかにされつつあり、環境基準値の設定が現在検討されている。

熊本県においても平成元年から平成3年にかけて県下において実施された調査の結果では、調査した532箇所の井戸中24箇所の井戸(4.5%)が飲料水の基準値を超えており、概ね全国の状況と一致していた。その後の平成4年から平成7年までの定点調査により117箇所の井戸水の平均値は2.18mg/lから3.13mg/lへと上昇していることが明らかとなった³⁾。本県は熊本市をはじめとして多くの市町村で水道水を地下水に大きく依存しており、県下の水道水の80%を地下水に依存している現状であるので、大変深刻な状況にある。地下水の硝酸汚染の原因としては生活排水や工場排水などの影響も大きいですが、農業の過剰施肥や家畜ふん尿の不適切な処理なども一因となっていると考えられる。このため、農耕地からの環境への窒素負荷を軽減させるために、施肥や家畜ふん尿由来による有機物の投入が土壌中の硝酸態窒素の動態にどのよう

な影響を与えるかを明らかにすることは大変重要であると考えられる。しかし、現在、農地に過剰に施用された窒素がどのようにして地下水の硝酸汚染を引き起こすのか、その詳しいメカニズムについては明らかにされていない。

今回の試験では、土壌中に残存した硝酸は、降雨などにより下層へ移行し、地下水へ達する可能性があると考え、露地作物畑において、施肥基準に準じた標準施肥区と化学肥料を減肥又は増肥した区を設け、作物収穫後の土壌中硝酸態窒素量の比較を行った(試験I)。さらに堆肥と化学肥料を組み合わせた施肥法における作物収穫後の土壌中硝酸態窒素量の比較(試験II)を行った。

II 材料及び試験方法

1. 試験I

1) 栽培概要

試験は平成8年から平成9年までの2年間、熊本県菊池郡合志町の熊本県農業研究センター農産園芸研究所内の圃場で行った。試験規模は1区16.2m²、土壌の種類は厚層多腐植質黒ボク土である。供試作物にはキャベツ、ダイコン、飼料作物、ニンジンを用いた。キャベツの品種は第1作(平成8年春作)「秋徳」、第2作(平成8年秋作)～第4作(平成9年秋作)「麗峰1号」を用いた。ダイコンの品種は第1作「天宝」、第2作「耐病総太り」、第3作「おはる」、第4作「秋王」を用いた。飼料作物の第1作はスーダングラス「ヘイスーダン」、第2作はイタリアンライグラス「ジャイアントイタリアンライグラス」、第3作はソルガム「タチワセ」、第4作はイタリアンライグラス「P956」を用いた。ニンジンは第1作と第2作ともに「新黒田五寸」を用いた。表1に示したように、試験区として窒素減肥区、標準施肥区、窒素増肥区を設け、第1作目のダイコン及び飼料作物以外では更に無窒素区を設けた。堆肥は熊本県畜産研究所で生産された牛糞おがくず混合堆肥を全作物について播種または定植の直前に全面施用した。使用した堆肥の窒素含有量については表2に示した。キャベツ、ダイコン、

* 現熊本県農業研究センター高原農業研究所

ニンジンには窒素と加里を基肥に全面施用し、追肥として株元に1回施用した。飼料作物については窒素と加里を基肥として全面施用し、追肥を株元に収穫のつどに施用した。

各作物ともリン酸及び炭酸苦土石灰は全量を基肥と同時に全面施用した。各作物の耕種概要は表3に示した。

2) 調査項目及び分析方法

キャベツは外葉重と結球重を、ダイコン及びニンジンについては直根重と葉重を、また、飼料作物は全重を調査した。作物体の全窒素量はケルダール法⁴⁾によって測定した。土壌は最終作の収穫後にソイルオーガを用いて深さ10cm毎に採取し、陰干し、風乾した後、2mmのふるいを通し風乾細土として分析に供試した。硝酸態窒素は風乾細土に10倍容の蒸留水を加え、室温で、30分間振とうした水浸出液をイオンクロマトグラフ法により定量した。

2. 試験II

1) 栽培概要

試験は平成7年から平成9年までの3年間、計5作にわたり、熊本県菊池郡合志町の熊本県農業研究センター

内の圃場で行った。試験規模は1区22.5㎡、2連で行い、土壌の種類は厚層多腐植質黒ボク土である。供試作物はキャベツで、品種は第1作(平成7年秋作)「グリーンボール」、第2作(平成8年春作)「秋徳」、第3作(平成8年秋作)～第5作(平成9年秋作)は「麗峰1号」を用いた。表4に示したように、試験区としては無窒素区、化学肥料単用区、有機物単用区、標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増肥区および化学肥料減肥区を設けた。堆肥は第1作のみ市販の牛糞豚糞混合堆肥を用い、第2作から第5作は熊本県畜産研究所で生産された牛糞おがくず混合堆肥を用い、定植の直前に全面施用した。施用した堆肥の窒素含有量は表5に示した。第1作から第3作の施肥は全量を基肥として全面施用したが、第4作及び第5作の窒素と加里については半量を基肥として全面施用し、残りを追肥として株元に施用した。リン酸及び炭酸苦土石灰は全量を基肥と同時に全面施用した。耕種概要は表6に示した。

2) 調査項目及び分析方法

キャベツは外葉重と結球重を調査した。土壌中の硝酸態窒素量については前実験と同様に測定を行った。

第1表 各作物に対する施肥量 (kg/a)

作物名	キャベツ		ダイコン		飼料作		ニンジン	
	基肥N	追肥N	基肥N	追肥N	基肥N	追肥N ^{注)}	基肥N	追肥N
①窒素減肥区	0.8	0.8	0.7	0.3	0.6	0.3	0.5	0.2
②標準施肥区	1.2	1.2	1.0	0.5	1.0	0.5	0.8	0.4
③窒素増肥区	1.6	1.6	1.3	0.7	1.4	0.7	1.1	0.6
共通施用	堆肥	200	堆肥	200	堆肥	300	堆肥	200
	リン酸	2.0	リン酸	2.0	リン酸	1.5	リン酸	2.0
	カリ	2.0	カリ	1.5	カリ	2.0	カリ	0.8

注) 飼料作物追肥回数
 第1作(スーダングラス) 2回
 第2作(イタリアライグラス) 3回
 第3作(ソルガム) 2回
 第4作(イタリアライグラス) 1回

第2表 使用堆肥の窒素含有量

栽培時期(栽培作物)	窒素含有量(%)
H8春作(キャベツ、ダイコン、スーダングラス)	0.57
H8夏秋冬作(キャベツ、ダイコン、イタリアライグラス、ニンジン)	0.57
H9春作(キャベツ、ダイコン)	0.91
H9夏作(ソルガム、ニンジン)	0.93
H9秋冬作(キャベツ、ダイコン)	0.82
H9冬作(イタリアライグラス)	0.79

注) 窒素含有量は現物当たり(%)

第3表 各作物の耕種概要

作物名	キャベツ		ダイコン		飼料作			ニンジン	
	定植日	収穫日	定植日	収穫日	播種日	収穫日	収穫回数	播種日	収穫日
第1作目	H8.3.27	H8.6.19	H8.3.27	H8.6.3	H8.3.27	H8.8.12	3回	H8.7.25	H8.12.4
第2作目	H8.9.11	H8.11.18	H8.9.11	H8.11.7	H8.9.11	H9.5.23	4回	H9.7.29	H9.11.11
第3作目	H9.4.1	H9.6.9	H9.4.1	H9.6.3	H9.7.3	H9.10.20	2回		
第4作目	H9.9.18	H9.12.9	H9.9.9	H9.11.11	H9.11.4	H10.4.27	2回		

注) 飼料作物については最終収穫日を示している。

第4表 試験区の構成

区名	化学肥料 (N kg/a)	堆肥 (kg/a)
無窒素区	0	0
化学肥料単用区	2.0	0
有機物単用区	0	200
標準施肥区	2.0	200
化学肥料増肥区	3.0	200
有機物増肥区	2.0	400
化学肥料減肥区	1.0	400

第5表 使用した堆肥の窒素含有量

	堆肥の種類	窒素含有(%)	水分(%)
第1作	牛糞豚糞混合堆肥	2.74	30.1
第2作	牛糞おがくず混合堆肥	0.75	61.2
第3作	牛糞おがくず混合堆肥	0.86	55.6
第4作	牛糞おがくず混合堆肥	0.91	59.3
第5作	牛糞おがくず混合堆肥	0.82	55.3

注) 窒素含有量及び水分は現物当たり (%)

共通資材：炭酸苦土石灰 15 kg/a
リン酸 2.0kg/a
カリ(有機物単用区除く) 2.0kg/a

第6表 耕種概要

品 種	第1作目 (H7秋作) グリーンボール	第2作目 (H8春作) 秋徳	第3作目 (H8秋作) 麗峰1号	第4作目 (H9春作) 麗峰1号	第5作目 (H9秋作) 麗峰1号
播種日	8月23日	2月26日	8月23日	3月3日	8月26日
移植日	9月13日	3月27日	9月11日	4月1日	9月18日
収穫日	11月9日	6月19日	11月18日	6月4日	12月10日
追肥日	—	—	—	5月2日	10月20日
降水量	398mm	605mm	285mm	439mm	207mm

III 結果

1. 試験 I

表7に示したように、収量は、キャベツでは4作を通して窒素減肥区が最も低く、2作目以後、窒素増肥区が最も高かった。ダイコンでは、4作を通して標準施肥区が高く、窒素増肥区では標準施肥区と比べて、同等かそれ以下であった。ニンジンでは2作とも窒素減肥区で最も

収量が高く、窒素増肥区が最も低かった。飼料作については窒素減肥区と標準施肥区を比較すると標準施肥区の方が収量は高いが、窒素増肥区については栽培年により変動し一定した傾向は得られなかった。特に第3作の飼料作では栽培期間中に1400mmの降水があり、各区とも湿害のため十分な生育が確保できなかった。

第7表 作物別収量・窒素吸収量・みかけの窒素利用率の推移 (収量・吸収量kg/10a, 利用率%)

		第1作			第2作			第3作			第4作		
		収量	吸収量	利用率	収量	吸収量	利用率	収量	吸収量	利用率	収量	吸収量	利用率
キャベツ	標肥区	(840)	30.0	51.6	(469)	22.5	36.1	(621)	29.2	57.9	(375)	18.3	31.3
	減肥区	93	28.8	62.3	95	21.5	42.9	90	20.7	46.6	87	15.6	30.6
	増肥区	96	31.0	44.4	103	23.9	32.6	109	29.6	49.6	117	19.7	29.1
	無窒素区	28	11.7	—	39	9.8	—	3	4.7	—	12	5.6	—
ダイコン	標肥区	(477)	20.6	—	(433)	24.9	30.1	(444)	11.6	23.6	(420)	16.2	20.1
	減肥区	95	20.0	—	89	18.7	8.1	88	10.3	23.4	87	14.1	15.9
	増肥区	91	20.0	—	91	21.4	13.9	100	14.9	29.3	94	17.3	20.4
	無窒素区	—	—	—	95	17.0	—	46	3.7	—	69	9.9	—
ニンジン	標肥区	(414)	10.6	5.3	(665)	12.5	5.0						
	減肥区	102	11.1	9.1	102	14.3	12.9						
	増肥区	97	11.1	6.1	90	13.5	7.1						
	無窒素区	78	9.4	—	91	11.0	—						
飼料作	標肥区	(882)	28.1	—	(1455)	54.4	61.1	(598)	18.6	13.2	(634)	25.0	58.9
	減肥区	94	26.6	—	90	44.8	50.0	86	14.8	6.2	95	18.2	49.0
	増肥区	104	30.0	—	90	53.0	46.6	84	16.3	7.1	128	35.0	73.5
	無窒素区	—	—	—	60	28.7	—	85	12.3	—	16	2.2	—

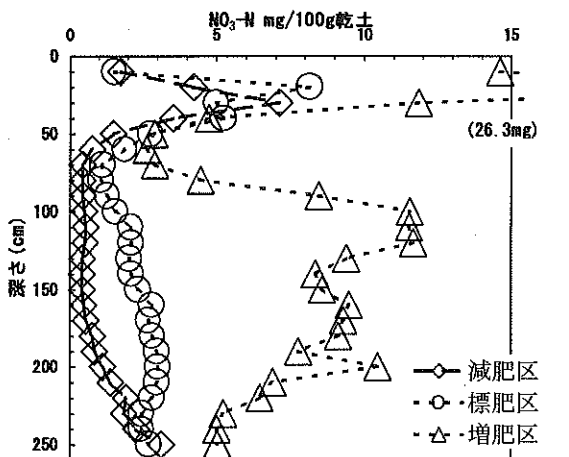
注) 収量は標準施肥区を100とした指数で表す。キャベツ、ダイコン、ニンジンについては可食部重、飼料作物は全重について示し、窒素吸収量及びみかけの利用率については圃場からの収穫物について検討した。みかけの利用率は無窒素栽培による窒素吸収量を地力由来、残りを施肥窒素及び堆肥由来として計算した。

窒素吸収量について、キャベツでは4作とも窒素増肥区>標準施肥区>窒素減肥区の順に減少した。ダイコンでは、1作目は窒素の吸収量に施肥処理間で大きな差は見られず、第2作目では標準施肥区が最も多く、次いで窒素増肥区で窒素減肥区が最も少なかった。3作目以後、窒素増肥区>標準施肥区>窒素減肥区の順に減少した。しかし、ニンジンの窒素吸収量は窒素減肥区>標準施肥区>窒素増肥区の順であった。飼料作では4作を通して窒素減肥区が最も窒素吸収量は少なく、標準施肥区と窒素増肥区との間に一定の傾向はみられなかった(表7)。

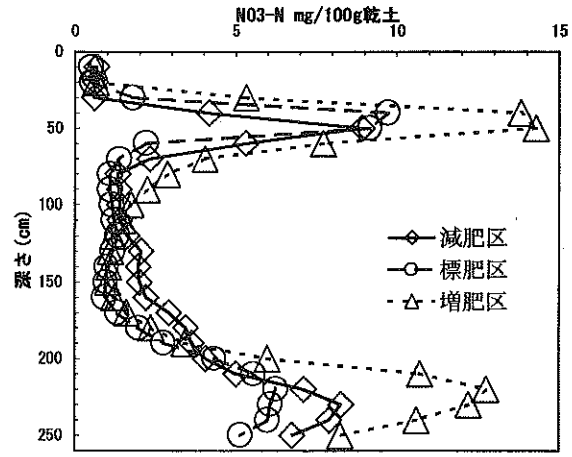
施肥窒素の見かけの利用率は、キャベツでは窒素増肥区が低く、標準施肥区と窒素減肥区では同程度かまたは、窒素減肥区の方が高い傾向が見られた。ダイコンでは標準施肥区が高く、次いで窒素増肥区で、窒素減肥区が低い傾向であった。ニンジンは窒素減肥区が高く、窒素増

肥区、標準施肥区の順であった。飼料作については、一定の傾向はみられなかった。作物別に窒素の利用率を比較すると、第2作目及び第4作目の飼料作が最も高く(第3作目は湿害のため低収になった)、ついでキャベツ、ダイコン、ニンジンの順に減少した。

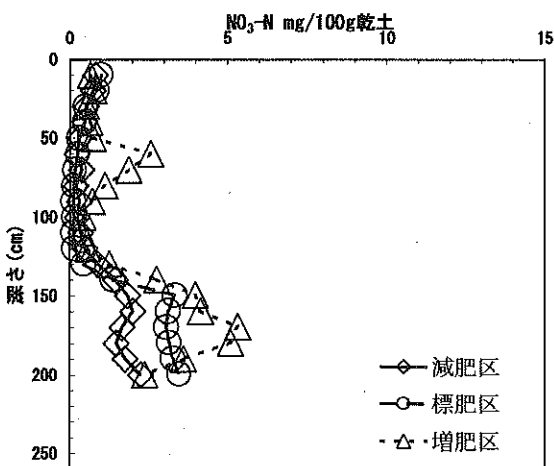
一方、最終作付けの収穫後に硝酸態窒素の土壌内の垂直分布を調査したところ、各作物ともに窒素増肥区で高いピークが認められた。標準施肥区の土壌中の硝酸態窒素量は、窒素減肥区に比べやや高いピークを示していた。ピークの位置は、各作物ともに土壌深度50cm前後と2m前後の位置に認められた。また、作物別に見ると、施肥量の多いキャベツで、ピークが高く、次いでダイコン、ニンジンの順であった。イタリアンライグラスは、施肥量がキャベツに次いで多いが、硝酸態窒素濃度は明らかに低かった(図1~4)。



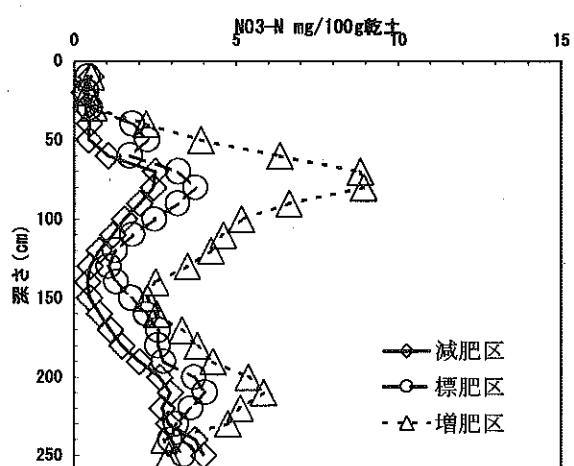
第1図 キャベツあと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成10年1月28日採土



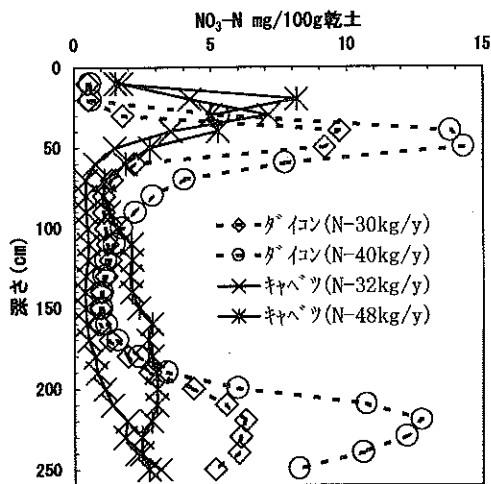
第2図 ダイコンあと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成10年1月27日採土



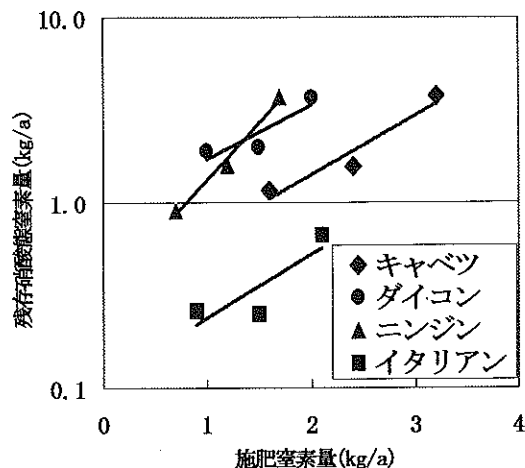
第3図 イタリアンあと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成10年5月13日採土



第4図 ニンジンあと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成10年1月29日採土



第5図 収穫後の硝酸態窒素の土壌内垂直分布の比較 (キャベツ・ダイコン)



第6図 施肥量と土壌中残存硝酸態窒素量

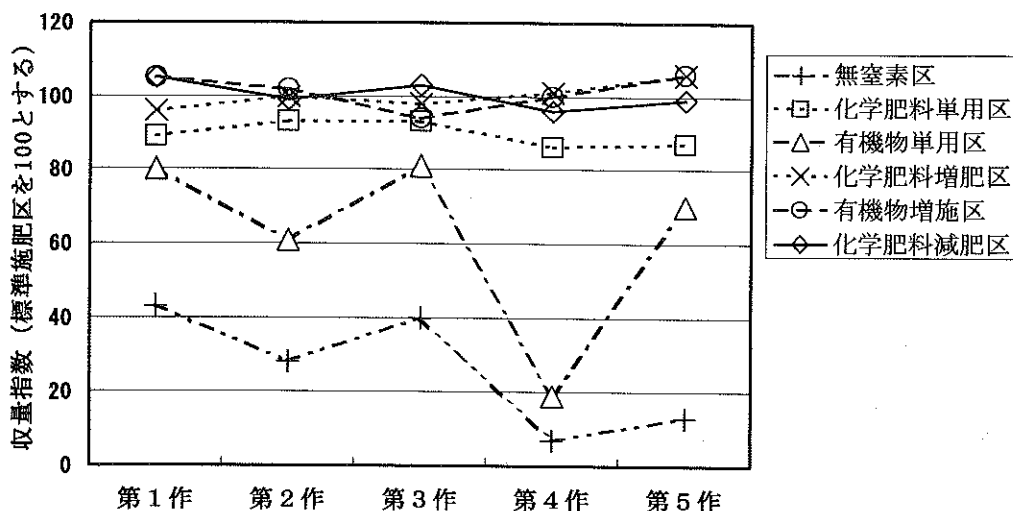
同時期に施肥を行っているキャベツとダイコンを比較すると、同程度の施肥量では、窒素吸収量の少ないダイコンの方が土壌中の硝酸態窒素量は多く、そのピークはキャベツの方がやや浅い位置にあった(図5)。土壌中硝酸態窒素の下層への移行距離は土壌中への浸透水量と対応している⁵⁾。このため、基肥施肥日から採土した日までの降水量(400mm~900mm)が最も少ない最終作の施肥窒素は最も浅い深度のピークに相当すると考えられる。そこで、そのピークの積分値を、最終作付けによる硝酸態窒素の土壌中残存量として、施肥窒素量との関係を図6に示した。それによると、各作物ともに硝酸態窒素の土壌中残存量は、施肥量の増加とともに指数的に増加し、特に、葉根菜類であるキャベツ、ダイコン、ニンジンの窒素増肥区で明らかに増大していた。

2. 試験II

表8および図7に示したように、収量は5作を通して化学肥料と堆肥の併用区が化学肥料又は堆肥の単用区に比べ高かった。単用区では化学肥料単用区(標準施肥区を100としたときの収量指数の5作平均89)が有機物単用区(平均収量指数62)より収量が高かった。併用区は何れの区も5作を通し標準施肥区とほぼ同程度の収量を得た(平均収量指数 化学肥料増肥区100、有機物増肥区102、化学肥料減肥区100)。標準施肥区と比較した場合、化学肥料増肥区では春作および秋作で同程度かやや高い傾向であった(平均収量春作101、秋作100)。有機物増肥区は春・秋作ともやや高い傾向であった(平均収量指数春作101、秋作102)。化学肥料減肥区は秋作では標準施肥区と同程度かやや劣り、春作ではやや劣る傾向がみられた(平均収量指数春作98、秋作102)(表8および図7)。

第8表 キャベツの収量の変化(結球重kg/a、指数は標準施肥区を100とする)

区名	第1作		第2作		第3作		第4作		第5作		平均指数
	収量	指数	収量	指数	収量	指数	収量	指数	収量	指数	
①無窒素区	173	43	232	28	185	40	32	7	46	13	26
②化学肥料単用区	360	89	784	93	429	93	416	86	306	87	89
③有機物単用区	325	80	513	61	377	81	93	19	246	70	62
④標準施肥区	407	100	843	100	464	100	486	100	350	100	100
⑤化学肥料増肥区	392	96	840	100	454	98	491	101	372	106	100
⑥有機物増肥区	428	105	859	102	438	94	488	100	370	106	102
⑦化学肥料減肥区	428	105	832	99	476	103	466	96	346	99	100

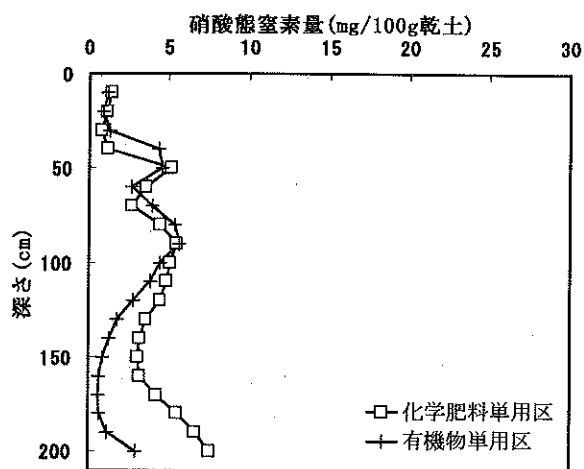


第7図 キャベツ（結球部）収量の作毎の変化

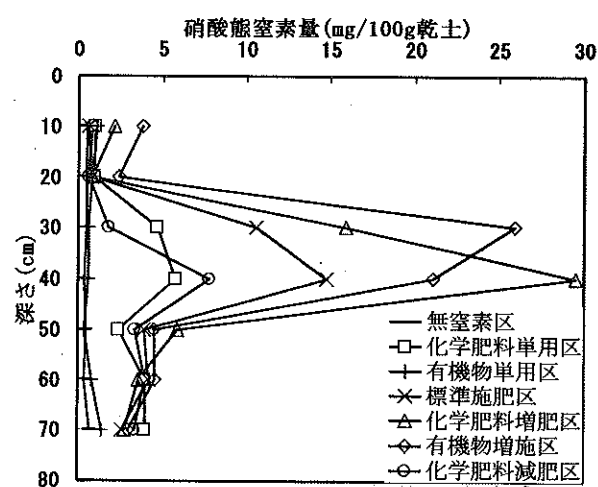
試験前の土壌中の層別硝酸態窒素量は 100cm以上の深さの土層では前作の施肥の差によるものと考えられる差がみられたが、100cmより浅い土層では、ほぼ同量の硝酸態窒素が土壌中に存在していた（図8）。試験の結果、土壌中の層別硝酸態窒素量は5作を通して、有機物単用区が最も低く、その量はほぼ無窒素区と同程度であった。第1作収穫後の調査では、化学肥料単用区、標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増施肥区、化学肥料減肥区の何れの区にも深さ40cm付近の土層に硝酸態窒素量の多い顕著なピークが見られた（図9）。その量は化学肥料増肥区が最も高く、次いで有機物増施肥区、標準施肥区の順で、化学肥料減肥区と化学肥料単用区は同程度で少なかった。深さ60~70cmの土層では、上の5区では大きな違いは認められなかった。

第2作施肥前の調査では深さ40cm付近の土層に標準施

肥区、化学肥料増肥区および有機物増施肥区に顕著なピークがみられ、硝酸態窒素が多く存在していた（図10）。しかし、その量は第1作収穫後よりも少なかった。深さ60~70cmの土層では、上記の3区及び化学肥料単用区、化学肥料減肥区の硝酸態窒素量に大きな違いはなかった。第2作収穫後の調査では、深さ10cmまでの表層で化学肥料増肥区の量が多かった。深さ30cmまでの土層では化学肥料単用区、標準施肥区、化学肥料減肥区の3区では大きな差は見られなかった。深さ40~70cmの土層は化学肥料増肥区が最も硝酸態窒素量が多く、次いで標準施肥区と有機物増施肥区が同程度の量で、化学肥料単用区と化学肥料減肥区は同程度で少なかった。しかし、深さ70cm以深の土層では化学肥料単用区、標準施肥区および有機物増施肥区で多く、化学肥料増肥区及び化学肥料減肥区の硝酸態窒素量は少なかった（図11）。



第8図 試験開始前の硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成7年9月5日採土

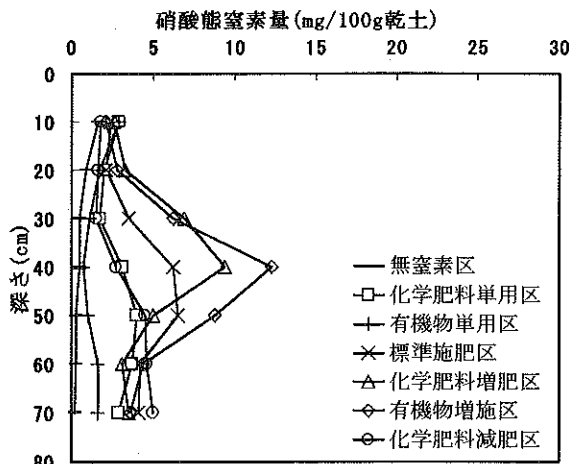


第9図 第1作あと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成7年11月17日

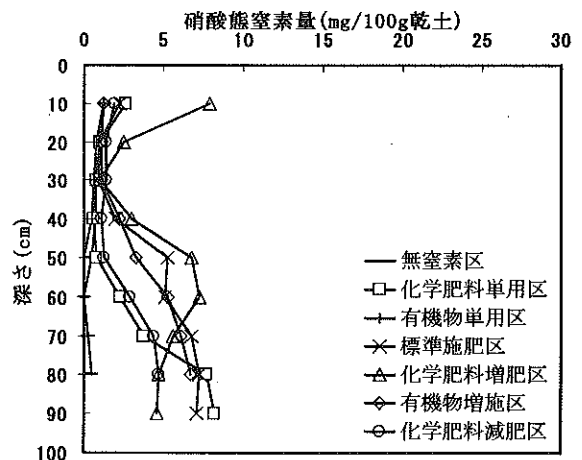
第3作施肥前の調査では20cmまでの表層で標準施肥区が他の区より若干量が多いが、20cm以深の土層では処理区間では大きな差はみられなかった(図12)。第3作収穫後の調査では化学肥料単用区、標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増施肥区及び化学肥料減肥区の何れにも20~40cmの土層に顕著なピークが見られた。ピークは標準施肥区が最も高く、ついで化学肥料増肥区であった。硝酸態窒素量は50cm~110cmまでの土層では標準施肥区が最も多かったが、110cm以深の土層では化学肥料増肥区が最も高くなった(図13)。

第4作施肥前の調査では化学肥料単用区、標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増施肥区および化学肥料減肥区の

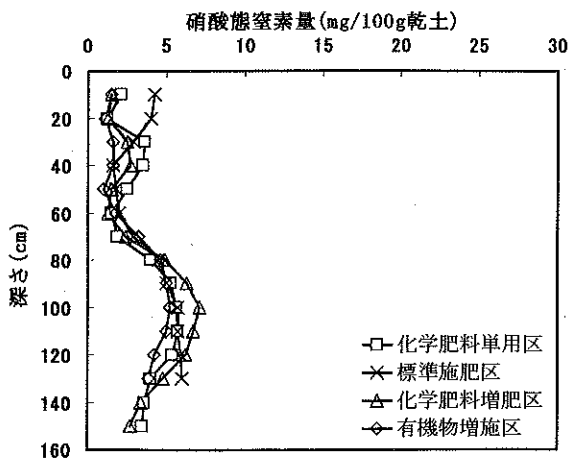
何れの区にも深さ30cm~40cmの土層に硝酸態窒素量の多い顕著なピークが見られた。その高さは標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増施肥区で明らかに第3作収穫後よりも高くなっていった。また、化学肥料増肥区では深さ100cmの土層にも顕著なピークがみられたが、他の化学肥料単用区、標準施肥区、有機物増施肥区および化学肥料減肥区では、はっきりとしたピークは認められなかった(図14)。第4作収穫後の調査では深さ40cmまでの土層では各区とも硝酸態窒素量は少なかったが、40cmより深い土層では化学肥料増肥区が最も多く、標準施肥区と有機物増施肥区が同程度で次に多く、化学肥料単用区と化学肥料減肥区が同程度で少なかった(図15)。



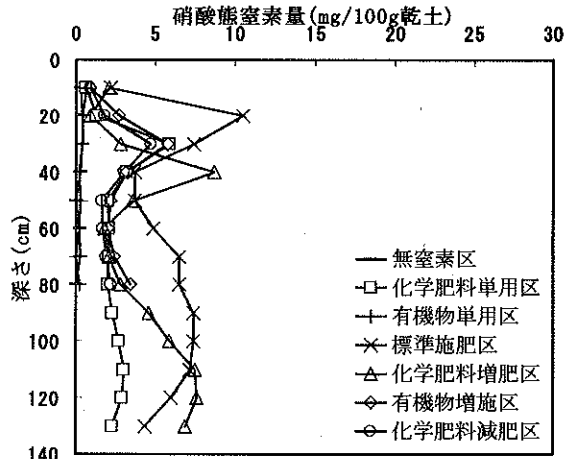
第10図 第2作まえ硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成8年3月5日採土



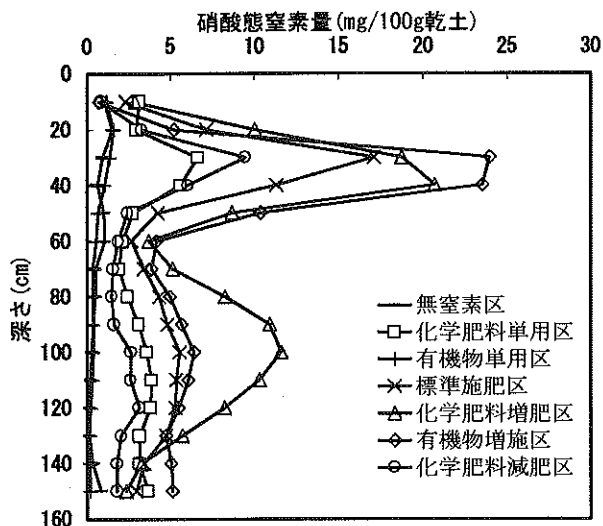
第11図 第2作あと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成8年6月28日採土



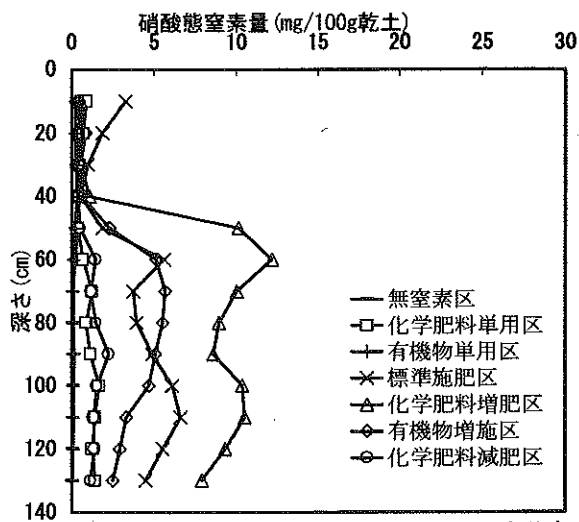
第12図 第3作まえ硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成8年9月9日採土



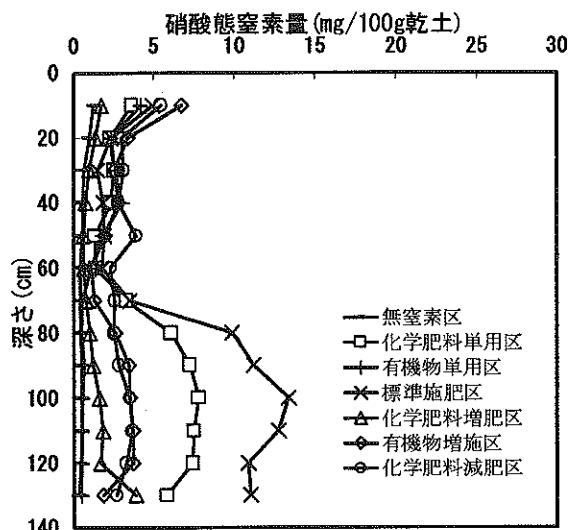
第13図 第3作あと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成8年12月18日採土



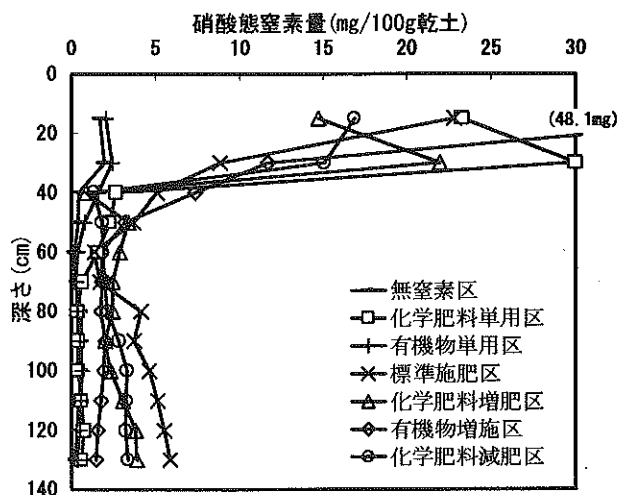
第14図 第4作まえ硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成9年3月3日採土



第15図 第4作あと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成9年6月5日採土



第16図 第5作まえ硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成9年9月8日採土



第17図 第5作あと硝酸態窒素の土壌内垂直分布
平成9年12月11日採土

第5作施肥前の調査では、深さ70cmまでの土層では、化学肥料単用区、標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増施肥区、化学肥料減肥区の何れの区でも硝酸態窒素量に大きな差はみられず、また、顕著なピークも認められなかった。深さ70cm以深の土層では標準施肥区が最も量が多く、次いで化学肥料単用区が多く、有機物増施肥区と化学肥料減肥区が同程度で、化学肥料増肥区が最も少なかった。第5作収穫後の調査では化学肥料単用区、標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増施肥区、化学肥料減肥区の何れの区でも深さ30cmまでの土層に顕著な高いピークがみられ、特に有機物増施肥区が最も高かった。しかし、40cmより深い土層では5区とも硝酸態窒素量は少なくなっていた。80cmより深い土層では標準施肥区が最も硝酸態窒素量が多く、次いで化学肥料増肥区と化学肥料減肥

区が同程度で多く、有機物増施肥区の硝酸態窒素量は低量であった。

IV 考察

施肥基準を超える窒素の増肥による増収の効果（キャベツではわずかに認められる）は小さく、収穫後に下層土壌中に残存する硝酸態窒素量が多く、その残存している窒素が収穫後の降雨などにより地下へと浸透移行することを考えると、基準量以上の窒素の増肥は、厳に慎まなくてはならない。しかし、今回の試験のように化学肥料を減肥するだけでは、収穫後の土壌中の残存硝酸態窒素量を減少させるには効果的だが、窒素の利用率の向上は見られず、エンジンを除いて減肥をすることで減収した。収量を現在の標準施肥によるものと同程度に確保し

ながら、土壌中の残存硝酸態窒素量を減少させるには、単に減肥を行うだけでなく、施肥した窒素の利用率を向上させる技術の導入が必要である。たとえばキャベツについては、緩効性肥料を用いることにより20%窒素施用量を少なくしても収量への影響が見られないこと⁶⁾や、ニンジンについては被覆肥料を利用することにより25%の減肥と40%の残存施肥窒素の削減が可能であること⁷⁾などが報告されており、肥効調節型肥料等の利用により利用率を向上させることで減肥が可能と考えられる。

キャベツ、ダイコン、飼料作物（イタリアンライグラス）、ニンジンの収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量を比較すると、イタリアンライグラス収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量は他の葉根菜類に比べて少なかった。これはイタリアンライグラスの窒素利用率が他の葉根菜類に比べて明らかに高かったことが影響していると考えられた。また、葉根菜類について、作物別に比較すると、施肥量（キャベツ>ダイコン>ニンジン）が異なっていたにもかかわらず、標準施肥区間及び増肥区間での収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量は同程度であった。このことにも、施肥量の多いキャベツでは利用率が高く、施肥量が少ないニンジンでは利用率が低いことなどが影響していると考えられた。これらのことから、施肥窒素の作物による利用率の向上をはかることで、収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量を低減することができると考えられる。

収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量のピーク位置をキャベツとダイコンで比較すると、キャベツとダイコンはほとんど同時期に施肥等の管理を行っているにもかかわらず、キャベツの硝酸態窒素のピークがやや浅いところに見られた。これは硝酸の溶脱が遅れていることを示しており、作物によるほ場の被覆度の違いが関係していると考えられる。すなわち、キャベツ作では、ほ場の大部分が作物体に覆われているのに対して、ダイコン作ではほとんど覆われていないことにより、降雨による浸透水量に差が生じるためと考えられる。このことから、浸透水量を低下させるような栽培法（マルチ等）も硝酸態窒素の溶脱量の低減には大変有効であることを示している。

試験Ⅱのキャベツ作については、化学肥料や堆肥の単独施用では収量は十分得られなかった。同様の結果が神奈川県農総研で行われた15年にわたる長期の牛ふん堆肥連用によるキャベツ（冬作）栽培試験で得られており、化学肥料単用よりも堆肥の併用により収量が高まることが報告されている⁸⁾。特に秋作では堆肥単用である有機物単用区においては、標準施肥区の8割程度の収量を得ることができたが、低温で経過する春作では、第2作の収量指数が61、第4作が19と十分な収量を得ることができず、収量が安定しないことが明らかとなった。これは

比較的高温で推移する秋作に比較して、生育前半が低温で経過する春作では堆肥の分解が進みにくく窒素の肥効が発現しにくいとえられる。化学肥料と堆肥を組み合わせた標準施肥に比較して、化学肥料を5割増肥した化学肥料増肥区や堆肥を倍量施用した有機物増肥区の収量はほぼ同程度であった。また、化学肥料を5割減肥して堆肥を倍量施用した化学肥料減肥区では、堆肥単用の有機物単用区と同様に春作では標準施肥区より収量はやや劣ったが、減収割合は小さく、秋作ではむしろやや高い収量が得られており、周年として考えるとほぼ標準施肥区と同等の収量が得られた。

土壌中の硝酸態窒素量は、キャベツ5作を通して、有機物単用区が最も少なく、無窒素区とほぼ同程度の量であった。このことは堆肥が徐々に分解し、窒素の無機化がゆっくりと進み、作物に効率的に吸収され、作土中に過剰な硝酸態窒素が残存しないためと考えられる。次いで化学肥料減肥区が少なく、その量は明らかに標準施肥区よりも少なかった。有機物単用区、標準施肥区及び化学肥料増肥区を比較することで、一定の堆肥施用量下での化学肥料の施肥量変化が土壌中硝酸態窒素量に及ぼす影響をみる事ができる。すなわち、土壌中の硝酸態窒素は施肥前、収穫後ともに化学肥料を施肥しない有機物単用区が最も少なく、化学肥料増肥区が明らかに標準施肥区よりも多かった。また、化学肥料単用区、標準施肥区及び有機物増肥区を比較し、一定の化学肥料の施肥量下での、堆肥施用量の変化による影響をみると、土壌中硝酸態窒素量は堆肥を施用しない化学肥料単用区で少なく、堆肥を増肥した有機物増肥区では標準施肥区と比べ、やや多い程度であった。このように土壌中の硝酸態窒素量は、化学肥料及び堆肥の施用量及び組み合わせの影響が大きく反映すると見ることができると考えられる。

また、第3作収穫直後（11月）と第4作施肥前（4月）を比較すると標準施肥区、化学肥料増肥区、有機物増肥区および化学肥料減肥区では表層の硝酸態窒素量が明らかに多くなっていたが、これに対し化学肥料単用区、有機物単用区ではその傾向は認められなかった。これは前作に施用されたが未分解の堆肥が休耕中に無機化し土壌中に蓄積したものととも考えられる

以上のように、畑地栽培に於いて、作土からの窒素の溶脱は必ずしも施肥量の多い作物によってのみ引き起こされやすいのではなく、施肥量の少ない作物でも、もし過剰に施肥がなされる場合には、作土からの窒素溶脱量が多くなり、収穫後の土壌中硝酸態窒素の残存量は多くなることが示唆された。また、窒素肥料の減肥は収穫後に土壌中に残存している硝酸態窒素量を減少させる有効な手段であるが、同時に減収を引き起こすので、これを

防ぐための施肥窒素の利用率を向上させることが不可欠であることも明らかとなった。また、化学肥料だけでなく堆肥を過剰に施用することによっても、土壤中の硝酸態窒素量を増大させるので、堆肥の投入も適正施用量を守る事が重要であることも明らかとなった。

このように化学肥料あるいは堆肥の施用量を単独で変えても収量を確保しながら、土壤中の硝酸態窒素量を低下させることには限界がある。従って両者を組み合わせた施用法が有効であると考えられる。今回行った試験ではキャベツ作について、化学肥料を施肥基準の半分に減肥し、堆肥を倍量に増施することによって収量を維持しつつ、収穫後の土壤中残存硝酸態窒素量を減少させることができるという結果が示された。同様の結果は大分県農業技術センターで行われた豚ふん堆肥と化学肥料を組み合わせた試験においても認められている⁹⁾。

しかし、化学肥料を施肥基準の半分に減肥し、堆肥を倍量に増施すると、実際に土壤中に投入される全窒素量は標準施肥区よりも多くなる。さらに、神奈川県農総研の報告⁹⁾では、堆肥の長期にわたる連用は、塩基バランスの悪化による収量の低下や土壤中への窒素成分の集積などを引き起こし、結果として窒素の利用率を低下させ、地下水汚染の原因となる可能性があるため、利用率が低下傾向を示し始める5年目以降の減肥の必要性が指摘されている。また、豚ふん堆肥の連用では交換性カリウムや重金属の蓄積も認められている⁹⁾。これらのことから、堆肥を長期にわたり連用する場合は定期的な土壌診断とそれに基づく施肥管理技術が欠かせないと考えられる。

今後、耕種農家のもつ「収量を現状並に維持しながら土壌中硝酸態窒素を削減する」という課題と畜産農家のもつ「家畜ふん尿に由来する有機物を環境に優しく適正に処理する」という課題を同時に解決できる耕畜連携技術の一環として堆肥と化学肥料を組み合わせた効果的な施用技術について今後も更に検討していきたい。

V 摘要

農地から地下水へと溶脱していく硝酸態窒素量を低減させるための合理的な栽培・肥培管理技術の確立のために、露地作物に対する施肥量、堆肥の施用量などの違いが土壌中の硝酸態窒素の動態にどのような影響を及ぼす

かを調べた結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 各作物とも収穫後の土壌中硝酸態窒素量は施肥窒素量に応じて増加する。
- 2) 飼料作物（イタリアンライグラス）はキャベツ、ダイコンよりも施肥量は多いが、収穫後の土壌中硝酸態窒素量は少ない。
- 3) キャベツ、ダイコン、ニンジン作の標準施肥量は異なっているにもかかわらず、収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量は同程度であり、増肥した場合でも、土壌中の残存硝酸態窒素量は同程度である。
- 4) キャベツ栽培において、堆肥の施用量を一定とすると、収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量は化学肥料を施用しない有機物単用区で最も少なく、化学肥料を標準施肥区に対し5割増肥した区で標準施肥区よりも多くなる。
- 5) 化学肥料の施肥量を一定とすると、収穫後の土壌中残存硝酸態窒素量は、堆肥を施用しない化学肥料単用区で少なく、標準施肥区に対して堆肥を倍量施用した区では標準施肥区よりやや多くなる。
- 6) 標準施肥区に対し堆肥を倍量、化学肥料を半量して施用した場合、収穫後の土壌中硝酸態窒素は明らかに標準施肥区よりも少なくすることができ、収量も標準施肥区と同量得ることができる。

VI 参考文献

- 1) 熊澤喜久雄：環境保全型農業の展開に向けて，p2，環境保全型農業研究社編，地球社，
- 2) 新田恒雄：農業技術，48，p1-6，1993
茨城農試研報，1，p63-77，1994
- 3) 熊本県：平成8年度版環境白書
- 4) 農水省農蚕園芸局農産課編：土壌，水質及び作物体分析法，p161，昭和54年
- 5) 小財 伸：九農研，60，p62，1998
- 6) 後 俊孝：窒素負荷軽減に配慮した土壌・肥培管理，p108-112，財団法人 日本土壌協会，平成9年
- 7) 北嶋敏和：岐阜農研セ研報，4，p1-p35，1991
- 8) 上山紀代美，藤原俊六郎，船橋秀登：
神奈川農総研研報，136，p31-p40，1995
- 9) 佐藤英子，小野 忠，築城文明：九農研，61，1999

Effects of Application of Fertilizers and Organic Compost on Yields and Nitrate Leaching in Ando Soil Cropped with Cabbage, Radish, Forage Crops and Carrot

Shunsuke KAKIUCHI, Masatoshi MISUMI and Susumu KOGA

Summary

The effects of cropped species and application rates of chemical fertilizers and organic compost on nitrate leaching in upland field of Ando soil were examined in order to improve an application method of fertilizers for reduction of nitrate contamination of groundwater. The obtained results were summarized as follows.

1. The amounts of accumulated nitrate in the subsoils of plots, where cabbage, radish, Italian ryegrass and carrot were planted for two years, increased with increasing rates of nitrogen fertilizer.
2. The amounts of accumulated nitrate in the subsoils of Italian ryegrass planted plots were less than those in cabbage, radish, and carrot planted spots, even though the amounts of applied nitrogen fertilizer to the former were more compared to the latter.
3. In cabbage, radish, and carrot planted plots applied nitrogen fertilizer at middle rate, the nitrate leaching were almost same, nevertheless the actual applied amounts of nitrogen fertilizer differed one another. Even at high rate of nitrogen fertilization the same tendency was recognized.
4. Effects of combined application of chemical fertilizer and compost to cabbage on nitrate leaching were examined. When the compost was applied at an uniform rate, nitrate leaching was increased by increasing of chemical fertilizer.
5. At high rate of chemical fertilizer application, the nitrate leaching was more than that according to the current fertilizer recommendation for cabbage. However it was slightly more at high rate of organic compost application.
6. The combined application of a half nitrogen fertilizer and twice organic compost of the current fertilizer recommendation for cabbage, reduced the nitrate leaching in comparison to the application according to the fertilizer recommendation, but the yields did not differ each other.