

畑土壤肥沃度の診断に関する研究

第3報 窒素肥沃度の判定について

沢 口 正 利† 南 松 雄††

STUDIES ON THE ESTIMATION OF UPLAND SOIL FERTILITY

3. On the Estimation of Soil Nitrogen Fertility

Masatoshi SAWAGUCHI & Matsuo MINAMI

畑土壤の窒素的肥沃度評価の指標を得るため、ポット試験を行なった。各種の実験室的測定法による土壤可給態窒素量と無窒素区のえん麦吸収窒素との相関より、土壤窒素の有効度判定法として洗滌培養法、熱水抽出法が妥当であるが、測定上の簡便さの点より熱水抽出法が最適と考えられる。さらに、作物収量と時期別土壤熱水抽出窒素量の推移との関係より、播種後60日目の熱水抽出法による土壤窒素水準で、10～15 mg/100 ml 付近にその限界濃度（作物収量に対する Critical level）があるものと思われる。

I 緒 言

土壤肥沃度における種々の要因のうち、窒素要因の占める重要さは論をまたない。畑土壤においては降雨、その他の気象的条件によって、土壤養分の溶脱、流亡に伴い肥沃度が低下するが、特に、窒素は土壤中での移動性が激しいため、減耗の度合いは他養分に比して著しく高い。このため、土壤の窒素的生産力の優劣が作物の生育、収量を支配する因子となることが多く、実際面での窒素施肥が重視されるゆえんでもある。

一般に、施肥窒素の持続性は土壤のアノモニア態窒素保持力、硝酸化成能および硝酸態窒素の溶脱性などによって左右されるが、作物生産上、窒素肥効の持続性の低下を防ぐため、多肥、あるいは分施肥などが行なわれている。しかし、多肥栽培の場合の濃度障害、また、分施肥の場合の労力的難点など多くの問題が残っている。近年、化学

肥料の発達に伴い、緩効性、遅効性などの各種窒素質肥料が開発され、障害性の除去、労力節減、肥効の持続性などに大きな期待が寄せられているが、その適切な施用方法は確立されていない現状で、畑作物に対する窒素の施肥管理については、なお未解決のものが残されている。さらに、最近、地力増進の立場からも、有機物施用に伴う土壤窒素の富化などについて多くの研究が行なわれており⁸⁾¹⁰⁾、土壤の窒素供給力についての意義が再評価されつつある。

したがって、窒素の施肥設計を立てるには、まず、土壤の窒素的生産力を解明し、それを基礎として合理的な施肥量、施用方法を確立することが重要と考えられる。

著者らは、土壤肥沃度を有効態養分の面より評価し、畑作物に対する合理的施肥量算定の基礎資料を得ようとして、前報¹¹⁾まで、土壤の磷酸肥沃度判定の指標について報告したが、本報告では、土壤の有効態窒素測定法を検討し、さらに、作物収量との関係より土壤有効態窒素の限界濃度について検討した結果⁹⁾¹⁰⁾を報告する。

† 中央農業試験場

†† 元中央農業試験場（現上川農業試験場）

II 試験方法

1. 土壌窒素有効度の判定

1) 供試土壌および試験方法

北海道内の代表的畑作地帯より性状の異なる土壌 15 点 (非火山性土壌 8 点, 火山性土壌 7 点) を採取し, 本研究に供した。各土壌の理化学性は Table 1 に示すとおりである。

各供試土壌を 1/2000 a ワグネルポットに充填し, 供試作物としてえん麦 (品種「前進」) を用いて無窒素栽培を行なった。なお, 共通肥料として, 磷酸 1 g/pot, 加里 1 g/pot をそれぞれ過石, 硫酸を用いて, 作土 10 cm に混合施用した。

収穫物は水洗, 乾燥, 粉碎して, 常法により作物体の窒素吸収量を定量した。

2) 土壌中の可給態窒素測定法

本研究に採用した土壌中の可給態窒素測定法は次の 6 種類である。

(1) 熱水抽出法¹⁾ (Hot water extraction method)

土壌 10 g に水 100 ml を加え, 冷却管をつけて 2 時間 100°C に保ち, 可溶窒素を定量した。

(2) 酸加水分解法¹⁰⁾ (Purvis and Leo's method)

土壌 1 g に硫酸 (濃硫酸 2 ml を水で 1:1 に希釈する) 2 ml を加え, 蒸発乾固した後, 水 50 ml と 5% $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 1 滴を加えて攪拌, 濾過し, 濾液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ をネスラー法により定量した。

(3) アルカリ酸化解法⁴⁾ (SHIHATA's method)

土壌 1 g に分解剤 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 : \text{KMnO}_4 = 4:1$) 1 g と水 150 ml を加え, 5 分間蒸溜し, 溜出液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ をネスラー法により定量した。

(4) 原土の無機態窒素

原土壌の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ を HARPER 法, フェノール硫酸法により定量した。

(5) ビーカー培養法

土壌 100 g をビーカーにとり, 水分を最大容水量の 60% に調節して, 3 週間 28°C で培養し, 生成した $\text{NO}_3\text{-N}$ を常法により定量した。

(6) 洗滌培養法¹⁸⁾ (坂井法)

Table 1 Physical and chemical properties of 15 test soils

Soil group	Soil No.	Soil	Soil class	pH (H ₂ O)	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	Carbon nitrogen ratio	CEC (me)
Non volcanic ash soils	1	Wassamu	LiC	4.7	6.5	0.34	19.1	25.3
	2	Kuromatsunai	SL	5.0	9.1	0.51	17.8	23.5
	3	Biei	CL	5.8	5.4	0.49	11.0	14.4
	4	Tsukigata	LiC	5.2	4.5	0.31	14.5	19.9
	5	Shakotan	LiC	5.6	6.0	0.39	15.4	21.1
	6	Nayoro	CL	5.2	6.9	0.42	16.4	25.3
	7	Akaigawa	SiCL	6.1	8.3	0.55	15.1	25.3
	8	Bifuka	LiC	4.6	7.9	0.51	15.5	28.9
	Average			5.3	6.8	0.44	15.6	22.9
Volcanic ash soils	9	Mikage	SL	5.2	14.3	0.64	22.3	29.8
	10	Hiroshima	CL	5.3	12.1	0.54	22.2	27.1
	11	Zenigamezawa	SiCL	5.1	22.8	0.96	23.8	46.9
	12	Bihoro	L	5.8	6.8	0.50	13.6	21.7
	13	Makubetsu	SL	5.6	7.0	0.35	20.0	28.9
	14	Monbetsu	SL	5.3	8.3	0.35	23.7	18.1
	15	Memuro	SL	5.4	3.7	0.20	18.5	18.9
	Average			5.4	10.7	0.51	20.6	27.4

Table 2 Physical and chemical properties of 6 test soils

Soil group	Soil	Mechanical composition (%)				Soil class	pH (H ₂ O)	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	Carbon nitrogen ratio	CEC (me)
		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay						
Non volcanic ash soils	Rankoshi	5.6	12.1	38.8	43.5	LiC	5.9	4.58	0.31	14.8	29.5
	Naganuma	1.0	37.4	38.6	23.0	CL	6.2	1.18	0.10	11.8	20.2
	Fukagawa	10.2	17.8	36.5	35.5	LiC	5.2	2.18	0.15	14.5	24.8
Volcanic ash soils	Yuni	60.2	18.3	15.5	6.0	SL	5.5	3.70	0.24	15.4	17.9
	Hiroshima	37.6	26.2	29.7	6.5	L	5.6	5.62	0.32	17.6	26.9
	Memuro	18.0	54.2	23.3	4.5	SL	5.8	3.48	0.20	17.4	18.9

グーテルツボに土壌 5 g (乾土当たり) を詰め、水洗滌して $\text{NO}_3\text{-N}$ を定量し、その後、残土壌を 28°C で培養する。1 週間おきに水洗滌をくり返し、洗液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ を定量し、3 週間に生成した $\text{NO}_3\text{-N}$ を合計して可給態窒素量とした。

2. 土壌別の土壌窒素限界濃度の検討

非火山性土壌 3 点 (闊越, 長沼, 深川), 火山性土壌 3 点 (由仁, 広島, 芽室) の計 6 点の土壌について、えん麦を供試作物として 1/5000 a ワグネルポットによる窒素用量試験を実施した。窒素施用量としては、(1)無窒素区、(2)窒素 0.5 g/pot、(3)窒素 1.0 g/pot、(4)窒素 2.0 g/pot の 4 段階を設け、生育時期別の土壌窒素濃度の動向、およびえん麦の子実収量について調査した。なお、共通肥料として、磷酸 0.5 g/pot、加里 0.5 g/pot をそれぞれ過石、硫加で施用した。供試土壌の理化学性は Table 2 に示すとおりである。

III 試験結果

1. 土壌窒素有効度の判定

従来から提案されている種々の土壌可給態窒素測定法のうち、化学的方法として熱水抽出法、酸加水分解法、アルカリ酸化分解法、原土の無機態窒素の 4 種、培養法としてピーカー培養法、洗滌培養法の 2 種、計 6 種の実験室的測定法を選出し、各測定法によって得られた作物栽培前の土壌可給態窒素の定量値とえん麦による窒素吸収量との相関より、土壌窒素有効度判定法としての適否を検討した。各測定法による土壌可給態窒素定量

値と作物体の吸収窒素量との関係は Table 3 に示したとおりである。

まず、えん麦の窒素吸収量を土壌の種類別についてみると、非火山性土壌では平均 632 mg/pot、火山性土壌では 491 mg/pot と非火山性土壌の方が高い吸収量を示し、相対的に、土壌の窒素供給力は非火山性土壌の方が火山性土壌に優ることが認められる。同様に、6 種の測定法による可給態窒素量を土壌の種類別に比較してみても、その平均値はいずれも非火山性土壌の方が火山性土壌を凌駕している。

次に、各種の測定法によって抽出あるいは生成した土壌窒素量の平均値を比較してみると、火山性土壌、非火山性土壌とも、アルカリ酸化分解 $\text{NH}_4\text{-N}$ > 洗滌培養 $\text{NO}_3\text{-N}$ > 熱水抽出窒素 > ビーカー培養 $\text{NO}_3\text{-N}$ > 原土の無機態窒素 > 酸加水分解 $\text{NH}_4\text{-N}$ の順であった。

一般に、土壌窒素の有効度を判定する場合、土壌有機態窒素の無機化、可給化の程度が問題となる。すなわち、化学的方法では、弱アルカリ性分解剤 (Na_2CO_3) による加水分解が最も多量の有機態窒素の無機化を促進し、ついで、熱水によってもかなりの窒素が抽出され、培養法による無機化窒素量とはほぼ同等の値を示した。また、原土中の無機態窒素は作物にすぐ利用される形態であり、低い値を示したが、希酸加水分解窒素量は原土の無機態窒素よりもさらに少ない。次に、2 種の培養法による無機化窒素量を比較すると、洗滌培養による生成 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量がピーカー培養 $\text{NO}_3\text{-N}$

Table 3 Relation between the values obtained by 6 soil nitrogen tests and the amounts of N uptake by oats

Soil group	Soil No.	Soil test values (mg N/100ml)						N uptake by oats (mg/pot)	Grain yields of oats (g/pot)
		Hot water extraction	PURVIS and LEO	SHIMATA	Initial mineral nitrogen	Bottle incubation	Leaching incubation		
Non volcanic ash soils	1	6.6	6.3	29.4	5.3	6.4	6.9	385	17.7
	2	7.8	4.9	44.9	7.2	7.9	9.5	490	25.6
	3	9.3	7.4	23.7	6.5	8.4	11.2	690	29.7
	4	11.7	6.4	17.6	9.7	11.8	11.6	538	26.8
	5	19.0	5.0	36.3	14.8	18.3	19.5	730	25.8
	6	16.6	5.4	30.0	14.7	16.7	17.4	727	30.6
	7	12.8	4.9	29.6	9.3	12.6	14.5	796	35.8
	8	16.7	10.3	21.0	13.5	14.7	17.4	697	29.4
	Average	12.6	6.3	29.1	10.1	12.1	13.5	632	27.7
Volcanic ash soils	9	9.5	6.1	18.9	7.4	10.0	11.3	595	21.1
	10	8.3	5.9	31.6	6.6	9.7	9.7	723	30.6
	11	8.7	3.7	19.4	7.7	8.4	9.7	526	25.2
	12	6.2	6.7	25.7	4.6	6.3	8.2	453	22.1
	13	5.6	3.6	28.1	3.8	5.4	6.0	350	19.7
	14	5.9	5.8	15.0	4.1	4.0	4.7	294	17.7
	15	9.1	8.4	28.3	6.8	9.2	9.0	498	23.6
	Average	7.6	5.7	23.9	5.9	7.6	8.4	491	22.9
All soils	Average	10.3	6.1	26.6	8.1	10.0	11.1	566	25.4

Table 4 Correlation between the values obtained by the soil tests and the amounts of N uptake by oats

Soil tests	Correlation coefficients		
	All soils	Non volcanic ash soils	Volcanic ash soils
Hot water extraction	0.756**	0.739*	0.755*
PURVIS and LEO	0.683**	0.586	0.634
SHIMATA	0.474	0.132	0.616
Initial mineral nitrogen	0.722**	0.638	0.763*
Bottle incubation	0.808**	0.628	0.906**
Leaching incubation	0.841**	0.821*	0.865*

Remarks; 1) On the soil test values by PURVIS and LEO's method, and SHIMATA's method, the correlation coefficients were calculated with the values added the initial $\text{NO}_3\text{-N}$ in soils,

2) ** Significant at 1% level, * Significant at 5% level.

N 量に優っており、培養中の土壌反応、通気などの条件の差によるものと思われた。

各測定法による土壌可給態窒素量とえん麦の窒素吸収量との相関関係を検討した結果は、Table 4 に示したとおりである。

まず、両者の相関関係を全土壌についてみると、洗滌培養法>ピーカー培養法>熱水抽出法>原土の無機態窒素>酸加水分解法>アルカリ酸化分解法の順で、洗滌培養法、ピーカー培養法がそれぞれ 0.841, 0.808 と各 1% 水準の高い相関を示した。化学的方法は培養法よりも劣っているが熱水抽出法が 0.756 と 1% 水準で最も高い相関を示し、ついで、原土の無機態窒素、酸加水分解法が各 1% 水準の有意な相関であり、アルカリ酸化分解法のみは有意な相関が認められなかった。Fig. 1, 2 に洗滌培養法および熱水抽出法の場合について相関の状態を示した。

次に、土壌の種類別にみると、非火山性土壌では洗滌培養法が 0.821, 熱水抽出法が 0.739 と 2

種の測定法のみが 5% 水準の相関を示し、ほかはいずれも有意な相関が認められなかった。一方、火山性土壌については、ピーカー培養法が 0.906 と 1% 水準の高い相関を示し、ついで、洗滌培養法が 0.865, 原土の無機態窒素が 0.763, 熱水抽出法が 0.755 と各 5% 水準の相関を示したのみで、ほかはいずれも有意な相関は認められなかった。

ピーカー培養法は火山性土壌で高い相関を示したにもかかわらず、非火山性土壌で有意な相関が認められず、土壌の種類別に使い分ける必要があると考えられるが、いずれにしても、土壌の種類のかんを問わず、有意な相関を認めた洗滌培養法と熱水抽出法による生成あるいは抽出された窒素が、土壌窒素有効度の指標として妥当であると推定される。しかし、培養法による土壌中の有効態窒素量の測定には長時間を要し、その操作も複雑であり、簡便に有効態窒素を定量するには化学的方法が望ましく、この見地より、熱水抽出窒素が土壌窒素有効度評価の指標としてより妥当と思われる。

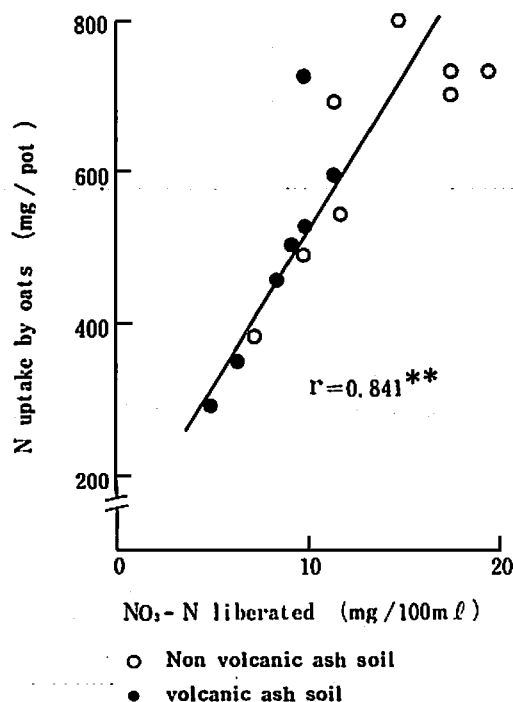


Fig. 1 Relation between $\text{NO}_3\text{-N}$ in soils liberated on the leaching incubation and N uptake by oats

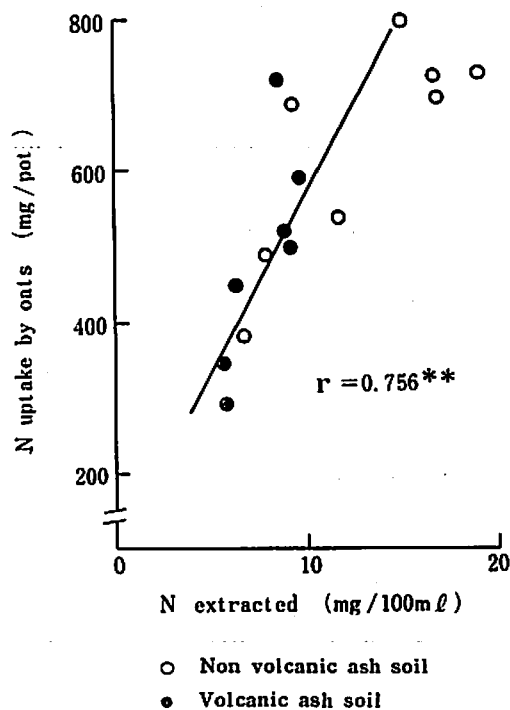


Fig. 2 Relation between N in soils extracted with hot water and N uptake by oats

次に、畑土壌における窒素的生産力は、土壌固有の窒素養分供給力（無窒素区の収量）と窒素の肥効（窒素施用による増収量）からなるとの観点より、土壌中の有効態窒素量とえん麦収量との関係をみた。

Fig. 3 および Fig. 4 により、洗滌培養法および熱水抽出法による土壌窒素量と子実収量との相関係数は、洗滌培養法が 0.669 と 1% 水準で、また、熱水抽出法が 0.590 と 5% 水準で有意性を示した。このように、土壌中の有効態窒素量と作物収量との間に密接な関係のあることがうかがえる。

2. 土壌別の土壌窒素限界濃度の検討

熱水抽出法による土壌窒素が、土壌の窒素有効度評価の指標となることが認められたので、次に、窒素施肥段階における土壌中の有効態窒素と作物収量との関係を求め、最高収量をうるための土壌中の熱水抽出窒素水準を検討した。

1) 生育期間中の有効態窒素の動向

4 種類の供試土壌（關越、長沼、由仁、広島）を用

いて、ポット試験により、生育期間を 4 段階（播種直後、播種後 45 日目、60 日目、収穫期）に分け、時期別の熱水抽出土壌窒素の推移を調査した。その結果は Fig. 5 に示したとおりである。

まず、窒素用量別に熱水抽出法による土壌窒素の水準についてみると、4 土壌とも各時期の土壌窒素量は窒素施用量の増加に伴って高く、無窒素区では生育全期間を通して終始 10mg/100ml 以下の低い値を示し、また、N 2 g 施肥区の窒素水準は、常に N 1 g 施肥区のほぼ 2 倍前後の値を示している。

次に、生育時期別に土壌窒素量の推移についてみると、無窒素区は終始一定した値をもって推移しているが、N 0.5 g, 1 g, 2 g 施肥区では播種直後より播種後 60 日目まで急激に減少し、それ以降は低下の度合いが緩慢となり、特に、N 1 g, 2 g 施肥区では変動が少ない。すなわち、播種後 60 日目は生育時期としてえん麦の出穂直前であり、作物の栄養生長が最大に達し、この時点で作物の

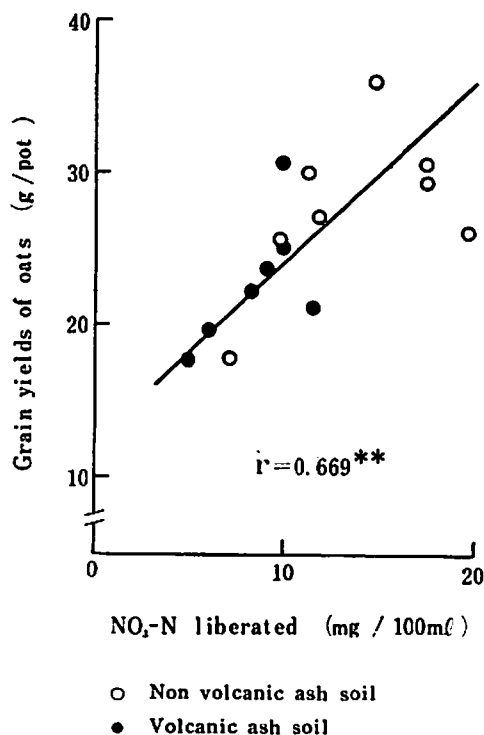


Fig. 3 Relation between $\text{NO}_3\text{-N}$ in soils liberated on the leaching incubation and grain yields of oats

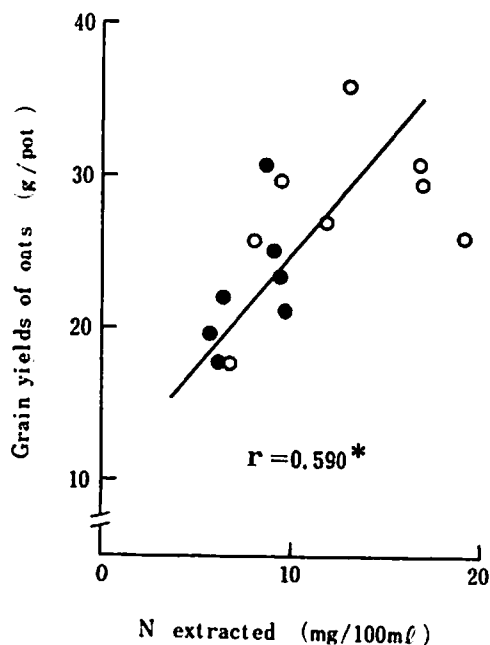


Fig. 4 Relation between N in soils extracted with hot water and grain yields of oats

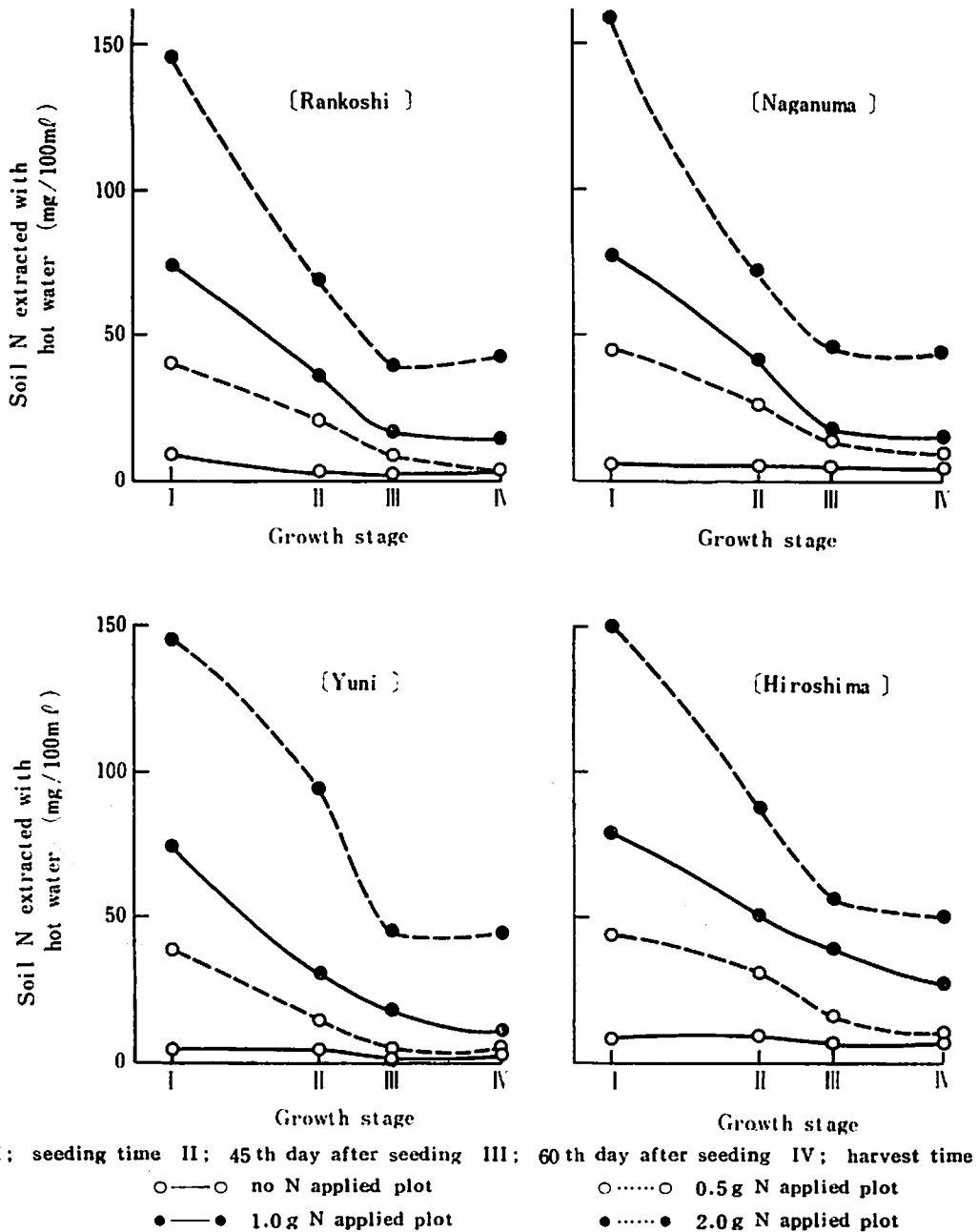
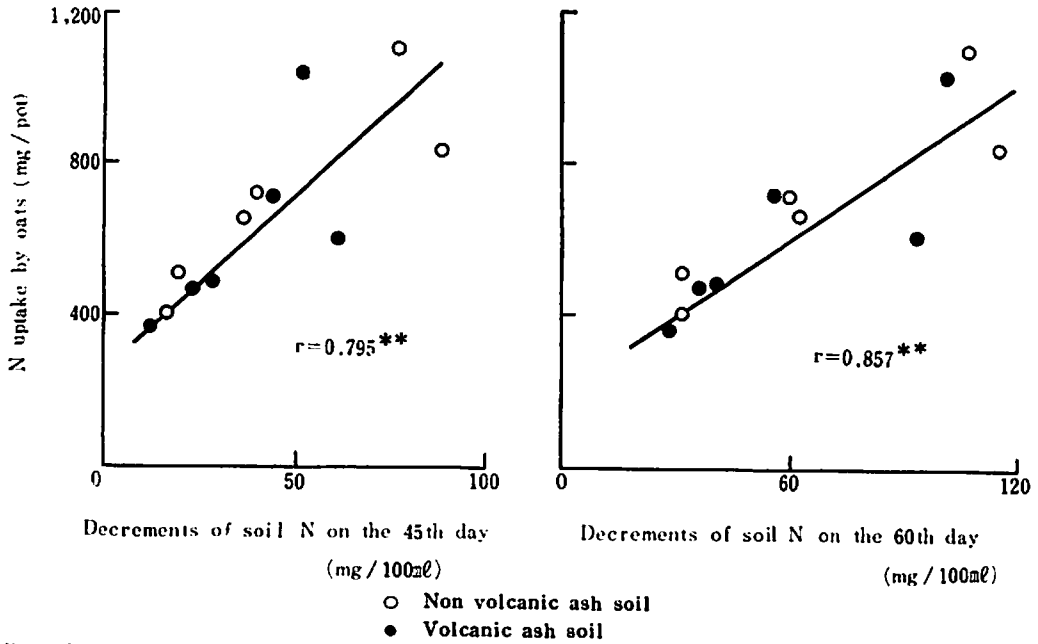


Fig. 5 Movements of soil N by the hot water extraction method at each growth stage

窒素吸収がある程度完了するため、土壌窒素の減少度合いが停滞するものと考えられる。

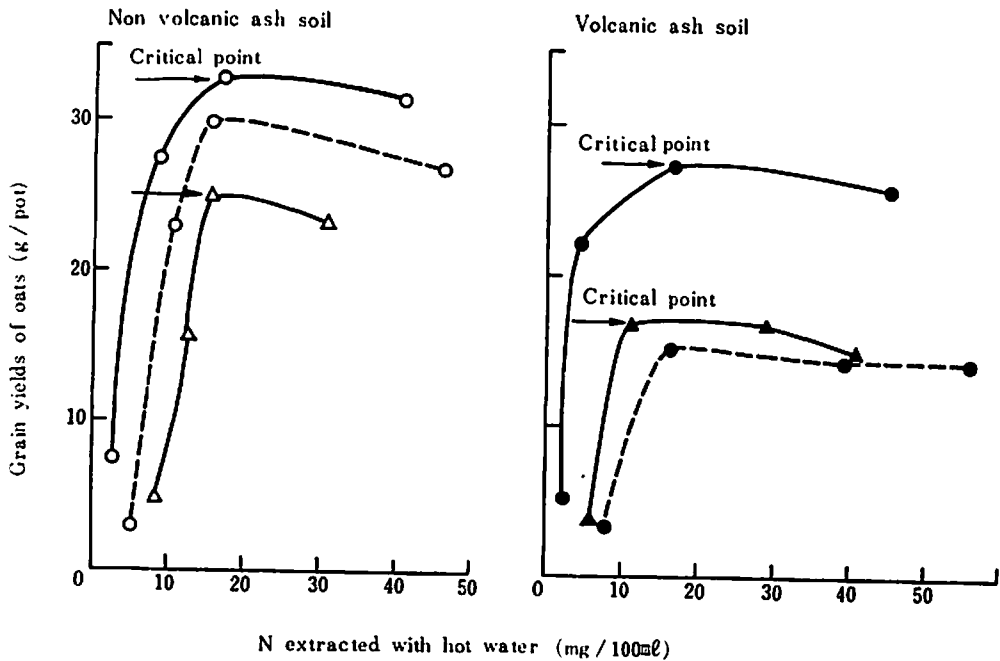
次に、ポット試験という閉鎖条件であるから、土壌窒素の損失は作物による窒素吸収がそのほとんどを占めると仮定して、各時期ごとの熱水抽出土壌窒素の減少量と、作物の窒素吸収量との相関

関係を求めた。その結果、Fig. 6 に示すとおり、播種後 45 日目までの土壌窒素の減少量と作物吸収窒素量との相関は 0.795、また、播種後 60 日目については 0.857 とともに 1% 水準の有意性を示した。したがって、播種後 60 日目までの土壌窒素の水準が作物の窒素吸収に大きく影響してい



Remarks; 1) The decrements of soil nitrogen test values were gave by substructing from the soil nitrogen values on seeding time to the value on each growth stage.

Fig. 6 Relation between the decrements of soil N test values by the hot water extraction method on the 45th and the 60th day after seeding time, and N uptake by oats



○—○ Rankoshi ○...○ Naganuma △—△ Fukagawa ●—● Yuni ●...● Hiroshima ▲—▲ Memuro

Fig. 7 Relation between soil N test values by the hot water extraction method on the 60th day after seeding time and grain yields of oats

Table 5 Relation between the soil test values by the hot extraction method and grain yields of oats

Soil group	Soil	Amount of N applied (g/pot)	Grain yields of oats (g/pot)	Yield index (%)	N uptake by oats (mg/pot)	Soil N extracted with hot water (mg/100ml)
Non volcanic ash soils	Rankoshi	0	7.3	100	135	2.5
		0.5	27.4	375	514	8.6
		1.0	32.8	449	720	16.5
		2.0	31.4	430	1102	40.4
	Naganuma	0	2.9	100	49	4.9
		0.5	23.2	800	406	14.3
		1.0	30.0	1034	655	15.0
		2.0	27.0	931	832	46.3
	Fukagawa	0	4.9	100	76	8.1
		0.5	15.7	321	361	13.3
		1.0	25.1	512	486	15.7
		2.0	23.2	473	821	31.4
Volcanic ash soils	Yuni	0	5.5	100	77	2.1
		0.5	22.4	407	469	4.2
		1.0	27.4	498	717	17.2
		2.0	25.9	471	1033	45.4
	Hiroshima	0	3.3	100	68	7.6
		0.5	15.3	464	365	16.4
		1.0	14.4	436	489	39.2
		2.0	14.3	433	600	56.3
	Memuro	0	3.3	100	70	5.8
		0.5	17.0	436	395	11.0
		1.0	16.8	431	634	29.0
		2.0	15.0	385	713	40.5

Remarks; 1) Soil nitrogen test values show the test value on the 60th day after seeding.

ることがうかがえる。さらに、播種後 45 日目および 60 日目の両時期について相関係数を比較してみると、60 日目の相関がやや優り、また、60 日目以降の土壤窒素水準の変動が少なくなることより、作物収量の施肥による増収度合いをも加味して、土壤の窒素的生産力を判定する時期として播種後 60 日目ごろが妥当と推察される。

2) 作物収量に対する土壤窒素の限界濃度

次に、非火山性土壤 3 点（開越、長沼、深川）、火山性土壤 3 点（由仁、広島、芽室）を用いて、ポッ

トで窒素用量試験を行ない、えん麦の子実収量と播種後 60 日目の土壤中の熱水抽出窒素水準との関係を検討した。その結果は Table 5, Fig. 7 に示したとおりである。

各土壤とも窒素の肥効は顕著にみられるが、土壤の種類別では全般的に非火山性土壤が火山性土壤より収量は高く推移している。これは土壤の窒素的生産力以外に土壤の磷酸供給力、塩基含量など各種の因子が作用して、火山性土壤での収量の増加度合いが規制されたものと推察される。

各土壌について、最高収量をあげた場合の窒素施用量は、広島、芽室土壌が 0.5 g 施肥区で、ほかはいずれも 1 g 施肥区であり、火山性土壌においては土壌の Buffer action が弱く、土壌中の窒素濃度が高くなる段階で、土壌 pH の低下をきたし、収量が頭打ちになるものと思われる。

つぎに、各土壌における最高収量区の播種後 60 日目の熱水抽出土壌窒素水準は、蘭越土壌で 16.5 mg/100ml、長沼土壌で 15.0 mg/100ml、深川土壌で 15.7 mg/100ml、由仁土壌で 17.2 mg/100ml、広島土壌で 16.4 mg/100ml、芽室土壌で 11.0 mg/100ml とほぼ 10~15 mg/100ml 前後の値を示している。さらに、Fig. 7 から、作物収量に対する土壌窒素の限界濃度についてみると、非火山性土壌、火山性土壌とも、熱水抽出窒素水準で 10~15 mg/100ml 付近に Critical point が認められる。

IV 考 察

本研究においては、土壌の窒素肥沃度を解明するため、まず、各種の土壌可給態窒素測定法の適否を検討して土壌窒素有効度判定の指標を求め、さらに、その有効態土壌窒素水準と作物収量との関係について検討を加えた。

一般に、実験室的土壌可給態窒素測定法は化学的方法と生物的方法に大別される。前者は水、酸、アルカリなどの試薬により分解抽出される窒素を可給態窒素とするもので、熱水抽出法、酸加水分解法、アルカリ酸化分解法などがこれに相当する。一方、生物的方法は培養法と微生物を利用する方法に分けられ、ピーカー培養法、洗滌培養法など土壌を培養し、生成する無機態窒素量を可給態窒素とするもの、また、*A. niger*, *P. aeruginosa* などの微生物を接種し、その反応状態をみる方法などがある^{21,22}。また、FRIED and DEAN ら²³の A-value system と同様にして、 N^{15} を用いての N-value system も報告されている²⁴。

一方、土壌窒素は無機態窒素と有機態窒素に大別され、作物は一部の有機態窒素（アミド、アミノ酸など）を利用できるとされているが²⁵、大部分のものは無機態窒素（硝酸態、アンモニア態）である。事実、原土壌中に存在する無機態窒素が作物

の吸収窒素量ときわめて相関の高いことは多く報告されている^{10,19}。しかし、原土壌中の無機態窒素は有機態窒素に比較してきわめて少なく（1~2%）、作物に対し有効度の高いことは認められるが、量的に土壌の窒素的生産力を判定する場合には不十分と考えられる。また、土壌窒素の大部分を占める有機態窒素は微生物分解の難易によって、易分解性有機物（蛋白様物質）と難分解性有機物（狭義の腐植、ヒューミン態）に大別でき、このうち、難分解性有機物は作物に対し窒素養分としての効果はほとんどないものと考えられる²⁶。したがって、土壌の窒素有効度を判定する場合、前述の無機態窒素量と易分解性有機物中に含まれる有機態窒素の無機化、有効化の程度が指標となる。

土壌を微生物活性に最適な温度、水分、pH 条件をもって培養し、土壌有機態窒素の無機化を促進させて、生成する無機態窒素の程度によって土壌の窒素的生産力を判定しようとする研究は多くなされているが^{12,17}、ピーカー培養法では、培養前の土壌処理、aerobic あるいは anaerobic の条件、培養期間、温度条件などが各研究者によって異なっている。

並木ら¹²は、千葉県の畑土壌窒素供給力について土壌別、作物別に検討を加え、概略の窒素供給力を知ろうとするならば、風乾土の畑処理培養における無機態窒素を測定することが適当であると、さらに、正確に知ろうとするならば、作物ごとに火山性土と非火山性土に土壌を分けて、それぞれに適した測定方法を把握する必要があると報告している。

しかし、ピーカー培養法は生成する硝酸態窒素の集積が土壌 pH の低下をきたし、窒素の無機化を抑制するため、正味の無機化量を測定するには最適といえない。STANFORD ら²⁰は、上記のピーカー培養法に代わるものとして洗滌培養法を考案した。坂井¹⁸は、この洗滌培養法に検討を加え、培養土を水洗滌することによって、生成、集積した硝酸態窒素を排出させ、かつ、強制的に通気を行なうため、土壌 pH の低下、酸素不足などの窒素無機化阻害因子をとり除く利点があるとした。本研究においても、土壌の種類に関係なく、洗滌

培養法による無機化窒素量は常にピーカー培養法に優り、また、作物窒素吸収量と最も高い相関を認めた。

三木ら⁷⁾は、洗滌培養法の洗滌方法について検討し、最初に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和溶液を添加し、その後無機塩添加の培養液で滲透をくり返す方法が最も効果的であるとし、さらに、この方法を未耕地土壤に適用する場合、洗滌により溶出してくる無機態窒素について、 $\text{NO}_3\text{-N}$ のみならず $\text{NH}_4\text{-N}$ の定量も行なう必要があると報告している。

このように、土壤の窒素供給力を判定する方法として洗滌培養法が最適であるが、測定に時間のかかる欠点があり、簡便化の点より化学的方法が望ましいと思われる。

一般に、化学的方法は、酸またはアルカリ試薬によって土壤中の易分解性有機物を加水分解し、無機化した $\text{NH}_4\text{-N}$ を定量するもので、試薬の種類、濃度、また、反応時間などによって窒素無機化の度合いが異なってくる。本研究で検討した酸加水分解法 (PURVIS and LEO's method¹⁰⁾) とアルカリ酸化分解法 (SHIHATA's method⁹⁾) の 2 法についてみると、アルカリ酸化分解法による土壤窒素はきわめて高い値を示し、難分解性有機物の一部をも解離するものと推察され、また、酸加水分解法は逆に最も低い値を示し、作物窒素吸収量との相関より、2 法とも土壤有効態窒素測定法として不十分であることが認められた。

一方、赤塚ら¹¹⁾は、従来の酸、アルカリ加水分解による方法と異なった熱水抽出法を考案し、熱水によって抽出される窒素が易分解性有機物の一部を含むことを指摘し、土壤窒素供給力判定の有力な指標となることを報告した。

本研究の結果、熱水抽出窒素は洗滌培養法窒素について作物窒素吸収量との相関が高く、測定の簡便さの点より、土壤窒素有効度評価の指標として最も適当であることが認められた。

次に、土壤有効態窒素としての熱水抽出窒素水準と作物収量との関係を検討した結果、まず、無窒素段階においては、土壤中の熱水抽出窒素水準が高い程収量は増加する傾向にあり、さらに、窒素施肥段階では、最高収量をうるための土壤窒素

の限界濃度が、土壤の種類に関係なく、播種後 60 日目の熱水抽出窒素水準で $10 \sim 15 \text{ mg}/100\text{ml}$ 付近であった。すなわち、土壤の窒素供給力の大小にかかわらず、作物収量を支配する要因としての土壤窒素濃度は、播種後 60 日目ごろまで熱水抽出窒素水準で $10 \text{ mg}/100\text{ml}$ 以上に維持する必要があると思われる。

しかし、この結果はあくまでもポット試験によって得られたものであり、降雨による溶脱、流亡あるいは乾燥による窒素の地表面集積など環境条件が全く異なる現地ほ場に対する適応性は十分といえないが、畑作物に対する窒素施肥上の 1 つの指標になりうるものと考えられる。したがって、実際面での応用を考える場合、土壤別の施肥窒素の動態および有効態窒素としての保持特性について検討を加え、さらに、作物別の比較検討を行なう必要があろう。

V 摘 要

土壤肥沃度を土壤中の有効態窒素の面より評価するため、まず、土壤窒素の有効度判定の指標を得ようとして、北海道内の畑作地帯の土壤 15 点 (非火山性土壤 8 点、火山性土壤 7 点) を用いて、えん麦をポットで無窒素栽培し、6 種の実験室的可給態窒素測定法—熱水抽出法、酸加水分解法 (PURVIS and LEO's method)、アルカリ酸化分解法 (SHIHATA's method)、原土の無機態窒素、ピーカー培養法、洗滌培養法—による土壤窒素の定量値とえん麦の窒素吸収量との相関関係より、各測定法の適否を検討した。

さらに、窒素肥沃度の異なる土壤 6 点を用いて、ポットで窒素用量試験を行ない、生育時期別の土壤窒素の動向、および作物収量に対する土壤窒素の限界濃度を検討した。

その結果を要約すると次のとおりである。

1) 各種の測定法によって得られた土壤窒素量を比較すると、土壤の種類に関係なく、アルカリ酸化分解 $\text{NH}_4\text{-N}$ > 洗滌培養 $\text{NO}_3\text{-N}$ > 熱水抽出窒素 > ピーカー培養 $\text{NO}_3\text{-N}$ > 原土の無機態窒素 > 酸加水分解 $\text{NH}_4\text{-N}$ の順であった。

2) 土壤の種類別にえん麦の窒素吸収量および

各種測定法による土壌窒素量をその平均値より比較して、非火山性土壌が火山性土壌よりも一般に高い値を示した。

3) 各種の測定法による土壌窒素量とえん麦の窒素吸収量との相関を求めた結果、土壌全体では洗滌培養法、ピーカー培養法がおのおの0.841, 0.808と1%水準の高相関を示し、また、化学的方法では熱水抽出法が0.756と1%水準で最も高い相関を示した。また、土壌の種類に関係なく、洗滌培養法と熱水抽出法にのみ有意な相関を認めた。

4) 以上の結果より、土壌窒素有効度の判定には、洗滌培養法と熱水抽出法が妥当であるが、測定迅速、簡便さの点より、熱水抽出法が最も適していると思われる。

5) 施肥窒素レベルを変えたポット試験から、生育時期別に土壌窒素の推移とえん麦の窒素吸収量との関係を検討した結果、土壌の窒素水準判定の時期として播種後60日目が適当と思われる。

6) ポット試験結果より、作物収量に対する土壌有効態窒素の限界濃度は、土壌の種類に関係なく、播種後60日目の熱水抽出窒素水準で10~15 mg/100ml付近である。

引用文献

- 1) 赤塚 恵, 坂柳迪夫, 1964; 畑土壌における窒素供給力の検定方法に関する2, 3の考察, 北農試験報, 83, 64—70.
- 2) BOSWELL, F. C., A. C. RICHER and L. E. CASIDA, 1962; Available soil nitrogen measurements by microbiological techniques and chemical methods, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 26, 254—257.
- 3) FRIED, M. and L. A. DEAN, 1951; A concept concerning the measurement of available soil nutrients, Soil Sci., 73, 263—271.
- 4) GHOSH, P. C., 1966; A comparison of some chemical tests for available soil nitrogen, Plant and Soil, 25: 1, 65—72.
- 5) 原田登五郎, 1961; 土壌肥料講座, 第2巻, 53—63, 朝倉書店.
- 6) HUNTER, A. S. and D. L. CARTER, 1965; Studies of methods for measuring forms of available soil nitrogen, Soil Sci., 100: 2, 112—117.
- 7) 三木和夫, 出井嘉光, 1965; 畑土壌の窒素供給力に関する研究(第1報), 東海近畿農試研究報告, 14, 55—67.
- 8) ———, ———, 1965; 畑土壌の窒素供給力に関する研究(第2報), 東海近畿農試研究報告, 14, 68—77.
- 9) 南 松雄, 沢口正利, 1969; 土壌診断法に関する研究(第2報), 北農, 36: 3, 74—76.
- 10) ———, ———, 1969; 畑土壌肥沃度の診断に関する研究(第2報), 土肥学会講演要旨集, 15, 111.
- 11) ———, ———, 1969; 畑土壌肥沃度の診断に関する研究(第2報), 道農試集, 19, 87—98.
- 12) 並木 清, 三好 洋, 田原久徳, 1965; 千葉県に分布する畑土壌の窒素供給力, 千葉農試研究報告, 6, 109—122.
- 13) 小笠原国雄, 山本 毅, 1966; 土壌中における窒素の消長について, 東北農試研究報告, 33, 356—383.
- 14) OZUS, T. and J. J. HANWAY, 1966; Comparisons of laboratory and greenhouse tests for nitrogen and phosphorus availability in soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30, 224—228.
- 15) PETERSON, L. A., O. J. ATTOR and W. B. OGDEN, 1960; Correlation of nitrogen soil tests with nitrogen uptake by the tobacco plant, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 24, 205—209.
- 16) PURVIS, E. R. and M. W. M. LEO, 1961; Rapid procedure for estimating potentially available soil nitrogen under greenhouse conditions, J. Agr. Food Chem., 9, 15—17.
- 17) ROBINSON, J. B. D., 1968; A simple available soil nitrogen index: I, J. Soil Sci., 19:2, 269—279.
- 18) 坂井 弘, 1959; 土壌の硝化作用に関する研究(第2報), 土肥学雑誌, 30: 2, 53—56.
- 19) SPENCER, W. F., A. J. MACKENZIE and F. G. VIETS, 1966; The relationship between soil tests for available nitrogen and nitrogen uptake by various irrigated crops in the western states, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30, 480—485.
- 20) STANFORD, G. and J. HANWAY, 1955; Predicting nitrogen fertilizer needs of Iowa soils: II, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 19, 74—77.
- 21) ウェブスター, 1963; 植物の窒素代謝, 松中昭一ほか訳, 2—6, 岩波書店.

Summary

The nitrogen nutrients in soils are one of the most important factors that compose the soil fertility.

In this paper, the authors intended to estimate the fertility level of upland soil with soil nitrogen test. At first, the most suitable methods for estimating the soil nitrogen availability were investigated.

Using the fifteen soil samples collected from the Hokkaido district, the following six soil tests were evaluated; (1) N extracted with hot water, (2) hydrolyzable N by sulfuric acid according to PURVIS and LEO's method, (3) hydrolyzable N by alkaline KMnO_4 according to SHIHATA's method, (4) initial mineral N in soils, (5) $\text{NO}_3\text{-N}$ produced on the bottle incubation, (6) $\text{NO}_3\text{-N}$ liberated on the leaching incubation according to SAKAI's method.

The correlation analyses were made between the amounts of nitrogen uptake by oats in the greenhouse culture and the soil test values.

On the other hand, in the pot experiments we applied different rates of nitrogen fertilizer, the movements of the available soil nitrogen at each plant growth stage were investigated, and the critical level of the available soil nitrogen content on the crop yields was assessed.

The obtained results were summarized as follows;

1) The amounts of available soil nitrogen determined with six soil tests were ranked

in the following order; (3) > (6) > (1) > (5) > (4) > (2).

2) The amounts of nitrogen uptake by oats and the soil test values were higher on the nonvolcanic ash soils than on the volcanic ash soils.

3) On all the soils, $\text{NO}_3\text{-N}$ released on the leaching incubation and on the bottle incubation showed higher correlation coefficients of 0.841 and 0.808 (significant at 1% level, respectively) with the amounts of nitrogen uptake by oats, respectively, and among the chemical tests, N extracted with hot water gave the highest correlation coefficients of 0.756 (significant at 1% level). On the non-volcanic ash soils and the volcanic ash soils, $\text{NO}_3\text{-N}$ released on the leaching incubation method and N extracted with hot water were significantly correlated.

4) It was concluded that the leaching incubation method and the hot water extraction method were suitable methods for estimating the soil nitrogen availability, and yet, the hot water extraction method as a quick and easy test was the better test.

5) The results examined on the available soil nitrogen movements at each plant growth stage, showed that the most suitable time of soil nitrogen test was at the 60th day after seeding.

6) With the results of the pot experiments, it seemed that the critical level of soil test to obtain the maximum yield of oats was about 10~15 mg of N extracted with hot water per 100 ml soil on the 60th day after seeding.