

第 5 章 土壌窒素診断に基づくテンサイの最適窒素施肥量

テンサイの収量・品質は窒素吸収量の多少に大きく左右される。すなわち、窒素不足の場合は根重が低下し、一方、窒素過剰の場合は糖分が低下し、かつ有害性非糖分の増加により、いずれの場合も糖量または修正糖量は減少する。また、テンサイは窒素の施肥標準量が多く⁸²⁾、さらに各種有機物がテンサイに対して重点的に投入されるため、有機物中の窒素も含めて過剰施肥による周辺環境への硝酸汚染が懸念される。したがって、コストの低減を図りつつ収量（糖量または修正糖量）を確保し、同時に環境負荷の軽減を進める観点から、土壌診断に基づく適正な窒素施肥量の設定はきわめて重要な課題とされている。

一方、最適窒素施肥量は、最適窒素吸収量、施肥窒素利用率および土壌由来の窒素吸収量である無窒素区の窒素吸収量がわかれば以下の式で求めることができる^{123, 238)}。

$$\text{最適窒素施肥量} = (\text{最適窒素吸収量} - \text{無窒素区の窒素吸収量}) / \text{施肥窒素利用率}$$

そこで本章では、①網走管内の斜網地区において、テンサイの最適窒素吸収量および施肥窒素利用率の実態とその変動要因を検討し、その基準値を策定する。②無窒素区窒素吸収量の予測は、前章で検討した各種評価法による土壌窒素量とテンサイの無窒素区窒素吸収量との回帰式を用いることとし、これと最適窒素吸収量、施肥窒素利用率の基準値を用いて、最適窒素施肥量の予測式を作成する。③予測式から導出した値と実測値とが適合するか否か検討し、テンサイに対する土壌窒素診断の可能性を考察する。

第 1 節 テンサイの最適窒素吸収量および施肥窒素利用率

1. はじめに

土壌窒素評価に基づき適正な窒素施肥量を設定するためには、最適窒素吸収量、施肥窒素利用率を的確に把握することが必要である。そこで、本節では土壌タイプや有機物管理などが相違する各種土壌において窒素用量試験を実施し、最適窒素吸収量と施肥窒素利用率の実態を調査すると同時にその変動要因を検討し、最適窒素施肥量を導出するのに必要な基準値を策定した。

2. 試験方法

1) 試験地とテンサイの栽培法

斜網地区の火山性土38地点、沖積土8地点において、1986～1988年の3ヶ年にわたり窒素用量試験を実施した。なお、これらの地点は第4章第1節の圃場試験と重複する。

テンサイ品種は「ハイラーベ」を供試し、5月上旬に紙筒苗を移植、10月中～下旬に収穫した。栽植密度は60×24cm (69444株ha⁻¹) とした。

施肥法は全量基肥、作条施用とし、窒素施肥量 (kg ha⁻¹) は0, 50, 100, 150, 200, 250の6水準を設定した。肥料はチリ硝石Nと硫酸Nを1:4に配合した。共通肥料として、P₂O₅ (過石1/2+ようりん1/2) : 250, K₂O (硫酸): 160, F T E : 40 (いずれもkg ha⁻¹) を施用した。試験規模は1区18～24m²、3反復、乱塊法で実施した。

2) 調査方法

収量調査は1区40株抜き取り、根重、茎葉重、根中糖分、有害性非糖分 (アミノ態N、K、Na) を測定した。修正糖分はReinefeldの式から算出し、作物体の窒素分析はケルダール法 (カンニング変法) で測定した。

最適窒素吸収量は、収穫期の窒素吸収量と糖量または修正糖量との二次回帰式を用いて、最大糖量または最大修正糖量が得られるときの窒素吸収量とした。

施肥窒素利用率は、窒素施肥量と窒素吸収量との一次回帰式を用いて、直線の傾きから求めた。

3. 結果および考察

1) 最適窒素吸収量

収穫時の窒素吸収量と糖量または修正糖量との回帰式は、高橋ら²³⁸⁾ が報告しているように、以下の二次式が適合した。

$$Y = a (\sin 2 X)^2 + b (\sin 2 X) + c$$

Y: 糖量または修正糖量 X: 収穫時の窒素吸収量

この式から得られた最適窒素吸収量をみると (表5-1)、最大糖量が得られるときの窒素吸収量は200～330kg ha⁻¹ の範囲にあり、平均値は243kg ha⁻¹ であった。

表5-1 テンサイの最適窒素吸収量

年 次	最適窒素吸収量(kg ha ⁻¹)					
	最大糖量			最大修正糖量		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均
1986(n=9)	200	240	221 ± 16	190	231	210 ± 16
1987(n=9)	210	290	247 ± 24	215	283	251 ± 19
1988(n=18)	210	330	249 ± 26	197	321	238 ± 27
全体(n=46)	200	330	243 ± 26	190	321	234 ± 25

また、最大修正糖量が得られるときの窒素吸収量は190～320 kg ha⁻¹の範囲にあり、平均値は234 kg ha⁻¹であった。最適窒素吸収量の最大値、最小値の差は130 kg ha⁻¹もあり、変動が大きかった。最大糖量が得られるときの最適窒素吸収量については、国外や道内において多くの調査が行われ、英国ではArmstrongら¹⁴⁾とPocockら¹⁸⁴⁾が200～220kg ha⁻¹、ドイツではFreyerabend⁵¹⁾が平均225kg ha⁻¹、オランダではNeeteson・Smilde¹⁶¹⁾が220kg ha⁻¹、道内では早坂・井村⁷⁰⁾が190～240kg ha⁻¹、西宗ら¹⁷⁰⁾は170～220kg ha⁻¹と報告している。これらの値は、増田¹⁴⁷⁾が指摘するように200～220kg ha⁻¹とほぼ一定であり、気象や土壌、品種や栽培法および収量レベルが異なるにもかかわらず大きな変動は認められていない。一方、本試験で得られた最適窒素吸収量の平均値は243kg ha⁻¹であり、既往の報告と比較すると高い傾向を示している。このような差異が生じた要因の一つとして、本試験では窒素吸収量の中にNO₃-Nを含めているためと考えられる。

一方、最適窒素吸収量の変動要因を調査した結果、最適窒素吸収量は土壌の窒素肥沃度と密接な関係にあることを認めた。すなわち、最適窒素吸収量は無窒素区の窒素吸収量が多くなるにしたがって増加し、両者の間には以下の回帰式が得られた。(図5-1)

$$Y_1 = 0.407X + 184 \quad (R^2 = 0.51)$$

$$Y_2 = 0.435X + 172 \quad (R^2 = 0.62)$$

Y₁: 最大糖量が得られるときの窒素吸収量

Y₂: 最大修正糖量が得られるときの窒素吸収量

X: 無窒素区の窒素吸収量

これらの回帰式を用いて、土壌の窒素肥沃度別の最適窒素吸収量を表5-2に示した。これを見ると、窒素肥沃度が低レベル(無窒素区の窒素吸収量が50～100kg ha⁻¹)の場合において既往の報告とほぼ一致した値を示している。一方、斜網地区の土壌は各種有機物の施用などにより窒素肥沃度が高く、無窒素区の窒素吸収量は平均で150kg ha⁻¹程度であるため、最大糖量が得られるときの窒素吸収量は245kg ha⁻¹、最大修正糖量が得られるときの窒素吸収量は235kg ha⁻¹程度が妥当な値と判断さ

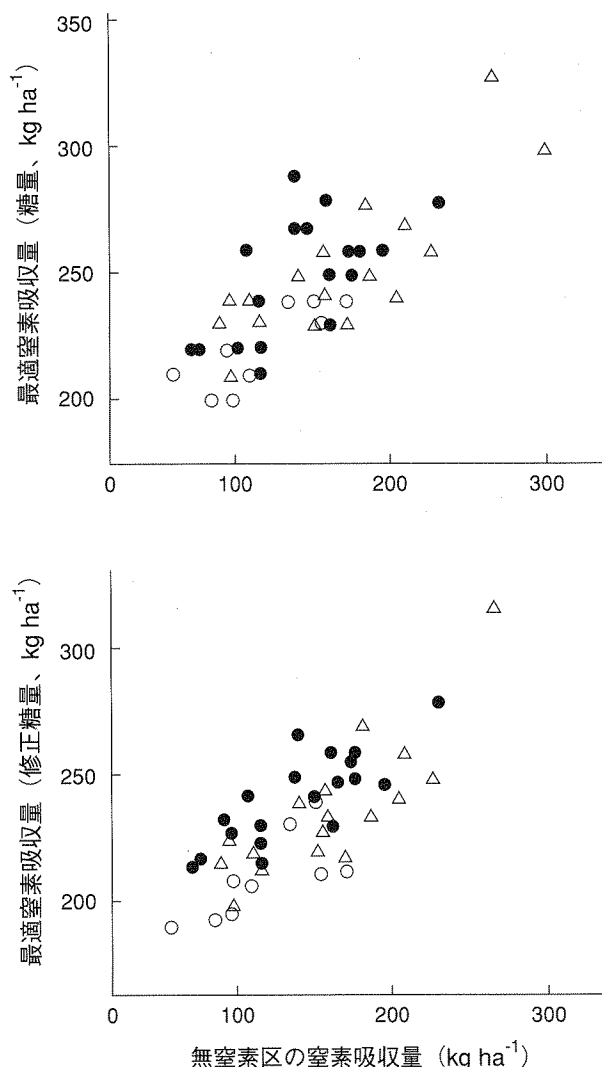


図5-1 無窒素区の窒素吸収量と最適窒素吸収量との関係
○, 1986年; ●, 1987年; △, 1988年

表5-2 土壌の窒素肥沃度別のテンサイの最適窒素吸収量

土壌の窒素肥沃度	無窒素区の窒素吸収量(kg ha ⁻¹)	最適窒素吸収量(kg ha ⁻¹)	
		最大糖量	最大修正糖量
低	50～100	204～227(215)	194～215(205)
中	100～150	227～245(235)	215～237(225)
高	150～200	245～265(255)	237～259(245)

() は代表値

れる。

ちなみに、窒素肥沃度が高い土壌で最適窒素吸収量が多くなる要因については、①無窒素区の窒素吸収量が 200kg ha^{-1} を超えるような窒素肥沃度の著しく高い土壌でもスターターとして窒素の作条施肥は必要であること、②土壌窒素の吸収は生育後期まで続くので、窒素の糖生産効率が低下しやすくなり、同じ収量を得るのにより多くの窒素吸収量を必要とすること、③窒素肥沃度が中～高レベルの土壌は低レベルの土壌と比較して最大収量が高い傾向にあること（表5-3）、などが指摘される。

2) 施肥窒素利用率

窒素施肥量と収穫時の窒素吸収量との間の相関係数は $0.97\sim 0.99$ の範囲にあり、すべての地点が一次回帰式で示すことができた。そこで、施肥窒素の利用効率を直線回帰式の傾きから求め、その結果を表5-4に示した。これをみると、窒素利用率は $53\sim 104\%$ の範囲にあり、全地点の平均値は 78% であった。窒素利用率の測定法としては、重窒素標識法、差引き法、回帰式法が用いられているが、Terman・Brown²⁴³⁾は窒素レベルを多く設定した条件での回帰式法が最も信頼度の高い測定法としている。これまで道内で調査した事例をみると大部分が差引き法によるものであり、五十嵐・中村⁹⁰⁾は $68\sim 75\%$ 、井村・早坂⁹¹⁾は $63\sim 93\%$ 、西宗ら¹⁶⁸⁾は $71\sim 87\%$ と報告している。回帰式法で求めた本試験の結果はこれらの値ともおおむね一致するものである。いずれにせよ、本試験におけるテンサイの窒素利用率は、各種畑作物についてのYamaguchi²⁶⁵⁾の報告や野菜類についてのGreenwoodら⁵⁸⁾の報告と比較すると著しく高いものである。その要因としては、紙筒移植と作条施肥が初期の窒素吸収を高め、硝酸流出を最小限にしているためと思われる。

窒素利用率は、年次間、土壌間において比較的大きな差違を認めた。年次間の比較では1987年が高く、1988年が低い傾向を示した。このことは、表5-5に示すように、移植後の降水量が1987年で著しく少なく、1988年で比較的多かったことを反映したものと思われる。1988年の5月中旬～6月中旬の降水量は平年値を上まわるものではなかったが、移植後における最大日降水量が大きかったことが一部窒素の流出をもたらしたものと推察される。したがって、多雨年には更なる窒素利用率の低下が推測される。

一方、土壌間における窒素利用率の変動をみると、比較的降水量の多かった1988年において土壌の窒素肥沃度とは有意な関係が認められた（表5-6）。すなわち、無窒素区の窒素吸収量が多い土壌ほど窒素利用率は低下し、 200kg ha^{-1} を超えるような窒素肥沃度の著しく高い

表5-3 土壌の窒素肥沃度別の最大糖量

年 次	無窒素区の窒素吸収量(kg ha^{-1})		
	100以下	100～150	150以上
1986	8.4	9.6	9.8
1987	10.7	11.0	10.4
1988	9.8	11.6	11.4
平均	9.6	10.7	10.5

注) 糖量は Mg ha^{-1} 、各地点の平均値。

表5-4 施肥窒素の利用効率

年 次	窒素利用率 (%)			
	最小	最大	平 均	
1986(n=9)	71.4	85.3	78.8 ± 4.7	
1987(n=19)	64.9	103.8	86.3 ± 10.5	
1988(n=18)	52.8	83.6	69.4 ± 9.1	
全体(n=46)	52.8	103.8	78.2 ± 8.5	

表5-5 テンサイ移植後の降水量

年 次	時 期	降 水 量(mm)	
		網 走	斜 里
1986	5月中旬	20(11)	21(13)
	下旬	35(13)	41(17)
	6月上旬	7(4)	6(3)
	中旬	11(9)	16(16)
	合 計	73	84
1987	5月中旬	4(4)	9(9)
	下旬	6(3)	8(7)
	6月上旬	21(8)	19(6)
	中旬	14(5)	21(7)
	合 計	45	57
1988	5月中旬	34(27)	43(30)
	下旬	1(1)	2(1)
	6月上旬	23(12)	30(16)
	中旬	14(5)	19(18)
	合 計	72	94

() は日降水量の最大値

表5-6 無窒素区の窒素吸収量と施肥窒素利用率との関係

年 次	相関係数
1986	-0.53
1987	-0.22
1988	-0.81***
全体	-0.52***

***: 0.1%水準で有意

土壌では、窒素利用率は70%以下の低レベルを示した(図5-2)。また、窒素肥沃度の増加に伴う窒素利用率の低下は黒ボク土よりも沖積土の場合に大きい傾向であった。ただし、1987年のような少雨年では、このような土壌の窒素肥沃度の影響は判然とせず、別な要因が関与しているものと推察された。Olson¹⁸⁰⁾は、窒素肥沃度の著しく高い土壌において灌漑トウモロコシの窒素利用率が¹⁵N標識法、差引き法とも35~50%と低いことを報告しているが、これは本試験の結果とも符合する。

以上のことから、斜網地区における施肥窒素の利用率は、窒素肥沃度の著しく高い土壌を除くと大部分が70%以上となり、また、移植後の降水量が著しく少ない場合を除くとおおむね85%以下とみなされた。したがって、窒素利用率の標準値は、その中間値であり、かつ全調査地点の平均値でもある78%程度が妥当と判断される。

4. まとめ

斜網地区の火山性土38地点、沖積土8地点においてテンサイに対する窒素用量試験を実施し、収穫期の窒素吸収量と糖量または修正糖量との二次回帰式から最適窒素吸収量を求めた。その結果、最大糖量または最大修正糖量が得られる最適窒素吸収量は土壌の窒素肥沃度と密接な関係が認められ、無窒素区の窒素吸収量が多くなるにしたがって増加した。斜網地区の平均的な窒素肥沃度条件では、最大糖量が得られるときの窒素吸収量は245kg ha⁻¹、最大修正糖量が得られるときの窒素吸収量は235kg ha⁻¹程度であった。

一方、施肥窒素利用率は窒素施肥量と窒素吸収量との一次回帰式を用いて、直線の傾きから求めた。その結果、窒素利用率は53~104%の範囲であり、年次間、土壌間の変動が大きかった。年次間では移植後の降水量が少ない年次で高く、土壌間では窒素肥沃度の高い土壌で低い傾向を示した。降水量が平年並みで、窒素肥沃度が極端に高い土壌を除くと、窒素利用率は70~85%の範囲にあり、平均値は78%程度であった。

第2節 土壌診断による施肥窒素量の予測

1. はじめに

土壌診断に基づいて窒素施肥量を設定する観点から、各種の土壌窒素評価法を用いて無窒素区窒素吸収量の推定式を求め、これと前節で得られた最適窒素吸収量および施肥窒素利用率の基準値を適用して最適窒素施肥量を導出するための予測式を策定した。同時に、これらの予測式が窒素用量試験で得られた実測値と適合するか否か

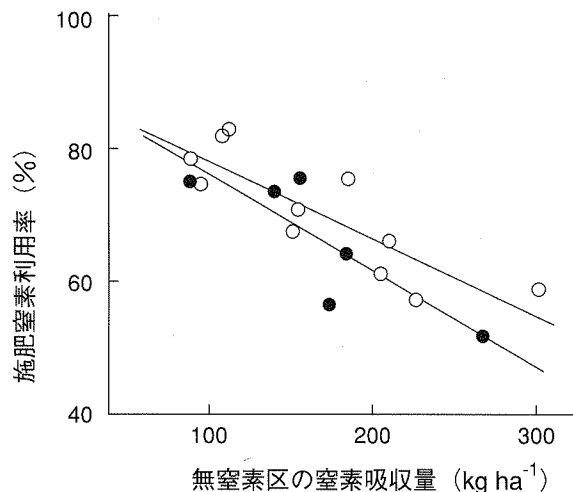


図5-2 無窒素区の窒素吸収量と施肥窒素利用率との関係
○,火山性土; ●,沖積土

を検討し、テンサイに対する土壌窒素診断導入の可能性について考察した。

2. 試験方法

1) テンサイの無窒素栽培と土壌窒素の評価法

テンサイの無窒素栽培は、第4章第1節に示すように、1986~1988年の3ヶ年で火山性土85地点、沖積土17地点、合計102地点で実施した。土壌は、当年春に0~25cm、25~50cm、50~75cmの3層から採取し、無機態窒素、熱水抽出窒素、熱水抽出無機態窒素、培養窒素を測定した。

2) テンサイの最適窒素施肥量

(1) 各種土壌窒素評価法に基づく予測式の策定

無窒素区窒素吸収量の推定は各種評価法による土壌窒素量と無窒素区窒素吸収量との一次回帰式を用い、最適窒素吸収量は245kg ha⁻¹、施肥窒素利用率は78%として最適窒素施肥量の予測式を策定した。

(2) 実測値

前節と同じく火山性土38地点、沖積土8地点において窒素用量試験を実施し、窒素施肥量と糖量と間の2次回帰式を用いて、最大糖量が得られるときの窒素施肥量を求め、これを最適窒素施肥量の実測値とした。

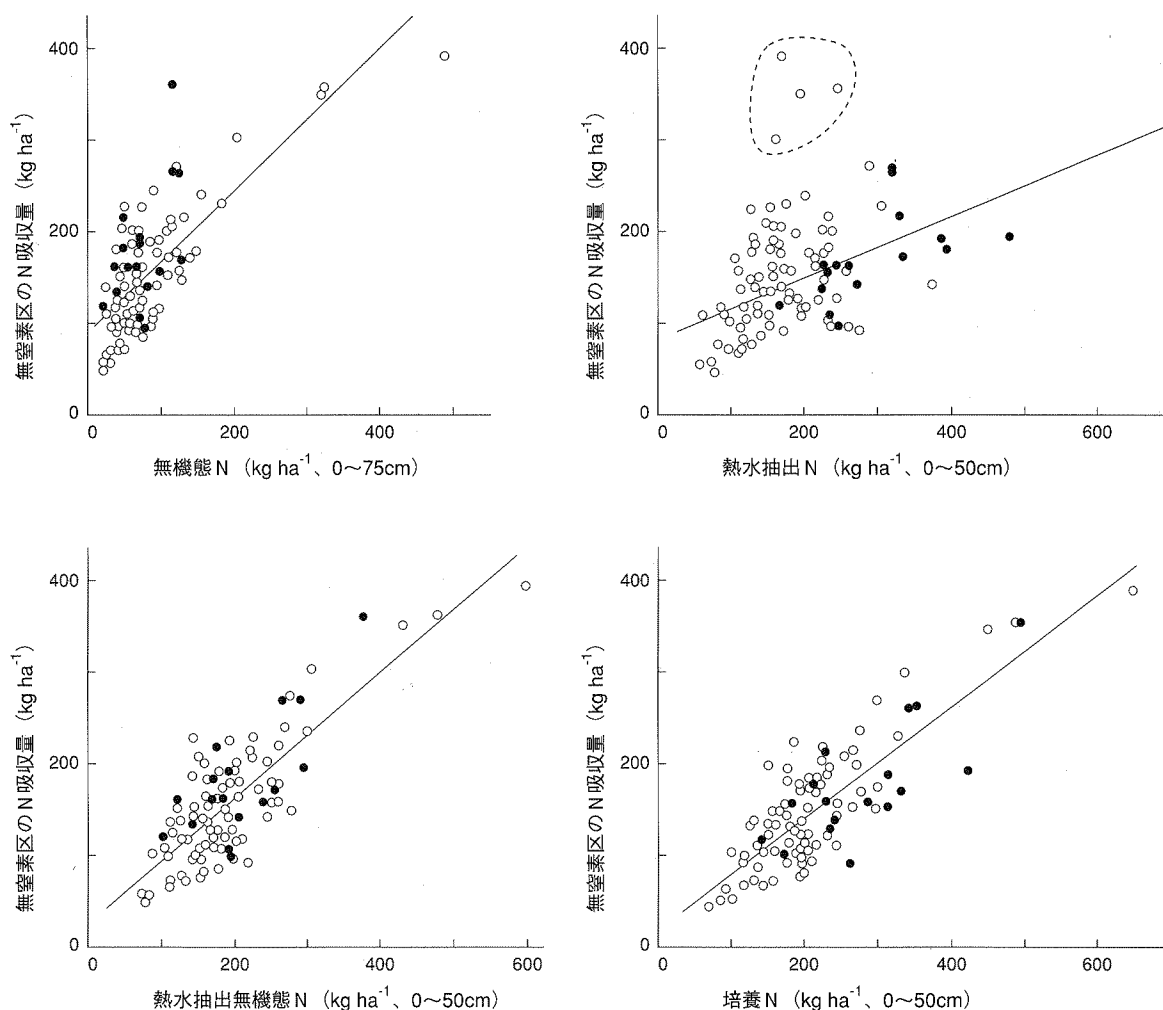


図5-3 各種評価法による土壌窒素量と無窒素区テンサイの窒素吸収量との関係
○,火山性土; ●,沖積土

表5-7 各種土壌窒素評価法による無窒素区窒素吸収量の推定

N評価法	土層(cm)	予測式(回帰式)	寄与率(R ²)
無機態N	0~50	$Y=1.20X+86.9$	0.49
	0~75	$Y=0.76X+92.5$	0.56
熱水抽出N	0~25	$Y=0.58X+70.7$	0.28
	0~50	$Y=0.33X+82.8$	0.33
熱水抽出無機態N	0~50	$Y=0.97X+6.9$	0.60
	0~75	$Y=0.67X+27.5$	0.65
培養N	0~50	$Y=0.72X+16.8$	0.55
	0~75	$Y=0.60X+25.0$	0.65

Y: 無窒素区の窒素吸収量(kg ha⁻¹), X: 土壌窒素量(kg ha⁻¹)

地点数は102、熱水抽出Nの場合は無機態Nの多い地点を除く98点

3. 結果および考察

1) 土壌窒素の各種評価法による無窒素区窒素吸収量の推定

各種評価法による土壌窒素量と無窒素区窒素吸収量との関係を図5-3に、また、これらの回帰式を用いた無窒素区窒素吸収量の推定式を表5-7に示した。両者の

関係は、第4章で述べたように、無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方を評価する培養窒素、熱水抽出無機態窒素が最も高い相関を示し、次いで無機態窒素が高い相関を示した。一方、熱水抽出窒素の相関係数は0.46と最も低かったが、無機態窒素の著しく多い地点を除くと0.58に高まった。このため、熱水抽出窒素については、

これらの地点を除いた回帰式を適用した。なお、回帰式は大部分が火山性土で得られたデータに基づくものであるが、沖積土についてもこれらの回帰式から外れる傾向は認められなかった。したがって、火山性土と非火山性土をあえて区分する必要はないものと判断された。

2) 土壌窒素の各種評価法による最適窒素施肥量の予測

無窒素区窒素吸収量の推定式および最適窒素吸収量、施肥窒素利用率の基準値を用いて作成した最適窒素施肥量の予測式は表5-8に示すとおりである。これらの予測式が窒素用量試験で得られた最適窒素施肥量の実測値と適合するか否かを明らかにするため、図5-4には各評価法別に予測式と実測値との関係を示した。これを見ると、無機態窒素、熱水抽出無機態窒素および培養窒素

表5-8 各種土壌窒素評価法による最適窒素施肥量の予測

N評価法	土層(cm)	予測式
無機態N	0~50	$Y=202-1.54X$
	0~75	$Y=195-0.98X$
熱水抽出N	0~25	$Y=223-0.74X$
	0~50	$Y=207-0.42X$
熱水抽出無機態N	0~50	$Y=304-1.24X$
	0~75	$Y=278-0.86X$
培養N	0~50	$Y=292-0.93X$
	0~75	$Y=281-0.77X$
無窒素区のN吸収量		$Y = (24.5 - X) / 0.78$

Y: 最適窒素施肥量(kg ha⁻¹)、X: 土壌窒素量(kg ha⁻¹)

の場合にはいずれも予測式と実測値とのズレが小さく、最適窒素施肥量とは密接な関係が認められた。一方、熱

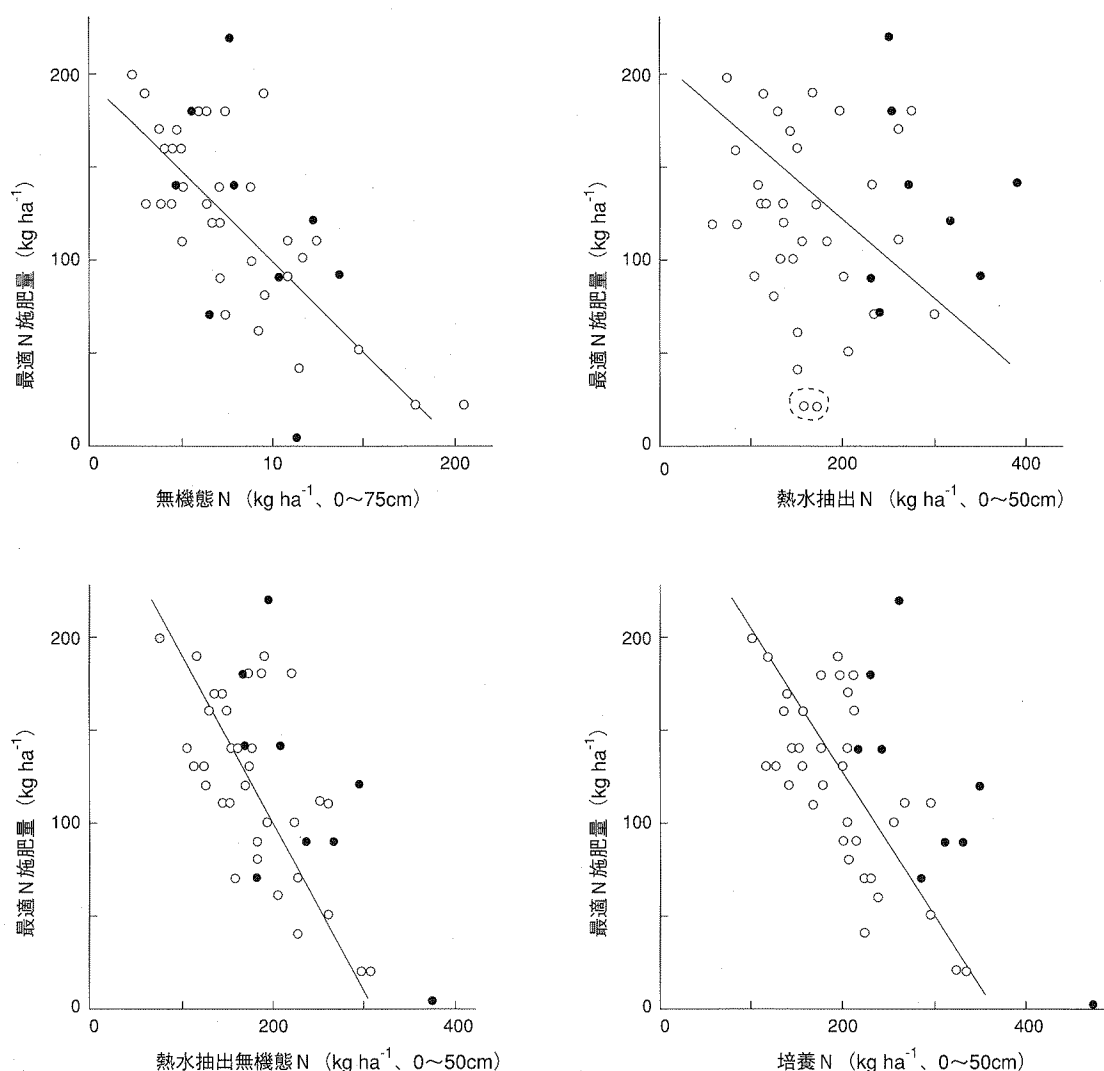


図5-4 テンサイの最適窒素施肥量における実測値と各種評価法による予測式との関係
○, 火山性土; ●, 沖積土

水抽出窒素については、予測式と実測値とのズレが大きく、最適窒素施肥量との関係は判然としなかった。そこで次に、予測値と実測値との間の相関係数をみると（表5-9）、無機態窒素が最も高く、次いで熱水抽出無機態窒素、培養窒素の順であった。これらの評価法は土層深50cm、75cmいずれの場合も0.1%水準の高い相関を示したが、熱水抽出窒素については有意な相関は認められなかった。

なお参考までに、実測値の代わりに、窒素吸収量が 245kg ha^{-1} を示すときの窒素施肥量と予測値との関係をみると、相関係数は熱水抽出無機態窒素、培養窒素、熱水抽出窒素で明らかに高まり、熱水抽出無機態窒素は無機態窒素を上まわる高い相関を示した。これは、最適窒素吸収量が変動すると最適窒素施肥量の予測精度が低下することを示すものである。

以上のことから、テンサイに対する土壌窒素診断法は無機態窒素または熱水抽出無機態窒素が高い精度を示した。無機態窒素に基づく窒素施肥量の設定はすでに欧米で採用されており、アメリカでは、Gilesら⁵⁶⁾が0~60cm土層中の硝酸態窒素が 130kg ha^{-1} を超えると施肥効果は判然としなくなることを報告しているが、これは本試験の結果とも符合する。また、硝酸態窒素評価に必要とされる土層深については、Winter²⁶⁰⁾は120cm、Reuss・Rao¹⁸⁸⁾やMoraghan¹⁵⁶⁾は150cmと報告している。ヨーロッパでは、越冬後における土層中の無機態窒素量($N_{\min}$)から最適施肥量(N_{opt})を設定する方式が採用されている。オランダでは、Neeteson・Smilde¹⁶¹⁾が60cmまでの土層中の無機態窒素量を用いて次の式を設定した。 $N_{\text{opt}}=220-1.7N_{\min}$ 。またドイツでは、Wehrmann・Scharpf²⁵⁶⁾が90cmまでの土層中の無機態窒素量を用いて次の式を設定した。 $N_{\text{opt}}=200-N_{\min}$ 。これらの式は、いずれも本試験の予測式に近いものである。

一方、残存無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方の評価を必要とする事例として、アメリカではCarterら^{30,31)}やStanfordら²²⁴⁾の報告があるが、易分解性有機態窒素の評価についてはいずれも培養法を用いている。また、南ドイツやオーストリアなどでは、Nemethら^{163,164)}によって確立された電気限外ろ過法（EUF法）が広範に導入されている。この方法では、サンプリングが前年の6~7月に作土（0~30cm）から採取することになっているが、夏期間の作土中の無機態窒素は春先の土層中の無機態窒素量と有意な相関がないため、土壌窒素評価法としては否定的な見解も少なくない⁵³⁾。

道内では、易分解性有機態窒素を評価する熱水抽出法がテンサイ畑の土壌窒素診断に有効とされている^{90,169,235)}。

表5-9 最適窒素施肥量における予測値と実測値との関係

N評価法	土層(cm)	相関係数	
無機態N	0~50	0.71***	(0.67***)
	0~75	0.69***	(0.70***)
熱水抽出N	0~25	0.28	(0.44**)
	0~50	0.26	(0.40**)
熱水抽出無機態N	0~50	0.65***	(0.74***)
	0~75	0.64***	(0.72***)
培養N	0~50	0.58***	(0.65***)
	0~75	0.60***	(0.67***)

***1%水準で有意、**0.1%水準で有意、

()は 245kg ha^{-1} の窒素吸収量が得られるときの窒素施肥量を最適窒素施肥量とみなした場合の相関係数

一方、秦泉寺ら²¹²⁾は、熱水抽出窒素よりも土層0~40cmにおける培養硝酸態窒素が最適窒素施肥量と相関が高いことを報告している。この方法は、当初の無機態窒素と培養中に無機化する窒素を同時に評価したものである。

これらの報告を総括すると、テンサイは深根性作物であるため春先における土層中無機態窒素の評価が不可欠であり、同時に、生育期間が長い作期中に無機化する窒素の評価も必要であることを示すものである。したがって、無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法である熱水抽出無機態窒素の有用性を示すものである。

3) 熱水抽出無機態窒素に基づくテンサイの窒素施肥指針

窒素施肥指針の策定に際しては、土壌診断の精度を高めると同時に実用化を図る観点から可能な限り簡便な方法を採用する必要がある。土壌の可給態窒素についてはこれまで面積当たりの窒素量で評価したが、ここでは簡便法として土壌重量当たりの窒素量で評価可能か否か検討した。そこで、無窒素区テンサイの窒素吸収量と土壌重量当たりの窒素量との相関係数をみると、熱水抽出無機態窒素をはじめ各評価法とも面積当たりの場合と比較して多少低かったが、土壌診断の精度を大きく低下させるほどのものではなかった（表5-10）。また、土層深

表5-10 重量当たりの土壌窒素量と無窒素区テンサイの窒素吸収量との関係

N評価法	土層(cm)	相関係数	
		重量当たり	面積当たり
無機態N	0~50	0.71	0.70
	0~75	0.73	0.75
熱水抽出N	0~25	0.45	0.46
	0~50	0.45	0.46
熱水抽出無機態N	0~50	0.74	0.78
	0~75	0.78	0.81
培養N	0~50	0.72	0.74
	0~75	0.78	0.81

についても、表層50cmまでの窒素量は同75cmまでの窒素量と比較して相関係数はやや低かったが、その差は僅かであった。

以上のことから、表層50cmまでの土壌重量当たりの窒素量 ($\text{mg kg}^{-1}\text{DW}$) を用いて熱水抽出無機態窒素に基づく窒素施肥指針の策定を試みた。まず、無窒素区窒素吸収量 (Y_1 , kg ha^{-1}) との回帰式を求めると以下のとおりであった。

$$Y_1 = 32.7 + 3.15X$$

さらに、最適窒素吸収量と施肥窒素利用率を斜網地区の平均的な値である 245kg ha^{-1} および 78% に設定すると、最適窒素施肥量 (Y_2 , kg ha^{-1}) の予測式は以下のとおりとなった。

$$Y_2 = 272 - 4.04X \quad (\text{A})$$

一方、最適窒素吸収量および施肥窒素利用率は、前節で述べたように気象および土壌条件によって変動する。道内の主要畑作地帯である十勝管内と網走管内をこみにした場合、最適窒素吸収量は 230kg ha^{-1} 、施肥窒素利用率は 75% 程度が平均的な値とされている⁸⁰⁾。これらの値を用いた予測式は以下のとおりである。

$$Y_2 = 263 + 4.20X \quad (\text{B})$$

これら2種類の予測式から求めた熱水抽出無機態窒素に基づくテンサイの窒素施肥量は表5-11に示すとおり

表5-11 熱水抽出無機態窒素に基づくテンサイの窒素施肥量の基準

熱水抽出無機態窒素 (0~50cm, $\text{mg kg}^{-1}\text{DW}$)	窒素施肥量 (kg ha^{-1})	
	A	B
10	230	220
20	190	180
30	150	140
40	110	100
50	70	60
60	30	20

A: 最適窒素吸収量 245kg ha^{-1} 、施肥窒素利用率 78%

B: " 230kg ha^{-1} 、" 75%

である。AはBよりも 10kg ha^{-1} 程度多い窒素施肥量となっているが、これは斜網地区のように窒素肥沃度の比較的高い土壌条件で、かつ最大糖量を得るための目安となるものである。したがって、土壌の窒素肥沃度が中〜低の場合および窒素肥沃度が高い場合でも品質（修正糖分）や生産コストを重視する場合には、Bを基準にすべきものと判断される。ちなみに、Bについては北海道農政部の指導参考事項となっている⁸⁶⁾。

4) テンサイに対する窒素施肥診断の今後の問題点

窒素診断の実用化にあたっては、第4章で述べたように、サンプリング時期が重要な問題となる。この中で、越冬前サンプリングによる窒素診断は最も実用的な方法とみなされるが、堆肥、緑肥等を施用した場合には有機物自体の窒素評価が必要となり、また、液状有機物を施用した場合には無機態窒素の越冬後の残存率を予測する必要がある。すでに、オランダ、ドイツでは、有機物をすき込んだ場合土層中の無機態窒素量に基づき設定した窒素施肥量から $20\sim 40\text{kg ha}^{-1}$ 減肥するとされており^{16), 256)}、イギリスでは、秋の無機態窒素量と地温、降水量、蒸発量および土壌の水分特性などのデータを用いて春先の無機態窒素量を予測する方式が検討されている²⁵⁹⁾。

一方、春先のサンプリングの場合には、テンサイ作付け前に窒素施肥量を設定することは時間的制約が大きいので、テンサイの施肥法は全量基肥方式ではなく、分施方式を採用することが望まれる。すなわち、基肥窒素施肥量を従来からの慣行量よりも少なめに設定し、土壌診断の結果に基づいて不足分を分施する方式が必要と思われる。この場合、問題となるのは分施時期の許容範囲である。一般に、テンサイは窒素の施肥時期が遅れると根重や糖分の低下が生じるので分施時期は早いほど安全とみなされる¹⁴⁶⁾。アメリカ（直播栽培）では6月中旬までに窒素を施用すれば収量、品質とも問題はないとされている³²⁾。北見農試圃場で実施した結果でも、6月上旬までに分施すれば糖分や糖量の低下は認められていない（表5-12）。これらのことから、土壌診断結果が5月

表5-12 テンサイの収量、品質に及ぼす窒素分施の影響

N施肥量(kg ha ⁻¹)		茎 葉 重	根 重	糖 分	糖 量	修正糖分	修正糖量	N吸収量
基 肥	分 肥(月/日)	(Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)	(%)	(Mg ha ⁻¹)	(%)	(Mg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
15	-	38.0	59.1	18.34	10.84(100)	16.58	9.80(100)	149
10	5 (5/31)	41.1	57.8	18.76	10.84(100)	17.00	9.83(100)	159
10	5 (6/15)	40.3	56.6	18.89	10.69(99)	17.14	9.70(99)	153
10	5 (6/30)	43.4	56.3	18.50	10.42(96)	16.72	9.41(96)	159
10	5 (7/15)	43.8	54.2	18.29	9.91(91)	16.51	8.95(91)	157

注) 北見農試圃場、1989年、品種「ハイラーベ」

末までに判明すれば分施方式を導入することによって窒素診断の実用化を図ることが可能と思われる。なお、カナダでは緑肥を春すき込んだ場合、4～6週間後の6月の硝酸含量（土層0～30cm）が後作トウモロコシに対する窒素分施量の指標として有効とされている²⁵⁾。緑肥や収穫残渣を秋すき込んだ場合のサンプリング時期は、網走管内では土壌凍結などを考慮して4月下旬～5月上旬が適期と判断される。

なお、土壌窒素診断に基づくテンサイの最適窒素施肥量予測は、実測値と予測値との間の相関係数（表5-9）で判断すると必ずしも十分に精度の高いものではなかった。この主たる要因は、最適窒素吸収量および施肥窒素利用率の変動が大きかったためである。したがって、窒素診断の精度をより一層高めるには、前節で述べたように土壌の可給態窒素レベルなどに対応して最適窒素吸収量および施肥窒素利用率を設定することが今後必要と思われる。

4. まとめ

土壌診断に基づくテンサイの最適窒素施肥量は、各種評価法による土壌窒素量と無窒素区窒素吸収量との回帰式を用い、最適窒素吸収量は 245 kg ha^{-1} 、施肥窒素利用率は78%を基準値として予測式を設定した。これらの式による予測値と窒素用量試験から得られた実測値との関係を見ると、熱水抽出無機態窒素は培養窒素と同等かやや上まわる高い相関を示し、テンサイの窒素施肥量設定の指標として有効であることを認めた。また、熱水抽出無機態窒素を用いた簡便な評価法として表層50cmまでの土壌重量当たりの窒素量に基づくテンサイの窒素施肥指針を策定した。なお、今後の土壌窒素診断の実用化に向けて、越冬前サンプリングおよび春先のサンプリングにおける問題点について論議した。

第 6 章 総 合 考 察

網走管内の畑輪作における有機物管理の実態をみると、収穫残渣物の多くは直接圃場にすき込まれており、また、地力維持の観点から各種の緑肥作物がムギ類収穫跡地に導入されている。腐熟有機物については麦稈を敷料とする牛糞堆肥が最も多いが、林産廃棄物を主原料とするパーク堆肥もかなりの程度施用されている。さらに、農畜産廃棄物であるデンプン排液や家畜糞尿スラリーなど多様な有機物が投入されている。一方、土壌については、火山性土、沖積土、洪積土などが分布しているが、斜網地区を中心とする畑作専用地帯では火山性土が最も多い。これらは淡色黒ボク土から多腐植質黒ボク土まで含まれており、有機物管理の多様性と相まって、窒素肥沃度の変動は大きい。また、網走管内の年間降水量は700～800mm程度であり、畑地からの流出水量は年間500mm以下と国内では最も少ない²⁷⁾。このため、浸透水中の硝酸態窒素濃度が高まりやすく、多少の窒素過剰でも環境への負荷が大きくなるとされている⁸⁴⁾。

このような中で、作物生産の安定と低コスト化を進め、かつ、環境負荷の軽減を図るためには、有機物や土壌中の可給態窒素の評価に基づいた適正な窒素施肥を実施することが必要不可欠である。

1. 有機物窒素の評価

1) 有機物の区分と分解特性

網走管内の畑地に利用されている有機物は、粗大有機物から液状有機物まで多岐にわたっており、粗大有機物についてはさらに収穫残渣物や緑肥などの新鮮有機物と堆きゅう肥やパーク堆肥などの腐熟有機物に区分される。また液状有機物については、デンプン排液や家畜糞尿スラリーなどが含まれる。このような有機物からの窒素放出は、有機物の窒素含量と分解の速さに左右される。一方、水分、粗灰分を除く有機物中の炭素含量は、各種有機物の間で大きな変動がないので、窒素放出はC/N比と分解の難易に左右されることになる。

各種有機物の土壌中における分解速度は、一般に液状有機物>新鮮有機物>腐熟有機物の順に速いとされている。さらに、新鮮有機物の中では緑肥が麦稈よりも著しく速く(図2-1)、腐熟有機物の中では草本類を主原料とする普通堆肥が木質堆肥よりも速く⁹³⁾、また、木質堆肥の場合には広葉樹が針葉樹よりも速いとされている^{7,77,78)}。このような分解速度の差異は、主として有機物中の化学成分組成の相違によるものと考えられる。す

なわち、新鮮有機物についてはC/N比の低いものほど、また、C/N比が同程度の場合には炭水化物含量が高く、リグニン含量の低いものほど分解は速く進む(図2-5)。一方、新鮮物と腐熟物をこみにしたときの分解速度は、C/N比との関係は判然とせず、リグニン含量と密接な関係を示すことが認められている¹⁴²⁾。さらに、木質物については、主成分であるセルロースがリグニンと結合して強固な構造をつくり、微生物分解に対する抵抗性が大きいので、草本類よりも分解が遅くなるとされている⁹³⁾。

このようなことから、有機物窒素の放出はC/N比の低い液状有機物が最も速く、次いで緑肥などC/N比の低い新鮮有機物、草本類を主原料とする普通堆肥の順で、麦稈のようなC/N比の著しく高い新鮮有機物やパーク堆肥のような難分解性の腐熟有機物は窒素放出が最も遅いものに区分される。

2) C/N比と窒素の有機化・無機化の関係

有機物資材中の窒素の大部分は、直接土壌中の可給態窒素となりえず、微生物バイオマスを一旦経由してから可給態窒素になるとされている¹⁹⁵⁾。したがって、有機物のC/N比が微生物のC/N比よりも高い条件では窒素の有機化が優先し、一定期間経過してから無機化に転じる。このため、有機物窒素の肥効発現時期は有機物のC/N比に左右される。緑肥、麦稈および緑肥・麦稈混合物のC/N比と窒素無機化率との関係を見ると、培養実験の結果では有機化・無機化の限界値となるC/N比は20～30程度であった(図2-8)。この値は、各種植物残渣についてのAlexander⁶⁾の報告とほぼ一致するものであったが、Iritani・Arnold⁹⁴⁾および広瀬⁸¹⁾は約20、Vigil・Kissel²⁵⁰⁾は40程度と報告している。このような差異は、主として培養条件や試料の調整方法などの相違によるものと思われる。すなわち、有機化・無機化の限界値となるC/N比は培養期間が長くなるにしたがって高い方にシフトする。このことは、有機物のすき込み時期を早めるとそれだけ後作物に対する窒素飢餓の危険が小さくなることを示すものである。一方、試料を粉碎すると窒素の有機化が促進されるためnetの窒素無機化率は低下し^{102,141,183,247)}、限界値となるC/N比は低い方にシフトする(図2-11)。圃場において未粉碎の緑肥、麦稈を秋にすき込んだ場合には、後作物の窒素利用率がマイナスからプラスに転じるときのC/N比は30～40の範囲であり(図2-13)、培養実験で得られた有機化・無

機化の限界値と比較すると明らかに高い値を示した。この差は、主に緑肥、麦稈の物理的形狀の相違を反映したものと考えられる。

このようなことから、緑肥や収穫残渣物を通常の方法（プラウ耕またはロータリ耕）で秋にすき込む場合、翌年の窒素飢餓を避けるための安全なC/N比は30以下が妥当と判断された。これに基づいて、麦稈すき込みによる窒素飢餓を防止する観点から、麦稈と併用する緑肥のC/N比の目安を麦稈の種類および麦稈・緑肥の混合比率別に設定した（表2-6）。

一方、バーク堆肥については、限界値となるC/N比は針葉樹で35程度、針葉樹で25程度となっており、稲わら堆肥や都市ごみコンポストの腐熟の目標値であるC/N比20以下⁹³⁾と比較するとかなり高い値であった（図3-2、3）。一般に、バーク堆肥はリグニンなどの難分解性有機成分が多いため、比較的高いC/N比でも窒素飢餓の危険は少ない。また、針葉樹は広葉樹と比較して限界値となるC/N比が高かったが、これはリグニン含量の多少ではなく、セルロース分解の難易を反映したものとみなされる。すなわち、針葉樹は広葉樹よりもセルロース分解が緩慢なため、急激な窒素有機化が生じなかった結果とみなされる。

3) 窒素無機化率の変動要因

窒素無機化率は、緑肥、麦稈などの新鮮有機物およびバーク堆肥とも、それぞれC/N比とは密接な関係を示した。しかし、両者を同一のC/N比で対比すると、窒素無機化率はバーク堆肥よりも緑肥など新鮮有機物のほうが著しく高かった。同様なことは、牛糞きゅう肥とマメ科緑肥との比較でも認められている⁴⁵⁾。すでに、熊田¹²⁶⁾は、C/N比と窒素無機化率との関係について、未分解の植物残渣と腐朽物とでは同一ではないことを指摘している。したがって、リグニンなど難分解性有機成分の多い有機物の窒素無機化率は一般に低く、とくに、バーク堆肥の場合には、C/N比15~16でも窒素無機化率は4~5%と著しく低いのが特徴的であった。

一方、新鮮な植物残渣の中にもリグニン含量やポリフェノール含量の高いものが存在し、このような有機物はC/N比が低い場合でも窒素無機化率はさほど高くないことが報告されている^{26, 48, 177, 181, 213, 247, 250)}。この要因として、Haynes⁷¹⁾は、リグニンは土壌中でフェノールに分解され、これらの化合物や当初から含まれているポリフェノールが植物タンパクやアミノ酸と結合し、難分解性の腐植ポリマーを生成するためと指摘している。このため、C/N比に替わって、リグニン/N比²⁵⁰⁾、ポリフェノール/N比¹⁷⁷⁾、（ポリフェノール+リグニン）/N比^{35, 48)}な

どが窒素無機化率の指標として有効とされている。本試験でも、アカクロウバの一部にリグニン含量の高いものが確認され、低C/N比、高リグニン含量の植物残渣の窒素無機化率の指標としては、（リグニン）^{1/2}/N比が有効であることを認めた（図2-10）。

さらに、緑肥の窒素無機化率は試料の粉碎や熱風乾燥などによって著しく低下することを認めた（図2-11）。粉碎処理による窒素無機化率の低下は前述のとおりであるが、一方、熱乾処理の場合は易分解性有機成分の減少と難分解性有機成分の増加によるものとされている。Moorheadら¹⁵⁵⁾はホテイアオイを70℃乾燥すると、また、Van Soest²⁴⁸⁾は青刈り飼料を50℃以上で乾燥すると、それぞれリグニン含量の増加に伴って窒素無機化率が低下することを認めている。これは、リグニン含量の高い植物残渣で窒素無機化率が低いことと符合するものである。

ちなみに、緑肥施用土壌の窒素無機化過程を一次反応式の単純並行型モデルでみると、速やかに分解する画分の窒素量は緑肥のC/N比と密接に関係し、緑肥すき込み土壌の可給態窒素量の指標として有効であった。一方、速やかに分解する画分の無機化速度定数はC/N比が同一の場合、リグニン含量の高いもののほど低下した（図4-9）。このことは、緑肥のC/N比とリグニン含量が緑肥窒素の無機化過程に大きな影響を及ぼしていることを示すものである。

4) 有機物施用に伴う窒素の減肥対応

緑肥や緑肥・麦稈混合物などの新鮮有機物については、すき込み初年目の後作物による窒素利用率がC/N比と密接な関係を示すことから、有機物のC/N比とすき込み量が判れば窒素の減肥量を設定することができる。秋すき込み緑肥のC/N比から推定される窒素利用率はC/N比10~15で30~45%、同15~20で20~30%、同20~25で10~20%程度であった。そこで、施肥窒素の利用効率を70~75%としたときの緑肥のC/N比と乾物重に対応した施肥窒素の減肥量を算出した（表2-17）。この窒素減肥量は、生育期間の長い作物を対象にした最大減肥可能量であり、生育期間の短い作物に対してはこれよりも少ない減肥量とみなされる。なお、リグニン含量の高いアカクロウバについては減肥量をやや少なめにし、また、土壌の可給態窒素量が多い条件では有機物窒素の無機化が促進されるため減肥量をやや多めにする必要があるものと思われる。一方、すき込み2年目以降の窒素施肥については、緑肥のC/N比と窒素利用率との関係が判然としないので、このような方法で予測することは不可能である。したがって、土壌窒素の評価に基づいた施肥対応が必要である。

バーク堆肥については、堆積過程で集積した無機態窒素とC/N比から窒素供給量の予測が可能と思われる。ただし、針葉樹については、窒素利用率からみた現物1Mg当たりの窒素供給量は0.5kg未満であり、通常の施用量ではほとんど減肥の必要はないものと判断される。広葉樹については、腐熟が進むと普通堆肥並に高まる可能性があり、したがって、最大で1kg Mg⁻¹程度の減肥は必要になるものと推察された。

2. 土壌窒素の評価

1) 無機態窒素評価の必要性

作物が吸収できる土壌の可給態窒素は、大きくは土層中に残存する無機態窒素と作期中に無機化する易分解性有機態窒素に区分される^{53,226)}。近年、国外では残存無機態窒素についての研究が広範に行われ、各種の作物において無機態窒素に基づく窒素施肥指針が策定されている^{47,162,209,256)}。一方、国内の研究は、大部分が易分解性有機態窒素に限定したものであり^{5,79,80,153,175,203)}、残存無機態窒素の検討はほとんどなされていないのが実状と思われる。このような中で、網走管内の畑地で作物による土壌由来の窒素吸収量を調査した結果、窒素吸収量は無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方を含む可給態窒素との相関が最も高く、次いで無機態窒素単独との相関が高いことを認めた(表4-7、13)。このことは、窒素施肥診断に際して残存無機態窒素評価の必要性を示すものである。

網走管内の畑地で残存無機態窒素の評価を必要とする要因については、次のような栽培管理および環境条件が関係するものと考えられる。すなわち、①作付様式や収穫物の残渣処理が多様であり、またデンブン排水や家畜糞尿スラリーのような液状有機物が多く投入されているため、無機態窒素の変動が著しく大きなものとなっていること。②斜網地区を中心に分布する火山性土の多くは有効土層が深く、かつ下層土は保水性が大きく²⁴⁰⁾、アロフェン含量は高い^{154,191)}。したがって、下層土のアニオン吸着能は大きいものと推察される¹¹⁵⁾。また、年間の流出水量は国内では最も少ない地帯に位置しており²⁰⁾、冬期間は土壌凍結が進み、5月～9月の栽培期間は蒸発散量が降水量を上まわる¹⁹⁶⁾。このことから、火山性土を中心とした多くの圃場では硝酸が下層土に集積しやすく、無機態窒素は溶脱しにくい条件にあるものと推察される。以上のことは、Batey¹⁶⁾やWehrmann・Scharpf²⁵⁶⁾が無機態窒素による施肥対応が可能な条件として指摘した事項、①土壌中の無機態窒素の変動が大きい、②生育期間の硝酸リーチングが少ない、ことに適合するものである。

2) 易分解性有機態窒素の化学的評価法

易分解性有機態窒素の評価に際しては、これまで各種の微生物的、化学的方法が検討されている²²⁶⁾。化学的評価法については、熱水抽出法^{5,153,203)}やリン酸緩衝液抽出法^{79,80,175)}が国内では精度の高い評価法とされている。網走管内の各種土壌について検討した結果では、熱水抽出窒素が無機化由来の土壌窒素吸収量と高い相関を示すことを認めた(表4-8)。熱水抽出法は、従来から赤塚・坂柳⁵⁾の100℃、2時間抽出法やKeeney・Bremner¹¹³⁾の1時間煮沸抽出法が用いられてきたが、ここではより簡易で安定した測定値を得るため、オートクレーブを用いた105℃、1時間抽出法を採用した。この方法による測定値と窒素吸収量との相関係数は、培養無機化窒素と同等かそれに近い値であることから、培養法に代替可能な測定法とみなされた。

ところで、Stanford²²⁶⁾は、易分解性有機態窒素の化学的評価法として、抽出物は比較的穏和な溶液を用いるのが有効であり、また抽出窒素の測定は全抽出窒素よりも一部のフラクションを測定するほうが望ましいと指摘している。このような観点から、国外では抽出過程で無機化した窒素を測定する2M KCl抽出法(100℃、4時間)について多数検討され、各種の土壌で培養無機化窒素や作物の窒素吸収量と高い相関を示すことが報告されている^{36,54,55,151,208)}。そこで、本試験では、2M KCl抽出法とともにオートクレーブを用いた熱水抽出無機化窒素(121℃、1時間)などについても検討を加えた。その結果、これらの測定法は、沖積土・洪積土では培養無機化窒素と同程度の高い相関を示したが、火山性土については劣ることを認めた。なお、熱水抽出無機化窒素は火山性土において2M KCl抽出法よりもやや高い相関を示したが、火山性土を含む多様な土壌を対象にしたときの化学的評価法は熱水抽出窒素が最も優るものと判断された。

一方、作期中の窒素無機化量を予測するためには、易分解性有機態窒素量の多少のみならず、温度変化に対応した窒素無機化速度を知ること重要である。このような観点から、杉原ら²³³⁾および金野・杉原¹²⁴⁾の反応速度論的解析法に基づき、土壌の窒素無機化特性を検討した結果、各土壌の窒素無機化過程はおおむね一次反応式の単純型モデルに適合することを認めた。また、各無機化特性値をみると、可分解性窒素量(N_0)は培養無機化窒素、熱水抽出窒素などと比較的高い相関を示し(表4-34)、とくに熱水抽出窒素については、 N_0 の1/2程度の値を示すことから、 N_0 の簡易評価法として有効とみなされた。一方、無機化速度定数(k)は土壌間で相違し、 N_0 の多い条件では火山性土が非火山性土よりも低

い値を示した（図4-7）。

そこで次に、 k の土壌タイプ別平均値、みかけの活性化エネルギー(E_a)および低・高温年における5～9月の地温を用いて、夏期作付け期間の N_0 の無機化率を算出した。その結果、無機化率は火山性土27～33%、沖積土33～40%、洪積土40～47%であり、年次間よりも土壌間の変動が著しく大きいことを認めた（表4-35）。このことは、多腐植質黒ボク土など N_0 の多い火山性土の場合、熱水抽出窒素などの測定値は、作期中に無機化する窒素を過大評価する可能性が大きいことを示すものである。

3) 無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法としての熱水抽出無機態窒素

前述のように、網走管内の畑土壌では残存無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方の評価が必要である。これらを同時に評価する方法として、熱水抽出無機態窒素は培養窒素と同程度の高い精度を示した（表4-7、13）。この測定法は、オートクレーブを用いて121℃、1時間熱水抽出し、飽和塩化カリ液を加えた後に抽出液の無機態窒素を測定するもので、この中には当初の無機態窒素と抽出過程で無機化した窒素（熱水抽出無機化窒素）が含まれる。したがって、ケルダール分解などの操作を省略するので、熱水抽出窒素やリン酸緩衝液抽出法と比較しても著しく簡便である。

一方、易分解性有機態窒素のみ評価する熱水抽出無機化窒素については、火山性土ではさほど高い精度を示さなかったが、無機態窒素との同時評価法としてみると、火山性土、非火山性土いずれも土壌由来の窒素吸収量とは高い相関を示した。とくに、圃場試験の結果では、培養窒素と同程度かやや優るほどの高い相関を示し、また無機態窒素と熱水抽出窒素との重回帰分析の結果でもきわめて高い相関（ $R=0.97$ ）が得られた。これらのことから、熱水抽出無機態窒素は無機態窒素と易分解性有機態窒素の同時評価法として、培養窒素に代替可能な精度の高い評価法とみなされた。

なお、熱水抽出無機化窒素は、培養無機化窒素とは比較的高い相関を示すものの（表4-17）、培養過程での変動はほとんど認められず（表4-14）、培養無機化窒素とは別のプールとみなされた。一方、抽出過程におけるアミド、アミノ酸、アミノ糖の窒素無機化率が2M KCl抽出法と類似していることから、2M KCl抽出法とはほぼ同じ画分の窒素と推察された。可給態窒素の多くは微生物バイオマス画分由来とされており¹⁴⁵⁾、培養無機化窒素とバイオマス窒素との間には正の相関も認められている^{160,194,195,204)}。しかし、2M KCl抽出窒素につい

ては、バイオマス窒素との関係は希薄とされている²³¹⁾ことから、熱水抽出無機化窒素についてもバイオマス窒素とは別のプールと推察された。

3. 有機物および土壌の窒素評価に基づくテンサイの窒素施肥

1) 有機物窒素の評価に基づく窒素施肥対応

網走管内の畑輪作では、テンサイの前作は一般に秋播コムギが作付けされている。秋播コムギの間作または後作には各種緑肥作物が導入されており、これらが麦稈とともに秋すき込まれる。また、各種の堆肥やデンプン排液、家畜糞尿スラリーなどもテンサイ作付け前に重点的に施用されていることから、テンサイに対して適正な窒素施肥量を設定するためには、各種有機物の窒素評価が重要となる。

各種有機物の中で、緑肥、収穫残渣物については、C/N比とすき込み量に基づいた窒素減肥基準（表2-17）が各種の土壌に適用できるか否かを検討した。すなわち、テンサイの最適窒素施肥量を窒素用量試験から求め、緑肥施用区と無施用区の差を窒素減肥量の実測値とし、これと減肥基準に基づいて導出した値（予測値）とを比較した。その結果、予測値は実測値よりも3～13kg ha⁻¹程度多く、また、これらの差は緑肥のC/N比が高くなるにしたがって大きくなる傾向を示した。その要因としては、①緑肥のC/N比が高まると窒素放出時期が遅くなり、基肥窒素減肥の必要性は小さくなる、②緑肥のC/N比が高まる圃場では土壌の可給態窒素が少なく、窒素減肥を必要としない、ことなどが指摘される。一方、麦稈・緑肥のC/N比とすき込み量から推定した窒素減肥可能量（予測値）と北海道施肥標準²²⁾から最適窒素施肥量を差し引いて求めた減肥量（実測値）とを比較すると、C/N比20以上の場合はいずれもゼロで一致したが、C/N比20以下の場合には予測値が実測値より6～15kg ha⁻¹少なく、とくにC/N比16以下の緑肥の場合にその差が大きかった。その要因については、非マメ科緑肥のC/N比が低い土壌では当初から土壌の可給態窒素量が多いため、緑肥窒素評価に基づく窒素減肥だけでは十分でないためと考えられる。

以上のことから、緑肥または麦稈・緑肥のC/N比とすき込み量から推定した窒素減肥可能量は、C/N比によって多少の相違が認められるものの、その差は15kg ha⁻¹以内であり、現地圃場にも十分適用可能と判断された。ただし、C/N比20以上の緑肥については、収量レベルを維持する観点からの窒素減肥はほとんど必要ないものとみなされた。

パーク堆肥については、普通堆肥と比較すると窒素肥効が小さく、またC/N比が腐熟度基準をクリアしているものでも生育後期には窒素の吸収抑制が生じる可能性を認めた。とくに針葉樹の場合、20～30Mg ha⁻¹程度の施用量でも窒素吸収量の増加は10kg ha⁻¹以下と小さいことから、テンサイに対する窒素減肥の必要性はほとんどないものと思われる。一方、広葉樹については、腐熟が進むと普通堆肥並に高まる可能性があり、50Mg ha⁻¹を超える施用量では窒素過剰となる危険も指摘されている¹⁴⁸⁾。このため、堆肥中の無機態窒素含量とC/N比に基づいた窒素減肥基準の策定が今後必要と考えられる。

なお、液状有機物については、北海道施肥標準⁹²⁾の中で、デンプン排液や家畜糞尿スラリーを施用したときの窒素減肥基準が策定されている。しかし、これらの窒素濃度は変動が大きく、かつ、施用後における窒素溶脱が施用時期や気象、土壌条件によって異なることから、熱水抽出無機態窒素による土壌窒素診断が望まれる。

2) 土壌窒素の評価に基づく窒素施肥対応

テンサイは紙筒移植栽培が中心のため、初期生育は極めて良好であり、かつ、深根性作物のため根張りも速やかである。このため、春先に残存している無機態窒素は速やかに吸収されるものと思われる。さらに、テンサイは生育期間が長いので作期中に無機化した窒素の吸収量も多い。このことから、土壌窒素診断に際しては、残存無機態窒素と易分解性有機態窒素の両方の評価が不可欠であり、また、残存無機態窒素については土層50～75cmの深さまで測定することが必要となる。これら可給態窒素の測定法については、前述のように、熱水抽出無機態窒素が実用的とみなされ、表層50cmまでの土壌重量当たりの窒素量を用いた窒素施肥指針も策定されている⁸⁰⁾。

しかし、これらによるテンサイの最適窒素施肥量の予測は、必ずしも高い精度とはみなされなかった。その主たる要因は、最適窒素吸収量および施肥窒素利用率の変動によるものである。したがって、窒素診断の精度をより一層高めるには、土壌の可給態窒素レベルに対応した

最適窒素吸収量および施肥窒素利用率の設定などが必要と考えられる。さらに、土層中の無機態窒素量は一筆圃場内での変動が大きいと、窒素診断の精度はサンプリング点数に左右される¹⁸⁹⁾。高橋²³⁹⁾は、熱水抽出無機態窒素の測定に際してテンサイ作付け予定地での一筆圃場内の必要サンプリング地点数を6～15程度と報告している。このため、春先の限られた期間内に多数の圃場を診断することは困難である。

このようなことから、春先のサンプリングに基づいてテンサイの窒素施肥量を設定することは、全量基肥を基本とする現行の栽培方式では一部の圃場に限定されることになる。したがって、テンサイの施肥法は全量基肥ではなく、基肥窒素量を当初から減肥し、土壌診断の結果に基づいて不足分を分施する方式が望まれる。圃場試験の結果では、6月上旬までに分施すれば糖分や糖量の低下は認められないことから(表5-10)、土壌診断結果が5月末までに判明すれば分施方式を導入することによって窒素施肥対応が可能となるものと考えられる。

一方、越冬前のサンプリングは春サンプリングと比較するとより実用的であるが、窒素診断の精度は低下する。窒素診断の精度を高めるには、施用有機物の種類別に補正することが望まれる。すなわち、緑肥や堆肥などの粗大有機物がすき込まれている圃場では、当年の有機物由来窒素が土壌窒素測定値にほとんど反映されないで、有機物自体の窒素評価が必要となる。一方、液状有機物の施用などにより無機態窒素量の多い圃場では越冬後の残存率が問題となる。この中で、セパレータ排液を多量施用した圃場や傾斜地等を除くと、残存率はおおむね70～80%程度とみなされる。いずれにせよ、越冬後の無機態窒素残存率は年次間、圃場間の変動が大きく、窒素診断の精度を高める観点から、多様な気象・土壌条件下での無機態窒素量の変動を予測できるシミュレーションモデル等の開発が今後必要になるものと思われる。

以上のことを概括して、テンサイに対する窒素施肥診断の手順を表6-1に示した。

表6-1 有機物および土壌の窒素評価に基づいたテンサイの窒素施肥対応

評価 区分	土壌 窒素	有機物 窒素	窒 素 施 肥 対 応
I	—	○	①緑肥・収穫残渣物の窒素はC/N比とすき込み量から予測し、北海道施肥標準から予測値を差し引く。 ②パーク堆肥の窒素は現物1Mg当たり0.5kg以下(針葉樹)または1kg以下(広葉樹)
II	○ (当年春)	—	①熱水抽出無機態窒素に基づく予測式を適用。 ②テンサイの窒素施肥法は分施方式が望まれる。
III	○ (前年秋)	○	①熱水抽出無機態窒素に基づく予測式を適用、ただし、無機態窒素については春先の残存率を考慮する。(火山性土で70～80%)。 ②粗大有機物の窒素評価が必要。土壌診断に基づく予測値から差し引く。

第 7 章 要 約

窒素は作物生産にとって最も重要な元素であるが、過剰になると作物の品質低下や硝酸の地下水汚染など各種の弊害をもたらす。したがって、持続型農業を推進する観点からは、各種有機物資源の有効利用を図りつつ、施肥窒素量の適正化を進めることが必要となる。そこで、本研究では、網走地方の畑輪作における有機物管理の実態をふまえて、有機物窒素や土壌中の可給態窒素の評価法を検討し、それに基づきテンサイに対する窒素施肥指針を策定した。

1. 緑肥および収穫残渣物の窒素評価

1) 麦稈およびアカクロバ（マメ科）、エンバク（イネ科）、レバナ（アブラナ科）の各緑肥を供試して圃場での分解過程を調査した。その結果、麦稈の乾物残存率は、秋すき込み後6ヶ月目で72～76%、1年目で41～43%であった。また、1年目のC/N比、還元糖割合はそれぞれ41および35%であり、窒素飢餓を引き起こす可能性を認めた。一方、緑肥は最初の6ヶ月間で大半が分解され、この期間の分解率は麦稈の2～3倍も大きかった。

2) 麦稈の分解に伴う窒素飢餓を防止するためには、すき込み時の麦稈・緑肥混合物のC/N比を30以下にすることが必要と判断された。麦稈と併用する緑肥のC/N比の目安は、麦稈との重量比が1：1の場合は20以下、2：1の場合は15以下、4：1の場合は10以下であった。

3) すき込み時の化学成分と炭素、窒素の分解との関係をみると、炭素の分解はC/N比の低いものほど、またC/N比が同一の場合には炭水化物含量が高く、リグニン含量の低いものほど大きかった。一方、窒素の分解はC/N比の小さいものほど大きく、25以下の場合には春先から無機化が進むことを認めた。

4) 緑肥および緑肥・麦稈の窒素無機化率は、C/N比と密接な関係を示した。ただし、C/N比が低く、リグニン含量の高い緑肥については、 $(\text{リグニン})^{1/2}/\text{N}$ 比が窒素無機化の指標として有効とみなされた。また、高温乾燥や粉碎処理を行った場合には窒素無機化率が低下し、窒素の有機化・無機化の限界値となるC/N比は低い方向にシフトした。

5) 秋すき込み緑肥の初年目の窒素利用率はすき込み時のC/N比と密接な関係を示した。その回帰式から求めた窒素利用率は、C/N比10～15で30～45%、同15～20で20～30%、同20～25で10～20%程度であり、また、

利用率がマイナスからプラスに転じるときのC/N比は30～40程度であった。これらの結果に基づいて、緑肥のC/N比と緑肥または緑肥+麦稈のすき込み量から、後作物に対する施肥窒素の減肥基準を設定した。

6) 緑肥または緑肥・麦稈のC/N比とすき込み量から求めた窒素減肥可能量（予測値）とテンサイに対する窒素減肥必要量（実測値）とを比較した結果、窒素減肥量の予測値と実測値との差は 15kg ha^{-1} 以内であり、減肥基準は適用可能と判断された。

2. バーク堆肥の窒素評価

1) バーク堆肥の化学成分と作物の窒素吸収量の関係をみると、無機態窒素とは有意な正の相関およびC/N比、還元糖態炭素/全窒素比、還元糖割合とは有意な負の相関を示した。この中から、窒素飢餓を回避するための腐熟度指標を次のように設定した。C/N比：25以下（広葉樹）、35以下（針葉樹）、還元糖態炭素/全窒素比：6以下（広葉樹）、10以下（針葉樹）、還元糖割合：20%以下（広葉樹）、30%以下（針葉樹）。

2) バーク堆肥の窒素肥効は、無機態窒素+無機化窒素（30℃、12週間）と密接な関係を示した。さらに、窒素無機化率はC/N比が低くなるにしたがって大きくなることから、無機態窒素とC/N比で窒素供給量を予測することが可能とみなされた。ただし、針葉樹の場合にはC/N比の低いものでも窒素無機化率は5%程度が上限であり、また、作物による窒素利用率も4%程度と低かった。広葉樹の場合は腐熟が進むと普通堆肥並に窒素肥効が高まることを認めた。

3. 土壌窒素の評価

1) 土壌の可給態窒素は、残存無機態窒素と作期中に無機化する易分解性有機態窒素の両方を評価する必要性を認めた。無機態窒素の評価を必要とする要因については、①収穫後の残渣処理や有機物資材の投入などにより無機態窒素の変動が著しく大きい、②無機態窒素が溶脱しにくい気象、土壌条件にある、ことによるものと判断した。

2) 化学的評価法については、熱水抽出無機態窒素が無機態窒素と易分解性有機態窒素との同時評価法として最も優っていた。この評価法は、培養窒素と同程度の高い精度であり、また、迅速かつ簡易であることから実用的な評価法とみなされた。なお、易分解性有機態窒素単

独の評価法としては、熱水抽出窒素が優っていた。

3) 春先における無機態窒素量は、有機物管理、前作物などにより変動し、とくにデンプン排液施用圃場で高かった。越冬前の無機態窒素量と比較すると、翌春の残存率は、有機物の種類などによる変動が大きかったが、おおむね70~80%程度とみなされた。

4) 土壌の窒素無機化過程は、おおむね一次反応式の単純型モデルに適合した。可分解性窒素量 (N_0) は $77 \sim 219 \text{ mg kg}^{-1}$ 、無機化速度定数 (k) は $0.0031 \sim 0.0095 \text{ day}^{-1}$ 、みかけの活性化エネルギー (E_a) は $60 \sim 85 \text{ kJ mol}^{-1}$ の範囲であった。 N_0 は熱水抽出窒素と比較的高い相関が認められ、 N_0 の簡易評価法として有効とみなされた。5~9月の地温を用いて算出した作付け期間中の N_0 の無機化率は火山性土27~33%、沖積土33~40%、洪積土40~47%であり、火山性土が非火山性土よりも小さいことを認めた。

5) 緑肥施用土壌の窒素無機化過程は、おおむね一次反応式の単純並行型モデルに適合した。この中で、速やかに分解する画分の窒素量 ($N_{0a} + C$) は緑肥のC/N比と密接に関係し、緑肥すき込み土壌の可給態窒素量の指標として有効とみなされた。また、速やかに分解する画分の無機化速度定数 (k_a) は緑肥のC/N比、リグニン含有率などと密接に関係することから、緑肥中の難分解性成分の多少を反映するものとみなされた。

4. 土壌窒素診断に基づくテンサイの最適窒素施肥量

1) 最適窒素施肥量 (N_{op}) は、 $N_{op} = (\text{最適窒素吸収量} - \text{無窒素区の窒素吸収量}) / \text{施肥窒素利用率}$ の式から求めた。無窒素区の窒素吸収量については各種評価法による土壌窒素量と無窒素区窒素吸収量との回帰式を代入した。

2) 最適窒素吸収量は圃場間の変動が大きく、一般に肥沃度の高い圃場ほど多くなる傾向であった。斜網地区の平均的な窒素肥沃度条件では、最大糖量が得られるときの窒素吸収量は 245 kg ha^{-1} 、最大修正糖量が得られるときの窒素吸収量は 235 kg ha^{-1} 程度であった。一方、施肥窒素利用率は、年次間、圃場間の変動が大きかったが、降水量が平年並みで、窒素肥沃度が極端に高い土壌を除くと、窒素利用率は70~85%の範囲であり、平均値は78%であった。

3) 最適窒素吸収量 245 kg ha^{-1} 、施肥窒素利用率78%を用いて最適窒素施肥量の予測式を策定し、これらと実測値との関係を検討した。その結果、熱水抽出無機態窒素による予測値は培養窒素と同等かやや上まわる高い精度を示し、テンサイの施肥窒素量設定に有効であった。

4) 越冬前サンプリングによる土壌窒素評価は、診断の精度がやや劣ったが、硝酸溶脱の比較的少ない土壌では有機物窒素の評価との組み合わせで導入可能と考えられた。そこで、土壌窒素診断の実用化を図る観点から、土壌のサンプリング時期別の土壌および有機物の窒素評価に基づいたテンサイの窒素施肥対応の手順を示した。

謝

本研究をとりまとめるに当たり、帯広畜産大学教授菊地晃二博士には終始懇切なるご指導をいただき、さらに本稿のご校閲を賜った。山形大学教授安藤豊博士には暖かい激励とご指導・ご校閲を賜った。山形大学教授我妻忠雄博士、帯広畜産大学助教授筒木潔博士、弘前大学助教授青山正和博士には本稿のご校閲と有益なご教示をいただいた。

本研究は、元道立北見農業試験場土壌肥料科長平井義孝氏および後任の菊地晃二博士（現帯広畜産大学教授）のご指導とご援助により開始したものであり、引き続き、後任の宮脇忠氏のご指導、ご援助をいただいた。また、元北見農業試験場土壌肥料科の下野勝昭博士（現道立中央農業試験場長）、鎌田賢一博士（現道立中央農業試験場クリーン農業部副部長）、松中照夫博士（現酪農学園大学教授）、東田修司博士（現道立十勝農業試験場栽培環境科長）には懇切なご助言をいただいた。

北海道大学名誉教授但野利秋博士、元道立中央農業試験場環境化学部長沢口正利博士（現ホクレン肥料株式会社技監）にはご指導とご鞭撻をいただいた。また、元農

辞

業環境技術研究所資材動態部多量要素動態研究室長尾和尚人博士（現新潟大学教授）には重窒素関連の研究手法について、元農業研究センター土壌肥料部長金野隆光博士には窒素無機化の速度論的解析法についてご指導をいただいた。

本研究を実施するに当たっては、元ホクレン中斜里製糖工場技術課長打越欽一氏（現ホクレン農業総合研究所）に多大なるご協力をいただいた。また、北見農業試験場長宮浦邦晃博士、元場長児玉不二雄博士（現北海道植物防疫協会会長）、作物研究部長阿部晴記氏、生産研究部長田村修博士、栽培環境科長志賀弘行博士にはとりまとめに際して便宜を図っていただいた。

研究作業の遂行に際しては、北見農業試験場管理科職員および土壌肥料科（現栽培環境科）臨時職員に絶大なご協力をいただいた。また、現地試験の実施に際しては網走管内各農業改良普及センター、ホクレン中斜里製糖工場関係各位に多くのご協力をいただいた。

以上の各位に心からの感謝の意を表する。

引用文献

- 1) Abshahi, A., Hills, F.J. and Broadbent, F.E. : Nitrogen utilization by wheat from residual sugarbeet fertilizer and soil incorporated sugarbeet tops, *Agron. J.*, 76, 954-958 (1984)
- 2) Addiscott, T.M. : Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories, *J. Soil Sci.*, 34, 343-353 (1983)
- 3) Addiscott, T.M. and Whitmore, A.P. : Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring, *J. Agric. Sci. Camb.*, 109, 141-157 (1987)
- 4) 赤池弘次 : 情報量基準 A I C とは何か—その意味と将来への展望、*数理科学*, 153, 5-11 (1976)
- 5) 赤塚 恵、坂柳迪夫 : 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、*北海道農試彙報*, 83, 64-70 (1964)
- 6) Alexander, M. : Mineralization and immobilization of nitrogen, In *Introduction to Soil Microbiology*, 2nd ed., Alexander, M., p.136-247, Jone Wiley and Sons, New York (1977)
- 7) Allison, F.E. : Decomposition of wood and bark sawdusts in soil, nitrogen requirements and effects on plant, *Technical Bulletin, U.S. Dept. of Agriculture*, 1332, 1-58 (1965)
- 8) Allison, F.E. : Soil organic matter and its role in crop production, Elsevier Scientific Publishing Co., New York, p.445-483 (1973)
- 9) Allison, F.E. and Klein, C.J. : Rates of immobilization and release of nitrogen following additions of carbonaceous materials and nitrogen to soils, *Soil Sci.*, 93, 383-386 (1962)
- 10) Andren, O., Rajkai, K. and Katterer, T. : Water and temperature dynamics in a clay soil under winter wheat: Influence on straw decomposition and N immobilization, *Biol. Fertil. Soils*, 15, 1-8 (1993)
- 11) 安藤 豊、庄子貞雄 : 水田土壌中の地力窒素の発現と施用窒素の土壌中での固定について 速度論的解析例、*土肥誌*, 57, 1-7 (1986)
- 12) 安藤 豊、藤井弘志、佐藤俊夫、荒垣憲一、中西政則、佐藤之信 : 沖積水田土壌の地力窒素の無機化モデルについて、*土肥誌*, 60, 1-7 (1989)
- 13) 有馬泰紘 : ミクロ通気蒸留法によるアンモニア態、アミド態、亜硝酸態、硝酸態各窒素の分別定量と¹⁵N濃度測定への利用、*土肥誌*, 49, 304-308 (1978)
- 14) Armstrong, M., Squire, A. and Milford, G. : The nitrogen nutrition of sugar beet—an approach to better forecasting of nitrogen fertilizer requirement. *British Sugar Review*, 54, 84-87 (1986)
- 15) Azam, F., Simmons, F.W. and Mulvaney, R.L. : Mineralization of N from plant residues and its interaction with native soil N, *Soil Biol. Biochem.*, 25, 1787-1792 (1993)
- 16) Batey, T. : Report on the Second Meeting of the NW-European Study Group for the assessment of nitrogen fertilizer requirement. *Assessment of Nitrogen Requirement*, Institute for Soil Fertility, Haran(GN). p.5-9 (1985)
- 17) Beauchamp, E.G., Reynolds, W.D. Brasche-Villeneuve, D. and Kirby, K. : Nitrogen mineralization kinetics with different soil pretreatments and cropping histories, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 1478-1483 (1986)
- 18) Blackmer, A.M. and Green, C.J. : Nitrogen turnover by sequential immobilization and mineralization during residue decomposition in soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 1052-1058 (1995)
- 19) Bonde, T.A. and Rosswall, T. : Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 1508-1514 (1987)
- 20) Borg, G.C., Jansson, P.E. and Linden, B. : Simulated and measured nitrogen conditions in a manured and fertilised soil, *Plant and Soil*, 121, 251-267 (1990)
- 21) Bremner, E. and van Kessel, C. : Plant-available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 1155-1160 (1992)
- 22) Bremner, J.M. : Inorganic forms of nitrogen, In *Methods of soil analysis*, part 2, C.A. Black (ed.), *Agronomy*, 9, 1179-1237 (1965)
- 23) Bremner, J.M. : Nitrogen availability indexes. In *Methods of Soil Analysis*, part 2. C.A. Black, (ed.). *Agronomy* 9, p.1324-1345, Am. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin. (1965)
- 24) Broadbent, F.E. : Nitrogen release and carbon loss during decomposition of added plant residues, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 12, 246-249 (1948)
- 25) Broadbent, F.E. : Empirical modeling of soil nitrogen

- mineralization, *Soil Sci.*, 141, 208-213 (1986)
- 26) Bruulsema, T.W. and Christie, B.R. : Nitrogen contribution to succeeding corn from alfalfa and red clover, *Agron. J.*, 79, 96-100 (1987)
- 27) Bundy, L.G. and Malone, E.S. : Effect of residual profile nitrate on corn response to applied nitrogen, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 1377-1383 (1988)
- 28) Campbell, C. A., Myers, R. J. K. and Weier, K. L. : Potentially mineralization nitrogen decomposition rates and their relationship to temperature for five Queensland soils. *Aust. J. Soil Res.*, 19, 323~332 (1981)
- 29) Campbell, J., Jame, Y.W., Jail, A. and Schoenau, J. : Use of hot KCl-NH₄-N to estimate fertilizer N requirements, *Canadian J. Soil Sci.*, 77, 161-166 (1997)
- 30) Carter, J.N., Jensen, M.E. and Bosma, S.M. : Determining nitrogen fertilizer needs for sugar beets from residual soil nitrate and mineralizable nitrogen, *Agron. J.*, 66, 319-323 (1974)
- 31) Carter, J.N., Westermann, D.T., Jensen, M.E. and Bosma, S.M. : Predicting nitrogen fertilizer needs for sugarbeets from residual soil nitrate and mineralizable nitrogen, *J. Am. Soc. Sugar Beet Technol.*, 18, 232-244 (1975)
- 32) Carter, J.N. and Traveller, D.J. : Effect of time and amount of nitrogen uptake on sugarbeet growth and yield, *Agron. J.*, 73, 665-671 (1981)
- 33) Christensen, B.T. : Wheat and barley straw decomposition under field condition : Effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content, *Soil Biol. Biochem.*, 17, 691- 697 (1985)
- 34) Christensen, B.T. : Barley straw decomposition under field conditions : Effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics, *Soil Biol. Biochem.*, 18, 523-529 (1986)
- 35) Constantinides, M. and Fownes, J.H. : Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations, *Soil Biol. Biochem.*, 26, 49-55 (1994)
- 36) Curtin, D. and Wen G. : Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 410-415 (1999)
- 37) Dalal, R.C. : Mineralization of carbon and phosphorus from carbon-14 and phosphorus-32 labelled plant material added to soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 913-916 (1979)
- 38) Deans, J.R., Molina, J.A.E. and Clapp, C.E. : Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rates constants, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 323-326 (1986)
- 39) Decker, A.M., Clark, A.J., Meisinger, J.J., Mulfrd, F.R. and McIntosh, M.S. : Legume cover crop contributions to no-tillage corn production, *Agron. J.*, 86, 126-135 (1994)
- 40) Dou, Z., Fox, R.H. and Toth, J.D. : Tillage effect on seasonal nitrogen availability in corn supplied with legume green manures, *Plant and Soil*, 162, 203-210 (1994)
- 41) Draycott, A.P. and Last, P.J. : Effect of previous cropping and manuring on the nitrogen fertilizer needed by sugar beet, *J. agric. Sci., Camb.*, 74, 147-152 (1970)
- 42) Ellert, B.H. and Bettany, J.R. : Temperature dependence of net nitrogen and sulfur mineralization, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 1133-1141 (1992)
- 43) El-Haris, M.K., Cochran, V.L., Elliott, L.F. and Bezdicek, D.F. : Effect of tillage, cropping and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47, 1157-1161 (1983)
- 44) F.A.O. : Statistics of crop responses to fertilizers. Food and Agricultural Organization of The United Nations, Rome, 1-112 (1966)
- 45) Fauci, M.F. and Dick, R.P. : Plant response to organic amendments and decreasing inorganic nitrogen rates in soils from a long-term experiment, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, 134-138 (1994)
- 46) Fox, R.H. and Piekielek, W.P. : A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of a soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 751-753 (1978)
- 47) Fox, R.H., Roth, G.W., Iversen, K.V., and Pielielek, W.P. : Soil and tissue nitrate tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn, *Agron. J.*, 81, 971-974 (1989)
- 48) Fox, R.H., Myers, R.J.K. and Vallis, I. : The nitrogen mineralization rates of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents, *Plant and Soil*, 129, 251-259 (1990)
- 49) Frankenberger, W.T. and Abdelmagid, H.M. : Kinetic parameters of nitrogen mineralization rates of leguminous crops incorporated into soil, *Plant and Soil*, 87, 257-271 (1985)
- 50) Franzluebbers, K., Weaver, R.W. and Jvo, A.S.R. : Mineralization of labeled N from cowpea [Vigna

- unguiculata (L.) Walp.] plant parts at two growth stages in sandy soil, *Plant and Soil*, 160, 259-266 (1994)
- 51) Freyerabend, I. : Zuckerrubenproduction und Stickstoffdungung Umweltschutz als Nebeneffect, *Zuckerindustrie*, 110, 786-795 (1985)
 - 52) 藤井弘志、安藤 豊、佐藤俊夫、荒垣憲一、中西政則、佐藤之信 : 山形県庄内地域 (グライ土壌) の地力窒素の無機化について, *土肥誌*, 60, 8-14 (1989)
 - 53) Geypens, M. and Vandendriessche, H. : Advisory systems for nitrogen fertilizer recommendations, *Plant and Soil*, 181, 31-38 (1996)
 - 54) Gianello, C. and Bremner, J.M. : A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 17, 195-214 (1986)
 - 55) Gianello, C. and Bremner, J.M. : Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 17, 215-236 (1986)
 - 56) Giles, J.F., Reuss, J.O., and Ludwick, A.E. : Prediction of nitrogen status of sugarbeets by soil analysis, *Agron. J.*, 67, 454-459 (1975)
 - 57) Gonzalez-Prieto, S.T., Villar, M.C., Garballas, M. and Garballas, T. : Comparison between a chemical and biological method to determine the N mineralization potential of temperate-humid region soils, *Plant and Soil*, 162, 147-150 (1994)
 - 58) Greenwood, D.J., Kubo, K., Burns, I.G., and Draycott, A. : Apparent recovery of fertilizer N by vegetable crops, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 35, 367-381 (1981)
 - 59) Guenzi, W.D. and McCalla, T.M. : Phenolic acids in oats, wheat, sorghum, and corn residues and their phytotoxicity, *Agron. J.*, 58, 303-304 (1966)
 - 60) Hadas, A., Feigenbaum, S., Feigin, A. and Portnoy, R. : Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 314-319 (1986)
 - 61) 原田靖生、井の子昭夫、菅原和夫、宮松一夫、伊藤敏彦 : 都市ごみコンポストの有機成分組成の特徴と腐熟度の判定, *土肥誌*, 53, 116-122 (1982)
 - 62) 原田靖生 : 家畜ふん堆肥の腐熟度についての考え方, *畜産の研究*, 37, 21-28 (1983)
 - 63) Hargrove, W.L. : Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum, *Agron. J.*, 78, 70-74 (1986)
 - 64) Harris, G.H., Hesterman, O.B., Paul, E.A., Peters, S.E. and Johnke, R.R. : Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long-term cropping system experiment, *Agron. J.*, 86, 910-915 (1994)
 - 65) Harper, S.H.T. and Lynch, J.M. : The chemical components and decomposition of wheat straw, leaves, internodes and nodes, *J. Sci. Food Agric.*, 32, 1057-1062 (1981)
 - 66) Hart, P.B.S., Rayner, J.H. and Jenkinson, D.S. : Influence of pool substitution on the interpretation of fertilizer experiments with ^{15}N , *J. Soil Sci.*, 37, 389-403 (1986)
 - 67) 橋元秀教、石川 実 : 堆厩肥の成分組成に関する研究、第2報 大麦の生育・収量との関係、*土肥誌*, 40, 309-314 (1969)
 - 68) 速水彦彦 : 各種有機物資材の分解特性、農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定, *農林水産技術会議事務局編*, p.20-24 (1985)
 - 69) 速水彦彦 : 環境条件別の有機物資材の分解特性、農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定, *農林水産技術会議事務局編*, p.29-31 (1985)
 - 70) 早坂昌志、井村悦夫 : テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価方法 第4報 窒素吸収量の年次間変動, *てん菜研究会報*, 31, 80-86 (1989)
 - 71) Haynes, R.J. : The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation, In *Mineral nitrogen in the plant-soil system*, ed. Haynes, R.J., p.52-176, Academic Press, Orlando, FL (1986)
 - 72) Herman, W.A., McGill, W.B. and Dormaar, J.F. : Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species, *Can. J. Soil Sci.*, 57, 205-215 (1977)
 - 73) Hergert, G.W. : Status of residual nitrate-nitrogen soil tests in the United States of America, *Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub.*, 21, 73-88 (1987)
 - 74) Hesterman, O.B., Sheaffer, C.C., Barnes, D.K., Lueschen, W.E. and Ford, J.H. : Alfalfa dry matter and nitrogen production, and fertilizer nitrogen response in legume-corn rotations, *Agron. J.*, 78, 19-23 (1986)
 - 75) Hesterman, O.B., Russelle, M.P., Sheaffer, C.C. and Heichel, G.H. : Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-corn rotations, *Agron. J.*, 79, 726-731 (1987)
 - 76) He Xin-Tao, Stevenson, F.J., Mulvaney, R.L. and Kelley, K.R. : Extraction of newly immobilized ^{15}N from an

- Illinois Mollisol using aqueous phenol, *Soil Biol. Biochem.*, 20, 857-862 (1988)
- 77) Higashida, S., Hirai, Y. and Ohsaki, I.: Some characteristics of wood wastes as raw materials of bark manure, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 28, 281-285 (1982)
- 78) 樋口太重、栗原 淳：有機物の形態と施肥窒素の行動に関する研究 第4報 木質資材の分解性と硫酸窒素の有機化、*土肥誌*, 49, 482-490 (1978)
- 79) 樋口太重：緩衝液による有機化窒素および土壌有機態窒素の抽出特性、*土肥誌*, 52, 481-489 (1981)
- 80) 樋口太重：有機物連用土壌の地力窒素的な評価、*土肥誌*, 53, 214-218 (1982)
- 81) 広瀬春朗：各種植物遺体の有機態窒素の畑状態土壌における無機化について、*土肥誌*, 44, 157-163 (1973)
- 82) 北海道農政部：北海道施肥標準、p.4 (1995)
- 83) 北海道立中央農業試験場、上川農業試験場：堅密固結性土壌に対する有材心土改良耕法の確立（追補）、平成9年度普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部編、p.251-253 (1997)
- 84) 北海道立中央農業試験場、上川農業試験場、十勝農業試験場、根釧農業試験場、道南農業試験場、天北農業試験場：農耕地における硝酸態窒素の残存許容量と流れ易さ区分—北海道農耕地土壌の窒素環境容量Ver.1 一、平成10年度普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部編、p.154-157 (1998)
- 85) 北海道立上川農業試験場：水田土壌の窒素診断基準とこれに基づく施肥対応、平成2年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部編、p.333-336 (1990)
- 86) 北海道立十勝農業試験場、中央農業試験場、北見農業試験場、ホクレン農業総合研究所、ホクレン製糖所中斜里工場：熱水抽出性窒素によるてん菜及びばれいしょ畑の土壌窒素診断、平成2年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部編、p.362-365 (1990)
- 87) Hong, S.D., Fox, R. and Piekielek, W.P.: Field evaluation of several chemical indexes of soil nitrogen availability, *Plant and Soil*, 123, 83-88 (1990)
- 88) Hornby, W.T., Brown, K.W. and Thomas, J.C.: Nitrogen mineralization potentials of revegetated lignite overburden in the Texas Gulf Coast, 50, 1484-1489 (1986)
- 89) Hull, R. and Webb, D.J.: The effect of subsoiling and different levels of manuring on yields of cereals, lucerne and sugar beet, *J. agric. Sci., Camb.*, 69, 183-187 (1967)
- 90) 五十嵐 敏、中村正士：窒素肥沃度の異なる圃場におけるテンサイの窒素施肥反応について 第1報 生育、収量の検討、てん菜研究会報, 25, 1-6 (1983)
- 91) 井村悦夫、早坂昌志：テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価方法 第1報 窒素地力指数の応用について、てん菜研究会報, 24, 124-133 (1982)
- 92) 井ノ子昭夫、藤原俊六郎：円形濾紙クロマトグラフィーによるおが屑、木屑混合家畜ふん堆積物の腐熟度検定の可能性、*土肥誌*, 50, 517-522 (1979)
- 93) 井の子昭夫：有機物資材の品質とその検定法—腐熟度の観点から、*農及園*, 57, 235-242 (1982)
- 94) Iritani, W.M. and Arnold, C.Y.: Nitrogen release of vegetable crop residues during incubation as related to their chemical composition, *Soil Sci.*, 89, 74-82 (1960)
- 95) Jalil, A., Campbell, C.A., Schoenau, J., Henry, J.L., Jame, Y.W. and Lafond, G.P.: Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60, 1954-1960 (1996)
- 96) Janssen, B.H.: Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials, *Plant and Soil*, 181, 39-45 (1996)
- 97) Janzen, H.H. and Kucey, R.M.N.: C, N and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime, *Plant and Soil*, 106, 35-41 (1988)
- 98) Janzen, H.H. and Radder, G.D.: Nitrogen mineralization in a green manure-amended soil as influenced by cropping history and subsequent crop, *Plant and Soil*, 120, 125-131 (1989)
- 99) Jenkinson, D.S.: Chemical tests for potentially available nitrogen in soil, *J. Sci. Ed. Agric.*, 19, 160-168 (1968)
- 100) Jenkinson, D.S., Fox, R.H. and Rayner, J.H.: Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen—the so-called ‘priming’ effect, *J. Soil Sci.*, 36, 425-444 (1985)
- 101) Jensen, E.S.: Availability of nitrogen in ¹⁵N-labelled mature pea residues to subsequent crops in the field, *Soil Biol. Biochem.*, 26, 465-472 (1994)
- 102) Jensen, E.S.: Mineralization-immobilization of nitrogen in soil amended with low C:N ratio plant residues with different particle sizes, *Soil Biol. Biochem.*, 26, 519-521 (1994)
- 103) Jingguo, W. and Bakken, L.R.: Competition for nitrogen during decomposition of plant residues in soil:

- Effect of spatial placement of N-rich and N-poor plant residues, *Soil Biol. Biochem.*, 29, 153-162 (1997)
- 104) Jokela, W.E. and Randall, G.W. : Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application, *Agron. J.*, 81, 720-726 (1989)
- 105) Juma, N.G. and Paul, E.A. : Mineralizable soil nitrogen: Amounts and extractability ratios, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 76-80 (1984)
- 106) Kai, H., Ahmad, Z. and Harada, T. : Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized, III Transformation of the nitrogen immobilized in soil and its chemical characteristics, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 19, 275-286 (1973)
- 107) 狩野広美、米山忠克、熊沢喜久雄：発光分光分析法による重窒素の定量について、*土肥誌*、45, 549-559 (1974)
- 108) 河田 弘：木質廃材堆肥に関する研究 第1報 ヘムロックバーク堆肥について、*林試研報*、301, 47-78 (1978)
- 109) 河田 弘、白井喬二、赤間亮夫、佐藤久男：木質廃材堆肥に関する研究 第3報 広葉樹バーク堆肥について、*林試研報*、313, 53-78 (1981)
- 110) 河田 弘：バーク（樹皮）堆肥—製造・利用の理論と実際、*博友社*, p.108-123 (1981)
- 111) 河田 弘：木質廃棄物の利用—とくにバーク堆肥について—、*農業および園芸*、57, 191-196 (1982)
- 112) Keeney, D.R. and Bremner, J.M. : Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability, *Agron. J.*, 58, 498-503 (1966)
- 113) Keeney, D.R. and Bremner, J.M. : A chemical index of soil nitrogen availability, *Nature*, 211, 892-893 (1966)
- 114) Keeney, D.R. : Nitrogen-availability indexes, In *Methods of Soil Analysis*, part 2, 2nd ed. A. L. Page, (ed.). *Agronomy* 9, p.711-733, *Am. Soc. Agron.*, Madison, Wisconsin (1982)
- 115) 喜田村俊明、庄子貞雄、尾形佳彦、竹田康夫、秋谷達司 (1986) : パーレー種タバコに対する黒ボク土下層からの無機態窒素の供給について、*土肥誌*、57, 414-417.
- 116) 北田敬宇：灰色低地土とグライ土水田における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 (1990)
- 117) 今野一男、菊地晃二、宮脇 忠：麦類跡地における緑肥導入が後作物の窒素吸収と土壌理化学性に及ぼす影響、*北農*、58(1), 56-62 (1991)
- 118) 今野一男、菊地晃二、平井義孝：網走管内の畑輪作における緑肥作物の導入実態と主要緑肥作物に対する窒素、リン酸等の施用の影響、*北農*、54(10), 22-35 (1987)
- 119) 今野一男、菊地晃二、宮脇 忠：麦類跡地における緑肥導入がてん菜の生育収量に及ぼす影響、*北農*、58, 294-300 (1991)
- 120) 今野一男、菊地晃二、平井義孝：網走管内の畑地における緑肥および麦稈の分解過程、*北海道立農試集報*、64, 13-23 (1992)
- 121) 今野一男、菊地晃二：緑肥窒素の無機化に及ぼす化学成分の影響、*土肥誌*、67, 419-421 (1996)
- 122) 今野一男、平井義孝、東田修司：バーク堆肥の腐熟過程における化学成分変化と腐熟度指標、*道立農試集報*、52, 31-40 (1985)
- 123) 今野一男、宮脇 忠、菊地晃二、打越欽一、須田泰行、川村隆司、高橋朋宣、成田敏樹：斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第2報 土壌窒素の評価、*てん菜研究会報*、31, 114-120 (1989)
- 124) 金野隆光、杉原 進：土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用、*農環研報*、1, 51-68 (1986)
- 125) 金野隆光：土壌窒素無機化の特性評価と窒素供給量予測プログラム (ENMS)、*関東東海地域農業関係試験研究期間開発ソフトウェア一覧1987年版*、農業研究センター編、IV、p.2-3 (1987)
- 126) 熊田恭一：土壌有機物の化学、*東京大学出版会*, p.171-198 (1977)
- 127) Kumavasinghe, K.S., Zapafa, F., Kovacs, G., Eskew, D.L. and Danso, S.K.A. : Evaluation of the availability of Azolla-N and urea-N to rice using ^{15}N , *Plant and Soil*, 90, 293-299 (1986)
- 128) Kuo, S., Sainju, U.M. and Jellum, E.J. : Winter cover cropping influence on nitrogen in soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 1392-1399 (1977)
- 129) Ladd, J.N. : The use of ^{15}N in following organic matter turnover with specific reference to rotation systems, *Plant and Soil*, 58, 401-411 (1981)
- 130) Ladd, J.N., Oades, J.M. and Amato, M. : Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soil sown to wheat in the field, *Soil Biol. Biochem.*, 13, 251-256 (1981)
- 131) Ladd, J.N., Amato, M., Jackson, R.B. and Butler,

- J.H.A. : Utilization by wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soil in the field, *Soil Biol. Biochem.*, 15, 231-238 (1983)
- 132) Ladd, J.N. and Amato, M. : The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions, *Soil Biol. Biochem.*, 18, 417-425 (1986)
- 133) Larocque, M. and Banton, O. : Determining parameter precision for modeling nitrate leaching : Inorganic fertilization in Nordic climates, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, 396-400 (1994)
- 134) Last, P.J., Draycott, A.P. and Webb, D.J. : Effect of green manures on yield and nitrogen requirement of sugar beet, *J. agric. Sci., Camb.*, 97, 159-170 (1981)
- 135) Legg, J.O., Chichester, F.W., Stanford, G. and Demar, W.H. : Incorporation of ^{15}N tagged mineral nitrogen into stable forms of soil organic nitrogen, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35, 273-276 (1971)
- 136) Lindemann, W.C., Connell, G. and Urquhart, N.S. : Previous sludge addition effects on nitrogen mineralization in freshly amended soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 109-112 (1988)
- 137) Livens, J. : Contribution to a study of mineralizable nitrogen in soil, *Agricultura*, 7, 27-44 (1959)
- 138) Macdonald, A.J., Powlson, D.S., Poulton, P.R. and Jenkinson, D.S. : Unused fertilizer nitrogen in arable soils—Its contribution to nitrate leaching, *J. Sci. Food Agric.*, 46, 407-419 (1989)
- 139) Macduff, J.H. and White, R.E. : Net mineralization and nitrification rates in a clay soil measured and predicted in permanent grassland from soil temperature and moisture content, *Plant and Soil*, 86, 151-172 (1985)
- 140) MacLean, A.A. : Measurement of nitrogen supplying-power of soils by extraction with sodium bicarbonate, *Nature*, 203, 1307-1308 (1964)
- 141) 前田乾一、鬼鞍 豊：圃場条件における有機物の分解率の測定法, *土肥誌*, 48, 567-568 (1977)
- 142) 前田乾一、志賀一一：水田条件下における各種有機物資材の分解経過, *土肥誌*, 49, 455-460 (1978)
- 143) Magdoff, F.R., Ross, D. and Amadon, J. : A soil test for nitrogen availability to corn, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 1301-1304 (1984)
- 144) Marion, G.M. and Black, C.H. : The effect of time and temperature on nitrogen mineralization in arctic tundra soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 1501-1508 (1987)
- 145) 丸本卓哉：畑土壌の養分と微生物バイオマス、土壌のバイオマス—土壌生物の量と代謝—日本土壌肥料学会編, p.115-140, 博友社、東京 (1984)
- 146) 増田昭芳、加川勝久、井村悦夫、川本富士男：てん菜の栄養に関する研究 第1報窒素の給与期間と収量・品質との関係、てん菜研究会報、16, 65-74 (1974)
- 147) 増田昭芳：甜菜の紙筒移植栽培, 北農会, p.354-372 (1997)
- 148) 松口龍彦、新田恒雄：テンサイ作への有機物施用の問題点、てん菜研究会報、24, 104-114 (1982)
- 149) Matus, F.J. and Rodviguez, J. : A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralization to the nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent organic input, *Plant Soil*, 162, 259-271 (1994)
- 150) 松代平治、佐藤辰四郎：十勝地方火山性土における有機物の利用に関する研究、II 秋播小麦稈施用時の C / N 調節, 北海道農試集報, 46, 30-40 (1981)
- 151) McTaggart, I.P. and Smith, K.A. : Estimation of potentially mineralizable nitrogen in soil by KCl extraction I. Comparison with plant uptake in the fields, *Plant and Soil*, 157, 175-184 (1993)
- 152) 三木和夫、森 哲郎：畑土壌の窒素供給力に関する研究、第4報 生わら施用に伴う肥料窒素の有機化ならびに有機化窒素の作物に対する有効性、東海近畿農試研報、17, 61-67 (1968)
- 153) 南 松雄、沢口政利：土壌診断法に関する研究 第2報 可給態窒素の測定法について、北農、36, 74-76 (1969)
- 154) Mizuno, N., Nizamidin, K., Yoshida, H., Nanzyo, M. and Tadano, T. : Effects of deep plowing and “cutting and banking” practice on the concentration of water-soluble aluminum and allophane content in Andosols: Implication for recent incidence of potato common scab in Abashiri area, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44, 571-578 (1998)
- 155) Moorhead, K.K., Graetz, D.A. and Reddy, K.R. : Mineralization of carbon and nitrogen from freeze- and oven-dried plant material added to soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 1343-1346 (1988)
- 156) Moraghan, J.T. : The influence of residual deep soil nitrate on sugarbeet production, *J. Am. Soc. Sugar Beet Technol.*, 21, 362-373 (1982)

- 157) Moraghan, J.T. and Smith, L.J. : Nitrogen in sugarbeet tops and the growth of a subsequent wheat crop, *Agron. J.*, 88, 521-526 (1996)
- 158) Müller, M.M. and Sundman, V. : The fate of nitrogen (^{15}N) released from different plant materials during decomposition under field conditions, *Plant and Soil*, 105, 133-139 (1988)
- 159) Müller, M.M. : The fate of clover-derived nitrogen (^{15}N) during decomposition under field conditions: Effect of soil type, *Plant and Soil*, 105, 141-147 (1988)
- 160) 村田智吉、田中治夫、坂上寛一、安積大治、浜田龍之介 : 麦かん・堆肥の連用が土壤微生物バイオマス量・可給態窒素量および中性糖組成に及ぼす影響、*土肥誌*, 68, 249-256 (1997)
- 161) Neeteson, J.J. and Smilde, K.W. : Correlative methods of estimating the optimum nitrogen fertilizer rate for sugar beet as based on soil mineral nitrogen at the end of the winter period, *Int. Inst. Sugar Beet Symposium "Nitrogen and Sugar Beet"*, Brussels, p.409-431 (1983)
- 162) Neeteson, J.J. : Assessment of fertilizer requirement of potatoes and sugar beets. Ph. D Thesis. Landbouwniversiteit Wageningen, the Netherlands. p.141 (1989)
- 163) Nemeth, K. : The availability of nutrients in the soil as determined by electro-ultrafiltration (EUF), *Advances in Agronomy*, 31, 155-188 (1979)
- 164) Nemeth, K., Makhdum, I.Q., Koch, K. and Beringer, H. : Determination of categories of soil nitrogen by electro-ultrafiltration (EUF), *Plant and Soil*, 53, 445-453 (1979)
- 165) Nira, R. and Nishimune, A. : Studies on nitrogen mineralization properties of Tokachi soils by kinetic analysis, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39, 321-329 (1993)
- 166) 新良力也、西宗 昭 : 北海道における秋播コムギ子実への施肥窒素の集積と土壌由来窒素の吸収、*土肥誌*, 69, 604-611 (1998)
- 167) 新良力也 : 有機物施用と窒素の無機化、北海道農業と土壤肥料 1999、日本土壤肥料学会北海道支部編、p.110-113 (1999)
- 168) 西宗 昭、藤田 勇、金野隆光 : 十勝地方の畑作物の窒素利用 第2報 土壌別にみたテンサイの肥料及び土壌窒素の利用、北海道農試研報、133, 17-29 (1982)
- 169) 西宗 昭 : 十勝地方における畑作物の生産に対する土壌窒素の評価、北海道農試研報、140, 33-91 (1984)
- 170) 西宗 昭、渡辺治郎、石田 博 : オホーツク海沿岸の重粘土壌における根菜類の生育特性 第2報 厩肥多量施用におけるテンサイの養分吸収と糖分含有率及び糖分収量、*北農*, 52(6), 18-33 (1985)
- 171) 西尾 隆、金森哲夫、藤本 夫 : 北海道の火山灰畑土壌における施肥窒素の秋季～春季間の挙動、北海道農試研報、149, 45-55 (1988)
- 172) 西尾 隆、藤本 夫 : 北海道の火山灰畑土壌における窒素の施肥位置とテンサイの生育、北海道農試研報、153, 27-39 (1990)
- 173) 農林水産技術会議事務局編 : 農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定、研究成果、166, p.1-138 (1985)
- 174) 農林水産省農産園芸局農産課編 : 土壌環境基礎調査における土壌、水質及び作物体測定法, p.84-85 (1979)
- 175) 小川吉雄、加藤弘道、石川 実 : リン酸緩衝液抽出による可給態窒素の簡易測定法、*土肥誌*, 60, 160-163 (1989)
- 176) 小川吉雄、山根隆重、加藤弘道 : 可給態窒素の簡易推定法と診断施肥への応用、*農及園*, 67, 377-381 (1992)
- 177) Oglesby, K.A. and Fownes, J.H. : Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees, *Plant and Soil*, 143, 127-132 (1992)
- 178) Oien, A. and Selmer-Olsen, A.R. : A laboratory method for evaluation of available nitrogen in soil, *Acta Agric. Scand.*, 30, 149-156 (1980)
- 179) 奥村正敏、松崎康範、野村信史、相馬 暁 : テンサイの糖分向上と施肥窒素および堆肥の相互関係、北海道立農試集報、59, 21-29 (1989)
- 180) Olson, R.V. : Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 514-517 (1980)
- 181) Palm, C.A. and Sanchez, P.A. : Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents, *Soil Biol. Biochem.*, 23, 83-88 (1991)
- 182) Patra, D.D., Bhandari, S.C. and Misra, A. : Effect of plant residues on the size microbial biomass and nitrogen mineralization in soil : Incorporation of cowpea and wheat straw, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38, 1-6 (1992)

- 183) Per Ambus and Jensen, E.S. : Nitrogen mineralization and denitrification as influenced by crop residue particle size, *Plant and Soil*, 197, 261-270 (1997)
- 184) Pocock, T.Q., Milford, G.F.J. and Armstrong, M. : The nitrogen nutrition of sugar beet, *British Sugar beet Review*, 56(3), 41-44 (1988)
- 185) Powlson, D.S., Jenkinson, D.S., Pruden, G. and Edward Johnston, A. : The effect of straw incorporation on the uptake of nitrogen by winter wheat, *J. Sci. Food Agric.*, 36, 26-30(1985)
- 186) Ranells, N.N. and Waggener, M.G. : Nitrogen-15 recovery and release by rye and crimson clover crops, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 943-948 (1997)
- 187) Rao, A.C.S., Smith, J.L., Papendick, R.I. and Parr, J.F. : Influence of added nitrogen interaction in estimating recovery efficiency of labeled nitrogen, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1616-1621 (1991)
- 188) Reuss, J.O. and Rao, P.S. : Soil nitrate nitrogen levels as an index of nitrogen fertilizer needs of sugarbeets, *J. Am. Soc. Sugar Beet Technol.*, 16, 461-470 (1971)
- 189) Reuss, J.O., Soltanpour, P.N. and Ludwick : Sampling distribution of nitrates in irrigated fields, *Agron. J.*, 69, 588-592 (1977)
- 190) Richter, J., Nordmeyer, H. and Kersebaum, C.K. : Simulation of nitrogen regime in loess soils in the winter half-year : Comparison between field measurements and simulations, *Plant and Soil*, 83, 419-431 (1985)
- 191) 三枝正彦、松山信彦、阿部篤郎：開拓地土壌概要に基づく交換酸度 y_1 によるわが国黒ボク土の類型区分、*土肥誌*、63、646-651 (1992)
- 192) Saito, M. and Ishii, K. : Estimation of soil nitrogen mineralization in corn-grown fields based on mineralization parameters, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33, 555-566 (1987)
- 193) 斉藤雅典：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 (1990)
- 194) 坂本一憲、大羽 裕：畑土壌における可給態N量と土壌バイオマス量との関係、*土肥誌*、64、42-48 (1993)
- 195) 坂本一憲：微生物バイオマスと土壌窒素肥沃度、土と微生物、51、35-47 (1998)
- 196) 佐久間敏雄：北海道の自然、北海道農業と土壌肥料1987、日本土壌肥料学会北海道支部編、p.9-25 (1987)
- 197) Sarrantonio, M. and Scott, T.W. : Tillage effects on availability of nitrogen to corn following a winter green manure crop, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 1661-1668 (1988)
- 198) 佐藤 俊：木質廃材の発酵堆肥化に関する研究 (Ⅲ)ヘムロックバークの堆肥化、*日林講集*、80、152-153 (1969)
- 199) 佐藤 俊：木質廃材の発酵堆肥化に関する研究 (Ⅳ) 堆肥化に伴うN形態の変化、*日林講集*、80、154-155 (1969)
- 200) 佐藤 俊：木質堆肥および家畜ふん尿木質きゅう堆肥製造の手引き、農業および園芸、53、425-428 (1978)
- 201) 沢田泰男、新田一彦、吉岡真一：麦稈の分解と窒素の再放出に対する緑肥の影響、*北海道農試彙報*、92、38-44 (1968)
- 202) 沢田泰男：緑肥の分解に伴う畑作物の生育障害に関する研究、*北海道農試報告*、76、1-62 (1969)
- 203) 沢口政利、南 松雄：畑土壌肥沃土の診断に関する研究 第3報 窒素肥沃度の判定について、*道立農試集報*、22、48-60 (1970)
- 204) 関 鋼、丸本卓哉、進藤晴夫、西山雅也：土壌中の微生物バイオマス量と理化学性の関係一火山灰土壌と非火山灰土壌の比較一、*土肥誌*、68、614-621 (1997)
- 205) 赤城仰哉、但野利秋、佐藤秀夫：てん菜類葉の鋤込みに関する試験一後作馬鈴薯に対する養分供給と施与窒素量について一、*北農*、36(9)、41-48 (1969)
- 206) 関谷長昭、赤城仰哉：畑土壌の有機物管理方式、第1報 数種のバーク堆肥の施用が畑作物の生育に及ぼす影響、*土肥要旨集*、29、p.136 (1982)
- 207) Seligman, N.G., Feigenbaum, S., Feinerman, D. and Benjamin, R.W. : Uptake of nitrogen from high C-to-N ratio, ^{15}N -labeled organic residues by spring wheat grown under semi-arid conditions, *Soil Biol. Biochem.*, 18, 303-307 (1986)
- 208) Sembiring, H., Johnson, G.V. and Raun, W.R. : Extractable nitrogen using hot potassium chloride as a mineralization potential index, *J. Plant Nutr.*, 21, 1253-1271 (1998)
- 209) Sheherd, M.A. : Measurement of soil mineral nitrogen to predict the response of winter wheat to fertilizer nitrogen after application of organic manures or after

- ploughed-out grass, *J. Agric. Sci.*, 121, 223-231 (1993)
- 210) 下野勝昭、大崎玄佐雄：網走地方に分布する主要土壌の養水分供給力に関する研究 V 土壌の Nitrogen Mineralization Potential の測定とその評価について、道立農試集報, 45, 27-37 (1981)
- 211) 下野勝昭：秋播小麦の栄養生理と窒素肥培管理法に関する研究, 北海道立農試報告, 57, 1-80 (1986)
- 212) 秦泉寺 敦、佐久間正美、堤 平、菅原寿一、富山信夫：土壌地力に対する窒素施肥反応試験、てん菜研究会報, 26, 94-100 (1984)
- 213) Sivapalan, K. and Fernando, V. : N-mineralization in polyphenol-rich plant residues and their effect on nitrification of applied ammonium sulphate, *Soil Biol. Biochem.*, 17, 547-551 (1985)
- 214) Smith, J.H. and Douglas, C.L. : Wheat straw decomposition in the field, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35, 269-272 (1971)
- 215) Smith, K.A. and Li, S. : Estimation of potentially mineralizable nitrogen in soil by KCl extraction I. Comparison with pot experiments, *Plant and Soil*, 157, 167-174 (1993)
- 216) Smith, S.J. and Stanford, G. : Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability, *Soil Sci.*, 111, 228-232 (1971)
- 217) Smith, S.J., Young, L.B. and Miller, G.E. : Evaluation of soil nitrogen mineralization potentials under modified field conditions, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 74-76 (1977)
- 218) Smith, S.J. and Sharpley, A.N. : Nitrogen availability from surface-applied and soil-incorporated crop residues, *Agron. J.*, 85, 776-778 (1993)
- 219) Stanford, G. and Demar, W.H. : Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water. I. The NaOH-distillable fraction as an index of nitrogen availability in soils, *Soil Sci.*, 107, 203-205 (1969)
- 220) Stanford, G. and Smith, S.J. : Nitrogen mineralization potentials of soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36, 465-472 (1972)
- 221) Stanford, G., Frere, M.H. and Schwaninger, D.H. : Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization, *Soil Sci.*, 115, 321-323 (1973)
- 222) Stanford, G., Legg, J.O. and Smith, S.T. : Soil nitrogen availability evaluations based on nitrogen mineralization potentials of soils and uptake of labeled and unlabeled nitrogen by plants, *Plant and Soil*, 39, 113-124 (1973)
- 223) Stanford, G. and Smith, S.J. : Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil nitrogen availability, *Soil Sci.*, 122, 71-76 (1976)
- 224) Stanford, G., Carter, J.N., Westermann, D.T. and Meisinger, J.J. : Residual nitrate and mineralizable soil nitrogen in relation to nitrogen uptake by irrigated sugarbeets, *Agron. J.*, 69, 303-308 (1977)
- 225) Stanford, G. and Smith, S.J. : Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction, *Soil Sci.*, 126, 210-218 (1978)
- 226) Stanford, G. : Assessment of soil nitrogen availability, In *Nitrogen in Agricultural Soils*, F.J. Stevenson(ed.), *Agronomy* 22, p.651-688, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin (1982)
- 227) Stenger, R., Priesack, E. and Beese, F. : Rates of net nitrogen mineralization in disturbed and undisturbed soils, *Plant and Soil*, 171, 323-332 (1995)
- 228) Stevenson, F.C. and van Kessel, C. : Nitrogen contribution of pea residue in a hummocky terrain, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 494-503 (1997)
- 229) Stevenson, F.J. : Organic forms of soil nitrogen, In *Nitrogen in Agricultural Soils*, F.J. Stevenson(ed.), *Agronomy* 22, p.67-122, Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin (1982)
- 230) Stewart, B.A., Porter, L.K. and Johnson, D.D. : Immobilization and mineralization of nitrogen in several organic fractions of soil, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27, 302-304 (1963)
- 231) Stockdale, E.A. and Rees, R.M. : Relationships between biomass nitrogen and nitrogen extracted by other nitrogen availability indices, *Soil Biol. Biochem.*, 26, 1213-1220 (1994)
- 232) 杉原 進、金野隆光：汚泥中の有機態窒素の形態と肥効について 第4報 汚泥窒素のオートクレーピングによる可溶特性と品質、肥効評価への応用、農技研肥料化学科資料, 249, 13-25 (1983)
- 233) 杉原 進、金野隆光、石井和夫：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、農環研報, 1, 127-166 (1986)
- 234) Suzuki, M. and Kumada, K. : Mineralization of physically fractionated rotten plant residues under upland conditions, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 22, 373-385

- (1976)
- 235) 鷹田秀一、伝宝浩之：土壌作物診断システム化に関する研究 第2報 土壌窒素分析診断法について、てん菜研究会報, 30, 144-152 (1988)
 - 236) 高橋和司、河合伸二：鉍質畑土壌に及ぼす影響からみた各種有機物資材の特性 (第1報) 有機物資材の特性をあらわす項目と区分の検討、愛知農総試研報、14, 461-469 (1982)
 - 237) 高橋和司、河合伸二：鉍質畑土壌に及ぼす影響からみた各種有機物資材の特性 (第2報) 各種有機物資材の施用が土壌に及ぼす影響の解析、愛知農総試研報、14, 470-479 (1982)
 - 238) 高橋朋宣、打越欽一、須田泰行、川村隆司、秋野正巳、菊地晃二、宮脇 忠、今野一男：斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第1報 テンサイの最適窒素吸収量および施肥窒素利用率、てん菜研究会報、31, 109-113 (1989)
 - 239) 高橋朋宣：斜網地区におけるテンサイの窒素診断 第5報 熱水抽出無機態窒素 (AC変法) による土壌窒素診断の土壌試料採取法 (サンプリングサイズ)、てん菜研究会報、32, 41-46 (1990)
 - 240) 竹内晴信、松中照夫、宮脇 忠：網走管内における主要土壌の水分特性、土肥要旨集、35, p.248 (1989)
 - 241) 谷口健雄、黒川春一：馬鈴しょでん粉工場排液の農地施用による動態 I. 排液散布による環境影響、北海道立農試集報、52, 41-52 (1985)
 - 242) 谷口健雄：加工用パレイシヨの肥培管理と品質、土肥誌、63, 723-727 (1992)
 - 243) Terman, G.L. and Brown, M.A. : Crop recovery of applied fertilizer nitrogen, *Plant and Soil*, 29, 48-65 (1968)
 - 244) Thicke, F.T., Russelle, M.P., Hesterman, O.B. and Sheaffer, C.C. : Soil nitrogen mineralization indexes and corn response in crop rotations, *Soil Sci.*, 156, 322-335 (1993)
 - 245) 上野正夫、佐藤之信、熊谷勝巳、大竹俊博：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, 273-281 (1990)
 - 246) Vallis, I. and Jones, R.J. : Net mineralization of nitrogen in leaves and leaf litter of *Desmodium intortum* and *Phaseolus atropurpureus* mixed with soil, *Soil Biol. Biochem.*, 5, 391-398 (1973)
 - 247) Van Schreven, D.A. : A comparison between the effect of fresh and dried organic materials added to soil on carbon and nitrogen mineralization, *Plant and Soil*, 20, 149-165 (1964)
 - 248) Van Soest, P.J. : Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages, *J. Assoc. Off. Agric. Chem.*, 48, 785-790 (1965)
 - 249) Varco, J.J., Frye, W.W., Smith, M.S. and MacKowen, C.T. : Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 822-827 (1989)
 - 250) Vigil, M.F. and Kissel, D.E. : Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 757-761 (1991)
 - 251) Vos, G.J.M., Bergevoet, I.M.J., Vedy, J.C. and Neyroud, J.A. : The fate of spring applied N during the autumn-winter period : comparison between winter-fallow and green manure cropped soil, *Plant and Soil*, 160, 201-213 (1994)
 - 252) Vyn, T.J., Janovicek, K.J. Miller, M.H. and Beauchamp, E.G. : Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops, *Agron. J.*, 91, 17-24 (1999)
 - 253) Waggoner, M.G., Kissel, D.E. and Smith, S.J. : Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues under field conditions, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1220-1226 (1985)
 - 254) 渡辺治郎、小川和夫、岩間秀矩：重粘性土壌における有機物の分解過程、北海道農試研報、132, 1-16 (1981)
 - 255) Watkins, N. and Barraclough, D. : Gross rates of N mineralization associated with the decomposition of plant residues, *Soil Biol. Biochem.*, 28, 169-175 (1996)
 - 256) Wehrmann, J. and Scharpf, H.C. : The N_{min} -method - an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization, *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, 149, 428-440 (1986)
 - 257) Wessen, B. and Berg, B. : Long-term decomposition of barley straw : Chemical changes and ingrowth of fungal mycelium, *Soil Biol. Biochem.*, 18, 53-59 (1986)
 - 258) Whitehead, D.C. : An improved chemical extraction method for predicting the supply of available soil nitrogen, *J. Sci. Food Agric.*, 32, 359-365 (1981)
 - 259) Whitmore, A.P., Milford, G.F.J. and Armstrong, M.J. : Evaluation of a nitrogen leaching / mineralization model for sugar beet, *Plant and Soil*, 101, 61-65 (1987)

- 260) Winter, S.R. : Nitrogen management for sugarbeets on Pullman soil with residual nitrate problems, J. Am. Soc. Sugar Beet Technol., 21, 41-49 (1981)
- 261) Wivstad, M. : Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ^{15}N labelled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age, Plant and Soil, 208, 21-31 (1999)
- 262) Wostcott, M.P. and Mikkelsen, D.S. : Comparison of organic and inorganic nitrogen sources for rice, Agron. J., 79, 937-943 (1987)
- 263) Yaacob, O. and Blair, G.J. : Mineralization of ^{15}N -labelled legume residues in soils with different nitrogen contents and its uptake by Rhodes grass, Plant and Soil, 57, 237-248 (1980)
- 264) Yadvinder-Singh, Bijay-Singh and Khind, C.S. : Nutrient transformation in soils amended with green manures, In Advances in Soil Science, 20, p.237-309, Springer-Verlag New York Inc. (1991)
- 265) Yamaguchi, J. : Fertilizer-nitrogen absorption determined by the ^{15}N isotopic and difference methods, JARQ, 25, 93-100 (1991)
- 266) 山田 忍 : 土壌凍結. 北海道農業と土壌肥料、北農会、p.161-170 (1969)
- 267) 山神正弘、高橋市十郎 : 後志地方のバレイショ畑における土壌窒素診断の可能性、土肥要旨集、35, p.140 (1989)
- 268) 山本富三、久保田忠一 : 速度論的解析による水田土壌の窒素無機化特性、土肥誌、57, 481-486 (1986)
- 269) 山本富三、久保田忠一、真鍋尚義 : 速度論的方法による水稻生育期間中の土壌窒素無機化量の推定、土肥誌、57, 487-492 (1986)
- 270) 柳井政史、上沢政志、金野隆光、清水義昭 : リン酸緩衝液による土壌窒素の抽出量と湛水培養可給態窒素量の関係、土肥誌、69, 365-370 (1998)
- 271) 横井 肇 : わが国の広域水収支について 熱収支法の適用、土肥誌、48, 213-217 (1977)
- 272) 米山忠克、有馬泰紘、熊沢喜久雄 : 発光分光分析法による重窒素定量に際しての供試アンモニアの濃縮法、土肥誌、46 146-147 (1975)
- 273) Yoneyama, T. and Yoshida, T. : Decomposition of rice residue in tropical soils III Nitrogen mineralization and immobilization of rice residue during its decomposition in soil, Soil Sci. Plant Nutr., 23, 175-183 (1977)

Estimation of available nitrogen in organic matters and soils for assessing of optimum nitrogen fertilizer rate of upland crops in Abashiri district

Kazuo KONNO

Nitrogen is one of the most important plant nutrients, but its excessive supply brings about various evils such as debasement of crops and nitrate pollution of groundwaters. To improve the yield and quality of crops and reduce the load for environments, it is important to use effectively various organic matters and adjust N fertilizer rate. In this study, estimation methods of available N in organic matters and soils were investigated for assessing of optimum N fertilizer rate of upland crops, and an advisory system for N recommendations for sugar beets was proposed considering the upland crop rotations of Abashiri district.

1. Estimation of available nitrogen in green manures and crop residues

The decomposition processes of wheat straw and green manures of red clover(*Trifolium pratense* L.), oat(*Avena sativa* L.) and levana(*Raphanus sativus*) were followed by the grass fiber filter method and the litter bag method. The mass loss of wheat straw incorporated in autumn was 24-28% after 6 months and 57-59% after a year, while that of green manures was 49-74% after 6 months. Thus the decomposition rate of green manures after 6 months was greater by 2-3 fold than that of wheat straw. The C/N ratio and the ratio of reducing sugar carbon to total carbon of wheat straw after a year were 41 and 35%, respectively. These values suggest a possibility to cause N deficiency in crops. For avoiding N starvation by incorporation of wheat straw, it was recognized to be effective that green manures were cropped in or after wheat, and the C/N ratio of wheat straw plus green manure was needed to be kept below 30 at the time of incorporating. The criterion of C/N ratio of green manures incorporated with wheat straw was below 20 in case the weight ratio to wheat straw was 1:1, below 15 in case of 2:1, and below 10 in case of 4:1.

The decomposition rate of these organic matters showed to be closely related to the initial chemical composition. The percent loss of total C was greater as the C/N ratio was lower, and as the carbohydrate content was higher and the lignin content was lower in case of the same C/N ratio. The percent loss of total N was greater as the C/N ratio was lower, and the net N loss after 6 months became positive in case the C/N ratio was below 40, while the net N mineralization was found only in case of below 25. The N mineralization rate of green manures and wheat straw showed a close relation to the initial C/N ratio. However, in case green manures had relatively low C/N ratio and high lignin content, (lignin)^{1/2} /N ratio was superior to C/N ratio as the index of net N mineralization. Furthermore, it was recognized that oven drying and grinding of these organic materials caused the decrease of N mineralization rate, and critical C/N ratio, break point between N mineralization and immobilization shifted to a lower direction.

The N recovery by succeeding crop from incorporated green manures, using the difference method, showed a close relation to the C/N ratio at the time of incorporating. The value estimated from the regression equation was 30-45% at C/N ratio of 10-15, 20-30 % at 15-20, 10-20 % at 20-25, and the C/N ratio when N recovery turned positive from negative was in the range of 30-40. Based on these results, the index for N fertilizer to decrease after green manure for the succeeding crop was devised considering the C/N ratio and the amount of green manures or green manure plus wheat straw. It was judged that the index was effective in practical use for sugar beets because the differences between the predicted values and the actual measurement values obtained from the optimum N fertilizer rate were within 15kg ha⁻¹.

2. Estimation of available N in bark composts

Bark composts containing different wood species, auxiliary raw materials and having different composting periods were tested for their N availability. N uptake of crops was closely related to the chemical components of bark composts, and it was recognized significantly positive correlation between mineral N, and negative correlation between C/N ratio, the ratio of carbon in reducing sugar to total nitrogen, and the ratio of reducing sugar carbon to total carbon. From the point of view of avoiding N starvation, the indexes for estimating the degree of maturity were established in the followings: C/N ratio ; below 25 (hard wood bark) or below 35 (soft

wood bark), a ratio of carbon in reducing sugar to total nitrogen ; below 6 (hard wood bark) or below 10 (soft wood bark), a ratio of reducing sugar carbon to total carbon ; below 20% (hard wood bark) or below 30% (soft wood bark).

Crop utilization of N from bark composts was closely related to the mineral N plus mineralized N (30 °C, 12 weeks) in bark composts, and the mineralized N was greater as the C/N ratio was lower. Therefore, it was considered possible to predict the amounts of available N from mineral N content and C/N ratio of bark composts. In case of soft wood bark, the rate of N mineralization was 4-5% at C/N ratio of 15-16, and the rate of N recovery by crop was below 4%. Thus, the N availability was remarkably low in comparison of wheat straw composts, and the necessity of N fertilizer decrease was considered to be slight.

3. Estimation of available soil nitrogen

For the assessment of available soil N, it was important to estimate both residual mineral N in soil profiles and easily decomposable organic N that would be mineralized during a growing season. The factors to require the estimation of mineral N could be as follows: ① The amounts of mineral N varied widely between fields, which would be derived from various cropping histories and organic matter managements. ② The leaching of mineral N was relatively low, which would be due to the climate and soil conditions.

As the chemical methods for estimating available soil N, the hot-water extraction method, which was based on determining simultaneously the initial mineral N and the ammonium-N produced by autoclaving the soil sample with H₂O at 121 °C for 1 hour, was most excellent. This method had the same extent of high accuracy as the incubation method, and because of its rapidness and simpleness in measurement, it was considered to be more practical estimation method than others. On the other hand, as the chemical method for estimating easily decomposable organic N only, determination of organic N extracted by hot water at 105 °C for 1 hour using autoclave was relatively excellent in the accuracy of prediction.

Mineral N in the soil profile was found to fluctuate widely by the organic matter managements and especially high at the fields amended with waste water discharged from potato starch factories. Change of mineral N from late autumn through early spring was relatively great, and the extent was differed by the variety of organic matters. In the early spring, the residual rate of mineral N in the soil profile of 0-50 cm was mostly 70-80% except for the fields heavily dressed organic matters. Thus, the estimation of soil available N in late autumn was inferior to that in early spring in the reliability of prediction, but it was considered possible to predict optimal N requirements of crops by the combination with the estimation of available N in organic matters.

To predict mineralized N during a growing season, N mineralization properties of the soil were investigated by the kinetic analysis. The mineralization process of soil organic N was well approximated by the simple type model of first order kinetics. N mineralization parameters obtained were the following: potentially mineralizable organic N (N_0); 77-219 mg kg⁻¹, mineralization rate constant (k); 0.0031-0.0095 day⁻¹, apparent activation energy (E_a); 60-85 kJ mol⁻¹. N_0 showed a relatively high correlation with the organic N estimated by the hot-water extracted method. Therefore, this chemical method was considered to be effective for prediction of N_0 . Mineralization rate of N_0 during a growing season, which was calculated using average k and E_a values of each soil type and soil temperature from May to September, were 27-33 % in volcanic soil, 33-40 % in alluvial soil, and 40-47 % in diluvial soil.

N mineralization process of the soil amended with green manures was well approximated by the two simple type model of first order kinetics. The amount of potentially mineralizable N ($N_{0q} + C$) in rapidly decomposable fraction was closely related to C/N ratio of green manures, and it was considered to be effective as the index of available N of soil amended with green manures. Further, mineralization rate constant (k_a) of rapidly decomposable fraction was considered to reflect the quantity of resistant components in green manures because of the close relationship with both C/N ratio and lignin content of green manures.

4. Optimum N fertilizer rate for sugar beets as based on the estimation of available soil N

The general equation for the optimum N fertilizer rate is in the followings: optimum N fertilizer rate = (optimum N uptake - N uptake by crops not given fertilizer N) / fertilizer N recovery

The optimum N uptake of sugar beets fluctuated between fields, and this value had a tendency to be greater as the soil N fertility was higher. In case of moderate N fertility, N uptake needed for the maximum sugar yields was approximately 245 kg ha⁻¹, and N uptake needed for the maximum corrected sugar yields, calculated on Reinefeld's formula was approximately 235 kg ha⁻¹. The fertilizer N recovery, which obtained from the slope of linear regression between applied N and uptake of N, fluctuated between fields or years,

and these values were mostly in the range of 70–85% and 78% in average, except for such cases that soil N fertility was extremely high and precipitation during a month after the fertilizer application was above normal fall.

Prediction equation for the optimum N fertilizer rate was devised using optimum N uptake of 245 kg ha^{-1} and fertilizer N recovery of 78%, and the values measured by the estimation methods of available soil N were substituted into the regression equation with N uptake by crops not given fertilizer. The prediction equation by the hot-water extraction method had the same high accuracy as that by the incubation method. Accordingly, it was considered that the hot-water extraction method was useful for establishing N fertilizer rate for sugar beets. Further, for the practical application using the hot-water extracted method, the procedure of N fertilizer recommendation for sugar beets was proposed based on the estimation of available N in soils and organic matters corresponding to the sampling season (autumn or spring).