

黒ボク土における牛ふん堆肥の連用が秋どりダイコンの 生育及び土壌の化学性に及ぼす影響

吉田俊郎・安藤光一

キーワード：ダイコン、牛ふん堆肥、堆肥連用、窒素、黒ボク土

I 緒 言

冬期温暖な千葉県東総地域は、三浦半島と並ぶ春どりキャベツや秋冬ダイコンの大産地となっている。この地域では生産を安定させるため、深耕や輪作作物の導入など、土壌改良に多くの取り組みがなされ、畜産が盛んな地域でもあるため、家畜ふん堆肥が大量に投入される事例がみられる。また、県内全域においても大型機械による頻繁な耕うんと稲わらなどの植物性有機物の不足による土壌物理性の悪化を防止するため、家畜ふん堆肥へと有機物源が変化し、窒素、リン酸、加里など肥料成分が多投入されている(金子, 2007)。

堆肥連用の影響については、窒素肥沃度や土壌の物理性が低下しやすい沖積畑(六本木ら, 1992a, 1992b, 1993)での試験が多い。また、堆肥を化学肥料代替資材として捉えた研究も行われている(岩田・歌田, 1968; 中津ら, 2000; 石井ら, 2003)。

著者らは、土壌の化学性に対する有機物連用の効果を明らかにするため、新規造成圃場(黒ボク土壌)を利用して、1981年からの11年間に稲わら堆肥などの有機物連用による肥沃化の過程を、1992年からの11年間に堆肥連用の有無と化成肥料の施用量を組合せ、肥沃化した圃場における地力窒素の供給能力を評価した。その結果、堆肥連用により土壌中の腐植含量が高まり、全窒素、可給態窒素及び可給態リン酸含量が高まり、陽イオン置換容量(以下、CECとする)が増加し、交換性加里、交換性石灰及び交換性苦土含量が高まることが明らかとなった。一方、春どりキャベツの場合、気象条件により初期生育が早い年に化成肥料を減量すると生育が遅れ、結球時期が高温期にずれるため、結球重量がむしろ大きくなるなど、生育が天候の影響を受けやすく、土壌養分の富化が必ずしも収量の増大に結びつかないことを明らかにした(吉田ら, 2004)。

そこで、千葉県東総地域の気候や土壌条件下で春どりキャベツと並び、この地域の主品目である秋どりダイコンの輪作体系で、土壌の肥沃度を高めるための有機物の施用

効果、肥沃化した後の肥培管理のあり方を明らかにする必要があると考えた。供試する有機物には、前報(吉田ら, 2004)の稲わら堆肥に替えて、この地域で大量に産出される牛ふん堆肥を用いることとした。結球状態により収穫時期が決定されるため、土壌養分の富化が必ずしも収量の増大に結びつきにくい春どりキャベツと異なり、秋どりダイコンでは、牛ふん堆肥を6年にわたり連用したところ、一定の傾向が認められたのでここに報告する。

なお、本試験における土壌分析は生産環境部土壌環境研究室、6作目に採取した植物体及び深さ別の土壌分析は検査業務果の方々に、栽培及び収量調査は東総野菜研究室の諸氏にご協力いただいた。関係各位に深く謝意を表す。

II 材料及び方法

1. 試験区の設定

試験区は牛ふん堆肥の施用量に化成肥料の施用量の多少を組合せることとし、堆肥6t連用・化成標準区、堆肥6t連用・化成減量区、堆肥3t連用・化成標準区、堆肥3t連用・化成減量区、堆肥無施用・化成標準区、堆肥無施用・化成減量区の6区とし、1区100㎡で、反復はとらなかった。化成減量区は秋どりダイコンでは化成肥料無施用、春どりキャベツでは標準区の半量とした。試験は2003年から2008年まで実施した。

試験圃場には、千葉県旭市(旧飯岡町)の1979年に林地を開墾して造成した黒ボク土壌(淡色黒ボク土)を用いた。本試験の各試験区には、前報(吉田ら, 2004)で用いた圃場を連続して使用することとし、堆肥6t連用区には稲わら堆肥を1981年から22年間連用した区、堆肥3t連用区には稲わら堆肥を1992年から11年連用した区、堆肥無施用区には堆肥無施用区、化成標準区には化成標準区、化成減量区には春どりキャベツに対する化成肥料の施用量を標準区の3分の2とした化成減量区を割り当てた。

2. ダイコン、キャベツの栽培

ダイコンの栽培は「福天下」(みかど協和)を毎年9月10日前後に1か所3粒播種し、最も生育が遅いと思われる堆肥無施用・化成減量区の最大葉長が10cmに達するところ全区一斉に間引きを行い、1か所1株とした。栽植密度は畦

第1表 ダイコンの作付け年度別の播種日、間引き日、収穫日、生育日数

連作回数 (回)	年 度 (年)	播種日 (月/日)	間引き日 (月/日)	収穫日 (月/日)	生育日数 (日)
1	2003	9/10	9/30	11/26	77
2	2004	9/10	9/28	12/ 4	85
3	2005	9/10	9/28	12/14	94
4	2006	9/11	9/30	11/28	80
5	2007	9/10	9/28	11/29	80
6	2008	9/10	9/28	11/23	74

注) 品種は「福天下」(みかど協和)

第2表 供試した牛ふん堆肥の成分例

品 名	水 分 (%)	C/N比	全窒素 (%)	全炭素 (%)	全リン酸 (%)	全加里 (%)	全石灰 (%)	全苦土 (%)
牛ふん堆肥	54.7	10.4	0.92	10.4	0.47	1.85	0.77	0.37

注) 2003年7月に施用した牛ふん堆肥。副資材はもみ殻、おが屑

間60cm, 株間25cmとした。6年間のダイコン栽培の詳細を第1表に示した。

初期生育の調査は、間引き時に1区30株の最大葉長を測定した。収穫期の生育調査は、株数を1区12株とした。また、ダイコンは生育日数を延長すると、その品質を維持しつつ、収量が高くなる。そこで、第1表に示した収穫日に全区一斉に収穫調査するとともに、4作目の2006年には堆肥連用や化成肥料施用の効果を日数で評価するため、根重が1～2kgのところに週1～2回の頻度で6回実施した。

堆肥連用区には、毎年、銚子市内の特定の畜産農家が同じ製法で製造したおがくず牛ふん堆肥(地域で標準的なものを選定)を購入し、7月上旬に施用した。堆肥の成分は第2表に示した。ダイコンへの施肥は、ST45(ST尿素化成高度45, 15-15-15)を化成標準区に60kg/10a施用し、減量区は無施用とした。

キャベツの栽培は、「金系201号」(サカタのタネ)を毎年11月20日前後に雨よけハウス内の地床に播種し、本葉5～6枚程度となる2月中旬に定植した。栽植密度は畦間60cm, 株間40cmとした。収穫は結球した株から随時行ない、外葉は鋤き込んだ。施肥は、全区とも定植の約1か月前に苦土重焼燐を60kg/10a, 炭酸苦土石灰を100kg/10a施用した。また、基肥として高度16(尿素硫加燐安48号, 16-16-16)を化成標準区には80kg/10a, 化成減量区には40kg/10a, 追肥として結球始期に、やさい追肥専用(硝燐加安S842, 18-4-12)を化成標準区には20kg/10a, 化成減量区には10kg/10a施用した。

3. 植物体及び土壌の分析

毎年、栽培終了直後に株間の土壌を深さ0～15cm, 15～30cmの2層に分けて採取し、分析に供した。また、最終年には植物体中の無機成分を葉部と根部別に分析するとともに、下層への養分の移動状態を知るため、土壌を深さ0～

15cm, 15～30cm, 30～45cm, 45～60cm, 60～75cm, 75～90cmの6層に分けて採取し、分析に供した。

植物体は、生育調査後に中庸なダイコン6株を選び、葉部と根部別に800g程度をとり、75℃の乾燥機で乾燥し、乾燥の前後には正確に秤量した。続いてウイレー型粉碎機で粉末にし、分析に供した。全窒素含有量は、乾式燃焼法(植物栄養実験法編集委員会, 1990)によりNCアナライザー(SUMIGRAPH NC900, 住化分析センター製)を用いて測定した。塩基類はサンプル1gを450℃の電気炉で灰化後、塩酸抽出したろ液を供試液とした。全リン酸は比色法で、陽イオン濃度は原子吸光分光光度計(Z-5010, 日立ハイテククロジーズ社製)を用いて測定した。

土壌は室内で乾燥させた風乾土を粒径2mm以下に篩別後に用いた。pH及びECは、風乾土10gに対して純水50mLを加え、30分振とう後に測定した。

無機態窒素含有量は風乾土20gに対して10%塩化カリウム溶液90mLを加えて30分振とう、抽出した後、硝酸態窒素は銅・カドミウム還元—ナフチルエチレンジアミン吸光光度法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)、アンモニア態窒素はインドフェノール青吸光光度法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)により、フローインジェクション分析装置(FA-100, アクラ・ラボ社製)を用いて測定した。可給態窒素含有量は畑状態保温静置法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)により測定した。

全炭素及び全窒素含有量は、乾式燃焼法(植物栄養実験法編集委員会, 1990)によりNCアナライザー(SUMIGRAPH NC900, 住化分析センター製)を用いて測定した。

可給態リン酸はトルオーグ法(土壤環境分析法編集委員会, 1997)で測定した。CEC及び交換性陽イオン含有量は、AUTO-CEC分析法(千葉県, 2005)により、全自動汎用抽出ろ過装置(SPAD AUTO CEC-10, 富士平工業社製)

第3表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン間引き時の最大葉長の推移

試験区 堆肥－化成	1作目 (cm)	2作目 (cm)	3作目 (cm)	4作目 (cm)	5作目 (cm)	6作目 (cm)
6t連用－標準	17.9 (116)	17.3 (118)	17.3 (115)	15.0 (115)	18.0 (116)	19.6 (137)
3t連用－ "	16.7 (108)	17.4 (118)	17.4 (116)	14.0 (107)	18.1 (116)	19.1 (134)
無施用－ "	15.4 (100)	14.7 (100)	15.0 (100)	13.1 (100)	15.5 (100)	14.3 (100)
6t連用－減量	15.0 (129)	13.8 (137)	13.8 (134)	13.3 (128)	18.2 (137)	17.2 (140)
3t連用－ "	13.5 (116)	11.7 (116)	11.7 (114)	12.0 (115)	16.0 (120)	14.8 (120)
無施用－ "	11.6 (100)	10.1 (100)	10.3 (100)	10.4 (100)	13.3 (100)	12.3 (100)

注) 括弧内の数値は、年度ごとに化成標準区及び化成減量区それぞれの堆肥無施用区を 100 とした時の比

第4表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン収穫時の葉重の推移

試験区 堆肥－化成	1作目 (g/株)	2年目 (g/株)	3年目 (g/株)	4年目 (g/株)	5年目 (g/株)	6年目 (g/株)
6t連用－標準	322 (127)	308 (123)	296 (134)	342 (152)	288 (138)	492 (174)
3t連用－ "	302 (119)	254 (102)	292 (132)	304 (135)	257 (123)	396 (140)
無施用－ "	253 (100)	250 (100)	221 (100)	225 (100)	208 (100)	283 (100)
6t連用－減量	328 (150)	288 (157)	275 (178)	354 (230)	237 (110)	467 (207)
3t連用－ "	257 (118)	204 (111)	242 (157)	267 (173)	220 (102)	313 (139)
無施用－ "	218 (100)	183 (100)	154 (100)	154 (100)	215 (100)	225 (100)

注) 括弧内の数値は、年度ごとに化成標準区及び化成減量区それぞれの堆肥無施用区を 100 とした時の比

第5表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン収穫時の根重の推移

試験区 堆肥－化成	1作目 (g/株)	2作目 (g/株)	3作目 (g/株)	4作目 (g/株)	5作目 (g/株)	6作目 (g/株)
6t連用－標準	1,400 (118)	1,710 (157)	1,340 (135)	2,040 (153)	1,390 (122)	1,700 (136)
3t連用－ "	1,400 (118)	1,410 (129)	1,380 (139)	1,770 (133)	1,510 (132)	1,560 (125)
無施用－ "	1,180 (100)	1,090 (100)	990 (100)	1,330 (100)	1,140 (100)	1,250 (100)
6t連用－減量	1,310 (157)	1,210 (149)	1,140 (173)	1,830 (178)	1,560 (168)	1,630 (163)
3t連用－ "	1,090 (131)	1,010 (125)	870 (132)	1,510 (147)	1,330 (143)	1,330 (133)
無施用－ "	830 (100)	810 (100)	660 (100)	1,030 (100)	930 (100)	1,000 (100)

注) 括弧内の数値は、年度ごとに化成標準区及び化成減量区それぞれの堆肥無施用区を 100 とした時の比

を用いて抽出し、フローインジェクション分析装置及び原子吸光分光光度計 (Z-5010, 日立ハイテクノロジーズ社製) を用いて測定した。

Ⅲ 結 果

1. ダイコンの生育、収量の推移

(1) 初期生育

ダイコン間引き時の最大葉長を第3表に示した。堆肥の連用 (あるいは施用量) 効果をみるため、年度ごとに堆肥無施用区の最大葉長を100とすると、化成標準区では3t連用区で107～134, 6t連用区で115～137であり、6作目を除き堆肥の施用量の影響が小さく、堆肥6t連用区と堆肥3t連用区の間に差がなかった。一方、化成減量区では3t連用区で114～120, 6t連用区で128～140と堆肥施用量が多いほど長かった。また、堆肥6t連用・化成減量区では4作目から、堆肥3t連用・化成減量区では5作目から堆肥無施用・

化成標準区より長くなった。

化成肥料の施用量の効果としては、5作目の6t連用区を除き、化成標準区の最大葉長が化成減量区と比べて長かった。

(2) 収穫期の生育

ダイコン収穫時の葉重を第4表に示した。堆肥の連用 (あるいは施用量) 効果をみるため、堆肥無施用区の葉重を100とすると、化成標準区では3t連用区で102～140, 6t連用区で123～174であり、堆肥の施用量が多いほど重く、化成減量区では3t連用区で102～173, 6t連用区で110～230と堆肥施用量が多いほど重かった。また、葉重の推移は、堆肥6t連用・化成減量区では1作目から、堆肥3t連用・化成減量区では3作目から堆肥無施用・化成標準区より重くなった。

葉重の推移は、堆肥6t連用・化成減量区では1作目から、堆肥3t連用・化成減量区では3作目から堆肥無施用・化成標準区より重くなった。

化成肥料の施用量の効果としては、1作目及び4作目の

第6表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン収穫時の葉長の推移

試験区 堆肥－化成	1作目 (cm)	2作目 (cm)	3作目 (cm)	4作目 (cm)	5作目 (cm)	6作目 (cm)
6t連用－標準	39 (118)	37 (114)	43 (133)	47 (129)	35 (109)	44 (128)
3t連用－ "	39 (118)	35 (108)	38 (118)	46 (128)	35 (109)	46 (135)
無施用－ "	33 (100)	33 (100)	32 (100)	36 (100)	32 (100)	34 (100)
6t連用－減量	36 (124)	40 (126)	40 (142)	43 (155)	35 (135)	44 (142)
3t連用－ "	35 (121)	35 (109)	36 (129)	41 (148)	30 (115)	37 (119)
無施用－ "	29 (100)	32 (100)	28 (100)	28 (100)	26 (100)	31 (100)

注) 括弧内の数値は、年度ごとに化成標準区及び化成減量区それぞれの堆肥無施用区を100とした時の比

第7表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン収穫時の根長の推移

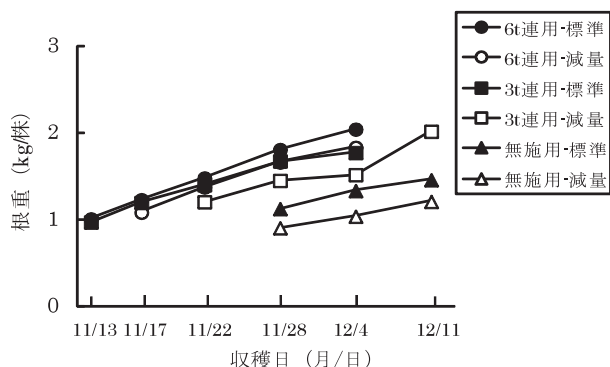
試験区 堆肥－化成	1作目 (cm)	2作目 (cm)	3作目 (cm)	4作目 (cm)	5作目 (cm)	6作目 (cm)
6t連用－標準	37 (112)	36 (116)	38 (115)	39 (116)	37 (113)	40 (113)
3t連用－ "	35 (106)	33 (106)	37 (114)	38 (112)	38 (117)	41 (115)
無施用－ "	33 (100)	31 (100)	33 (100)	34 (100)	32 (100)	36 (100)
6t連用－減量	34 (117)	30 (108)	36 (120)	39 (124)	36 (113)	39 (120)
3t連用－ "	32 (110)	30 (110)	34 (113)	37 (117)	37 (114)	37 (112)
無施用－ "	29 (100)	27 (100)	30 (100)	32 (100)	32 (100)	33 (100)

注) 括弧内の数値は、年度ごとに化成標準区及び化成減量区それぞれの堆肥無施用区を100とした時の比

第8表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン収穫時の葉長と根長の比

試験区 堆肥－化成	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目
6t連用－標準	105	104	112	119	95	108
3t連用－ "	111	107	101	122	92	111
無施用－ "	100	105	97	106	99	95
6t連用－減量	106	136	110	110	97	112
3t連用－ "	109	116	106	112	82	100
無施用－ "	100	117	93	88	81	94

注) 葉長/根長×100



第1図 牛ふん堆肥及び化成肥料の施用量とダイコン根重の増加

注) 2006年9月9日播種

6t連用区を除き、化成標準区の葉重が化成減量区と比べて重かった。

ダイコン収穫時の根重を第5表に示した。葉重と同様に、化成標準区では堆肥無施用区の根重を100とすると、3t連

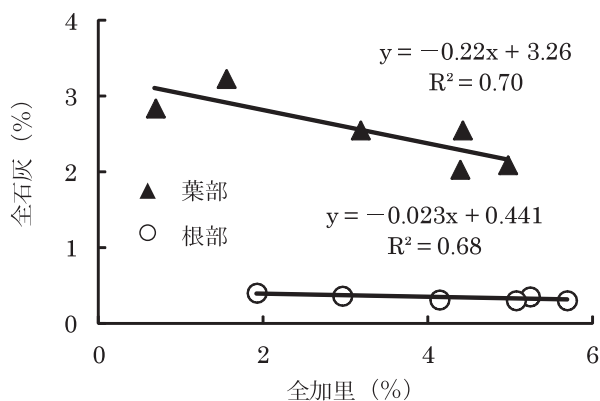
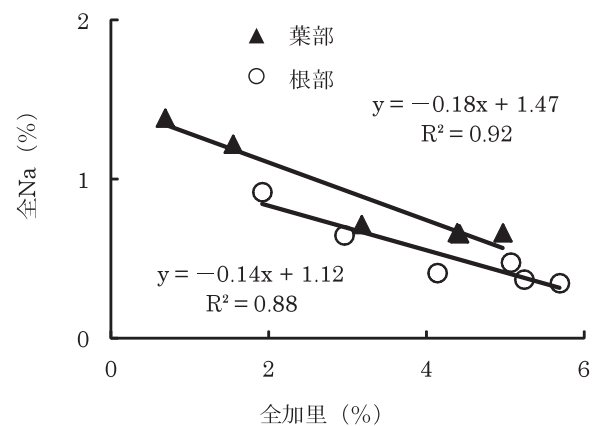
用区で118～139、6t連用区で118～153であり、両連用区が逆転することもあり、堆肥の施用量の影響は小さかった。一方、化成減量区では堆肥無施用区の根重を100とすると、3t連用区で125～147、6t連用区で149～178と堆肥の施用量が多いほど重かった。また、堆肥6t連用・化成減量区では1作目から、堆肥3t連用・化成減量区では4作目から堆肥無施用・化成標準区より重くなった。

化成肥料の施用量の効果としては、5作目の6t連用区を除き、化成標準区の根重が化成減量区と比べて重かった。生育日数とダイコン根重の増加の関係を示すため、4作目を例として第1図に示した。根重の増加は、化成肥料の施用量が同じ場合、堆肥の施用量が多いほど速かった。また、堆肥の施用量が同じ場合では、化成減量区と比べて化成標準区で速かった。堆肥6t連用の2区、堆肥3t連用の化成標準区では、早期に必要な根重1.2kg程度が得られ、堆肥3t連用・化成標準区では数日遅れで堆肥6t区と同じ根重になった。一方、堆肥3t連用の化成減量区、堆肥無施用区の2区では、重量の増加が遅く、堆肥無施用・化成標準区で

第9表 堆肥及び化成肥料の施用量とダイコンの乾物当たり部位別成分濃度

部位	試験区	乾物率 (%)	全窒素 (%)	全リン酸 (%)	全加里 (%)	全石灰 (%)	全苦土 (%)	全Na (%)
葉	6t連用－標準	4.6	4.7	0.12	5.0	2.1	0.29	0.67
	3t連用－ "	6.0	4.2	0.11	4.4	2.6	0.27	0.66
	無施用－ "	7.3	4.3	0.10	1.6	3.2	0.29	1.23
	6t連用－減量	5.7	4.5	0.13	4.4	2.0	0.26	0.67
	3t連用－ "	6.9	4.2	0.10	3.2	2.6	0.31	0.72
	無施用－ "	10.0	3.9	0.11	0.7	2.9	0.27	1.39
根	6t連用－標準	4.4	2.9	0.14	5.7	0.3	0.22	0.35
	3t連用－ "	4.4	2.6	0.14	5.2	0.4	0.22	0.38
	無施用－ "	5.0	2.2	0.11	3.0	0.4	0.19	0.65
	6t連用－減量	4.7	2.6	0.10	4.1	0.3	0.21	0.42
	3t連用－ "	4.9	2.5	0.14	5.1	0.3	0.21	0.48
	無施用－ "	5.4	2.2	0.11	1.9	0.4	0.20	0.93

注) 2008年9月10日播種, 11月23日収穫

第2図 ダイコン部位別の全加里含量と全石灰含量の関係
注) 2008年9月10日播種, 11月23日収穫第3図 ダイコン部位別の全加里含量と全Na含量の関係
注) 2008年9月10日播種, 11月23日収穫

は、根重が1.2kgに達するのに堆肥6t連用・化成標準区より24日多く必要であった。

ダイコン収穫時の葉長及び根長の推移を第6表及び第7表に、両者の比を第8表に示した。堆肥無施用区の葉長を100とすると、化成標準区では3t連用区で108～135、6t連用区で109～133であり、両堆肥連用区に差がない年もあり、堆肥の施用量の影響は小さかった。化成減量区では3t連用区で109～148、6t連用区で124～155と堆肥施用量が多いほど長かった。また、葉長は5作目を除き、堆肥6t連用・化成減量区及び堆肥3t連用・化成減量区では1作目から堆肥無施用・化成標準区より長かった。

化成肥料の施用量の効果としては、2作目、5作目及び6作目の6t連用区、2作目の3t区を除き、化成標準区の葉長が化成減量区と比べて長かった。

同様に堆肥無施用区の根長を100とすると、化成標準区では3t連用区で106～117、6t連用区で112～116、化成減量区では3t連用区で110～117、6t連用区で108～124であった。化成標準区、化成減量区ともに3t連用区が6t連用区と比べて根長が長い場合があり、堆肥の施用量の影響は小

さかった。また、堆肥6t連用・化成減量区及び堆肥3t連用・化成減量区では1作目から堆肥無施用・化成標準区より長かった。

化成肥料の施用量の効果としては、4作目の6t連用区、5作目の堆肥無施用区を除き、化成標準区の根長が化成減量区と比べて長かった。

収穫時の葉長と根長の比は、堆肥の施用量が多いほど大きく、3作目の堆肥無施用の2区、4作目の堆肥無施用・化成減量区、5作目の堆肥3t連用・化成減量区及び堆肥無施用・化成減量区、6作目の堆肥無施用の2区が小さかった。

試験期間をとおして特段、外観形状や揃い、病虫害や各種障害の発生について、試験区間に差のあるような状況はなかった。

2. ダイコンの部位別成分含量

最終年6作目のダイコンの部位別成分濃度を第9表に示した。葉の乾物率は堆肥6t連用・化成標準区の4.6%に対して堆肥無施用・化成減量区では10.0%、根の乾物率は堆肥6t連用・化成標準区の4.4%に対して堆肥無施用・化成減量区では5.4%であり、葉及び根の乾物率は、堆肥及び化

第10表 試験開始前の土壌の化学性

試験区 堆肥-化成	pH (H ₂ O)	EC (mS/m)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	可給態 窒素 (mg/100g)	可給態 リン酸 (mg/100g)	交換性陽イオン			CEC (cmol/kg)
							石灰	苦土	加里	
6t連用-標準	6.1	13.2	3.4	0.30	5.9	11.8	258	70	91	29
3t連用- "	5.9	11.6	3.6	0.31	5.9	8.8	188	46	69	23
無施用- "	6.0	8.5	2.4	0.21	2.2	6.7	161	39	36	22
6t連用-減量	6.3	10.3	3.8	0.32	6.2	14.1	300	84	91	28
3t連用- "	6.3	11.0	2.8	0.25	4.0	7.0	204	63	72	27
無施用- "	6.6	8.5	2.2	0.19	2.4	6.1	241	61	21	23

注 1) 2003 年 5 月 23 日採取

2) 深さ 0~15cm, 15~30cm を採取・分析した平均値

3) 可給態窒素は、風乾土に土壤水分が最大容水量の 60%相当量になるように水を添加し、30℃で 4 週間培養して無機化した窒素量

第11表 ダイコン6作目栽培終了時の土壌の化学性

試験区 堆肥-化成	pH (H ₂ O)	EC (mS/m)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	可給態 窒素 (mg/100g)	可給態 リン酸 (mg/100g)	交換性陽イオン			CEC (cmol/kg)
							石灰	苦土	加里	
6t連用-標準	6.5	15.5	3.9(115)	0.35(118)	7.7(131)	50.4(428)	232(90)	161(231)	113(124)	30(105)
3t連用- "	6.2	14.4	3.8(104)	0.34(108)	5.9(100)	34.0(385)	250(133)	96(206)	102(147)	23(99)
無施用- "	6.1	10.9	2.4(99)	0.21(100)	2.1(92)	19.7(294)	146(91)	58(148)	45(123)	21(96)
6t連用-減量	6.9	10.6	4.3(111)	0.36(114)	7.7(125)	47.6(338)	235(79)	103(123)	104(115)	30(108)
3t連用- "	6.9	12.8	2.9(103)	0.26(107)	5.1(126)	25.0(358)	246(121)	119(191)	101(141)	26(97)
無施用- "	6.8	9.2	2.4(107)	0.20(106)	2.3(98)	15.8(258)	226(94)	54(88)	12(59)	21(89)

注 1) 2008 年 11 月 27 日採取

2) 深さ 0~15cm, 15~30cm を採取・分析した平均値

3) 可給態窒素は、風乾土に土壤水分が最大容水量の 60%相当量になるように水を添加し、30℃で 4 週間培養して無機化した窒素量

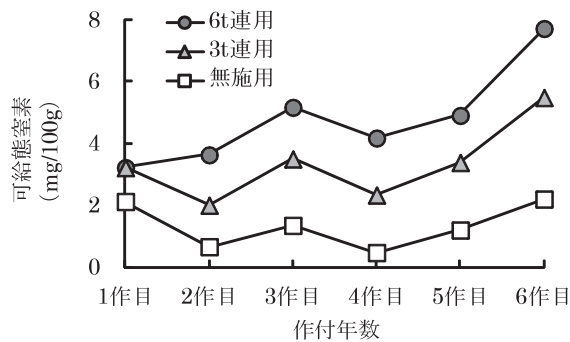
成肥料の施用量が少ないほど高く、この傾向は根より葉で顕著であった。全窒素濃度は、葉で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 4.7% に対して堆肥無施用・化成減量区では 3.9%，根で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 2.9% に対して堆肥無施用・化成減量区では 2.2% であり、根より葉で高く、堆肥及び化成肥料の施用量が多いほど高くなる傾向がみられたが、その差はわずかであった。全リン酸濃度及び全苦土濃度には差がなかった。全加里濃度は、葉で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 5.0% に対して堆肥無施用・化成減量区では 0.7%，根で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 5.7% に対して堆肥無施用・化成減量区では 1.9% であり、堆肥 6 t 連用区及び化成標準区が高かった。全石灰濃度は葉で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 2.1% に対して堆肥無施用・化成減量区では 2.9%，根で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 0.3% に対して堆肥無施用・化成減量区では 0.4% であり、堆肥の施用量が多いほど低く、化成肥料の施用量の影響が小さく、根より葉に多かった。全 Na 濃度は葉で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 0.67% に対して堆肥無施用・化成減量区では 1.39%，根で堆肥 6 t 連用・化成標準区の 0.35% に対して堆肥無施用・化成減量区では 0.93% あり、堆肥の施用量が多いほど低く、化成肥料の施用量の影響が小さく、根より葉に多かった。

堆肥や化成肥料中の成分として多く施用された加里と石灰の関係を第 2 図に示した。ダイコン葉中の全加里が多くなるほど全石灰濃度が減少する傾向があったが、根部中の全石灰濃度は低く、一定の傾向がみられなかった。同様に、全加里と全 Na の関係を第 3 図に示した。ダイコン葉中及び根中の全加里が多くなるほど全 Na 濃度が減少する傾向があった。

3. 土壌の化学性

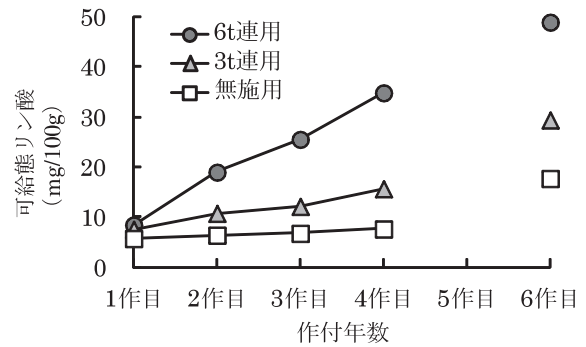
(1) 試験開始前の土壌

試験開始前の 2003 年 5 月 23 日に採取した深さ 0~30cm の土壌の分析結果を第 10 表に示した。全炭素含量、全窒素含量及び可給態窒素含量は、堆肥 6 t 連用区の化成標準区及び化成減量区、堆肥 3 t 連用区の化成標準区が高く、堆肥無施用区の化成標準区及び化成減量区が低かった。可給態リン酸含量、交換性石灰、交換性苦土及び交換性加里含量は、堆肥 6 t 連用区が最も高く、次いで堆肥 3 t 連用区が高かった。交換性石灰及び交換性苦土含量は、化成標準区より化成減量区が高かったが、交換性加里含量は堆肥無施用区では化成減量区より化成標準区が高かった。CEC は堆肥 6 t 連用区が最も高く、次いで堆肥 3 t 連用区が高い傾向であった。



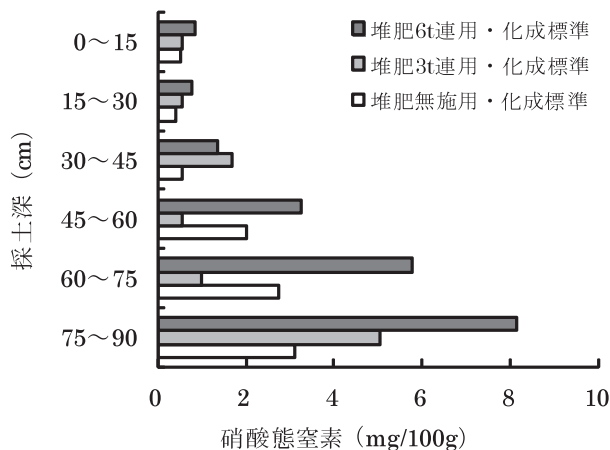
第4図 可給態窒素含量の推移

注) 化成標準区と化成減量区の深さ0～15cm, 15～30cmを採取・分析した平均値



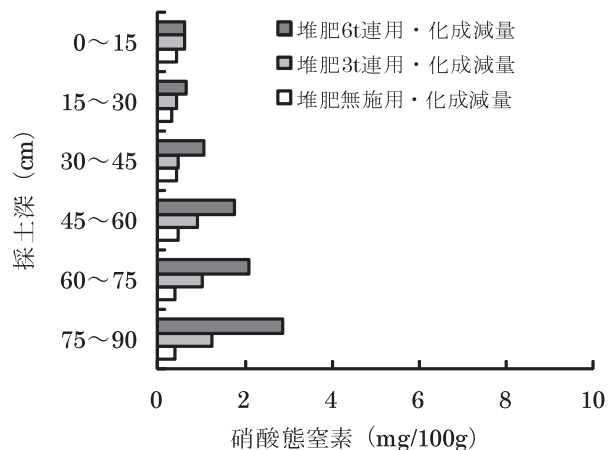
第5図 可給態リン酸含量の推移

注) 化成標準区と化成減量区の深さ0～15cm, 15～30cmを採取・分析した平均値



第6図 堆肥及び化成肥料の施用量と深さ別硝酸態窒素含量

注) 2008年11月27日に深さ15cmずつ6層を採土した



(2)ダイコン6作目栽培終了時の土壌

ダイコン6作目栽培終了時に採取した土壌の分析結果を第11表に示した。試験開始前との比較を括弧内に表した。全炭素及び全窒素含量は、堆肥6t連用の2区が高くなった。可給態窒素含量は、堆肥6t連用区で試験開始前の125～131%と高くなり、堆肥無施用区で92～98%とわずかに低くなったが、化成標準区と化成減量区との差は小さかった。可給態リン酸含量は、堆肥6t連用区で338～428%、堆肥3t連用区で385～358%、無施用区で294～258%と高くなったが、化成標準区と化成減量区との差はなかった。交換性石灰含量は堆肥3t連用の2区が高くなり、堆肥6t連用及び堆肥無施用区が低くなった。交換性苦土含量は堆肥連用の区が高くなった。交換性加里含量は、堆肥連用区が高く、3t連用区の2区で147～141%程度と高くなった。CECは堆肥6t連用区が30cmol/kgで最も高かったが、6年間での増加量はわずかであり、3t連用では23～26 cmol/kg、堆肥無施用区では21cmol/kgとやや低くなった。

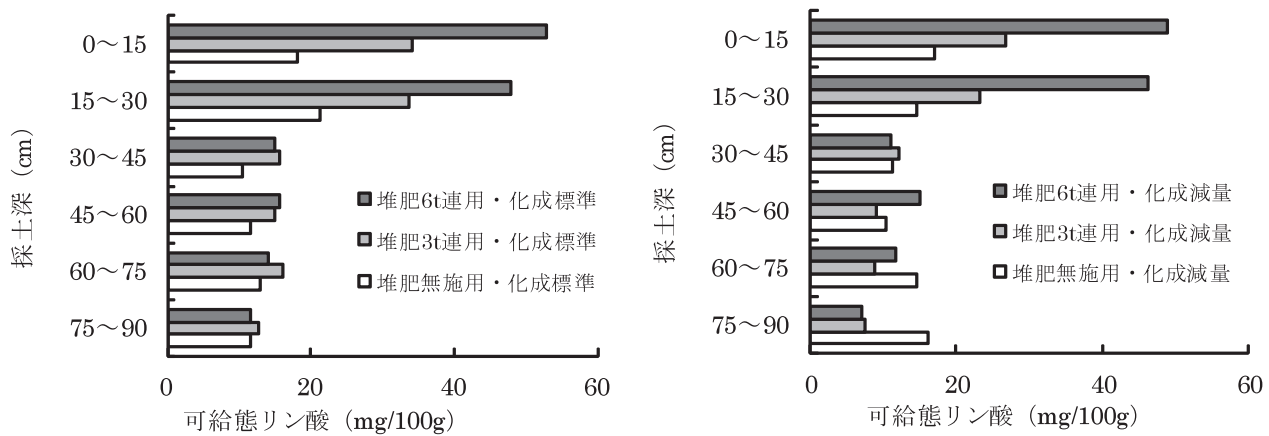
6年間の変化が大きかった可給態窒素含量の推移を第4図に、可給態リン酸含量の推移を第5図に示した。図は深さ0～30cmの土壌について堆肥の施用量の影響をみるため化成肥料の2区の平均値で示した。可給態窒素は堆肥6

t連用区が年に0.7mg/100g以上と最も急速に増大し、3t連用区が0.4mg/100g程度増大した。可給態リン酸は堆肥6t連用区が年に8 mg/100g、3t連用区が4 mg/100g程度増大した。

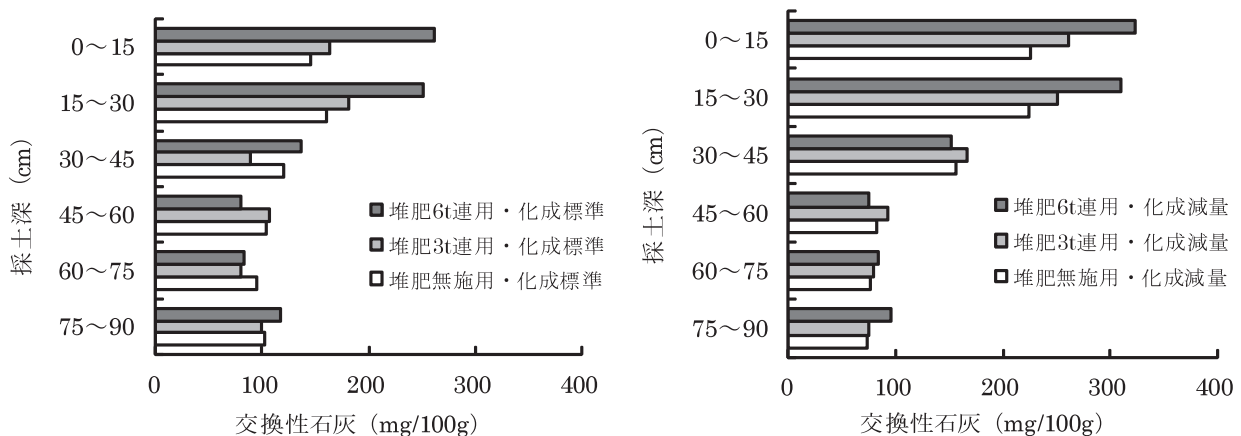
ダイコン6作目栽培終了後に土壌を15cm毎に6層、深さ90cmまで採取・分析した結果を第6～9図に示した。第6図は硝酸態窒素、第7図は可給態リン酸、第8図は交換性石灰、第9図は交換性加里を示した。いずれの図も左に化成標準区を、右に化成減量区を示した。

硝酸態窒素含量は堆肥及び化成肥料の施用量が多いほど高く、深さ0～30cmまでの1 mg/100g以下と比べ、それ以下では下層ほど高い傾向があった。特に堆肥6t連用・化成標準区で顕著であり、45～60cm層で3.2mg/100g、60～75cm層で5.8mg/100g、75～90cm層で8.1mg/100gと高くなり、堆肥3t連用・化成標準区の75～90cm層で5.0mg/100gであり、堆肥無施用・化成標準区と堆肥6t連用・化成減量区の75～90cm層が3 mg/100gと同程度であった。

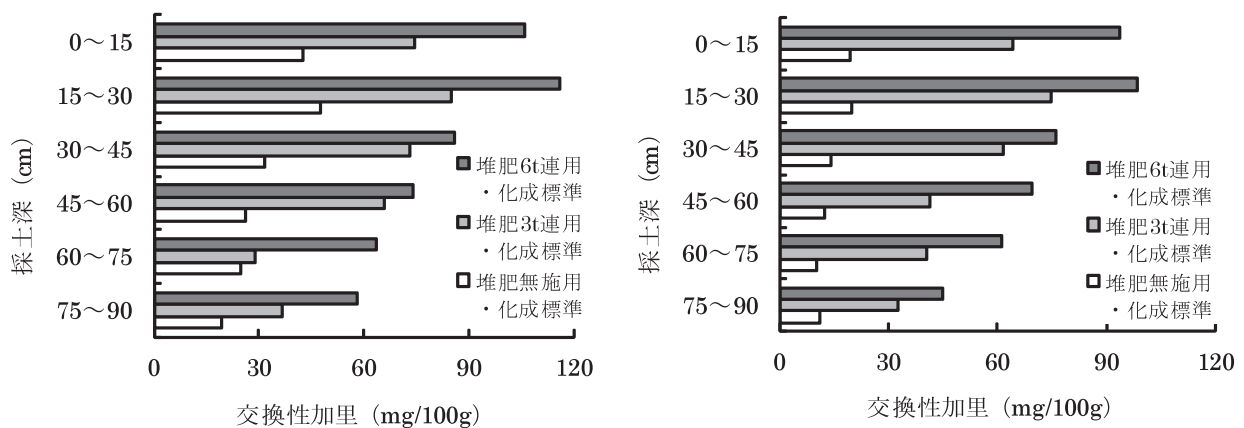
可給態リン酸含量は、0～30cm層では堆肥の施用量が多いほど高く、堆肥6t連用・化成標準区の0～15cm層で50.4mg/100g、15～30cm層で34mg/100g、堆肥6t連用・化成減量区の0～15cm層で47.6 mg/100g、15～30cm層で



第7図 堆肥及び化成肥料の施用量と深さ別可給態リン酸含量
注) 2008年11月27日に深さ15cmずつ6層を採土した



第8図 堆肥及び化成肥料の施用量と深さ別交換性石灰含量
注) 2008年11月27日に深さ15cmずつ6層を採土した



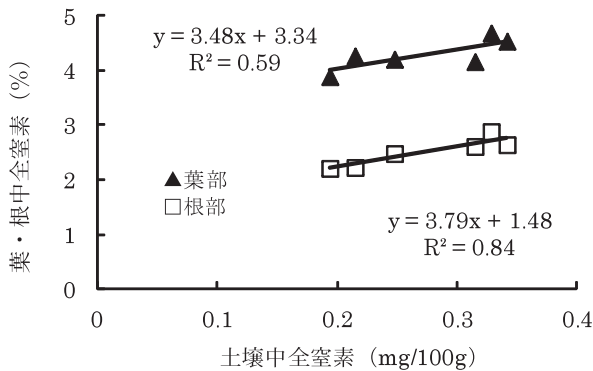
第9図 堆肥及び化成肥料の施用量と深さ別交換性加里含量
注) 2008年11月27日に深さ15cmずつ6層を採土した

25.0mg/100gであった。しかし、30cm以下の層では16.0mg/100g以下と低く、堆肥や化成肥料の施用量の影響はなかった。

交換性石灰含量は0~30cmの層では堆肥の施用量が多いほど高く、0~15cm層の堆肥6t連用・化成標準区で256mg/100g、堆肥3t連用・化成標準区で172mg/100g、堆肥無施用・化成標準区で153mg/100gであり、堆肥6t連用・化成減量区で317mg/100g、堆肥3t連用・化成減量区で

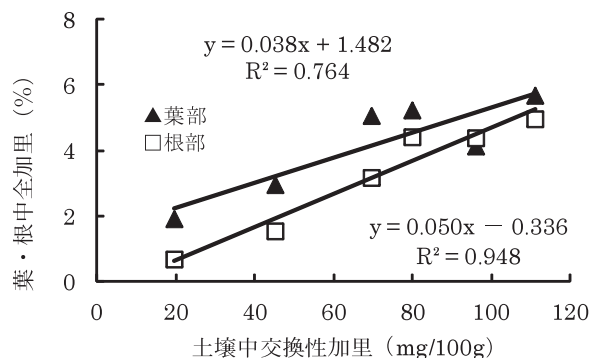
257mg/100g、堆肥無施用・化成減量区で225mg/100gあった。一方、45cm以下の層では含量が低く、堆肥や化成肥料の施用量の影響はなかった。

交換性加里含量は0~30cmの層が最も高かったが、下層にも多かった。また、堆肥の施用量が多いほど高く、化成肥料の施用量が多いほうが高く、0~15cm層の堆肥6t連用・化成標準区で106mg/100g、堆肥3t連用・化成標準区で75mg/100g、堆肥無施用・化成標準区で43mg/100gであり、



第10図 土壌中全窒素含量と葉・根中全窒素濃度の関係

- 注1) 土壌中全窒素含量は2008年11月27日に深さ0～15cm, 15～30cmを採取・分析した平均値
2) 葉・根中全窒素は2006年9月10日播種, 11月23日収穫



第12図 土壌中交換性加里含量と葉・根中全加里濃度の関係

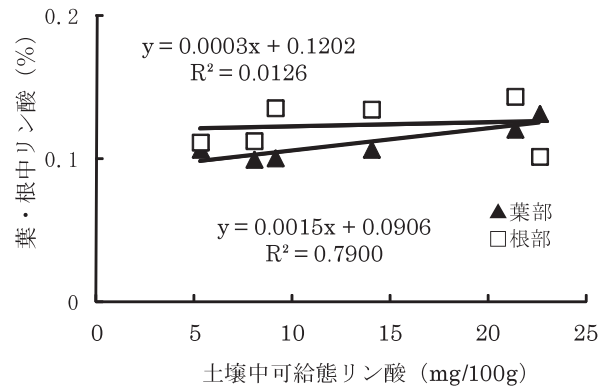
- 注1) 土壌中全窒素含量は2008年11月27日に深さ0～15cm, 15～30cmを採取・分析した平均値
2) 葉・根中全窒素は2006年9月10日播種, 11月23日収穫

堆肥6t連用・化成減量区で94 mg/100g, 堆肥3t連用・化成減量区で64mg/100g, 堆肥無施用・化成減量区で19mg/100gであった。

深さ0～30cmの土壌中全窒素含量と葉・根中全窒素含量の関係を第10図, 土壌中可給態リン酸含量と葉・根中全リン酸濃度の関係を第11図, 土壌中交換性加里含量と葉・根中全加里濃度の関係を第12図に示した。

深さ0～30cmの土壌中全窒素含量が増大するとともに, 葉中及び根中の全窒素濃度も増大したが, その幅は小さかった。土壌中の可給態リン酸含量は, 試験区間の差が大きかったが, 葉中及び根中の全リン酸濃度には差がなかった。土壌中の交換性加里含量が増大すると, 葉中及び根中の全加里濃度も比例して増大した。

Ⅳ 考 察



第11図 土壌中可給態リン酸含量と葉・根中全リン酸含量の関係

- 注1) 土壌中全窒素含量は2008年11月27日に深さ0～15cm, 15～30cmを採取・分析した平均値
2) 葉・根中全窒素は2006年9月10日播種, 11月23日収穫

ダイコン間引き時の最大葉長と牛ふん堆肥及び化成肥料の施用量との関係は, 堆肥及び化成肥料の施用量が多いほど, 最大葉長が長くなる傾向があり, 化成肥料を減量しても6t連用では4作目から, 3t連用でも5作目から堆肥無施用・化成標準区より長くなった。これは供試した圃場の前歴の影響に加え, 連用した堆肥中の窒素など肥料成分の影響が大きかったためと思われる。

収穫時のダイコンの葉重及び根重は, 化成標準区, 減量区ともに堆肥の施用量が3t/10a, 6t/10aと増すにつれて増加した。化成標準区で堆肥6t連用と3t連用の差が小さかったことは, 窒素などの肥料成分の飽和状態を示しており, 減量区で差が大きかったことは, 堆肥による化成肥料の代替効果の表れを示しているものと考えた。第1図に示したように堆肥6t連用・化成減量区と堆肥3t連用・化成標準区の根重の増加は同様の傾向を示しており, 連用した堆肥3tが減量した化成肥料に相当すると推察された。また, 堆肥6t連用・化成標準区に比べれば, 堆肥6t連用・化成減量区や堆肥3t連用・化成標準区の生育は劣ったが, その差は数日であり, 堆肥連用の効果が表れる4年目以降は, 堆肥を6t連用するなら化成肥料を減量することが, あるいは化成肥料を標準量施用するなら堆肥連用は3t程度が妥当であると思われる。

堆肥3t連用の化成減量区, 堆肥無施用区の2区では, 重量の増加が遅く, 堆肥無施用・化成減量区では, 根重が1.2kgに達するのに堆肥6t連用・化成標準区より24日多く必要であった。葉長及び根長も同様の傾向があり, 堆肥無施用・化成減量区では特に葉や根が短かった。秋どりダイコンでは収穫が遅くなるほど低温期になり, 根部の肥大が緩慢となるため, 堆肥無施用・化成減量区では, 日数を経ても目標の収量が得られないこともあったと思われる。

第8表に示したように堆肥無施用・化成減量区では根より葉の生育が劣っていたが、窒素などの肥料成分が不足すると葉の生育が劣り、葉の乾物率が高くなる（千葉県農業総合研究センター，2002）ことが認められている。一方、第9表に示したように堆肥の施用が増すことにより、葉部の乾物率が低くなっている状況は、生育が順調に進んでいることを示しているものと思われた。

また、堆肥無施用の化成減量区の葉部及び根部の生育は明らかに劣り、特に葉部の乾物率は著しく高くなった。このことは第3図に示したように植物体中の窒素やリン酸、加里など必須要素が不足し、加里の代替でNa吸収が増加し、全Na濃度が高くなり、生育が停滞したものと考えた。一方、化成標準施用では、間引き時や収穫時の葉長に堆肥6t連用と3t連用間の差がなかったこと、根重の推移から化成標準施用では、堆肥6t連用と3t連用間の差は数日であること、窒素の過剰吸収は根重を増加させず、葉重のみを増加させる傾向にある（富樫・伊藤，1997）こと、牛ふん堆肥の連用は2～4t/10aが効果的であり、8t/10aでは6作目以降は効果が認められないこと（大橋ら，1982）から、堆肥連用6t区ではすでに十分に富化している可能性がある。野菜栽培では短期間に最大の収量を得ようとしがちであるが、次のようなダイコンの生育や窒素の利用率など肥料吸収特性を考慮すれば、施肥量は減じる方向で検討されなければならない。

ダイコンは根系の広がり、主根で180～200cm、側根で60～100cmに達し（町田，1985）、土壌中の広範囲から肥料成分を吸収するので、見かけ上、施肥窒素の利用率は低くなる。ダイコンの窒素吸収量からみた施肥窒素利用率は17%（千葉県農業総合研究センター，2002）～5%（久野，1997）で、有機物の連用による養分の蓄積が進むと収量は増加しても窒素の利用率が低下する（上山ら，1995）ものと考えた。ただし、ダイコン根部の肥大は地温にも強く影響され（松本，1983）、牛ふん型堆肥は20℃でほとんど無機化せず、30℃で2か月目から無機化する（高橋ら，2000）という特性もある。また、目標収量を得るためには、残存窒素と施肥窒素の合計が9月上旬播種で3kg/10a、9月中旬播種で6kg/10a以上、9月下旬播種で9～12kg/10a以上必要である（山本ら，2006）という報告もあるので窒素の減肥に際しては、作型の温度条件も加味する必要がある。本試験の作型では、ダイコンの生育適温条件にあり、堆肥3t連用の化成標準区は、堆肥6t連用の2区と比べて、根重の差が小さく、在圃日数を数日延長することで補える程度であった。窒素栄養の面からは、連用する牛ふん堆肥の量は3t/10a程度が妥当であると思われた。供試した「福天下」は、窒素栄養が多くとも葉が過繁茂しにくく、外観や品質に障害が発生しにくい品種として知られており、今回

の試験条件では、いずれの試験区でも生育の早晚以外に記載すべき問題はなかったが、吸肥力が強く、葉が旺盛になりがちな品種を導入する場合は、減肥が必要となるものと思われる。

土壌中の可給態リン酸は、堆肥6t連用区を割り当てた圃場では試験開始前にすでに富化が進んでいたにもかかわらず、さらに年に8mg/100g以上と最も急速に増大し、3t連用区も年に4mg/100g程度の増大が認められた。牛ふん堆肥を連用すると、可給態リン酸の集積が著しく（大橋ら，1982）、2t/10aないし4t/10aずつ5回連用すると801mg/kgの全リン酸が970mg/kg、1,334mg/kgに増加し、その11%、17%が可給態リン酸であった（瀧ら，2006）との報告がある。しかし、このように土壌中の可給態リン酸が増大してもダイコンの葉・根中の全リン酸含量には、堆肥や化成肥料施用量の影響はなく、土壌中の可給態リン酸は、さほど流亡することなく0～30cmの作土層にとどまっているので、牛ふん堆肥を連用する場合は、リン酸資材の大幅な減肥が可能であると思われた。

堆肥や化成肥料の成分として加里も多く施用されたため、葉及び根の全加里含量は、施用量が多いほど高く、堆肥の施用量が多いほど化成肥料の施用量の影響が小さかった。ダイコン葉中の全加里が多くなるほど全石灰含量が減少する傾向があったが、根部中の全石灰含量は低く、一定の傾向がみられなかった。堆肥の連用により土壌中の加里含量が増大するという報告（大橋ら，1982；上山ら，1995；吉田ら，2004）も多い。また、土壌中の加里含量が高いほど葉・根中の加里含量も高くなり、土壌中では下層への移行も認められたことから牛ふん堆肥を連用する場合は、大幅な減肥が必要であると思われた。

CECは、単年度の堆肥施用では変わらないが、新規造成畑の場合、5～10年単位の耕作を続けることで徐々に改善していくようすが確認できた（吉田，2004）。可給態リン酸や交換性加里と異なり、堆肥連用により一定以上に高まったCECのさらなる増大は期待できない（上山ら，1995）との報告もあるが、淡色黒ボク土の場合、牛ふん堆肥3t/10aを6年連用して25cmol/kgを維持、6t/10aを6年連用して27cmol/kgを30cmol/kgへの増大が見込めるものと思われた。ただし、どの程度までCECを高めることが妥当か、硝酸態窒素の下層への移行や肥料成分の蓄積状況と考え合わせて検討されるべきものである。

以上のように、堆肥や化成肥料の施用量が多いほどダイコンの生育は優れたが、硝酸態窒素が深層土壌に残存し、試験開始時の地表下30cm以深のデータがないので断定はできないものの可給態リン酸や交換性加里も作土や全層に残存したことから、堆肥を連用する場合、圃場の肥沃化に応じて堆肥及び化成肥料の施用量を減じる必要がある。

秋どりダイコンの生育及び土壌の化学性の変化から、最適な黒ボク土への牛ふん堆肥の連用量は3 t/10a程度が適量で、6 t/10aでは多すぎるものと考えた。

V 摘 要

千葉県東総地域で一般的な秋どりダイコンと春どりキャベツの輪作体系で、土壌の肥沃度を高めるための有機物の施用効果、肥沃化した後の肥培管理のあり方を明らかにするため、牛ふん堆肥を6年にわたり連用した。その結果、秋どりダイコンに以下の知見が得られたので報告する。

1. ダイコンの生育は、堆肥を3 t/10a、6 t/10aと増やすほど初期生育が早く、収穫時の葉重及び根重が重くなった。
2. 堆肥を3 t/10a、6 t/10aと増やすほど葉及び根の乾物率が低下し、全窒素、全加里濃度が高まった。
3. ダイコン栽培終了後の土壌は、堆肥3 t/10a及び6 t/10aの施用で全炭素及び全窒素含量が高くなり、交換性塩基類も増加した。硝酸態窒素は地表下75～90cmの層まで移行し、移行した量は堆肥の施用量に比例して多く、6 t/10aでは8.1mg/100g、3 t/10aでは5.0mg/100gとなった。可給態リン酸及び交換性石灰は0～30cmの層で多く、30cm以下の層への移行は少なかった。交換性加里含量は堆肥の施用量が多いほど、75～90cmの層に多く移行した。
4. ダイコンの葉部と根部の全加里濃度と全Na濃度に負の相関がみられた。土壌の交換性加里含量と葉及び根の全加里濃度に高い相関が認められた。
5. 以上から牛ふん堆肥の連用による圃場の肥沃化に応じて堆肥及び化成肥料の施用量を減じる必要性が認められた。

VI 引用文献

- 千葉県（2005）土壌、水質及び作物分析診断。25～28
千葉県農業総合研究センター。研究成果集4（2002）。緊急技術開発促進事業。主要野菜の安定生産のための窒素施用法の確立。94～111。
土壌環境分析法編集委員会（1997）土壌環境分析法。427pp。博友社。東京。
石井 貴・田中有子・武井昌秀・小山田勉（2003）。露地野菜輪作地帯における窒素非効率を考慮した各種家畜ふん堆肥による化学肥料代替施用技術について。茨城農総セ園研研報。11：15～22。
岩田正利・歌田明子（1968）。窒素供給期間の差異が数種そ菜の生育、収量に及ぼす影響。園学雑。37：57～66。
上山紀代美・藤原俊六郎・船橋秀人（1995）。牛ふん堆肥

- 連用が作物収量と土壌の化学性に及ぼす影響。神奈川農総研研報。136：31～42。
金子文宜（2007）。千葉県における農耕地土壌の実態と有機物を利用した土づくり。土と微生物。61No2。117～121。
久野智香子（1997）。牛ふん堆肥連用畑における下層土への肥料成分・有機物の移動。愛知農総試研報。29：135～140。
町田治幸（1985）。種類別の施肥技術－ダイコン。農業技術体系土壌施肥編6。277。
松本正雄（1983）。ダイコンの肥大根発達の生理。農業技術体系野菜編9。23～40。
中津智史・東田修司・山神正弘（2000）。淡色黒ボク土壌における堆きゅう肥の連用が畑作物の収量・品質および土壌環境に及ぼす影響。土肥誌。71：97～100。
大橋恭一・岡本将宏・西川吉和・西沢良一・中田 均・勝木依正（1982）。露地畑におけるおがくず牛ふん堆肥連用効果（第1報）10作跡地土壌の理化学性および野菜の収量・養分吸収量。滋賀農試研報。24：87～97。
六本木和夫・石上 忠・武田正人（1992a）。稲わら堆肥の連用が野菜の生育収量に与える影響。土肥誌。63：690～695。
六本木和夫・石上 忠・武田正人（1992b）。稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の養分供給力に与える影響。土肥誌。63：696～702。
六本木和夫・石上 忠・武田正人（1993）。稲わら堆肥の連用が沖積畑土壌の理化学性に与える影響。土肥誌。64：27～33。
植物栄養実験法編集委員会（1990）植物栄養実験法。488pp。博友社。東京。
高橋朋子・山田正幸・鈴木睦美・浦野義雄（2000）。家畜ふん堆肥の窒素無機化パターン。群馬畜試研報。7：107～112。
瀧 典明・熊谷千冬・畑中 篤（2006）。灰色低地土への家畜ふん堆肥連用に伴うリン蓄積。宮城古川農試研報。6：35～41。
富樫政博・伊藤忠次郎（1997）。ダイコンの窒素吸収特性と効率的施肥技術。東北農業研究。50：203～204。
山本二美・草川知行・松丸恒夫（2006）。土壌残存窒素を考慮した年内どりダイコンの窒素施用量。千葉農総研研報。5：19～26。
吉田俊郎・神保伸幸・井上 満・宇田川雄二・青柳森一・村井正和・所 重雄・安西徹郎（2004）。黒ボク土壌における稲わら堆肥の連用が春どりキャベツの生育及び土壌の化学性に及ぼす影響。千葉農総研研報。3：79～93。

Effects of Successive Applications of Cattle Manure Compost on Growth of Autumn Japanese Radish and Chemical Properties of Soil in Andosol

Syunro YOSHIDA and Koichi ANDO

Key words : Japanese Radish, Cattle Manure Compost, Successive Application,
nitrogen, Andosol

Summary

In the eastern region of Chiba Prefecture, spring cabbage and autumn radishes are generally cultivated alternately. We examined the relationship between soil fertility and continuous application of cattle manure compost for 6 years to these crops. In the case of autumn radish, we obtained the following results:

1. Increasing the compost application rate from 3t/10a to 6t/10a gave fast early growth and increased leaf weight and root weight at harvest.
2. Increasing the compost application rate from 3t/10a to 6t/10a reduced the dry matter percentage of leaves and roots and increased the total nitrogen and total potassium concentrations.
3. After completion of radish cultivation in soil in which the compost application rate had been increased from 3t/10a to 6t/10a, the soil content of exchangeable cations and the total carbon and total nitrogen contents were increased. Nitrate moved to the Layer of 75–90cm under the ground in proportion to the compost application rate (8.1 mg/100g with 6t/10a, 5.0mg/100g with 3t/10a). Many available phosphate and exchangeable lime remained in layer of 0-30cm. There transition to layers of 30-90cm was small. The exchangeable potassium content increased with the amount of chemical fertilizers or compost applied, and a large proportion of it migrated to the 75-90cm layer.
4. There was a negative correlation between the Na concentration in the soil and the total concentration of potash in the radish leaves and roots. The exchangeable potassium content of the soil was correlated with the total potassium concentration of the leaves and roots.
5. These results indicated that continuous application of cow manure compost and chemical fertilizers or compost reduces the need for fertilization.