

リンゴ園土壌の速度論的解析法による窒素無機化特性に関する研究

第1報 無機化特性値の解析と無機化量の推定

佐藤 善政・船山 瑞樹

目 次

I. 緒 言	11
II. 材料及び方法	11
1. 温度別長期間培養と窒素無機化特性値の解析	11
(1) 供試土壌の採取	11
(2) 土壌の培養と無機化窒素量の測定	12
(3) 無機化特性値の解析	12
2. 推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量との関係	13
III. 結 果	13
1. 温度別長期間培養結果と窒素無機化特性値	13
2. 推定窒素無機化量の算出	15
(1) 標準温度 (25℃) 変換日数	15
(2) 推定無機化量	15
3. 推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量との関係	17
(1) 時期別推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量の相関	19
(2) 時期別推定窒素無機化量と土壌水分張力 (pF値) による9月の無機態窒素量の予測	20
IV. 考 察	18
V. 摘 要	19
VI. 引用文献	20

I. 緒 言

適切な施肥管理により安定した果実生産と、過剰な施肥による環境負荷を軽減するために、リンゴ園でのより合理的な施肥技術として、今後は土壌肥沃度や生育期の気象変動に対応した施肥システムの組み立てが求められると予想される。その場合、土壌からの養分供給様式を明らかにしておくことが大切であり、特に樹体吸収量の大半を土壌由来成分に依存する (13) とされる窒素については、園地の供給様式を把握して適切な肥培管理を実施することが重要である。

稲作や畑作においては土壌の窒素無機化特性についての反応速度論的解析が行われており、窒素供給力の評価に関する研究 (10) (11) や、無機化量を推定し施肥管理をシステム化する研究 (2) (3) (4) (7) (18) (19)、各種堆きゅう肥、緑肥を施用した場合の無機化特性に関する研究 (5) (12) (16) が行われている。リンゴ園においても、土壌の窒素無機化特性に応じた適切な施肥体系を設定する 2001年8月31日受理

ために、また気象変動にともなう当年の無機化量予測をもとにした合理的な施肥管理情報を現場に提供する上でも、反応速度論的方法が有効かどうかを検討しておくことは意義がある。

そこで、県内のリンゴ園に分布する主要な土壌の窒素無機化特性値を解析するとともに、1993年から1995年の地温をもとに推定した無機化量と時期別無機態窒素含量の関係を検討したので報告する。

本報告のとりまとめに際し、調査結果の解析、評価について多大なご指導を賜りました 独立行政法人 農業技術研究機構 果樹研究所 根圏機能開発研究室長 梅宮善章氏に感謝の意を表します。また、本報告の執筆をご進言いただきました前秋田県果樹試験場長 久米靖徳氏、調査の実施や試料の分析、さらに結果の集約にわたって多大なご助力をいただいた当試験場環境部 高橋美子氏、ご校閲をいただきました職員の皆様に心底より御礼申し上げます。

II. 材料及び方法

1. 温度別長期間培養と窒素無機化特性値の解析

(1) 供試土壌の採取

無機化特性値の解析には、1993年から1995年の3か年にわたり以下の15園地について春肥の施用前に土壌を採取して供試した。

1993年は4月7日に表層腐植質多湿黒ボク土を平鹿町靱醐の2園と十文字町梨木の1園より、4月8日に表層多腐植質黒ボク土を鹿角市花輪及び関上の合わせて3園より採取した。1994年は礫質褐色森林土及び細粒褐色森林土を横手市檜沢及び平鹿町金麓開畑園の合わせて3園より、表層腐植質黒ボク土を平鹿町北野周辺の3園よりそれぞれ4月11日に採取した。1995年は水田転換園を対象にし、灰色低地土 (40cm以下は黒ボク土) を増田町半助村の1園より、細粒グライ土を増田町下タ町の2園より4月11日に採取した。

土壌はすべての園地で「ふじ」樹の樹冠下より採取したが、マルバカイドウ台樹では樹冠外周より約50cm樹冠内部に入った地点に、わい性台樹では栽植列の株間に深さ約40cmの穴を掘り、表層下深さ30cmまでの土壌を検土器で採取した。なお、各園地の土壌採取年の年間窒素施肥量は6～12kgN/10aの範囲で、草生管理はマルバカイドウ台樹等の園地は全面草生が主体で、わい性台樹の園地では除草

第1表 調査対象園の所在地及び土壌採取対象樹

園地No.	定期調査園	所 在 地	土壌採取対象樹の品種/台木	樹 齢 ²
1	D園	平 鹿 町	醍 醐 ふじ/マルバカイドウ	28年生樹
2		十文字町	梨 木 ふじ/M. 26	13年生樹
3		平 鹿 町	醍 醐 ふじ/M. 9/マルバカイドウ	7年生樹
4		鹿 角 市	花 輪 ふじ/M. 26/マルバカイドウ	10年生樹
5		鹿 角 市	関 上 ふじ/マルバカイドウ	約35年生樹
6		鹿 角 市	上 花 輪 ふじ/マルバカイドウ	約30年生樹
7	B園	平 鹿 町	北 野 ふじ/マルバカイドウ	21年生樹
8		平 鹿 町	北 野 ふじ/CG. 80/マルバカイドウ	11年生樹
9		平 鹿 町	北 野 ふじ/国光/マルバカイドウ	約65年生樹 (ふじ高接ぎ後約25年)
10	A園	横 手 市	檜 沢 ふじ/M. 26	18年生樹
11		平 鹿 町	金麓開畑	約30年生樹
12		平 鹿 町	馬 鞍 ふじ/マルバカイドウ	25年生樹
13	C園	増 田 町	半 助 村 ふじ/紅玉/ミツバカイドウ	25年生樹 (紅玉1年生苗に接木)
14	E園	増 田 町	下 夕 町 ふじ/マルバカイドウ	約25年生樹
15	F園	増 田 町	下 夕 町 ふじ/M. 26/マルバカイドウ	15年生樹

²: 採土時の樹齢

第2表 調査対象園の土壌分類及び土壌管理の概要

園地No.	定期調査園	土 壌 分 類	草生管理法	年間窒素施肥量	そ の 他
1	D園	表層腐植質多湿黒ボク土	全 園 草 生	6 kg N/10 a	
2			樹冠下清耕	8	
3			樹冠下清耕	10	
4		表層多腐植質黒ボク土	樹冠下清耕	10	
5			全 園 草 生	8	
6			全 園 草 生	8	
7	B園	表層腐植質黒ボク土	樹冠下清耕	8	
8			樹冠下清耕	12	1975~1987年は2, 3年間隔で肥料の他に牛ふん10t/10a施用
9			全 園 草 生	9	
10	A園	礫質褐色森林土	樹冠下清耕	12	
11			全 園 草 生	10	
12		細粒褐色森林土	全 園 草 生	6	
13	C園	灰色低地土 ² (水田転換園)	樹冠下清耕	8	
14	E園	細粒グライ土 (水田転換園)	全 園 草 生	8	
15	F園	細粒グライ土 (水田転換園)	樹冠下清耕	6	

²: 40cm 以下は黒ボク土

剤を併用した樹冠下清耕の部分草生が主体であった (第1表, 第2表)。

(2) 土壌の培養と窒素無機化量の測定

土壌を採取後, 未風乾土の状態では4mmのふるいを通し, 培養するまでは5℃の冷蔵庫に保存した。土壌の培養は乾土20g 相当の未風乾土を100mlのUMサンプルビンに詰め, 最大容水量の60%になるように水分を調節後, アルミホイルでふたをして20, 25, 30℃に設定した恒温器中でそれぞれ培養を行った。培養期間中は1週間おきに蒸留水を添加し, 培養開始時の水分量を保つように調節した。培養開始後4週間目までは7日間隔で, それ以降10週間目までは約14日間隔で, 11週以降は4~6週間隔でそれぞれ取り出して無機態窒素量を測定した。

無機態窒素量 ($\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) の測定はプレム

ナー法 (1) により行った。恒温器から取り出したサンプルビンには直ちに, 2N KCl 80mlを加えて30分間振とうし, 乾燥ろ紙でろ過した。ろ液20mlを蒸留フラスコに採取してデバルタ合金と酸化マグネシウムを同時に加え, 直ちに蒸留装置に接続した。蒸留液約50mlを4%ホウ酸液の入った三角フラスコに採取し1/200N硫酸で滴定した。

(3) 無機化特性値の解析

無機化特性値の解析は金野 (6) のパソコン用プログラム“ENMS”で行った。

解析には次式で示される窒素無機化反応モデル (単純型モデル) を使用した。

$$N = N_0 \times [1 - \exp(-k t)] + C$$

N : 無機態窒素量 ($\text{mgN} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 乾土)

N_0 : 可分解性有機態窒素量 ($\text{mgN} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 乾土)

k : 無機化速度定数 (day^{-1})

t : 培養日数 (day)

C : 培養前の無機態窒素量 ($\text{mgN} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 乾土)

求める窒素無機化曲線は、 25°C を基準として 20°C と 30°C の培養結果を重ね合わせる方法を採用した。

2. 推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量との関係

無機化特性値の解析を行った県南部の園地のうち、礫質褐色森林土 (A園)、表層腐植質黒ボク土 (B園)、灰色低地土 (C園)、表層腐植質多湿黒ボク土 (D園) の各1園地及び水田転換園の細粒グライ土 (E, F園) の2園 (以下定期調査園A, B, C, D, E, F園とする) については、1993~1995年の3か年、5月上旬から10月上旬まで定期的に土壌水分張力と無機態窒素量を測定した (14)。

定期調査園について各園の無機化特性値をもとに3か年の4月1日から10月1日までの窒素無機化量を推定した。また、7月1日から9月1日までの窒素無機化量を推定し、各年の時期別無機態窒素量との関係について検討した。無機化量の推定には秋田県果樹試験場の気象観測露場で測定された深さ10cmの日平均地温を使用した。なお、定期調査園は試験場 (D園) を中心として半径4kmの円内に位置している。

III. 結 果

1. 温度別長期間培養結果と窒素無機化特性値

20°C , 25°C , 30°C の3段階での長期間培養にともなう無機態窒素量の増加は、 30°C では2週間後から認められたが、 20°C では3~4週間後から増加し始める土壌が多かった (第1図)。

可分解性有機態窒素量 N_o は、表層腐植質黒ボク土、表層腐植質多湿黒ボク土及び表層多腐植質黒ボク土では乾土

100g当たり9~23mgNで多く、次いで灰色低地土、細粒グライ土の水田転換では6~9mgN、礫質褐色森林土では5mgN程度で少なかった。細粒褐色森林土では14.3mgNで黒ボク土程度のレベルであった (第3表)。

25°C 無機化速度定数 k は、礫質褐色森林土で 0.007day^{-1} で高かったが、それ以外の土壌では $0.002\sim0.006\text{day}^{-1}$ で、土壌分類による違いは明確でなかった (第3表)。

見かけの活性化エネルギー E_a は、表層腐植質多湿黒ボク土と表層多腐植質黒ボク土が $17300\sim19900\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ で、他の土壌に比較して低い傾向があった。それ以外の土壌では $22900\sim30800\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ であった (第3表)。

定期調査園について 20°C , 25°C , 30°C の温度別の無機化過程と、解析によって得られた 25°C 窒素無機化曲線への重ね合わせ図を第1図と第2図に示した。

礫質褐色森林土のA園ではややばらつきが大きい傾向があったが、全体的にはよく適合していると判断された。

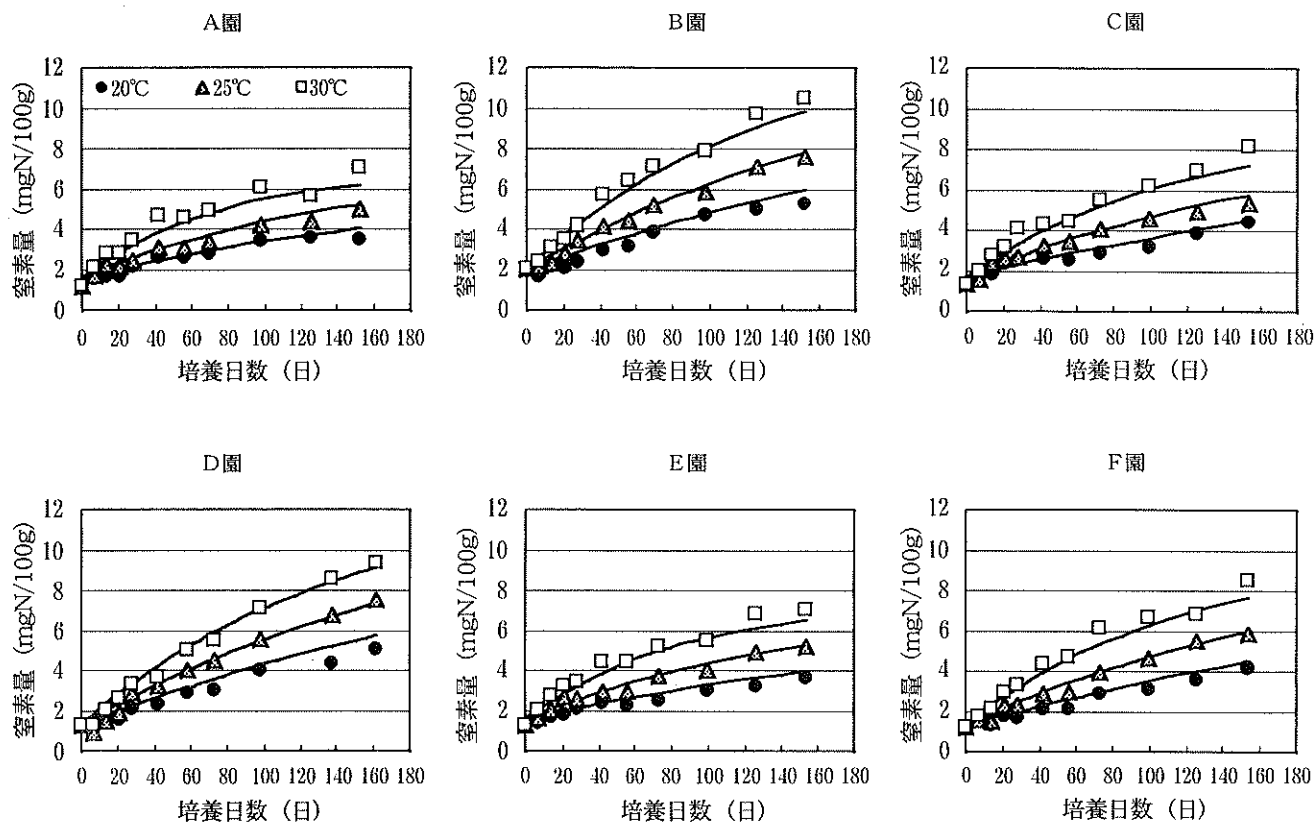
解析を行った全園の 20°C , 25°C , 30°C における窒素無機化曲線を比較すると、黒ボク土とそれ以外の土壌では明らかに無機化様式に差が認められ、培養日数の経過にともなう無機化量の増加傾向は黒ボク土で高かった (第3図)。黒ボク土の間では土壌の違いによる差異は認められなかった。

25°C で100日間培養した場合の無機化量に達する 20°C での培養日数は表層腐植質多湿黒ボク土と表層多腐植質黒ボク土で150~156日、表層腐植質黒ボク土で160~185日、その他非黒ボク土で168~180日であった。同様に 30°C での培養日数は表層腐植質多湿黒ボク土と表層多腐植質黒ボク土で64~68日、表層腐植質黒ボク土で54~61日、その他非黒ボク土で54~60日であった (第3図)。

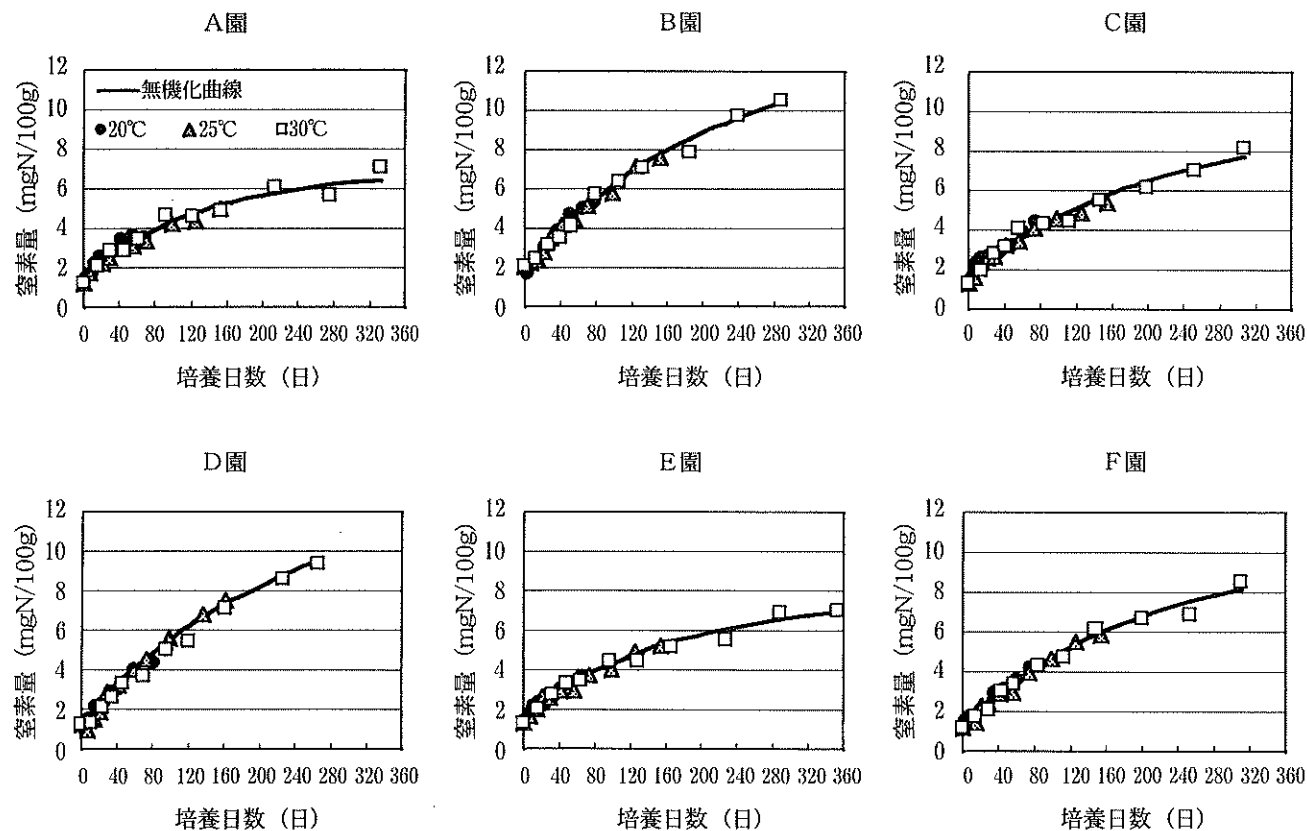
可給態窒素の測定に一般的に用いられる 30°C 28日間の培養での無機化量は、 25°C で100日間培養した場合の無機化量に対し、表層腐植質多湿黒ボク土と表層多腐植質黒ボク土で34~37%、表層腐植質黒ボク土で38~40%、礫質褐色森

第3表 窒素無機化特性値の解析結果

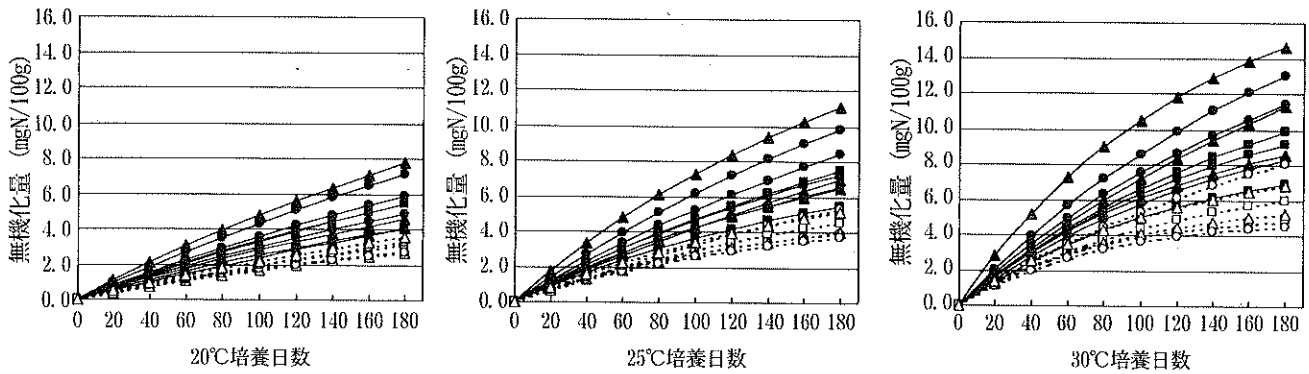
園地No.	(定期調査園)	土 壌 類 型	N_o $\text{mgN}/100\text{g}$	k day^{-1}	c $\text{mgN}/100\text{g}$	E_a $\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$
1	(D園)	表層腐植質多湿黒ボク土	11.9	0.0044	1.3	18000
2		"	19.2	0.0032	1.3	19900
3		"	22.5	0.0032	1.1	17900
4		表層多腐植質黒ボク土	9.2	0.0050	0.9	19900
5		"	16.0	0.0035	0.9	18600
6		"	13.6	0.0042	1.2	17300
7	(A園)	礫質褐色森林土	5.3	0.0074	1.6	28100
8		礫質褐色森林土	5.1	0.0071	1.7	26100
9		細粒褐色森林土	14.3	0.0026	1.3	27900
10	(B園)	表層多腐植質黒ボク土	11.5	0.0046	2.0	22900
11		"	22.2	0.0021	2.4	30800
12		"	19.4	0.0047	2.4	23400
13	(C園)	灰色低地土	7.7	0.0049	1.7	24800
14	(E園)	細粒グライ土	6.0	0.0061	1.6	29700
15	(F園)	"	8.7	0.0050	1.3	25100



第1図 温度3段階での土壌培養による窒素無機化過程



第2図 温度3段階での無機化過程の25℃ 窒素無機化曲線への重ね合わせ結果



第3図 供試土壌の20, 25, 30℃における窒素無機化曲線

●— 表層腐植質多湿黒ボク土 ■— 表層多腐植質黒ボク土
 ▲— 表層腐植質黒ボク土 ○--- 褐色森林土
 △--- 灰色低地土 △--- 細粒グライ土

林土で45%程度、灰色低地土、細粒グライ土で約40~44%であった。

2. 推定窒素無機化量の算出

(1) 標準温度(25℃)変換日数

無機態窒素量と水分張力の定期調査園(A, B, C, D, E, F園)の見かけの活性化エネルギー E_a から、秋田県果樹試験場(平鹿町醍醐)の気象観測露場で測定された深さ10cmの日平均地温(第4図)をもとに、標準温度(25℃)変換日数 $DTS(15)$ を次式によって算出した。

$$DTS = \exp(E_a \times (T - 298) / (R \times 298 \times T))$$

E_a : 見かけの活性化エネルギー($\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$)

T : 深さ10cmの日平均地温(K)

R : 気体定数

3か年の生育期の気象は著しく変動しそれぞれ特徴的な経過を示した。1993年は全般に低温傾向が強く、特に7月、8月はその傾向が著しく、低温、寡照の冷夏であった。1994年は夏期の高温少雨による干ばつ傾向の強い年で、7月、8月は高温で経過した。1995年は6月から8月まで降水量が多く日照不足の傾向が著しく、特に7月、8月の降水量は平年比で149%、248%と多く、日照時間は平年比74%、73%と少なかった。

日平均地温にも各年の気象傾向の特徴がみられ、7月、8月の地温は1993年は20~23℃で経過し、1994年は7月上旬から20℃を上回り、8月は25~29℃で推移して高温干ばつの状況が地温データからもうかがえた。1995年は1993年と1994年の中間で推移する状況で、地温の推移は平年値に近かった。

1993年、1994年、1995年の3か年の変換日数は、4月1日を基準に10月1日までの累積日数で算出した(第5図)。定期調査園の25℃変換日数は、7月1日で1993年が15~29日、1994年及び1995年が20~34日で3か年とも大差はなかったが、8月1日以降は年による差が大きかった。8月1日では1993年30~49日、1994年53~67日、1995年49~63日、9月

1日では1993年49~71日、1994年97~104日、1995年80~95日、10月1日では1993年61~89日、1994年117~126日、1995年94~113日であった。8月1日以降の1993年の低温年と1994年の高温年の間の変換日数には、8月1日では約20日、9月1日では約30~50日、10月1日では35~60日の差があった。

定期調査園の間の変換日数はD園がもっとも多くE園がもっとも少なく、8月1日での差は1993年は19日、1994年は14日、1995年は15日で、9月1日では同様に1993年が22日、1994年が7日及び1995年が15日で低温年ほどその差は大きくなった。

(2) 推定窒素無機化量

定期調査園の4月1日から10月1日までに推定される窒素無機化量(積算量)を、無機化特性値及び3か年の25℃変換日数をもとにして次式により計算した。

$$N = N_0 \times [1 - \exp(-k t)]$$

N : 推定窒素無機化量($\text{kgN}/10\text{a} \cdot 30\text{cm}$)

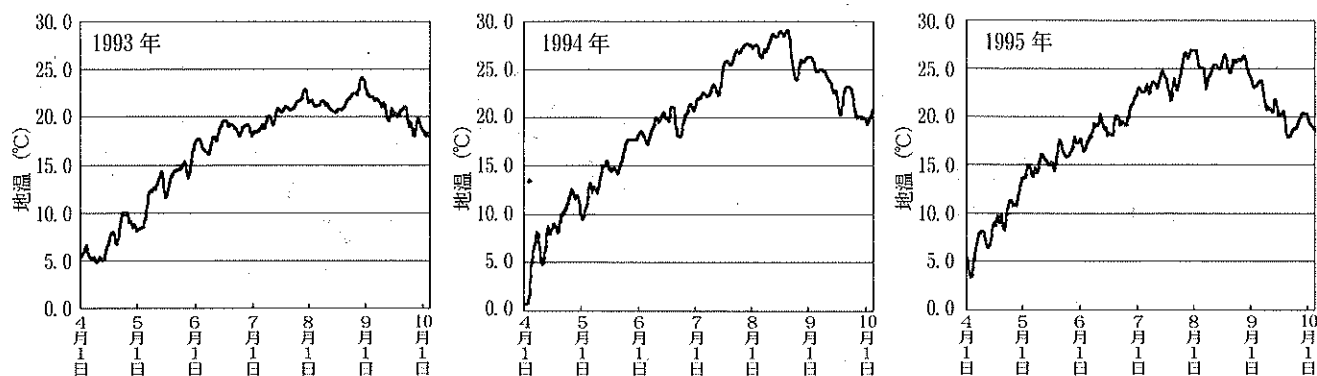
N_0 : 可分解性有機態窒素量($\text{kgN}/10\text{a} \cdot 30\text{cm}$)

k : 無機化速度定数(day^{-1})

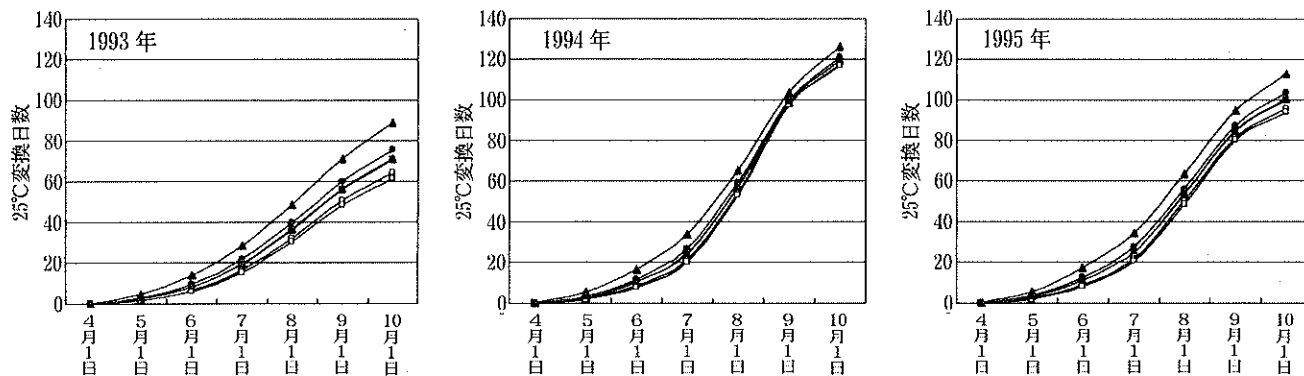
t : 25℃変換日数(day)

定期調査6園の4月1日以降各月1日までの推定窒素無機化量は、10a深さ30cm換算で8月1日までは1993年3.0~6.9kgN、1994年5.0~8.9kgN、1995年4.6~8.7kgN、9月1日までは1993年4.6~9.6kgN、1994年8.1~13.1kgN、1995年6.9~12.1kgN、10月1日までは1993年5.6~11.5kgN、1994年9.2~15.2kgN、1995年7.8~14.0kgNであった(第4表)。

3か年とも推定無機化量は7月上旬から9月上旬にかけて急増する様相を示し、4月1日から10月1日までの無機化量のうち7月1日から9月1日までに1993年は46~54%、1994年は54~66%、1995年は51~62%が無機化したと推定された。4月1日から10月1日までの無機化量のうち9月1日から10月1日までの無機化量は1993年が17%、1994年が11~14%、1995年が12%と推定された。

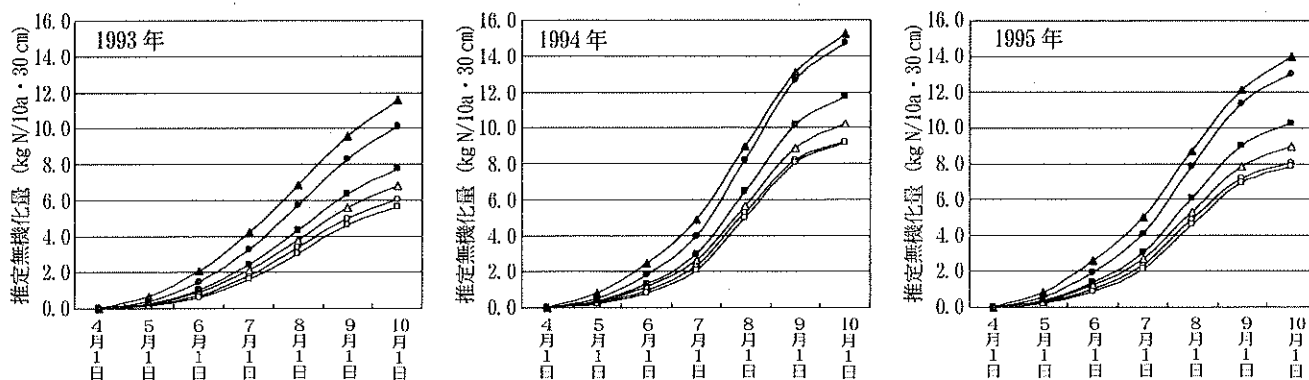


第4図 日平均地温の経過（秋田県果樹試験場（平鹿町醍醐）による観測 深さ10cm）



第5図 25℃ 変換日数の推移

○—A園 ●—B園 ▲—C園 ▲—D園 □—E園 ■—F園



第6図 推定窒素無機化量（積算）

○—A園 ●—B園 ▲—C園 ▲—D園 □—E園 ■—F園

第4表 速度論的解析による推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量

		4月1日からの推定無機化量				無機態窒素量								
		0~30cm 土壌				表層土壌 (0~20cm)			次層土壌 (20~40cm)			表層・次層土壌合計 (0~40cm)		
		(kgN/10a・30cm)				(kgN/10a・20cm)			(kgN/10a・20cm)			(kgN/10a・40cm)		
		~7月1日	~8月1日	~9月1日	~10月1日	7月	8月	9月	7月	8月	9月	7月	8月	9月
1993年	A園	1.8	3.4	5.0	6.0	5.4	5.6	3.7	2.5	1.8	1.5	7.9	7.5	5.1
	B園	3.3	5.7	8.3	10.1	4.0	4.2	2.9	2.6	2.4	1.9	6.6	6.7	4.9
	C園	2.1	3.8	5.6	6.8	3.8	3.6	2.0	1.8	1.5	1.5	5.6	5.1	3.5
	D園	4.2	6.9	9.6	11.5	2.8	4.7	4.3	1.8	2.3	3.8	4.6	7.0	8.1
	E園	1.6	3.0	4.6	5.6	3.1	3.3	3.2	1.6	1.4	1.5	4.7	4.7	4.7
	F園	2.4	4.3	6.4	7.8	1.8	3.0	2.6	1.6	1.2	1.0	3.4	4.2	3.6
1994年	A園	2.3	5.3	8.2	9.2	4.5	4.7	7.3	3.3	3.1	2.7	7.8	7.8	10.0
	B園	4.0	8.2	12.7	14.7	4.1	11.3	12.7	2.9	8.2	8.0	7.0	19.5	20.6
	C園	2.6	5.6	8.9	10.2	5.6	5.1	3.8	3.8	3.6	2.6	9.4	8.7	6.4
	D園	4.9	8.9	13.1	15.2	6.5	10.4	12.4	4.3	3.7	7.1	10.7	14.1	19.5
	E園	2.1	5.0	8.1	9.2	11.8	13.9	6.2	4.0	4.7	3.8	15.8	18.5	10.0
	F園	3.0	6.5	10.2	11.7	8.4	6.0	9.4	3.0	4.4	3.6	11.4	10.4	13.0
1995年	A園	2.4	4.9	7.2	8.0	3.5	1.8	1.9	2.2	1.7	1.5	5.6	3.5	3.5
	B園	4.1	7.8	11.4	13.0	4.0	3.9	3.4	1.8	1.3	2.0	5.7	5.1	5.3
	C園	2.7	5.3	7.8	9.0	3.0	3.2	2.4	1.4	2.7	2.4	4.4	5.9	4.8
	D園	5.0	8.7	12.1	14.0	6.4	3.2	2.7	2.8	2.3	5.4	9.1	5.5	8.0
	E園	2.1	4.6	6.9	7.8	3.1	3.7	4.0	3.1	2.3	1.4	6.2	6.1	5.4
	F園	3.0	6.1	9.0	10.2	3.6	4.0	5.4	3.4	1.4	2.0	7.0	5.4	7.4

第5表 速度論的解析による推定窒素無機化量と9月無機態窒素量との間の相関係数 (r)

		8月無機態窒素量 (kgN/10a)			9月無機態窒素量 (kgN/10a)		
時期別推定窒素無機化量 0~30cm 土壌 (kgN/10a)		表層土壌 (0~20cm)	次層土壌 (20~40cm)	表層・次層土壌合計 (0~40cm)	表層土壌 (0~20cm)	次層土壌 (20~40cm)	表層・次層土壌合計 (0~40cm)
7月1日~8月1日	1993年	0.173	0.786	0.424	0.395	0.758*	0.643
	1994年	0.345	0.639	0.495	0.924**	0.941**	0.955**
	1995年	0.388	-0.404	0.091	0.098	0.615	0.606
	3か年	0.469	0.618	0.550	0.677**	0.783**	0.753**
8月1日~9月1日	1993年				0.348	0.719	0.598
	1994年				0.879*	0.922**	0.920**
	1995年				0.144	0.601	0.628
	3か年				0.759**	0.832**	0.826**
7月1日~9月1日	1993年				0.372	0.739*	0.621
	1994年				0.903*	0.934**	0.939**
	1995年				0.121	0.609	0.618
	3か年				0.722**	0.812**	0.794**

有意性 * : 10%、* : 5%、** : 1%

定期調査園の間の無機化量は黒ボク土のB、D園で多く、褐色森林土のA園、灰色低地土のC園では少ない傾向が示された。グライ土のE園は、A、C園と同程度であったが、F園は6園の中で中間的な無機化量となった(第6図)。

3. 推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量の関係

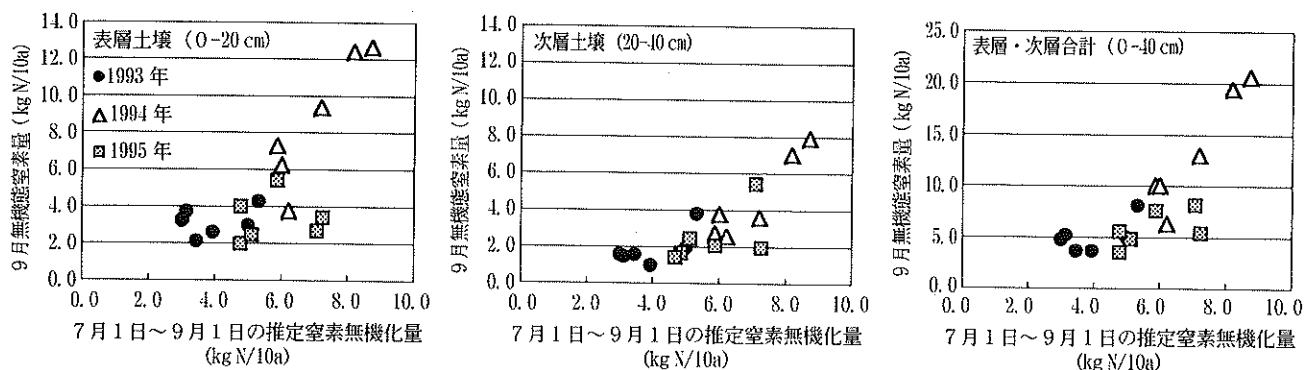
定期調査園の時期別無機態窒素量の変動については既に報告した(14)。無機態窒素量の変動パターンには土壌の異なる園地間で明確な違いは認められなかったものの、高温年の1994年では8、9月の無機態窒素量が有意に高まり、この時期1、2か月前の土壌水分張力との間に正の相関がみられ、この年の高温と土壌乾燥が無機化を促進したもの

と予想された。しかし、この時期の気温が各年の無機態窒素量の変動に及ぼした影響については解析しなかった。

そこで、温度(地温)と各園地の無機化特性の要因を含む推定窒素無機化量とこの時期の無機態窒素量の関係を解析した。

(1) 時期別推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量の関係

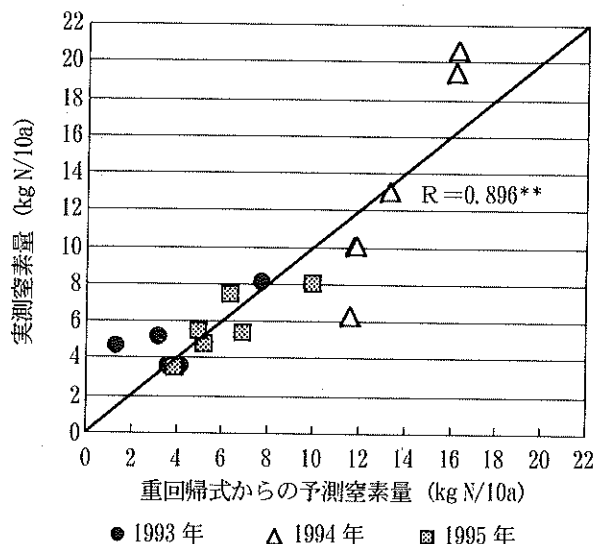
深さ0~30cmの土壌の無機化推定量が無機態窒素量の予測に有効かどうかを検討するため、定期調査園の7月1日以降9月1日までの各期間の推定無機化量と8月、9月の深さ0~20cmの土壌(以下表層土壌)、深さ20~40cmの土壌



第7図 推定無機化量と無機態窒素量の関係

(以下次層土壌)及び表層と次層の合量(以下表層・次層合計)の無機態窒素量との間の単相関分析を調査3か年の単年別, また3か年全体について行った。7月1日以降9月1日までの各期間の推定無機化量は9月の表層土壌, 次層土壌及び表層・次層合計の無機態窒素量との間で正の相関が認められる傾向があった(第5表)。

7月1日から9月1日までの推定無機化量と9月の無機態窒素量の関係を第7図に示した。両者の間の相関係数(r)は, 1993年は表層土壌で0.372, 次層土壌で0.739⁺, 表層・次層合計で0.621, 同様に1994年はそれぞれ0.903⁺, 0.934^{**}, 0.939^{**}, 1995年はそれぞれ0.121, 0.609, 0.618であった。3か年全体を通しては表層土壌で0.722^{**}, 次層土壌で0.812^{**}, 表層・次層合計で0.794^{**}でいずれも有意な正の相関が認められた(有意性 ⁺:10%, ^{*}:5%, ^{**}:1%)。



第8図 9月無機態窒素量(表層・次層合計)の重回帰式からの予測値と実測値の比較

$$Y = 3.5^{**}X_1 + 2.0^{**}X_2 - 10.0$$

Y : 表層・次層合計の9月無機態窒素量 (kg N/10a)

x_1 : 深さ30cmの7月と, 8月の平均土壌水分張力 (pF値)

x_2 : 0~30cm土壌の7月1日~9月1日推定窒素無機化量 (kg N/10a)

(2) 時期別推定窒素無機化量と土壌水分張力による9月の無機態窒素量の予測

土壌窒素の無機化は土壌の乾湿によって変動すること(19)や生成した無機態窒素は降雨によって溶脱や下層土への集積など土壌中で移行するため(10), 土壌水分の状態も無機態窒素量に反映されることが考えられる。そこで3か年の調査結果をもとに7月, 8月の平均土壌水分張力(pF値)と7月1日から9月1日までの推定窒素無機化量を説明変数として表層・次層合計の9月無機態窒素量が説明できるかを重回帰分析により検討した(第8図)。

その結果, 重相関係数 $R = 0.896^{**}$ で1%レベルで有意な相関と認められ, 次の重回帰式が得られた。

$$Y = 3.5^{**}X_1 + 2.0^{**}X_2 - 10.0$$

Y : 表層・次層合計の9月無機態窒素量 (kg N/10a)

X_1 : 深さ30cmの7月, 8月の平均土壌水分張力 (pF値)

X_2 : 0~30cm土壌の7月1日~9月1日の推定窒素無機化量 (kg N/10a)

土壌水分張力の説明変数 X_1 と推定無機化量の説明変数 X_2 の偏重回帰係数とも危険率1%以下のレベルで有意であり3か年の9月の無機態窒素量の説明要因として有効であると判断された。

IV. 考 察

速度論的解析による無機化特性値の一つである可分解性有機態窒素量 N_0 は土壌の種類で差が認められ, 黒ボク土ではそれ以外の土壌に比較して高い傾向があった。斎藤(10)は東北地域の24点の畑土壌について無機化特性値を求めているが, 腐植の集積した黒ボク土は非黒ボク土に比べ N_0 が高いことを報告している。供試した土壌の採取深が異なると思われるため N_0 のレベルを単純に比較はできないが, 今回調査したリンゴ園土壌についても, 黒ボク土の N_0 は褐色森林土, グライ土, 灰色低地土の非黒ボク土に比べ高い傾向が示され, 斎藤の報告と同様の結果になった。見かけの活性化エネルギー E_a は, 表層腐植質多湿黒ボク土と表層多腐植質黒ボク土で17000~20000 cal $\cdot$ mol $^{-1}$ になり,

他の土壌では $23000 \sim 30000 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ で土壌類型との関連性があるように思われた。無機化速度定数 k については礫質褐色森林土で高い傾向はあったが、土壌類型との関連性は判然としなかった。杉原ら(16)は、湿潤土壌の培養から N_0 はきゅう肥等の施肥処理の差が大きく、 Ea と k は施肥処理よりも土壌間差が大きく、 N_0 を含めた土壌固有の性質を反映する傾向があること、きゅう肥の多量施用により N_0 と Ea が変化することを報告している。今回の結果では Ea には土壌の違いがあるように思われたが、 k については判然とせず、化学性や土性など詳細な土壌特性との関連を検討する必要がある。また、今野ら(5)は各種緑肥を施用した畑土壌を単純並行型モデルに基づき検討した結果から、 k は速やかに分解する窒素画分(kq)の場合、緑肥間で変動が大きく、緑肥の C/N 比、リグニン含有率と密接に関係すること、緑肥の施用により Ea が低下する傾向があることを報告している。リンゴ園土壌は一般的には不耕起下の草生栽培が多く、刈り草にともなう緑肥の地表面還元が常時行われており、草生管理が k や Ea に与える影響なども検討する必要があると思われる。

無機化量の推定を行った定期調査園の4月1日から9月1日までの推定窒素無機化量は、可分解性有機態窒素 N_0 に対して7月、8月が低温で推移した1993年が24~32%、高温で推移した1994年が37~51%であり、高温年でも1/2以下であった。 N_0 の多い黒ボク土のB、D園ではその割合が低く、1993年で25%程度、1994年でも37%程度であり、平年的には N_0 に対する年間の無機化量は3割程度と考えられ、黒ボク土では供給可能な土壌窒素の総量はかなり多いものと推定される。

土壌の窒素肥沃度の指標としては、 30°C で28日間培養した場合の無機化量で示す可給態窒素が一般に利用されている。秋田県南部の樹園地における4月上旬から10月上旬までの 25°C 変換日数は平年では100日前後と推定されたので 25°C 変換日数100日の無機化量に対する可給態窒素量(30°C 28日)の割合を算出した結果では、黒ボク土で34~40%、その他の非黒ボク土で40~45%と黒ボク土での割合が低い傾向があった。可給態窒素を指標にした場合、黒ボク土では非黒ボク土より速度論的解析に比べ無機化可能な総量を相対的に低く評価する可能性があると考えられ、今後の検討が必要と思われる。

速度論的解析に供試した土壌は深さ0~30cm土壌であり、無機態窒素量の測定に供試した土壌の採土深と異なるため推定窒素無機化量と安易に関連づけられないと思われるが、7月上旬から9月上旬までの推定窒素無機化量は9月の無機態窒素量との間に正の相関が認められる傾向があった。1994年の高温年では0~20cmの表層土壌、20~40cmの次層土壌及び表層・次層合計の9月無機態窒素量との間に有意な正の相関が認められ、特に次層土壌の9月無機態窒素量との間には3か年とも $r=0.6$ 以上の正の相関が認められた。各園地の窒素無機化パターンから、3か年の無機化は7月

上旬以降9月上旬にかけて急増する傾向があり(第6図)、この時期に無機化された窒素は9月頃の無機態窒素量に反映したものと思われる。また、7月上旬から9月上旬までの推定窒素無機化量は次層土壌の無機態窒素量と比較的相関が高いことから、9月上旬までに表層で無機化された窒素は7~8月の降雨によって下層へ移行し集積していたことが考えられ、この時期の降雨にともなう土壌水分の動態も無機態窒素量の多少に影響したものと思われる。

定期調査園の施肥は年間窒素施肥量が6~12kgN/10aの範囲で、E園を除いてすべて4月中の春肥だけの体系であり、またE園においても9月の秋肥の施肥量は2kgN/10aと僅かであった(14)。春に施用された施肥窒素は7月頃までには下草や樹体の吸収によって減少するものと思われる。また、秋田県における平年の梅雨入りは6月中旬であり梅雨時期の降雨によって深さ0~40cmの土層範囲からは消失することも予想される。このため春肥は8、9月の無機態窒素量には大きく影響はしないと考えられ、秋期の無機態窒素量は主に7、8月の土壌窒素の無機化によって生じるものと推察される。

秋期のリンゴ樹の窒素吸収は主に貯蔵養分として樹体に蓄積されるが(8)(9)(17)、9月以降の土壌の無機態窒素の多少はその充実に影響すると思われる。このことは秋肥施用の根拠にもなるが、秋期の無機態窒素量の適正域については数量的な検討例が少なく未解明なところが多い。今後、この点の検討も行う必要はあるものの今回の調査から、黒ボク土などでは7月から9月にかけての土壌窒素の無機化量が褐色森林土などに比べて多くなると推定され、9月中の無機態窒素量は多くなる傾向がある。特に夏期が高温、乾燥で推移した年はその量が顕著に高まると予想される。

樹園地での土壌窒素の無機化に関する反応速度論的解析の事例(20)は少なく、その利用方法について今後多くの検討が必要と思われるが、一般的あるいは平均的な施肥・土壌管理を実施しているリンゴ園については、速度論的解析による方法を、土壌特性に適した窒素施肥体系の組み立てや、気象変動に応じた秋肥施用の目安として利用できるものと思われる。

V. 摘 要

県内のリンゴ園土壌の窒素無機化特性値を解析するとともに、1993年から1995年の地温をもとに推定した無機化量と時期別無機態窒素含量の関係を検討した。

1. 窒素無機化特性値

可分解性有機態窒素量 N_0 は、黒ボク土では乾土100g当たり9~23mgNで多く、灰色低地土、グライ土では6~9mgN、礫質褐色森林土では5mgN程度で少なかった。 25°C 無機化速度定数 k は、礫質褐色森林土で 0.007 day^{-1} で高

かったが、それ以外の土壌では $0.002 \sim 0.006 \text{ day}^{-1}$ で土壌分類による違いは明確でなかった。見かけの活性化エネルギー E_a は、表層腐植質多湿黒ボク土と表層多腐植質黒ボク土で $17300 \sim 19900 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ で他の土壌に比較して低い傾向があった。それ以外の土壌では $22900 \sim 30800 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ であった。

2. 推定窒素無機化量

県南6園の4月1日から10月1日までの推定窒素無機化量は、10a深さ30cm換算で1993年5.6~11.5kgN, 1994年9.2~15.2kgN, 1995年7.8~14.0kgNで、7月上旬から急激に増加する様相を示した。4月1日から10月1日までの推定量のうち7月1日から9月1日までに50~60%が、9月1日から10月1日までに12~17%が無機化すると推定された。黒ボク土で無機化量が多く、褐色森林土、灰色低地土では少ない傾向が示された。

3. 時期別推定窒素無機化量と時期別無機態窒素量の関係

7月1日から9月1日までの各期間の推定窒素無機化量と9月の無機態窒素量との間には正の相関が認められる傾向があった。

7月と8月の平均土壌水分張力(pF値)と7月1日から9月1日までの推定窒素無機化量を説明変数として3か年の9月の表層・次層合計無機態窒素量の説明が可能か重回帰分析により検討した結果、次の重回帰式により二つの要因とも有効であると判断された。

$$Y = 3.5^{**}X_1 + 2.0^{**}X_2 - 10.0 \quad R = 0.896^{**}$$

Y: 9月の表層・次層合計の9月無機態窒素量(kgN/10a)

X_1 : 深さ30cmの7月, 8月の平均土壌水分張力(pF値)

X_2 : 0~30cm土壌の7月1日~9月1日の推定窒素無機化量(kgN/10a)

VI. 引用文献

1. 深山政治・井田明・草野秀・徳永美治・森哲郎・赤塚恵 1987 土壌養分分析法 無機態窒素 p197-200 土壌養分測定法委員会編 養賢堂 東京
2. 北村秀教・今泉諒俊 1991 土壌窒素発現量簡易予測法を用いた水稻施肥窒素の診断 土肥誌 62: 439-444
3. 北田敬宇 1990 灰色低地土とグライ土水田についての速度論的解析法による土壌窒素の無機化予測 土肥誌 61: 241-247
4. 北田敬宇・宮川修・塩口直樹 1991 水稻の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化予測によるシステム施肥法 土肥誌 62: 585-592
5. 今野一男・金野隆光・菊地晃二 1996 各種緑肥を施用した畑土壌の窒素無機化特性値 土肥誌 67: 422-424
6. 金野隆光 1987 土壌窒素無機化の特性評価と窒素供給プログラム (ENMS), 関東東海地域農業関係試験研究機関開発ソフトウェア一覧 1987年版 IV p2-3 農業研究センター編
7. 三浦周 1997 システム動態モデルによる水稻の窒素施肥診断の試み 土肥誌 68: 583-588
8. 森英男・横溝久・巢山太郎・熊谷征文 1963 リンゴのN栄養に関する研究 第5報 砂耕法によるリンゴ樹に対するN供給時期の影響 園芸試 試験場報告 C 1: 47-61
9. 望月武雄・鎌倉二郎 1968 リンゴ樹の窒素栄養に関する研究 I. 15N標識肥料を使用した予備試験 弘前大農報 14: 27-32
10. 齋藤雅典 1990 東北地方における畑土壌の窒素無機化特性値 各種可給態窒素指標との関係について 土肥誌 61: 265-272
11. 齋藤雅典 1990 畑土壌の窒素供給力の速度論的解析と評価法に関する研究 土肥誌 61: 237-238
12. 酒井憲一・山本富三 1999 家畜ふん堆肥の窒素無機化予測および被覆肥料の利用による水稻施肥量の削減と環境付加低減 土肥誌 70: 185-189
13. 佐藤雄夫 1982 リンゴ園の土壌管理と施肥技術 p257-289 千葉勉編著 果樹園の土壌管理と施肥技術 博友社 東京
14. 佐藤善政・船山瑞樹 1999 リンゴ園土壌における生育期の水分張力と無機態窒素の変動 秋田県果樹試験場報告 26: 26-34
15. 杉原進 1990 土壌窒素の無機化予測と温度 p35-61 日本土壌肥料学会編 水田土壌の窒素無機化と施肥 博友社 東京
16. 杉原進・金野隆光・石井和夫 1986 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法 農業環境技術研究所報告 1: 127-166
17. Takeo MOCHIZUKI and Jiro KAMAKURA 1971 NITROGEN NUTRITION OF APPLE TREES II. The relationships between the time of nitrogen application and its distribution among the parts of fruit bearing trees Bull. Fac. Agric. Hirosaki Univ No.17: 102-109
18. 鳥山和伸 1996 多様な水稻栽培方式における水田土壌肥料研究の現状と方向 1. 水田土壌における養分動態研究の進歩 その1 窒素 土肥誌 67: 198-205
19. 上野政夫・佐藤之信・熊谷勝巳・大竹俊博 1990 速度論的解析法による土壌窒素発現予測システム 土肥誌 61: 237-281
20. 梅宮善章 1987 最近の測定法とブドウ圃場の窒素無機化量 昭和62年度果樹課題別研究会資料 果樹園における土壌窒素発現の実態と施肥法の問題点 p1-6 農林水産省果樹試験場編集

Studies on Soils Nitrogen Mineralized Characteristics in Apple Orchards by Kinetic Analysis

1. The Analysis of Nitrogen Mineralization Parameters and The Estimation of Mineralized Nitrogen Amounts

Yoshimasa Sato · Mizuki Funayama

Summary

Soil nitrogen mineralization parameters of some apple orchards in Akita prefecture were determined by kinetic analysis. Also the relationship between the estimated amounts of nitrogen mineralized and seasonal inorganic nitrogen contents were examined during 1993-95.

1. Nitrogen mineralization parameters

N-mineralization potential (N_0) were 9-23mgN per 100g dried soil in Andosols and Wet Andosols, 6-9mgN in Gray Lowland soil and Gley soils, and 5mgN in Gravel Brown Forest soils. The potential of Andosols and Wet Andosols were higher than other soils.

25°C mineralization rate constant (k) of Gravel Brown Forest soils was 0.007day^{-1} , larger in comparison of other soils ($0.002-0.006\text{day}^{-1}$), but the differences from soil types were not clear.

Apparent activation energy (E_a) were $17300-19900\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ in Humic wet Andosol and High-humic Andosol, lower than other soils ($22900-30800\text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$).

2. Estimated amounts of nitrogen mineralized

Estimated amounts of nitrogen mineralized from April 1st. until October 1st. in six southern regional orchards were 5.6-11.5kgN per 10a $\cdot$ 30cm depth in 1993, 9.2-15.2kgN in 1994, and 7.8-14.0kgN in 1995.

The mineralization seemed to accelerate from July earlier, the amounts mineralized from July 1st. until September 1st. was 50-60% of total amounts (until October 1st.), and from September 1st. until October 1st. was 12-17%.

Estimated amounts of nitrogen mineralized tended to be larger in Andosols and Wet Andosols than in Brown Forest soils and Gray Lowland soils.

3. The relationship between estimations of seasonal amounts of nitrogen mineralized and seasonal inorganic nitrogen contents

Estimations of seasonal amounts of nitrogen mineralized from July 1st. to September 1st. tended to show the positive correlations with inorganic nitrogen contents in September.

The capability in estimation of inorganic nitrogen contents in September was examined by the double regression analysis of estimated amount of nitrogen mineralized from July 1st. until September 1st. and the average of soil moisture tensions (pF value) in July and August. The result was as follows, and two parameters were efficient.

$$Y = 3.5 \cdot X_1 + 2.0 \cdot X_2 - 10.0 \quad R = 0.896^{**}$$

Y : inorganic nitrogen contents in September (kgN/10a)

X_1 : average of soil moisture tension of 30cm depth in July and August (pF value)

X_2 : estimated amounts of nitrogen mineralized of 0-30cm soil from July 1st. until September 1st. (kgN/10a)

略 号

秋果試研報第28号
Bull. Akita Fruit-Tree
Expt., Sta., No.28
ISSN 0385-3152

秋田県果樹試験場研究報告 第28号

平成13年11月30日印刷 発行

秋 田 県 平 鹿 町 醍 醐
発行所 秋 田 県 果 樹 試 験 場
電 話 0182 (25) 4224
郵便番号 013-0102
印刷所 (有) イ ズ ミ ヤ 印 刷
秋田県平鹿郡十文字町梨木2
電 話 0182 (42) 2130
