

造成鉍質土壤の硝酸化成特性および窒素施用形態について

岡 村 隆 生

Nitrification Characteristics of Reclaimed Mineral Soil and Forms of Nitrogen Fertilizer Application

Takao OKAMURA

緒 言

近年本県で造成されている畑の大部分は、改良山成工法によるもので、この工法は、一般に大型機械力により山を切り崩し、谷を埋めて階段状の畑を造成するのである。したがって、工事完成時にはほとんどの場合地形が一変し、造成前の表層土壤は深層に埋まり、逆に、深層の土壤化進展程度の低い土壤が表層に出現する。

この方法で造成された畑土壤の作土は、当然母材の影響が強くあらわれている未熟土であるから、畑造成当初は土壤の生産力が一般に低い。土壤生産力の低い原因の一つとして、硝酸化成が関係していると考えられる。そこで、造成鉍質土壤の硝酸化成特性の究明と畑作野菜安定のために必要な施肥関係の基礎資料を得ようとして、室内におけるピーカー実験とハウレンソウを供試した栽培実験を行った。その結果の概要を報告する。

1. 来歴が異なる土壤の硝酸化成特性

実験材料および方法

1) 供試土壤

宇陀郡榛原町大字藤井において、1978年10月上旬に来

歴が異なる五種の土壤すなわち、A)杉林伐採跡の腐植混入層土壤(以下A土壤と称す)、B)畑造成後未耕作の1層土壤(以下B土壤と称す)、C)畑造成後耕作6か月の1層土壤(以下C土壤と称す)、D)畑造成後耕作13か月の1層土壤(以下D土壤と称す)、E)既耕畑の1層土壤(以下E土壤と称す)を採取し、未風乾の状態では2mmの篩を通過させた後十分混和した。その土壤の性質は第1表に示したとおりである。

2) インキュベーションの方法

混和した土壤のpHは、A土壤が4.5であったので炭酸石灰を用いて、6.5に矯正した後ビニール製袋に入れて密封した。A土壤以外の各土壤は、pH6.5であるのでそのままビニール製袋に入れて密封した。密封した土壤を室温で所定期間静置し、その後土壤をビニール製袋より取り出した。そのときの、各土壤の硝酸態窒素含量と酸化還元電位は第2表に示すとおりで、この土壤を乾土100g

第2表 実験開始時土壤の硝酸態窒素含量および酸化還元電位

土壤の種類	(mg/100g 乾土, mV)	
	NO ₃ -N	Eh -6
A	0.04	499
B	0.03	498
C	0.04	516
D	1.63	522
E	0.86	520

第1表 供試土壤の性質

土壤の種類	土性	pH(H ₂ O)	C	N	(乾土当たり%)	
					C/N	NH ₄ -N*
A	L	4.5	2.955	0.243	12.16	0.70
B	L	6.5	0.176	0.012	14.67	0.28
C	L	6.5	0.104	0.035	2.97	0.42
D	L	6.5	0.152	0.056	2.71	0.28
E	L	6.5	0.835	0.089	9.38	0.28

* 乾土100g 当たりmg

に相当するように秤取し、秤取した土壤に硫酸を用い、Nとして、30mg添加した。十分混和後200 mlのビーカーに軽く充てんした。充てん後土壤水分を最大容水量の60%になるように蒸留水を加え、パラフィルムでビーカーを覆い、ゴムバンドをかけてバットに並べ、バットの底に水を注入した後バット全体をビニールフィルムで包み、そのバットを28℃の恒温器に静置した。5日毎に蒸発した水分を補給したが、その水量はごく少量であった。処理後10、20、40日に土壤の硝酸態窒素と酸化還元電位を測定した。

本実験は2連制で行い、実験結果は平均値で示した。

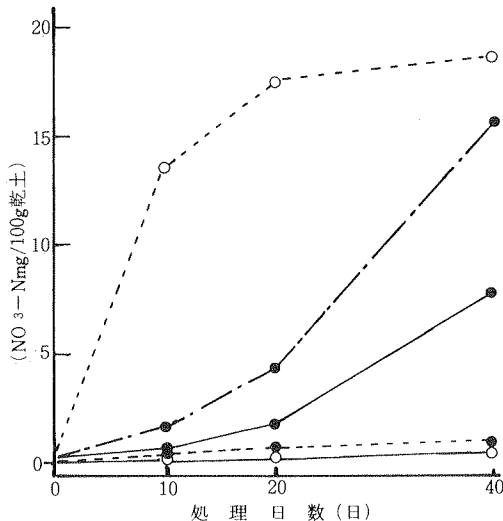
3) 土壤分析法

全炭素はチューリン法、全窒素はケルダール法、アンモニア態窒素はハーバー法、硝酸態窒素はフェノール硫酸法により分析し、pHはガラス電極法により測定した。また、酸化還元電位は土壤分析法の西垣ら⁷⁾の方法によった。

実験結果

実験結果は、第3表に土壤の硝酸態窒素含量および酸化還元電位の推移を、また、第1図には土壤の硝酸化成長の推移を示した。

この成績からみると、硝酸態窒素含量および硝酸化成長は、D土壤が日時の経過とともに顕著に増加し、それに次いだのはE土壤であった。A土壤は、処理後20日ま



第1図 土壤の硝酸化成長の推移
作図の基礎数値は、NO₃-Nの定量値より実験開始時に存在したNO₃-Nを差引いた。
●— A土壤 ○— B土壤 ●- - C土壤
○- - D土壤 ●- · - E土壤

第3表 土壤の硝酸態窒素含量および酸化還元電位の推移 (mg/100g乾土, mV)

土壤の種類	処理後10日		処理後20日		処理後40日	
	NO ₃ -N	Eh-6	NO ₃ -N	Eh-6	NO ₃ -N	Eh-6
A	0.07	493	0.22	483	7.85	490
B	0.03	597	0.04	481	0.04	497
C	0.06	516	0.06	506	0.10	484
D	15.20	497	19.40	498	20.20	536
E	2.26	502	4.92	498	16.20	528

であまり増加しなかったが、40日に至って急激に増加した。しかし、D、E土壤におよばなかった。また、B、C土壤では、C土壤がB土壤よりわずかにまさる傾向が認められたが、両土壤とも処理後日時が経過しても、硝酸態窒素含量は、ほとんど増加せず、したがって、硝酸化成長も進行しなかった。

酸化還元電位は、各土壤とも終始大きな変動することなく推移し、また、その土壤間の差異もほとんど認められなかった。

考察

土壤の硝酸化成長作用において、石沢ら²⁾は、硝酸化成長速度が耕地土壤で速く、未耕地土壤では遅れ、また、下層土壤においては、明らかに硝酸化成長の現象を認めた実験をしている。この実験と、筆者が行った本実験結果とはほぼ一致している。しかし、C土壤は、B土壤に比して、少量であるが、硝酸化成長のまった原因は、Ishizawaら³⁾は、「硝酸化成長速度と、硝酸化成長菌数との関係について、施用した窒素肥料の硝酸化成長の速さは、土壤中の硝酸化成長菌数によって異なる」と述べていることから考えれば、C土壤は、B土壤より、硝酸化成長菌数が、少数増加していたと推定される。また、D土壤は、畑造成後耕作を1年余り継続したことにより、土壤の硝酸化成長菌数が激増し、その激増した菌によって、施用したアンモニア態窒素を、急速に硝酸態窒素に変化できる土壤となり、さらに、既耕畑土壤に優る硝酸化成長能をもった土壤に転換していたとすることができる。

酸化還元電位において、各土壤間に差が認められなかった原因は、未風乾土を供試土壤として用いたので、土壤に含有している有機物の分解は緩慢であったと考えられ、比較的有機物の多いA土壤においても、分解にともなう酸素は、不足せずに推移したものであろう。

2. ホウレンソウに対する窒素施用形態の優劣

実験材料および方法

1) 供試土壤および実験場所

宇陀郡大宇陀町岩清水において、1974年5月に、未耕地の地表下約5mの位置で、残積土を採取し、同年9月初旬まで堆積したものを次の3処理区、A)硝酸ソーダ施用区(以下A処理区と称す) B)硫酸施用区(以下B処理区と称す) C)硫酸・堆肥施用区(以下C処理区と称す)として、農試高原分場内の造成畑は場(作物未栽培)に面積1区4㎡の木製枠に厚さ15cm上乘せ客土し、この客土層を作土とした。各処理区とも1区4㎡のうち、3㎡を栽培区、1㎡を裸地栽培区とした。作土とした土壌の性質は等4表に示したとおりである。本実験は2連制で行い、実験結果は平均値で示した。

2) 供試品種

ハウレンソウ“豊葉”を供試した。

3) 栽培概要

施肥は、9月12日深さ10cmの作土全層に元肥として、10a当たり、窒素15kg、燐酸22kg、加里30kgを施用したが、窒素は、A処理区に硝酸ソーダ、BおよびC処理区には硫酸をそれぞれ用いた。燐酸、加里は、各処理区とも過石と硫加を供試した。また、C処理区には稲わら堆肥を10a当たり、2000kg施用した。播種は9月18日に行い、条間12cm、株間6cmとし、催芽した種子を1株に3粒点播した。発芽後1株当たり、1個体に間引した。管理は、施肥後より簡易な雨よけビニールをかけて雨水

の侵入を防ぎ、灌水を適宜行なった。収穫は全株11月8日であった。

4) 土壌およびハウレンソウ作物体の調査分析法

土壌のpHおよび全炭素、全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素は、1の実験に準じ、塩基置換容量は日本土壌協会の土壌多量迅速分析法¹²⁾によった。また、石灰、苦土はEDTA法、加里は炎光法を用いた。ハウレンソウ作物体の葉色調査は標準葉色帖⁵⁾により調査し、分析は、各処理区より15株掘りあげ、根部に付着した土壌を流水で洗い落して地上部、地下部に切断後通風乾燥と粉砕をした。粉砕試料について、窒素は土壌分析と同様に1の実験に準じ、燐酸はバナドモリブデン酸法、加里および石灰、苦土は土壌と同様の分析法を用いた。

実験結果

1) ハウレンソウの生育および収量

初期生育は、各処理区間に差異が認められなかった。しかし、第5表に示したとおり10月中旬にいたり、B処理区は、AおよびC処理区より葉長、葉幅、葉数において劣る傾向を示した。この傾向は、日時の経過とともに顕著となり、収穫時の11月8日の調査では、A処理区が最高で、C、B処理区の順となった。また、葉色におい

第4表 供試土壌の性質

(乾土当たり)

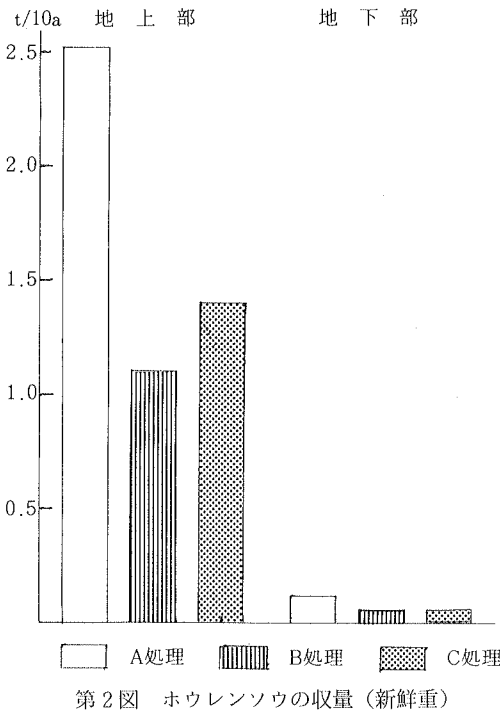
土性	pH (H ₂ O)	CEC (me)	有機物(%)			置換性塩基(mg/100g)			可溶性窒素(mg/100g)	
			C	N	C/N	CaO	MgO	K ₂ O	NH ₄ -N	NO ₃ -N
CL	6.5	29.4	0.187	0.014	13.4	302.0	64.1	12.0	tr	0.06

第5表 ハウレンソウの生育

処理区	10月15日				10月24日				11月8日			
	葉長	葉幅	葉数	葉色	葉長	葉幅	葉数	葉色	葉長	葉幅	葉数	葉色
A 硝酸ソーダ施用	12.4 ^{cm}	4.9 ^{cm}	6.0 ^枚	7.5GY 5/7	20.9 ^{cm}	7.6 ^{cm}	9.9 ^枚	7.5GY 5/7	28.1 ^{cm}	9.5 ^{cm}	9.0 ^枚	7.5GY 5/7
B 硫酸施用	10.9	3.4	5.6	7.5GY 5/7	16.6	5.2	7.7	7.5GY 4/5.5	19.4	6.0	7.4	7.5GY 3.5/5
C 硫酸・堆肥施用	12.8	4.0	5.5	7.5GY 5/7	19.5	6.3	8.1	7.5GY 4/5.5	23.6	7.6	8.3	7.5GY 4.5/6

第6表 土壌のpHと可溶性窒素の推移 (mg/100g 乾土)

処理区	処理後20日			処理後40日			処理後55日					
	裸地土壌			裸地土壌			裸地土壌			栽培跡地土壌		
	pH(H ₂ O)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	pH(H ₂ O)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	pH(H ₂ O)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	pH(H ₂ O)	NH ₄ -N	NO ₃ -N
A	6.3	tr	11.38	6.2	tr	10.70	6.2	0.07	9.20	6.4	0.08	0.15
B	6.2	2.52	0.69	6.1	1.08	2.52	5.8	0.35	2.71	5.7	0.24	0.05
C	6.6	3.40	1.61	6.0	1.82	3.13	6.5	0.28	3.67	6.5	0.14	0.05



ては、10月下旬よりBおよびC処理区がA処理区より濃緑色となった。

収量は、第2図に示したように、生育とはほぼ同様の結果であった。すなわち、地上部は、A、C、B処理区の順であった。しかし、地下部は、A処理区が最高であったが、B、C処理区間にはほとんど差異が認められなかった。

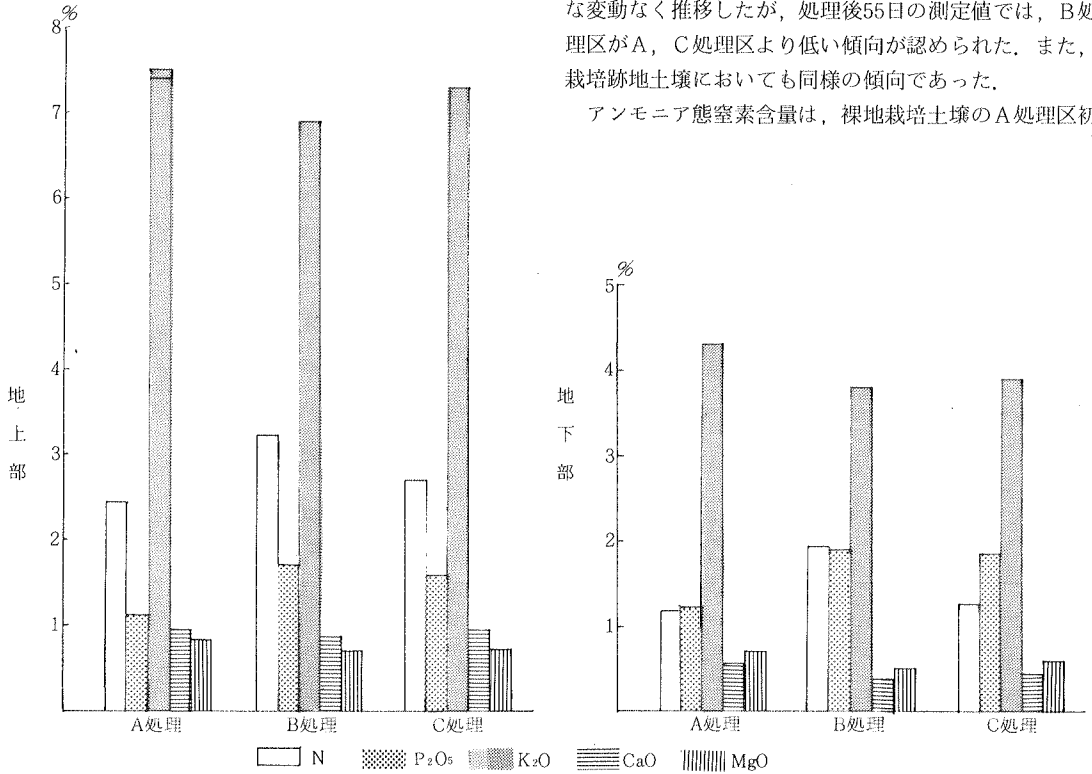
2) 収穫時における無機成分含量

地上部および地下部の無機成分含量を第3図に示すように、窒素は、地上部において、B処理区が最高で、C、A処理区の順で低下した。地下部においては、B処理区が最高で、地上部と同様の傾向であったが、C、A処理区の差は小差であった。リン酸は、地上部、地下部とも窒素と同様の傾向で、B処理区が高く、C、A処理区の順に低下した。陽イオンである加里および石灰、苦土は、窒素、リン酸とは逆の傾向が認められた。とくに、石灰、苦土においては、地上部および地下部ともA処理が顕著に高くB処理が低かった。

3) 土壌のpHおよび可溶性窒素含量

pHおよび可溶性窒素含量を第6表に示したように、pHは、裸地栽培土壌においては、各処理とも終始大きな変動なく推移したが、処理後55日の測定値では、B処理区がA、C処理区より低い傾向が認められた。また、栽培跡地土壌においても同様の傾向であった。

アンモニア態窒素含量は、裸地栽培土壌のA処理区初



第3図 ホウレンソウ収穫時の無機成分含量 (乾物当たり)

期では、痕跡程度であったが、処理後55日では乾土 100 g 当たり、0.07 mg となった。B, C 処理区は、A 処理区とは逆の傾向で、日時の経過とともに低下し、処理後55日では、乾土 100 g 当たり、B 処理区 0.35 mg, C 処理区 0.28 mg で、B 処理区が C 処理区より高かった。また、栽培跡地土壌では、乾土 100 g 当たり、A 処理区 0.08 mg, B 処理区 0.24 mg, C 処理区 0.14 mg であり、裸地栽培土壌と同様に B 処理区が高かった。

硝酸態窒素含量は、裸地栽培土壌において、各処理区ともアンモニア態窒素含量とは逆の傾向が認められた。すなわち、A 処理区は、日時の経過とともに低下し、処理後55日では、乾土 100 g 当たり 9.2 mg となり、B, C 処理区は、日時の経過とともに増加し、処理後55日では、乾土 100 g 当たり、B 処理区 2.71 mg, C 処理区 3.67 mg となった。栽培跡地土壌では、乾土 100 g 当たり、A 処理区 0.15 mg, B, C 処理区 0.05 mg で同じ数値となった。

考 察

ハウレンソウの生育には、硝酸態窒素がアンモニア態窒素より窒素源としてすぐれることが、水耕栽培、砂耕栽培で認められており⁴⁾、また、土壌の硝酸化成作用を規制する主要因の一つとして、pH が関係することも一般に知られている。

松田ら⁶⁾は、硝酸化成作用の貧弱な鉍質酸性土壌を供試して、ハウレンソウに対する硝安と硫安の肥効を石灰添加との関連で比較した実験を行い、その結果、土壌 pH 値が、5.5 程度より低いと、硫安に比し、硝安がまさることを認めている。本実験における土壌の pH 値は、各処理区とも 5.5 以上であったが、ハウレンソウの生育および収量は、A 処理区に比し、B, C 処理区が顕著に劣った主因は、A 処理区に硝安を施用しなかったため、その生育差をより大きくしたのではないかと、一考されることや、可溶性窒素含量の少ない(有機化が大部分と考える)土壌であったこともあろうが、それよりも供試土壌として、未耕地の深層土壌を用いたので、土壌の硝酸化成菌数が少なかったがために、施用したアンモニア態窒素の硝酸化成が急速に進行しなかったと考えられる。したがって、土壌の硝酸態窒素不足による現象であろう。B 処理区が C 処理区に劣ったことは、堆肥や泥炭のような有機物が、硝酸化成菌の増殖に役立つことを坂井⁸⁾は認めている。

このことより考察すれば、C 処理区には、堆肥を 10 a 当たり、2000 kg 施用しているため、土壌の硝酸化成菌が増殖して、硝酸化成が促進されたことにより、ハウレンソウの生育および収量が増加したと理解される。

ハウレンソウ作物体の成分含量において、A 処理区は B, C 処理区よりも磷酸が低かった要因は、土壌の硝酸態窒素と磷酸における陰イオン間の拮抗作用により、磷酸の吸収が抑制されたのではないかと考えられ、岩田ら¹⁾の砂耕栽培による実験結果とはほぼ一致している。加里および石灰、苦土については、硝酸態窒素施用が、アンモニア態窒素施用の場合よりも加里の吸収が多い結果^{1, 9, 10, 11)}やアンモニア態窒素施用は石灰および苦土含量の低い実験^{1, 9, 10, 11)}があり、アンモニアと加里および石灰、苦土間には、拮抗関係のあることが認められている。本実験結果も A 処理区は、B, C 処理区よりもハウレンソウ作物体の窒素が低く、加里および石灰、苦土は逆に高かったことから、B, C 処理区は、アンモニアの多量吸収によるアンモニアと加里および石灰、苦土の拮抗現象がおきたものと考えられる。

ハウレンソウの葉色において、B, C 処理区は、A 処理区よりも濃緑色になった現象の原因を究明できなかったが、この現象を換言すれば、B, C 処理区に比し、A 処理区が淡緑色であったと言うことができる。硝酸態窒素の吸収により、根圏(面)土壌の pH 値が上昇して鉄吸収抑制あるいは、硝酸態窒素吸収に係わる体内鉄代謝の低下などが起因しているのではないかと考えられる。

摘 要

未耕地の深層土壌を作土にして耕作する造成畑土壌の、硝酸化成特性および窒素施用形態の優劣を検知するにあたり、室内におけるピーカー実験とハウレンソウを供試した栽培実験を行った。

得られた結果は、次のとおりである。

- 1) 硫安窒素添加条件下での、各種土壌の硝酸化成能は、畑造成後耕作13か月の1層土壌が既耕畑の1層土壌よりも高かった。また、畑造成後耕作6か月の1層土壌および畑造成後未耕作の1層土壌では、ごく低かった。
- 2) 硝酸ソーダの施用は、硫安施用の場合よりも、ハウレンソウの生育および収量がすぐれ、硫安に堆肥加用は、硫安単独施用より生育、収量が増加した。しかし、硝酸ソーダ施用にはおよばなかった。また、ハウレンソウの成分含量は、硝酸ソーダ施用が硫安施用より窒素、磷酸はともに低かったが、加里および石灰、苦土は逆に高かった。
- 3) 面積 10 a、深さ 10 cm の作土土壌に、窒素 15 kg 施用後 55 日間ビニールフィルムによる雨よけと、適宜灌水をした裸地栽培土壌の乾土 100 g 当たり、硝酸態窒素含量は、硝酸ソーダ施用 9.2 mg, 硫安施用 2.7 mg, 硫安に堆肥

2000 kg加用 3.7 mgで、また、アンモニア態窒素含量は、それぞれ、0.07 mg, 0.35 mg, 0.28 mgであった。

引用文献

1. 岩田正利・谷内武信 1953. 窒素形態の差異と蔬菜の生育. 園学誌 22: 183 - 192.
2. 石沢修一・鈴木達彦・甲田知則・佐藤 修 1958. 土壤の微生物とその作用に関する研究. 農研報 B 8: 1 - 186.
3. ISHIZAWA, S and MATSUGUCHI, T 1962. Studies on the nitrification in soil, *Soil Sci and Plant Nutrition*, 8 (6): 30 - 35.
4. 串崎光男 1965. 畑作物の栄養生理とくに窒素源としての NH_4 と NO_3 . 農技研編, 土壤肥料分野における試験研究上の問題点 (第1集), 74-78.
5. 木内知美・矢沢文雄 1972. 標準葉色帖. 富士平工業株式会社. 1-15.
6. 松田敬一郎・永田武雄 1960. 磐田原酸性土壤の微生物的作用 (第7報), ほうれん草の生育に対する硝化菌接種の効果. 日土肥誌 31: 177 - 180.
7. 鬼鞍 豊・後藤重義 1970. 土壤養分分析法. 養賢堂 53-69.
8. 坂井 弘 1960. 土壤の硝化作用に関する研究 (第7報), 土壤の硝酸菌数に及ぼす要因. 日土肥誌 31: 281 - 284.
9. 高橋達郎・竹山賢治 1952. たばこの加里栄養に関する研究 (第2報) 培養液の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の割合が加里その他の要素の吸収に及ぼす効果. 日土肥誌 22: 206 - 208.
10. ———・吉田大輔 1952. ——— (第3報) 培養液の窒素形態と加里濃度との関係について. 日土肥誌 22: 288 - 292.
11. ———・——— 1952. たばこ植物の栄養に及ぼす各種イオンの相互作用について (第1報), 培養液のアンモニア態, 硝酸態窒素と陽イオンとの関係. 日土肥誌 23: 42 - 46.
12. 財団法人日本土壌協会 1961. 土壤調査のための土壌多量迅速分析法. 17 - 23.

Summary

In order to examine the nitrification characteristics of reclaimed field soils, the uncultivated underground layer soil of which is utilized as the plowed layer, and to make comparisons between the forms of nitrogen fertilizer application, beaker tests in a laboratory and cultivation experiments with spinach as the test sample were conducted.

Following results were obtained:

1. In the capacity for nitrification of various soils by addition of nitrogen in the form of ammonium sulfate, the one-layer soil which was cultivated for 13 months, after the field had been reclaimed, was found higher than the one-layer soil of formerly cultivated field. This capacity was found very low in the one-layer soil which was cultivated for 6 months, after the field had been reclaimed, and in the one-layer soil which was not tilled after the field reclamation.

2. With regard to growth and yield of spinach, the application of sodium nitrate was more effective than the application of ammonium sulfate, and when ammonium sulfate was used together with some manures, better improvements on both counts of growth and yield were observed than when ammonium sulfate alone was applied, but this way of fertilizer application was found still inferior to that of sodium nitrate. Concerning the contents of nutrients in spinach, it contained less nitrogen and phosphoric acid with application of sodium nitrate than with that of ammonium sulfate, but where potassium, lime and magnesium were concerned, their contents were found conversely larger in the former than in the latter.

3. In a bare ground soil, being a plowed soil 10 areas in area and 10 cm in depth, fertilizers, each equivalent to 15 kg nitrogen, were applied; then, over each soil, a vinyl film rain-cover was placed for 55 days, and the soil was appropriately irrigated. The nitrogen contents in the form of nitric acid per 100 g of dry soil were found 9.2 mg, when sodium nitrate was applied; 2.7 mg, when ammonium sulfate was applied; and 3.7 mg, when 2000kg of ammonium sulfate plus some manures were applied. Nitrogen in the form of ammonia was 0.07 mg, 0.35 mg and 0.28 mg, respectively.