

福岡県における水稻品種の窒素吸収特性 第4報 ‘夢つくし’ の窒素吸収量の推定

荒木雅登・山本富三・満田幸恵
(生産環境研究所)

良食味品種‘夢つくし’の移植25～45日後における窒素吸収量と草丈、茎数および葉色等との関係について調査した結果、生育調査時までの日平均気温を加味することで、移植45日後までのすべての時期に適用できる窒素吸収量の推定式が得られた。

$$y = 0.181 + 0.0109 \times 10^{-3} h \cdot n \cdot s \cdot e$$

y : 窒素吸収量 (gm^{-2}), h : 草丈 (cm), n : 茎数 (本 m^{-2}),

s : 葉色 (葉緑素計による測定値),

e : 有効積算温度 ($= \sum (T_d - BT)$)

T_d : 日平均気温 ($^{\circ}\text{C}$), BT : 有効下限温度 ($= 16^{\circ}\text{C}$)

これは、従来の推定法と比べて、適用期間が長いこと、年次間の気象条件のちがいにでも対応できる点で、優れている。

[キーワード: 有効積算温度, 窒素吸収, 水稻, 夢つくし,]

Influence of Varietal Characteristics and Uptake of Nitrogen on the Growth, Yield and Quality of Rice in Fukuoka Prefecture (4). Estimation of Nitrogen Uptake for the Rice Variety of 'YUMETSUKUSHI'. ARAKI Masato, Tomizou YAMAMOTO and Yukie MITSUDA (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 22: 6-10 (2003)

To know the amount of nitrogen (N) uptake for the rice variety 'YUMETSUKUSHI', we examined the relationship between amounts of N uptake at 25～45 days after transplanting and the product of plant height, number of tillers and color of leaves. The study showed that it was necessary to take an air temperature into account for precise estimation of the N uptake in rice. The results revealed that the following regression equation can be applied from transplanting till 45 days after planting.

$$y = 0.181 + 0.0109 \times 10^{-3} h \cdot n \cdot s \cdot e$$

y : amount of N uptake (gm^{-2}), h : plant height (cm), n : number of tillers per m^2 ,

s : green meter value,

e : effective accumulative temperature ($= \sum (T_d - BT)$)

T_d : daily mean air temperature ($^{\circ}\text{C}$), BT : base temperature ($= 16^{\circ}\text{C}$)

The method of estimation was superior in length of an applicable period and applicability of changing meteorological condition to current methods.

[Keyword: Effective accumulative temperature, Nitrogen uptake, Rice, YUMETSUKUSHI]

緒 言

これまでに福岡県で栽培されている水稻品種のいくつかについて、収量、食味の両面から判断した、各生育時期までの窒素吸収量適正值が報告されている^{1,2,7)}。これらを生かした肥培管理としては、水稻の生育期間中、特に穂肥を施用する前の窒素吸収量を把握し、この量と窒素吸収量適正值との差に応じて穂肥量を調整することが挙げられる。また、水管理においても、水稻の栄養状態を見ながら中干しのタイミングを図るため、田植えから随時、水稻の吸収した窒素量を把握しておく必要がある。しかし、窒素吸収量を把握するためには、随時サンプリングと化学分析により乾物重と稲体窒素含有率の測定を行わなければならない、実用性に乏しい。したがって、稲体をサンプリングすることなく簡易に窒素吸収量を推定する方法の開発が必要で

ある。

これまでに、稲体の非破壊での窒素吸収量推定に関していくつかの報告がある。熊谷らは、出穂35日前～穂揃期において、株周長、草丈および葉緑素計による葉色値から窒素吸収量を高い精度で推定することが可能としている⁹⁾。しかし、株周長は一定条件の下で測定することが困難なこと、特に生育初期のイネを痛めやすく実用性には乏しいことを指摘している⁹⁾。一方で、稲体の窒素含有率は葉色と、乾物重は草丈、茎数の積との間に相関が高い^{9,10)}ことから、稲体の窒素吸収量を草丈、茎数、葉色の積から推定する方法が検討されている^{11,12)}。しかし、指摘されているように生育時期や気象条件によって稲の茎の太さや葉身の厚さ等が異なり、乾物重と草丈×茎数との関係、葉色と稲体窒素含有率との関係は、一定ではない^{9,11)}ため、安定した生育診断技術の確立には至っていない。

そこで、本報では‘夢つくし’の簡易な生育診断技術の確立を目的として、草丈、茎数および葉色の調査結果に生育日数や気象条件を加味して稲体窒素吸収量を推定する方法の改良を試みたので、その結果を報告する。

試験方法

1999～2000年に、‘夢つくし’を供試し、福岡県農業総合試験場内の造成水田圃場（県内の4種類の土壌を表層30cmに客土）で試験を実施した。試験圃場の土壌条件、試験区の構成等については前報²⁾で報告したとおりで、稲体の採取は、移植から25日後、35日後および45日前後に行った。25日後は分けつ増加期で水稻の生育量の増加が大きくなる時期で、35日後は最高分けつ期前で中干し直前の時期に相当する。また、45日後は1回目の穂肥施用時期に相当する。年次毎の移植日と採取日を第1表に示した。平均茎数株を1区当たり5株採取し、草丈、茎数および葉色を調査し、さらに乾物重を測定後、粉碎し分析試料とした。葉色は、採取5株それぞれの最強茎について展開第2葉の基部から2/3の部分で葉緑素計（SPAD-502）にて測定した。全窒素の分析は、ケルダール分解後、水蒸気蒸留法で行った。

第1表 移植と試料採取日

	移植	+25日	+35日	+45日*
1999年	6/10	7/5 (25)	7/15 (35)	7/27 (47)
2000年	6/8	7/3 (25)	7/13 (35)	7/24 (46)

注) *: 便宜上、+45日としている。
()内は移植後日数を示している。

結果および考察

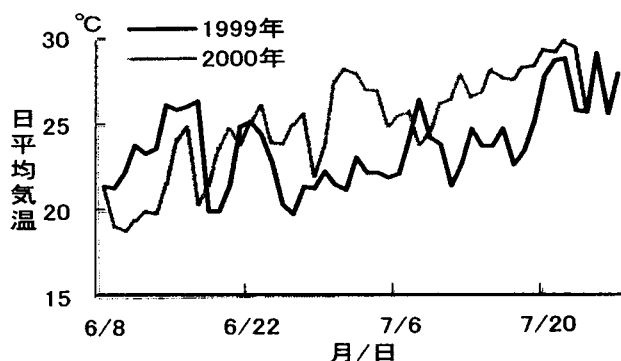
1 気象経過

1999年は、移植後から7月5半旬にかけて低温寡照気味で推移した。7月6半旬以降の気温は平年並であったが、著しい寡照で経過した。その後も寡照傾向は成熟期にかけて続いた。2000年は移植から6月6半旬までは高温寡照、さらに7月6半旬までは高温多照で経過したことから、茎数は多めで推移した。登熟期については8月5半旬から9月3半旬にかけては高温で推移した。なお、第1図に6月上旬から7月下旬にかけての日平均気温を示したが、6月中旬までは1999年の方がやや高いものの、2000年の方が全体としては高めで推移した。

2 乾物重と草丈、茎数

簡易に稲体の窒素吸収量を求めるためには、稲体の乾物重と窒素含有率の推定が前提となる。そこで稲体

を抜き取ることなく乾物重を推定するため、草丈と茎数との積と乾物重との関係について検討した。その結果を第2図に示した。移植後日数の違いによって傾向は異なったが、+25日、+35日についてみると、年次間の差はなく両者の関係はほぼ同一の回帰直線で表わされた。しかし、+45日については1999年と2000年で大きく傾向が異なり、草丈×茎数が同一でも乾物重は2000年が大きく上回る傾向にあった。これは、1999年と2000年で気象条件が大きく異なっていたことに起因するものと考えられた。



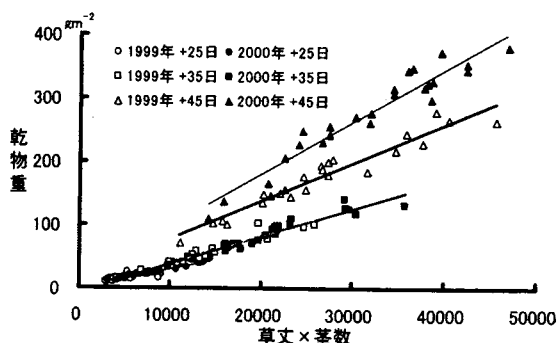
第1図 移植～7月下旬の日平均気温の推移

3 葉色と稲体窒素含有率

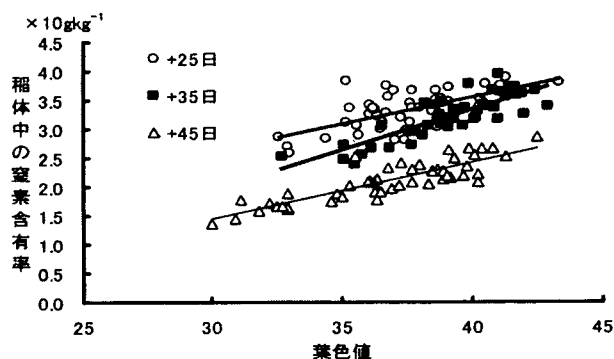
第3図にSPAD-502で測定した葉色（以下、葉色値とする）と稲体中の窒素含有率との関係を示した。+25日、+35日および+45日と生育時期別には両者の間に高い正の相関が見られるものの、同一の葉色値で比較すると+25日から+45日へと生育が進行するにしたがって稲体窒素含有率は低くなる傾向にあった。同様の結果がこれまでも報告されている^{9,11)}。この要因としては、葉色は直接的には葉身中のクロロフィル含有率または全窒素含有率を反映するものである^{3,6)}が、生育の進行に伴い、葉身以外の器官の充実が進むことで、葉厚が増大することや次第に株全体の窒素含有率と葉身の窒素含有率とで差を生じることが考えられた。また、延ら⁹⁾は、生育時期で葉身中の葉緑素含量と窒素含量の消長が異なり、生育初期には窒素含量に対する葉緑素含量が低い一方、次第にその割合が上昇することを指摘しているが、このことも要因のひとつとして考えられた。

4 草丈、茎数および葉色値からの窒素吸収量の推定

第4図に+25～+45日における草丈と茎数および葉色値との積と窒素吸収量との関係を年次別に示した。この両者の関係を表す生育時期別の回帰式（直線）から窒素吸収量の推定が可能であることは既に報告されている^{11,12)}。しかし、生育が進むにしたがって葉身が厚く、茎が太くなる等、稲体の充実度が高まるため、この両者の関係は生育時期によって異なり、推定式を使い分ける必要があることが指摘されている¹¹⁾。その指摘のとおり、第4図では1999年、2000年ともに切片、勾配から判断して生育時期によって回帰直線は異なっていた。



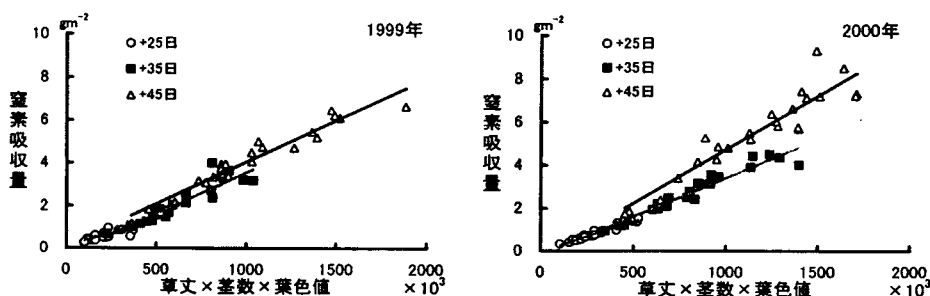
第2図 草丈×茎数と乾物重の関係

注) 草丈はcm, 茎数は本 m^{-2} 

第3図 葉色値と稲本体中の窒素含有率の関係(1999, 2000年)

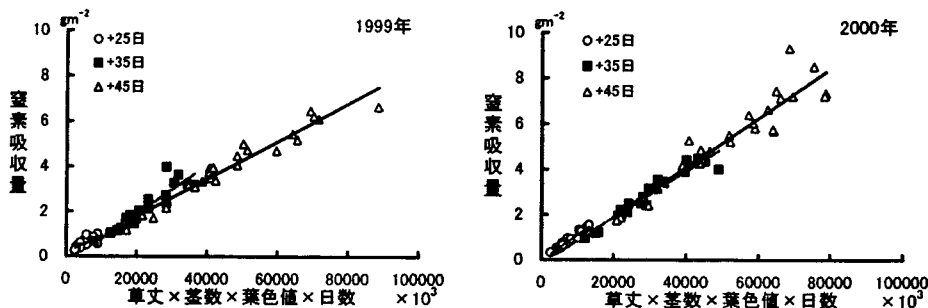
注) 葉色値はSPAD-502による測定値。

そこで、調査時期にかかわらず単一の回帰式で推定できるように推定式の一本化を試みた。上原ら¹⁴⁾は、草丈×茎数に有効積算温度⁴⁾または標準温度変換日数⁸⁾を乗じることで、最高分けつ期から幼穂形成期にかけての乾物重を高精度に推定することが可能であると報告しており、さらに、草丈、茎数および葉色の積に標準温度変換日数を乗じることで最高分けつ期から幼穂形成期にかけての窒素吸収量推定法の改良を試みている¹⁵⁾。標準温度変換日数は、任意の日平均気温での生物の生長日数1日を、標準温度(25℃)における日数に変換し、これを積算したものである。この日数変換を正確に行うためには試験年数を多く要し、本試験の2ヶ年では不十分である。そこで、上原らが試行していた標準温度変換日数への換算を行わず、移植後日数をそのまま代替して検討した。第5図には3者の積に移植後日数を乗じた値と窒素吸収量との関係を年次別に示した。それぞれの年次について各3時期の回帰直線はほぼ同一の直線で表わされた。よって、移植後日数を加味することで、従来の草丈×茎数×葉色による推定法よりも適用期間を拡大できると考えられた。第6図には年次間の違いを比較するため、生育時期別に草丈×茎数×葉色と窒素吸収量との関係を示した。各年次の回帰直線は、+35日においては同様であったが、+25日と+45日では勾配および切片から判断して大きく異なっていた。実用上、最も重要でかつ年次間差の大きい+45日については、第1表のとおり移植後日数の差は1日に過ぎないため、3者の積に上述の移植後日数を乗じても、第6図の+45日における年次間の差を大幅に縮めることが困難であると考えられた。+45日においては第2図に示した乾物重の年次間差が大きかったことから、



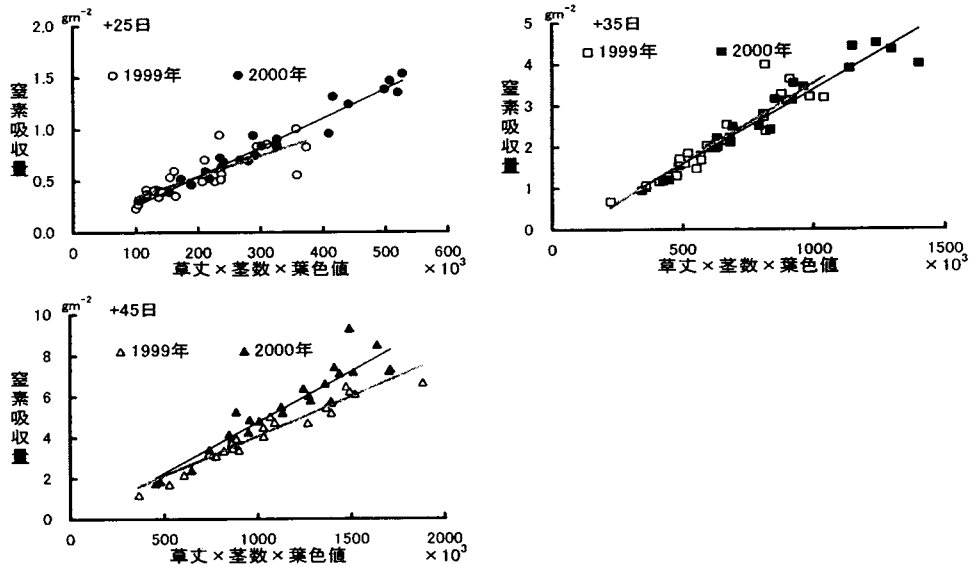
第4図 生育時期別の草丈×茎数×葉色値と窒素吸収量との関係の比較

注) 左: 1999年, 右: 2000年



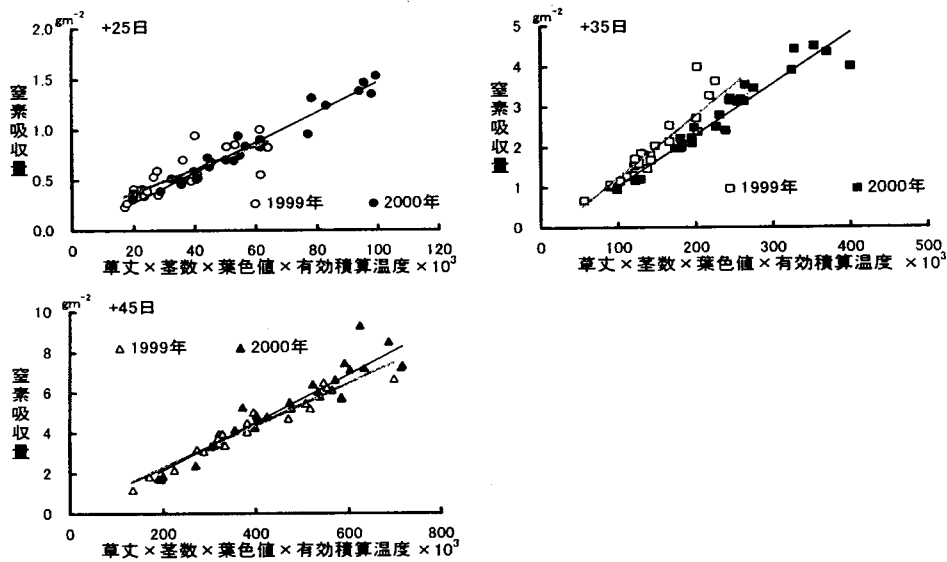
第5図 生育時期別の草丈×茎数×葉色値と窒素吸収量との関係の比較

注) 左: 1999年, 右: 2000年



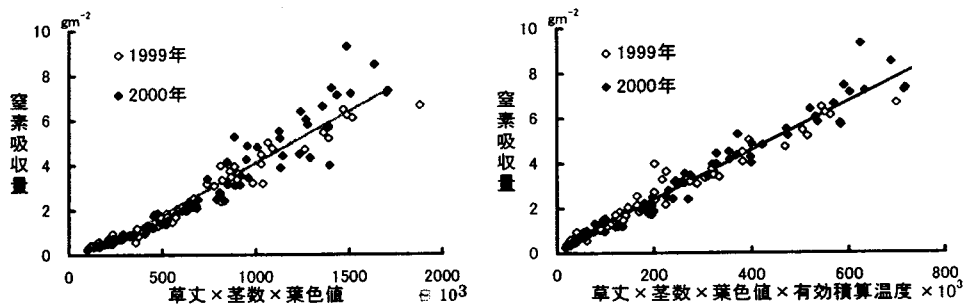
第6図 年次別の草丈×茎数×葉色値と窒素吸収量との関係の比較

注) 左上: +25日, 右上: +35日, 左下: +45日



第7図 年次別の草丈×茎数×葉色値×有効積算温度と窒素吸収量との関係の比較

注) 有効温度を $16^{\circ}C$ 以上とした。



第8図 +25～+45日における窒素吸収量と草丈×茎数×葉色値との関係

注) 左: 横軸は草丈×茎数×葉色値, 右: 3者の積×有効積算温度。
ただし有効温度は $16^{\circ}C$ 以上とした。

第2表 窒素吸収量と草丈、茎数および葉色値等との相関関係

窒素吸収量と		1999年	2000年	2ヶ年
草丈×茎数	+25日	0.815	0.976	0.943
×葉色値	+35日	0.928	0.964	0.954
	+45日	0.969	0.933	0.928
	+25～+45日	0.980	0.957	0.963
草丈×茎数	+25日	-	-	0.943
×葉色値	+35日	-	-	0.954
×移植後日数	+45日	-	-	0.920
	+25～+45日	0.983	0.981	0.975
草丈×茎数	+25日	-	-	0.947
×葉色値	+35日	-	-	0.934
×有効積算温度	+45日	-	-	0.953
	+25～+45日	0.979	0.982	0.981

注) 葉色はSPAD-502による測定値。

次に最高分げつ期～幼穂形成期にかけての乾物重を高精度に推定するために、有効積算温度にて上原¹⁴⁾が試行した方法を適用してみた。有効積算温度は、作物の生育（ここでは、葉厚や茎径等の増加をはじめとした稲体充実度の進行を指す。）が停止する温度域を想定した有効下限温度に対する日平均気温との差（有効温度 ≥ 0 ）の累積値である。第7図には3者の積に有効積算温度を乗じた値と窒素吸収量の関係の年次間比較を生育時期別に示した。有効積算温度は、有効下限温度を上原¹⁴⁾に従い16℃として、移植翌日から調査日までの累積値とした。+35日において、やや各年次の回帰直線にズレを生じたものの、第6図において比較的大きな年次間差が認められた+25日および+45日では、各年次とも同様の回帰直線を示した。さらに、+25～+45日を込みにした場合を第8図に示した。図中には1999年、2000年の両年次を込みにした回帰直線を表わしているが、有効積算温度を乗じた積と窒素吸収量との関係の方が、散在した点の回帰直線に対するバラつきは小さく、また、第2表の相関係数をみても、0.963から0.981へと3者の積に有効積算温度を乗じることで高まっていた。なお、福岡県の水稲作に適する有効下限温度については今後、検討する必要がある。有効積算温度を乗じた場合の回帰式は次のとおりであった。

$$y = 0.181 + 0.0109 \times 10^3 x \quad (1)$$

y: 窒素吸収量 (gm²)

x: 草丈(cm) × 茎数(本m²) × 葉色値 × 有効積算温度²

*1: 葉緑素計値、

*2: Σ (日平均気温 - 有効下限温度)

ただし日平均気温 - 有効下限温度 < 0 のとき

日平均気温 - 有効下限温度 = 0 とする。

ただし、有効下限温度は16℃としている¹⁶⁾。

この推定法は、これまでに報告されたもの^{12,13)}と比較して、移植25～45日後と適用期間を拡大し、気象変動による推定誤差を縮小したものである。ただし、試験データが6月上旬移植のものに限定されているため、もっと気温の低い時期に移植した場合には、(1)式は適用可能であるのか確かめる必要がある。また、今回は、有効積算温度を稲体の充実度の代替データとして採用したが、さらに精度を向上する余地が残されている。

上原¹⁴⁾は、標準温度変換日数⁸⁾を用いて推定を行うことで精度が向上する可能性を示唆しており、今後この方法についても検討する必要がある。

引用文献

- 1) 荒木雅登・田中浩平・山本富三 (2002) 福岡県における水稲品種の窒素吸収特性. 第1報 良食味早生品種‘ほほえみ’, ‘つくし早生’の収量および品質面からみた望ましい窒素吸収パターン. 福岡農総試研報 21:6-10.
- 2) 荒木雅登・山本富三・満田幸恵 (2003) 福岡県における水稲品種の窒素吸収特性. 第3報 ‘夢つくし’の窒素吸収量と食味. 福岡県農総試験 22:1-5.
- 3) 中鉢富夫・菊地修・塩島光洲 (1982) ササニシキの簡易窒素栄養診断技術確立に関する研究. 第1報 葉色板による窒素栄養診断. 宮城農セ研報 49:69-77.
- 4) 江幡守衛 (1990) 有効積算温度とイネの生長. 第1報有効下限温度の実験的算出法とイネの栄養生長への応用. 日作紀 59:225-232.
- 5) 延圭復・太田保夫 (1973) 水稲葉の葉位別葉緑素含量と切断葉片の葉緑素保持力の生育に伴う消長. 日作紀 42:6-12.
- 6) 稲田勝美 (1963) 作物生葉の緑色程度ならびに葉緑素含量の測定法とその応用に関する研究. 1 生葉の緑色程度ならびに葉緑素含量の測定原理について. 日作紀 32:157-162.
- 7) 角重和浩・山本富三・井上恵子・末信真二・田中浩平 (1993) 水稲品種ヒノヒカリの窒素吸収パターンの解析. 第4報 望ましい窒素吸収パターンの策定. 九農研 55:50.
- 8) 金野隆光・杉原進 (1986) 土壤生物活性への温度影響の指標化と土壤有機物分解への応用. 農環研報 1:51-68.
- 9) 熊谷勝巳・中西政則・原田康信 (1991) 非破壊手法による水稲窒素吸収量の推定と窒素吸収パターンの類型化. 山形農試研報 25:23-34.
- 10) 柴原藤善・武久邦彦・豊岡幸二・長谷川清善 (1997) 水稲施肥診断システムの開発—水稲窒素吸収量の簡易開発モデルの検討—. 土肥学会講演要旨集 43:191.
- 11) 末信真二・角重和浩・山本富三・井上恵子 (1994) ヒノヒカリの窒素栄養診断. 第2報 草丈・茎数・葉色からの水稲窒素吸収量の推定. 福岡農総試研報 A-13:5-8.
- 12) 武田敏明 (1986) 福島県における水稲の生育診断および生育予測技術開発に関する土壌肥料的研究. 福島農試特別研究報告 3:1-118.
- 13) 上原敬義・小松正孝・佐藤強・豊川泰 (1999) 稲体の充実度を考慮した栄養診断法. 土肥学会講演要旨集 45:213.
- 14) 上原敬義・小松正孝・佐藤強・豊川泰 (1998) 有機物連用田における水稲の栄養診断法—稲体の充実度を考慮した乾物重の推定方法—. 土肥学会講演要旨集 44:296.